

# الباب الثاني

## البلورات والمعادن

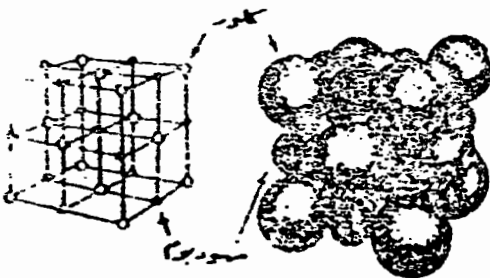
( بقلم التاوى )

### البلورات

يختص علم البلورات بدراسة المواد المتبلورة من حيث الشكل الخارجى للبلورات الكاملة النمو وعلاقة الأوجه البلورية بعضها ببعض، أى هندسة البلورات Crystal Geometry ، وكذلك خواصها الطبيعية المختلفة Crystal Physics مثل صفاتها البصرية ، وخواصها الكيميائية Crystal Chemistry و تركيبها الذرى البلورى Crystal Structure بطريقة الأشعة السينية X-Ray .

### خواص البلورة

تعريف: البلورة هى جسم صلب متجانس له تركيب ذرى معين ومحدد بسطوح او مستويات ملساء تكونت بفعل العوامل الطبيعية تحت ظروف مناسبة من الحرارة والضغط .



( شكل ١٠ - عرض يمثل لترتيب الذرى الداخلى للبلورة )

كاروبد الصوديوم ( معدن هاليت )

الأوجه البلورية : تتكون السطوح التى تحدد الشكل الخارجى للبلورة والتي تعين شكلها الهندسى المنتظم نتيجة التركيب الذرى لها (شكل ١٠) وهذه السطوح الخارجية تسمى

الأوجه البلورية Crystal faces

وتتوقف طبيعة الأوجه البلورية

على الظروف الطبيعية والكيميائية السائدة أثناء نمو البلورة ، فقد تنمو البلورة وتصل إلى بضعة سنتيمترات في حجمها إذا لم يوجد طاقق يحول دون حرية نموها ، وقد تتناهى في الصغر بحيث يصعب رؤيتها بالعين المجردة . ونتيجة للظروف الطبيعية والكيميائية قد تتكون جميع الأوجه البلورية الممكنة أو بعضها أو يتعدم وجودها .

وغالبا ما تكون الأوجه البلورية مستوية وأحيانا مقوسة أو منحنية . والأوجه البلورية إما أن تكون متشابهة في البلورة الواحدة (شكل ١١ ، ب) أو غير متشابهة (شكل ١١ ، ج) . وحيث أن الأوجه البلورية هي التعبير الخارجى للتركيب الذرى ، وتتكون عادة في المستويات التي تشمل أكبر عدد ممكن من الذرات أو المجموعات الذرية للعناصر التي تتكون منها البلورة ، وحيث أن التركيب الذرى ثابت ويميز لكل بلورة فلا بد أن تكون الأوجه البلورية ثابتة أيضا وبميزة للبلورة .

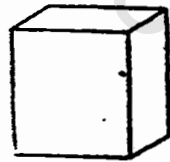
الأحرف ( الحدود ) Edges : وتنتج من تقابل وجهين بلورين متجاورين .



بلورة باليت



بلورة ماس



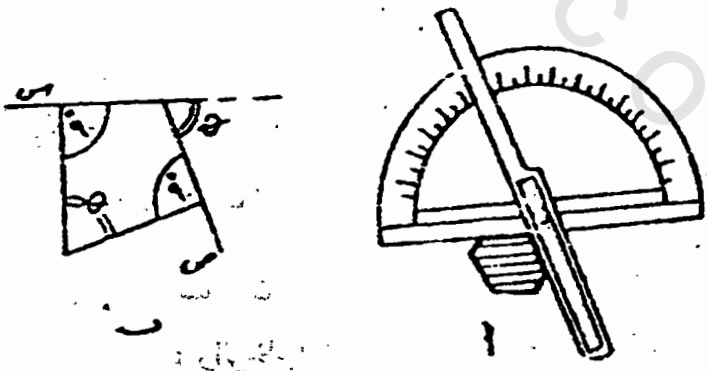
بلورة ماليت

( شكل ١١ ) يبين نماذج لبلورات متشابهة الأوجه ( أ ، ب )

وبلورة غير متشابهة الأوجه ( ج )

**الزوايا الركنية Solid angles :** وهي التي تكون نتيجة تقابل أكثر من وجهين في البلورة .

**الزوايا بين الواجهة Interfacial angles :** تعرف الزوايا الناتجة من تلاقي أى وجهين بلورين متجاورين بالزاوية بين الواجهة ، وتقدر بلوريا بقيمة الزاوية المحصورة بين العمودين الساقطين على هذين الوجهين ، أى بما يساوى قيمة الزاوية المكملة للزاوية المحصورة بين الوجهين البلورين (شكل ١٢) . وللزوايا بين الواجهة أهميتها الخاصة في علم البلورات حيث أنها تدل على الصلة بين الأوجه البلورية التي ما هي إلا التعبير الخارجى للتركيب الذرى الداخلى ، وتسهل بالتالى التعرف على نوع البلورة ونظامها ، ومن البديهي إذن أن الزوايا بين الواجهة ثابتة القيمة ( في درجة الحرارة الواحدة ) لجميع البلورات التي لها تركيب كيميائى واحد و تركيب ذرى واحد بصرف النظر عن حجم البلورة وشكل أوجهها . وتعرف هذه الحقيقة بقانون ثبات الزوايا بين الواجهة Law of constancy interfacial angles وهو قانون أساسى في علم البلورات ( نيكولاس ستينو ١٦٦٩ ) .



(شكل ١٢) بين جوتوميتر التماس ( ا ) لقياس الزوايا بين الواجهة ( ب ) .  
ب) المحصورة بين الوجهين البلورين ( س ، س )

ويمكن قياس الزوايا بين الوجية في البلورة باستخدام « منقل » أو جونيوميتر ، ويوجد منه نوعان : جونيوميتر التماس Contact Goniometer لقياس الزوايا بين الوجية بالتقريب في البلورات الكبيرة الحجم (شكل ٥ - أ) . وأما النوع الثاني فيستخدم للحصول على القياسات الدقيقة للزوايا بين الوجية في البلورات الصغيرة الحجم ويسمى جونيوميتر عاكس Reflecting Goniometer .

وينتج عن التركيب الذري الداخلى للمادة المتبلورة - بالإضافة إلى تكوين الأوجه البلورية - بعض الصفات والخواص الطبيعية الأخرى ، فمثلا خاصية عدم تساوى الخواص الطبيعية فى جميع الاتجاهات « عدم التجاهى Anisotropy » صفة هامة تفرق بين المادة المتبلورة والمادة غير المتبلورة . ومن أمثلة هذه الخاصية : عدم تجاهى التوصيل الحرارى ومعامل التمدد الحرارى ، ومعامل إنكسار الضوء ، وسرعة الضوء ودرجة إمتصاصه .

وينعدم الترتيب الذرى الداخلى فى المواد غير المتبلورة وهن ثم لا يتكون لها أوجه بلورية . ولكن ليس معنى هذا أن كل جسم صلب لا تحده أوجه بلورية أن يكون غير متبلور ، فهناك مواد متبلورة لم تسمح الظروف الطبيعية والكيميائية بتكوين الأوجه البلورية لها كما هو الحال فى البلورات عديمة الأوجه ، ويفرق بين كل من المادتين حينئذ بظاهرة عدم تجاهى الخواص .

أما الأشكال الهندسية ذات السطوح الخارجية المستوية المصقولة صناعيا فى الأشكال الزجاجية والرخامية التى تستعمل كتحف أو نماذج فنية فلا توصف بأنها مواد متبلورة لمجرد أنها تحدد بسطوح مستوية تشبه الأوجه البلورية ، وذلك لأنه بنفسها الترتيب الذرى الداخلى المميز للمادة المتبلورة .

## التماثل البلورى Crystallographic symmetry

إذا دققنا النظر في بلورة ما وفحصنا وضع الأوجه البلورية وتوزيع الأحرف والزوايا الركنية لوجدنا أن هناك ترتيباً هندسياً يميزا يخضع لقواعد معينة في التوزيع والتنسيق . ويسمى هذا الترتيب الهندسى في البلورة بالتناسق أو التماثل البلورى . وبالملاحظة نجد أن جوهر التماثل هو التكرار ، وأن درجة التماثل تختلف من بلورة إلى أخرى ، وتقدر بالنسبة لعناصر ثلاثة تسمى عناصر التماثل Symmetry elements وهى :

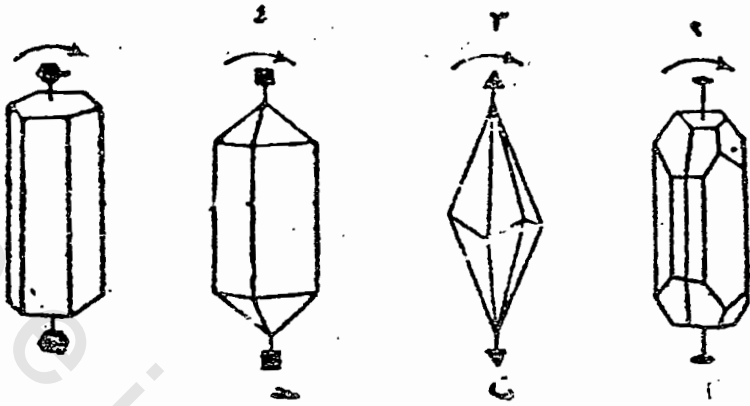
( ١ ) محور تماثل Axis of symmetry .

( ٢ ) مستوى تماثل Plane of symmetry .

( ٣ ) مركز تماثل Centre of symmetry .

وقد توجد هذه العناصر مجتمعة في بلورة واحدة وقد يفتقر بعضها في البلورات المنخفضة التماثل، وأحياناً يعدم التماثل نهائياً كما هو الحال في بلورات بعض المواد الكيميائية مثل نيوسلفات الكالسيوم المائية .

محور التماثل . وهو خط وهمى يمر بمركز البلورة يمكن أن تدور أو تلف حوله البلورة بشرط أن يتكرر ظهور وجه أو حرف أو زاوية ركنية مرتين أو أكثر خلال دورة كاملة ( ٣٦٠° ) ، بمعنى أن يحتمل وجه بلورى وضماً مشابهاً لوضعه الأول أكثر من مرة أثناء دوران البلورة حول هذا المحور دورة كاملة . ولذلك يسمى محور تماثل دورانى Rotation axis of symmetry ( شكل ١٣ ) . وعلى قدر درجة التماثل الموجود في البلورة فإنها تكرر وضماً ما عدداً معيناً من المرات في الدورة الكاملة حول محور التماثل .

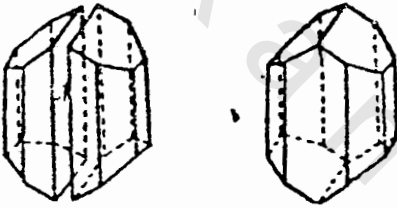


(شكل ١٤) - ا، ب، ج، د، يبين محاور دوران ثنائية ، ثلاثية رباعية  
وسداسية التماثل

ويوصف محور التماثل الدوراني بأنه ثنائي Two-fold axis أو Digonal أو Diad إذا كان تكرار الأوضاع المتشابهة مرتين في الدورة الكاملة أي أن البلورة تعيد نفس الوضع كل  $180^\circ$  ويرمز لهذا المحور بالعلامة  $\text{D}_2$  أو بالعدد «٢». وإذا كررت البلورة نفس الوضع ثلاث مرات في الدورة الكاملة أي كل  $120^\circ$  حول محور ما فإنه يسمى ثلاثي التماثل Three-fold axis أو Trigonal أو Triad ويرمز له بعلامة  $\text{D}_3$  أو بالعدد «٣». وأما المحور الدوراني الرباعي التماثل Four-fold axis أو Tetrad فيكرر الوضع أربعة مرات في الدورة الكاملة أي كل  $90^\circ$  ويرمز له بعلامة  $\text{D}_4$  أو بالعدد «٤». وفي حالة المحور الدوراني السداسي التماثل Six-fold axis أو Hexagonal أو Hexad فإن الوضع يتكرر كل  $60^\circ$  أي تعيد البلورة وضعها ستة مرات في الدورة الكاملة ويرمز له بعلامة  $\text{D}_6$  أو بالعدد «٦». وبصفة عامة يمكن القول بأن درجة تماثل محور الدوران هي  $\frac{360}{n}$  إذا ما أعادت البلورة نفس

الوضع ٢ من المرات في الدورة الكاملة أى كل  $\frac{360}{2}$  . وقد تمكن الباحثون من إثبات أن المحور الدوراني المحاسي التماثل لا وجود له في البلورات حيث أنه لا يتفق والترتيب الذري في النظم البلورية المختلفة .

مستوى التماثل : هو ذلك المستوى الذى يقسم البلورة إلى نصفين متساويين ومتشابهين بشرط أن يكون أحد النصفين صورة مرآة Mirror image للنصف الآخر ( شكل ١٤ ) . ويرمز للمستوى التماثلي بالرمز ( م ) من كلمة مرآة . ويلاحظ أن كل وجه أو حرف أو زاوية ركنية على أحد



( شكل ١٤ ) بين مستوى التماثل في بلورة أوجيت

جانبى هذا المستوى يناظره وجه أو حرف أو زاوية ركنية مشابهة على الجانب الآخر منه . ومن البديهي إستنتاج أن مستويات التماثل في البلورة هي نفس المستويات التماثلية بالنسبة

لترتيب الذرى الداخلى ، ( راجع شكل ١٠ ) .

مركز التماثل : هو نقطة وهمية مركزية في البلورة ترتب حولها الأوجه البلورية والأحرف والزوايا الركنية في إزدواج وفي أوضاع متناظرة في إتجاهين متضادين وعلى مسافتين متساويتين من هذه النقطة المركزية ، بمعنى أن كل وجه بلورى أو حرف أو زاوية ركنية موجودة على جانب من مركز البلورة ويبعد عنه بمسافة معينة لا بد أن يقابله وينظره على الجانب المضاد وعلى نفس البعد وجه بلورى أو حرف أو زاوية ركنية مشابهة . ويرمز لمركز التماثل بالحرف ( س ) من كلمة نقطة .

## المحاور البلورية Crystallographic Axes

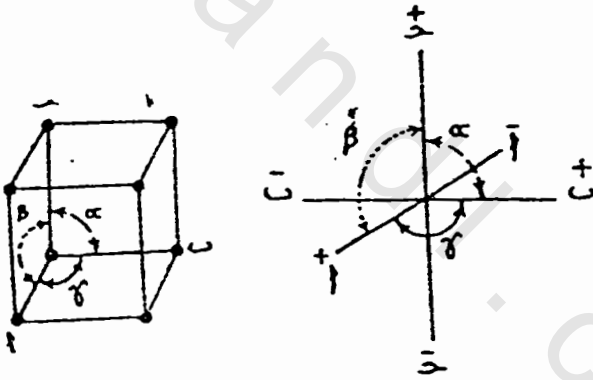
المحاور البلورية هي خطوط وهمية تتقاطع في مركز البلورة وتمتد إلى وسط الأوجه البلورية أو الأحرف أو الزوايا الركنية المتناظرة في البلورة ، وتستخدم لتعيين وضع الأوجه في البلورة ، كما هو الحال في تعيين أوضاع المستويات المختلفة في الهندسة الفراغية بالنسبة إلى ثلاثة محاور متقاطعة في نقطة مركزية . وتعيين الأوجه البلورية إما بالنسبة إلى ثلاثة محاور بلورية كما في معظم المجموعات البلورية أو بالنسبة لأربعة محاور وذلك في مجموعتين بلوريتين فقط ( فصيلتي السداسي والثلاثي ) . وتحدد عناصر التماثل ودرجتها ووضع وإتجاهات المحاور البلورية ، وغالباً ما يكون المحور البلوري محور تماثل وخاصة المحور البلوري الرأسي ، وعادة ما يكون لهذا المحور أعلى درجة تماثل في البلورة كما يعين المجموعة التي تنتمي إليها .

ويسمى المحور البلوري الأفقي الممتد من الأمام للخلف ( بالنسبة لدارس البلورة ) المحور ( أ ) a-axis ، ويميز الطرف الأمامي منه بإشارة موجب (+) والطرف الخلفي بإشارة سالب (-) ( شكل ١٥ ) . ويسمى المحور الأفقي الآخر الممتد من إتجاه اليمين إلى اليسار ( بالنسبة لدارس البلورة ) بالمحور ( ب ) b-axis وطرفه الأيمن موجب والأيسر سالب ، أما المحور الثالث فيمتد رأسيًا ، أي من أعلى إلى أسفل ويسمى ( ج ) c-axis ويميز طرفه الأعلى بالموجب والأسفل بالسالب . وتتقاطع المحاور البلورية في مركز البلورة مكونة ما يسمى بالصليب المحوري أو التقاطع المحوري Axial cross ، وتحصر المحاور البلورية فيما بينها الزوايا المحورية Axial angles . وتسمى الزاوية



المحصورة بين المحور  $a$ ،  $b$  بزواوية جاما ( $\gamma$ ) والزواوية بين  $b$ ،  $c$  ألفا ( $\alpha$ )  
والزواوية بين  $c$ ،  $a$  بيتا ( $\beta$ ).

وتعرف النسبة بين أطوال المحاور البلورية  $a : b : c$  بالنسبة المحورية  
Axial ratio على أساس تقدير طول المحور ( $b$ ) كوحدة . وهذه النسبة تابعة  
وميزة للبلورات المعدن الواحد . فمثلا تمتاز بلورة المكعب بثلاثة محاور بلورية  
متساوية في الطول  $a = b = c$  أو  $1 : 1 : 1$  ، أى أن النسبة المحورية  
 $= 1 : 1 : 1$  . والنسبة المحورية لبلورة الكبريت المعينى (الذى ينتمى لفصيلة  
المعنى القائم) هي  $a : b : c = 0.681 : 1 : 0.9$  : وفى كل من فصيلة



(شكل ١٥) يبين عناصر التبلور المحاور البلورية  $a$ ،  $b$ ،  $c$  والزوايا المحورية  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$

الرباعى والسداسى والثلاثى حيث تتساوى المحاور الأفقية أى أن  $a = b = c$   
الوحدة فإن النسبة المحورية هي  $1 : 1 : 1$  . فمثلا بلورة الزبركون الرباعى لها  
النسبة المحورية  $1 : 0.64$  : أو بطريقة أخرى مبسطة  $c = 0.64$  ، وفى  
بلورة البريل السداسى  $c = 0.49$  أى أن المحور ( $c$ ) أقصر من المحاور  
الأفقية . أما فى البلورات التى يميل فيها أحد المحاور البلورية على المحورين

- Hexagonal system :  $a = b \neq c$  ،  $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$  - فصيلة السداسية

(ب) كبريت

(1)  $a = b \neq c$  ،  $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$  ، فصيلة السداسية  
 (2)  $a = b = c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ، فصيلة المكعبة  
 (3)  $a = b = c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 120^\circ$  ، فصيلة السداسية  
 (4)  $a \neq b \neq c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ، فصيلة المثلثية

- Tetragonal system :  $a = b \neq c$  ،  $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$  - فصيلة الرباعية

(1)  $a = b \neq c$  ،  $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$  ، فصيلة الرباعية  
 (2)  $a = b = c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ، فصيلة المكعبة  
 (3)  $a = b = c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 120^\circ$  ، فصيلة السداسية  
 (4)  $a \neq b \neq c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ، فصيلة المثلثية

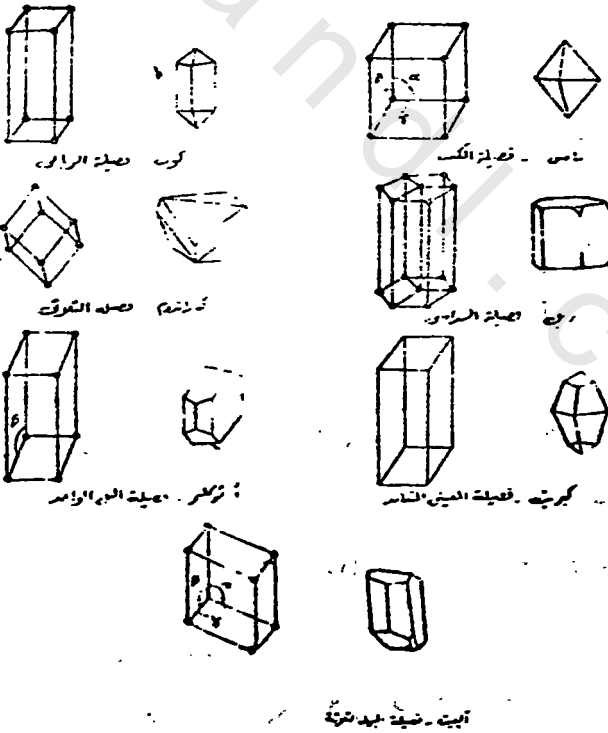
- Cubic system :  $a = b = c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  - فصيلة المكعبة

- هذه الفصائل هي :-  
 1- فصيلة المكعبة :  $a = b = c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$   
 2- فصيلة الرباعية :  $a = b \neq c$  ،  $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$   
 3- فصيلة السداسية :  $a = b \neq c$  ،  $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$   
 4- فصيلة المثلثية :  $a \neq b \neq c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

1-  $a = b = c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ، فصيلة المكعبة  
 2-  $a = b \neq c$  ،  $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$  ، فصيلة الرباعية  
 3-  $a = b \neq c$  ،  $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$  ، فصيلة السداسية  
 4-  $a \neq b \neq c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ، فصيلة المثلثية  
 5-  $a = b = c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 120^\circ$  ، فصيلة السداسية  
 6-  $a = b = c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ، فصيلة المكعبة  
 7-  $a = b = c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 120^\circ$  ، فصيلة السداسية  
 8-  $a \neq b \neq c$  ،  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ، فصيلة المثلثية

ثلاثة منها أفقية متساوية الطول وتقاطع في زوايا  $120^\circ$  ومحور رأسي أطول أو أقصر من المحاور الأفقية ويعتمد على المستوي الذي يشمل المحاور الأفقية الثلاثة.  $a, a, a, c$ ، والزوايا  $\gamma = 120^\circ$ . ويتبع هذه الفصيلة معدن بيريل (الزرد) وهو سيليكات الألومنيوم والبريليوم (بل  $\gamma$  لو  $\gamma$  س  $\gamma$  ١٨١).

٤ - فصيلة الثلاثي Trigonal system : تتشابه مع فصيلة السداسي في صلة المحاور البلورية  $a, a, a, c$  وتختلف عنها في المحور الرأسي (c) فهو سداسي التماثل في فصيلة السداسي وتلاني التماثل في فصيلة الثلاثي. ويتبع هذه الفصيلة معدن كالسيت (ك ك  $a$ ) ، سيديريت (ح ك  $a$ ) ، هيماتيت (ح  $a$   $a$ ) ، كورانثوم (لو  $a$ ).



(شكل ١٦) بين نماذج الصيغ البلورية السداسي

٥ - فصيلة المعنى القائم Orthorhombic system : المحاور البلورية الثلاثة مختلفة الأطوال وغالباً ما يكون  $\alpha < \beta < \gamma$  . والزوايا المحورية  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  . ويتبع هذه الفصيلة معدن بارت (باكب ا) ، أراجونيت (كك ا) ، أوليفين : سيليكات الماغنسيوم والحديد (م ا ح) س ا .

صفة المحاور	فصيلة	طول وحدة المحاور على الاتجاهات				قيمة الزوايا المحورية		
		هـ	ك	و	ل	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
طول واحد Monometric	المكعبى	١	١		١	$90^\circ$	$90^\circ$	$90^\circ$
طولين Dimetric	الرابعى	١	١		$\neq$	$90^\circ$	$90^\circ$	$90^\circ$
	السداسى	١	١		$\neq$	$120^\circ$	$90^\circ$	$90^\circ$
	الثلاثى	١	١		$\neq$	$120^\circ$	$90^\circ$	$90^\circ$
أطوال ثلاثة Trimetric	المعنى القائم	١	١		$\neq$	$90^\circ$	$90^\circ$	$90^\circ$
	أحادى الميل	١	١		$\neq$	$90^\circ$	$90^\circ$	$< 90^\circ$
	ثلاثى الميل	١	١		$\neq$	$90^\circ \neq$	$90^\circ \neq$	$90^\circ \neq$

٦ - فصيلة أحادى الميل Monoclinic system : المحاور الثلاثة مختلفة الأطوال  $a \neq b \neq c$  ، المحور الأفقى (ب) عمودى على المحور (ح) والمحور (ا) مائل على المستوى الرأسى الذى يشمل المحورين ب، ح أى أن الزوايا المحورية  $\alpha = \beta = 90^\circ$  ، والزوايا  $\gamma < 90^\circ$  . ويتبع هذه الفصيلة معدن جيس (كاكب ا - ٢ بد ا) ، أرتوكلاز (سيليكات ألومنيوم وبوتاسيوم) ،

أوجيت (سيليكات لو، ح، ما، كا)، هورنباوند (سيليكات لو، ح، ما، كا، بد ١).

٧ - فصيلة ثلاثي الميل Triclinic system : المحاور البلورية الثلاثة مختلفة

الأطوال  $a, b, c$ ،  $\alpha$  وغير متعامدة، أى أن الزوايا المحورية  $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ .  
ومن المعادن التي تبلور حسب هذه الفصيلة معدن أليت (سيليكات لو، ص)،  
أنورثيت (سيليكات لو، كا). ويوضح الجدول السابق الصلة بين المحاور  
البلورية والزوايا المحورية في الفصائل البلورية.

# المعادن

( بقلم التاوى )

تشمل دراسة علم المعادن - بجانب الدراسة القرعية لعلم البلورات التي سبق  
إيجازها في هذا الباب - دراسات فرعية أخرى مثل :-

أولاً) الدراسة الطبيعية للمعادن Physical Mineralogy : تشمل دراسة  
خواصها الطبيعية مثل اللون ، المخدش ، اليريق ، الصلادة ، الوزن النوعي ،  
والصفات المغناطيسية والحرارية والكهربية ... الخ .

ثانياً) ، الدراسة الكيميائية للمعادن Chemical Mineralogy : تبحث هذه  
الدراسة في التركيب الكيميائي للمعادن المختلفة وخواصها الكيميائية والعلاقة  
بين هذه الخواص والتركيب البلوري وكذلك البحث في أصل المعادن  
Origin of Minerals وكيفية تكونها .

ثالثاً) دراسة الرواسب المعدنية Mineral Deposits : وتبحث في التكوينات  
أو الرواسب المعدنية لمعرفة مكوناتها وأصلها ونشأتها وأما كين وجودها ،  
وهذه الدراسة أساسية لعلم المناجم Mining الذي يختص باستخراج وإستغلال  
الرواسب المعدنية وتجهيزها للصناعة .

رابعاً) الدراسة الوصفية للمعادن Descriptive Mineralogy : ويختص  
هذا الفرع بوصف المعادن - وخاصة المعادن ذات الأهمية - من حيث صفاتها  
الطبيعية والكيميائية ، وأصلها وكيفية تكونها وأما كين وجودها وفوائدها .  
خامساً) . الدراسة البصرية للمعادن Optical Mineralogy - وهي دراسة  
تكميلية وتأكيديّة للتحقق من صحة تحديد شخصية المعادن المختلفة ، وذلك  
باستخدام الطرق البصرية بواسطة مجهر خاص ( ميكروسكوب إستقطابي ) .

وستقتصر الدراسة هنا - لضيق المجال - على بعض الخواص الطبيعية للمعادن ، ونبذه عن طريقة تعيين التركيب الكيميائي للمعادن ، وموجز مبسط عن التصنيف الكيميائي للمعادن والرواسب المعدنية .

## الخواص الطبيعية للمعادن

تتوقف الخواص الطبيعية للمعدن على تركيبه الكيميائي وتركيبه الذري الداخلى إذا كان متبلورا ، ولذلك فعظمها يميز للمعادن المختلفة حيث أنها غالباً ما تكون ثابتة للمعدن الواحد ، وتساعد كثيراً على التعرف على شخصية المعدن بصفة مبدئية وتمييزه عن المعادن الأخرى . وأهم الخواص الطبيعية للمعادن هي :

( ١ ) خواص ضوئية ( أو بصرية ) Optical properties وتعتمد على الضوء مثل اللون ، الخدش ، البريق ، الشفافية والتضوء ( تفسر وتقلل ) .. الخ .

( ٢ ) خواص حواسية Sense properties : تعتمد على بعض الخواص مثل الطعم والرائحة والملمس .

( ٣ ) خواص تماسكية Cohesive properties : وتتوقف على حالة تماسك المعدن مثل الصلادة ، والإلتصاق والمكسر وقابليته للسحب والطرق .

( ٤ ) الوزن النوعى ( الثقل النوعى ) Specific gravity

( ٥ ) خواص حرارية مثل درجة الانصهار Fusibility

( ٦ ) خواص مغناطيسية Magnetic ، كهربية Electric ، وانشاعية

Radioactivity

## الخواص الضوئية

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

كثيرا ما يكون لبعض المعادن ألوان ثابتة إلى حد ما ، وتسمى ( اريوكروماتيك ) Idi-chromatic . ومن الأمثلة الشائعة لهذا النوع معدن الكبريت Sulphur ولونه أصفر فاقع ، مالاكيت Malachite ( كربونات النحاس المائية ) ولونه أخضر ، أزوريت Azurite ( كربونات النحاس المائية ) - نح<sub>3</sub> ( لك<sub>3</sub> ) - ٢ بد<sub>١</sub> ) ولونه أزرق ، ستايار Cinnabar ( كبريتيد الزئبق ) ولونه أحمر قانى ، ماجنتيت Magnetite ( أكسيد الحديدوز والحديديك ) ولونه أسود ، ومعدن بايريت Pyrite ( كبريتيد الحديد ) ولونه أصفر نحاسى .

وقد يتغير اللون فى الأنواع Species المختلفة للمعدن الواحد ويوصف حينئذ بأنه متغير اللون ( الليوكروماتيك ) Allochromatic . ويعزى تغير لون المعدن إلى إحتوائه على شوائب ملونة pigments أو شوائب دخيلة تسمى مكثفات Inclusions ، فمعدن الكوارتز التى عديم اللون ، ولكن تظهر الأنواع



Quartz الذى يحتوى على شوائب ملونة (أكاسيد حديد حمراء) تعمل عمل الأصباغ فى المعدن ، ويحتوى الكوارتز Amethyst على بعض شوائب ملونة بنفسجية (أكسيد المنجنيز) ، وكذلك الحال فى الكوارتز المدخن Smoky Quartz وتنتشر الشوائب الملونة فى المعدن بغير إنتظام ، فقد توجد فى شكل بقع أو نقط غير منتظمة كما فى الكوارتز البنفسجى والياقوت الأزرق (الزفير - لو ٢٢) Shapphire ، وأحيانا توجد الشوائب الملونة فى طبقات أو حلقات أو أحزمة منتظمة كما فى معدن أجيت (العقيق) Agate وهو كوارتز حفى التبلور ، وتورمالين (بوروسيليكات لو ، ح ، ما) Tourmaline وقد يكون التغير فى لون الأنواع المختلفة للمعدن الواحد نتيجة إختلاف ضئيل فى التركيب الكيميائى (فى أضيق الحدود) من نوع لآخر ، فيظهر معدن سفاليريت (كبريتيد الحارصين الحديد) Sphalerite فى ألوان مختلفة تتدرج من البنى المصفر إلى الأسود وذلك نتيجة تزايد نسبة عنصر الحديد فى الأنواع السوداء .

**تلاعب الألوان Playing of Colours :** عرض الألوان تتوقف هذه الظاهرة على قدرة المعدن فى خاصية إنتشار الصورة وتفرقته Dispersion ، وتعزى هذه الخاصية إلى إنقسام الأشعة الضوئية العادية إلى مكوناتها الملونة عند دخولها وخروجها من المعدن ، مثل الماس الذى يتلاعب بالألوان أو يقوم بعرضها عند تغيير وضعه بالنسبة للعين ، نتيجة قدرته الفائقة فى خاصية الإنتشار الضوئى .

**تغيير الألوان Change of colours** تشبه هذه الظاهرة إلى حد ما خاصية تلاعب الألوان ، إلا أنها تنتج عن تدخل أشعة الضوء المنعكسة من أسطح مستويات متوازية محتوى على صفائح رقيقة من معادن أخرى متشاكله

دخيلة في المعدن . وتمثل هذه الظاهرة بوضوح في بعض أنواع معدن لابرادوريت ( سيليكات لو ، ص ، كا ) Labradorite ، إذ يغير الألوان في تتابع ظاهر ، فيعطى الألوان الزرقاء ، الخضراء ، الصفراء والحمر . عند تحريكه أمام العين ، أو إذا نظر إليه إتجاهات مختلفة .

الالاة «خاصية الأوبال» Opalescence هي مظهر لؤلؤى Pearly أولبي Milky لبعض المعادن مثل أوبال ( أكسيد سيليكون مائي ، غير متبلور ) Opal ، ومنه اشتق إسم هذه الخاصية . وتنتج الالاة عن انعكاسات ضوئية من داخل المعدن حيث توجد بعض جزيئات مختلفة الترتيب تمنع صفات بصرية مختلفة ، وتظهر أحيانا باهرة اللون وخاصة إذا كان سطح المعدن مصقولاً مثل معدن حجر القمر Moonstone ( سيليكات لو ، ص - ألبت ، بلاجيو كلاز ) .

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

اللون البراق ( خاصية عين الهر ) chatoyancy : وهي خاصية ظهور المعدن في لون براق متموج يخطف البصر ، ويختلف باختلاف إتجاه النظر إليه مثل لون الحرير المموج ( شانجان Changant ) . وينتج هذا اللون البراق من اختلاف الانعكاسات الضوئية على سطح المعدن الألياف النسيج ، فتشبه بريق عين القط .

الصدأ Tarnish : عبارة عن تغير سطحي في لون المعدن نتيجة تفاعل

الطبقة الخارجية منه بعرضها لعوامل التجوية المختلفة فيظهر لونها مختلفا عن اللون الأصلي لها . ولهذا يجب تعيين لون المعدن دائما على سطح غير متصدىء ، كسطح حديث الكسر .

التضوء Luminecence : هو خاصية بعض المعادن التي لها قدرة الأشعاع الضوئي إذا ما تعرضت لطاقة أخرى مثل الطاقة الإحتكاكية ، الحرارية ، الكهربائية أو الأشعة فوق البنفسجية ، وبذلك يظهر المعدن متألقا وهاجا ذو لون باهر قد يختلف تماما عن لونه الأصلي قبل تعرضه لذلك المؤثر الخارجي . فتتضوأ إحدى عينات معدن الفلوريت إذا ما وضعت على قرص حديدي ساخن وتتألق في لون مختلف عن لونه الأصلي . وكذلك الحال عند حك قطعتين من معدن الكوارتز في مكان مظلم فإنهما يشعان ضوءاً متألقاً ويتضوأ معدن الكالسيت في لون أحمر وهاج إذا ما تعرض للأشعة فوق البنفسجية . ومن التضوء نوعان :

( ١ ) التفلر Fluorescence : يتضوأ المعدن أثناء تعرضه للمؤثر الخارجي فقط ، وتزول هذه الخاصية بمجرد زوال المؤثر ، وقد اشتق هذا الإسم من معدن الفلوريت ( فلورسبار ) الذي يمتاز بوضوح هذه الخاصية .

( ٢ ) التفسفر ( الفسفرة ) Phosphorescence : يتضوأ المعدن أثناء وبعد تعرضه للمؤثر الخارجي . وقد تمتثل خاصية التفسفر للنأكد من تقاوة بعض الأحجار الكريمة مثل اللاس والياقوت وبعض المعادن الأخرى التي تتألق بوضوح بعد تعرضها للأشعة السينية .

للغش Streak : هو لون مسحوق المعدن ، وقد يختلف كثيرا عن لون المعدن في حالته الكتلية ، فلون معدن البايريت أصفر نحاسي ولكن عندئذ

أسود ، وتختلف معادن أكاسيد الحديد الداكنة اللون أو السوداء مثل هيماتيت ، ماجنيتيت وجويتيت Goethite في نغدها ، فالأول ذو نغدهش أحمر قاني ، والثاني أسود النغدهش ، والثالث نغدهش أصفر . ويمكن التعرف على نغدهش المعدن بواسطة حكه على سطح لوحة من الصيني غير المصقول أو المطق تسمى لوحة النغدهش Streak plate . وفي حالة ما إذا كان المعدن أشد صلادة من لوحة النغدهش فإنه لا يترك عليها أثرا لنغدهش ، ويمكن الحصول على نغدهش المعدن في مثل هذه الحالة بصحن جزء صغير منه إلى مسحوق ناعم ، أو يبرد طرف المعدن .

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

١) البريق الفلزي Metallic : وهو البريق العادي للفلزات مثل الذهب والفضة وكذلك المعادن القائمة اللون ذات المظهر الفلزي مثل معد البيريت ومعدن جالينا ( كبريتيد الرصاص ) . وتوجد بعض معادن ذات بريق فلزي ضعيف « تحت فلزي » Submetallic lustre مثل كروميت ( أكسيد الحديد والكروم — ح ١٠ ك ١ ) Chromite ، كوبريت ( أكسيد النحاس الأحمر — نغ ١ ) Cuprite ، وغالبا ما تكون المعادن ذات البريق الفلزي قائمة اللون ثقيلة الوزن

٢) البريق اللافلزي Nonmetallic lustre : يظهر هذا البريق عادة في المعادن القائمة اللون والشفافة . ويشمل الأنواع التالية : —

أ - بريق زجاجي Vitreous ( glassy ) lustre : يشبه بريق الزجاج كما في معدن كوارتز ، ول بعض المعادن بريق زجاجي ضعيف « تحت زجاجي » Subvitreous lustre مثل الكالسيت .

ب - بريق صمغي « واتنجي » Resinous : يشبه بريق العصمغ كما في معدن أوبال ومعدن غير Amper ( = صمغ حجري Fossil resin ) ومعدن سفاليريت .

ج - بريق لؤلؤي Pearly lustre : يشبه بريق اللؤلؤ كما في معدن تالك ( سيليكات ماغنسيوم مائية ) Talc .

د - بريق حريري Silky lustre : ويظهر هذا الريق على سطح المعادن الأليافية النسيج مثل إحدى عينات معدن الجبس ( جبس ساتان Satin spar ) وعينات الأسبتوس المعروفة باسم أمياتوس Amianthus « أميات » .

هـ - بريق ماسي Adamantine lustre : بريق باهر نتيجة كبر معامل الإنكسار الضوئي في المعدن مثل بريق الماس .

الشفافية Transparency : تتوقف هذه الخاصية على قدرة المعدن على إنفاذ الضوء أو إرساله ، فالمعادن التي تسمح بإنفاذ الضوء بدرجة كبيرة وتسمح برؤية الأجسام خلالها بوضوح توصف بأنها شفافة Transparent ، ويوصف المعدن بأنه ضعيف الشفافية « تحت شفاف » Subtransparent أو شبه شفاف ، Semi-transparent إذا كان يسمح بإنفاذ الضوء بدرجة أقل من معدن شفاف ، بمعنى أنه يسمح برؤية الأجسام خلاله بغير وضوح تام . وتوجد بعض معادن قادرة على إنفاذ الضوء ولكنها لا تسمح برؤية الأجسام خلالها فتسمى نصف شفافة Translucent . ويعرف المعدن بأنه معتم Opaque إذا لم يكن

قادرا على إتخاذ الضوء حتى من شرائحه الرقيقة ، مع ملاحظة أن بعض المعادن الغائمة والتي تظهر كأنها معتمة في حالتها السكثائية قد تكون نصف شفافة عند أحرفها الرقيقة أو شفافة في شرائحها الرقيقة .

## الخواص التماسكية

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

( ١ ) الصلادة Hardness : هى مقدار مقاومة المعدن للخدش أو الكشط أو التفتت والتآكل ، وهى من أهم الصفات الطبيعية المميزة للمعادن حيث أنها تختلف من معدن لآخر . ويمكن تعيين صلادة المعدن بصفة مبدئية ، وذلك بملاحظة السهولة أو الصعوبة التى يتخدش بها المعدن باستخدام الظفر أو دبوس أو مطواه أو نصل سكين صلب حاد ، ولكن عادة ما يستخدم مقياس خاص يسمى مقياس موه للصلادة Moh's scale of hardness . لتقدير صلادة المعدن تقديرا نسبيا . ويحتوى هذا المقياس على عشرة معادن معروفة الصلادة ومرتبة ترتيباً تصاعديا حسب درجة صلابتها النسبية ، مبتدئة من المعدن الأقل صلادة وهو معدن تالك Talc وصلادته ( ١ ) واحد ، ومنتية بمعدن الماس Diamond الذى يمثل أعلى درجات الصلادة النسبية وهى عشرة ( ١٠ ) فى هذا المقياس .

وتفاوت درجات الصلادة في المعادن المكونة لمقياس موه للصلادة كالآتي :-

Orthoclase	٦ - أرتوكلاز	يتخدش بالظفر	١ - تالك Talc
Quartz	٧ - كوارتز		٢ - جبس Gypsum
Topaz	٨ - توباز	يتخدش بالدبوس أو بمنصل سكين	٣ - كالسيت Calcite
Corundum	٩ - كوراندوم		٤ - فلوريت Fluorite
Diamond	١٠ - ماس		٥ - أبائيت Apatite

ويمكن إحلال الزجاج ( زجاجة النافذة ) محل معدن أبائيت في الحالات الإضطرابية وكذلك إحلال ( الزلط ) فلينت Flint محل معدن الكوارتز بمعنى أنه يمكن تقدير صلادة كل من الزجاج العادي والفلينت بدرجة (٥) ، (٧) على التوالي .

وتختبر صلادة المعدن أولاً بمحاولة خدشة بالظفر ، فإذا إنخدش المعدن كانت صلادته أقل من ( ٣ ) وبذلك تتحدد صلادته التقريبية ، عندئذ يسهل قياس درجة صلادته الحقيقية بإختياره بأحد معادن مقياس موه للصلادة : إما معدن جبس أو تالك في هذه الحالة ، فإذا خدش التالك المعدن المضروب إيجاد صلادته بسهولة فتكون صلادة المعدن أقل من ( ١ ) وتقدر حسب سهولة الخدش . وإذا لم يتخدش المعدن بالتالك فيختبر ثانية بمعدن جبس فإذا إنخدش المعدن بسهولة كانت صلادته أقل من ( ٢ ) وتراوح ما بين ( ١ ) ، ( ٢ ) وتقدر  $1\frac{1}{2}$  ،  $1\frac{1}{3}$  أو  $1\frac{2}{3}$  حسب سهولة إنخدشة بمعدن جبس . فإذا لم يتخدش المعدن بمعدن جبس بل العكس صحيح ، أي أن المعدن المطلوب إيجاد صلادته ينخدش معدن الجبس فتكون صلادته أكبر من ( ٢ ) وتقدر  $2\frac{1}{4}$  أو  $2\frac{1}{3}$  حسب سهولة إنخدش الجبس بذلك المعدن .

فإذا لم ينخدش المعدن المطلوب إيجاد صلادته بواسطة الظفر فيختبر بمحاولة خدشة بمطوأة أو بقطعة من زجاج النافذة ، وإذا إنخدش بسهولة حددت صلادته التقريبية بين ( ٥ ) ، ( ٣ ) ، ثم يختبر بواسطة المعادن القياسية في مقياس موه للصلادة لتحديد صلادته الحقيقية . فإذا انخدش بمعدن أباتيت وكان ينخدش في الوقت نفسه معدن فلوريت فمعدن المعدن تراوح بين ( ٥ ) ، ( ٤ ) وتقدر  $\frac{1}{2}$  أو  $\frac{1}{3}$  أو  $\frac{2}{3}$  بمقدار سهولة إنخداشه بمعدن أباتيت أو خدشه لمعدن فلوريت ، وهكذا .

وفي حالة ما لم ينخدش المعدن بمطوأة أو نصل مسكين حاد فتقدر صلادته التقريبية أكبر من ( ٥ ) ويختبر بالمعادن القياسية الأخرى لتحديد صلادته الحقيقية بالطريقة السابق شرحها . ويجب ملاحظة أنه إذا انخدش معدن ما بواسطة أحد المعادن القياسية وأن الأخير قد انخدش في نفس الوقت بواسطة ذلك المعدن بدرجة متقاربة كان هذا دليل على تساوي درجة صلادة كل من المعدنين ، كما يجب التأكد من وجود خدش على سطح المعدن بعد الإختبار ومسح المسحوق الناتج من الخدش أو البرد .

وتدل الإختبارات البديهة لصلادة معظم المعادن على أن درجة الصلادة تتغير في المعدن الواحد تبعاً لإتجاه الخدش وتسمى هذه الخاصية عدم تجاهي الصلادة Handness anisotropy . وتقدر صلادة بلورة كيانيت (سيليكات الأنوميم، فصيلة ثلاثي الميل) Kyanite ( ٤ ) تقريبا في إتجاه طول البلورة و ( ٧ ) في الإتجاه العمودي عليه . وأحيانا توجد المعادن القياسية للصلادة على هيئة أقلام تثبت في نهاية كل منها جزءه مخروطي الشكل من أحد مطاوع المجموعة القياسية



للمصلادة وتسمى أقلام الصلادة Hardness pencils ، وقد ثبت هذه الأقلام

جول حلقة تعرف بعجلة الصلادة Hardness wheel

(٢) الانقسام Cleavage : هو خاصية تفتت أو إنقسام بعض المعادن المتبلورة في اتجاه مستويات منتظمة متوازية إذا ما طرقت طرفاً خفيفاً ، وتسمى مثل هذه الاتجاهات مستويات الانقسام Cleavage planes . وترتبط اتجاهات مستويات الإنقسام إرتباطاً وثيقاً بالتركيب البلورى ، فتكون دائماً موازية لوجه بلورى معين أو عدة أوجه مميزة فى المعدن القابل للانقسام . وينتج الإنقسام عن كيفية رص الذرات ونوع الروابط بينها ، ففي مستويات الإنقسام ذاتها تكون الذرات متقاربة الرص والروابط بينها قوية ، أى أن الذرات فى هذه المستويات كثيفة ومتماسكة فيها بينما بقوة فى حين أن رص الذرات يكون متباعدا نسبياً وأن قوى الربط بينها كذلك ضعيفة فى الحالة العمودى على اتجاه مستويات الإنقسام . ومن البديهي إستنتاج أن خاصية الإنقسام لا توجد فى المعادن غير المتبلورة .



وقد يوجد أكثر من اتجاه واحد لمستويات الإنقسام فى بعض المعادن ، وعادة ما يتميز أحد هذه المستويات بسهولة إنقسامه عن الاتجاهات الأخرى . ويوصف الإنقسام بالنسبة للاتجاه البلورى للمستوى أو المستويات التى يوازيها ،

( شكل ١٧ ) مستويات انقسام

مكسي فى بلورة هاليت

وبالنسبة إلى درجة كاله أى مدى سهولة الانقسام فى كل من هذه المستويات .  
فينقسم معدن هاليت وجالينا فى مستويات موازية لأوجه المكعب ويوصف بأنه مكعبى الانقسام ، بينما يتميز معدن فلوريت والاس بمستويات إنقسام موازية لأوجه ثمانى الأوجه المكعبى ويسمى انقسام ثمانى الأوجه . و يوجد إنقسام معينى فى معدن كالسيت حيث توازى مستويات الإنقسام أوجه معينى الأوجه مهما اختلفت ديمية بلورة الكالسيت .

( ٣ ) الإنفصال Parting : هى ظاهرة تحزؤ أو إنقسام المعدن إلى أجزاء عند مستويات ضعف غير متوازية فى إتجاهات غير ثابتة وغير مميزة . وتنتج ظاهرة الإنفصال من تأثير عوامل طبيعية خارجية على بعض المعادن بعد تكوينها بسبب تعرضها لعوامل ضغط أو تكسير أو عوامل إخلال تودى إلى سهولة إنقسام المعدن فى مستويات غير منتظمة . وليس من الضرورى ظهور مستويات إنقسام فى جميع بلورات المعدن الواحد حيث أن هذه الظاهرة لا ترتبط بالتركيب البلورى ، ولكنها نتيجة للعوامل الخارجية التى كثيرا ما تختلف من مكان لآخر . وقد تتشابه مستويات الإنفصال ومستويات الانقسام ظاهريا ولكن يمكن ، بدقة الملاحظة ، تمييز الأخير بتوازى إتجاه مستوياته مع بعضها فى إتجاه بلورى ثابت يميز ، وكذلك بتساوى المسافة بين مستويات الإنقسام وإختلافها فى مستويات الانقسام .

( ٤ ) الكسر Fracture : هو عبارة عن شكل أو هيئة سطح المعدن عندما ينكسر أو يفتت فى إتجاهات أخرى مختلفة عن مستويات الإنقسام والإنقسام . ويظهر المنكسر بوضوح فى المعادن التى لا تنقسم والتى لا يوجد بها مستويات إنقسام كما هو الحال فى بعض المواد غير المتبلورة .

ومن اليسير التفرقة بين سطح مستوي إتقسام و سطح مكسور في غير إنتظام .  
ويوصف مكسر المعدن بأنه :

١ - محارى Conchoidal : حيث يظهر سطح المعدن المكسور على هيئة خطوط مقوسة متراكزة تتسع وتلاشى تدريجياً كلما بعدت عن نقطة مركزية ، وتشبه تماماً خطوط النمو في المحارات ، أو الدوائر المتراكزة عند خبط الزجاج السميك ، مثل مكسر الكوارتز والفيليت . وأحياناً يظهر المكسر المحارى ضعيفاً فيوصف بأنه تحت محارى Subconchoidal .

ب - مستوى Even : يظهر سطح الكسر منتبهاً أو مستوياً مثل مكسر معدن تشيرت Chert : ( سيايكا مائية خفية التبلور ) .

ج - غير مستوى Uneven : سطح الكسر خشن غير مستوي نتيجة وجود بروزات أو تنوءات دقيقة كما هو الحال في معظم المعادن عند كسرها .

د - مسنن او مشط Hackly : يظهر السطح على هيئة أسنان حادة مثل مكسر النحاس .

هـ - ارضى Harthy : عندما يكون مظهر السطح المكسور غير منتظم مثل الطباشير والكاولين Kaoline .

## الوزن النوعي « الثقل النوعي »

الوزن النوعي هو نسبة وزن حجم معين من مادة ما إلى وزن حجم مسار له من الماء عند درجة ٤° مئوية ، وبعبارة أخرى هو نسبة كثافة المعدن إلى كثافة الماء . ويعتبر الوزن النوعي من الصفات الهامة والمميزة للمعدن وهو

ثابت القيمة للمعدن الواحد عند ثابت درجة الحرارة والتركيب الكيميائي .  
ويختلف الوزن النوعي إختلافاً يئناً في كثير من المعادن التي قد تتشابه فيما بينها ،  
في بعض صفاتها الطبيعية الأخرى ، فمثلاً يوجد تشابه كبير بين معدني سيلستيت  
( كبريتات سترونشيوم ) وباريت ( كبريتات باريوم ) ولكن يمكن  
تمييز أحدهما عن الآخر بوزنه النوعي وهو ٣٦٩٦ لمعدني سيلستيت ، ٤٥٥ لمعدن  
باريت . ويتوقف الوزن النوعي على التركيب الكيميائي للمعدن ،  
وليس أدل على ذلك من أن معادن الرصاص دائماً ثقيلة ( الوزن الذري  
للرصاص ٢٠٧ و ٢٢٢ ) ، وكذلك معادن الباريوم ( الوزن الذري للباريوم  
١٣٧ و ١٣٦ ) .

ولا يتوقف الوزن النوعي للمعدن على تركيبه الكيميائي فحسب ، بل  
كذلك على التركيب البلوري ، فيتغير تبعاً لطريقة رص الذرات المكونة له .  
فقد يكون الترتيب الذري للمعدن كثيفاً ، أي أن ذراته مترابطة في تقارب  
وأحكام في نظام مميز ، أو قد يكون غير كثيف الترتيب حيث توجد الذرات  
المكونة له في نظام رص متباعد ، فيتميز معدن الماس بوزن نوعي ( ٣٦٥ )  
أكبر من الوزن النوعي لمعدن الجرافيت ( ٢٦٢ ) مع العلم بأن التركيب الكيميائي  
لكليهما واحد ( عنصر الكربون ) إلا أنهما يختلفان في التركيب البلوري ،  
فهو نظام مكعب في معدن الماس ونظام سداسي في معدن الجرافيت .

تعيين الوزن النوعي للمعادن : يمكن تعيين الوزن النوعي للمعادن بطرق  
عديدة تتوقف على حجم وخواص المعدن . والفكرة الأساسية في كل من هذه  
الطرق هو أن النقص في وزن جسم ما عند غمره في الماء يساوي وزن الماء  
الزاح ، أي يساوي وزن حجم من الماء مساو لحجم الجزء المغمور من الجسم .

فلو فرض أن  $W =$  وزن الجسم في الهواء ، و  $w =$  وزن الجسم في الماء ،  
فإن التقص في وزن الجسم  $= W - w =$  وزن الماء المزاح ، ويصبح

$$\frac{W}{W - w} \text{ الوزن النوعي لهذا الجسم}$$

ولإيجاد الوزن النوعي لمعدن ما يجب التأكد من تقاوته وخلوه من الشوائب والتفجيرات الهوائية التي قد ينشأ عنها إختلاف الوزن النوعي للمعدن الواحد . وأهم الطرق المستعملة في تعيين الوزن النوعي هي :-

( ١ ) استخدام الميزان الكيميائي العادي وذلك في بعض العينات المتوسطة الحجم . وقد يستعان بنوع آخر من الموازين مثل ميزان « ووكر Walker steelyard » للعينات الكثيرة الحجم ، أو ميزان « جولي الزنبركي Jollys spring balance » للعينات الصغيرة .

( ٢ ) طريقة قينة الكثافة ( بيكوميتر Pycnometer ) للقطع الصغير من معادن الزينة . ويمكن استخدام طريقة مماثلة مبسطة لتقدير كمية الماء المزاح وذلك باستعمال مخبار مدرج .

( ٣ ) استخدام السوائل الثقيلة Heavy liquids ذات الوزن النوعي المعروف .

## الخواص الحرارية

خاصية الانصهار Fusibility : هي خاصية هامة ، ثابتة الدرجة ومميزة للمعدن الواحد إذا كان نقياً ، وتساعد كثيراً في التعرف على بعض المعادن .  
فينصهر ملح الطعام عند  $800^{\circ}C$  ، الفضة  $960^{\circ}$  ، الذهب  $1062^{\circ}$  ، الكوارتز

ما بين ١٦٥٠° — ١٧٠٠° والبلاطين ١٧٥٥° م . وبعض المعادن درجتي إنصهار مختلفتين مثل معدن الكبريت ، وبعضها الآخر يتحول مباشرة إلى غاز دون أن يمر بحالة الانصهار مثل الزرنيخ .

## الخواص المغناطيسية والكهربية والإشعاعية

الخواص المغناطيسية Magnetism : يتأثر كل من معدن ماجنيتيت ومعدن يروتيت ( البايريت المغناطيسي - كبريتيد الحديد ) Pyrrhotite بالقضيب المغناطيسي العادي ، وتجذب معظم المعادن الأخرى إلى المغناطيس الكهربى Elctromagnet بدرجات متفاوتة . وعادة ما تكون معادن الحديد مغناطيسية ولكن ليست هذه قاعدة ، فلا يجذب الهيايتيت مثلا إلى المغناطيس العادي ، وأحيانا تكون بعض المعادن التي لا تحتوي على عنصر الحديد مغناطيسية مثل معدن مونازيت ( فوسفات فلزات السيريوم ) Monazite . وقد تكون بعض المعادن ذات مغناطيسية تأثيره « دياماجنيتيك » Diamagnetic ، أى تتنافر مع المغناطيس إذا قربت منه ، وذلك لأن مثل هذه المعادن تتأثر بالمغناطيس فتكتسب مغناطيسية مشابهة له وتتنافر معه ، مثل معدن كوارتز ، زيركون . وقد تجذب بعض المعادن الأخرى للمغناطيس وتسمى هذه الحالة مغناطيسية حديدية « باراماجنيتيك » Paramagnetic مثل معدن ماجنيتيت . وعلى أساس الخاصية المغناطيسية يمكن فصل المعادن بواسطة مغناطيس كهربى ، فيمكن التحكم فى قوة المغناطيسية الكهربائية وتغييرها إلى درجات متفاوتة يسهل معها فصل المعادن ذات المغناطيسية المختلفة الدرجة ، كما هو المتبع مثلا فى تنقية معدن الماجنيتيت من الأبايت ، ومعدن المونازيت من ماجنيتيت وجارنت .

الخواص الكهربية Electricity : قد تتولد شحنات كهربية في بعض المعادن نتيجة للاحتكاك أو الحرارة أو الضغط . وتختلف درجة التكهرب باختلاف المعادن ، ويستغل هذا التفاوت في درجة التكهرب لفصل المعادن القابلة للتكهرب بطريقة التصنيف الكهروستاتيكي Electrostatic separation process وتتلخص هذه الطريقة في جعل المسحوق المجفف للخم يتساقط على اسطوانة حديدية مشحونة بالكهرباء أثناء دورانها ، فتكهرب مكونات الخمام بدرجات متفاوتة وبشحنات كهربية ممانلة لشحنة الاسطوانة الدائرة ، مما يجعل حبيبات الخمام تتأفر إلى أعلى بدرجات متفاوتة كذلك ( على هيئة رذاذ مطر أو « دش » مختلف الشدة ) يمكن معها إستقبال كل مجموعة متجانسة منفصلة على إنفراد .

وتعرف خاصية التكهرب الناتجة عن التسخين بالتكهرب الحرارى Pyroelectricity ، وتعرف خاصية التكهرب الناتجة عن الضغط بالتكهرب الضغطى Piezoelectricity ، وتولد في إتجاه المحور القطبي لبورات بعض المعادن مثل الكوارتز الذى يستخدم كثيراً في صناعة الأجهزة اللاسلكية .

الخواص الاشعاعية Radioactivity تمتاز بعض المعادن المحتوية على عناصر ذات وزن (عدد) ذرى عال باصدار اشعاعات غير مرئية Radiations or emanations تؤثر في لوح فوتوغرافى حساس من نوع معين ، ويمكن إظهار هذه التأثيرات - الإشعاعية بطرق معينة في تمييز اللوح الفوتوغرافى . وأهم العناصر المشعة هي اليورانيوم والثوريوم ، وأهم المعادن المشعة هي : بيتشبلند Pitchblend ، أوتونيت Autunite . مونازيت Monazite ، ثوريت Thorite ، كلونيت Carnotite .

ويمكن الكشف عن المعادن المشعة بواسطة أجهزة خاصة حساسة للإشعاعات التي تصدرها هذه المعادن ، حيث يمكن تحويلها إلى طاقة صوتية يمكن سماعها وتقدير قوتها بالعدد مثل (عداد جايجر) Geiger counter ، أو بأجهزة أخرى تحول هذه الإشعاعات إلى طاقة يمكن رؤيتها .

## التركيب الكيميائي للمعادن

يتكون المعدن إما من عنصر منفرد في حالة شبه نقية ويسمى معدن عنصري مثل الذهب والكبريت والجرافيت ، أو من عدة عناصر مختلفة متحدة حسب القوانين الكيميائية المعروفة ، فمثلا يتكون معدن بايريت من عنصري الحديد والكبريت بنسبه معينة ثابتة . وهناك بعض المعادن الممتزجة التركيب والتي تتكون من عدة عناصر يتشابه بعضها فيما بينها لدرجة تسمح بإحلال عنصر محل آخر مشابه له ، كما هو الحال في مجموعات المعادن المتشاكلة مثل مجموعة البلاجيو كلاز والأوليفين .

ويمكن التعبير عن التركيب الكيميائي للمعدن ، بالإستحاطة بالرموز الكيميائية في هيئة قانون مبسط . ويبين القانون الكيميائي نوع العناصر المكونة للمعدن وكذلك النسبة التي تتحد بها هذه العناصر مع بعضها ، بمعنى أنه يوضح النسبة بين الأوزان الذرية لجميع العناصر المكونة للمعدن ، فمثلا يعنى القانون الكيميائي لمعدن هاليت « ص كل » إتحاد ذرة من الصوديوم مع ذرة من الكلور ، أى إتحاد ٣٣.٠ جزءا وزنيا من الصوديوم مع ٣٥.٤٦ جزءا وزنيا من الكلور . ويعنى القانون الكيميائي لمعدن بايريت « ح ك ب » إتحاد ذرة من الحديد مع ذرتين من الكبريت ، أى أن ٥٥.٨٤ جزءا من الحديد يتحد مع  $2 \times 35.46 = 70.92$  جزءا وزنيا من الكبريت .



ويتطلب إستنتاج القانون الكيمياءى للمعدن معرفة الوزن الكمى لكل من العناصر المكونة لوزن معين وثابت منه - ( عادة ١٠٠ جزء وزنى ) - وبعبارة أخرى معرفة النسب المئوية لوزن كل من للعناصر المكونة للمعدن ، ثم تقسم هذه الأوزان النسبية لكل عنصر على الوزن الذرى الخاص به وذلك لتعيين نسبة عدد ذرات كل عنصر إلى الآخر . ثم يوضح القانون الكيمياءى للمعدن بواسطة الرموز الكيمياءية مع أبسط نسبة (أعداد صحيحة) لعدد ذرات كل من العناصر المكونة له . فلو أثبت التحليل الكيمياءى لمعدن بورنيت Bornite أن :—

التحليل النوعى Qualitative Analysis	نخ	ح	كب
التحليل الكمى Quantitative Analysis :	٩٣.٦٣٪	١.١٦٪	١.٢٥٪
الأوزان الذرية لهذه العناصر	٩٣.٦٧ :	٥٥.٨٤ :	٣٢.٠٦ :
نسبة الإتحاد	٠.٦٩٤٤ :	٠.٦١٩٨ :	٠.٧٧٩٢ :
النسبة المئوية للوزن	٥٦.٠٣ :	١٥.٠٠ :	٤٥.٠٠ :
وأبسط صورة لهذه النسبة	٥ :	١ :	٤ :
أى أن نسبة عدد الذرات			

أى أن هذا المعدن يتكون بإتحاد خمسة ذرات من النحاس (نخ) ، وذرة واحدة من الحديد (ح) مع أربعة ذرات من الكبريت (كب) ، ويوضح القانون الاوئى Empirical formula لمعدن بورنيت بالرمز (نخ ح كب ) ، وأحيانا يصعب تعيين العناصر المكونة للمعدن فى حالاتها المفردة ، وخاصة عند التحليل النوعى للمعادن ذات التركيب الكيمياءى المعقد ، وفى مثل هذه الحالات يستعان بتقديرات النسبة المئوية لأكاسيد العناصر المكونة للمعدن ثم قسم النسب المئوية على الأوزان الجزيئية لأكاسيدها لأستنتاج نسبة إتحاد الأكاسيد مع بعضها .

وأحيانا أخرى يزداد تعقيد التركيب الكيميائي للمعدن وخاصة في مجموعات المعادن المتشاكلة حيث يمكن إحلال عنصر محل آخر . وفي هذه الحالة يستعان بالنسب الثابتة لأوزان أكاسيد العناصر المكونة للمعدن ، والأوزان الجزيئية لها وإعتبار أكاسيد العناصر المتشابهة كأنها وحدة ، فمثلا أنهت متوسط التحليل الكيميائي لعينتين من معدن جارنت Gamet أن : -

التحليل النوعي :	س <sub>١</sub>	لو <sub>٢</sub>	ح <sub>٣</sub>	ح <sub>٤</sub>	ما	كا	م
التحليل الكمي % :	٣٨,٦٨	٢١,٥٢	٥,٥١	٣٠,٦٢	٤,٦٦	١,٩١	١,٤٢
الأوزان الجزيئية :	٦٠,١	١٠١,٩	١٥٩,٦	٧١,٨	٤٠,٣	٥٦,١	٧٠,٩
نسبة إتمعاد الأوكاسيد :	٠,٦٤٤	٠,٢٠٨	٠,٠٠٣	٠,٤٢٥	٠,١٤٢	٠,٠٣٤	٠,٠٢٠

٠,٦٤٤	:	٠,٢١١	:	٠,٦٢١	
رباعية التكافؤ	:	ثلاثية التكافؤ	:	ثنائية التكافؤ	
النسب الجزيئية :	٣٩٠٥	:	١٦٠٠	:	٢٥٩٤
وأبسط صورة لها :	٣	:	١	:	٣
ويصبح	٣ (س <sub>١</sub> )	(لو <sub>٢</sub> ح <sub>٣</sub> )	٣ (ح <sub>٤</sub> ما كا م)	١	
أو	(لو <sub>٢</sub> ح <sub>٣</sub> )	(ح <sub>٤</sub> ما كا م)	٣ (س <sub>١</sub> )	هو القانون	
الكيميائي لمعدن جارنت (عينه ألمانديت Almandite) :					

وتستخدم هذه الطرق الدقيقة لتعيين التركيب الكيميائي للمعدن غير المعروفة أو التي يصعب التعرف عليها بواسطة بعض الخواص الطبيعية الناتجة المميزة . وعادة ما يمكن الإستغناء عن جزء كبير من هذه التحليلات أو تسهيلها وذلك في حالة ما إذا أمكن التعرف على المعدن بواسطة خواصه الطبيعية الظاهرة ، مثل العسلادة ، البريق ، الوزن النوعي والأقسام ، إلى درجة تسمح

بتحديد مكانه أو وضعه بين أفراد قلائل من المعادن المتشابهة ظاهريا . ويمكن حينئذ إجراء بعض التجارب البسيطة السريعة لتحمين نوع العناصر الأساسية المكونة للمعدن . وقد تسبق هذه التجارب بعض المحاولات للاحظة ما إذا كان المعدن قابل للذوبان في الماء ، أو يتفاعل مع جامض مع حدوث فوران ، أو ما إذا كان ينصهر بسهولة أو بصعوبة ، ونوع الغاز المتصاعد عند التسخين ، أو إذا كان يغير لون اللهب ... الخ . وتتطلب هذه التجارب بعض الأجهزة البسيطة مثل مصباح بنزن ، أنبوبة قسح ، برزى ، Blowpipe ، مكعبات فحم Charcoal blocks ، ملقط Forceps ، أنابيب زجاجية ذات طرف واحد مفتوح أو مفتوحة الطرفين ، ساك بلاتين Platinum wire ، مطرقة أو شاكوش وبعض المواد الكيميائية .

## الكيمياء البلورية

من البديهي أن تتوقف صفات المادة على التركيب الكيميائي لها وأن هذه الصفات تتغير حسب تغير التركيب الكيميائي ، ولكن أحيانا توجد بعض معادن مختلفة إلى حد ما في جميع صفاتها ، سواء الطبيعية منها أو الكيميائية ، بالرغم من أنها ذات تركيب كيميائي واحد مثل الماس والجرانيت . والمعروف أن كل مركب كيميائي متبلور يتميز بنوع خاص وثابت من التركيب الذري البلوري Crystal Atomic Structure ، ومن هذا يمكن إستنتاج أن الخواص الكيميائية والطبيعية لبلورات المعادن لا تتوقف على التركيب الكيميائي فحسب بل كذلك على التركيب الذري البلوري . ويجوز أن يكون التركيب البلوري للمادة ما على ما يلي :

- ١) الترتيب الفراغى Space lattice للذرات أو الأيونات أو الجزيئات فيها.
- ٢) طريقة الرص Close packing أو درجة التقارب بين مكوناتها .
- ٣) قوى الرباط الكيميائي Chemical bonds بين مكوناتها .

ولا يتسع المجال هنا لدراسة التركيب الذري البلورى والخواص الكيميائية البلورية للمعادن ، ويمكن الإطلاع على بعض المراجع الأخرى المتخصصة\* فى هذا الموضوع .

## تصنيف المعادن

توجد عدة طرق مختلفة لتصنيف المعادن تعتمد كل منها على أسس معينة . وقد قدم العالم نيجلى Niggli التصنيف البلورى الكيميائى Crystal - chemistry classification الذى يعتمد على الخواص الكيميائية البلورية . أما العالم ريد Read فقد تقدم بطريقة ثانية لتصنيف المعادن إلى مجموعات تعتمد أولاً على القيمة الاقتصادية للعناصر الأساسية المكونة لها بالرغم مما قد يكون فيما بينها من تبادل بلورى أو كيميائى أو يئى ، ثم صنف أفراد هذه المجموعات على نظام معين متبعاً فى ذلك الترتيب الدورى للعناصر المكونة لهذه الأفراد، وهذا هو التصنيف الإقتصادى Economic chemical classification . والطريقة

---

١٠) زغلول ، م. ز. ، ١٩٦٥ - علم البلورات (طبعة ثانية) ، دار الحاسن للطباعة - القاهرة .

٢) - لى ، م. ح. ، ١٩٦٤ - علم المعادن (طبعة ثانية) ، مكتبة الانجلو المصرية - القاهرة .

٣) التناوى ، م. ح. ، ١٩٦٤ - مقدمة فى علم البلورات والمعادن والصخور (طبعة ثانية) دار المعارف .

الشائفة هي التصنيف الكيميائي chemical classification التي تقدم بها العالم الأمريكي ج. د. دانا J. D. Dana وهي التي تستخدم على نطاق واسع . وتعتمد هذه الطريقة على نوع الشق الحامض في تركيب المعادن، وبذلك أمكن تصنيفها إلى مجموعات مختلفة مثل الأكاسيد ، الهالوجينات (كلوريدات - فلوريدات) ، الكبريتيدات ، الكربونات، الكبريتات ، الفوسفات ، السيليكات. ومن أهم مميزات هذا التصنيف أن أفراد المجموعات التي تحتوي على شق حامض مشترك تتشابه فيما بينها تشابهاً كبيراً يفوق التشابه الذي قد يوجد بين أفراد المجموعات التي تحتوي على شق قاعدي مشترك، فمثلاً تتشابه أفراد مجموعة الكبريتات بدرجة أكبر من تشابه معادن الحديد أو النحاس فيما بينها ، وذلك لأن المجموعات الأنيونية Anionic groups (أ<sup>-</sup>، كل<sup>-</sup>، فل<sup>-</sup> ، (ك أ<sup>-</sup>) ، (ك ب أ<sup>-</sup>) ... ) أي الشق الحامض يتكون من عناصر كبيرة الحجم نسبياً ( ذات نصف قطر ذري كبير ) ويميل إلى التحكم في نظام التنبؤ أو طريقة رص الشرات في الترتيب الترامغى ، وبذلك يصبح هو المسؤول أساساً عن الخواص الكيميائية والبلورية للمعادن . وليس هذا فحسب ، بل أن أفراد المجموعات ذات الشق الحامض المشترك قد تتواجد في بيئات جيولوجية - أي ذات نشأ Paragenesis - متشابهة إن لم تكن موجودة ، فقد لوحظ أن المعادن الكبريتيدية تتكون مجتمعة مع بعضها في عروق رواسب المحاليل الحارة أو أثناء عملية التمايز في المرحلة الأولى من تصلد الصهير (مرحلة الصهير القوي) ، في حين تتكون أفراد المجموعات ذات الشق القاعدي المشترك تحت ظروف وبيئات جيولوجية عديدة مختلفة .

تصنف المعادن على أساس الشق الحامض المكون لها إلى أقسام تسمى « نظم » Classes ويحتوى كل نظام على مجموعات أصغر، مختلفة فيما بينها ولكنها

متشابهة في صفة مشتركة هي نوع الشق الحامصي وتسمى هذه المجموعات الصغيرة عائلات Families ، يتكون كل منها من أفراد مختلفة تسمى أنواع Species وقد تتشابه بعض أنواع العائلة الواحدة في صفاتها وتسمى حينئذ «مجموعة» Group أو «متسلسلات» Series. وتتكون النوع من عدة أصناف أو عينات Varieties مختلفة فيما بينها إلى حد ما ولكن تجمعها مع بعضها الصفات النوعية. وفيما يلي موجز مبسط لهذا التصنيف :

### ١) المعادن المتصلبة Native Minerals

أ - المعادن المتصلبة الفلزية Native Metals : مثل الذهب (ذ) والفضة (ف) والنحاس (نح) والبلاتين (بلا) .

ب - المعادن المتصلبة اللافلزية Native Non-metals : مثل الكبريت (كب) والماس (ك) والجرافيت (كك) .

٢) المعادن الكبريتيدية والأملاح الكبريتية Sulfides and Sulfosalts

أ - المعادن الكبريتيدية : أرجينيت (ف، كب) Argentite ،

كالكوسيت (نح، كب) Chalcocite ، بورنيت (نح، ح، كب، ب) Bornite ،

كالكوبايريت (نح، ح، كب، ب) Chalcopyrite ،

بايريت (ح، كب، ب) Pyrite (مكعب) ،

ماركازيت (ح، كب، ب) (معنى قائم) Marcasite ،

جالينا (ر، كب) Galena ، سفاليرت (نح، كب) Sphalerite ،

سابار (ي، كب) كبريتيد الزئبق Cinnabar ،

ريالجر (ز، كب) كبريتيد الزرنيخ Realger ،

- ‘ اوريمنت (زہ کبہ) Orpiment
- ‘ آرسنيوبايريت (ح ز کب) Arsenopyrite
- ‘ ستينيت (نتہ کبہ) Stibnite
- ‘ موليبدنيت (مو کبہ) Molybenite.

ب - الاملاح الكبريتية Sulfosalts : هي كبريتيدات مزدوجة تتكون  
باتحاد فلز وشبه فلز (الزرنينخ والانتيمون) مع الكبريت مثل معدن  
تراهيدريت (نخ، ح، خ، ف) فتہ کبہ Tetrahedrite

### (٣) معادن الاكاسيد Oxides

#### ١ - اكاسيد فلزات لامائية Non-hydrated Metal Oxides :-

- ‘ ماجنيٹيت (ح ١ہ) Magnetite
- ‘ ھيماتيت (ح ٢ہ) Hematite
- ‘ کروميت (ح کر ٢ہ) Chromite
- ‘ الينيت (ح تي ١ہ) Ilmenite
- ‘ کوبريت (نخ ١ہ) Cuprite
- ‘ زنکيت (خ ١) Zincite
- ‘ کوراندوم (لوہ ١ہ) Corundum
- ‘ روتيل (تي ١ہ) Rutile
- ‘ کاسيتريت (ق ١ہ) Cassiterite
- ‘ پيروانينيت (يو ١ہ) Uraninite
- ‘ پيرولوکسيت (م ١ہ) Pyrolusite

ا - اکاسيد سيلکون (س ١ہ) مثل کوارتز Quartz

#### ب - اکاسيد فلزات مائية Hydrated Metal Oxides :

جوھيت (ح ١ہ - بدہ ١) Goethite

مانجانيت (م ١ہ - بدہ ١) Manganite

ا - اکاسيد سيلکون مائية (س ١ہ - بدہ ١) مثل اوبال Opal .

٤ ( معادن الهالوجينات ( الهاليدات ) Haloids

هاليت ( ص كل ) Halite ، فلوريت ( كال فل ٢ ) Flourite ، كربوليت  
( ص ٣ لو فل ٦ ) Cryolite .

٥ ( معادن الكربونات والنترات والبورات

أ - الكربونات Carbonates مثل مجموعة الكالسيت ( ثلاثي ) :

كالسيت ( كال ١ ) Calcite ، دولوميت - كاما ( كال ١ ) Dolomite  
ماجيزيت ( ما ١ ) Magnesite ، سيدبريت ( ح ١ ) Sidrite  
مجموعة أراجونيت ( معنى قائم ) :

أراجونيت ( كال ١ ) Aragonite ، وينديريت ( با ١ ) Witherite  
سترونشيانيت ( ست ١ ) Strontianite  
سيروسيت ( ر ١ ) Cerussite

مجموعة المالاكيت ( أحادي الميل )

مالاكييت نح ١ - ( بد ١ ) Malachite  
أزوريت نح ٢ - ( كال ١ ) - ( بد ١ ) Azurite

ب - النترات Nitrates: مثل نتر الصودا ( ص ١ ) Soda Niter .  
ج - البورات Borates : مثل كوليمايت ( كال ٦ - ١١ - ٥ بد ١ )  
Colemanite ، كيرنيت ( ص ٢ - ٧ - ٤ بد ١ ) Kernite ، بوراكس  
( ص ٢ - ٧ - ١٠ - ١٠ بد ١ ) Borax .



٦) معادن الكبريتات - الكرومات - الموليبدات - التنجستات

١ - معادن الكبريتات Sulphates :

كبريتات لامائية (مجموعة الباريث - فصيلة المعيني المتعامد) :-

أنهيدريت (كا ك ب ا<sub>٤</sub>) ، Anhydrite ، سيليسيت (ست ك ب ا<sub>٤</sub>) ، Celestite ،

باريت (با ك ب ا<sub>٤</sub>) ، Barite ، أنجليزيت (ر ك ب ا<sub>٤</sub>) ، Anglesite .

كبريتات مائية Hydrus Sulphates :

جبس (كا ك ب ا<sub>٤</sub> - ٢ يد ا<sub>٤</sub>) Gypsum

كالكانثيت (نخ ك ب ا<sub>٤</sub> - ٥ يد ا<sub>٤</sub>) Chalcantbite

ملانثيريت (ح ك ب ا<sub>٤</sub> - ٧ يد ا<sub>٤</sub>) Melanterite

إبسوميت (ما ك ب ا<sub>٤</sub> - ٧ يد ا<sub>٤</sub>) Epsomite

ب - معادن الكرومات Chromates : مثل كروم كوبزيت (ر ك ا<sub>٤</sub>)

. Crocoisite

ح - معادن الموليبدات Molybdates : مثل وولفيثيت (ر م و ا<sub>٤</sub>)

. Wulfenite

و - معادن التنجستات Tungstate : مثل ولفراميت (ح ، م ، ن ا<sub>٤</sub>) ،

• Scheelite ، وولفراميت (كا تن ا<sub>٤</sub>) ، Wolframite

٧) معادن الفوسفات - الزرنيخات - الفانادات

١ - معادن الفوسفات Phosphates : مونازيت (سر ، لن ، نو) ، فوا ا<sub>٤</sub>

، Monazite ، أبانيت كا (فل ، كل ، يدا) (فوا ا<sub>٤</sub>) ، Apatite ، توركواز

نخ لو ا<sub>٤</sub> (فوا ا<sub>٤</sub>) ، ٨ يدا - ٤ يدا ١ ، Turquois ، توربيريت نخ (يو ا<sub>٤</sub>) ،

(فوا ا<sub>٤</sub>) ، ٨ + ١٢ يدا ١ ، Torbernite ، أوتونيت كا (يو ا<sub>٤</sub>) ،

• Autunite (فوا ا<sub>٤</sub>) ، ٨ + ١٢ يدا ١

ب - معادن الفانادات : Vanadates فانادينيت (كل (٢) (١) Vanadinite

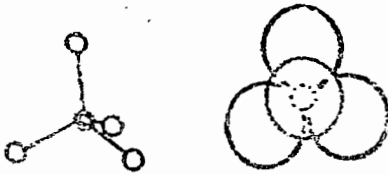
كارنوتيت ب (١) (٢) (٣) بد (١) Carnotite + ٣ بد (١)

١ (٨) معادن السيليكات Silicates

تتكون هذه المعادن من وحدة (س ا) - في هيئة رباعي الأوجه ، مكونة من ذرة سيليكون في المركز وتيحيط بها أربع ذرات من الأكسجين في كل من الأركان الأربعة لشكل رباعي الأوجه . وبارتباط هذه الوحدة مع وحدة أخرى أو أكثر تنتج أنواع مختلفة من السيليكات .-

١) مجموعة رباعي الأوجه المستقلة (س ا) - Independent

tetrahedral group : تتكون بلورات هذه المعادن من وحدات (س ا) (شكل ١٨) مرتبطة ببعضها بواسطة كاتيونات أخرى مثل الماغنسيوم والحديد ، ومن أمثلة هذه المعادن :-



وحدة رباعي الأوجه  
(س ا) - ٤

(شكل ١٨)

أوليفين (ماء ح) (٢) س ا

Olivine ، جارت (سيليكات

أيونات ثنائية وثلاثية التكافؤ)

Garnet ، زيروكون (كن س ا)

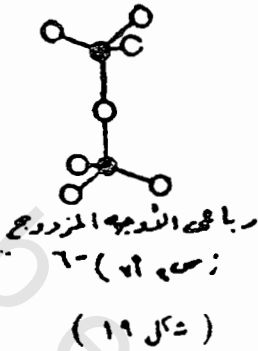
Zircon ، توباز (لوم (قل ، بد) (٢)

س ا) Topaz ، أندالوسيت

Andalusite (لوم س ا) ، سيلمانيت (لوم س ا) Sillimanite

كياينيت (لوم س ا) Kyanite ، شوروليت (لوم (ح ، بد) (لوم س ا) (١٢)

Stanrolite ، سفين (كاتي س ا) Sphene



(٢) مجموعة رباعي الأوجه المزدوجة :

double tetrahedral group  $(\text{Si}_4\text{O}_{10})^{6-}$

تتكون أفراد هذه المجموعة بإشتراك وحدتين من  $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{4-}$  في ذرة أكسجين (شكل ١٩) وتتكرر هذه الوحدة المزدوجة بإرتباطها بواسطة كاتيونات أخرى كما في معدن

هيميمورفيت خ، (يدأ)،  $\text{Si}_4\text{O}_{10}$  - يدأ Hemimorphite .

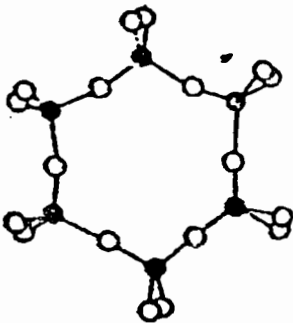
(٣) مجموعة رباعي الأوجه الختية Ring Structure :

أ - حلقة ثلاثية Trigonal Ring  $(\text{Si}_3\text{O}_6)^{3-}$  وتتكون بإشتراك ثلاث

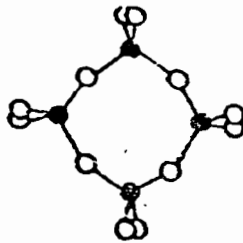
وحدات  $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{4-}$  شكل (١٩ - ١) مثل معدن :

بنيتويت بائي  $(\text{Si}_3\text{O}_6)^{3-}$  Benitotite ، رودونيت  $(\text{Si}_3\text{O}_6)^{3-}$  Rhodonite

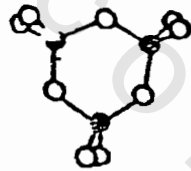
ولاستونيت  $(\text{Si}_3\text{O}_6)^{3-}$  Wallastonite .



حلقة سداسية  
 $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{12-}$



حلقة رباعية  
 $(\text{Si}_4\text{O}_{12})^{8-}$



حلقة ثنائية  
 $(\text{Si}_3\text{O}_9)^{6-}$

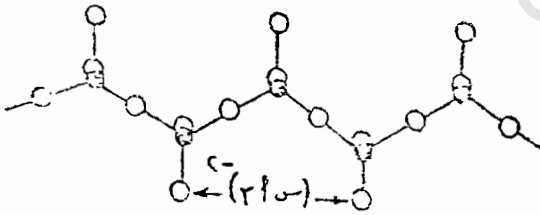
(شكل ٢٠)

ب - حلقة سداسية Hexagonal Ring (س ١٦) : تتكون أفراد هذه المجموعة من ترابط ست وحدات (س ١٦) شكل (٧٠ - ح) تراص في هيئة حلقات فوق بعضها في أعمدة ، وترابط هذه الحلقات ببعضها بواسطة كاتيونات أخرى ، مثل :

معدن بيريل (بل ١٦ لو ١٦ س ١٨) Beryl ، تورمالين (سيليكات البورون والالومنيوم + س ١٦ ح ، ما ، ليثيوم) Tourmaline ، كورديريت (ما ١٦ لو ١٦ س ١٨) Cordierite .

٤ ( مجموعة رباعى الأوجه السطوية Chain Structure وتشمل :-

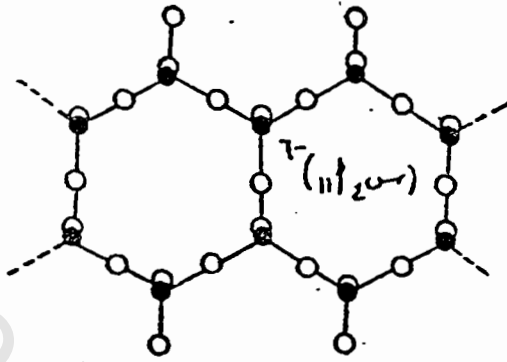
أ - تراكيب سلمية مفردة (شكل ٢١) Single Chain (س ١٦) : كما في معادن البيروكسينات Pyroxenes مثل : أنستات (مناس ١٦) Enstatite ، هيرثين (ما ، ح) س ١٦ Hyperthene ، هايوبسيد (كا ، ما) Diopside ، أوجيت (ما ، ح ، لو) (لو ، س) Augite .



سلسلة مفردة

( شكل ٢١ )

ب - تراكيب سلمية مزدوجة (س ١٦) Double Chain :



سلسلة مزدوجة

( شكل ٢٢ )

وتنتج من ترابط سلسلتين باقتسام ذرات الأكسجين بينهما عند مسافات منتظمة ( شكل ٢٢ ) كما في معادن الأمفيبولات Amphiboles مثل تريموليت

كما ما  $Si_8O_{22}$  ( يدا ) Tremolite ، هورنبلند ( سيليكات معقدة  
 • Hornblende ( ماء يدا )

ح - تراكيب سلسلية رباعية Quadriple Chain . تتكون من ترابط

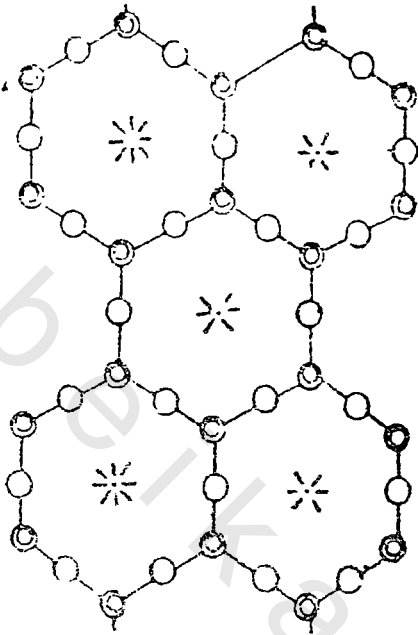
أربعة سلاسل باقتسام ذرات الأكسجين بينها مثل معدن إبيدوت كما ( لو، ح )  
 • Epidote ( يدا )  $Si_3O_{11}$

هـ ( مجموعة رباعيات الأوجه الصفائحية ) Sheet Structure : تتكون

من إرتباط وحدات ( س ا ) عند ثلاثة أركان من كل منها وتمتد في إتجاهين

في إتجاهين آخرين كإحدى هياكل صفائح لانهائية Endless Sheets ( س ا ) - ١

( شكل ٢٣ ) وتشمل :



تركيب صفاحي (س ١٩) ٢

(شكل ٢٣)

١ - معادن الميكا

- ماسكوفيت  $١٠$  س،  $٣$  لو،  $٣$  ا،  $١$  (يدا)  $١$
- Muscovite ، بابوتيت بو (ما، ح)  $٣$
- Eiotite  $١٠$  (يدا)  $٢$  لو،  $٣$  ا

ب - معادن الكلوريت .

- كلوريت (ما، ح)  $١$ ، (لو، ح)  $٢$
- Chlorite  $٨$  (يدا)  $١٠$  س،  $٣$  ا،  $٨$  سر بنتين
- Serpentine  $٨$  (يدا)  $١٠$  س،  $٤$  ا

ج - معادن التالك .

- Talc  $٨$  (يدا)  $١٠$  س،  $٣$  ا

د - المعادن الطينية مثل كاولينيت لو، س، ا،  $١٠$  (يدا)  $٨$  Kaolinite

٦) مجموعة رباعي الأوجه الشبكي ذو الأبعاد الثلاثة Three-dimensional

Network : تتكون أفراد هذه المجموعة نتيجة إرتباط رباعيات الأوجه (س ١) بعضها ببعض عند أركانها الأربعة (شكل ٢٤) ، بمعنى أن كل ذرة أكسجين تقسم بين إثنين من وحدات رباعيات الأوجه وتكون نسبة السيليكون للأكسجين فيها (٢ : ١) ورمز التركيب (س ٣)  $٢$  وتتشكل هذه المجموعة .

١ - أكاسيد السيليكون (س ١) مثل معدن كوارتز Quartz

- Cristoblite و Tridimite و كروستوباليت

## ب - معادن الفلسبارات

Felspars ومنها :

### ١١ فلسبارات بوتاسية

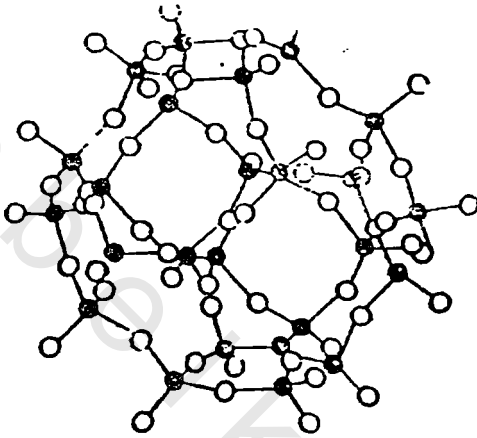
مثل Potash Felspaas :

أرتوكلاز بولوس  $٨٣$   $٨١$

Orthoclase (أحادي الميل) ،

ميكروكلين بولوس  $٨٣$   $٨١$

Microcline (ثلاثي الميل) .



تركيب شبكي (٨٣ ٨١)  $٨٣$

(شكل ٢٤)

٢) فلسبارات بلاجيوكلازية (فلسبارات الكالسيوم والصوديوم)

مثل - أنورثيت كالوس  $٨٣$   $٨١$  Anorthite ، بايتونيت Bytownite ،

لابرادوريت Labradorite أنديزين Andisine ، أوليجوكلاز Oligoclase ،

ألبيت آلوس  $٨٣$   $٨١$  Albite .

ج - معادن فلسباتويدز Felspathoids : ونسبه الفلسبارات إلا أنها

أفقر منها في كمية السيليكا مثل لوسيت بولوس  $٨٣$   $٨١$  Leucite .

د - معادن الزبوليت Zeolites : وهي سيليكات الألومنيوم والصوديوم

وتحتوى على نسبة كبيرة من الماء .

## الرواسب المعدنية

### أصل المعادن وتجمعاتها وظهورها في الطبيعة

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

تختلف المعادن اختلافاً بينا يتوقف على أصلها ، فبعضها من معهور صخري « صهير أو ماجما Magma » وبعضها من محاليل ، وقد ينشأ البعض الآخر من أصل غازي ، أو من مادة صلبة سبق تكوينها ثم اضطرت إلى التغير أو التحول نتيجة لتغير الظروف الطبيعية المحيطة بها . وتتكون المعادن في تجمعات طبيعية مميزة تدل دلالة واضحة على أصلها وكيفية نشأتها ، فالمعادن المكونة لإحدى التجمعات مرتبطة ببعضها إرتباطاً وثيقاً في أصلها وبيئتها ، وغالباً ما تعبر تعبيراً صادقاً عن نشأتها من أصل واحد ، أى من مكونات متشابهة العناصر ، بل تعبر كذلك عن ظروف بيئية أى ظروف نشأة واحدة ، فمثلاً يدل تجمع معادن أباتيت ، فلوريت ، توباز ، تورمالين على أنها نشأت من أصل يحتوي على عناصر الثوسفور والبورون والفلور والكلور ، وأنها تكونت تحت درجة عالية من الحرارة والضغط ، فى حين أن تجمعاتها من معادن الكبريتيدات مثل بايريت ، ستينيت (نتم كـ) Stibnite وأرجينيت (فـ كـ) Argentite تدل دلالة قاطعة على أنها نشأت من أصل يحتوي على عنصر الكبريت بجانب عناصر أخرى ، تحت ظروف متوسطة من الحرارة والضغط . وتتكون الرواسب المعدنية بطرق مختلفة أهمها ما يلي .



## تكون المعادن من الصهير أو الحمم

الصحير عبارة عن سائل صخري منصهر ، معقد التركيب ، تقييل القوام ولزج لدرجة تسمح بحرك العناصر المكونة له بحرية في درجات الحرارة العالية ، ويوجد على أعماق بعيدة تحت سطح القشرة الأرضية . وأما الحمم أو اللافا Lava فهي سائل صخري منصهر يظهر على سطح الأرض متدفقا من فوهات البراكين الثائرة . ويتوقف نوع المعادن الناتجة من الصهير على تركيبه الكيميائي . ويتكون الصهير بصفة عامة من :

( ١ ) مكونات غير طيارة Non-volatile constituents ذات درجة إنصهار عالية تزيد على  $1000^{\circ}\text{C}$  ، وتتكون ٩٩ ٪ من هذه المواد من أكاسيد سبعة : أحدها حمض وهو ثاني أكسيد السيليكون (  $\text{SiO}_2$  ) ويوجد بنسبة عالية جداً تتراوح ما بين ٣٥ ٪ إلى ٧٥ ٪ من مجموع المكونات غير الطيارة . وأما باقي الأكاسيد فهي قاعدية وتشمل أكسيد الألومنيوم (  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ) ، صفر - ٢٥ ٪ ) وأكاسيد الحديد وزواحدبديك (  $\text{FeO}$  ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ، صفر - ٢٠ ٪ ) وأكسيد الماغنسيوم (  $\text{MgO}$  ، صفر - ٤٥ ٪ ) وأكسيد الكالسيوم (  $\text{CaO}$  ، صفر - ٢٠ ٪ ) وأكسيد الصوديوم (  $\text{Na}_2\text{O}$  ، صفر - ١٦ ٪ ) وأكسيد البوتاسيوم (  $\text{K}_2\text{O}$  ، صفر - ١٢ ٪ ) . ولا توجد كل هذه الأكاسيد مجتمعة في كل ما جما ، فالصهير الغني بالسيليكا والألوينا والقلويات « صوديوم - بوتاسيوم » عادة ما يكون فقيراً في أكاسيد الكالسيوم والماغنسيوم والحديد . وتكثر الأكاسيد الثلاثة الأخيرة في الصهير الفقير في السيليكا والألوينا والقلويات .

( ٢ ) مكونات طيارة Volatile constituents : مثل الفلور ، الكلور ،

البورون ، الكبريت ، بخار الماء وثاني أكسيد الكربون ، وتوجد بكميات ضئيلة جداً في أنواع الصهير المختلفة ، ولكن قد تزداد كمياتها نتيجة تركيزها أثناء تصلد الصهير . وهذه المواد الطيارة ذات أهمية بالغة في تكوين الركام «خامات المعادن Mineral ores» . وتكون المواد الطيارة مع بعض المواد غير الطيارة الأخرى الثانوية ما يعادل ١٪ فقط من الصهير .

عند ما يبرد الصهير يبدأ في التصلد والتبلور بإتجاه واحد أو أكثر من الأكاسيد القاعدية مع السيليكات الحمضية تحت ظروف مناسبة من الحرارة والضغط ليكون معادن السيليكات . ويتوقف نوع معادن السيليكات الناتجة على تركيب الصهير ، فذلك الغنى أصلاً بالسليكا والألومينا والقلويات يكون معادن الفلسبارات والكوارتز والماسكوفيت ، بينما تنتج المعادن الحديدية ومغنيسية مثل الأوليفين ، البيروكسينات ، الأمفيبولات والبايوتيت من صهير غني أصلاً في السيليكات وأكاسيد الماغنسيوم والحديد والكالسيوم ، أما الصهير الغني بالقلويات النقية في السيليكات فإنه يعطى معادن ذات نسبة عالية من القلويات تسمى المعادن الفلزية Felspathoids مثل نيفلين (مس لوس أ) ، Nepheline ، لوسيت (بولوس أ) ، Leucite .

### تصلد الصهير

يتصلد الصهير في مراحل مختلفة كما يلي :

١) مرحلة الصهير القوي Orthomagmatic stage : وتبدأ بعملية انزعال أو تمايز Segregation لبعض الفلزات ، والأكاسيد الفلزية وبعض الكبريتيدات الفلزية الصعبة الذوبان أو الامتزاج في الصهير . ويتبع عن عملية التمايز تركيز المواد ذات الأهمية الاقتصادية في رواسب معدنية تحتوي على

الفلزات مثل الذهب والبلاتين ، والأوكاسيد مثل معدن ماجنيتيت ، البينيت ( ح تي ا١ ) ، كروميت ( ح ك ر ا١ ) ، والكبريتيدات مثل معدن الكوباليت ( ن ح ك ب ) ، ومعدن بيرويت ( ح ك ب ) . Gyrthotite وتسمى هذه المعادن مادة بالمعادن الاضافية Accessory minerals حيث أنها تكون جزءاً صغير جداً بالنسبة لكثافة الصهير ، وتسمى المعادن السيليكاتية معدن أساسية Essential minerals لأنها تكون ما يتقرب من ٩٩ ٪ من الصهير . وبانخفاض درجة حرارة الصهير تبدأ المعادن الأساسية في التبلور حسب نظام معين :

فتبلور أولاً المعادن القاعدية ، الفقيرة في السيليكات وذلك لأنها أقل ذوباناً من غيرها ، ثم تليها المعادن الأقل قاعدية المحتوية على نسبة كبيرة من السيليكات ثم الأكثر حمضية التي تحتوى على نسبة قليلة من العناصر القاعدية . وتعرف هذه العمليات الإلتفالية لمعادن السيليكات أثناء تصلبد الصهير بالتبلور التوعى Fractional crystallization أو التبلور العجزبئى Crystallization differentiation

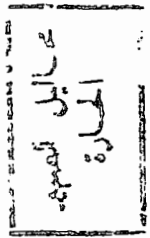
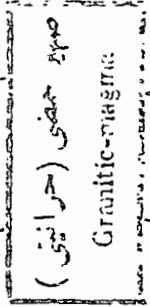
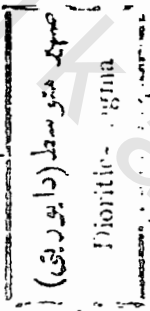
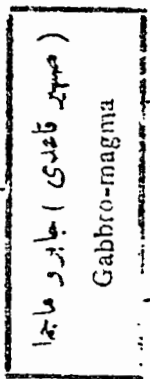
( شكل ٢٥ ) فمثلاً عند تصلبد صهير متوسط التركيب تبدأ معادن السيليكات الحديدية ومفتيسية Femic - المحتوية على نسبة عالية من عناصر الماغنسيوم والحديد - في التبلور مثل معادن مجموعة الأوليفين ( سيليكات الحديد والماغنسيوم ) ، تليها معادن الفلسبارات البلاجيوكلازية ، وتبدأ هذه بالمعادن الغنية بالكالسيوم «أنورثيت» وهو أكثر قاعدية من البلاجيوكلاز الصوديومى ، ثم تدرج إلى المعادن البلاجيوكلازية الفقيرة في الكالسيوم والغنية في الصوديوم ( أليت ) . وقد تترسب في نفس الوقت معادن

البيروكسينات وهي سيليكات الألومنيوم والمغنسيوم والحديد والكالسيوم مثل أنستاتيت Enstatite ومعادن أرجيت ، ثم تلي البيروكسينات في عملية التبلور النوعي معادن الأمفيولات وهي سيليكات الألومنيوم والكالسيوم والحديد والمغنسيوم والماء ( أهدروكسيد ) مثل معدن هورنبلند . ويتبع ذلك معادن الميك مبتدئة بمعدن الميكا السوداء المحتوية على حديد ومغنسيوم مثل بايوتيت ( سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم والحديد والمغنسيوم والماء ) ثم الميكا البيضاء الخالية من الحديد والمغنسيوم مثل ماسكوفيت ( سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم والماء ) . وفي ذلك الوقت الذي تنفذ فيه كمية العناصر القاعدية ( المغنسيوم والحديد والكالسيوم ) من الصهير تبدأ المعادن الأقل قاعدية ، الخالية من هذه العناصر والمحتوية على التلويات ( الصوديوم والبوتاسيوم ) ، في التبلور ، فتبدأ بالبلاجيوكلاز الصوديومي مثل أوليجوكلاز وأليت ( سيليكات الألومنيوم والصوديوم ) ثم معادن التلسبارت البوتاسية مثل معدن أرنوكلاز وميكروكلين ( سيليكات ألومنيوم وبوتاسيوم ) . ويصبح الصهير بعد ذلك خاليا من كل أكاسيد العناصر القاعدية فتزداد درجة الحموضة نسبيا بازدياد السيليكات ويبدأ معدن الكوارتز في التبلور . وبانتهاء مرحلة الصهير القوي - التي يتم فيها تمايز بعض التلزات وأكاسيدها وكبريتيداتها ، ثم انفصال بقية المواد غير الطيارة بالتبلور النوعي - يصبح الصهير المتبقي غنيا في المكونات الطيارة ، والمواد الصاهرة Fluxes . وتتكون المواد المختلفة عن المرحلة الأولى من جزئين : جزء سائل أقل لزوجة عن المرحلة السابقة ويعرف بالمرحلة اليجماتيتية Pegmatetic stage ، أما الجزء الآخر فيشمل الغازات والأبخرة والمواد الطيارة ويكون المرحلة الغازية Pneumatolytic stage .

معادن خفيفة:  
« سيليكية »

بلاجيو كلاز قاعدى  
أنورثيت / لابرادوريت

أرتو كلاز  
أوليغو كلاز / كوارتز



معادن ثقيلة:  
(حديد و ماغنيسية)

أولينين  
بيروكسينات

بيروكسينات أمفيولات

أمفيولات  
بيوتيت

معادن إضافية  
(غير السيليكات)

(شكل ٢٥) شكل تخطيطى بوضع فكرة التطور النوعى للصهير المختلف التركيب

(٢) المرحلة البيجمايتية : يتكون الصهير في هذه المرحلة من الجزء السائل الذي يزداد فيه تركيز بعض العناصر الاضافية ( غير الأساسية بالنسبة للصهير كله ) التي تشترك في تكوين بعض المعادن القيمة . ويؤدى اغتناء هذا الجزء السائل بالمواد الصادرة إلى نمو بلورات المعادن في هذه المرحلة إلى أحجام كبيرة تسمح باستغلالها . وتسمح درجة سيولة الصهير في هذه المرحلة بحرية التحرك لمكوناته ، إذ غالباً ما يغزو السائل البيجمايتى الفراغات والشقوق ويتسرب بين مستويات الكسور إلى الصخور المحيطه به - وقد يتسرب إلى مسافات بعيدة - حيث تقل درجة حرارته وتبدأ مكوناته في التبلور ببطء ، فنتمو بذلك بلورات ذات حجم كبير لمعادن ذات قيمة اقتصادية مثل الفلسبار والكوارتز والميكا ومعادن الزينة مثل العوباز (الزمرد) والابايت والتورمالين.

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

١- معادن كاسيتريت (ق ١٠) ، ولفراميت ( تنجسعات الجديدوز (ج ٢) ) فن  $Wolframite$  - يتفاعل الفلور ( أحد المكونات الطيارة للصهير ) مع القصدير مكوناً فلوريد القصدير ( ق فل ) ، وهذه مادة طيارة سهلة التسرب والهروب من الصهير ، ثم تتفاعل مع الماء فى درجة حرارة منخفضة ويتبع

عن هذه التفاعل أكسيد القصدير ( معدن الكاسيتريت ) وحامض فلورودريك ( يد قل ) الذي يتفاعل بدوره مع الصخور الجيوية المجاورة ليكون فلوريد الكالسيوم وهو معدن فلوريت ، ولهذا غالبا ما يوجد معدن الكاسيتريت مصحوبا بمعدن الفلوريت أو مجاورا له .

ب - معادن التيتانيوم : يتفاعل غاز الكلور مع التيتانيوم الذي قد يتواجد في الصهير فينتج كلوريد التيتانيوم ( تي كل ) الطينار الذي يتفاعل مع الماء وينتج عنه حامض كلورودريك وأكسيد التيتانيوم ( تي أ ) مثل معادن الروتيل ، أناتاز ، بروكيت .

ج - معادن الفوسفور : مثل أبانيت ( فوسفات و كلوريد أو فلوريد الكالسيوم ) ، والمعادن الحاوية للبورون مثل معدن تورمالين ( بوروسيليكات الألومنيوم والحديد والماغنسيوم والكالسيوم ) ، والمعادن الحاوية للفلور مثل توباز ( فلوروسيليكات الألومنيوم ) . ومن المجدير بالذكر أن بعض الغازات الخطيرة قد تتصاعد من فوهات البراكين النائرة وقت انفجارها فلا تلبث أن تبرد وتتجمد بسرعة نتيجة الانخفاض المفاجئ . في درجة الحرارة والضغط الواقع عليها فتترسب مباشرة حول فوهات البراكين حيث توجد معادن الكبريت وأحيانا هاليت وملح الأمونيا ( ن يد كل ) Sal-ammoniac ، وحامض البوريك .

٤ ) مرحلة المحاليل المائية الحارة Hydrothermal stage : وهذه آخر

مرحلة في تملك الصهير حيث يصبح الجزء المتبقى منه محلولاً مائياً حاراً جداً ذا نشاط كيميائي كبير ، ولذلك فهو قادر على إذابة وحمل معظم المركبات الغريبة ذات القيمة الاقتصادية . وترسب هذه المحاليل الحارة بما تحملها عبر

للشقوق والفواصل والفجوات وقد تصل إلى مسافات بعيدة عن مصدرها ،  
وهناك تبدأ في تفرغ نحتها وترسيب ، إذ تحمله من محاليل معدنية مختلفة نتيجة  
للبرودة وانخفاض الضغط الواقع عليهما . وترسب أولا المعادن القليلة الذوبان ،  
في هذه المحاليل الجارية ثم تدوم المعادن الأكثر قابلية الذوبان ، ويتوقف ذلك  
إلى حد كبير على درجة حرارة المحلول ، والضغط الواقع عليه أثناء الترسيب .  
وعلى هذا الأساس يمكن تسمية الرواسب المعدنية من المحاليل الجارية إلى ثلاثة  
أنواع معيابة :

أ - رواسب عالية الحرارة Hydrothermal deposits : ترسب من محاليل  
جارية درجة حرارة عالية تتراوح بين ٥٠٠ - ٣٠٠ م° وتحت ضغط كبير ،  
بمعنى أنها ترسب على أعماق بعيدة من سطح الأرض . ومن أمثلة المعادن التي  
تتكون تحت هذه الظروف : وانرايميت ، بوليدينيت ( موكب )  
Molybdenite ، كاسيتريت ، جارت ، توباز ومعدن أباتيت .

ب - رواسب متوسطة الحرارة Mesothermal deposits : وتتج من  
محاليل متوسطة الحرارة ، تتراوح بين ٣٠٠ - ٢٠٠ م° وتوجد على عمق متوسط  
من سطح الأرض حيث الضغط المتوسط . وأهم المعادن التي تتكون من  
المحاليل المتوسطة الحرارة هي : كبريتيدات الفلزات مثل كالكوبايريت  
( نح ح ك ب ) ، وسفاليريت ( خ ك ب ) ، جالينا ( ر ك ب ) ، أرسينوبايريت  
( ح ز ك ب ) كبريتيد الحديد والزرنيخ Arsenopyrite ، تراهيدريت  
( نح ، ح ، خ ، ف ) ،  $١٢$   $١٣$  ك ب ، كبريتيد الأنثيمون والنحاس والحديد  
والزنك والفضة Tetrahedrite . ومن الكبريتات معدن باريت ( با ك ب )  
ومن الكربونات معدن الكالسيت .



حـب رواسب منخفضة الحرارة Epithermal deposits : تترسب من محاليل ذات درجة حرارة منخفضة ٢٠٠ - ٥٠٠ م° وتحت ضغط أقل من المتوسط بمعنى أنها تترسب قريبا نسبيا من سطح الأرض . ومن أمثلة المعادن التي تكون الرواسب المنخفضة الحرارة السنيبار ( كبريتيد الزئبق ) Cinnabar ، ستيفيت ( نت<sub>٢</sub> ك<sub>٢</sub> ) ، ماركازيت ( ح ك<sub>٢</sub> ) . ومن الكروونات معدن كالسيت ومن الهالوجينات معدن فلوريت ومن السيليكامعدن كوارتز وأوبال .

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

ويعزى التحول السائلي إلى أن بعض الصخور تؤثر بإختيار الطرز القاعدى الذائب في المحاليل الجارية إذا كانت قابليته كبيرة للشق الحمضى الموجود في هذه الصخور ، أو العكس بأن تكون قابلية الشق الحمضى الموجود في المحاليل تتوافق مع الشق القاعدى في الصخور التي تمر بها . ومن أمثلة التحول السائلي تكوين رواسب الحديد في كينفلاند بأمريكا ، حيث حلت كربونات الحديد ( ح ك<sub>٢</sub> ) محل كربونات الكالسيوم ( ك ك<sub>٢</sub> ) نتيجة إحلال عنصر الحديد

من المحاليل الجارية محل عنصر الكالسيوم في الصخور الجيرية مما أدى إلى تكوين معدن سيديريت ، محتفظا بجزء كبير من المظاهر الخارجية للصخور الجيرية الأصاية وكذلك أشكال بعض الحفريات التي كانت موجودة فيها ، أى أن معدن السيديريت يظهر في هذه الحالة في شكل كاذب Pseudomorph لكربونات الكالسيوم . وكذلك يبدو الخشب السيليسي Silicified wood (بالغابة المتحجرة بالقرب من القاهرة) نتيجة إحلل السيليكات محل المواد السيلولوزية المكونة للخشب ، وذلك بواسطة محاليل الصهير الجارية المحملة بثاني أكسيد السيليكون ، مع احتفاظ الخشب بشكله ومظهره الخارجى (ظاهرة الخداع الشكلى) . وينفس الطريقة تتكون بعض الرواسب الثنية بمعدن ماجنيزيت .

#### تكون المعادن من المحاليل السطحية

تشمل المحاليل السطحية المحتويات الذائبة في مياه البحار والبحيرات ونبحيطات والأنهار ، وفي المياه الأرضية Ground water الناتجة من الأمطار التي قد تتسرب خلال الشقوق والفواصل والمسام في الصخور المختلفة وتحمل معها قدر ما تستطيع من المواد التي قد تذيبها أثناء تمريرها . وتتسرب المعادن من هذه المحاليل السطحية نتيجة تغير الظروف الطبيعية ، ونسمى بجمعياتها خامات المعادن الرسوبية Sedimentary ore-minerals ، وتتكون بإحدى الطرق الآتية :

١) بحر السائل المذيب : تتحرك الأملاح الذائبة في مياه البحيرات نتيجة تبخر الماء للدرجة تسمح بتبلور بعض المعادن في ترتيب معين بوقت ما على درج

فويان العناصر المكونة لهذه المحاليل ، فعالبا ما تترسب أملاح الكربونات أولا مثل كربونات الكالسيوم ( كالسيت ) ثم كربونات الماغنسيوم ( ماجنيزيت ) ثم تلي الكربونات أملاح الكبريتات مثل كبريتات الكالسيوم المائية ( جبس ) ، ثم أملاح الكلوريد مثل كلوريد الصوديوم ( هاليت ) .

( ٢ ) بخر الغاز المساعد على الإذابة : قد يذوب غاز ثاني أكسيد الكربون في مياه الأمطار ويكسبها خاصية الحامض الضعيف ( حامض الكربونيك ) فتذيب بعض الصخور الجيرية التي تعسب خلالها وتنتج بيكربونات الكالسيوم كما يدب ( ك أ ) ، وهذا المركب قابل للذوبان في الماء إلا أنه غير مستقر ، فبمجرد تعرضه لفقدان غاز ثاني أكسيد الكربون فإنه يتحول إلى كربونات الكالسيوم غير قابلة للذوبان في الماء ، فتترسب هذه مكونة معادن الكالسيت والأرجوانيت . وكثيرا ما يحدث ذلك في الكهوف والمغارات التي توجد في المناطق ذات الصخور الجيرية والتي تغزر فيها الأمطار حيث تترسب كربونات الكالسيوم على هيئة أعمدة مخروطية الشكل تتدلى من سقف هذه الكهوف وتكون ما يسمى ستلاكتيت Stalactite ( شكل ٢٣ ) ، وتتساقط نقط المحاليل الجيرية كذلك على أرضية الكهوف فتعرض لفقدان غاز ثاني أكسيد الكربون وتترسب كربونات الكالسيوم في أعمدة مخروطية ترتفع على قاع الكهوف وقد تتشكل بأشكال طبيعية جميلة وتسمى ستلاجميت Stalagmite .

وقد تترسب هذه المحاليل إلى أعماق بعيدة عن سطح الأرض فتكسب حرارة مائية نسبياً تساعد على فاعلية حامض الكربونيك في الإذابة . ثم لا تلبث

أن تجمد مخرباً لها على هيئة يتابع ، فيتطاير منها ثاني أكسيد الكربون بتعرضها للهجو والبرودة فتترسب كربونات الكالسيوم مباشرة حول الزينوع في كتل مختلفة الأشكال تسمى ترافيرتين Travertine أو السترا الجيري Calc-sinter . وأحياناً أخرى تتسرب محاليل المياه السطحية إلى أغوار بعيدة فتترفع حرارتها وكذلك المنفذ التي تفتح عليها المرجحة تكفيها من إذابة كل ما يصادفها حتى السيليكات ، فإما ما وجدت مثل هذه المحاليل المنفذ المواتي لها فإنها تتصاعد إلى سطح الأرض على هيئة يتابع حارة متفجرة تسمى جيزير Geyser ، وبمجرد تعرضها للهجو - حيث الانخفاض المفاجيء في درجة الحرارة والضغط - فإن المحاليل تتسبب ما بها من أملاح ذائبة بالقرب من الينابيع الحارة المنفجرة على هيئة رواسب سيليسية دقيقة الحبيبات تسمى جيزيريت Geyserite أو سترسيليمي Siliceous-sinter .

تكون المعادن من مواد صلبة ( التحول )

قد تنشأ بعض المعادن من مواد صخرية صلبة تحت تأثير الحرارة الشديدة أو الحرارة المعكوبة بضغط مرتفع ، فتتغير المعادن الأصلية المكونة لهذه الصخور تغيراً قد يكون جزئياً أو كاملاً في بنائها وتركيبها وخواصها . وقد تنبع الحرارة من تداخل مواد الصهير أو محاليل مرتفعة الحرارة في صخور المكان ، ويحدث أن تنصهر صخور المكان في منطقة التماس Contact أو التلامس بينها وبين مواد الصهير، ثم تستعيد المركبات الأصلية المكونة لهذه الصخور بناءها من جديد بحيث يتناسب هذا البناء مع الظروف المستجدة ، أي تتحول المعادن الأصلية إلى معادن أخرى ، فمثلاً تتحول رواسب معادن

الحديد المائية بفعل الحرارة الناتجة عن تداخل مواد الصهير إلى رواسب غنية  
بمعادن الهيماتيت والماجنتيت في منطقة التماس بين الصخور الأصلية ومواد  
الصهير المتداخلة . وتعرف مثل هذه التكوين رواسب الخامات التماسية

Contact ore deposits . فإذ ما كانت الحرارة ناشئة من تداخل محاليل  
حارة في صخور المكن فقد تنشأ بينها عمليات إحلال أو إستبدال لبعض  
العناصر المكونة لكل منها وينتج عن هذا الإحلال المتبادل معادن جديدة  
تلائم الظروف الطبيعية الجديدة ، ويعرف هذا بالتحويل التاملي المشار  
Pyrometasomatism . وأهم الرواسب المعدنية التي تتكون بطريقة التحويل

الحراري Thermal metamorphism رواسب الكبريتيدات مثل البازيت ،  
كالكوبايريت ، زنكلند (سفاليريت) ، ومن الأكاسيد الهيماتيت والماجنتيت .  
وقالياً ما يصحب هذه الرواسب تكوين بعض المعادن المميزة التي تسمى  
« سكارن » Searn-minerals مثل ولاستونيت ( كاس أم ) Wallastonite  
وينتج من إتحاد الكوارتز ( السيليكات ) مع الكالسيت ( الكربونات ) ،  
والجارت الحديدية ( جروسولار Grossular ) ، وبيروكسينات حديدية ،  
ومعدن أيدوت ( سيليكات كا ، لو ، ح ) ، ومعدن أيدو كراز  
( سيليكات كا ، لو ، ح ، ما ) .

### ظهور الرواسب المعدنية في الطبيعة

يمكن تمييز الرواسب المعدنية على أساس تكوينها وظهورها Occurrence

إلى نوعين :

١) رواسب معدنية « معاصرة » Syngenetic mineral deposits : تتكون

معادن هذه الرواسب في نفس الوقت التي تتكون فيه الصخور الحاوية لها أو المحيطة بها وتظهر منتشرة مبعثرة فيها . ومن أمثلة هذه الرواسب المعدنية المعاصرة تلك المعادن النافعة التي تظهر أثناء عملية تمايز الفلزات وأكاسيدها وبعض كبريتيداتها في أولى مراحل تصلد الصهير - مرحلة الصهير القويم - في نفس الوقت التي تتبلور فيه معادن السيليكات فوق القاعدية ( المنية جداً بالناصر القاعدية ) ، مثل ظهور معدن الكروميت ( ح كروم ) في الصخور فوق القاعدية . Ultrabasic rocks ، وكذلك بعض الرواسب المعدنية الطبقة Bedded mineral deposits التي تتكون في وقت معاصر لتكوين طبقات الصخور الرسوبية الحاوية لها .

٢ ) رواسب معدنية لاحقة « غير معاصرة » Epigenetic mineral deposits

تتكون معادن هذه الرواسب بعد ظهور الصخور الحاوية لها أو المحيطة بها . وغالباً ما توجد في الشقوق والشرخ والفواصل في الصخور ولذلك فإنها تتشكل بشكل هذه الفراغات ، وعادة ما تظهر على هيئة عروق Veins or lodes . وقد تمتد العروق في معظم الأحيان إلى مسافات طويلة وأعمق بعيدة ولكنها قليلة السمك ، ويختلف سمكها من مكان لآخر . وترسب المعادن في أحيان كثيرة في المسافات البينية Interstices للصخور وتعرف مثل هذه الترسبات بالرواسب المتسربة Impregnations ، وأحياناً أخرى تحمل الرواسب المعدنية محال صخور المكان التي تتداخل فيها فتتخذ بذلك أشكالاً غير منتظمة .

تعرف الرواسب المعدنية التي تظهر في نفس المكان أو الموضع الذي نشأت فيه بأنها رواسب أولية أو موضعية Primary or in situ. أما المعادن التي تنقلها الرياح أو تجرفها المياه من المكان الأصلي لنشأتها ثم ترسبها في

- مكان آخر فتسمى رواسب ثانوية أو منقولة Secondary or placer deposits وتوجد مثل هذه الرواسب المنقولة مختلطة بالحصى والرمل عند مصاب الأنهار وكذلك على جوانبها وفي مجارى السيول . وغالباً ما تتركز المعادن في الرواسب المنقولة بعملية تصنيف أو فرز طبيعي تتوقف على الوزن النوعي لها ، فتوجد المعادن ذات الوزن النوعي الوجد أو المتشابهة في مجموعات يسهل فصلها عن بعضها . وأهم أنواع الرواسب المنقولة هي رواسب الذهب التي قد يتواجد معها رواسب الماجنتيت والكروميت والزيركون . وكذلك رواسب الرمال السوداء المنقولة التي تحتوى أحياناً على بعض المعادن النادرة المشعة ذات القيمة الاقتصادية مثل رواسب الرمال السوداء عند ملتقى النيل بالبحر الأبيض المتوسط عند رشيد .

تبدل المعادن Alteration of minerals : تتعرض الرواسب المعدنية

للتأثيرات الجوية ، وينتج عن ذلك تغير المعادن المكونة لها تغيراً قد يكون طبيعياً أو كيميائياً بسبب التجوية Weathering . ويؤدى التغير الطبيعي إلى تكسير المعادن وتفككها Disintegration بسبب التغير المستمر في درجة الحرارة أو نتيجة لفعل الرياح أو الأمطار . وينتج عن التغير الكيميائي تحلل المعادن Decomposition وتغير تركيبها الكيميائي تغيراً سطحياً أو جزئياً ، فتؤدى عملية الأكسدة إلى تغير مظهر سطح المعدن المعرض للجو ،

ويستج عن وجود ثاني أكسيد الكربون عملية تكربن لسطح المعدن فيغطي بطبقة رقيقة من كربونات العناصر المكونة له . وقد تذوب المعادن جزئياً نتيجة للتفاعلات الكيميائية البطيئة ثم تنقل بواسطة المياه أو الرياح إلى حيث ترسب من جديد في مكان آخر تاركه خلفها المكونات غير القابلة للذوبان في مكانها الأصلي والتي تعرف حينئذ بالرواسب المتبقية Residual deposits

مثل رواسب البوكسيت ( أكسيد ألومنيوم مائي ) Bauxite ، ورواسب الكاولينيت ( سيليكات ألومنيوم مائية ) Kaolinite .