مينرالوجيا التربة (فلزات التربة)

السنة : الرابعة

قسم : علوم التربة

منشورات جامعة دمشق

كلية الزراعة

مينرالوجيا التربة
(فلزات التربة)

الدكتور
حســن سليمان حبيــب
أستاذ في قسم علوم التربة

الدكتور
عبدالرحمن محي الدين السفرجلاني
أستاذ في قسم علوم التربة

جامعة دمشق

١٤٢٩ - ١٤٣٠هـ

٢٠٠٨ - ٢٠٠٩م


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

محتويـــــات الباب الأول

المقدمة· ١٧

الباب الأول : فلزات التربة الأولية والثانوية غير الغضارية· ١٩

الفصل الأول· ٢١

- توطئة ٢٣
- تعريف الفلز ٢٤
- مفاهيم عامة حول الفلزات ٢٤

الفصل الثاني : طرائق تشكل الفلزات في الطبيعة ٢٧

- تشكل الفلزات مباشرة من الصهارة السيليكاتية(الماغما) أي من المهل· ٢٩
- تشكل الفلزات من المحاليل المائية ٣٢
- تشكل الفلزات نتيجة إعادة التبلور من خلال إعادة ترتيب الذرات في البلورات الفلزية سابقة التشكل ٣٤
- تشكل الفلزات نتيجة عمليات التجوية ٣٥
  - تشكل الفلزات نتيجة عمليات التجوية الفيزيائية ٣٥
  - تشكل الفلزات نتيجة عمليات التجوية الكيميائية ٣٥
- نواتج التجوية الكيميائية وتشكل الفلزات الغضارية· ٣٨
- درجة ثبات الفلزات اتجاه عمليات التجوية· ٤١

الفصل الثالث : البنى البلورية للفلزات· ٤٧

- أنواع الروابط الكيميائية· ٥٠
  - الروابط الأيونية· ٥٠
  - الروابط التساهمية (المشتركة)· ٥١
  - الروابط المعدنية· ٥٢
  - الروابط الفاندرفالزية· ٥٣
- نصف القطر الذري الأيوني· ٥٤

- طاقة التأين· ٥٨
- الإلفـــة الالكترونية· ٦٠
- عدد الإحاطة أو التناسق· ٦٣
- قواعد عامة حول طبيعة الروابط الكيميائية· ٦٦
- تصنيف غولد شميدث للعناصر الكيميائية· ٦٧
  - مجموعة العناصر الأتموفيللية· ٦٧
  - مجموعة العناصر الليثوفيللية· ٦٧
  - مجموعة العناصر السيدروفيللية· ٦٧
  - مجموعة العناصر الكالكوفيللية· ٦٨
- تساوي الشكل البلوري واستبدال العناصر الكيميائية في البنى البلورية· ٧١
- تعدد الشكل البلوري· ٧٦
- منظومات التبلور· ٨٠

الفصل الرابع : التصنيف العام للفلزات· ٨١

- تصنيف الفلزات حسب نسبة تواجدها في الصخور الأم· ٨٣
  - مجموعة الفلزات الأساسية (الرئيسة)· ٨٣
  - مجموعة الفلزات الثانوية· ٨٣
  - مجموعة الفلزات النادرة(العرضية)· ٨٣
- تصنيف الفلزات حسب درجة مقاومتها لعمليات التجوية· ٨٣

- تصنيف الفلزات حسب منشأها· ٨٤
- تصنيف الفلزات حسب تركيبها الكيميائي· ٨٤
  - مجموعة الفلزات الحرة(العنصرية)· ٨٥
  - مجموعة الفلزات الأوكسيدية والهيدروكسيدية· ٨٥
  - مجموعة الفلزات الكبريتيدية· ٨٥
  - مجموعة الفلزات الكبريتاتية· ٨٥
  - مجموعة الفلزات الكربوناتية· ٨٦

- مجموعة الفلزات الهاليدية. ٨٦
- مجموعة الفلزات الفوسفاتية. ٨٦
- مجموعة الفلزات السيليكاتية. ٨٧

الفصل الخامس : التركيب الفلزي للتربة. ٩٥

- فلزات التربة الأولية. ٩٦
  - مجموعة فلزات الفلدسبار. ٩٦
    - مجموعة فلزات الفلدسبار الكلسي- الصودي (البلاجيوكلاز). ٩٦
    - مجموعة الفلدسبار البوتاسي. ٩٧
  - مجموعة فلزات الفلدسبار الحديث. ٩٨
    - النيفلين. ٩٨
    - اللوسيت. ٩٨
- الصفات الفيزيائية لفلزات مجموعة الفلدسبار. ٩٩
  - الصفات الفيزيائية لفلزات مجموعة الفلدسبار الكلسي- الصودي (البلاجيوكلاز). ٩٩
  - الصفات الفيزيائية لفلزات مجموعة الفلدسبار البوتاسي. ٩٩
  - مجموعة فلزات الأوليفين. ١٠٠
  - مجموعة فلزات البيروكسين. ١٠٠
    - مجموعة فلزات البيروكسين المعيني القائم. ١٠١
      - الإنستاتيت. ١٠١
      - البرونزيت. ١٠١
      - الهيبرستين. ١٠١
    - مجموعة فلزات البيروكسين أحادي الميل. ١٠٢
      - الديوبسيد. ١٠٢
      - الأوجيت. ١٠٢
      - الهيدنبرجيت. ١٠٢

- الجاديت· ١٠٣
- الآيجرين· ١٠٣
  - مجموعة فلزات الأمفيبول· ١٠٤
    - مجموعة فلزات الأمفيبول المعيني القائم· ١٠٤
      - الأنتوفيلليت· ١٠٤
    - مجموعة فلزات الأمفيبول أحادي الميل· ١٠٥
      - التريموليت· ١٠٥
      - الأكتينوليت· ١٠٥
      - الهورنبلند· ١٠٥
      - االريبكيت· ١٠٦
      - الغلوكوفان· ١٠٦
  - مجموعة فلزات الميكا· ١٠٧
    - الميكا البيضاء (الموسكوفيت)· ١٠٧
    - الميكا السوداء (البيوتيت)· ١٠٧
    - الميكا الغنية بعنصر الليثيوم (الليبيدوليت)· ١٠٨
    - الفلوغوبيت· ١٠٨
- مجموعة الفلزات شديدة (متناهية) الثبات· ١٠٩
  - فلز الكوارتز· ١٠٩
  - مجموعة فلزات الغرينا (الغارنت)· ١١٠
    - مجموعة فلزات الغارنت غير الكلسية (الألماندين، البيروب والشبيسارتين)· ١١٠
    - مجموعة فلزات الغارنت الكلسية (الغروسولار، الأندراديت والأوفاروفيت)· ١١١
  - مجموعة فلزات الإيبيدوت· ١١١
    - فلز الإيبيدوت· ١١١
    - فلز الزيوسيت· ١١٢

- فلزات أخرى. ١١٢
  - فلز الزيركون. ١١٢
  - فلز التورمالين. ١١٣
  - فلز الشتاروليت. ١١٣
  - فلز الأباتيت. ١١٣
- فلزات التربة الثانوية. ١١٣
- فلزات التربة الثانوية غير الغضارية. ١١٤
  - مجموعة الفلزات الثانوية عديمة أو خفية التبلور. ١١٤
    - مجموعة فلزات أكاسيد السيليسيوم. ١١٥
      - الهلام السيليكاتي المائي. ١١٥
      - الأوبال. ١١٥
      - الكالسيدوني. ١١٦
    - مجموعة فلزات أكاسيد الحديد. ١١٦
      - الليمونيت. ١١٦
      - الغوتيت. ١١٧
      - الهيماتيت. ١١٧
      - الماغنيتيت ١١٧
    - مجموعة فلزات أكاسيد الألمنيوم. ١١٧
      - الكورووندوم (الياقوت). ١١٨
      - الجبسيت أو (الهيدراجيليت). ١١٨
      - البهميت. ١١٨
      - الدياسبور. ١١٨
    - مجموعة فلزات أكاسيد المنغنيز. ١١٩
      - البسيلوميلان. ١١٩
      - المانغانيت. ١١٩
      - الهاوسمانيت. ١١٩

٥-٦- المكونات مثيلة الألوفان ٢٨٢
٥-٧- التعرف على الفلزات غير المتبلورة ٢٨٣
- المراجع ٢٨٧
- المصطلحات ٢٩١

المقدمة:

تشكل فلزات التربة المختلفة الجزء الأكبر والأهم من الطور الصلب لمعظم الترب، تؤدي فلزات التربة دوراً مهماً وحاسماً، في تحديد خواص التربة المختلفة، الفيزيائية والكيميائية والخصوبية وحتى الحيوية، ومن المعروف أن هذه الخواص هي التي تحدد إنتاجية الترب، وطرائق إدارتها واستثمارها.

على الرغم من أهمية علم فلزات التربة Soil mineralogy، فإن دراسة هذه الفلزات أخذت بالتطور والتعمق مع مطلع النصف الثاني من القرن الماضي، تسارعت بشكل كبير فيما بعد مع تطور التقنيات اللازمة لدراسة الفلزات، خاصة المجاهر الإلكترونية والأشعة السينية X- ray وطرائق التحليل المختلفة وغيرها من طرائق التحليل الأخرى.

جاء هذا الكتاب بفصوله كافة، منسجماً مع منهجية المراجع المتخصصة في هذا المجال، ومتفقاً مع مفردات مقرر منيرالوجيا التربة soil minerals (فلزات التربة) الجزء النظري، لطلاب السنة الرابعة في قسم علوم التربة.

لقد حاولنا جاهدين في عرض موضوعات هذا الكتاب، تبسيط مواده ووضعها في سياق تصنيفي من حيث البنية، والخواص المختلفة للفلزات وتوزعها في الترب بشكل عام والجافة منها بشكل خاص.

إن غاية ما نرجوه من تأليف هذا الكتاب، بما يضم بين دفتيه من موضوعات مهمةً في مجال علم فلزات التربة، أن يسد ثغرة في المكتبة العلمية العربية، لتكون مرجعاً في مادته للمختصين والدارسين على حد سواء.

آملين من الله عز وجل أن نكون قد وفقنا بذلك. رغم أن ذلك يمثل محاولة متواضعة لا تخلو من الثغرات والهفوات، فالشكر لمن يتقدم بالنصح البناء والرأي السديد، ويساعد على تدارك التقصير مستقبلاً.

والله ولي التوفيق

الأستاذ الدكتور حسن حبيب　　الأستاذ الدكتور عبد الرحمن السفرجلاني


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الباب الأول

فلزات التربة الأولية والثانوية غير الغضارية

الفصل الأول: مقدمة وتعاريف

الفصل الثاني: طرائق تشكل الفلزات في الطبيعة

الفصل الثالث: البنى البلورية للفلزات

الفصل الرابع: التصنيف العام للفلزات

الفصل الخامس: التركيب الفلزي للتربة

الفصل السادس: طرائق تشكل الأجسام البلورية الفلزية

تأليف: الأستاذ الدكتور عبدالرحمن السفرجلاني

Damascus University


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

- توطئة
- تعريف الفلز
- مفاهيم عامة

Damascus University


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

توطئة:

لقد تم التعرف حتى وقتنا الحاضر على ما يزيد عن ٢٥٠٠ فلز، معظمها نادر التواجد، منها حوالي المائتين فلزات شائعة التواجد، يكون عدداً محدوداً منها نحو ثلاثون فلزاً واسع الانتشار، تسمى بالفلزات المكونة للترب والصخور، سيتم التطرق إلى دراسة خصائصها المختلفة الفيزيائية والكيميائية، وطرائق تشكلها ونشأتها وتجويتها، ودرجة ثباتها وشكل انتشارها تفصيلاً.

تحدت مجموعة من العمليات الطبيعية، علماء البترولوجيا والجيوكيمياء وكذلك المهتمين بتحديد طبيعة الخامات الفلزية المعدنية وأشكالها وتوزعها وتركيزها من علماء الجيولوجيا الاقتصادية محاولاتهم لتقديرهم متوسط تركيب القشرة الأرضية الكيميائي، وذلك بسبب التنوع الكبير لصخورها، وعدم تجانس هذه التراكيب الصخرية في الأبعاد الثلاثة، يضاف إلى ذلك تعرض جزء كبير من هذه الصخور لعمليات التجوية والتعرية، التي أدت لتغير تراكيبها وخصائصها الكيميائية، إلا أن مجموعة أخرى من العمليات الطبيعية منها على سبيل المثال الحركات البنائية التي أدت لرفع التشكيلات الصخرية العميقة لسطح الأرض لتشكل السلاسل الجبلية شاهقة الارتفاع، أو حشوات أسفل القشرة الأرضية المقذوفة والمترافقة مع الحمم البركانية المتدفقة على السطح الخارجي للأرض. ومعطيات الآبار النفطية الاستكشافية العميقة، وكذلك المعطيات الجيوفيزيائية كدراسة نتائج القياسات الزلزالية وسرعة انتشار الأمواج الاهتزازية، ساعدتهم في تقدير متوسط تركيب القشرة الأرضية الكيميائي.

فمعظم صخور القشرة الأرضية وبنسب تزيد عن الـ٩٥% منها تتألف من الصخور النارية المتبلورة، حيث تعد كل من صخور الغابرو والبازلت وكذلك صخور الغرانيت والغرانوديوريت والكوارتزديوريت أكثرها شيوعاً وانتشاراً، بينما لا تزيد نسب وجود الصخور الرسوبية والصخور المتحولة بجميع أنواعهما عن الـ٥% من المجموع الكلي لصخور القشرة الأرضية. بناءً عليه افترض الكثير من علماء البترولوجيا والجيوكيمياء أن المعدلات الوسطية للتركيب الكيميائي لصخور القشرة الأرضية يكون متقارباً ومتماثلاً إلى حد كبير مع القيم الناتجة عن متوسط المعدلات الوسطية للتركيب الكيميائي لصخور الغابرو

وصخور الغرانيت، بنسبة واحد إلى واحد من كلا الصخريين، تلك القيم ستكون مقبولة وأقرب ما يمكن لتمثيل التركيب الكيميائي الوسطي لصخور القشرة الأرضية.

تعريف الفلز:

يعرف الفلز Mineral بأنه الجسم الطبيعي غير العضوي الصلب، ذو التركيب الكيميائي الثابت والبنية البلورية المحددة، يتكون من عنصر كيميائي واحد مثل الذهب، الفضة، البلاتين، البيزموت، الكربون(الفحم)، الأنتموان والكبريت، أو من عنصرين مثل الكوراتز والكورونـدوم والماغنيتيت والهيماتيت، أو من ثلاثة عناصر أو أكثر كغالبية الفلزات السيليكاتية كالفلدسبارات، البيروكسينات والأمفيبولات.

مفاهيم عامة:

وجد لدى إجراء الدراسات الإحصائية ومقارنة آلاف بل عشرات الآلاف من التحاليل الجيوكيميائية لعينات صخرية من صخور القشرة الأرضية، مأخوذة من مواقع مختلفة وأعماق متباينة، أن صخور القشرة الأرضية تتكون من جميع العناصر الكيميائية الطبيعية المدرجة في الجدول الدوري وبنسب جداً متفاوتة، تشكل عشرة عناصر منها أكثر من ٩٩% من مكونات القشرة الأرضية هي: الأوكسجين ٤٦،٧١%، السيليسيوم ٢٧،٦٩%، الألمنيوم ٨،٠٧%، الحديد ٥،٠٥%، الكالسيوم ٣،٦٥%، الصوديوم ٢،٧٥%، البوتاسيوم ٢،٥٨%، المغنيزيوم ٢،٠٨%، التيتانيوم ٠،٦٢% والهيدروجين ٠،١٤%، مع العلم أن هذه العناصر الكيميائية لا توجد في القشرة الأرضية حرة طليقة، إنما توجد في الصخور المختلفة متحدة مع بعضها مع الآخر وفق اتحادات كيميائية متعددة.

مما سبق يتضح أيضاً أن عنصري الأوكسجين والسيليسيوم هما أكثر العناصر الكيميائية انتشاراً في القشرة الأرضية، إلا أنهما لا يتوافران في الطبيعة على هيئة عناصر كيميائية حرة كما هي الحال بالنسبة للعناصر الكيميائية الأخرى، ويترابطان وفق اتحادات وروابط كيميائية مختلفة مع بقية العناصر الكيميائية، فعنصر السيليسيوم ينتمي للمجموعة الرابعة في الجدول الدوري، ويتميز بخصائص كيميائية تضعه بين العناصر المعدنية والعناصر اللامعدنية، وله ميل للاتحاد مع العناصر المعدنية بالمشاركة مكوناً جزيئات الفلزات

السيليكاتية، أما بالنسبة لعنصر الأوكسجين فإنه يوجد متحداً اتحاداً كيميائياً مع بقية العناصر الكيميائية المعدنية أو شبه المعدنية مكوناً الأكاسيد Oxides.

ومن المعلوم أيضاً، أن أكاسيد المعادن تشكل نتيجة تفاعلها مع الماء مواداً ومركبات كيميائية قاعدية الخصائص، مثاله هيدروكسيد المعنيزيوم الناتج عن تفاعل أوكسيد المغنيزيوم مع الماء وفق التفاعل الآتي:

$$MgO + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2$$

بينما تتفاعل أكاسيد أشباه المعادن (الأكاسيد اللامعدنية) مع الماء مكونة مواداً لمركبات حمضية الخصائص، مثاله تفاعل ثاني أوكسيد الكربون مع الماء:

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

تتفاعل المواد والمركبات ذات الخصائص القاعدية في الطبيعة مع تلك المواد والمركبات ذات الخصائص الحمضية مكونة الأملاح (الفلزات) والماء.

مثاله:

$$Mg(OH)_2 + H_2CO_3 \rightarrow MgCO_3 + 2H_2O$$

ففلز كربونات المغنيزيوم هو عبارة عن ملح، ويتألف الملح عادة من شقين، شق قاعدي يتمثل بأيون معدني له شحنة كهربائية موجبة مثل: $Mg^{+2}, Ca^{+2}, K^{+1}, Na^{+1}$، وشق حمضي يتكون عادة من أيون سالب الشحنة الكهربائية مثل: Cl^{-1}, Br^{-1}, F^{-1} أو مركب كيميائي سالب الشحنة الكهربائية مثل: $SO_4^{-2}, PO_4^{-3}, SiO_4^{-4}, CO_3^{-2}$.

كما يتفاعل أوكسيد السيليسيوم ذو الخصائص الحمضية في الطبيعة مع الأكاسيد المعدنية الأخرى ذات الخصائص القلوية مكوناً المركبات السيليكاتية، فمثلاً ينتج عن تفاعل أوكسيد المغنيزيوم مع أوكسيد السيليسيوم سيليكات المغنيزيوم وفق التفاعل الآتي (فلز الإنستاتيت):

$$MgO + SiO_2 \rightarrow MgSiO_3$$

أيضاً يمكن أن يتفاعل أوكسيد السيليسيوم مع عدة أكاسيد معدنية أخرى مكوناً فلزات سيليكاتية أكثر تعقيداً مثل سيليكات الصوديوم والألمنيوم(فلز الألبيت):

$$Na_2O + Al_2O_3 + 6SiO_2 \rightarrow 2NaAlSi_3O_8$$

لذلك يمكن أن نعد عدداً كبيراً من الفلزات الملحية أو الفلزات السيليكاتية الموجودة في الطبيعة أملاحاً تكونت وفق الآلية السابقة، مع استثناء كل من فلزات مجموعة الفلزات الطليقة الحرة، وفلزات مجموعة الأكاسيد ومجموعة الفلزات الكبريتية التي يتألف شقها السلبي عادة من الأوكسجين أو الكبريت غير القابلين للتأين.

تتغير الصفات والخصائص الفيزيائية للفلزات نتيجة لتغير تراكيبها الكيميائية، أو نتيجة لنوعية الروابط الكيميائية التي تربط بين وحداتها البنائية أو نتيجة لاختلاف ارتصاف ذراتها وتوزعها داخل البناء البلوري للفلز.

كما يتوقف عدد كبير من ميزات الفلزات وخصائصها على شكل الروابط الكيميائية ونوعيتها Chemical Bonds، التي تربط مكونات الفلز الكيميائية بعضها بالآخر، فمع معرفة نوعية القوى وشدتها التي تربط ذرات المادة لفلز ما، يمكننا تفسير الكثير من خصائصه الكيميائية والفيزيائية.

فلقد وجد بشكل عام، أنه كلما كانت الروابط الكيميائية قوية، كلما زادت قساوة الفلز وصلابته وارتفعت درجات حرارة انصهاره، وتدنت معاملات تمدده الحراري، لذلك يتمتع فلز الألماس على سبيل المثال بقساوة عالية جداً نتيجة الروابط الكهربائية القوية جداً بين ذرات الكربون في بنائه البلوري. كما يفسر انفصام فلزات مجموعة الميكا بسهولة إلى وريقات وصفائح رقيقة بوجود روابط كيميائية (روابط كهربائية) قوية تربط الأيونات المرتبطة ببعضها في الصفائح، أي في الاتجاه الموازي للانفصام، أما القوى التي تربط الصفائح بعضها بالأخر فتكون قوى ضعيفة لذلك تنفصم الصفائح عن بعضها وفق المستويات ذات الارتباط الضعيف.

الفصل الثاني

طرائق تشكل الفلزات في الطبيعة

- تشكل الفلزات مباشرة من الصهارة السيليكاتية(الماغما)
- تشكل الفلزات من المحاليل المائية
- تشكل الفلزات نتيجة إعادة التبلور من خلال إعادة ترتيب الذرات في البلورات الفلزية سابقة التشكل
- تشكل الفلزات نتيجة عمليات التجوية
  - تشكل الفلزات نتيجة عمليات التجوية الفيزيائية
  - تشكل الفلزات نتيجة عمليات التجوية الكيميائية
  - نواتج التجوية الكيميائية وتشكل الفلزات الغضارية
- درجة ثبات الفلزات اتجاه عمليات التجوية

Damascus University


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

طرائق تشكل الفلزات في الطبيعة

تتشكل الفلزات الموجودة في صخور القشرة الأرضية بطرائق متعددة، وتحت شروط متباينة، تؤدي فيها الشروط التيرموديناميكية من ضغط وحرارة دوراً مهماً، بالإضافة إلى دور المحاليل والسوائل، لذلك سنتعرف هنا وبشكل موجز، على أهم طرائق تشكل الفلزات وأكثرها انتشاراً في الطبيعة وهي:

تشكل الفلزات مباشرة من الصهارة السيليكاتية(الماغما) أي من المهل:

تتكون معظم الفلزات التي تشكل القشرة الأرضية من المهل نتيجة تبرد الصهارة السيليكاتية الماغما (Magma) على أعماق كبيرة في باطن الأرض، أو نتيجة تبرد المقذوفات والمسكوبات أو الطفوح واللابات البركانية على السطح الخارجي للأرض. وتسهم الفلزات المتشكلة وفق هذه الطريقة بتكوين الصخور النارية.

تقسم الفلزات المتشكلة وفق هذه الطريقة حسب طبيعة التكون إلى الأنواع الآتية:

- **تشكل الفلزات مباشرة من الماغما وتبلورها وانفصالها،** فالمهل أي الصهارة السيليكاتية الماغما (Magma) هي محاليل طبيعية عالية الحرارة لمواد سيليكاتية التركيب بالإضافة لغيرها من المكونات الفلزية الأوكسيدية و/أو السولفيدية وبعض المواد الطيارة والغازات المنحلة، كالكبريت والكلور والفلور والبور وبخار الماء وأول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكربون، لذلك فإن تبلور المركبات الفلزية منها يخضع إلى قوانين التبلور ذاتها التي يخضع لها أي محلول كيميائي آخر. تراوح درجة حرارة الصهارة السيليكاتية الماغما بين ٦٠٠م° للمهل المكون لصخور الريوليت و١٢٥٠م° للمهل المكون لصخور البازلت. عندما تنخفض درجة حرارة الصهارة السيليكاتية وتبرد، تصل محاليلها بشكل متتابع إلى درجات التشبع، وتبدأ المركبات الفلزية بالتشكل والتبلور بشكل متتابع أيضاً، كذلك تصل محاليل الماغما إلى درجات تشبعها وتبدأ مركباتها الفلزية بالتشكل والتبلور عند انخفاض الضغط عليها. لهذا السبب تزداد درجة تبلور ونمو البلورات الفلزية المتكونة من محاليل الصهارة السيليكاتية عادة مع الانخفاض التدريجي البطيء لكل من الحرارة والضغط.

يعود تشكل عدد كبير من الفلزات وكذلك بعض الصخور النارية في الطبيعة نتيجة التبلور والانفصال المجزأ عن المهل.

يتم تكون وتبلور المواد والمركبات المنحلة والمصهورة ضمن الصهارة السيليكاتية عادة بشكل متتابع ومتسلسل، يتبع بصورة رئيسة درجات انحلالية تلك المواد والمركبات المنحلة. ولقد وجد أن أول المواد والمركبات المتكونة أو المتبلورة من المهل هي تلك التي تشكل الفلزات الثانوية Accessory Minerals كفلزات: الكروميت، الماغنيتيت، الايلمينيت، الروتيل، الزيركون والأباتيت. أما بالنسبة للفلزات الرئيسة فيكون التسلسل العام لتبلورها وتشكلها حسب ما اقترحه العالم بوين Bowen أي مع تناقص الأساسية وزيادة نسبة السيليكا SiO_2، حيث يتبلور فلز الأوليفين أولاً، ثم يليه فلز الأورثوبيروكسين (البيروكسين المعيني المستقيم) ففلز الكلينوبيروكسين (أحادي الميل)، ثم البلاجيوكلاز الأساسي فالبلاجيوكلاز المتوسط فالبلاجيوكلاز الحمضي فالبيوتيت فالموسكوفيت وأخيراً الكوارتز. يعد هذا التسلسل لتشكل الفلزات الاتجاه الطبيعي للتبلور والتشكل المجزأ من الصهارة السيليكاتية (المهل). لذلك يكون من البديهي عدم تواجد جميع الفلزات المذكورة ضمن هذا التسلسل معاً وبآن واحد، إنما يكون لتسلسلها علاقة مع انتقالنا من الصخور فوق الأساسية (البيريدوتيت) الأساسية (الغابرو) فالمتوسطة (الديوريت) وأخيراً الحمضية (الغرانيت).

وضح العالمان (Mason and Moore,1982) ما يحدث من تغيرات كيميائية للصهارة السيليكاتية في أثناء تبردها والانتقال وفق تسلسل العالم بوين لتشكل الفلزات على النحو الآتي:

- الارتفاع التدريجي في نسبة (Si:O)، تزداد في فلزات السلسلة المنفصلة من النسبة(٤:١) في فلزات مجموعة الأوليفين إلى (٣:١) في فلزات مجموعة البيروكسين، وإلى (١١:٤) في فلزات مجموعة الأمفيبول، وإلى (٥:٢) في فلزات مجموعة الميكا(البيوتيت). كما تزداد في فلزات السلسلة المتصلة (سلسلة البلاجيوكلاز) من النسبة(٤:١) في فلز الأنورتيت إلى (٨:٣) في فلز الألبيت.

- زيادة في تعقيد البنية السليكاتية، فمن رباعيات الوجوه المفردة المنفصلة في فلزات مجموعة الأوليفين، إلى السلاسل المفردة في فلزات مجموعة البيروكسين فالسلاسل المضاعفة في فلزات مجموعة الأمفيبول، فالصفائح في فلزات مجموعة الميكا، هذه التغيرات تعكس ما يحدث للصهارة السيليكاتية من زيادة تشابك رباعيات الوجوه السيليكاتية مع انخفاض درجة الحرارة، مما يصاحب بزيادة حجم الخلايا البنائية في بنية الفلز، فمثلاً يكون حجم الوحدة البنائية لفلز الأوليفين الغني بالمغنيزيوم(الفورستريت) ٢٩٤Å، تزداد في فلز الديوبسيد من مجموعة فلزات البيروكسين إلى ٤٣٤Å، ولتتزايد إلى ٩٢٥Å في فلز الهورنبلند أحد فلزات مجموعة الأمفيبول، ولتصل لنحو ٩٧٥Å في فلز البيوتيت أحد فلزات مجموعة الميكا.
- مع الانتقال في سلاسل بوين يلاحظ الانخفاض التدريجي في محتوى كل من المغنيزيوم والحديد والكالسيوم في الصهارة، مقابل الارتفاع التدريجي لنسبة كل من الألمنيوم والبوتاسيوم والصوديوم.
- مع انخفاض درجة حرارة الصهارة السيليكاتية وتبردها، يلاحظ ازدياد في معدلات الإحلال التدريجي لعنصر الألمنيوم بدلاً عن عنصر السليكون في البناء البلوري.

- **تشكل الفلزات من الماغما وتبلورها وانفصالها بطريقة التصعد**. تتسبب الحرارة الباطنية لمحاليل الصهارة السيليكاتية في تبخر بعض العناصر والمركبات الكيميائية، التي تنفصل عنها مع المركبات الغازية الأخرى. يحدث ذلك غالباً إما عند اقتراب الماغما من السطح الخارجي للأرض أو نتيجة تدفقها عليه، حيث تتمكن بعض المركبات والعناصر الكيميائية المتبخرة من أن تترسب اعتباراً من الحالة الغازية بحادثة التصعد Sublimation، لتشكل توضعات فلزية تنتشر غالباً حول المداخن أو الفوهات البركانية.

تعد توضعات الكبريت الحر الفلزية المنتشرة حول العديد من الفوهات البركانية المثال النموذجي لهذه الحادثة، بالإضافة لتوضعات الكبريت الحر الفلزية لوحظ انتشار توضعات كل من فلزات الريالغار والأوربيمينت وبعض الفلزات الحرة كالكوبالت

والقصدير والرصاص والنحاس والبيزموت والفوسفور حول المداخن أو الفوهات البركانية.

- **تشكل فلزات بطريقة الاستعاضة التماسية Metasomatism**، يتشكل عدد كبير من الفلزات نتيجة تفاعل مواد غازية منطلقة من الصهارة السيليكاتية الماغما(المهل) مع الصخور الجيرية الملامسة لها، يتشكل نتيجة ذلك بعض الفلزات السيليكاتية والأوكسيدية والسولفيدية.

تشكل الفلزات من المحاليل المائية:

تقسم الفلزات المتشكلة وفق هذه الطريقة حسب طبيعة المحاليل المائية إلى نوعين هما:

- التشكل والتبلور من المحاليل المائية الموجودة على السطح الخارجي للقشرة الأرضية التي تشكل الغلاف المائي، فالمياه السطحية أو الجوفية تعمل على إذابة مختلف المركبات الملحية القابلة للذوبان، ويمكن لهذه المركبات في مدة لاحقة وفي شروط معينة أن ترسب مجموعة كبيرة من الفلزات الملحية مثل الهاليت، الجص، الدولوميت، السيديريت والسيلفين.

تحتوي مياه المحيطات والبحار والبحيرات المالحة على كميات كبيرة من الأملاح الذائبة. ونتيجة لعملية البخر فإن تركيز هذه الأملاح يزداد حتى يصل إلى مرحلة فوق الإشباع والترسيب، مع العلم أن عملية ترسيب الأملاح من محاليلها تتم بالتسلسل حسب درجة ذوبان الأملاح، فالملح الأقل ذوباناً يترسب أولاً. لهذا يحصل ترسيب الأملاح وفق الترتيب الآتي: "كربونات الكالسيوم، كربونات المغنيزيوم، كبريتات الكالسيوم، كلوريد الصوديوم، كلوريد البوتاسيوم" وهي تشكل بمجموعها أغلب الصخور الرسوبية ذات المنشأ الكيميائي. كما أن الكائنات الحية التي تعيش في الأوساط المائية البحرية أو البحيرية قد تساهم في تكوين الفلزات، إذ إن توضع قواقعها عبر الزمن الجيولوجي الطويل يؤدي إلى تجمع كميات كبيرة وهائلة من القواقع التي تشكل بدورها بعد عملية تجمعها وتراصها طبقات كبيرة من الصخور الرسوبية العضوية.

- التشكل والتبلور من المحاليل المائية الحارة، التي تمثل البقية الباقية من المحاليل المتبقية من تبلور الماغما، وتكون عادة غنية في محتواها بالعديد من المركبات الكيميائية الأوكسيدية، السولفيدية، السولفاتية والكربوناتية··· فمع انخفاض درجتي الحرارة والضغط لهذه المحاليل، تبدأ عملية تبلور العديد من الفلزات وتشكلها، خاصة تلك التي تتكون منها الخامات المعدنية الاقتصادية·

تقسم المحاليل المائية الحارة تبعاً لدرجة حرارتها إلى ثلاثة أنواع هي:

أ· المحاليل المائية الحارة ذات الحرارة المرتفعة (٥٠٠-٣٠٠م°)، ويتشكل منها على سبيل المثال الفلزات الآتية: الولفراميت، الموليبدينيت، الكاسيتريت، الغارنت، التوباز والأباتيت·

ب· المحاليل المائية الحارة ذات الحرارة المتوسطة (٣٠٠-٢٠٠م°)، ويتشكل منها على سبيل المثال الفلزات الآتية: الكالكوبيريت، السفاليريت، الغالينا، الأرسينوبيريت، التيتراهيدريت، الباريت والكالسيت·

ج· المحاليل المائية الحارة ذات الحرارة المنخفضة (٢٠٠-٥٠م°)، ويتشكل منها على سبيل المثال الفلزات الآتية: السينابار، الاستبنيت، الماركازيت والفلوريت·

تؤدي الشروط الترموديناميكية من حرارة وضغط دوراً رئيساً محدداً لنوع الفلزات المتشكلة وتركيبها وفق الطريقتين السابقتين لتشكل الفلزات، فعلى سبيل المثال تؤثر تغيرات درجة حرارة الصهارة السيليكاتية أو المحاليل المائية، على درجة ومقدار انحلالية المواد والمركبات الكيميائية في محاليلها، فانخفاض درجة حرارة الصهارة السيليكاتية أو المحاليل المائية يؤدي إلى وصول الأملاح إلى درجات فوق الإشباع في محاليلها، مما يقود إلى تمايزها وترسبها، والعكس صحيح يقود ارتفاع درجة حرارة الصهارة السيليكاتية أو المحاليل المائية إلى رفع درجة انحلال الأملاح ضمنها، وبالتالي تنخفض نسبة تمايز هذه الأملاح من محاليلها أو ترسيبها· مع الأخذ في الحسبان أن عملية الانحلال هي حادثة ماصة للحرارة، بينما عملية الترسيب هي حادثة ناشرة للحرارة·

أيضاً تؤدي تغيرات درجات الضغط دوراً رئيساً في درجة ومقدار انحلالية المواد والمركبات الكيميائية في محاليلها، فارتفاع الضغط يؤدي إلى زيادة درجة انحلال الأملاح فيها، أما انخفاضه فيقود إلى تمايزها وترسبها من محاليلها.

١. تشكل الفلزات نتيجة إعادة التبلور من خلال إعادة ترتيب الذرات في البلورات الفلزية سابقة التشكل:

تسهم المحاليل المائية المتغلغلة في الفواصل والشقوق الصخرية غالباً بعملية إعادة الترتيب الذري المتمثل إما بإزالة، أو إضافة بعض الذرات الكيميائية. فعلى سبيل المثال تتحول الصخور الجيرية المكونة بشكل رئيس من فلز الكالسيت لدى تغلغل المحاليل المائية ضمنها والغنية بأيونات المغنيزيوم إلى صخور الدولوميت، وفق التفاعل الآتي:

$$2CaCO_3 + Mg^{++} \rightarrow (Ca\ Mg)(CO_3)_2 + Ca^{++}$$

تحدث عملية إعادة ترتيب النظام البلوري الذري للفلزات أيضاً في شروط عالية من الضغط والحرارة، مؤدية إلى تشكل فلزات جديدة تسهم في تكوين الصخور المتحولة. فمثلاً يتحول فلز الألبيت (البلاجيوكلاز الصودي) بدرجات حرارة مرتفعة وبتوافر عنصر البوتاسيوم في وسط التحول إلى فلز السانيدين (أحد فلزات مجموعة الفلدسبار البوتاسي) وفق التفاعل الآتي:

$$NaAlSi_3O_8 + K^+ \rightarrow KAlSi_3O_8 + Na^+$$

كما يمكن أن تتم عملية تشكل مجموعة كبيرة من الفلزات على السطح الخارجي للقشرة الأرضية نتيجة تأثير عمليات التجوية الكيميائية المختلفة على الصخور القديمة، خاصة الصخور النارية، مؤدية لتشكل ما يسمى بالتوضعات المتبقية وفلزات الغضار. فمثلاً يتحول فلز الموسكوفيت نتيجة إزاحة بعض أيونات البوتاسيوم أيونات الهيدرونيوم H_3O^+ إلى فلز الايليت، وهو أحد أنواع فلزات الغضار ومع استمرار عملية إزاحة أيونات البوتاسيوم يتشكل فلز جديد هو الفيرموكوليت الذي يتحول لدى تواجده في وسط غني بأيونات الألمنيوم إلى فلز الكلوريت.

٢٠ **تشكل الفلزات نتيجة عمليات التجوية:**

عمليات التجوية Weathering Processes هي مجمل العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تقود إلى تفتت الصخر وتكسره وتهشمه بالقرب من السطح الخارجي للأرض لتنتج مواداً متزنة مع الشروط الفيزيائية الكيميائية السائدة. وتقسم التجوية حسب طبيعة هذه العمليات إلى تجوية فيزيائية وأخرى كيميائية.

- **تشكل الفلزات نتيجة عمليات التجوية الفيزيائية:** يطلق على عملية التجوية الفيزيائية بعض الأحيان التجوية الميكانيكية، وتشتمل على مجمل العمليات التي تقود إلى تكسير الصخر وتفتيته وتهشيمه ميكانيكياً، دون أي تفاعلات كيميائية مرافقة، وبالتالي دون الإسهام في تكوين فلزات جديدة.

يظهر تأثير عمليات التجوية الفيزيائية بشكل واضح في المناطق الجافة قليلة أو نادرة الأمطار، أو أيضاً في المناطق القطبية شديدة البرودة، حيث ينعدم هنا أي تأثير كيميائي على المكونات الصخرية، أما في المناطق الحارة والرطبة حيث تنشط عمليات التجوية الكيميائية فإن التجوية الفيزيائية وما ينتج عنها من تهشيم وتكسير وتفتيت للصخور يساعد بشكل فعال وكبير على تعميق تأثير عوامل التجوية الكيميائية على الصخور. وبما أن مجمل عمليات التجوية الفيزيائية لا تسهم بتكوين فلزات جديدة، فإننا سنكتفي بهذا القدر بما يتعلق بالتجوية الفيزيائية وسنهتم بعمليات التجوية الكيميائية.

- **تشكل الفلزات نتيجة عمليات التجوية الكيميائية:** تعرف عمليات التجوية الكيميائية على أنها مجمل التفاعلات الكيميائية التي تتم بين الصخور والغلاف المائي والهوائي على السطح الخارجي للقشرة الأرضية. فالكثير من الفلزات السيليكاتية والكبريتية وغيرها من الفلزات التي كانت مستقرة ضمن أوساط نشأتها وتشكلها في باطن الأرض تصبح غير مستقرة لدى انتقالها إلى السطح الخارجي للأرض، يعود سبب ذلك إلى تغير الشروط الكيميائية والفيزيائية السائدة على السطح الخارجي للأرض عن تلك الشروط التي تكونت ضمنها هذه الفلزات.

إن نشأة أي فلز في أي وسط من الأوساط، يعني تمتع مكونات هذا الفلز بحالة من الاستقرار والثبات والاتزان بينه وبين جميع الشروط الفيزيائية والكيميائية السائدة ضمن هذا الوسط، وعند انتقال الفلز إلى وسط آخر تسود فيه ظروف وشروط فيزيائية وكيميائية مختلفة أو

مغايرة، تصبح مكونات هذا الفلز غير متوازنةً أو مستقرةً، وتبدأ سلسلة من التفاعلات الكيميائية ضمن الوسط الجديد تصل في نهايتها إلى حالة توازن واستقرار جديدة· فمكونات الفلزات الأولية التي ارتبطت بروابط كيميائية محددة ضمن شروط بيئات تكونها الأولية، تصبح غير ملائمة، فتتحرر هذه المكونات من تلك الروابط الكيميائية·

تجدر الإشارة هنا إلى أن تعدد الطرائق المنشئية للفلزات واختلافها، قد تؤدي إلى تشكل أنماط متباينة في تركيز محتوى الفلز وشكله وحجمه "بنيته ونسيجه" وتركيزه "احتياطيه الاقتصادي"، فمثلاً فلزات الحديد يمكن أن تتشكل نتيجة تبرد الصهير المغماتي أو نتيجة عمليات الترسيب أو عن فعل عمليات التجوية·

يؤدي انفصال أكاسيد الحديد كالماغنيتيت والماغنيتيت التيتاني(الإيلمينيت) أو الماغنيتيت الكرومي (الكروميت) ذات الوزن النوعي المرتفع من الصهارة السيليكاتية، بمراحل مبكرة نتيجة عمليات التفاضل المغماتي الثقالي، لتشكل توضعات اقتصادية لفلزات ذات تراكيز عالية من الحديد، غير منتظمة الشكل (عدسية)، في حين أن عمليات الترسيب المباشر تقود لتوضع خامات حديد من فلزات الهيماتيت والليمونيت والسيديريت متدنية التركيز، وتسهم عمليات التجوية المختلفة لاحقاً في زيادة ورفع تركيز كل من الهيماتيت والليمونيت والغوتيت فيها·

تضم التجوية الكيميائية مجموعة من العمليات أهمها: الإذابة،الكربنة، التحلل المائي، التميه والأكسدة·

الإذابة (الانحلال): تعد أبسط عمليات التجوية الكيميائية، ويعبر عنها بدرجة انحلال الفلز، علماً أن هذه الدرجة تتفاوت وتختلف من فلز إلي آخر· ويعد أكثرها قابلية للذوبان فلز الهاليت NaCl (ملح الطعام)، وفلز السيلفين KCl، وأقلها إذابة الفلزات السيليكاتية· مع العلم أن معظم الفلزات الشائعة في الطبيعة لا تذوب إلا بنسب محدودة بالمياه النقية أو المياه الطبيعية، وتؤدي درجة حموضة الوسط (pH) عادة دوراً مهماً في تحديد درجة الإذابة·

الكربنة: يحتوى الغلاف الجوي على حوالي ٠,٠٠٣% من غاز ثاني أوكسيد الكربون الذي يمكن أن يذوب بالماء مكوناً حمض الكربون الخفيف، وفق التفاعل الآتي:

$$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3$$

يعمل حمض الكربون المتشكل وفق التفاعل السابق عند ملامسته الصخور الكربوناتية على إذابتها، وفق التفاعل الآتي:

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow 2(HCO_3)^- + Ca^{+2}$$

التحلل المائي: تعد تجوية فلزات مجموعة البلاجيوكلاز إلى مجموعة الفلزات الغضارية من أهم تفاعلات التحلل المائي، فالتفاعل الآتي يوضح آلية تحول فلز الألبيت مثلاً (البلاجيوكلاز الصودي) إلى فلز الكاولينيت عند تواجد الماء.

$$3NaAlSi_3O_8 + H_2O \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH) + Na^{+1} + 4SiO_2 + H_2O$$

ألبيت كاولينيت

الإماهة: هو تفاعل الماء مباشرة مع المركبات الفلزية ويعد تحول فلز الهيماتيت إلى فلز الليمونيت مثالاً واضحاً لذلك:

$$2Fe_2O_3 + 3H_2O \rightarrow 2Fe_2O_3.3H_2O$$

هيماتيت ليمونيت

كما يعد تحول فلز كبريتات الكالسيوم اللامائي "الأنهيدريت" إلى فلز الجص(الجبس) أيضاً مثالاً واضحاً له:

$$CaSO_4 + 2H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O$$

أنهيدريت جص(جبس)

الأكسدة: تعد عملية الأكسدة من أهم عمليات التجوية على الصخور الرسوبية، كما تعد أهم المركبات الكيميائية التي تتأثر بعملية الأكسدة هي الحديد والمنغنيز والكبريت. هذا ويعد تحول فلز السيديريت إلى فلز الهيماتيت مثالاً واضحاً لعملية الأكسدة والتي تتم وفق التفاعل الآتي:

$$2Fe_2CO_3 + O_2 + 2H_2O \rightarrow Fe_2O_3 + 2H_2CO_3$$

سيديريت هيماتيت

أو بالنسبة لعنصر المنغنيز عندما يتأكسد فلز الرودوكروزيت ليتكون فلز البيرولوزيت وفق التفاعل التالي:

$$2MnCO_3 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2MnO_2 + 2H_2CO_3$$

رودوكروزيت بيرولوزيت

يوجد عنصر الحديد وعنصر المنغنيز في الصخور النارية والمتحولة عادة ثنائية التكافؤ (Fe^{+2},Mn^{+2})، وتبقى كذلك ما دامت هذه الصخور بعيدة عن تأثير عمليات التجوية الكيميائية· لدى انتقال هذه الصخور بفعل الحركات الجيوتكتونية الحركية للسطح الخارجي للأرض أو بالقرب منه، تبدأ عمليات التجوية الكيميائية خصوصاً عمليات الأكسدة بالنشاط ويتحول كل من عنصر الحديد ثنائي التكافؤ (Fe^{+2})، إلى الحديد ثلاثي التكافؤ (Fe^{+3}) وعنصر المنغنيز ثنائي التكافؤ(Mn^{+2}) إلى المنغنيز رباعي التكافؤ(Mn^{+4})، مثال ذلك في الطبيعة أكسدة فلز الأوليفين الحديدي (الفاياليت) بوجود الماء وتشكل فلز الهيماتيت وفق التفاعل الآتي:

$$2Fe_2SiO_4 + O_2 + 4H_2O \rightarrow 2Fe_2O_3 + 2H_4SiO_4$$

أوليفين (فاياليت) هيماتيت

أو بالنسبة لعنصر المنغنيز عندما يتأكسد فلز التيفروئيت بوجود الماء ويتشكل فلز البيرولوزيت وفق التفاعل التالي:

$$2Mn_2SiO_4 + O_2 + 4H_2O \rightarrow 2MnO_2 + 2H_4SiO_4$$

التيفروئيت البيرولوزيت

نواتج التجوية الكيميائية وتشكل الفلزات الغضارية

يمكن توزيع نواتج التجوية الكيميائية في أربعة مجموعات رئيسة هي:

١· مكونات قابلة للذوبان تشكل محاليل مائية غنية بالأيونات مثل: (Na^{+1}),(K^{+1}),(Ca^{+2}),(Mg^{+2}),(HCO_3^{-1}),(SO_4^{-2}),(Cl^{-1})، يمكن إزالتها من موقع التجوية بسهولة·

٢· فلزات متبقية عن عمليات التجوية تتسم بشدة ثباتها اتجاه عمليات التجوية الكيميائية، من أمثلتها فلزات: الكوارتز، الزيركون، الإيلمينيت، الروتيل، التيتانيت(السفين)، المونازيت والتورمالين·

٣· فلزات جديدة (حديثة) التشكل نتجت عن عمليات التجوية، مثل فلزات: الكاولينيت، الايليت، الكلوريت، الغوتيت، الهيماتيت، الجبسيت، البهميت، الدياسبور والهلام السيليكاتي غير المتبلور·

٤· مركبات ومواد عضوية ناتجة عن تحلل المواد العضوية مثل: الحموض العضوية والحموض الدبالية الهيومية·

لقد أثبتت الدراسات الجيوكيميائية المخبرية المنفذة من قبل العالمين (Busenberg and Clemency,1976) والمطبقة على مجموعة فلزات الفلدسبار، على امتداد حقبة طويلة من الزمن وتحت شروط حرارة ٢٥م° وضغط جزيئي قدره ضغط جوي واحد من CO_2 أن أيونات الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم وكذلك حمض السيليسيوم تتحرر في المحلول بأربع مراحل رئيسة يمكن تبسيطها على النحو الآتي:

- المرحلة الأولى أو المرحلة الابتدائية: تتم بمدة زمنية قصيرة لا تتعدى الدقيقة الواحدة، يتم خلالها حدوث تبادل بين الكاتيونات السطحية بأيونات الهيدروجين الآتية من المحلول· تمثل هذه المرحلة مرحلة التحلل المائي لفلزات الفلدسبار·

- المرحلة الثانية: ويتم خلالها إزاحة مكثفة للكاتيونات وحمض السيليسيوم في المحلول وتحريرها كما في التفاعل الآتي:

$$3KAlSi_3O_8 + H_2O \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH) + 4SiO_2 + H_2O + K^{+1}$$

أورثوكلاز كاتيون البوتاسيوم

يتباين الزمن الخاص بتحرير حمض السيليسيوم ضمن هذه المرحلة ويراوح بين ساعة ونصف لفلز الألبيت وفلز الأورثوكلاز ليتخطى المائة ساعة لفلز الأنورتيت·

المرحلة الثالثة: تبدأ مع نهاية المرحلة الثانية، حيث تبدأ فلزات الطين الصفائحية (كاولينيت، إيليت) بتشكيل طبقة على السطوح الخارجية لفلزات الفلدسبار المتبقية، كما تستمر في هذه المرحلة عملية تحرير الكاتيونات وتكوين الحموض السيليكاتية، لكن بدرجة أقل مما كان عليه في المرحلة السابقة· تشكل طبقة فلزات الطين المتكونة على السطح الخارجي لفلزات الفلدسبار حاجزاً معيقاً أمام استمرار عملية انتشار أيونات الهيدروجين وتحرير

الكاتيونات ووصولها للمحاليل المائية· يستمر الزمن الخاص بالمرحلة الثالثة نحو تسعة عشر يوماً·

المرحلة الرابعة: تشهد هذه المرحلة حالة اتزان وثبات واستقرار للتركيب الكيميائي للطبقة السطحية الخارجية، المكونة من فلزات الطين الغضارية·

يتأثر سير المراحل السابقة بالعوامل والمتغيرات والظروف السائدة، فمثلاً تعمل درجات انسياب المياه وتدفقها تبعاً لتجارب العالم (Berner,1971) كعامل مؤثر وفعال ومنظم يضبط سير عملية التجوية، ويحدد نواتجها، ففي حالات التدفق والانسياب المتوسط للمياه يتحول فلز الألبيت إلى فلز الكاولينيت$Al_2Si_2O_5(OH)$ ، وفق التفاعل الآتي:

$$3NaAlSi_3O_8 + H_2O \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH) + 4SiO_2 + H_2O + Na^+$$

ألبيت كاولينيت

أما في حالات التدفق أو الانسياب المرتفع للمياه، فتتم إزالة حمض السيليسيوم بكميات أكبر وبسرعة كافية لتشكل فلز الجبسيت$Al(OH)_3$ بدلاً عن فلز الكاولينيت$Al_2Si_2O_5(OH)$، وفق التفاعل الآتي:

$$NaAlSi_3O_8+H_2CO_3+7H_2O \rightarrow Al(OH)_3+ 3H_4SiO_4 + H_2O+Na^+$$

كاولينيت حمض السيليكون جبسيت

أما في حالات التدفق المائي المنخفض والانسياب البطيء، فإن عملية إزالة المواد المغسولة تكون كذلك بطيئة وغير مكتملة، ويتكون فلز المونتموريلونيت بوجود أيونات المغنيزيوم بدلاً من فلز الكاولينيت، وفق التفاعل الآتي:

$$4NaAlSi_3O_8 + Mg^{+2} + 4H_2O \rightarrow$$

ألبيت $H_4SiO_4 + 2Na^+ + Na_{0.5}Al_{1.5}Mg_{0.5}Si_4O_{10}(OH)_2$

مونتموريلونيت

ترتبط حالات التدفق المائي وشدتها وسرعة انسيابها بمجموعة من العوامل منها: طبيعة المناخ السائد في المنطقة، ومعدلات الهطولات المائية والوضع الطبوغرافي· ففي المناطق الطبوغرافية العالية ذات الهاطل المائي المرتفع، تكون معدلات تصريف المياه المنسابة ضمن

الصخور والترب عالية فتنشط بذلك عمليات تجوية فلزات مجموعة الفلدسبار لتشكل فلزات البوكسيت والجبسيت· بينما يتكون فلز المونتموريلونيت في المناطق الطبوغرافية المنخفضة ذات الهاطل المائي القليل، حيث تكون معدلات تصريف المياه المنسابة ضمن الصخور والترب منخفضة· أما عندما تكون الحالة متوسطة بين للحالتين الموصوفتين فإن ناتج تجوية فلزات مجموعة الفلدسبار يكون فلز الكاولينيت·

إضافة إلى ذلك يؤدي التركيب الكيميائي الأولي للفلزات دوراً مهماً في تحديد هوية الفلزات الغضارية المتكونة وطبيعتها، فبينما تميل فلزات مجموعة الفلدسبار لتكوين فلز الكاولينيت كناتج لعمليات التجوية، فإن الفلزات الأولية الغنية بعنصري المغنيزيوم والحديد تميل لتشكيل فلز المونتموريلونيت، بينما يتكون نتيجة تجوية مجموعة فلزات الميكا " الموسكوفيت والبيوتيت" فلز الايليت· أيضاً تزداد عمليات التجوية الكيميائية مع زيادة محاليل التجوية بالمواد العضوية والحموض الدبالية الهيومية، التي تؤثر بشكل مباشر على درجة حمضية الوسط (درجة الأس الهيدروجيني pH) واغتنائه بأيونات الهيدروجين· حيث تنطلق كميات كبيرة من غاز ثاني أوكسيد الكربون نتيجة تحلل المادة العضوية مترافقاً مع تحرر كميات كبيرة من أيونات الهيدروجين، وفق التفاعل الكيميائي الآتي:

$$CO_2 + H_2O \longleftrightarrow H_2CO_3 \longleftrightarrow HCO_3 + H^+$$

كذلك يكون للمناخ دور مهم في تحديد هوية الفلزات الغضارية الناتجة عن عمليات التجوية الكيميائية، حيث يتشكل في المناطق ذات المناخات المعتدلة كل من فلزات السمكتيت والإيليت، بينما يتكون فلز الكاولينيت في مناطق المناخات الرطبة، ويتشكل فلز الباليوغروسكيت في المناطق الصحراوية ذات المناخات الجافة·

درجة ثبات الفلزات· اتجاه عمليات التجوية

تتباين الفلزات فيما بينها من حيث درجة ثباتها اتجاه عمليات التجوية أو ما يعبر عنه أيضاً بمدى تأثرها بعمليات التجوية الكيميائية، وذلك تبعاً لظروف نشأتها· فلقد وضح العالم غولديش، (Goldich,1938) أن ترتيب مقاومة الفلزات المكونة للصخور النارية لعمليات التجوية هو عكس ترتيبها في سلسلتي بوين Bowen للتفاعل الفلزي:

- (سلسلة تفاعل متصلة): كوارتز ← فلدسبار بوتاسي← بلاجيوكلاز صودي←بلاجيوكلاز كلسي.

- (سلسلة تفاعل منفصلة): موسكوفيت ← بيوتيت ← أمفيبول ← بيروكسين ← أوليفين.

تقل استقرارية الفلزات وثباتها وفق هذا الاتجاه ← ← ← ← ← ←

على العكس من سلاسل بوين الفلزية التفاعلية، لا يحدث لدى الانتقال من الجانب الأيمن إلى الجانب الأيسر أي تفاعل عكسي بين الفلزات، كما هي الحال في أثناء عملية التشكل الفلزي والتبلور من الصهارة المهلية، لأنه لا يحدث أي تفاعل بين مكونات هذه الفلزات خلال التجوية، وإنما يتحلل كل فلز نتيجة التجوية الكيميائية إلى مكونات أقل تعقيداً.

اقترح العالم جاكسون (Jackson,1968) لاحقاً ترتيباً يتضح في الجدول-١ الآتي لثبات الفلزات واستقرارها بحيث يتزايد هذا الثبات كلما انتقلنا من المجموعة الفلزية الأدنى نحو المجموعة الفلزية الأعلى:

جدول- ١: ترتيب المجموعات الفلزية تصاعدياً مع تزايد ثباتها واستقرارها اتجاه عمليات التجوية، من (أبو نقطة، ٢٠٠٤).

المجموعة	الفلزات
١	جص، هاليت.
٢	كالسيت، دولوميت، أراغونيت، أباتيت.
٣	أوليفين، أمفيبول، بيروكسين.
٤	بيوتيت.
٥	فلزات مجموعة الفلدسبار.
٦	كوارتز.
٧	موسكوفيت، إيليت.
٨	فيرموكوليت.
٩	سمكتيت.
١٠	كلوريت.
١١	ألوفان.
١٢	كاولينيت، هالوزيت.
١٣	جبسيت، بهميت.
١٤	الأكاسيد (هيماتيت، غوتيت، ماغنيتيت).
١٥	تيتانيت (سفين)، زيركون، روتيل، إيلمينيت.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

البنى البلورية للفلزات

- أنواع الروابط الكيميائية
  - الروابط الأيونية
  - الروابط التساهمية (المشتركة)
  - الروابط المعدنية
  - الروابط الفاندرفالزية
- نصف القطر الذري الأيوني
- طاقة التأين
- الإلفـــة الالكترونية
- الكهروسلبية
- عدد الإحاطة أو التناسق
- قواعد عامة حول طبيعة الروابط الكيميائية
- تصنيف غولدشميدث للعناصر الكيميائية
- تصنيف العناصر الكيميائية، تبعاً لميول تجمعها وارتباطها
  - مجموعة العناصر الأتموفيللية
  - مجموعة العناصر الليثوفيللية
  - مجموعة العناصر السيدروفيللية
  - مجموعة العناصر الكالكوفيللية
- تساوي الشكل البلوري واستبدال العناصر الكيميائية في البنى البلورية
- تعدد الشكل البلوري
- منظومات التبلور

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

البنى البلورية للفلزات

توجد الفلزات في الطبيعة صلبة بصورة عامة وتكون على شكل تجمعات بلورية أو بلورات مفردة صغيرة أو متوسطة أو خشنة الأبعاد· وتعرف البلورة "Crystal" أنها جسم صلب طبيعي التشكل والنشأة، له تركيب كيميائي ثابت وترتيب ذري محدد، ينتج عنه شكل هندسي منتظم وثابت، يتمتع بخواص فيزيائية متباينة (Anisotropic) حسب الاتجاه، وبعض الفلزات تكون غير متبلورة (Amorphic) مثل فلز الأوبال($SiO_2.nH_2O$) وتتمتع بخواص فيزيائية متساوية في جميع الاتجاهات (Isotropic).

عند دراسة البنى البلورية يتوجب الاطلاع على بعض المفاهيم العامة من علم الكيمياء البنيوية Structural Chemistry لارتباطها ارتباطاً وثيقاً مع علم البلورات الهندسية Geometrical Crystallography وعلم هندسة الأجسام الصلبة Solid Geometry.

لقد أتاح تطور التحليل الآلي الحديث وطرائقه ومعارفه وتقاناته خلال العقود الأربعة الأخيرة باستخدام الطرائق المعتمدة على الأشعة السينية الإنعراجية X-Ray Diffraktometer(XRD)، المجهر الإلكتروني Electron Microscope(EM)، والمجهر الإلكتروني الماسح (الميكروبروب) Scanning Electron Microscopy(SEM) والتحليل الحراري التفاضلي Differential Thermal Analysis(D.T.A) تطور فهم البنى البلورية المختلفة ودراستها، خاصة للفلزات متناهية الأبعاد كفلزات الغضار·

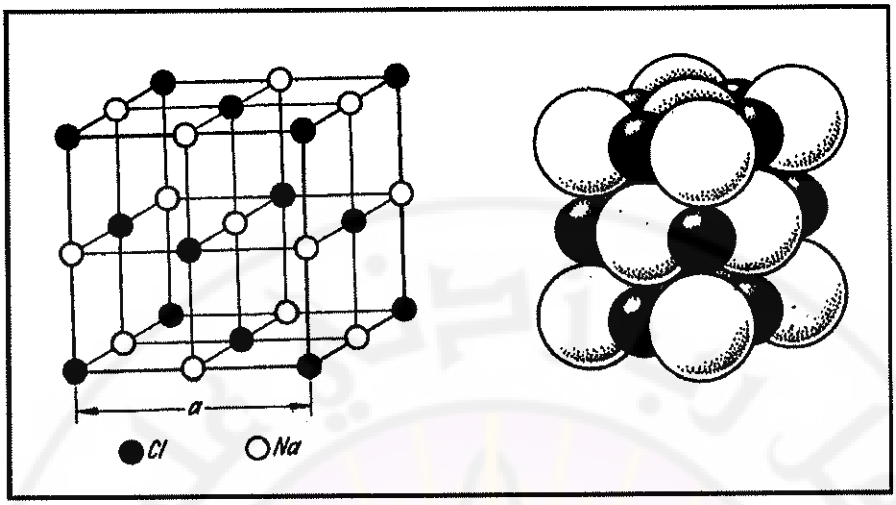
تعود أهمية تحديد البنى البلورية عادة لكون جميع الصفات الفيزيائية للفلزات كالصلابة واللون والتألق ··· مرتبطة بها، كما أن لها أهمية خاصة في تمييز الفلزات بعضها من بعض، لأن لكل فلز عادة بنية وشكلاً بلورياً خاصاً به· علماً بأن الأشكال الهندسية المنتظمة (البلورات) والمميزة لكل فلز ما هي إلا انعكاس للترتيب الداخلي للعناصر الكيميائية المكونة له (ذرات، أيونات، وجزيئات) والتي ترتصف في وضع ثلاثي الأبعاد مشكلة ما يسمى بالشبكة البلورية·

يوجد في الطبيعة عدد قليل ومحدد من الأجسام الصلبة الفلزية المتبلورة، على هيئة تجمع للذرات، مثال ذلك كل من فلز الكبريت وفلز الألماس· بينما يكون عدد الأجسام الصلبة الفلزية المتبلورة المكونة من الأيونات أو الجزيئات كبيراً·

تعد بلورة فلز الهاليت (ملح الطعام) NaCl إحدى أهم الأجسام الفلزية الصلبة البلورية المكونة من أيونات وتتميز ببنية بلورية بسيطة غير معقدة. وبشكل عام ينظر للنموذج الأيوني للبناء الشبكي البلوري لكل أيون على أنه كرة صلدة لها حجم ثابت ومحدد ومشحونة بشحنة كهربائية، كما يخضع شكل البناء الشبكي البلوري لقواعد بولينغ الآتية:

- يكون البناء البلوري المستقر متعادلاً كهربائياً، ويتحقق ذلك من خلال تساوي مجموع الشحنات الكهربائية للأيونات الموجبة المركزية مع الشحنات الكهربائية للأيونات السالبة المحيطية.
- تتراص الأيونات ضمن البناء الشبكي البلوري بشكل محكم، بحيث تكون المسافة بين أي أيونين سالب وموجب مساوية لمجموع نصفي قطريهما.
- تتباعد الأيونات متماثلة الشحنة الكهربائية ضمن البناء الشبكي البلوري قدر الإمكان، وينشأ عن تباعدها هذا تخفيف قوى التدافع في البناء البلوري لتحقيق أكبر قدر من التماسك والارتباط. يكون ذلك مرهوناً بنمط الشكل البنائي البلوري الناجم عن كيفية ارتباط عديدات الوجوه البلورية، أضلاعها أو وجوهها أو ذراها. فعلى سبيل المثال في الفلزات السيليكاتية المفردة [SiO_4^{-4}] يتمركز أيون السيليسيوم ذا الشحنة الموجبة المرتفعة ونصف القطر الأيوني الصغير ٠,٤٢ Å في مركزها، فيما تتوزع أيونات الأوكسجين الأربعة ذات الشحنة السالبة المنخفضة ونصف القطر الأيوني الكبير على ذراه(رؤوسه).

يتبلور فلز الهاليت في منظومة التبلور المكعبية ممركزة الوجوه، تشغل أيونات الكلور Cl^- ذراه (رؤوسه) الثمانية، وكذلك مراكز وجوهه الستة، بينما تتوزع أيونات الصوديوم Na^+ على منتصفات أضلاع (حروف) المكعب الاثني عشرة وفي مركزه(شكل-١). تتبادل أيونات الصوديوم Na^+ وأيونات الكلور Cl^-، الأدوار فيما بينها في البناء البلوري بشكل تناظري، بحيث تكون أيونات الصوديوم محاطة بستة أيونات من أيونات الكلور تتوزع على رؤوس ثماني الوجوه، كذلك تكون أيونات الكلور محاطة بستة أيونات من أيونات الصوديوم تتوزع على رؤوس ثماني الوجوه المجاور.



شكل- ١: البنية البلورية لفلز الهاليت (ملح الطعام) NaCl.

إن الشكل المبسط المبين أعلاه والمقترح لبنية تبلور فلز الهاليت، لا يكون في الواقع بهذه البساطة، لأنه يمثل فقط شكل انتظام الأيونات في البنية البلورية وتوزعها، كما أنه لا يعكس حجمها الفعلي أو الحقيقي. لأنه في واقع الحال يكون كامل الحجم البلوري مشغولاً بالأيونات باستثناء الفراغات الواقعة فيما بينها، وتعد البلورة ككل كجزيء كبير يتألف من مجموعة من الجزيئات ثنائيات الأقطاب التحريضية، تتكون من أيونين متعاكسين في شحنتهما الكهربائية، إضافة لذلك تنشأ ضمن الجسم البلوري الأيوني نتيجة للتأثير المتبادل بين الأيونات ذاتها ثنائيات أقطاب غير تحريضية "قوى كهروستاتيكية" تعمل على تشكيل قوى جذب بين الجزيئات، أي أن الجانب السالب من جزيء ما يستطيع أن يجذب إليه الطرف الموجب من جزيء آخر وتتم هذه الحادثة في الفراغ ثلاثي الأبعاد.

يعد ما سبق عرضه، افتراضاً سهلاً، حيث إن أي تجمع للأيونات سينتج عنه تشكيل بنى بلورية، تكون فيها جميع الأيونات مرصوصة إلى بعضها رصاً محكماً، يجعل من قوى الارتباط البلوري فيما بينها أعظمياً، ولتحقيق مثل ذلك التراص المحكم ضمن البناء البلوري، لا بد لنا من التعرف على الأنواع المختلفة للروابط الكيميائية التي تربط الذرات أو الأيونات أو الجزيئات مع بعضها، إضافة لذلك، التعرف على بعض الخصائص العنصرية التي تؤثر

بشكل مباشر على طبيعة الروابط المتكونة، كالحجوم النسبية للذرات وللأيونات السالبة والموجبة وكذلك للجزيئات، ومن ثم تحديد أنصاف أقطارها، الإلفة الإلكترونيةIE، طاقة التأين EA والكهروسلبية EN للعناصر الكيميائية.

أنواع الروابط الكيميائية Chemical Bonds:

الروابط الكيميائية في أبسط تعريف لها، هي أقصر مسافة بين ذرتين في مركب كيميائي، فالذرات تسعى للارتباط ببعضها لتكون أكثر استقراراً وأقل طاقة، وتنشأ الرابطة الكيميائية بين ذرتين نتيجة انتقال إلكترون أو أكثر من إحداهما إلى الأخرى، ويتوقف مدى الانتقال وطبيعته على قيم الإلفة الالكترونية EA وطاقة التأين IE للذرات المتفاعلة.

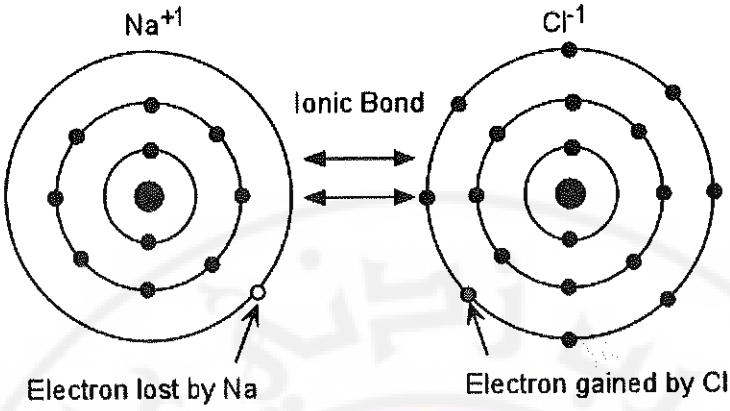
تقسم الروابط الكيميائية إلى أربعة أنواع رئيسة هي: الروابط الأيونية، الروابط لمشتركة، الروابط المعدنية، والروابط الفاندرفالزية.

- الروابط الأيونية Ionic Bond:

هي الروابط التي تربط بين الأيونات ذات الشحنات الكهربائية المختلفة في البناء البلوري الفلزي، وتعرف أيضاً باسم الرابطة الكهروستاتيكية Electrovalent Bond وهي أكثر الروابط الكيميائية انتشاراً.

تنشأ الرابطة الأيونية نتيجة الانتقال الكامل للإلكترونات بين الذرتين المتفاعلتين، ويحدث هذا الانتقال للإلكترونات، عندما تختلف قيم الإلفة الإلكترونية EA وطاقة التأين IE للذرات المتفاعلة اختلافاً كبيراً. مثال ذلك تفاعل ذرة الفلور F مع ذرة ليثيوم Li ، فعنصر الليثيوم يفقد إلكترونه بسهولة بسبب طاقة تأينه المنخفضة متحولاً إلى أيون موجب، بينما تلتقط ذرة الفلور هذا الإلكترون بسهولة بسبب قيم إلفتها الالكترونية العالية متحولة إلى أيون سالب، وتنتج الرابطة الأيونية من تجاذب الأيون الموجب (Li^+) مع الأيون السالب(F^-).

من أمثلتها أيضاً الرابطة التي تربط أيون الكلور بأيون الصوديوم (شكل-٢) في بلورة فلز الهاليت (ملح الطعام).



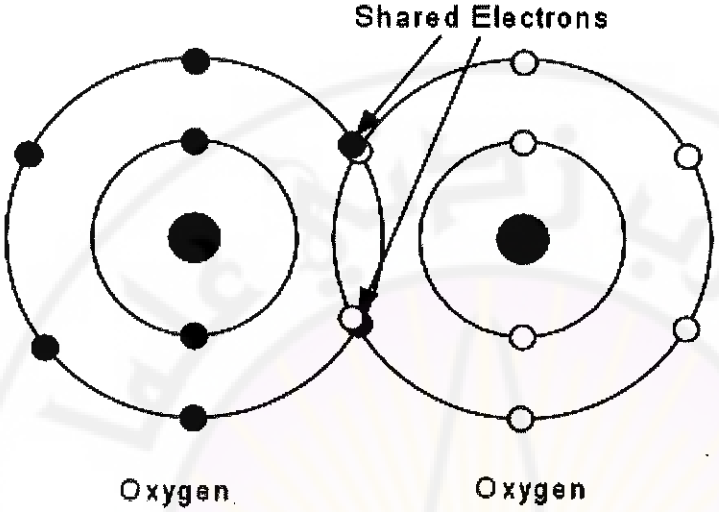
شكل-٢: يبين الشكل الروابط الأيونية Ionic Bond.

تتميز المركبات الكيميائية التي يربط بين مكوناتها العنصرية في بنائها الذري الرابطة الأيونية، بأنها حين تذوب في الماء تشكل محاليل ناقلة وموصلة للكهرباء، في حين تتسم بلوراتها بأنها موصلة رديئة للكهرباء، كما تتميز بقساوة متوسطة ودرجة حرارة انصهار وغليان عاليتين.

- الروابط التساهمية (المشتركة) Covalent Bond:

تعد هذه الرابطة أقوى أنواع الروابط الكهربائية الكيميائية، ويطلق عليها أحياناً رابطة الإلكترونات المشتركة Electron Sharing Bond، تتكون هذه الرابطة نتيجة اشتراك إلكتروني بين ذرتين (شكل-٣) وتنشأ عندما تكون قيم الكهروسلبية EN وقيم الإلفة الالكترونية EA للذرات المتفاعلة متماثلة أو متقاربة، كما هي الحال لعناصر المجموعة IV من الجدول الدوري، لذلك لا تستطيع إحدى الذرتين أن تكتسب الالكترونات اكتساباً كلياً أو تفقدها فقداً كاملاً، وبالتالي لن يحدث الانتقال الكامل للإلكترونات بين الذرات. ويتم الارتباط بأن تتقاسم الذرتان المتفاعلتان زوجاً أو أكثر من الإلكترونات في نفس الوقت. فعلى سبيل المثال، عندما تتفاعل ذرتا هيدروجين لتكون جزئ هيدروجين، فإن قيم الإلفة الالكترونية للذرة الأولى تماثل قيم الإلفة الإلكترونية للذرة الثانية، فتجذب الذرة الأولى إلكترون الذرة

الثانية، وبذات الوقت تجذب الذرة الثانية إلكترون الذرة الأولى، نتيجة لذلك يصبح زوج من الإلكترونات تحت تأثير جذب نواتي ذرتي الهيدروجين في آن واحد.



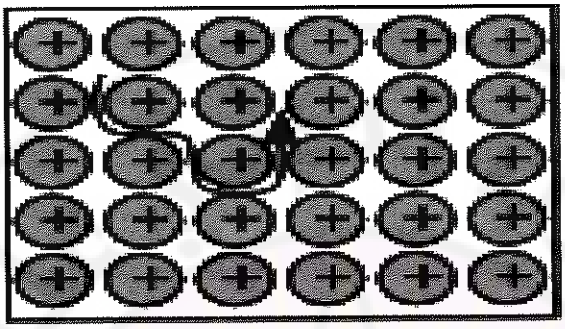
شكل-٣: يبين الشكل الرابطة المشتركة Covalent Bond.

تتميز الفلزات ذات الرابطة المشتركة بشكل عام أنها غير قابلة للذوبان بالماء، وبدرجة عالية من الاستقرار وبدرجتي انصهار وغليان عالية جداً.

- الروابط المعدنية Metallic Bond:

تميز الرابطة المعدنية العناصر الكيميائية المعدنية ذات الصفات المعدنية عادة أو السبائك المعدنية، التي لا تملك ذراتها إلكترونات تساهمية كافية للتجمع في المدارات الإلكترونية السطحية وإشباعها من خلال: إما الانتقال الكلي (روابط أيونية) أو بالمشاركة (الرابطة المشتركة). فيكون من السهل على الكثير من المعادن تحرير بعض أو جميع إلكترونات مداراتها الخارجية، لتصبح نوى ذرات المعادن موجبة الشحنة محاطة بسحابة من الإلكترونات المتحررة والتي تتميز بحرية الحركة والانتقال ضمن البناء الذري للمعدن، ويمكن تصور الذرات عندئذ كأيونات موجبة الشحنة تسبح في بحر من الإلكترونات (شكل-٤).

يعزى للرابطة المعدنية جميع الخواص الفيزيائية المميزة للفلزات المعدنية، مثل انخفاض درجة قساوتها وانصهارها وغليانها وقابليتها للطرق والسحب ودرجات توصيلها الجيدة للحرارة والكهرباء.

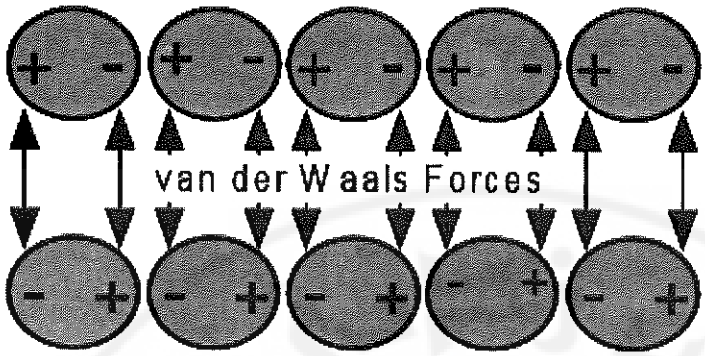


شكل-٤: يبين الشكل الرابطة المعدنية Metallic Bond.

- الروابط الفاندرفالزية Van der Walls Bond:

هي الروابط التي تربط بين الجزيئات الكيميائية متعادلة الشحنة مع بعضها، وعلى الرغم من هذا التعادل في الشحنة الكهربائية، إلا أن تكوينها يجعلها سالبة الشحنة في أحد أطرافها، وموجبة الشحنة في الطرف الآخر (شكل-٥).

توجد الروابط الفاندرفالزية غالباً إلى جانب الروابط التساهمية في الفلزات، كما هي الحال على سبيل المثال في فلز الغرافيت. التي ترتبط فيه ذرات الكربون أفقياً مع بعضها بروابط تساهمية مكونة صفائح رقيقة تحمل شحنات كهربائية على سطوحها الخارجية تعمل على ربط الصفائح شاقولياً ببعضها بروابط فاندرفالزية. ونظراً لضعف هذه الروابط فإن عملية انفصال هذه الصفائح عن بعضها تكون سهلة.



شكل-٥: يبين الشكل الرابطة الفاندرفالزية Van der Walls Forces.

يطلق على المركبات الكيميائية التي ترتبط بأكثر من نوع من الروابط الكيميائية بالمركبات غير متجانسة الروابط Hetrodesmic، كما يطلق على المركبات التي يسودها نوع واحد من الروابط بالمركبات متجانسة الرابطة Homodesmic.

فعلى سبيل المثال، تعد مجموعة الفلزات الكبريتيدية (مجموعة الفلزات السولفيدية) إحدى أهم المركبات الكيميائية غير متجانسة الروابط Hetrodesmic حيث تضم ثلاثة أنواع من الروابط الكيميائية هي: الأيونية والتساهمية والمعدنية. فالرابطة بين أيون العنصر المعدني الموجب وعنصر الكبريت تكون أيونية، بينما تكون الرابطة بين أيونات الكبريت تساهمية وتسود الرابطة المعدنية بين ذرات المعادن.

تضم مجموعة الفلزات الكربوناتية نوعين من الروابط الكيميائية، ففي فلز الكالسيت $CaCO_3$ على سبيل المثال، تكون الرابطة أيونية بين أيون الكالسيوم الموجب وأحد أيونات الأوكسجين السالبة في جزيء الكربونات، بينما تكون الرابطة بين الكربون والأوكسجين في جزيء الكربونات تساهمية.

نصف القطر الذري (الأيوني) (IR) Atomic Radius (Ionic):

يمكن تعريف نصف قطر ذرة ما، أنه نصف المسافة الواقعة بين ذرتين متماثلتين في رابطة كيميائية(جدول-٢). كما يعبر عنه أيضاً بالحجم الذري، وهو النسبة بين الوزن الذري للعنصر الكيميائي على كثافته "مع الإشارة هنا، أن الكثافة تتغير مع تغير درجات الحرارة".

جدول-٢: نصف القطر الذري Å لذرات متماثلة في جزيئاتها.

الجزيء	طول الرابطة الكيميائيةÅ	نصف القطر الذري Å
H-H	١،١٠	٠،٥٥
F-F	١،٤٤	٠،٧٢
Cl-Cl	٢،٠٢	١،٠١
Br-Br	٢،٣٠	١،١٥
I-I	٢،٦٦	١،٣٣

لدى النظر للجدول الدوري للعناصر الكيميائية (جدول-٣)، نجد أن نصف القطر الذري وبالتالي الحجم الذري للعناصر الكيميائية يتناقص بصورة عامة كلما انتقلنا من يسار الجدول الدوري إلى يمينه ضمن الدور الواحد، أي عندما ننتقل من عنصر الليثيوم Li إلى عنصر الفلور F، ويعزى ذلك إلى تزايد شحنة النواة عند تزايد عدد الإلكترونات، وعندما تزداد شحنة النواة تزداد قوى جذبها للإلكترونات وبالتالي يتناقص نصف القطر الأيوني وفق هذا الاتجاه.

جدول-٣: العلاقة بين نصف قطر الذرة IR وتزايد شحنة النواة.

العناصر الكيميائية للدور الثاني من الجدول الدوري	من يسار الجدول الدوري باتجاه اليمين						
	Li	Be	B	C	N	O	F
نصف القطر الذري Å	١،٢٣	٠،٨٩	٠،٨٠	٠،٧٧	٠،٧٤	٠،٧٤	٠،٧٢
شحنة النواة	+٣	+٤	+٥	+٦	+٧	+٨	+٩
عدد الإلكترونات في الطبقة K	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢
عدد الإلكترونات في الطبقة L	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧

أيضاً يزداد نصف القطر الذري، وبالتالي الحجم الذري للعناصر عند انتقالنا من عناصر الأجزاء العلوية لكل مجموعة(فصيلة) من مجموعات الجدول الدوري إلى عناصر أجزائها السفلية، ونتيجة تزايد عدد المدارات الرئيسية أو الطبقات الإلكترونية وفق هذا الاتجاه.

ولتوضيح ذلك، نأخذ مثلاً العناصر الكيميائية المتمركزة في الجزء الأيسر من الجدول الدوري(جدول-٤)، أي عناصر المجموعة الأولى التي يطلق عليها أيضاً اسم العناصر القلوية (جدول-٥). فلدى انتقالنا من عنصر الليثيوم Li الموجود أعلى هذه المجموعة إلى عنصر السيزيوم Cs المتمركز في الجزء السفلي منها، يزداد نصف القطر الذرى وكذلك الشحنة الذرية، كنتيجة مباشرة لتزايد عدد المدارات الرئيسة وفق هذا الاتجاه.

جدول-٤: الجدول الدوري للعناصر الكيميائية.

	1a	2a	3b	4b	5b	6b	7b	8	1b	2b	3a	4a	5a	6a	7a	0
1	H 1															He 2
2	Li 3	Be 4	العناصر الانتقالية								B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
3	Na 11	Mg 12									Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
6	Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
7	Fr 87	Ra 88	Ac 89	Rf 104	Db 105	Ha 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111							
مجموعة اللانثيدات			Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71		
مجموعة الأكتينيدات			Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103		

جدول-٥: العلاقة بين نصف قطر ذرات العناصر القلوية وتزايد شحناتها.

العنصر الكيميائي	نصف قطر الذرة Å	شحنة النواة	توزع الإلكترونات على المدارات الرئيسية أو الطبقات الإلكترونية					
			١	٢	٣	٤	٥	٦
Li	١،٢٣	+ ٣	٢	١				
Na	١،٥٧	+ ١١	٢	٨	١			
K	٢،٠٣	+ ١٩	٢٠	٨	٨	١		
Rb	٢،١٦	+ ٣٧	٢	٨	١٨	٨	١	
Cs	٢،٣٥	+ ٥٥	٢	٨	١٨	١٨	٨	١

يمكن حساب وتقدير نصف القطر الأيوني لعنصر أو مركب كيميائي رياضياً من خلال معرفة الوزن الجزيئي وكثافة ذلك العنصر أو المركب الكيميائي.

فمثلاً:

يبلغ الوزن الجزيئي لفلز الهاليت NaCl ٥٨،٥ غراماً، تحتوي على $٦،٠٢ \times ١٠^{٢٣}$ أيون موجب من أيونات الصوديوم وكذلك $٦،٠٢ \times ١٠^{٢٣}$ أيون سالب من أيونات الكلور، ولما كانت كثافة فلز الهاليت تساوي ٢،١٦ غرام/سم^{٣} فإن حجم جزيء فلز الهاليت سيكون ٢٧،٠٨٣ سم^{٣}. ولدى الافتراض أن قطر أيون الصوديوم يساوي قطر أيون الكلور، عندئذ يكون حجم أيون الصوديوم يساوي حجم أيون الكلور، ويكون حجم كل منهما يساوي:

$$(٢٧،٠٨٣/٢ \times ٦،٠٢ \times ١٠^{٢٣}) = ٢٢ \times ١٠^{-٢٤}$$

وسيكون القطر الأيوني لكل من أيون الصوديوم وأيون الكلور يساوي الجذر التربيعي للنتيجة الحسابية السابقة ويساوي $٢،٨ \times ١٠^{-٨}$، وبالتالي نصف القطر الأيوني يساوي نحو $١،٤ \times ١٠^{-٨}$ أي ١،٤Å . ولتصحيح هذه القيمة نتيجة عدم تساوي أنصاف أقطار كل من أيون الصوديوم وأيون الكلور في الحقيقة هي ١،٨Å لأيون الكلور و ١Å لأيون الصوديوم.

تجدر الإشارة هنا إلى أن أنصاف أقطار الأيونات السالبة تكون أكبر من أنصاف أقطار ذراتها، وذلك بسبب ازدياد الشحنة السالبة على حساب الشحنة الموجبة النووية· بينما تكون أنصاف أقطار الأيونات الموجبة أصغر من أنصاف أقطار ذراتها، وذلك بسبب فقدان المدار تحت الفرعي من جهة، وزيادة الشحنة النووية من جهة أخرى·

طاقة التأين Ionization Energy (IE):

تعرف طاقة أو جهد التأين على أنها الطاقة اللازمة لنزع إلكترون أو أكثر تماماً من ذرة منعزلة، وتحويلها إلى أيون موجب، وتعد طاقة التأين أصغر طاقة لازمة لإزاحة إلكترون من ذرة أو أيون أو جزيء دون إكسابها أية طاقة حركية·

تعرف الطاقة اللازمة لنزع الإلكترون الأول بطاقة التأين الأولى IE_1

$$\underset{1S^2\,2S^2\,2P^6\,3S^1}{{}_{11}Na^0_{(g)}} \rightarrow \underset{1S^2\,2S^2\,2P^6}{{}_{11}Na^+_{(g)}} + e^-$$

وتعرف الطاقة اللازمة لنزع الإلكترون الثاني بطاقة التأين الثانية IE_2

$$\underset{1S^2\,2S^2\,2P^6}{{}_{11}Na^+_{(g)}} \rightarrow \underset{1S^2\,2S^2\,2P^5}{{}_{11}Na^{++}_{(g)}} + e^-$$

تعتبر طاقة التأين الأولى IE_1 أصغر من طاقة التأين الثانية IE_2 وهكذا····

كما يلاحظ أن طاقة التأين تزداد بصورة عامة كلما انتقلنا من يسار الجدول الدوري إلى يمينه ضمن الدور الواحد، أي عندما ننتقل من عنصر الليثيوم Li القلوي إلى عنصر النيون Ne الخامل، يعزى ذلك إلى تزايد الشحنة النووية الموجبة وفق هذا الاتجاه مع تناقص نصف القطر الذري الناجم عن تزايد قوى الجذب بين النواة المركزية والالكترونات الموزعة على مداراتها· مما يؤدي لزيادة قوى التجاذب بين النواة والإلكترونات، الجدول التالي يوضح ذلك·

تتناقص طاقة التأين عند الانتقال من عناصر الجزء العلوي لكل مجموعة(فصيلة) من مجموعات الجدول الدوري إلى عناصر الجزء السفلي منه، نتيجة تزايد نصف القطر الذري وفق هذا الاتجاه، أي ابتعاد الإلكترونات السطحية عن مجال الشحنة النووية الموجبة جدول-٦·

جدول-٦: تزايد طاقة التأين للعناصر الكيميائية من اليسار إلى اليمين ضمن الدور الواحد.

العنصر الكيميائي	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
طاقة التأين e.v	٥،٤	٩،٣	٨،٣	١١،٣	١٤،٥	١٣،٦	١٧،٤	٢١،٦

لتوضيح ذلك، نأخذ العناصر الكيميائية المتواجدة في الجزء الأيسر من الجدول الدوري أي عناصر المجموعة الأولى، فعند انتقالنا من عنصر الليثيوم Li المتواجد أعلى هذه المجموعة إلى عنصر السيزيوم Cs المتمركز في الجزء السفلي من المجموعة ذاتها، نجد تزايد الشحنة الذرية وتزايداً لنصف قطر الذرة، نتيجة تزايد عدد المدارات الرئيسة، وبالتالي تتناقص طاقة التأين وفق هذا الاتجاه، وهذا ما يوضحه الجدول-٧.

جدول-٧: العلاقة بين نصف قطر ذرات العناصر القلوية مع تزايد شحناتها وتناقص طاقة تأينها.

العنصر الكيميائي	طاقة التأين e.v	شحنة النواة	توزع الإلكترونات على المدارات الرئيسية أو الطبقات الإلكترونية					
			١	٢	٣	٤	٥	٦
Li	١،٢٣	$+٣$	٢	١				
Na	١،٥٧	$+١١$	٢	٨	١			
K	٢،٠٣	$+١٩$	٢	٨	٨	١		
Rb	٢،١٦	$+٣٧$	٢	٨	١٨	٨	١	
Cs	٢،٣٥	$+٥٥$	٢	٨	١٨	١٨	٨	١

الإلفـــة الالكترونية Electron Affinity (EA):

يعبر عن قيم الإلفة الإلكترونية بكمية الطاقة المتحررة نتيجة اكتساب الـذرة المـستقرة والمعتدلة لإلكترون مكونة بذلك أيوناً سالباً. هذه الطاقة تساوي طاقة تأين الإلكترون الـسالب الناتج (M^-).

$$M_{(g)} + e^- \rightarrow M^-_{(g)} + Energy$$

قيم الإلفة الإلكترونية غير محددة لجميع عناصر الجدول الكيميائي الدوري، حيث كـان من الصعب حسابها وتقديرها في بعض العناصر الكيميائية بدقة، لكن يمكـن الإشـارة إلـى الملاحظات الآتية:

- تزداد قيم الإلفة الإلكترونية للعناصر الكيميائية من يسار الجـدول الـدوري باتجـاه اليمين ضمن الدور الواحد بشكل عام، وذلك نتيجة سهولة جذب الإلكترونـات نحـو النواة وذلك بسبب ميول الذرات لأن تملئ مداراتها السطحية بالالكترونات.
- تقل قيم الإلفة الإلكترونية للعناصر الكيميائية ضمن المجموعة الواحدة عند انتقالنا من الأعلى نحو الأسفل، لأن ألكترونات المدارات السطحية الخارجية تكون أقل ارتباطـاً بالنواة.
- لعناصر الهالوجينات أعلى قيم من الإلفة الإلكترونية ويعود سبب ذلك، أنه ينقـصها إلكترون واحد لكي تصبح مثل العناصر الخاملة(الجدول-٨).

جدول-٨: يوضح الجدول قيم الإلفة الإلكترونية لعناصر الهالوجينات.

العنصر الكيميائي	الإلفة الإلكترونية ($K.J\ mol^{-1}$)	شحنة النواة	توزع الإلكترونات على المدارات الرئيسية أو الطبقات الإلكترونية					
			١	٢	٣	٤	٥	٦
F	-٣٢٨	+٩	٢	٧				
Cl	-٣٤٨	+١٧	٢	٨	٧			
Br	-٣٢٥	+٣٥	٢	٨	١٨	٧		
I	-٢٩٥	+٥٣	٢	٨	١٨	١٨	٧	

* تشير القيم السالبة على فقدان الطاقة.

الكهروسلبية Electronegativity (EN):

تعرف الكهروسلبية للعناصر الكيميائية على أنها قدرة الذرة على جذب الإلكترونات التي تربطها بذرة أخرى في جزيء. وتساوي نصف حاصل جمع قيم الإلفة الإلكترونية مع طاقة التأين، أي:

$$EN= ((IE + EA) : 2)$$

بالتالي وعند العودة للجدول الدوري للعناصر الكيميائية يمكن استنتاج الآتي:

- تقل قيم الكهروسلبية للعناصر الكيميائية في المجموعة الواحدة، لدى انتقالنا من الأعلى نحو الأسفل، مع ملاحظة عدم انتظام قيم الكهروسلبية للعناصر الكيميائية الانتقالية(الجدول-٩).

جدول-٩: تناقص قيم الكهروسلبية EN لعناصر المجموعة الأولى الكيميائية.

العنصر الكيميائي	H	Li	Na	K	Rb	Ss	Fr
قيم الكهروسلبية	٢٫١	١٫٠	٠٫٩	٠٫٨	٠٫٨	٠٫٧	٠٫٧

- تزداد قيم الكهروسلبية للعناصر الكيميائية في الدورة الواحدة، لدى انتقالنا من يسار الجدول الدوري نحو يمينه، مع ملاحظة عدم انتظام قيم الكهروسلبية للعناصر الكيميائية الانتقالية(الجدول-١٠).

جدول-١٠: تزايد قيم الكهروسلبية EN لعناصر الدور الثاني الكيميائية.

العنصر الكيميائي	Li	Be	B	C	N	O	F
قيم الكهروسلبية	١٫٠	١٫٥	٢٫٠	٢٫٥	٣٫٠	٣٫٥	٤٫٠

- تكون أعلى قيم كهروسلبية لعناصر الأوكسجين،النيتروجين والهالوجينات.

- تكون أدنى قيم كهروسلبية للعناصر الكيميائية القلوية، ومن ثم للعناصر الكيميائية القلوية الترابية.
- يمكن تحديد نوع الرابطة الكيميائية بين العناصر الكيميائية المتحدة في الجزيء أيونية أو تساهمية (تشاركية) من خلال معرفة الفرق في قيم الكهروسلبية بين الذرات. لقد أثبتت التجارب العملية، أنه عندما يكون الفرق في كهروسلبية عنصرين كبيراً "أكبر من ١،٧" فإن المركب الناتج سيكون أيوني الروابط، وعندما تكون قيم الكهرسلبية بين الذرات متقارباً ويكون الفرق بينها منخفضاً تكون الروابط الكيميائية بين العناصر الكيميائية المتحدة في الجزيء تساهمية (الجدول-١١).

جدول-١١: قيم كهروسلبية العناصر الكيميائية، عن العالم بولينغ-١٩٦٠.

Li	Be	B											C	N	O	F
1,0	1,5	2,0											2,5	3,0	3,5	4,0
Na	Mg	Al											Si	P	S	Cl
0,9	1,2	1,5											1,8	2,1	2,5	3,0
K	Ca	Sc	Tl	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
0,8	1,0	1,3	1,5	1,6	1,6	1,5	1,8	1,8	1,8	1,9	1,6	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Te	Ru	Rh	Pb	Ag	Cd	In	Sn	Sh	Te	I
0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,2	2,2	2,2	1,9	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,5
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Ti	Pb	Bi	Po	At
0,7	0,9	1,1-1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,2	2,2	2,2	2,4	1,9	1,8	1,8	1,9	2,0	2,2
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np-No										
0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,3										

يرتبط شكل توزع الذرات أو الأيونات في البنى البلورية الأيونية ارتباطاً وثيقاً مع أحجامها أي مع أنصاف أقطارها Å، وكذلك مع حجم الأيون الموجب المركزي. فمن حيث المبدأ، كلما كان حجم الأيون الموجب المركزي كبيراً (نصف قطره كبير) كان عدد الأيونات السالبة المحيطة به أكثر، أي رقم إحاطته أكبر، والعكس صحيح، فكلما كان عدد الأيونات

السالبة المحيطة به أقل، كان رقم إحاطته أصغر· لذلك تم اعتبار عدد الأيونات السالبة التي تحيط بأيون موجب في البناء البلوري مصطلح عدد الإحاطة أو عدد التناسق، وتم تقديره على أساس الأيون السالب هو أيون الأوكسجين·

عدد الإحاطة أو التناسق(C.N) Coordination Number:

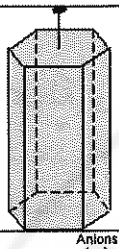
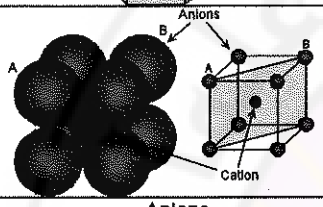
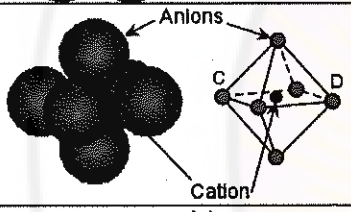
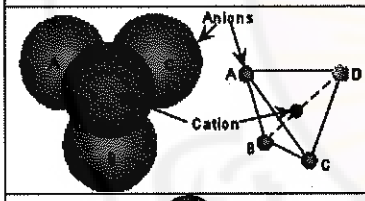
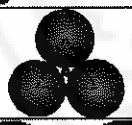
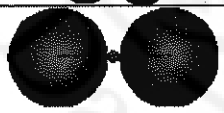
يتم تحديد عدد الأيونات السالبة التي تحيط بأيون موجب في البناء البلوري عادة، من خلال حساب النسبة بين نصف قطر الكاتيون على نصف قطر الأنيون· يوضح (الجدول-١٢) تبعاً لقيم النسبة بين نصفي القطرين R_{cation}/R_{anion} عدد الإحاطة وشكل الوحدة البنائية البلورية المستقرة المتوقعة للمركبات الكيميائية(الفلزات)·

لقد وضحت نتائج دراسة الأنماط المختلفة للبنى البلورية وجود توافق كبير بين أعداد التناسق المقدرة حسابياً مع تلك المنتشرة في الفلزات والصخور(الجدول-١٣)·

يكون لبعض العناصر الكيميائية قيم للنسبة بين نصفي القطرين R_{cation}/R_{anion} تؤهلها للتواجد في منظومتين بلوريتين بدلاً من منظومة واحدة، فمثلاً أيون الألمنيوم Al^{+3} نصف قطره ٠,٥١ Å ويعطي قيماً للنسبة بين نصفي القطرين R_{cation}/R_{anion} تساوي ٠,٣٦ قريبة من النسبة الحدية ٠,٤٤١ التي تفصل بين عدد التناسق السداسي والرباعي، وبشكل فعلي توجد أيونات الألمنيوم في الفلزات بالنسقين المذكورين، وذلك تبعاً لدرجة حرارة التشكل الفلزي، ففي درجات الحرارة المرتفعة يكون أيون الألمنيوم بتنسيقه المنخفض (الرباعي) حيث يحل في البنى البلورية لفلزات الفلدسبار محل أيون السيليسيوم، بينما يوجد في درجات حرارة التشكل المنخفضة للفلزات بتنسيقه الأعلى (السداسي) كما هي الحال في فلز الجبسيت $Al(OH)_3$.

مما سبق وكما أشرنا سابقاً، يمكن القول، أننا من خلال معرفة قيم نصف القطر الأيوني IR، أي قيم الحجم الذري لعنصر كيميائي ما، وكذلك قيم كهروسلبيته EN المحسوبة من قيم طاقة تأينه IE وقيم إلفته الالكترونية EA، يمكننا استنباط نوع الرابطة الكيميائية التي سيشكلها ذلك العنصر وتحديدها··

جدول-١٢: يوضح العلاقة بين رقم الإحاطة وشكل الوحدة البنائية البلورية·

الشكل البلوري	نمط التبلور	عدد الإحاطة C.N.	نسبة أنصاف الأقطار R_{cation}/R_{anion}
	موشور سداسي الوجوه أو مكعب (مجموعة من الفلزات)	12	1.0
	مكعب (CsCl)	8	1.0 - 0.732
	ثماني وجوه (NaCl)	6	0.732 - 0.441
	رباعي وجوه $(SiO_4)^{-4}$	4	0.441 - 0.225
	مثلثي $(CO_3)^{-2}$	3	0.225 - 0.155
	خطي NO_2	2	<0.155

جدول-١٣: أعداد التناسق المقدرة حسابياً مع تلك المنتشرة في الفلزات والصخور.

الأيون الموجب	نصف القطر بالأنغستروم Å	نسبة أنصاف الأقطار R_{cation}/R_{anion}	عدد الإحاطة المحسوب C.N.	عدد الإحاطة الملاحظ
Cs^{+}	١،٦٧	١،١٩	١٢	١٢
Rb^{+}	١،٤٨	١،٠٦	١٢	٨ - ١٢
K^{+}	١،٣٣	٠،٩٥	٨	٨ - ١٢
Ba^{++}	١،٣٤	٠،٩٦	٨	٨ - ١٢
Sr^{++}	١،١٢	٠،٨٠	٨	٨
Ca^{++}	٠،٩٩	٠،٧١	٦	٦ - ٨
Na^{+}	٠،٩٧	٠،٦٩	٦	٦ - ٨
Mn^{++}	٠،٨٠	٠،٥٧	٦	٦
Fe^{++}	٠،٧٤	٠،٥٢	٦	٦
Li^{+}	٠،٦٨	٠،٤٩	٦	٦
Mg^{++}	٠،٦٦	٠،٤٧	٦	٦
Ti^{+4}	٠،٦٨	٠،٤٩	٦	٦
Fe^{+3}	٠،٦٤	٠،٤٦	٦	٦
V^{+3}	٠،٦٤	٠،٤٦	٦	٦
Cr^{+3}	٠،٦٣	٠،٤٥	٦	٦
Al^{+3}	٠،٥١	٠،٣٦	٤	٤ - ٦
Si^{+4}	٠،٤٢	٠،٢٩	٤	٤
P^{+5}	٠،٣٥	٠،٢٥	٤	٤
S^{+6}	٠،٣٠	٠،٢١	٤	٤
C^{+4}	٠،١٦	٠،١١	٣	٣

قواعد عامة حول طبيعة الروابط الكيميائية

- عند وضع أيون موجب الشحنة على سبيل المثال أيون المغنيزيوم Mg^{+2} نصف قطره ٠,٠٦٦ Å للاتحاد، مع أيونين سالبين ومتساويين في شحنتهما ومختلفين بأنصاف أقطارهما (مختلفين في حجمهما) مثلاً أيون الكبريت S^{-2} نصف قطره ١,٨٥ Å وأيون الأوكسجين نصف قطره ١,٤٠ Å. عندئذ ستكون الرابطة الكيميائية بين الأيون الموجب والأيون السالب الأكبر حجماً أكثر تساهمية، أي إن الرابطة في MgS ستكون أكثر تساهمية من الرابطة في MgO.

- عند وضع أيون سالب الشحنة مثلاً الأوكسجين O^{-2} نصف قطره ١,٤٠ Å للاتحاد، مع أيونين موجبين ومتساويين في شحنتهما ومختلفين بأنصاف أقطارهما، مثلاً أيون المغنيزيوم Mg^{+2} نصف قطره ٠,٠٦٦ Å، وأيون الباريوم Ba^{+2} نصف قطره ١,٣٤ Å، عندئذ ستكون الرابطة الكيميائية بين الأيون السالب والأيون الموجب الأصغر حجماً أكثر تساهمية، أي إن الرابطة في MgO، ستكون أكثر تساهمية من الرابطة في BaO.

- عند وضع أيون سالب الشحنة مثلاً الأوكسجين O^{-2}، مع أيونات موجبة ومختلفة في الشحنة ومتقاربة في أنصاف أقطارها الأيونية "متماثلة في حجومها" مثلاً أيون الكالسيوم Ca^{+2} نصف قطره ٠,٠٩٩ Å، وأيون الصوديوم Na^{+1} نصف قطره ٠,٠٩٧ Å، عندئذ ستميل الأيونات ذات الشحنات الكهربائية الأعلى لتشكيل روابط كيميائية مشتركة بشكل أكبر من تلك الأيونات ذات الشحنات الكهربائية الأدنى، أي أن الرابطة في CaO، ستكون أكثر تساهمية من الرابطة في Na_2O.

- تميل الأيونات الموجبة المعدنية المتوسطة في الأدوار الطويلة من الجدول الدوري، لتكوين روابط تساهمية مع الأيونات سالبة الشحنة بشدة أكبر مما تقوم به أيونات موجبة مماثلة بالشحنة، وتقع في الدور الأول والثاني والثالث من الجدول الدوري، عليه نستنتج أن الرابطة التساهمية في FeO تكون أكثر تساهمية مما هي عليه في الرابطة التساهمية لـ MgO والرابطة التساهمية في CdS تكون أكثر تساهمية مما هي عليه في الرابطة التساهمية لـ CaS.

تصنيف غولدشميدث للعناصر الكيميائية

استطاع العالم الألماني غولدشميدث Goldschmidt أن يصنف العناصر الكيميائية تبعاً لميول تجمعها وارتباطها في عدة مجموعات، مع الأخذ في الحسبان أن ميل أي عنصر كيميائي للاتحاد مع عنصر أو عناصر كيميائية أخرى يتوقف على مجموعة من العوامل منها: طاقة التشكل، وشكل البنية البلورية، وطبيعة الرابطة الكيميائية التي ترتبط بها مع هذه العناصر لتكوين مركبات كيميائية فلزية متنوعة.

بناءً عليه صنف غولدشميدث العناصر الكيميائية في أربع مجموعات هي: مجموعة العناصر الأتموفيللية (الغازية)، مجموعة العناصر السيدروفيللية، مجموعة العناصر الليثوفيللية، ومجموعة العناصر الكالكوفيللية (جدول-١٤).

- **مجموعة العناصر الأتموفيللية** Atmophile Elements Group:

تسمى أيضاً مجموعة العناصر الغازية أو مجموعة العناصر الجوية، كونها تميل بشدة للتواجد في الغلاف الجوي (الغازي) المحيط بكوكب الأرض. من أهم عناصرها: النيتروجين، الأوكسجين، الهيدروجين، الهليوم، النيون، الأرغون، الكريبتون، والكزينون.

- **مجموعة العناصر السيدروفيللية Siderophile Elements Group:**

يطلق عليها أيضاً اسم مجموعة العناصر المحبة لطور الحديد، فهي تضم جميع العناصر الكيميائية التي تتركز في طور الحديد الحر من الشهب أو ضمن نواة الأرض الحديدية. وتتميز مجموعة هذه العناصر بميول ارتباطها واتحادها مع عنصر الحديد، ومن أهمها: النيكل، الكوبالت، التنغستين، الجيرمانيوم، الرصاص، البلاتين والبلاديوم بالإضافة لبعض العناصر الكيميائية النادرة كالذهب والفضة.

- **مجموعة العناصر الليثوفيللية Lithophile Elements Group:**

تسمى بمجموعة العناصر الصخرية أو مجموعة العناصر المحبة للطور السيليكاتي، وتتميز بطاقة حرة أكبر من الطاقة الحرة للحديد، لذلك تتركز عناصر هذه المجموعة عادة في فلزات القشرة الأرضية وصخورها، وتضم إليها كل العناصر الكيميائية التي تميل إلى

الاتحاد والارتباط مع عنصري الأوكسجين والسيليسيوم لتشكيل مجموعة من الفلزات الأوكسيدية أو مجموعة الفلزات السيليكاتية.

قسمت عناصر المجموعة الليثوفيللية (الصخرية) تبعاً لانتشارها وارتباطها الصخري، إلى المجموعات الآتية:

- الألمنيوم، البوتاسيوم، الكالسيوم، الليثيوم وهي عناصر كيميائية واسعة الانتشار في فلزات صخور القشرة الأرضية حمضية التركيب كصخور الغرانيت والغرانوديوريت.
- الحديد والمغنيزيوم وهما من أهم العناصر الكيميائية التي تدخل في تركيب فلزات مجموعة الفلزات قاتمة اللون كالأوليفين والبيروكسين والأمفيبول، وهي الفلزات التي تدخل بتكوين وتركيب الصخور المهلية فوق القاعدية كصخور البيريدوتيت والدونيت والهارتزبورجيت والفيرليت والليرزوليت والصخور القاعدية كصخور الغابرو والبازلت.
- الزيركونيوم الذي يدخل في تركيب فلز الزيركون، ويوجد في العديد من الصخور النارية حمضية- متوسطة التركيب.
- التيتانيوم الذي يدخل بتركيب فلز التيتانيت(السفين) وفلز الروتيل، يوجد في الصخور النارية المهلية والصخور المتحولة كصخور الشيست والأمفيبوليت والغنايس.
- اليورانيوم الذي يدخل بتركيب فلز اليورانيتيت وفلز البتشبلانديت. ويوجد في الصخور النارية المهلية حمضية التركيب كالغرانيت والريوليت، وبشكل أقل في صخور الغرانوديوريت.

- **مجموعة العناصر الكالكوفيللية Chalcophile Elements Group:**

يطلق على مجموعة العناصر الكالكوفيللية أيضاً اسم مجموعة العناصر المحبة للطور الكبريتي، فهي تضم جميع العناصر الكيميائية التي تميل للاتحاد والارتباط مع عنصر الكبريت لتشكيل مجموعة الفلزات الكباريتيه (السولفيدية)، من أهمها: الكوبالت، الحديد، النيكل، الموليبدينيوم، الكادميوم، السيلينيوم، الزئبق، الفضة والنحاس.

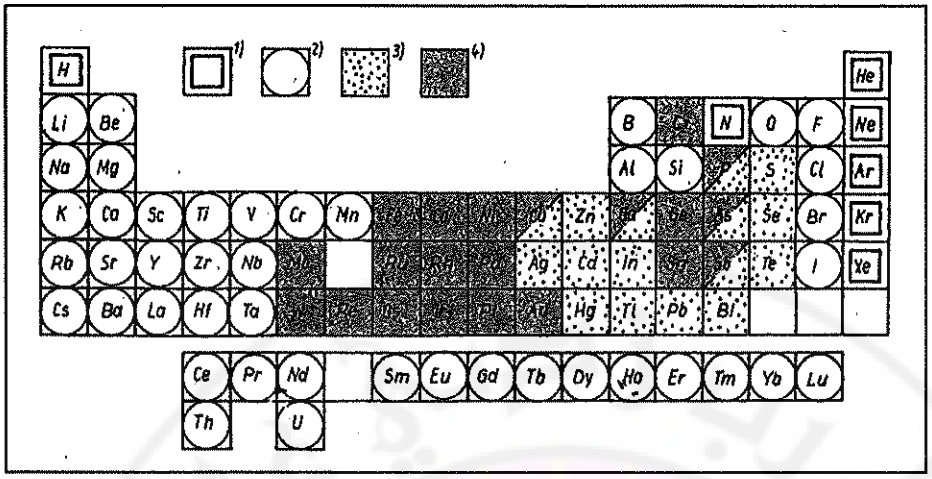
استطاع العالم ماسون Mason,1982 اعتماداً على حرارة التشكل الفلزي، أن يحدد ميول العناصر الكيميائية للتشكل والانضمام لإحدى مجموعات العناصر المقترحة من قبل العالم غولدشميدث، فعندما تكون حرارة التشكل لأوكسيد عنصر كيميائي ما تفوق حرارة تشكل أوكسيد الحديد، فإن هذا العنصر سينتمي إلى مجموعة العناصر الكيميائية الليثوفيللية

(الصخرية)، أما عندما تكون حرارة التشكل لأوكسيد عنصر كيميائي ما تقل عن حرارة تشكل أوكسيد الحديد، فإن هذا العنصر سينتمي إما إلى مجموعة العناصر الكيميائية الكالكوفيللية Chalcophile Elements Group أو إلى مجموعة العناصر الكيميائية السيدروفيللية Sidrophile Elements Group.

جدول-١٤: التصنيف الجيوكيميائي للعناصر الكيميائية عن Goldschmidt,1954 من Brownlow,1979.

مجموعة العناصر الكيميائية الكالكوفيللية (Chalcophile)					مجموعة العناصر الكيميائية السيدروفيللية (Siderophile)			مجموعة العناصر الكيميائية الليثوفيللية (Lithophile)					مجموعة العناصر الكيميائية الأتموفيللية (Atmophile)	
النيازك		القشرة												
As	V	S	Fe	Co	Co	Ni	Fe	Li	Be	B	O	F	H	O
Cd	Cu	Ni	Cu	Zn	Mo	Ru	Ge	Na	Mg	Al	Si	Cl	C	N
P	Se	Ga	As	Se	Pd	Sn	Rh	K	Ca	Sc	Ti	V	Br	Cl
Cr	Te	Mo	Rh	pd	Pt	Os	Ta	Cr	Mn	Br	Rb	Sr	He	I
Zn	S	Ag	Cd	In	C	Au	Ir	Y	Zr	Nb	I	Cs	Ar	Ne
Ag	Mn	Sb	Te	Hg	W	Re	P	Ba	La	Hf	Ta	W	Xe	Kr
		Ti	Pb	Bi	Sn	Cu		Th	U	Rare earth			Rn	

بما أن شكل توزع الإلكترونات في ذرات العناصر الكيميائية يؤثر بشكل مباشر في خواصها الجيوكيميائية، وبالتالي يحدد موقع هذه العناصر بالنسبة للمجموعات الأربعة الرئيسة المحددة من قبل العالم غولدشميدت. فالعناصر الليثوفيللية (العناصر المحبة للطور الصخري) تميل إلى ملء مداراتها الذرية الخارجية بثمانية إلكترونات، ويقع معظمها في الجانب الأيسر من الجدول الدوري. بينما تميل العناصر الكالكوفيللية (العناصر المحبة للطور الكبريتي) إلى ملء مداراتها الذرية الخارجية بثمانية عشر إلكتروناً ويشغل معظمها الجانب الأيمن من الجدول الدوري. أما بالنسبة لمعظم العناصر السيدروفيللية أي العناصر المحبة لطور الحديد، فإنها تشغل الأجزاء الوسطى من الجدول الدوري (شكل-٦).



شكل-٦: الجدول الدوري للعناصر الكيميائية، مع تصنيفها جيوكيميائياً وفق تصنيف غولدشميدت، من (Seim and Tischendorf,1989).

يلاحظ من الشكل السابق وجود بعض العناصر الكيميائية في أكثر من مجموعة، ويعزى ذلك إلى الشروط الفيزيائية التي كانت سائدة خلال فترة تشكيل العنصر الكيميائي للمركبات الكيميائية. فعلى سبيل المثال يشاهد عنصر الحديد في مجموعة العناصر الليثوفيلية (الصخرية) ومجموعة العناصر الكالكوفيلية (السولفيدية) ومجموعة العناصر السيدروفيلية.

ففي بيئات التشكل الغنية بالأوكسجين (البيئات المؤكسدة)، يرتبط عنصر الحديد مع عنصر الأوكسجين ويشكل فلزاته الأوكسيدية كالماغنيتيت والهيماتيت والليمونيت. أما في بيئات التشكل الفقيرة بالأوكسجين (البيئات المختزلة أو المرجعة) والغنية بعنصر الكبريت، فإن عنصر الحديد سيرتبط مع عنصر الكبريت، ويكون فلزات كباريت الحديد كالبيريت والكالكوبيريت، أما في البيئات المختزلة أو المرجعة الفقيرة بالكبريت فإن عنصر الحديد سيميل للارتباط مع المركبات السيليكاتية مكوناً فلزات تنتمي لمجموعة العناصر الليثوفيلية (الصخرية).

تساوي الشكل البلوري واستبدال العناصر الكيميائية في البنى البلورية

يستخدم مصطلح تساوي الشكل البلوري (التماثل البلوري) للتعبير عن ظاهرة طبيعية لتماثل البنى البلورية لمركبات كيميائية متباينة في تراكيبها الكيميائية. ينشأ التماثل البلوري عندما تتوزع أيونات موجبة وسالبة الشحنة ذات حجوم (أنصاف أقطارها) متماثلة في بنى بلورية متماثلة.

يطلق على ظاهرة الاستبدال الكيميائي في البنية البلورية الواحدة Substitution، ظاهرة تساوي الشكل البلوري (التماثل البلوري). تكون هذه الظاهرة شائعة في بنى التبلور للعديد من المجموعات الفلزية كمجموعة فلزات الأوليفين، ومجموعة فلزات البيروكسين ومجموعة فلزات الأمفيبول ومجموعة فلزات الغارنت، ومجموعة فلزات السبينيل.

فعلى سبيل المثال: يشكل فلز الأوليفين $(Mg,Fe)_2SiO_4$ مزيجاً متساوي الشكل لفلزين هما: فلز الفورستريت Mg_2SiO_4 وفلز الفاياليتFe_2SiO_4. ويتضح من الصيغة الكيميائية العامة لفلز الأوليفين، أنه يحتوي في تركيب بناءه البلوري على أيونين موجبي الشحنة لعنصرين كيميائيين هما: المغنيزيوم Mg^{++} والحديد Fe^{++} مع إمكانية تغير نسبة تواجدهما من عينة أوليفين إلى عينة أخرى، على أن تبقى نسبة مجموعهما إلى نسبةSiO_4 ثابتة.

يمكن تفسير ظاهرة تساوي الشكل البلوري اعتماداً على قواعد علم هندسة البلورات. فعند اختلاف مركبين كيميائيين متبلورين بنظام بلوري متماثل بمكون واحد فقط، ممثل بعنصرين كيميائيان لهما أنصاف أقطار أيونية متقاربة، فإنه من المتوقع أن يحل أحد هذين العنصرين أو كلاهما في التركيب الكيميائي للبنية البلورية. من هنا يتضح لنا أن العامل الرئيس الذي يحدد التشابه الشكلي للبلورات الفلزية يكمن في التشابه في علاقات أحجام الأيونات المشاركة وليس التشابه في تراكيبها الكيميائية، فالعدد التناسقي الذي يحدد من خلال العلاقة بين أنصاف أقطار الأيونات الموجبة والأيونات السالبة يستطيع أن يفسر ظاهرة التشابه الشكلي بين الفلزات.

بناءً على ما سبق ذكره، يمكن أن نميز في البنى البلورية لفلز الأوليفين، تراكيب كيميائية حدية تتمثل بفلزي الفورستريت١٠٠% مغنيزيوم Mg_2SiO_4 والفاياليت ١٠٠% حديد Fe_2SiO_4، أو نميز تراكيب مختلطة بينية تضم كل النسب المحتملة بين المغنيزيوم والحديد

وتشكل عندئذ فلز الأوليفين $(Mg,Fe)_2SiO_4$، بناءً عليه يمكن عد فلز الأوليفين مزيجاً متساوي الشكل لفلزي الفورستريت والفاياليت، أي إنه يمثل محلولاً صلباً لكليهما Solid Solution. علماً أن عملية تشكيل المحاليل الصلبة للفلزات متساوية الشكل، ما كانت لتتم لولا تماثل أو تقارب أنصاف أقطار الأيونات الموجبة مع بعضها.

لقد أثبت العالم غولدشميث تجريبياً أن إمكانية الاستبدال للأيونات أو الذرات أو الجزيئات الكيميائية في البناء البلوري تتم، فيما لو أن الفروقات بين أبعادها لم تتجاوز الـ ١٥%. وهذا ما يكون محققاً في مجموعة فلزات الأوليفين، حيث إن أنصاف أقطار أيونات المغنيزيوم Mg^{+2} تساوي ٠,٦٦ Å تتقارب مع أنصاف أقطار أيونات الحديد Fe^{+2} التي تقدر بنحو ٠,٧٤ Å. ولهذه القاعدة شذوذها، فمثلاً يحل أيون البوتاسيوم K^+ نصف قطره ١,٣٣ Å مكان أيون الصوديوم Na^+ نصف قطره ٠,٩٧ Å في البنية البلورية المكعبية لفلز الهاليت (ملح الطعام).

لذلك يمكن وصف العلاقة بين مكونات المحاليل الصلبة البلورية من خلال فهم إمكانية استبدال الأيونات الموجبة ضمن الشبكة البلورية، دون أن يحدث نتيجة عمليات الاستبدال هذه أي تغير لنظام التبلور. هذا وتتم عمليات الاستبدال الأيوني بشكل أكبر في أوساط التبلور الفلزي ذات درجات الحرارة الأعلى، لأن زيادة درجات الحرارة تترافق مع زيادة الحركات الاهتزازية للأيونات، بحيث تتوسع أبعاد الشبكة البنائية البلورية، وتكون أكثر تسامحاً بالنسبة لعمليات الاستبدال الأيوني. مثال ذلك في الطبيعة النسج الانبثاقية Exolution Textures المتكونة نتيجة تبرد المحلول الصلب لفلزي الألبيت والأورثوكلاز في درجات الحرارة المرتفعة نحو ٥٧٠م°، والتي عند تبردها تنبثق مكونة النمو المتداخل للفلزين على هيئة بيرثيت أو/ و أنتي بيرثيت.

تتم أكثر الأمثلة الشائعة لاستبدال الأيونات الموجبة متماثلة الشحنة في الفلزات السيليكاتية بين أيونات المغنيزيوم Mg^{+2} وأيونات الحديد Fe^{+2}، في مجموعة فلزات الأوليفين، مجموعة فلزات البيروكسين ومجموعة فلزات الأمفيبول.

بالعودة إلى قواعد العالم بولينغ، ونتيجة لكون نصف قطر أيون المغنيزيوم Mg^{+2} ٠,٦٦ Å أصغر من نصف قطر أيون الحديد Fe^{+2} ٠,٧٤ Å فإن فلز الأوليفين من نوع الفورستريت Mg_2SiO_4 سيتشكل أولاً، ثم عند استنزاف عنصر المغنيزيوم من وسط التشكل

سيتم تشكل فلز الأوليفين من نوع الفاياليتFe_2SiO_4، هذه النتيجة تم البرهان عليها من خلال تجارب العالم بوين المخبرية.

كما أن هناك حالات أخرى من حالات الاستبدال تتم في الطبيعة بين الأيونات الموجبة متباينة الشحنة، فمثلاً تتم عمليات الاستبدال بين أيونات السيليسيوم رباعية الشحنة Si^{+4} بأيونات الألمنيوم ثلاثية الشحنة Al^{+3}، في مجموعة فلزات الفلدسبار والغضار (فلزات الطين)، حيث يحل أيون الألمنيوم Al^{+3} نصف قطره ٠,٠٥١ Å محل أيون السيليسيوم Si^{+4} نصف قطره ٠,٠٤٢ Å. ومن الأمثلة الشائعة أيضاً لعمليات الاستبدال الأيوني ضمن البناء البلوري للفلزات في الطبيعة، عملية استبدال أيونات مختلفة في شحنتها الكهربائية مثل أيون الكالسيوم Ca^{++} نصف قطره ٠,٠٩٩ Å وأيون الصوديوم Na^{+} نصف قطره ٠,٠٩٧ Å، فمثلاً لو أخذنا المكونات الفلزية الحدية في مجموعة فلزات البلاجيوكلاز المتمثلة بفلز الأنورتيت أي البلاجيوكلاز الكلسي $CaAl_2SiO_8$ وفلز الألبيت أي البلاجيوكلاز الصودي $NaAl_3SiO_8$، حيث يستبدل أيون الصوديوم أحادي الشحنة في بلورة فلز الألبيت بأيون ثنائي الشحنة من الكالسيوم، مكوناً بلورة جديدة غير مستقرة بشحنتها الإجمالية، ولتعديل فرق الشحنة الكهربائية يستبدل أيون من السيليسيوم رباعي الشحنة نصف قطره ٠,٠٤٢ Å بأيون من الألمنيوم ثلاثي الشحنة نصف قطره ٠,٠٥١ Å.

أيضاً لدى العودة إلى قواعد العالم بولينغ، ونتيجة لكون شحنة أيون الكالسيوم Ca^{+2} أكبر من شحنة أيون الصوديوم Na^{+1} فإن فلز البلاجيوكلاز الكلسي من نوع الأنورتيت $CaAl_2SiO_8$ سيتشكل أولاً، ثم عند استنزاف عنصر الكالسيوم من وسط التشكل سيتم تشكل فلز البلاجيوكلاز الصودي من نوع الألبيت$NaAl_3SiO_8$، هذه النتيجة تم البرهان عليها أيضاً من خلال تجارب العالم بوين المخبرية.

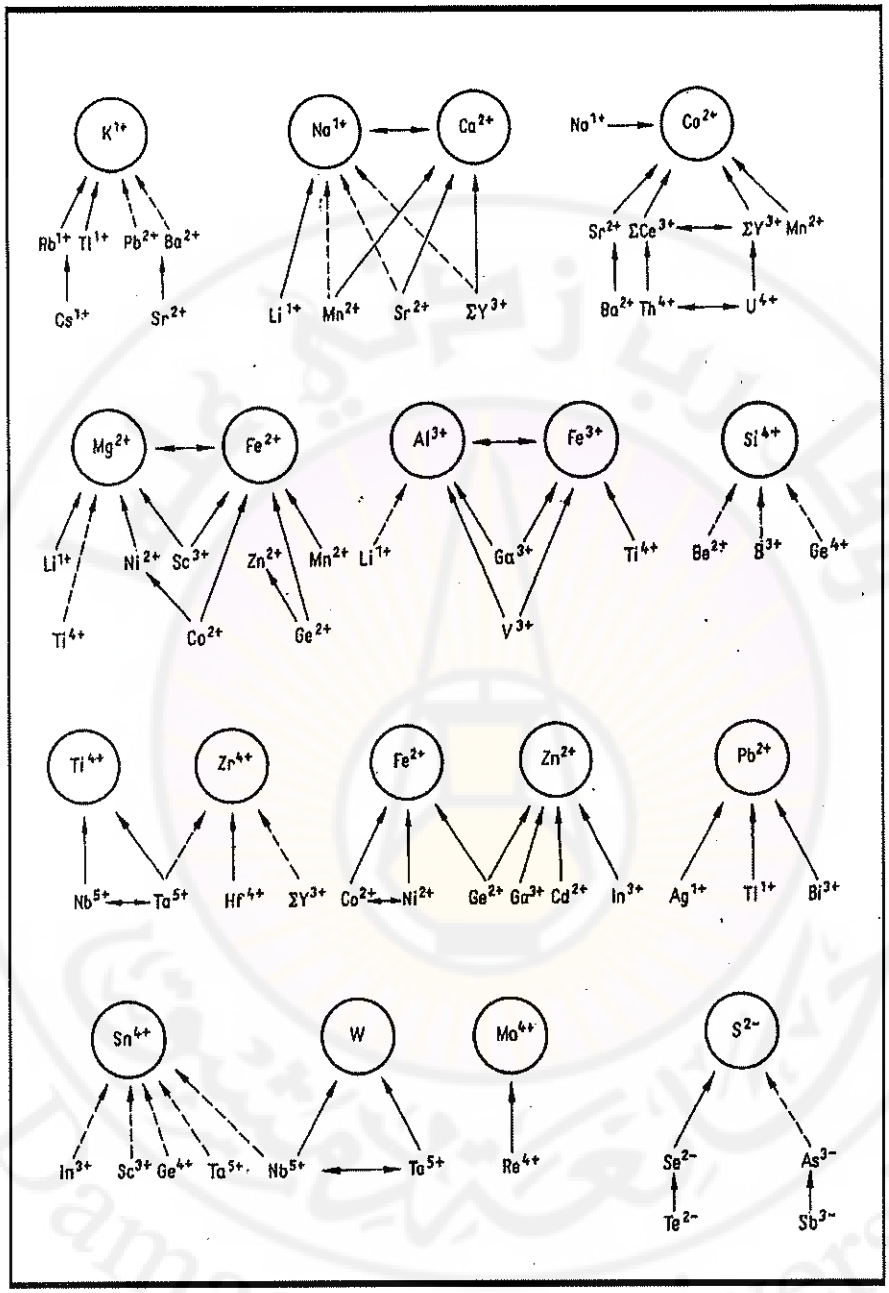
هناك أمثلة أخرى لعمليات الاستبدال الأيوني مختلف الشحنة، تتم في الطبيعة، منها على سبيل المثال: استبدال أيون الغاليوم Ga^{+3} نصف قطره٠,٠٦٢ Å لأيون الزنك Zn^{+2} نصف قطره٠,٠٧٤ Å في فلز السفاليريت، واستبدال أيون الليثيوم Li^{+1} نصف قطره٠,٠٦٨ Å عوضاً عن أيون المغنيزيوم Mg^{+2} نصف قطره٠,٠٦٦ Å في فلز الميكا وأيون الباريوم Ba^{+2} نصف قطره١,٠٣٤ Å مكان أيون البوتاسيوم K^{+1} نصف قطره١,٠٣٣ Å في فلز الأورثوكلاز وكذلك

أيون اليورانيوم U^{+4} نصف قطره ٠,٠٥١Å بدلاً عن أيون الكالسيوم Ca^{+2} نصف قطره ٠,٠٩٩Å في فلز الأباتيت.

تجدر الإشارة هنا، إلى أن عمليات الاستبدال الأيوني تكون محدودة جداً بالنسبة للأيونات المتبادلة، رغم تشابه أنصاف أقطارها الأيونية، عندما تزيد فيها فروقات الشحنة عن شحنة واحدة مثال ذلك الاستبدالات المحدودة بين عنصري الإيتريوم Y^{+3} نصف قطره ٠,٠٩٢Å والصوديوم Na^{+1} نصف قطره ٠,٠٩٧Å، وكذلك بين عنصري السيلينيوم Se^{+6} نصف قطره ٠,٠٤٢Å والسيليسيوم Si^{+4} نصف قطره ٠,٠٤٢Å.

لقد أثبتت التجارب المخبرية، أنه على الرغم من وفرة بعض أيونات العناصر الكيميائية في وسط التشكل وتماثل شحنتها وتقارب أبعاد أنصاف أقطارها، كأيون النحاس Cu^{+1} نصف قطره ٠,٠٩٦Å و أيون الصوديوم Na^{+1} نصف قطره ٠,٠٩٧Å، إلا أنه لا يحدث بينها عمليات استبدال أو اغناء وإحلال لأيون النحاس في فلزات أيون الصوديوم أو العكس، يعود سبب ذلك، إلى طبيعة الرابطة الكيميائية فأيونات النحاس تكون روابطها تساهمية، بينما تكون طبيعة الروابط الكيميائية لأيون الصوديوم أيونية.

يوضح الشكل (شكل-٧) عمليات الاستبدال الأيوني الممكنة بين أيونات العناصر الكيميائية المختلفة بالعلاقة مع شحنتها الكهربائية في البنى البلورية.



شكل-٧: يوضح الشكل عمليات الاستبدال الأيوني الممكنة بين أيونات العناصر الكيميائية المختلفة بالعلاقة مع شحنتها الكهربائية. الأيونات التي يمكن الاستبدال فيما بينها ضمن البنى البلورية، من (Roesler,1989).

تعدد الشكل البلوري Polymorphism

يمثل تعدد الشكل البلوري Polymorphism وضعاً معاكساً لحالة تساوي الشكل البلوري(التماثل البلوري)، حيث يطلق على الفلزات أو المركبات الكيميائية التي توجد في أشكال بلورية بنائية متعددة رغم تطابق تراكيبها وصيغها الكيميائية وتماثلها. وذلك نتيجة انتظام مكوناتها ضمن البناء البلوري بمواقع مختلفة، وذلك تبعاً للشروط الترموديناميكية من ضغط وحرارة والتي كانت سائدة خلال عملية تشكل الشكل البلوري للفلز ونموه.

من أهم أمثلة تعدد الشكل البلوري للفلزات وأكثرها انتشاراً في الطبيعة نذكر:

- **بلورات فلز الكوارتز SiO_2:**

يتبلور فلز الكوارتز في المنظومة السداسية Hexagonal System عند درجات الحرارة الأقل من ٨٦٧م°، بينما يتشكل فلز التريديميت في منظومة التبلور أحادي الميل Monoclini System في مجال حراري يراوح بين ٨٦٧-١٥٠٠م°، و يتشكل فلز الكريستوباليت في منظومة التبلور الرباعية Tetragonal System في درجات حرارة أعلى من ١٥٠٠م°.

- **بلورات فلز الكبريت العنصري S:**

يتبلور فلز الكبريت العنصري الحر S في منظومة التبلور أحادية الميل Monoclini System في شروط ضغط عالية وحرارة مرتفعة، بينما يتبلور في منظومة التبلور المعينية المستقيمة Orthorhombic System في شروط ضغط متدنية وحرارة منخفضة.

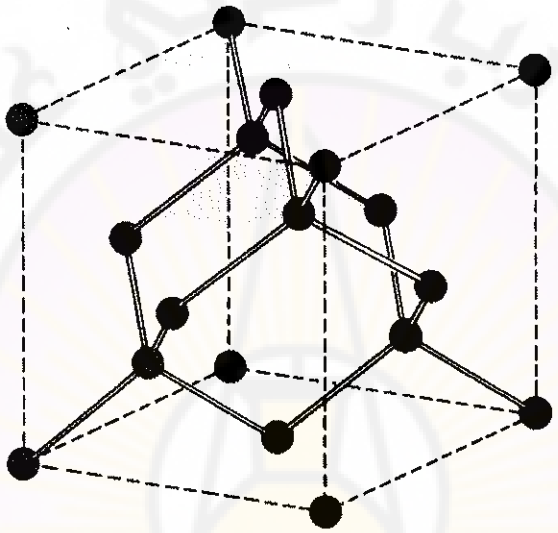
- **بلورات كربونات الكالسيوم $CaCO_3$:**

يتبلور فلز الكالسيت في منظومة الثلاثية معينية الوجوه Trigonal System, Rhombohedral، بينما يتبلور فلز الأراغونيت في منظومة التبلور الثلاثية معينية الوجوه المستقيمة Orthorhombic System.

- بلورات عنصر الكربون C:

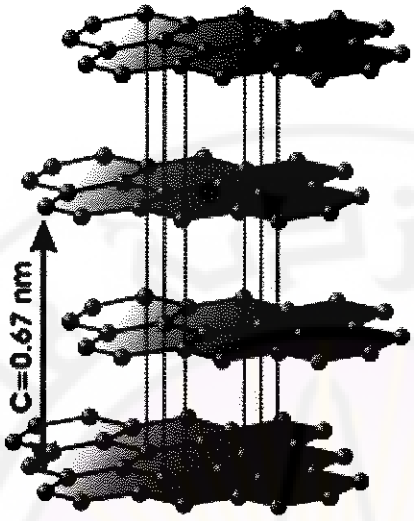
يتبلور فلز الألماس في منظومة التبلور المكعبية Cubic System تتوضع ذرات الفحم على ذراه وكذلك مراكز وجوهه (شكل-٨)، ويمكن وصف بنيته بسهولة إذا تصورنا

أن كل أيون كربون يكون مرتبطاً بأربع أيونات أخرى من الكربون وفق ترتيب رباعي الوجوه، بحيث يرتبط كل أيون من الكربون مع أيون الكربون المجاور له C—C بواسطة إلكترونين وبرابطة تساهمية تشارك بها كلاً من ذرتي الكربون. تكون جميع ألكترونات ذرات الكربون الأربعة مشتركة في أربع روابط تساهمية في هذا البناء البلوري ولا تتوافر ألكترونات حرة، هذا ما يفسر أن فلز الألماس هو جسم عازل.



شكل-٨: البنية البلورية لفلز الألماس.

يتبلور فلز الغرافيت في منظومة التبلور السداسية Hexagonal System تتوضع أيونات الكربون على ذراها (رؤوسها). تتألف بنية الغرافيت من طبقات متتالية ممثلة بمواشير سداسية منتظمة، حيث ترتبط كل ذرة من ذرات الكربون في المستوي الأفقي بثلاث ذرات أخرى منه، وبذلك نحصل على ارتصاف سداسي منتظم تكون الرابطة بين ذراته متينة وقوية، تبتعد الطبقات المتتالية عن بعضها بمسافة كبيرة نسبياً، لذلك تكون الروابط بين الطبقات المتتالية ضعيفاً، مما يؤدي لإمكانية فصل هذه الطبقات عن بعضها بسهولة (شكل-٩).

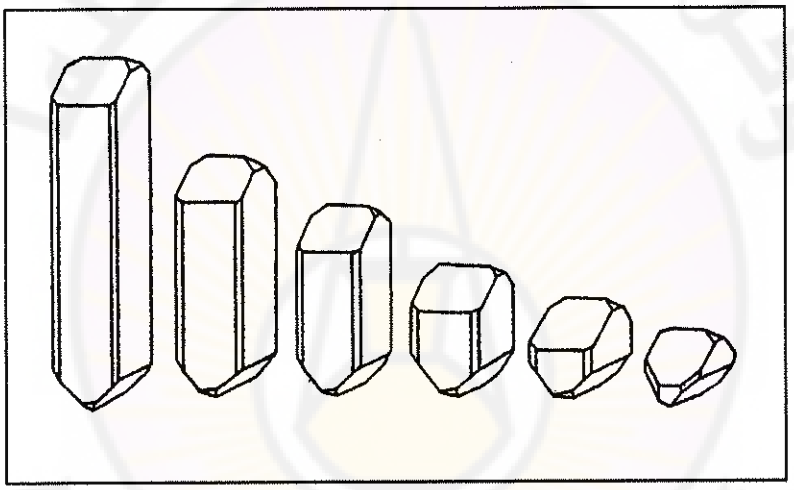


شكل-٩: البنية البلورية لفلز الغرافيت.

بصفة عامة، نستطيع القول أن تغير الشكل البلوري لمركب كيميائي ما، يكون ناجماً عن تغير شروط التشكل الترموديناميكية من ضغط وحرار ة وطبيعة محاليل وتركيز شوائب، حيث تؤدي جميع هذه العوامل دوراً مهماً في تغير الهندسة البنائية للشكل البنائي البلوري للفلزات، فيكون مستقراً وثابتاً ضمن شروط تشكله هذه. فعلى سبيل المثال، عندما ترتفع درجة الضغط ستتشكل بنيات بلورية مضغوطة ذات كثافة ودرجة تناسق عالية، وهذا ما يحدث عند تحول فلز الكالسيت إلى فلز الأراغونيت، حيث يكون فلز الأراغونيت ثابتاً في درجات الضغط العالية لذلك ينتشر ضمن رسوبات أعماق المحيطات، بينما يكون فلز الكالسيت ثابتاً ومستقراً في بيئات الترسيب ضحلة العمق المتميزة بدرجات الضغط المنخفضة، لذلك وبشكل عام يتميز فلز الكالسيت بدرجة ثبات أكبر من فلز الأراغونيت ويعد المكون الرئيس للصخور الرسوبية الكربوناتية، ففلز الأراغونيت لا يشاهد إلا نادراً ضمن الترسبات حديثة التوضع إذ إنه لا يلبث أن يتحول مع مرور الزمن لفلز الكالسيت..

أيضاً يؤدي ارتفاع درجات حرارة التشكل بصورة عامة إلى ازدياد عناصر التناظر البلوري وتشكيل بنيات بلورية مفتوحة ذات كثافات ودرجة تناسق منخفضة، من أمثلة ذلك تحول فلز الديستين إلى فلز السيلليمانيت.

كما يتأثر الشكل البلوري للفلزات بطبيعة ونسبة الشوائب المرافقة لعملية تشكل البنى البلورية، فعلى سبيل المثال، يتغير الشكل البلوري لفلز الإيبسوميت ($MgSO_4.7H_2O$) Epsomite وتقصر مواشيره من اليسار باتجاه اليمين مع تزايد تركيز شوائب البورون في المحلول من ٠%، ٠,٠٠١%، ٠,٠٠٤%، ٠,٠٠وحتى ١%(شكل-١٠).

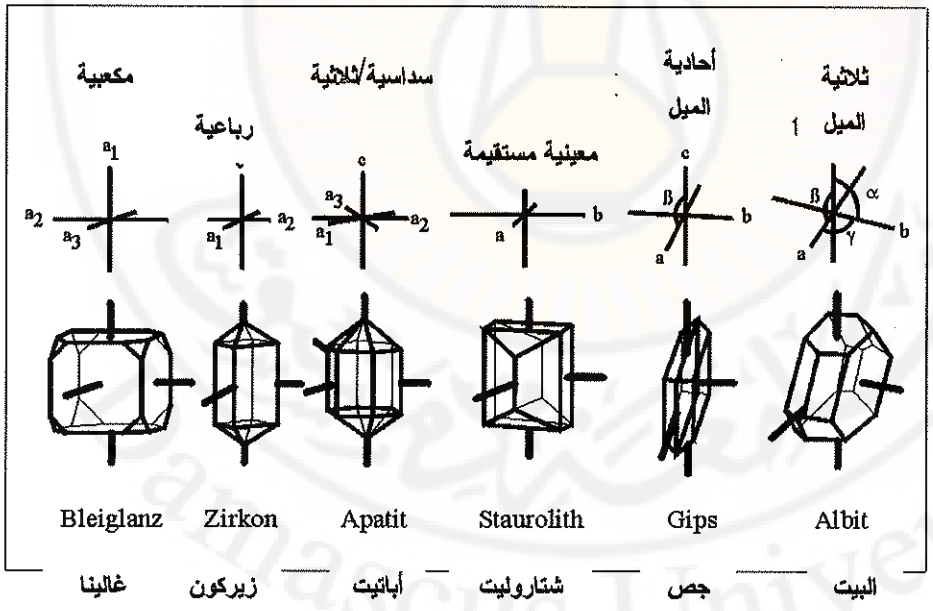


شكل-١٠: تغير الشكل البلوري لفلز الإيبسوميت، مع تزايد تركيز شوائب البورون في المحلول، من (سيدا، ١٩٨٤).

منظومات التبلور Crystal Systems

تم تصنيف المنظومات البلورية في سبع منظومات بلورية رئيسة (شكل-١١)، لكل منها محاور بلورية ذات أطوال ثابتة وزوايا محورية لها قيم ثابتة أيضاً مهما اختلفت أشكالها الخارجية. لقد اعتمد تصنيف المنظومات البلورية وتحديدها بشكل رئيس على نوعية المحاور البلورية وأبعادها وطبيعة الزوايا المحصورة بينها، وحدد سبع منظومات تبلور هي:

- المنظومة المكعبية (Cubic System).
- المنظومة السداسية (Hexagonal System).
- المنظومة الرباعية (Tetragonal System).
- المنظومة الثلاثية (معيني الوجوه)(Trigonal System(Rhombohedral.
- المنظومة المعينية المستقيمة(القائمة)(Orthorhombic System).
- المنظومة وحيدة الميل (Monoclinic System).
- المنظومة ثلاثية الميل (Triclinic System).



شكل-١١: منظومات التبلور الرئيسة مع مثال فلزي ممثل لكل منها.

الفصل الرابع

التصنيف العام للفلزات

- تصنيف الفلزات حسب نسبة تواجدها في الصخور الأم
  - مجموعة الفلزات الأساسية (الرئيسة)
  - مجموعة الفلزات الثانوية
  - مجموعة الفلزات النادرة(العرضية)
- تصنيف الفلزات حسب درجة مقاومتها لعمليات التجوية
- تصنيف الفلزات حسب منشئها
- تصنيف الفلزات حسب تركيبها الكيميائي
  - مجموعة الفلزات الحرة(العنصرية).
  - مجموعة الفلزات الأوكسيدية والهيدروكسيدية.
  - مجموعة الفلزات الكبريتيدية.
  - مجموعة الفلزات الكبريتاتية.
  - مجموعة الفلزات الكربوناتية.
  - مجموعة الفلزات الهاليدية.
  - مجموعة الفلزات الفوسفاتية.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

التصنيف العام للفلزات

يتضمن الأدب الجيولوجي العديد من التصانيف المعتمدة لتصنيف الفلزات، نورد هنا بعضاً منها وبشكل مقتضب:

- **تصنيف الفلزات حسب نسبة تواجدها في الصخور الأم:**

تقسم الفلزات وفق هذا التصنيف إلى ثلاث مجموعات هي:

- **مجموعة الفلزات الأساسية (الرئيسة):** هي الفلزات التي تدخل عادة في تسمية الصخر الموجودة فيه، وتزيد نسبة تواجدها في الصخر عادة عن الـ ٥% من المجموع الإجمالي للتكوين الفلزي الصخري، مثلاً أوليفين بازلت، موسكوفيت شيست، بيريت غنايس.
- **مجموعة الفلزات الثانوية:** هي الفلزات التي لا تدخل عادة في تسمية الصخر الموجودة فيه، وتقل نسبة تواجدها في الصخر عادة عن الـ ٥% من المجموع الإجمالي للتكوين الفلزي الصخري، مثلاً غابرو مع قليل من الأوليفين، شيست مع قليل من الغارنت، غنايس مع قليل من البيوتيت.
- **مجموعة الفلزات النادرة(العرضية):** هي مجموعة الفلزات التي قد تدخل أو لا تدخل في التكوين الفلزي لصخر ما، ولا تدخل عادة في تسمية الصخر، مثلاً فلزي التوباز والتورمالين في صخر الغرانيت، فلز السفين أو الروتيل في صخر الأمفيبوليت.

تعد الفلزات الرئيسة والثانوية بشكل عام من المكونات الأساسية للصخر. هذا وقد يكون الفلز رئيساً في صخر ما وثانوياً أو حتى عرضياً في صخر آخر.

- **تصنيف الفلزات حسب درجة مقاومتها لعمليات التجوية:**

تقسم الفلزات وفق هذا التصنيف إلى مجموعتين رئيستين هما:

- **مجموعة الفلزات الثابتة:** هي مجموعة الفلزات التي تكون شديدة المقاومة لعمليات التجوية الكيميائية والفيزيائية المختلفة، وهي بالتالي مجموعة الفلزات التي لا تتحلل أو يتغير تركيبها الكيميائي مع مرور الزمن، ويعد فلز الكوارتز الذي تتشكل منه معظم التوضعات الرملية خير مثال على مجموعة الفلزات الثابتة المقاومة لعمليات التجوية.

- **مجموعة الفلزات غير الثابتة:** هي مجموعة الفلزات التي تتأثر بشكل واضح بعمليات التجوية الكيميائية والفيزيائية المختلفة مع مرور الزمن، فتتحول إلى فلزات أخرى أكثر ثباتاً، مثالها تحلل فلزات الفلدسبار نتيجة تأثرها بالمياه الغنية بغاز ثاني أوكسيد الكربون وتشكل فلز الكاولينيت.

- **تصنيف الفلزات حسب منشئها:**

تقسم الفلزات وفق هذا التصنيف أيضاً إلى مجموعتين رئيستين هما:

- **مجموعة الفلزات أولية المنشأ:** وتضم جميع الفلزات التي حافظت على تراكيبها وخواصها منذ أن تشكلت وتكونت، وتوجد بشكل دائم في حالة تشكلها الأولي، من أمثلة هذه الفلزات فلز الكوارتز.
- **مجموعة الفلزات ثانوية المنشأ:** وتضم الفلزات التي تتشكل نتيجة تحول الفلزات أولية التشكل نتيجة تعرضها لعمليات التجوية المختلفة. من أهم أمثلتها فلزات الغضار مثل الكلوريت والإيليت والكاولينيت ومعظم الفلزات الأوكسيدية.

- **تصنيف الفلزات حسب تركيبها الكيميائي:**

تصنف الفلزات التي تشكل صخور القشرة الأرضية والتي يزيد عددها عن الـ 2500 فلزاً حسب تركيبها الكيميائي (حسب تركيب شقها الحمضي) إلى ثمانية مجموعات رئيسة هي:

١. **مجموعة الفلزات الحرة(العنصرية).**
٢. **مجموعة الفلزات الأوكسيدية والهيدروكسيدية.**
٣. **مجموعة الفلزات الكبريتيدية.**
٤. **مجموعة الفلزات الكبريتاتية.**
٥. **مجموعة الفلزات الكربوناتية.**
٦. **مجموعة الفلزات الهاليدية.**
٧. **مجموعة الفلزات الفوسفاتية.**
٨. **مجموعة الفلزات السيليكاتية.**

١٠ مجموعة الفلزات الحرة (العنصرية) Elements Minerals(Native):

تضم مجموعة الفلزات الحرة(العنصرية) حوالي ٨٥ فلزاً٠ تتألف فلزات هذه المجموعة من عناصر كيميائية مفردة غير متحدة مع عناصر كيميائية أخرى٠ تقسم فلزاتها إلى زمرتين رئيستين هما:

- **زمرة الفلزات المعدنية:** تضم هذه المجموعة كل من معادن" الذهب، الفضة، النحاس، الزنك، والبلاتين"٠
- **زمرة الفلزات شبه المعدنية:** تضم هذه المجموعة كل من أشباه المعادن " الكبريت، الغرافيت، الألماس، الأنتموان، والبيزموت"٠

٢٠ مجموعة الفلزات الأوكسيدية والهيدروكسيدية Oxides and Hydroxides Minerals:

تضم مجموعة الفلزات الأوكسيدية والأكاسيد المائية حوالي١٥٠ فلزاً وتتكون عادة نتيجة الارتباط المباشر بين العناصر الكيميائية المعدنية مع عنصر الأوكسجين $(O)^{-2}$٠ تتشكل الفلزات الأوكسيدية غالباً في نطاق الأكسدة على السطح الخارجي للأرض، وتعد من الفلزات بسيطة التركيب مقارنة مع فلزات مجموعة السيليكات٠ يعد أوكسيد السيليسيوم SiO_2 "فلز الكوارتز" من أكثر الفلزات الأوكسيدية انتشاراً في الطبيعة، لكن بسبب خصائص تركيبه البلوري المميز سيتم تصنيفه مع مجموعة الفلزات السيليكاتية٠

٣٠ مجموعة الفلزات الكبريتيدية Sulfides Minerals:

ينتمي إلى مجموعة الفلزات الكبريتيدية ما يقارب الـ٣٧٠ فلزاً تتكون من اتحاد العناصر الكيميائية المعدنية مع عنصر الكبريت $(S)^{-2}$، وتوجد هذه الفلزات في الطبيعة غالباً على شكل تجمعات فلزية مترافقة مع بعضها٠ وتتميز بصفة عامة بألوانها العاتمة ومخدشها الملون وكثافتها العالية نسبياً وبريقها المعدني٠ تكون بسيطة التركيب مقارنة مع فلزات مجموعة السيليكات٠

٤٠ مجموعة الفلزات الكبريتاتية Sulfates Minerals:

تضم مجموعة الفلزات الكبريتاتية حوالي١٦٠ فلزاً، تسهم بشكل رئيس بتشكل الصخور الرسوبية٠ تنشأ فلزات هذه المجموعة من اتحاد العناصر الكيميائية المعدنية مع مركب

الكبريتات $(SO_4)^{-2}$. تتشكل فلزات هذه المجموعة غالباً نتيجة ترسب أملاحها من محاليلها المائية في أوساط ترسب شديدة الجفاف. ويتم في بعض الأحيان استبدال عنصر الكبريت سداسي التكافؤ في مركب الكبريتات إما بعنصر الولفرام مكوناً مركب الولفرامات $(WO_4)^{-2}$، أو بعنصر الموليبدين مشكلاً مركب الموليبدات $(MoO_4)^{-2}$.

٥. مجموعة الفلزات الكربوناتية Carbonates Minerals:

تضم مجموعة الفلزات الكربوناتية حوالي مائة فلزٍ، تتكون نتيجة ارتباط العناصر الكيميائية المعدنية مع مركب الكربونات $(CO_3)^{-2}$. تصادف الفلزات الكربوناتية غالباً في الصخور الرسوبية.

٦. مجموعة الفلزات الهاليدية Halides Minerals:

يعود لمجموعة الفلزات الهاليدية حوالي مائة فلز، تنتج من التفاعل المباشر للعناصر الكيميائية مع أحد الحموض الآتية: "HI,HBr,HCl,HF"، تتبلور فلزات هذه المجموعة غالباً من محاليلها المائية مكونة توضعات صخرية ملحية رسوبية كيميائية المنشأ. تتميز الفلزات الهاليدية بشكل عام بصلابتها المنخفضة ودرجات انصهار متوسطة إلى عالية، وتعد في حالتها الصلبة موصلات رديئة للحرارة والكهرباء، لكنها وفي حالتها السائلة تعد موصلات جيدة للحرارة والكهرباء، تكون أملاح الهاليدات والفلوريدات في الطبيعة أكثر انتشاراً من فلزات البرومات واليودات.

٧. مجموعة الفلزات الفوسفاتية Phosphates Minerals:

تشتمل مجموعة الفلزات الفوسفاتية على نحو ٢٥٠ فلزاً، وتنشأ نتيجة ارتباط العناصر الكيميائية المعدنية مع مركب $(PO_4)^{-3}$، حيث يرتبط عنصر الفوسفور خماسي التكافؤ مع أربع ذرات أوكسجين مشكلاً مجوعات أيونيه فوسفاتية رباعية الوجوه، قد تتكون لدينا مجموعات أيونيه أخرى مماثلة لها نفس عدد تناسق الأوكسجين وذات نوع ودرجة قوي الرابطة حول أيونات الزرنيخ $(AsO_4)^{-3}$ والفناديوم $(VO_4)^{-3}$ خماسية التكافؤ مكونة مجموعة من الفلزات الزرنيخية أو الفناداتية، كما يمكن لأيونات الفوسفور والزرنيخ والفناديوم أن تحل محل بعضها في مكانها الذي تشغله في مركز رباعي الوجوه، كما هي الحال في مجموعة فلزات البيرومورفيت. تتشكل معظم الفلزات الفوسفاتية في الطبيعة نتيجة تراكم هياكل الحيوانات الفقارية، وتسهم في تكوين الصخور الرسوبية الفوسفاتية عضوية المنشأ.

٨٠ مجموعة الفلزات السيليكاتية Silicates Minerals:

تتشكل مجموعة الفلزات السيليكاتية بشكل رئيس من الماغما، وتضم ما يزيد عن ٢٥% من جميع الفلزات المعروفة أو ما يزيد أيضاً عن ٤٠% من الفلزات الشائعة، كما تسهم جميعها في تركيب صخور القشرة الأرضية، إذ تشكل حوالي ٩٠% منها، كما تعد مجموعة الفلزات السيليكاتية مركبات كيميائية معقدة التركيب مقارنة مع المجموعات الفلزية الأخرى، وتتألف بشكل رئيس من ارتباط عنصري السيليسيوم والأوكسجين مع عنصر معدني واحد أو أكثر. يعد الجزء السيليكاتي $(SiO_4)^{-4}$ الوحدة البنائية الرئيسة لكل فلزات المجموعة السيليكاتية، ويوجد في معظم الأحيان على هيئة رباعي وجوه، يتألف من ذرة سيليكون تحتل المركز، تحاط بأربع ذرات من الأوكسجين تحتل الرؤوس، تتميز هذه الوحدة البنائية بشحنة رباعية سالبة، حيث تستخدم كل ذرة أكسجين تكافؤاً سالباً واحداً تكافئ به ذرة السيليسيوم الموجودة في مركز رباعي الوجوه، ويتبقى لكل ذرة أوكسجين شحنة سالبة واحدة ترتبط بها مع أيونات معدنية موجبة الشحنة حتى يتم تعادل الشحنة السالبة مع الموجبة، وبالتالي حتى يكون رباعي الوجوه معتدلاً ومستقراً، في بعض الأحيان يتم ارتباط ذرة أوكسجين واحدة من أيونات رباعي الوجوه أو ذرتين أو ثلاثة أو حتى جميع ذرات الأوكسجين مع ذرات أكسجين تنتمي إلى رباعيات وجوه أخرى، وهذا ما يقود إلى تشكيل أنواع متنوعة جداً، متعددة ومتباينة من البنيات البلورية السيليكاتية، فالتعدد الكبير لفلزات المجوعة السيليكاتية يعود إلى كيفية ارتباط رباعيات الوجوه مع بعضها. وعلى هذا الأساس قسمت فلزات هذه المجموعة إلى عدة مجموعات أصغر هي:

- **الفلزات السيليكاتية المتكونة من رباعيات الوجوه المفردة(Nesosilicates):**

تتكون الفلزات السيليكاتية هنا نتيجة ارتباط رباعي وجوه مفرد $(SiO_4)^{-4}$ والذي يمثل الشق الحمضي مع عناصر كيميائية فلزية مثل الحديد، المغنيزيوم والألمنيوم والتي تمثل الشق القاعدي، مع بقاء نسبة السيليسيوم إلى الأوكسجين ١:٤ ثابتة. من أهم فلزات هذه المجموعة نذكر: فلز الأوليفين، الزركون، التوباز، التيتانيت، الألماندين، البيروب والأندراديت.

- **الفلزات السيليكاتية المتكونة من اورتباط رباعيي وجوه مفردة(Sorosilicates):**

تتشكل فلزات هذه المجموعة من ارتباط رباعي وجوه مع رباعي وجوه آخر من أحد الرؤوس لتشكل رباعي وجوه مزدوج مع خسارة ذرة أوكسجين $(Si_2O_7)^{-6}$، بحيث تكون

نسبة السيليسيوم إلى الأوكسجين ٢:٧٠ تعد فلزات هذه المجموعة نادرة التواجد في الطبيعة، ويعد فلز اللوسونيت، الهيميورفيت والإيبيدوت أكثر فلزاتها انتشاراً٠

- **الفلزات السيليكاتية المتكونة من ارتباط ثلاث رباعيات وجوه مفردة:**

قد ترتبط ثلاثة رباعيات وجوه بعضها مع بعضها الآخر مع خسارة ذرتين من الأوكسجين وتصبح صيغتها $(Si_3O_9)^{-6}$ وتكون نسبة السيليسيوم إلى الأوكسجين ٣:٩٠ ويمثل هذه المجموعة الفلزية فلزات نادرة في الطبيعة مثل: الوالاستونيت٠

- **الفلزات السيليكاتية الحلقية(Cyclosilicates):**

تتشكل الفلزات السيليكاتية الحلقية من ارتباط ستة رباعيات وجوه مفردة مع بعضها بعضاً ومن رؤوسها وبخسارة ستة ذرات من الأوكسجين وبصيغة $(Si_6O_{18})^{-12}$، بحيث تكون نسبة السيليسيوم إلى الأوكسجين ٦:١٨ ثابتة٠ يمثل هذه المجموعة الفلزية كل من فلزي البيريل والتورمالين٠

- **الفلزات السيليكاتية السلاسلية(Inosilicates):**

تقسم هذه المجموعة بدورها إلى مجموعتين هما:

- **الفلزات السيليكاتية مفردة السلسلة (Single Chain Of Tetrahedral):**

ترتبط رباعيات الوجوه في فلزات هذه المجموعة مع بعضها بعضاً على شكل سلسلة مفردة مفتوحة لا نهاية لامتدادها، مكونة الشق الحمضي وتمثلها الصيغة $(SiO_3)^{-2}{}_n$، يرمز الحرف n لعدد وحدات رباعيات الوجوه $(SiO_3)^{-2}$، على أن تكون نسبة السيليسيوم إلى الأوكسجين ١:٣ ثابتة٠ تتحد هذه الصيغة عادة مع العناصر المعدنية التي تمثل الشق القاعدي وفق الصيغة الكيميائية العامة $AB(Si,Al)_2O_6$ (تضم A العناصر الكيميائية الكاتيونية منخفضة الشحنة كبيرة الحجم كالصوديوم والبوتاسيوم، وتمثل B العناصر الكيميائية الكاتيونية عالية الشحنة صغيرة الحجم كالحديد الثنائي والثلاثي والألمنيوم والمنغنيز والمغنيزيوم والليثيوم والتيتانيوم والكروم مكونة فلزات مجموعة البيروكسين٠

- **الفلزات السيليكاتية مضاعفة السلسلة (Double Chain Of Tetrahedral):**

ترتبط في هذه المجموعة من الفلزات سلسلة مفتوحة مفردة من رباعيات الوجوه مع سلسلة مفتوحة مفردة أخرى مكونة سلسلة مضاعفة (مزدوجة) لا نهاية لامتدادها

وممثلة للشق السيليكاتي الحمضي، تمثلها الصيغة $(Si_4O_{11})^{-6}{}_n$ ، يمثل الحرف n عدد وحدات الصيغة $(Si_4O_{11})^{-6}$ المكررة، على أن تبقى نسبة السيليسيوم إلى الأوكسجين ٤:١١ثابتة.

تتحد هذه الصيغة مع العناصر الكيميائية المعدنية التي تمثل الشق القاعدي للصيغة الكيميائية العامة $A_{0-1}X_2Y_5(Si,Al)_8O_{22}(OH,F,Cl)_2$ ، (تمثل A و X العناصر الكيميائية الكاتيونية منخفضة الشحنة كبيرة الحجم كالصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم، وتمثل Y العناصر الكيميائية الكاتيونية عالية الشحنة صغيرة الحجم كالحديد الثنائي والثلاثي والألمنيوم والمنغنيز والمغنيزيوم والتيتانيوم) مكونة فلزات مجموعة الأمفيبول.

- **الفلزات السيليكاتية الصفائحية (Phyllosilicates):**

يمكن أن ترتبط رباعيات الوجوه مع بعضها بعضاً بواسطة ثلاثة ذرات أوكسجين مكونة بنية مسطحة صفائحية لانهاية لامتدادها وتمثلها $(Si_4O_{10})^{-4}{}_n$ الصيغة، يمثل الحرف n عدد وحدات الصيغة $(Si_4O_{10})^{-4}$ المكررة، على أن تبقى نسبة السيليسيوم إلى الأوكسجين ٥:٢ ثابتة ومكونة للشق السيليكاتي الحمضي. يتحد الشق السيليكاتي الحمضي مع العناصر الكيميائية المعدنية التي تمثل الشق القاعدي للصيغة البلورية الكيميائية مكونة فلزات مجموعة الميكا.

مما سبق يلاحظ بأن فلزات مجموعة الميكا تتميز من المجموعات الفلزية السيليكاتية الأخرى بإمكانية إحلال ذرات عنصر الألمنيوم محل ذرات السيليسيوم في مراكز رباعيات الوجوه، بسبب تقارب حجم أيون السيليسيوم Si^{+4} وأيون الألمنيوم Al^{+3} على الرغم من الفرق في الشحنة (سالب واحد) الذي يكافأ عادة بأيون معدني موجب الشحنة مثل البوتاسيوم أو الصوديوم، لذلك تسمى فلزات مجموعة الميكا وشبيهاتها من الفلزات بالسيليكات الألومينية، كما تتميز فلزات مجموعة الميكا باحتواء صيغها الكيميائية أيضاً على أيون الهيدروكسيل $(OH)^{-1}$.

تتشابه مجموعة فلزات الغضار (Clay Minerals) مع مجموعة فلزات الميكا من حيث البنية البلورية مع الاختلاف بشروط النشأة والتشكل، فمجموعة فلزات الميكا تتشكل في باطن الأرض مباشرة من تبرد الماغما، بينما تتشكل مجموعة فلزات الغضار على السطح

الخارجي للأرض نتيجة تأثير عمليات التجوية الكيميائية المختلفة على الفلزات السيليكاتية أولية المنشأ، يتكون الشق الحمضي السيليكاتي في فلزات الغضار فقط من عنصري السيليسيوم والأوكسجين، بينما يوجد عنصر الألمنيوم في شقها القاعدي، كما ويدخل أيون الهيدروكسيل $(OH)^{-1}$ في تركيبها الكيميائي.

- **الفلزات السيليكاتية الشبكية (Tektosilicates):**

تتشكل الفلزات السيليكاتية الشبكية نتيجة ارتباط رباعيات الوجوه بعضها مع الآخر من كل الرؤوس، أي من خلال مشاركة كل ذرات الأوكسجين لذرات السيليسيوم المجاورة لها بروابط قوية وفي جميع الاتجاهات، بحيث تشكل شبكة بلورية ثلاثية الأبعاد لها الصيغة SiO_2^0 (الكوارتز)، وتكون نسبة عنصر السيليسيوم إلى عنصر الأوكسجين ١:٢ ثابتة. ينتمي إلى هذه المجموعة الفلزية كل من فلزات: " ألفا كوارتز وبيتا كوارتز وأشكال أخرى للسيليكا الحرة تكون أقل انتشاراً من الكوارتز، نذكر منها فلزي التريدميت والكريستالوباليت المنحصر تواجدهما غالباً في الصخور النارية، والأوبال الذي يتشكل نتيجة نشاط المحاليل المائية الحارة، وهو فلز غير مبلور يحتوي بتركيبه الكيميائي على نسبة من الماء، قد يفقد هذ الماء لاحقاً، فيتحول بالتدريج إلى فلز الكالسيدوان، وهو عبارة عن فلز الكوارتز خفي التبلور. كما يوجد على شكل فلزات أخرى غير متبلورة مثل الآغات(عقيق)، جاسب، صوان(فلنت)، ظر(شيرت). يتميز فلز الكوارتز عن جميع فلزات مجموعة الفلزات السيليكاتية بمقاومته الشديدة لعمليات التجوية الفيزيائية وعدم تأثره بعمليات التجوية الكيميائية.

تعد مجموعة فلزات الفلدسبار(Feldspar Group) الفلزية أيضاً من الفلزات السيليكاتية الشبكية (Tektosilicates)، كما تعد من أكثرها شيوعاً وانتشاراً على الإطلاق، تتشابه ببنيتها البلورية مع فلز الكوارتز وتختلف عنه بإمكانية إحلال أيونات الألمنيوم محل أيونات السيليسيوم في رباعيات الوجوه، مما يؤدي إلى اكتساب شحنة سالبة تتم معادلتها بعناصر كيميائية ذات شحنات موجبة مثل: البوتاسيوم أو الصوديوم أو الكالسيوم حيث تقود إلى تشكيل الأنواع الرئيسة من فلزات الفلدسبار (Feldspar) المختلفة وهي:

- الفلدسبار البوتاسي(Potassium Feldspar) صيغته الكيميائية العامة $KALSi_3O_8$، ويضم كل من فلز الأورثوكلاز Orthoclase الذي يتكون من

الماغما في درجات حرارة متوسطة، وفلز الميكروكلين Microcline الذي يتكون من الماغما في درجات الحرارة المنخفضة، وفلز السانيدين Sanidine الذي يتشكل من الماغما في درجات الحرارة المرتفعة ويوجد في بعض الصخور النارية البركانية، لذلك لا يمكن أن يترافق في الطبيعة فلز السانيدين مع فلز الميكروكلين.

- الفلدسبار البلاجيوكلازي (Plagioclase Feldspar) ويضم كل من:
  - الفلدسبار الصودي: صيغته الكيميائية العامة $NaALSi_3O_8$ المتمثل بفلز الألبيت ١٠٠% صوديوم.
  - الفلدسبار الكلسي: صيغته الكيميائية العامة $CaAL_2Si_2O_8$ المتمثل بفلز الأنورتيت ١٠٠% كالسيوم.

جدول ١٥: المجموعات الفلزية السيليكاتية، مع مثال فلزي ممثل لها وصيغتها الكيميائية.

المجموعة	المجموعة الفلزية السيليكاتية	مثال فلزي	صيغة التبلور	نسبة Si/O
١	الفلزات السيليكاتية المتكونة من رباعيات الوجوه المفردة Nesosilicates	الأوليفين، الزركون، التوباز، التيتانيت، الألماندين، البيروب والأندراديت	$(SiO_4)^{-4}$	٤:١
٢	الفلزات السيليكاتية المتكونة من ارتباط رباعيي وجوه مفردة Sorosilicates	اللوسونيت، الهيميورفيت والإيبيدوت	$(Si_2O_7)^{-6}$	٧:٢
٣	الفلزات السيليكاتية الحلقية Cyclosilicates	البيريل والتورمالين	$(Si_6O_{18})^{-12}$	١٨:٦
٤	الفلزات السيليكاتية مفردة السلسلة Single Chain Of Tetrahedral	فلزات مجموعة البيروكسين	$_n(SiO_3)^{-2}$	٣:١
٥	الفلزات السيليكاتية مضاعفة السلسلة Double Chain Of Tetrahedral	فلزات مجموعة الهورنبلند	$(Si_4O_{11})^{-6}{}_n$	١١:٤
٦	الفلزات السيليكاتية الصفائحية Phyllosilicates	فلزات مجموعتي الميكا والغضار	$(Si_4O_{10})^{-4}{}_n$	٥:٢
٧	الفلزات السيليكاتية الشبكية Tektosilicates	فلزات مجموعة الفلدسبار، الكوارتز	SiO_2^0	٢:١

يشكل الفلدسبار الصودي مع الفلدسبار الكلسي سلسلة متصلة من المحاليل الصلبة تمتد من الألبيت حتى الأنورتيت، وتنتج من خلال استبدال أيون الصوديوم وأيون السيليسيوم في فلز الألبيت بأيون الألمنيوم وأيون الكالسيوم في فلز الأنورتيت أو العكس، وبذلك تتكون سلسلة من فلزات البلاجيوكلاز التي يتراوح تركيبها بين تركيب فلز الألبيت البلاجيوكلاز الصودي وفلز الأنورتيت البلاجيوكلاز الكلسي مروراً بالأوليغوكلاز والأنديزين واللابرادور والبيتونيت، يطلق على هذه المجموعة من الفلزات اسم مجموعة فلزات البلاجيوكلاز.

Damascus University

الفصل الخامس

التركيب الفلزي للتربة

- فلزات التربة الأولية
  - مجموعة فلزات الفلدسبار
  - مجموعة فلزات الفلدسبار الحديث
  - مجموعة فلزات الأوليفين
  - مجموعة فلزات البيروكسين
  - مجموعة فلزات الأمفيبول
  - مجموعة فلزات الميكا
  - مجموعة الفلزات شديدة (متناهية) الثبات
  - فلز الكوارتز
  - مجموعة فلزات الغرينا (الغارنت)
  - مجموعة فلزات الإبيبدوت
  - فلزات أخرى
- فلزات التربة الثانوية غير الغضارية
  - مجموعة الفلزات الثانوية عديمة أو خفية التبلور
    - مجموعة فلزات أكاسيد الحديد
    - مجموعة فلزات أكاسيد الألمنيوم
    - مجموعة فلزات أكاسيد المنغنيز
    - مجموعة فلزات أكاسيد التيتانيوم
  - مجموعة الفلزات الثانوية المتبلور
    - مجموعة الفلزات الهاليدية
    - مجموعة الفلزات الكربوناتية
    - مجموعة الفلزات الكبريتاتية
    - مجموعة الفلزات الفوسفاتية
- توزع الفلزات في الترب وانتشارها


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

التركيب الفلزي للتربة

تعد الفلزات الأولية الموجودة في التربة، مواداً متبقية تنتج عن تجوية الصخور النارية، تنشأ بشكل رئيس نتيجة تفتت هذه الصخور وتهشمها وتفككها بفعل عمليات التجوية الفيزيائية مكونة ما يسمى قشور التجوية، حيث تتوضع التربة على سطحها.

بينما تتكون الفلزات الثانوية بشكل أساسي نتيجة تجوية الصخور والفلزات الأولية تجوية كيميائية أو حيوية كيميائية.

يوجد الجزء الأكبر من الفلزات الأولية في الحبيبات الخشنة من التربة كالحصى والرمل الخشن والمتوسط والناعم، في حين توجد الفلزات الثانوية غالباً في الحبيبات الناعمة من التربة كالسلت والطين.

تسود الفلزات الأولية من الناحية الوزنية على الفلزات الثانوية في غالبية الترب، خاصة تلك الترب المتكونة في المناطق ذات المناخات الجافة كالترب الرملية الفتاتية المفككة، بينما تسود الفلزات الثانوية في الترب المتكونة في المناطق ذات المناخات الحارة والرطبة، كالترب الحمراء القرميدية.

تتسم الفلزات الأولية بشكل عام بعدم ثباتها خلال مراحل تشكل التربة، نتيجة تأثير العوامل المناخية والمحاليل المائية والأحياء الدقيقة، فتتهدم بشكل تدريجي مكونة فلزات ثانوية، يستثنى من ذلك عدد قليل من الفلزات التي يطلق عليها اسم الفلزات شديدة أو متناهية الثبات، والتي تتميز بثباتها الشديد ومقاومتها العالية لعمليات التجوية المختلفة، حيث تبقى في الترب لمدد زمنية طويلة، معظم هذه الفلزات هي فلزات سيليكاتية، نذكر منها على سبيل المثال: الإيبيدوت، الديستين، الغرينا، التورمالين، الزركون والشتاروليت.

تؤدي نوعية الفلزات الأولية عادة دوراً مهماً في تحديد منشأها وطبيعة صخورها الأم (المصدر)، كما تحدد نسبة هذه الفلزات في تربة ما إلى قدم هذه التربة أو حداثتها، فمع مرور الزمن يتناقص عدد الفلزات الأولية ونسب تواجدها ليظهر بدلاً منها فلزات ثانوية، وفي نهاية المطاف لا يتبقى في الترب القديمة جداً سوى الفلزات متناهية الثبات والمقاومة جداً لعمليات التجوية المختلفة.

فلزات التربة الأولية

تشكل الفلزات الأولية أكثر من ٨٥% من وزن القشرة الأرضية، تندرج في ستة مجموعات فلزية رئيسة هي: الفلدسبار، الأوليفين، البيروكسين، الأمفيبول، الميكا والكوارتز. سندرسها بالتفصيل كالآتي:

مجموعة فلزات الفلدسبار Feldspars

تعد مجموعة الفلدسبار أكثر المجموعات الفلزية الأولية انتشاراً في صخور القشرة الأرضية والترب، حيث تشكل نحو ٥٥% من الوزن الكلي للقشرة الأرضية و ١٠-١٥% من وزن الترب.

تتكون البنية البلورية لفلزات الفلدسبار من رباعيات وجوه السيليسيوم والألمنيوم الأوكسجينية، ترتبط ببعضها بكاتيونات البوتاسيوم أو الصوديوم أو الكالسيوم تتبلور جميعها في منظومة التبلور ثلاثية الميل، وهناك ثلاثة أنواع رئيسة من الفلدسبار هي:

الفلدسبار الكلسي أو الأنورتيت، تركيبه الكيميائي هو : $CaAl_2Si_2O_8$

الفلدسبار الصودي أو الألبيت، تركيبه الكيميائي هو: $NaAlSi_3O_8$

الفلدسبار البوتاسي أو الأورثوكلاز، تركيبه الكيميائي هو: $KAlSi_3O_8$

مجموعة فلزات الفلدسبار الكلسي- الصودي (البلاجيوكلاز)

يشكل كل من فلزي الفلدسبار الصودي "الألبيت" مع الفلدسبار الكلسي " الأنورتيت" سلسلة من الفلزات متواصلة التشكل تسمى بمجموعة الفلدسبار الصودية - الكلسية، أو يطلق عليها اسم مجموعة البلاجيوكلاز. تتميز فلزات مجموعة البلاجيوكلاز بشبكة سطوح انفصام شبه قائمة.

تزداد نسبة عنصري الكالسيوم والألمنيوم على حساب عنصري الصوديوم والسيليسيوم ابتداءً من فلز الألبيت وانتهاءً بفلز الأنورتيت. وننتقل بين فلزات هذه المجموعة حسب نسبة

الاستبدال بين السيليسيوم والألمنيوم في رباعيات الوجوه وحسب اختلاف الكاتيونات التي ستشبع الشحنات الكهربائية في البنية البلورية، وفق التسلسل المبين أدناه:

من ٠% وحتى ١٠% أنورتيت ← ألبيت Albite
من ١٠% وحتى ٣٠% أنورتيت ← أوليغوكلاز Oligoclase
من ٣٠% وحتى ٥٠% أنورتيت ← أنديزين Andesine
من ٥٠% وحتى ٧٠% أنورتيت ← لابرادور Labrador
من ٧٠% وحتى ٩٠% أنورتيت ← بيتونيت Bytownite
من ٩٠% وحتى ١٠٠% أنورتيت ← أنورتيت Anorthite

مجموعة فلزات الفلدسبار البوتاسي

يعد فلز الأورثوكلاز Orthoclase أكثر فلزات مجموعة الفلدسبار البوتاسي انتشاراً، يتبلور في منظومة التبلور أحادية الميل، يماثل فلز الميكروكلين Microcline فلز الأورثوكلاز في تركيبه الكيميائي، ويختلف عنه في نمط تبلوره حيث يتبلور في منظومة التبلور ثلاثية الميل. أيضاً ينتمي فلز السانيدين Sanidine لمجموعة فلزات الفلدسبار البوتاسي، ينتج عن تحول فلز الأورثوكلاز في درجات حرارة تراوح بين ٩٠٠-١٠٠٠م°، يوجد فلز السانيدين عادة في الصخور البركانية حديثة التشكل.

توجد في الطبيعة أيضاً سلسلة من الفلدسبار الصودية-البوتاسية، إلا أنها تشكل سلسلة غير متواصلة، ففلز البيرتيت Perthites يعد من فلزات مجموعة الفلدسبار الصودي-البوتاسي حيث يجتمع فيه ٦٠% من فلز الألبيت مع ٤٠% من فلز الميكروكلين.

تعد فلزات مجموعة الفلدسبار بشكل عام فلزات مميزة ودالة للنوع الصخري الناري، ففلز الأنورتيت وكذلك البيتونيت واللابرادور توجد في الصخور النارية فوق القاعدية، كصخور البيريدوتيت والكمبرليت والقاعدية كصخور الغابرو والبازلت، في حين يوجد فلز الأنديزين في الصخور النارية القاعدية والمتوسطة كصخور الأنديزيت، السيانيت، الدولوريت. كما يجتمع فلز الأوليغوكلاز Oligoclase غالباً مع فلز الأورثوكلاز ضمن الصخور النارية

متوسطة الحمضية، كصخور الديوريت وبشكل أقل الصخور الحمضية كصخور الغرانيت والفونوليت والريوليت وبعض الصخور المتحولة.

مجموعة فلزات الفلدسبار الحديث

تنتمي مجموعة الفلدسبار الحديث إلى مجموعة الفلزات الألوموسيليكاتية القلوية، وتتألف من فلزيين رئيسين هما فلز النيفلين وفلز اللوسيت.

النيفلين Nepheline:

يوجد فلز النيفلين في الصخور البركانية القلوية كصخور السيانيت والفونوليت، وهو الفلدسبار الحديث الصودي تركيبه الكيميائي $Na(SiAlO_4)$، يتبلور بمنظومة التبلور السداسية، تتراوح قساوته بين ٥،٥–٦، وتبلغ كثافته ٢،٦، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون فالأبيض فالرمادي فالأبيض المصفر فالبني الشاحب وأخيراً اللون البني النبيذي، له بريق صمغي، غير شفاف، يبدو على هيئة أعمدة قصيرة أو ألواح ثخينة.

يتأثر فلز النيفلين بعوامل التجوية فيتهدم محرراً الصوديوم وأكاسيد السيليسيوم والألمنيوم الغروية، كما يؤدي تجمع نواتج تجوية فلز النيفلين إلى تكوين فلز المونتموريولونيت.

اللوسيت Leucite:

يوجد فلز اللوسيت أيضاً في الصخور البركانية القلوية، وهو الفلدسبار الحديث البوتاسي تركيبه الكيميائي $K(Si_2AlO_6)$، يتبلور بمنظومة التبلور المكعبة، تتراوح قساوته بين ٥–٦، كما تتراوح كثافته بين ٢،٤٥–٢،٥، يأخذ عدة ألوان تمتد من اللون الأبيض فالرمادي فالأصفر، له بريق زجاجي إلى صمغي، غير شفاف،مكسره محاري.

يتأثر فلز اللوسيت بعوامل التجوية فيتهدم محرراً الصوديوم وأكاسيد السيليسيوم والألمنيوم الغروية.

الصفات الفيزيائية لمجموعة فلزات الفلدسبار:

○ الصفات الفيزيائية لمجموعة فلزات الفلدسبار الكلسي– الصودي (البلاجيوكلاز):

تتبلور فلزات مجموعة الفلدسبار الكلسي– الصودي (البلاجيوكلاز) في منظومة التبلور ثلاثية الميل، تتراوح قساوتها بين ٦–٦،٥، بينما تتراوح كثافتها بين ٢،٦١–٢،٧٦، متعددة اللون يراوح لونها من الأبيض فالأبيض الرمادي فالأخضر فالأزرق فالبني المحمر، مخدشه أبيض، البريق زجاجي، تبدو بلوراتها على هيئة أعمدة ترتبط مع بعضها بتوائم متكررة.

يتكون نتيجة تجوية فلزات البلاجيوكلاز أنواع مختلفة من فلزات الطين وذلك تبعاً لرقم حموضة الوسط ونوع الأيونات الموجبة السائدة، فإذا تمت التجوية في أوساط غنية بعنصر البوتاسيوم والسيليسيوم، نشأ فلز السيريسيت، بينما إذا حدثت التجوية في أوساط فقيرة بعنصر البوتاسيوم والسيليسيوم فإنه يمكن أن تتشكل فلزات مجموعة الكلوريت مترافقة مع فلزات مجموعة الإيبيدوت، وإذا تمت التجوية في أوساط قلوية غنية بعنصري المغنيزيوم والكالسيوم يتشكل فلز السمكتيت، أما إذا تمت التجوية في أوساط خفيفة الحموضة وغنية بعنصر البوتاسيوم يتشكل فلز الإيليت، وإذا تمت التجوية في أوساط حمضية غنية بعنصر الهيدروجين يتشكل فلز الكاولينيت، يترافق مع تكوين فلزات الطين المذكورة أكاسيد مائية لكل من السيليسيوم والألمنيوم بالإضافة إلى تحرير بعض العناصر القلوية والقلوية الترابية، التي لا تلبث أن تتحد مع جذر الكربونات (الفحمات) مكونة كربونات (فحمات) هذه العناصر.

○ الصفات الفيزيائية لمجموعة فلزات الفلدسبار البوتاسي:

يتبلور فلز الأورثوكلاز والسانيدين بمنظومة التبلور وحيدة الميل، بينما يتبلور فلز الميكروكلين بمنظومة التبلور ثلاثية الميل، تبلغ قساوته ٦، وتتراوح كثافته بين ٢،٥٣–٢،٥٦، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من اللون الأبيض فالأصفر فالسكري فالأخضر الباهت فالأخضر فالبيج وأخيراً البني، مخدشه أبيض، البريق زجاجي، المكسر غير مستو محاري، انفصامه جيد، تبدو بلوراته على هيئة أعمدة أو ألواح ترتبط مع بعضها بتوائم متكررة.

تتميز فلزات مجموعة الفلدسبار البوتاسي بدرجة عالية من الثبات عند تعرضها لعمليات التجوية المختلفة. إلا أنها نتيجة تجويتها تشكل فلز الكاولينيت وتحرر كميات كبيرة

من عنصر البوتاسيوم الذي يعد أحد أهم العناصر الأساسية في تغذية النبات، كما تحرر عنصر السيليسيوم الذي يرتبط مع الأوكسجين مكوناً أكاسيد السيليكا.

مجموعة فلزات الأوليفين Olivine

تنتمي مجموعة فلزات الأوليفين إلي الفلزات الأورثوسيليكاتية، تشكل فلزات هذه المجموعة زمرة متماثلة الشكل (Isomorphic) تبدأ بفلز الفورستريت الغني بعنصر المغنيزيوم وتنتهي بفلز الفاياليت الغني بعنصر الحديد، مارةً بحدود وسطية مختلطة من عنصري المغنيزيوم والحديد مكونة فلز الأوليفين.

الفورستريت Forstrite	$Mg_2(SiO_4)$
الأوليفين Olivine	$(Fe,Mg)_2(SiO_4)$
الفاياليت Fayalite	$Fe_2(SiO_4)$

تتبلور مجموعة فلزات الأوليفين في منظومة التبلور المعينية المستقيمة (القائمة)، تتراوح قساوته بين ٦،٥-٧، تتراوح كثافته بين ٣،٢-٤،٣، متعددة اللون وتمتد ألوانها من اللون الأخضر القاتم المائل للأسود فالأخضر الزيتوني وأحياناً البني المحمر، مخدشه أبيض مصفر إلى أصفر وحتى الزيتوني الباهت، البريق زجاجي أو حريري، المكسر غير مستو محاري، انفصامه جيد، تبدو بلوراته على هيئة مواشير أو على هيئة إبر متطاولة. توجد مجموعة فلزات الأوليفين في الصخور النارية فوق القاعدية والقاعدية، تتهدم بسهولة وسرعة نتيجة تعرضها لعوامل التجوية متحولة إلى صخر السربنتينيت (صخر الحية)، كما يتهدم أوليفين الصخور البازلتية متحولاً إلى مزيج من فلزي الغوتيت والكلوريت يسمى فلز الإيدنغزيت(Iddingsite).

لا تشاهد مجموعة فلزات الأوليفين إلا في أنواع الترب الفتية المتكونة على الصخور النارية فوق القاعدية والقاعدية التركيب نتيجة تهدمها وتجويتها بسرعة كبيرة.

مجموعة فلزات البيروكسين Pyroxenes

تصادف مجموعة فلزات البيروكسين في الصخور النارية وبشكل أقل في الصخور المتحولة، وتنتمي إلى مجموعة الفلزات السيليكاتية ذات رباعيات الوجوه السلاسلية المفتوحة

والبسيطة، تتألف هذه المجموعة من عدد كبير من الفلزات تتبلور، إما في المنظومة المعينية القائمة (مجموعة الأورثوبيروكسين) وتضم كل من فلز الإنستاتيت وفلز الهيبرستين وفلز البرونزيت، أو في المنظومة أحادية الميل (مجموعة الكلينوبيروكسين) التي تضم كل من فلز الديوبسيد والأوجيت والهيدنبرجيت والجاديت والآيجيرين، لذلك قسمت مجموعة فلزات البيروكسين حسب نمط تبلورها إلى مجموعتين هما:

مجموعة فلزات البيروكسين المعيني القائم

وتضم كل من الفلزات الآتية:

الإنستاتيت Enstatite:

تركيبه الكيميائي $Mg_2(Si_2O_6)$، تبلغ قساوته ٥،٥، تتراوح كثافته بين ٣،٢-٣،٣، متعدد اللون ويمتد لونه من عديم اللون فالأبيض ثم الأبيض الرمادي فالرمادي فالبني المخضر فالأخضر الصدئي، مخدشه أبيض، البريق زجاجي، تبدو بلوراته على هيئة ألواح أو أعمدة أو في بعض الأحيان على هيئة إبر. سطوح انفصامه تامة حسب(110).

البرونزيت Bronzite:

هو عبارة عن فلز الإنستاتيت، إلا أنه يتميزعنه باحتواء تركيبه الكيميائي على الحديد، حيث يحتوي البرونزيت بين ٥-١٥% FeO، تركيبه الكيميائي $(Fe,Mg)_2(Si_2O_6)$، تبلغ قساوته ٥،٥. تتراوح كثافته بين ٣،٢-٣،٥، متعدد اللون يتراوح لونه من الأخضر إلى البني المسود القاتم، مخدشه أبيض، البريق معدني، تبدو بلوراته على هيئة ألواح أو أعمدة.

الهيبرستين Hypesthene:

يحتوى فلز الهيبرستين بين ٢٠-٤٠% FeO، صيغته الكيميائية $(Fe,Mg)_2(Si_2O_6)$، تتراوح قساوته بين ٥-٦. تتراوح كثافته بين ٣،٣-٣،٥، متعدد اللون يتراوح لونه من الأخضر إلى الأخضر المسود أو البني المسود القاتم، مخدشه أصفر إلى رمادي أو بني، البريق زجاجي، تبدو بلوراته على هيئة مواشير قصيرة أو ألواح ثخينة أو أعمدة متطاولة، سطوح انفصامه تامة حسب(110).

تتهدم فلزات البيروكسين المعيني القائم نتيجة عوامل التجوية بسهولة، وتتحول إلى فلزات الأمفيبول فالتالك وأخيراً الكلوريت وفلزات السربنتين.

مجموعة فلزات البيروكسين أحادي الميل

وتضم كل من الفلزات الآتية:

الديوبسيد Diopside:

تركيبه الكيميائي $CaMg(Si_2O_6)$، تتراوح قساوته بين ٥،٥ ـ ٦، وتتراوح كثافته بين ٣،٢٧ـ٣،٤٢، متعدد اللون يتراوح لونه من عديم اللون فالأبيض فالأبيض الرمادي فالرمادي أو الرمادي المخضر، مخدشه أبيض، البريق زجاجي، تبدو بلوراته على هيئة أعمدة قصيرة أو أحياناً على هيئة إبر ناعمة.

الأوجيت Augite:

نحصل على فلز الأوجيت عندما نستبدل ذرة سيليسيوم بذرة ألمنيوم ضمن رباعيات الوجوه لفلز الديوبسيد فيصبح تركيبه الكيميائي $(CaMg,Fe,Ti)(Si,AlO_6)$، تتراوح قساوته بين ٥ـ٦، وتتراوح كثافته بين ٣،٢ـ٣،٦، متعدد اللون ويتراوح لونه من اللون البني القاتم إلى البني الرمادي فالأسود، مخدشه رمادي مخضر، البريق زجاجي، مكسره محاري غير مستو، انفصامه غير مكتمل، تبدو بلوراته على هيئة أعمدة قصيرة أو ألواح ثخينة وأحياناً على هيئة إبر، إذا زادت نسبة عنصر التيتان في فلز الأوجيت على ٥% يطلق عليه اسم الأوجيت التيتاني.

الهيدنبرجيت Hedenbergite:

تركيبه الكيميائي $CaFe(Si_2O_6)$، تتراوح قساوته بين ٥،٥ـ٦، بينما تتراوح كثافته بين ٣،٥ـ٣،٦، لونه أخضر قاتم يصل إلى الأسود، مخدشه رمادي مخضر، البريق زجاجي، مكسره محاري غير مستو، تبدو بلوراته على هيئة أعمدة متطاولة.

توجد فلزات البيروكسين أحادية الميل في الصخور النارية القاعدية وبعض الصخور المتحولة كالصخور الأمفيبوليتية، وتفسد بسهولة نتيجة تأثرها بعوامل التجوية مكونة فلزات ثانوية مثل الكلوريت والسربنتينيت والتالك والكالسيت، وإذا كان الوسط غنياً بغاز ثاني أوكسيد الكربون، فإن ذلك سيساعد على زيادة عملية التجوية وتسريعها، لتتحرر بعض العناصر كالمغنيزيوم والحديد إضافة إلى أكاسيد السيليسيوم كما يتهدم فلز الأوجيت نتيجة الإماهة إلى فلزات الأورالیت Ouralite (تحول إلى فلزات مجموعة الأمفيبول).

إضافة لأنواع فلزات مجموعة البيروكسين المذكورة أعلاه، هناك عدة أنواع أخرى من فلزات البيروكسين الغنية بعنصر الصوديوم تنضوي تحت مجموعة البيروكسين الصودي، نذكر أهمها:

الجاديت Jadite:

تركيبه الكيميائي $NaAl(Si_2O_6)$، تتراوح قساوته بين ٦،٥–٧، وتتراوح كثافته بين ٣،٠٢–٣،٠٤، متعدد اللون ويمتد من اللون الأبيض فالأخضر التفاحي حتى اللون الأخضر المزرق، مخدشه أبيض، البريق زجاجي، مكسره غير مستو، تبدو بلوراته على هيئة حبيبات تجمعية.

يتشكل فلز الجاديت إما نتيجة عمليات التحول عند ارتفاع درجتي الحرارة والضغط من فلزي الألبيت والنيفلين أو عمليات الاستعاضة التماسية من فلزي البلاجيوكلاز والانستاتيت وفق التفاعلات الكيميائية التالية:

$$NaAlSiO_4 + NaAlSi_3O_8 \rightarrow 2NaAlSi_2O_6$$

نيفلين ألبيت جاديت

$$2CaAl_2Si_2O_8.NaAlSi_3O_8 + 4Mg_2Si_2O_6 \rightarrow$$

بلاجيوكلاز إنستاتيت

$$2Mg_3Al_2SiO_4 + 2CaMgSi_2O_6 + 2NaAlSi_2O_6 + 3SiO_2$$

ديوبسيد جاديت كوارتز

الآيجرين Aegyrine:

تركيبه الكيميائي $NaFe(Si_2O_6)$، تتراوح قساوته بين ٦–٦،٥، وتتراوح كثافته بين ٣،٠١–٣،٠٥، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من اللون الأخضر القاتم فالأزرق القاتم وأحياناً اللون الأسود، مخدشه أخضر إلى رمادي شاحب، البريق زجاجي، مكسره غير مستو متعرج، انفصامه غير مكتمل، تبدو بلوراته على هيئة مواشير صغيرة.

يعتبر كل من فلزي الجاديت والآيجيرين من فلزات البيروكسين الصودية، يوجد الأول في الصخور المتحولة بينما يوجد الثاني مرافقاً لفلز الأوجيت في الصخور النارية.

مجموعة فلزات الأمفيبول Amphiboles

تتشابه مجموعة فلزات الأمفيبول إلى حد كبير مع مجموعة فلزات البيروكسين، باستثناء زوايا سطوح الانفصام في الأمفيبول حيث تشكل زوايا ١٢٠°، كما تحتوي فلزات الأمفيبول على عكس فلزات البيروكسين ضمن تراكيبها الكيميائية على جزيئات الهيدروكسيل (OH)، لذلك لا تكون مجموعة فلزات الأمفيبول ثابتة في درجات الحرارة المرتفعة، لأنها تتفكك وتفقد جزيئات الهيدروكسيل، تصادف بعض مجموعة فلزات الأمفيبول فقط في الصخور النارية كالريبكيت، وبعضها الآخر فقط في الصخور المتحولة كالأنتوفيلليت والغلوكوفان.

تنتمي مجموعة فلزات الأمفيبول إلى مجموعة الفلزات السيليكاتية ذات رباعيات الوجوه السلاسلية المفتوحة والمضاعفة، تتألف مجموعة فلزات الأمفيبول كما هي الحال في مجموعة فلزات البيروكسين من عدد كبير من الفلزات تتبلور أيضاً إما في المنظومة المعينية القائمة (مجموعة الأورثوأمفيبول)، وتضم فلز الأنتوفيلليت أو في المنظومة أحادية الميل (مجموعة الكلينوأمفيبول)، وتضم كل من فلز التريموليت والأكتينوليت والريبكيت والغلوكوفان، لذلك قسمت مجموعة فلزات الأمفيبول حسب نمط تبلورها إلى مجموعتين هما:

مجموعة فلزات الأمفيبول المعيني القائم

يمثل هذه المجموعة فلز الأنتوفيلليت:

الأنتوفيلليت Anthophyllite:

تركيبه الكيميائي $(Fe,Mg)_7(Si_4O_{11})_2(OH)_2$، تبلغ قساوته ٥،٥، وتتراوح كثافته بين ٢،٩-٣،٢، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من اللون البني الفاتح فالبني المصفر أو الأزرق المخضر، وبشكل نادر يتلون باللون البني المحمر، مخدشه أبيض، البريق زجاجي، مكسره غير مستو، تبدو بلوراته على هيئة مواشير ناعمة أو إبر دقيقة أو يكون شعري المظهر.

مجموعة فلزات الأمفيبول أحادي الميل

تضم كل من فلز:

التريمولیت Tremolite:

تركيبه الكيميائي $Ca_2Mg_5(Si_4O_{11})_2(OH,F)_2$، تتراوح قساوته بين ٥،٥-٦، وتتراوح كثافته بين ٢،٩-٣، يأخذ ألواناً باهتة فاتحة تمتد من اللون الأبيض فالأبيض الرمادي وحتى اللون الرمادي الفاتح، مخدشه أبيض، البريق زجاجي إلى حريري، مكسره غير مستو، تبدو بلوراته على هيئة أعمدة أو مواشير متطاولة أو يبدو أيضاً على هيئة إبر دقيقة شعرية.

الأكتينولیت Actinolite:

تركيبه الكيميائي $Ca_2(Mg,Fe)_5(Si_4O_{11})_2(OH,F)_2$، تتراوح قساوته بين ٥،٥-٦، وتتراوح كثافته بين ٢،٩-٣،١، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من اللون الأخضر الغامق إلى الأخضر والأخضر المزرق أو الرمادي المخضر وحتى الرمادي، مخدشه أبيض، البريق زجاجي إلى حريري، مكسره غير مستو، تبدو بلوراته على هيئة أعمدة متطاولة أو مواشير أو على هيئة إبر وأحياناً يكون شعري المظهر.

يوجد كل من فلزي التريمولیت والأكتينولیت بشكل رئيس في الصخور المتحولة، يتهدم فلز التريمولیت نتيجة عوامل التجوية مكوناً فلزات ثانوية هي التالك والكالسيت، بينما يتشكل نتيجة فساد وتهدم فلز الأكتينولیت كل من فلزات مجموعة الكلوريت والإيبيدوت. تتجمع بلورات فلز التريمولیت أحياناً على هيئة خيوط مرنة ناعمة للغاية حريرية المظهر مكونة ما يطلق عليه اسم فلز الأسبيست، وهو ما يسمى أحياناً بالأميانت. يوجد فلز الأسبيست (الأميانت) في صخور السربنتينيت المتحولة (صخور الحية).

الهورنبلند Hornblende:

لفلز الهورنبلند الصيغة الكيميائية العامة الآتية:

$$X_2Y_5Z_8O_{22}(OH,F)_2$$

حيث:

$$X=Ca, Na$$
$$Y=Mg, Fe^{+2}, Mn, Fe^{+3}, Al, Ti$$
$$Z= Si , Al$$

تتراوح قساوته بين ٥،٥–٦، وتتراوح كثافته بين ٣،١–٣،٣، يأخذ ألواناً متعددة جداً، تمتد من اللون الأخضر الغامق إلى الأخضر والأخضر الرمادي والرمادي وحتى الأسود، مخدشه رمادي إلى بني، البريق زجاجي إلى حريري، مكسره غير مستو، تبدو بلوراته على هيئة أعمدة قصيرة وأحياناً متطاولة أو على هيئة مواشير.

يوجد فلز الهورنبلند في الصخور النارية القاعدية والمتوسطة وكذلك في الصخور المتحولة. هناك نوع شائع من فلز الهورنبلند يطلق عليه اسم فلز الأوراليت وينتج غالباً عن تهدم مجموعة فلزات البيروكسين كلسية التركيب وتجويتها، حيث يتم تحرير عنصر الكالسيوم من البنيات البلورية السلاسلية البسيطة لفلز البيروكسين وتثبيت جزيئات الهيدروكسيل.

يتهدم فلز الهورنبلند نتيجة عوامل التجوية مكوناً فلزات ثانوية جديدة هي فلزات الكلوريت والبيوتيت والإيبيدوت.

إضافة إلى أنواع مجموعة فلزات الأمفيبول المذكورة أعلاه، هناك عدة أنواع أخرى من الأمفيبول الغنية بعنصر الصوديوم تنضوي تحت مجموعة الأمفيبول الصودي، وتتراوح نسبة NaO_2 بين ٥–١٠%، ومن أهم هذه الأنواع نذكر:

الريبكيت Riebeckite:

تركيبه الكيميائي $Na_2Fe_4(Si_4O_{11})_2(OH)_2$، تتراوح قساوته بين ٥،٥–٦، تتراوح كثافته بين ٢،٨–٣،١، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من اللون الأخضر الغامق فالأخضر المزرق، مخدشه أبيض، بريقه زجاجي إلى حريري، مكسره غير مستو، تبدو بلوراته على هيئة أعمدة أو مواشير متطاولة أو على هيئة إبر وأحياناً يكون شعري المظهر.

الغلوكوفان Glaucophane:

تركيبه الكيميائي $Na_2Mg_3Al_2(Si_4O_{11})_2(OH,F)_2$، تتراوح قساوته بين ٦–٦،٥، وتتراوح كثافته بين ٣–٣،٢، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من اللون الأزرق المخضر إلى الأخضر والأخضر المزرق أو الرمادي المخضر والرمادي وحتى الأسود، مخدشه أزرق مخضر، بريقه زجاجي، مكسره محاري، تبدو بلوراته على هيئة أعمدة أو مواشير أو على هيئة إبر وأحياناً يكون شعري المظهر.

مجموعة فلزات الميكا Mica

تنتمي مجموعة فلزات الميكا تبعاً لبنيتها إلى مجموعة الفلزات السيليكاتية الورقية (الفيللو سيليكاتية)، حيث تتألف من ثلاث طبقات اثنتان منهما رباعيات وجوه سيليسية التركيب، يحصران بينهما طبقة ثمانية الوجوه ألومينية التركيب، ترتبط هذه الطبقات الثلاث ببعضها بواسطة أيونات الصوديوم، البوتاسيوم، المغنيزيوم أو الحديد موجبة الشحنة.

يوجد بشكل أساسي نوعان من فلزات مجموعة الميكا هما: الميكا البيضاء أو ما يسمى الموسكوفيت وهي الميكا الغنية بعنصر الألمنيوم، والميكا السوداء أو ما يسمى بالبيوتيت وهي الميكا الغنية بعنصر المغنيزيوم. إضافة لذلك يوجد الميكا الغنية بعنصر الليثيوم أو الميكا الليثيومية، أو ما يسمى بفلز الليبيدوليت، كما تضم هذه المجموعة الفلزية فلز الفلوغوبيت.

الميكا البيضاء (الموسكوفيت) Muscovite $KAl_2(Si_3AlO_{10})(OH,F)_2$

الميكا السوداء (البيوتيت) Biotite $KMg_3(Si_3AlO_{10})(OH)_2$

الميكا الليثيومية (الليبيدوليت) Lepidolith $K(Li,Al)_3(SiAl)_4O_{10}(OH,F)_2$

الفلوغوبيت Phlogopite $KMg_3(Si_3AlO_{10})(OH,F)_2$

الميكا البيضاء (الموسكوفيت) Muscovite:

يتبلور فلز الموسكوفيت في منظومة التبلور أحادية الميل، تتراوح قساوته بين ٢-٢،٥، وتتراوح كثافته بين ٢،٨-٣،١، عديم اللون شفاف أو عسلي باهت مصفر أو زهري، مخدشه أبيض، شفاف بريقه زجاجي حريري أو لؤلؤي، انفصامه تام، تبدو بلوراته على هيئة وريقات كبيرة مسطحة، أو صغيرة تجمعية.

الميكا السوداء (البيوتيت) Biotite:

يتبلور فلز البيوتيت في منظومة التبلور أحادية الميل، تتراوح قساوته بين ٢،٥-٣، وتتراوح كثافته بين ٣،٠٢-٣،١٢، لونه أسود أو بني قاتم أو أخضر زيتوني قاتم، مخدشه أبيض، شفاف بريقه زجاجي أو حريري، انفصامه تام، تبدو بلوراته على هيئة وريقات كبيرة

مسطحة، أو صغيرة تجمعية·تحتوي صفائح البيوتيت على العديد من المحتبسات والمكتنفات المجهرية لفلزات ثانوية مثلاً الماغنيتيت والأباتيت والزركون·

يوجد فلز البيوتيت بشكل رئيس ضمن التجمع الفلزي للصخور النارية حمضية التركيب كصخور الغرانيت والريوليت، وبشكل أقل ضمن الصخور النارية متوسطة الحمضية كصخور التراخيت والأنديزيت، كما يوجد ضمن الصخور المتحولة متوسطة السحنة كصخور البيوتيت شيست والبيوتيت غنايس·

الميكا الغنية بعنصر الليثيوم (الليبيدوليت) Lepidolith:

يتبلور فلز الليبيدوليت في منظومة التبلور أحادية الميل، تتراوح قساوته بين ٢–٣، وتتراوح كثافته بين ٢،٨–٢،٩، يأخذ ألواناً متعددة، تمتد من اللون الأبيض فالوردي أو البنفسجي الباهت أو حتى الأحمر النبيذي، مخدشه أبيض، شفاف بريقه زجاجي، انفصامه تام، تبدو بلوراته على هيئة وريقات كبيرة مسطحة، أو صغيرة تجمعية·

يوجد فلز الليبيدوليت بشكل رئيس ضمن الصخور النارية البغماتوئيدية و النارية الحمضية كصخور الغرانيت والموسكوفيت غرانيت، كما يوجد ضمن الصخور المتحولة منخفضة السحنة كصخور الموسكوفيت شيست·

الفلوغوبيت Phlogopite:

يتشابه فلز الفلوغوبيت بتركيبه الكيميائي إلى حد كبير مع فلز البيوتيت، يتبلور في منظومة التبلور أحادية الميل، تتراوح قساوته بين ٢–٣، وتتراوح كثافته بين ٢،٧–٢،٩، يأخذ ألواناً متعددة، تمتد من عديم اللون فالأصفر الشاحب فالفضي فالأخضر حتى البني المحمر، مخدشه أبيض، شفاف بريقه زجاجي، انفصامه تام، تبدو بلوراته غلى هيئة وريقات كبيرة مسطحة لوحية الشكل·

توجد فلزات مجموعة الميكا في الصخور النارية وكذلك في الصخور المتحولة، تتهدم الميكا البيضاء (الموسكوفيت) بسهولة نتيجة تأثرها بعوامل التجوية محررة العناصر القلوية وكذلك أكاسيد السيليكا الغروية إضافة لتكوين كل من فلزي الكاولينيت و/أو الايليت، بينما يتهدم فلز الميكا السوداء (البيوتيت) أيضاً بسهولة متحولاً إلى فلز الكلوريت وفلز الإيبيدوت ومحرراً كلاً من أكاسيد الحديد والسيليسيوم·

مجموعة الفلزات شديدة (متناهية) الثبات

يوجد في الترب كما في الصخور الرسوبية الحطامية (الفتاتية) بعض الفلزات التي تتميز بثباتها الشديد ومقاومتها الشديدة لعوامل التجوية المختلفة نذكر منها الفلزات الآتية:

الكوارتز، مجموعة فلزات الغرينا (الغارنت)، مجموعة فلزات الإيبيدوت، الزيركون، التورمالين والأباتيت.

الكوارتز Quartz:

ينتمي فلز الكوارتز إلى مجموعة الفلزات السيليكاتية الهيكلية (التكتوسيليكات)، تركيبه الكيميائي SiO_2، يتبلور في منظومة التبلور السداسية(الثلاثية)، تبلغ قساوته ٧، وتبلغ كثافته ٢،٦٥، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من عديم اللون الشفاف فالأبيض، ثم الأبيض الحليبي (الكوارتز الحليبي) فالأصفر (الكوارتز الليموني) فالوردي (الكوارتز الوردي) فالدخاني (الكوارتز الدخاني) فالبنفسجي(الأميتيست)، بريقه زجاجي، مكسره محاري، عديم الانفصام، تبدو بلوراته على هيئة حبيبات أو أعمدة و مواشير أو على هيئة إبر، وأحياناً يكون لها مظهر شعري.

يوجد الكوارتز كمكون رئيس ضمن التوضعات الصخرية الرسوبية الحطامية الرملية ويشكل حوالي ٤٠-٦٠% من وزن الترب، وتتزايد نسب تواجده في مجموعة الحبيبات التي تزيد أنصاف أقطارها على ٠،٠٠١ ملم، لتتراوح بين ٧٠-٩٠% من الوزن الكلي لهذه المجموعة.

يعد فلز الكوارتز أحد الفلزات شديدة (متناهية) الثبات، ونتيجة ثباته الشديد يحافظ على تركيبه الكيميائي رغم أنه قد أصبح بحجم الغروبات، وهذا ما يؤدي إلى تواجده غالباً في المجموعات الغروية من التربة.

يؤدي زيادة فلز الكوارتز وسيادته في الترب بشكل عام إلى انخفاض خصائصها الخصوبية، وتدنيها لمستويات منخفضة، يمثل فلز الكوارتز المنتشر في الترب غير المنقولة (المحلية) وفي قشور التجوية فلزاً ثابتاً مستقراً، يتراكم تدريجياً مع مرور الزمن، لهذا يمكن

الاعتماد على شكل حبيبات فلز الكوارتز (المورفولوجيا البلورية) ونسب تواجده لتقدير عمر الترب ومراحل نشأتها وشكل تطورها.

مجموعة فلزات الغرينا (الغارنت) Garnet

تتبلور جميع فلزات مجموعة الغرينا (الغارنت) في منظومة التبلور المكعبية، تتراوح قساوتها بين ٦،٥–٧،٥، وتتراوح كثافتها بين ٣،٥–٤،٢، مخدشه أبيض، ومكسره محاري، وبريقه زجاجي، يكون لها الصيغة الكيميائية العامة الآتية:

$$X_3\ Y_2\ (SiO_4)_3$$

حيث:

$$X= (Ca^{+2}, Mn^{+2}, Fe^{+2}, Mg^{+2})$$
$$Y= (Al^{+3}, Fe^{+3}, Cr^{+3}, Ti^{+3})$$

تم تصنيف فلزات الغارنت في مجموعتين رئيستين هما: مجموعة فلزات الغارنت غير الكلسية، وتضم كلاً من فلز الألماندين، البيروب والشبيسارتين، ومجموعة فلزات الغارنت الكلسية، وتضم كلاً من فلز الغروسولار، الأندراديت والأوفارفيت.

مجموعة فلزات الغارنت غير الكلسية (الألماندين، البيروب والشبيسارتين) Almandine-Pyrop and Spessartite

يشكل كل من فلزي الألماندين والبيروب زمرة فلزية متواصلة يحتوي الأول بشكل رئيس على عنصر الحديد ونسب قليلة من المغنيزيوم، صيغته الكيميائية $Al_2Fe_3(SiO_4)_3$، بينما يحتوي الثاني بشكل رئيس على عنصر المغنيزيوم ونسب قليلة من الحديد وصيغته الكيميائية $Al_2Mg_3(SiO_4)_3$، ويحتوي فلز الشبيسارتين بشكل رئيس على عنصر المنغنيز ونسب محدودة من عنصري الحديد والمغنيزيوم وصيغته الكيميائية $Al_2Mn_3(SiO_4)_3$.

تأخذ فلزات مجموعة فلزات الغارنت غير الكلسية بشكل عام أشكالاً كتلية، يمتد لون فلز الألماندين من الأحمر الداكن فالبني المحمر وحتى الأسود، بينما يتميز فلز البيروب بلونه

الأحمر النبيذي وبشكل نادر الأسود، ويمتد لون فلز الشبيسارتين من اللون الأصفر المائل للحمرة فالأحمر وأخيراً البني.

توجد مجموعة فلزات الغارنت غير الكلسية بشكل رئيس (الألماندين– البيروب والشبيسارتين) غالبا في الصخور المتحولة، وبشكل نادر في الصخور النارية البركانية. تتهدم وتتفكك عند فسادها وتجويتها مكونة فلزات مجموعة الكلوريت بالاضافة إلى أكاسيد الحديد.

مجموعة فلزات الغارنت الكلسية (الغروسولار، الأندراديت والأوفاروفيت) Grossular-Andradite and Uwarowite

تضم مجموعة الغارنت الكلسية كلاً من فلز الغروسولار، صيغته الكيميائية $Al_2Ca_3(SiO_4)_3$، يتبلور بمنظومة التبلور المعينية المستقيمة، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من عديم اللون فالأبيض وحتى الأخضر الشاحب. عندما يستبدل عنصر الألمنيوم بالحديد نحصل على فلز الأندراديت، صيغته الكيميائية $Fe_2Ca_3(SiO_4)_3$، يأخذ ألواناً قاتمة تمتد من اللون البني القاتم وحتى الأسود. يتشكل فلز الأوفاروفيت عند استبدال عنصر الحديد في فلز الأندراديت بالكروم وتصبح صيغته الكيميائية $Cr_2Ca_3(SiO_4)_3$، يتميز بألوانه الخضراء الزمردية الداكنة.

توجد مجموعة فلزات الغارنت الكلسية بشكل رئيس (الغروسولار، الأندراديت والأوفاروفيت) بشكل رئيس ضمن الصخور الكلسية المتحولة.

مجموعة فلزات الإيبيدوت Epidote

تتألف مجموعة فلزات الإيبيدوت من أنواع متساوية الحديدية–الألومينية، وتشكل فلزين رئيسين هما فلز الإيبيدوت وفلز الزيوسيت.

الإيبيدوت Epidote:

تركيبه الكيميائي $Al_2Ca_3(SiO_4)_3(OH)$ ، يتبلور في منظومة التبلور أحادية الميل، يوجد على شكل مواشير متطاولة أو حبيبات تجميعية، تتراوح قساوته بين ٦–٧ ، وتتراوح كثافته بين ٣،٣٥–٣،٥، مكسره محاري غير مستو، انفصامه جيد وتام، بريقه زجاجي، عديم

اللون في الصفائح الرقيقة، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من اللون الرمادي فالأصفر فالأخضر وحتى الأسود، له انكسار واضح و ثنائية انكسار مرتفعة.

يوجد فلز الإيبيدوت بشكل رئيس كفلز ثانوي ضمن صخور السيانيت والصخور النارية القاعدية، كما أنه شائع التواجد ضمن الصخور المتحولة، وكذلك ضمن التوضعات الهيدروترمالية (توضعات المحاليل المائية الحارة).

تصادف مجموعة فلزات الإيبيدوت في الصخور التي خضعت لعملية تحول إقليمية منخفضة الشدة (السحنة)، سواءً أكانت صخورها الأم صخوراً رسوبية أو نارية أو حتى مختلطة. تتشكل فلزات مجموعة الإيبيدوت بشكل رئيس نتيجة تجوية فلزات البلاجيوكلاز الكلسي (الأنورتيت) تحت تأثير المحاليل المائية الحارة، وفق التفاعل التالي:

$$4CaAl_2Si_2O_8 + H_2O \longrightarrow 2Al_2Ca_3(SiO_4)_3(OH) + 2SiO_2 + Al_2O_3$$

الأنورتيت إيبيدوت

الزيوسيت Ziosite:

تركيبه الكيميائي $Al_2Ca_3(SiO_4)_3(OH)$، يتبلور فلز الزيوسيت في منظومة التبلور المعينية القائمة (المستقيمة)، يتشابه بخصائصه إلى حد كبير مع خصائص فلز الإيبيدوت ويختلف عنه فقط بثنائية انكساره المنخفضة.

فلزات أخرى

الزيركون Zircon:

يعد فلز الزيركون أحد فلزات الصخور النارية والمتحولة الثانوية شائعة التواجد، تركيبه الكيميائي $ZrSiO_4$، يتبلور في منظومة التبلور الرباعية، تتراوح قساوته بين ٦–٧،٥ وتبلغ كثافته ٤،٧، مخدشه أبيض، شفاف، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون الشفاف فالرمادي فالأخضر الباهت فالأخضر فالبني المحمر وحتى اللون البني الداكن، وتبدو حبيباته عادة على شكل أعمدة ومواشير أو إبر متطاولة.

التورمالين Tourmaline:

تركيبه الكيميائي $(Al,Fe)_9(Si_6B_3O_{27})(OH.F)_4$، يتبلور بمنظومة التبلـور الثلاثيـة Trigonal، تتراوح قساوته بين ٧–٧،٥، وتتراوح كثافته بين ٢،٩٠–٣،٢٥، مخدشه أبيض، بريقه زجاجي، شفاف إلى نصف شفاف، ينتمي فلز التورمـالين إلـى مجموعـة الفلـزات السيليكاتية ذات رباعيات الوجوه السلاسلية المغلقة، حيث يحل عنصر البـور جزئيـا مكـان عنصر السيليسيوم في الشبكة البلورية، يأخذ التورمالين عدة ألوان تمتد مـن عـديم اللـون فالأصفر فالأخضر الشاحب فالأحمر فالأزرق فالرصاصي القاتم وحتى الأسود، توجد حبيبات فلز التورمالين على هيئة أعمدة أو مواشير صغيرة إبرية الشكل.

يتشكل فلز التورمالين في الطبيعة بالأوساط الغازية كما ويصادف بشكل شـائع ضـمن الصخور البغماتوئبدية، والصخور الحمضية غرانيتية أو ريوليتية التركيب.

الشتاروليت Staurolite:

تركيبه الكيميائي $Al_4Fe(SiO_4)_2(OH)_2$، يتبلور في منظومة التبلور المعينيـة، يأخـذ عدة ألوان تمتد من اللون الأحمر فالبني وحتى الأسود، تتراوح قساوته بين ٧–٧،٥ وكثافتـه بين ٣،٧ –٣،٨، مخدشه أبيض، بريقه زجاجي إلى صمغي، توجد حبيباته على شكل أعمـدة وإبر متطاولة أو حتى على شكل أعمدة ذات توائم متصالبة.

الأباتيت Apatite:

يعد فلز الأباتيت أحد الفلزات شديدة (متناهية) الثبات في الطبيعة وينتمي إلى مجموعـة الفلزات الفوسفاتية، صيغته الكيميائية العامة $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$، يتبلور في منظومـة التبلور السداسية.

فلزات التربة الثانوية

تقود مجمل عمليات تجوية الصخور والفلزات الأولية خاصة عمليات التجوية الكيميائية والكيميائية الحيوية والحيوية، والمحاليل الأرضية إلى نزع أو إضـافة أو حتـى اسـتبدال العناصر الكيميائية وحدوث تفاعلات اتحاد أو تفكك كيميائية لنواتج عمليات التجوية ذاتها، كل ذلك يؤدي إلى تفكك الصخور والفلزات الأولية وتهدمها ونشأة وتكوين فلزات ثانويـة مثـل:

المحاليل الغروية (الهلامية) للسيليكات المائية وأكاسيد العناصر الكيميائية كأكاسيد السيليس والألمنيوم والحديد والمنغنيز والتيتان، بالاضافة إلى تكوين مجموعة من الفلزات الغضارية.

تنتشر الفلزات الثانوية بشكل واسع وشائع في الصخور الرسوبية الحطامية المفتتة وكذلك في الترب. تتسم الفلزات الثانوية لدى مقارنتها مع الفلزات الأولية بمقدرتها على امتصاص كميات كبيرة من الماء وسعة امتزاز عالية وخصائصها الغروية.

قسمت الفلزات الثانوية حسب درجة تبلورها إلى فلزات ثانوية غير أو خفية التبلور وفلزات ثانوية متبلورة. علماً أن مفهوم درجة التبلور يعد أمراً نسبياً، فقد تبدو بعض الفلزات خفية أو عديمة التبلور لدى دراستها بالعين المجردة، لكنها تبدي خصائصها البلورية بجلاء عند فحصها باستخدام العدسات المكبرة أو استخدام المجاهر العادية، كذلك لا تظهر بعض الفلزات خصائص تبلورها باستخدام الوسائل المذكورة إلا أنها تبدو متبلورة عند دراستها بواسطة الأشعة السينية الإنعراجية XRD، أيضاً بعض الفلزات التي قد تبدو غير متبلورة لدى دراستها بهذه بواسطة الأشعة السينية الإنعراجية تظهر متبلورة عند دراستها بواسطة المجهر الالكتروني.

فلزات التربة الثانوية غير الغضارية

مجموعة الفلزات الثانوية عديمة أو خفية التبلور

تنشأ هذه الفلزات نتيجة عمليات التجوية وتكوين الترب، وكذلك نتيجة تمعدن المخلفات العضوية النباتية منها والحيوانية.

تعد مرحلة عدم التبلور للفلزات بشكل عام مرحلة مؤقتة، قد لا تستمر مدداً زمنية طويلة، فتتحول إلى فلزات متبلورة، فعلى سبيل المثال تشاهد ألواح النوافذ الزجاجية في الكثير من الكنائس والمساجد القديمة غير شفافة ذات نوى بلورية واضحة، أيضاً كربونات الكالسيوم حديثة الترسب تكون غير متبلورة لعدة ساعات من ترسبها ثم لا تلبث أن تتبلور.

تضم مجموعة الفلزات الثانوية عديمة أو خفية التبلور عدة مجموعات فلزية متباينة التركيب الكيميائي نورد هنا أهمها:

مجموعة فلزات أكاسيد السيليسيوم

توجد فلزات أكاسيد السيليسيوم بشكل شائع في الصخور الرسوبية وقشور التجوية وكذلك الترب على هيئة محاليل غروية غير متبلورة أو خفية التبلور.

تحتوي المياه الأرضية السطحية منها والجوفية على نسب متفاوتة من المحاليل الغروية سيليكاتية التركيب، والتي تمثل نواتج عمليات تجوية وتهدم الصخور والفلزات الأولية السيليكاتية، تتراوح نسب تواجد تركيز أوكسيد السيليسيوم SiO_2 في المياه الطبيعية بين ١٠ـ ٢٠٠ملغ/ليتر، يؤدي ترسب هذا الأوكسيد إلى تكوين أنواع فلزية متعددة غير متبلورة منه، تتخلص من الماء مع مرور الزمن وتتحول تلك الفلزات إلى فلزات خفية التبلور كمرحلة انتقالية، ثم لا تلبث أن تتحول إلى أنواع متعددة من فلز الكوارتز ثانوي النشأة.

الهلام السيليكاتي المائي:

تركيبه الكيميائي $mSiO_2.nH_2O$، يوجد بكميات قليلة ومحدودة في الترب القلوية وتعمل على زيادة لزوجة التربة عند زيادة رطوبتها، كما تعمل على زيادة تصلبها وتماسكها عند جفافها.

الأوبال Opal:

تركيبه الكيميائي $SiO_2.nH_2O$، عديم التبلور، تتراوح قساوته بين ٥،٥ـ٦،٥، وتتراوح كثافته بين ١،٩ـ٢،٥، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من عديم اللون فالأصفر الشاحب فالأخضر الباهت فالأخضر فالأزرق فالأحمر فالبني وحتى الأسود، مخدشه أبيض، شفاف، بريقه زجاجي أو شحمي، مكسره محاري، الانفصام غير موجود، توجد حبيباته ضمن السلت والرمل وتبدو على هيئة عقد ودرنات أو وريقات مسطحة الشكل أو قشور.

يشاهد فلز الأوبال في الصخور الرسوبية والترب على هيئة هلام صلب من أوكسيد السيليس، يحتوي على نسب متفاوتة من الماء، يضم فلز الأوبال في كثير من الأحيان بعض الشوائب المعدنية كالحديد والألمنيوم والمغنيزيوم والكالسيوم، تؤدي هذه الشوائب المعدنية دوراً مهماً في تحديد لون الأوبال.

يزداد الوزن النوعي لفلز الأوبال مع مرور الزمن، نتيجة انخفاض ومن ثم فقدان نسبة الماء فيه، والتي قد تصل إلى نحو ٢٠% من وزنه الكلي، وذلك نتيجة الجفاف وارتفاع درجة

الحرارة فيصبح فلز الأوبال أكثر صلابة وتراصاً، كما ويمكن لفلز الأوبال أن يتحول مع مرور الزمن إلى فلز الصوان، ومن ثم إلى فلز الكالسيدوني أو فلز الجاسب.

الكالسيدوني Chalcedony:

تركيبه الكيميائي SiO_2، تبلغ قساوته ٧، وتبلغ كثافته ٢،٦١، له بنية بلورية ناعمة ودقيقة، لونه أبيض حليبي يسمى أيضا العقيق الأبيض، كما قد يأخذ ألواناً متعددة يحدد كل لون منها اسماً مميزاً للفلز، فإذا كان مؤلفاً من مجموعة من الرقائق والأشرطة ولكل منها لون أطلق عليه اسم فلز الآغات Agate، أما إذا كان لونه بنياً أو أحمر فيسمى فلز الساردر Sarder وعندما يكون لونه أخضر، يسمى فلز الكريزوبراس Chrysopras، مخدشه أبيض، شفاف بريقه زجاجي، مكسره محاري، الانفصام غير موجود، توجد حبيباته على هيئة عقد ودرنات تملأ فراغات الصخور الرسوبية أو وريقات مسطحة الشكل. يستطيع فلز الكالسيدوني مع مرور الزمن أن يتبلور متحولاً بذلك إلى أحد أنواع فلز الكوارتز الثانوي.

مجموعة فلزات أكاسيد الحديد

تنتشر فلزات أكاسيد الحديد بشكل واسع جداً في نطاقات التجوية وقشورها، وكذلك في الترب حيث تكسبها ألوانها الصفراء الليمونية أو ألوانها البنية المحمرة بمختلف درجاتها اللونية.

توجد فلزات أكاسيد الحديد بشكل عام على هيئة عقد أو درنات وتخثرات أو على شكل قشور وصفائح، يفترض أن جميع أكاسيد الحديد أتت من الترسبات الحديثة لأكاسيد الحديد المائية، والتي تصادف في الترب المالحة والرطبة مترافقة مع كبريتيد الحديد وكذلك في رسوبات السبخات، تكون أكاسيد الحديد المائية هذه غير ثابتة، فعندما تفقد مائها تتحول تدريجياً إلى فلز الليمونيت ومن ثم فلز الهيماتيت وأخيراً إلى فلز الماغنيتيت.

الليمونيت Limonite:

تركيبه الكيميائي $FeOOH.nH_2O$، غير متبلور وأحياناً خفي التبلور، تتراوح قساوته بين ٤–٥،٥، وتتراوح كثافته بين ٢،٧–٤،٣، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من اللون الأصفر وحتى

اللون البني، بريقه معدني كامد، مكسره ترابي، الانفصام لا يوجد· عندما يفقد الليمونيت جزءاً من مائه يتحول إلى فلز الغوتيت خفي التبلور·

الغوتيت Goethite:

تركيبه الكيميائي $FeOOH$، يتبلور في منظومة التبلور المعيني القائم (المستقيم)، تتراوح قساوته بين ٤–٥،٥، وتتراوح كثافته بين ٣،٨–٤،٣، لونه بني داكن، عاتم، بريقه معدني أو ألماسي، مكسره غير مستو، الانفصام جيد وتام·

الهيماتيت Hematite:

تركيبه الكيميائي Fe_2O_3، يتبلور في منظومة التبلور السداسية، تتراوح قساوته بين ٥،٥–٦،٥، وتتراوح كثافته بين ٥،٢–٥،٣، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من اللون الأحمر فالرمادي فالبني وأخيراً الأسود، مخدشه أحمر أو بني، عاتم، بريقه زجاجي، مكسره محاري غير مستو، الانفصام لا يوجد· يوجد فلز الكورووندوم في الصخور النارية والمتحولة· يوجد فلز الهيماتيت في الترب على هيئة عقد وتخثرات أو تجمعات حرشفية مورقة·

الماغنيتيت Magnetite:

تركيبه الكيميائي Fe_3O_4، يتبلور في منظومة التبلور المكعبية (ثماني الوجوه)، قساوته تتراوح بين ٥،٥–٦،٥، تبلغ كثافته ٥،٢، لونه أسود، مخدشه أسود، عاتم، بريقه معدني، مكسره مستو حبيبي، الانفصام غير مكتمل· يوجد فلز الماغنيتيت بشكل رئيس في الصخور النارية وبشكل ثانوي في الصخور الرسوبية والمتحولة·

مجموعة فلزات أكاسيد الألمنيوم

تعد فلزات أكاسيد الألمنيوم من مميزات الترب قديمة التشكل والمتكونة في المناطق المدارية وشبه المدارية، حيث تتصف هذه الترب بشكل عام بانخفاض وتدني خصائصها الخصوبية·

الكورونـدوم (الياقوت) Corundum:

تركيبه الكيميائي Al_2O_3، يتبلور في منظومة التبلور ثلاثية الميل، قساوته ٩، وكثافته٤، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من عديم اللون فالأبيض فالأصفر الشاحب فالرمادي الباهت فـالأزرق وأخيراً الأحمر، مخدشه أبيض، بريقه زجاجي، مكسره محاري غير مستو، الانفصام لا يوجد. يوجد فلز الكورونـدوم في الصخور النارية والمتحولة.

الجبسيت أو (الهيدراجيليت) Gibbsite or (Hydrargillite):

هو أكثر فلزات هيدوكسيدات الألمنيوم انتشاراً في الترب، تركيبه الكيميائي $Al(OH)_3$، غير متبلور أو خفي التبلور، تبلغ كثافته ٢،٤٣، يوجد في ترب المناطق الاسـتوائية الحـارة والرطبة البوكسيتية على هيئة غرويات أو على شكل عقد ودرنات أو حتى قشور وتجمعـات حبيبية ذات ألوان فاتحة تمتد من الأبيض أو الأصفر الشاحب فالرمادي وأخيراً البني المحمر، مخدشه أبيض، بريقه زجاجي، مكسره محاري غير مستو، الانفصام لا يوجد.

البهميت Boehmite:

تركيبه الكيميائي$AlO(OH)$، يتبلور في منظومة التبلور المعينية، تتراوح قساوته بـين ٣-٣،٥ كما تتراوح كثافته بين ٣،٠٢-٣،٠٥، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من عديم اللون الشفاف فالأبيض فالأصفر الباهت فالرمادي وأخيراً الأحمر، مخدشه أبيض إلى بني محمـر، بريقـه لؤلؤي أو زجاجي، يوجد في ترب المناطق الاستوائية الحارة والرطبة البوكسيتية، وكذلك في الترب الإيليتية القديمة المتكونة في المناطق المدارية وشبه المدارية.

الدياسبور Diaspore:

تركيبه الكيميائي$AlO(OH)$، يتبلور في منظومة التبلور المعينية، تتراوح قساوته بـين ٦،٥-٧،٠ كما تتراوح كثافته بين ٣،٢٠-٣،٥٠، يأخذ ألواناً متعددة تمتد مـن عـديم اللـون الشفاف فالأبيض فالأصفر فالرمادي فالأخضر وأخيراً البني والأحمر النبيذي القاتم، مخدشـه أبيض إلى بني محمر، بريقه لؤلؤي أو زجاجي أو ألماسي، مكسره محاري، يوجد في تـرب المناطق الاستوائية الحارة والرطبة البوكسيتية مرافقاً لفلزي البهميت والجبسيت.

مجموعة فلزات أكاسيد المنغنيز

البسيلوميلان Psilomelane:

تركيبه الكيميائي $10MnO.(Ba,H_2O)_2$، يتبلور في منظومة التبلـور وحيـد الميـل، تتراوح قساوته بين ٥ـ٦ كما تتراوح كثافته بين ٤٠٧٤ـ٤٠٧٤، لونه أسـود فـولاذي قـاتم، مخدشه بني قاتم إلى أسود، بريقه شبه معدني كامد ترابي، انفصامه غير موجود.

المانغانيت Manganite:

تركيبه الكيميائي $MnO.OH$، يتبلور في منظومة التبلور أحادية الميل، تبلغ قـساوته ٤ كما تبلغ كثافته ٤٠٣، لونه أسود حديدي قاتم، مخدشه بني محمر، بريقه شبه معدني، انفصامه تام.

الهاوسمانيت Hausmaniite:

تركيبه الكيميائي Mn_3O_4، يتبلور في منظومة التبلور ثلاثية الميل، تبلغ قـساوته ٥،٥ كما تبلغ كثافته ٤٠٨٤، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من اللون الشفاف البني القاتم وحتى الأسـود، مخدشه بني قاتم محمر، بريقه شبه معدني، مكسره غير مستو.

البيرولوزيت (الواد) Pyrolosite (Wad):

تركيبه الكيميائي MnO_2 يتبلور في منظومة التبلور الرباعية، تتراوح قساوته بـين ٦ـ٦،٥ كما تتراوح كثافته بين ٤،٥ـ٥، يأخذ ألواناً داكنة تمتد من اللون الرمادي القاتم وحتـى الأسود، مخدشه أسود حديدي، بريقه معدني، مكسره محاري غير مستو، انفصامه تام.

مجموعة فلزات أكاسيد التيتانيوم

الروتيل Rutile:

تركيبه الكيميائي TiO_2، يتبلور في منظومة التبلور الرباعية، تبلغ قساوته ٦، تتراوح كثافته بين ٤٠٢-٤٠٣، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من اللون الأصفر فالبني فالأحمر وحتى الأسود، مخدشه بني شاحب، بريقه معدني، مكسره غير مستو.

يوجد فلز الروتيل في جميع الأنواع الصخرية الرسوبية والنارية والمتحولة كفلز عرضي أو نادر أو ثانوي، تكون أبعاد حبيباته غالباً صغيرة وتبدو على هيئة مواشير قصيرة.

الإيلمينيت Ilminite:

تركيبه الكيميائي $FeTiO_2$، يتبلور في منظومة التبلور الثلاثية معينية الوجوه، تتراوح قساوته بين ٥،٥-٦، وتبلغ كثافته ٤،٧، يأخذ ألواناً قاتمة تمتد من اللون الأسود الحديدي وحتى الأسود الداكن، مخدشه أسود أو بني قاتم، بريقه معدني، مكسره محاري غير مستو. انفصامه جيد.

يوجد فلز الإيلمينيت في جميع الأنواع الصخرية النارية والمتحولة كفلز عرضي أو نادر أو ثانوي، تكون أبعاد حبيباته غالباً صغيرة وتبدو على هيئة مواشير قصيرة.

الأناتاز Anatase:

تركيبه الكيميائي TiO_2، يتبلور في منظومة التبلور ثلاثية الميل، تراوح قساوته بين ٥،٥-٦، تتراوح كثافته بين ٣،٧٩-٣،٩٧، يأخذ ألواناً متعددة تمتد من عديم اللون فالأصفر فالأخضر فالأزرق فالبني فالأحمر وحتى الأسود، مخدشه أبيض إلى أصفر شاحب، بريقه معدني أو ألماسي، مكسره محاري غير مستو، انفصامه تام.

الفلزات الثانوية المتبلورة

فلزات التربة الثانوية المتبلورة والذائبة في الماء

تنتشر الفلزات الثانوية المتبلورة والذائبة في الماء بشكل واسع جداً في الصخور الرسوبية والترب، وغالباً ما تتكدس وتتراكم في ترب المناطق الجافة، وتضم كل من مجموعة فلزات الهاليدية، مجموعة الفلزات الكربوناتية، مجموعة الفلزات الكبريتاتية، ومجموعة الفلزات الفوسفاتية.

مجموعة الفلزات الهاليدية

الهاليت Halite:

تركيبه الكيميائي $NaCl$، يتبلور في منظومة التبلور المكعبية (ثماني الوجوه)، قساوته ٢، تتراوح كثافته بين ٢،١ ـ ٢،٢، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون الشفاف فاللون الأبيض فالأبيض الرمادي فالأبيض الوردي فالأحمر وأخيراً الأزرق، مخدشه أبيض، شفاف، بريقه زجاجي، مكسره غير مستو، انفصامه جيد وتام. يتميز فلز الهاليت بمذاقه المالح.

السيلفين Sylvine:

تركيبه الكيميائي KCl، يتبلور في منظومة التبلور المكعبية (سداسي ثماني الوجوه)، قساوته ٢، كثافته ٢، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون الشفاف فاللون الأبيض المصفر فالأبيض الوردي فالأحمر وأخيراً الأزرق، مخدشه أبيض، شفاف، بريقه زجاجي، مكسره غير مستو، انفصامه جيد وتام، يتميز عن فلز الهاليت بمذاقه المر.

يعد فلز السيلفين من الفلزات المغذية والمخصبة للترب بسبب اغتنائه بعنصر البوتاسيوم.

الفلوريت Fluorite:

تركيبه الكيميائي CaF_2، يتبلور في منظومة التبلور المكعبية (سداسي ثماني الوجوه)، قساوته 4، تتراوح كثافته بين ٣ ـ ٣،٢، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون الشفاف فاللون

الأبيض فالأبيض الوردي فالأحمر وأخيراً الأخضر، مخدشه أبيض، شفاف، بريقه زجـــاجي، مكسره محاري، انفصامه جيد وتام.

السيرارجيريت Cerargyrite:

تركيبه الكيميائي $AgCl$، يتبلور في منظومة التبلور المكعبية (سداسي ثماني الوجـــوه)، قساوته تتراوح بين ٢–٣، كثافته ٥،٥، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون الشفاف فالرمادي وأخيراً البني، مخدشه أبيض، شفاف، بريقه شمعي، مكسره غير مستو محاري، انفصامه غير تام.

مجموعة الفلزات الكربوناتية

الكالسيت Calcite:

تركيبه الكيميائي $CaCO_3$، يتبلور في منظومة التبلور الثلاثية معينية الوجـــوه، تبلـــغ قساوته ٣، تتراوح كثافته بين ٢،٦–٢،٨، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون الشفاف فاللون الأبيض فالأبيض الرمادي فالرمادي، مخدشه أبيض إلى رمادي، شفاف، بريقـــه زجـــاجي، مكسره محاري، انفصامه تام، يتفاعل مع حمض كلور الماء بشدة.

يعد فلز الكالسيت عادة من الفلزات قليلة الإذابة، إلا أن درجة ذوابانه تزداد في الميـــاه الحاوية على غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2، بعد أن يتحول فلز الكالسيت إلى بيكربونـــات الكالسيوم سهلة الذوبان.

ينتشر فلز الكالسيت في الطبيعة انتشاراً واسعاً، لذلك يعد أحد الفلزات واسعة الانتشار، فهو المكون الرئيس للصخور الكلسية(الجيرية) ويسود في تـــرب المنـــاطق ذات المناخـــات الجافة، كما يوجد أيضاً في الصخور المتحولة منخفضة السحنة، ولا تخلـــو مـــن وجـــوده أو انتشاره إلا المناطق الماطرة ذات الهطولات المائية المرتفعة.

يقسم فلز الكالسيت المنتشر في الترب إلى نوعين هما: فلز الكالسيت القديم المنحدر من صخور رسوبية كلسية أولية، وفلز الكالسيت المتشكل حديثاً والذي تشكل خلال مراحل تكون الترب نتيجة تفاعل عنصر الكالسيوم مع حمض الكربون.

الأراغونيت Aragonite:

تركيبه الكيميائي $CaCO_3$، يتبلور في منظومة التبلور المعينية المستقيمة(القائمة)، تتراوح قساوته بين ٣،٥ـ٤، وتتراوح كثافته بين ٢،٩ـ٣، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون الشفاف فاللون الأبيض فالأبيض الرمادي فالأصفر فالأخضر الباهت وأخيراً البنفسجي، مخدشه أبيض، شفاف، بريقه زجاجي أو حريري، مكسره شبه محاري، انفصامه جيد، يتفاعل مع حمض كلور الماء بشدة.

تعد عملية التفريق بين فلزي الكالسيت والأراغونيت في كثير من الأحيان عملية صعبة، ففلز الكالسيت يشكل بلورات منحنية (مقوسة) وله توائم متكررة على هيئة صفائح متصالبة، بينما يشكل فلز الأراغونيت مواشير ناعمة متطاولة. وللتفريق بين الفلزين يتم عادة اللجوء لاستعمال ملون سائل ميجين (Meigen) تسخن العينة الصخرية أو مسحوقها أو رقائقها الصخرية في محلول نترات الكوبالت، فيتلون فلز الأراغونيت باللون الوردي ويبقى لون فلز الكالسيت أبيض.

الدولوميت Dolomite:

تركيبه الكيميائي $CaMg(CO_3)_2$، يتبلور في منظومة التبلور ثلاثية الميل، تتراوح قساوته بين ٣،٥ـ٤، وتبلغ كثافته ٢،٨٥، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون الشفاف فاللون الأبيض فالأبيض الرمادي فالأخضر الباهت فالوردي ثم الأحمر وأخيراً الأسود، مخدشه رمادي فاتح، شفاف، بريقه زجاجي، مكسره شبه محاري، انفصامه تام.

يتميز فلز الدولوميت عن فلز الكالسيت بعدم وجود التوائم المتكررة، حيث تشكل بلوراته معينات مفصولة بعضها عن بعضها الآخر بشكل واضح، كما أن فلز الدولوميت لا يتفاعل مع حمض كلور الماء إلا عند التسخين.

السيديريت Siderite:

تركيبه الكيميائي $FeCO_3$، يتبلور في منظومة التبلور ثلاثية الميل، تتراوح قساوته بين ٤ـ٤،٥، وتتراوح كثافته بين ٣،٧ـ٣،٩، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون الأصفر الباهت فالأصفر البني فالرمادي وأخيراً الأسود، مخدشه أبيض مصفر شاحب، شفاف، بريقه زجاجي أو لؤلؤي، مكسره شبه محاري، انفصامه تام.

يتشكل فلز السيديريت في الطبيعة عادة في الأوساط ذات الشروط المرجعة ويوجد ضمن ترب المناطق الرطبة، حيث يكسبها الألوان الرمادية الخضراء المزرقة.

الماغنيزيت Magnesite:

تركيبه الكيميائي $MgCO_3$ ، يتبلور في منظومة التبلور ثلاثية الميل، تتراوح قساوته بين ٣،٥-٤،٥، وتتراوح كثافته بين ٢،٩-٣،١، يأخذ عدة ألوان تمتد من اللون الأبيض فالأصفر الباهت فالرمادي وأخيراً البني المحمر، مخدشه أبيض، شفاف، بريقه زجاجي، مكسره شبه محاري، انفصامه تام.

يوجد عدة فلزات كربوناتية منتشرة في الطبيعة مثل فلز: السيروسيت وصيغته الكيميائية PbCO3، فلز الأنكيريت وهو المقابل الحديدي لفلز الدولوميت وصيغته الكيميائية $CaFe(CO_3)_2$ وفلز المالاكيت صيغته الكيميائية $Cu_2CO_3(OH)_2$ وفلز الآزوريت صيغته الكيميائية $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$.

مجموعة الفلزات الكبريتاتية

الجص (الجبس) Gypsum:

تركيبه الكيميائي $CaSO_4.2H_2O$، يتبلور في منظومة التبلور أحادية الميل، تتراوح قساوته بين ١،٥-٢، وتقدر كثافته بنحو٢،٣، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون الشفاف فالأبيض فالرمادي وأخيراً الأصفر والوردي المحمر، مخدشه وردي إلى أبيض، شفاف، بريقه زجاجي أو حريري أو لؤلؤي، مكسره محاري، انفصامه تام. يتحول الجص لدى تخليه عن بعض مائه البلوري إلى جبصين، وإذا تخلى عن كل مائه البلوري تحول إلى فلز الأنهيدريت.

الأنهيدريت Anhydrite:

تركيبه الكيميائي $CaSO_4$، يتبلور في منظومة التبلور المعينية القائمة (المستقيمة)، تتراوح قساوته بين ٣-٣،٥، وتقدر كثافته بنحو ٣، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون الشفاف فالأبيض فالرمادي وأخيراً الرمادي المائل للزرقة، مخدشه أبيض إلى رمادي، شفاف، بريقه زجاجي، مكسره غير مستو، انفصامه جيد وتام.

الباريت Barytes:

تركيبه الكيميائي $BaSO_4$ ، يتبلور في منظومة التبلور المعينية القائمة (المستقيمة)، تتراوح قساوته بين ٣–٣،٥، وتتراوح كثافته بين ٤،٣–٤،٦، يأخذ عدة ألوان تمتد من اللون الأبيض فالرمادي فالأصفر فالبني وأخيراً الأزرق، مخدشه أبيض إلى رمادي، شفاف، بريقه لا معدني ، مكسره غير مستو، انفصامه جيد وتام.

الميرابيليت Mirabilite:

تركيبه الكيميائي $Na_2SO_4.10H_2O$، يتبلور في منظومة التبلور المعينية، تتراوح قساوته بين ١–٢، وتبلغ كثافته ١،٦، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون فالأبيض فالأصفر وأخيراً البني أو الأحمر، مخدشه أبيض، شفاف، بريقه زجاجي أو شمعي، مكسره غير مستو، انفصامه جيد وتام. يتخلى فلز الميرابيليت عن مائه في ترب المناطق الجافة والحارة فيتحول إلى فلز التناردیت ويصبح أكثر قساوة.

التناردیت Thenardite:

تركيبه الكيميائي Na_2SO_4، يتبلور في منظومة التبلور المعينية، تتراوح قساوته بين ٢– ٣، وتبلغ كثافته ٢،٦٦، عديم اللون شفاف، مخدشه أبيض، شفاف، بريقه زجاجي، مكسره محاري، يتميز بمذاقه المر.

مجموعة الفلزات الفوسفاتية

الأباتيت Apatite:

تعد فلزات الأباتيت من أكثر مجموعة الفلزات الفوسفاتية انتشاراً في الطبيعة، توجد كفلزات أولية التشكل في الصخور النارية والمتحولة أو تتجمع ضمن الصخور الرسوبية على شكل رواسب فوسفاتية، تأخذ طابع مادة الخامات الرئيسة الاقتصادية للفوسفات، والتي تعد المصدر الرئيس لصناعة الأسمدة الفوسفاتية من نوع سوبرفوسفات، كذلك تستعمل لصناعة حمض الفوسفور والفوسفور العنصري الحر.

تشكل فلزات الأباتيت سلسلة فلزية واحدة متماثلة النمط والشكل البلوري، أهم فلزاتها:

- فلور – أباتيت $\{Ca_5(PO_4)_3F\}$
- كلور – أباتيت $\{Ca_5(PO_4)_3Cl\}$
- هيدروكسي – أباتيت $\{Ca_5(PO_4)_3OH\}$

يعد أكثرها انتشاراً فلز الفلور – أباتيت الذي يمكن أن يستبدل ضمن بنائه البلوري نسبة ١٠% من الكربونات، فتصبح صيغته الكيميائية $\{Ca_5(PO_4)_3(F,CO_3)\}$ مكوناً عندئذ فلزاً جديداً يطلق عليه اسم فلز الفرانكوليت.

تتبلور فلزات الأباتيت في منظومة التبلور السداسية، وتوجد على هيئة ثنائي الهرم السداسي. يمكن أن تستبدل ذرات الكالسيوم في البناء البلوري بذرات الايتريوم، المنغنيز، السترونسيوم واليورانيوم. كما يمكن استبدال جذر الفوسفات بـــ $(CO_3)^{-2};(SiO_4)^{-4};(SO_4)^{-2};(PO_4)^{-2}$. تتراوح قساوته بين ٥–٦، وتتراوح كثافته بين ٣،٠١–٣،٠٢، يأخذ عدة ألوان تمتد من عديم اللون الشفاف فالأبيض فالأصفر فالبنفسجي فالأخضر وأخيراً البني المخضر، مخدشه أبيض، شفاف، بريقه زجاجي، سطوح انفصامه غير تامة، مكسره محاري أو مستو، مخدشه أبيض، يوجد فلز الأباتيت في كل الأنواع الصخرية الرسوبية والنارية والمتحولة، ويعد من أهم المصادر الطبيعية لتصنيع حمض الفوسفور والفوسفور الحر وكذلك الأسمدة الفوسفاتية وخاصة السوبر فوسفاتية، حيث يتم حل فلز الأباتيت بالأحماض المركزة كحمض الكبريت أو الفوسفور للحصول على السماد المذكور.

الفيفيانيت Vivianite:

تركيبه الكيميائي $\{Fe)_3(PO_4)_2.8H_2O\}$، يتبلور في منظومة وحيدة الميل، ويوجد على هيئة تجمعات شعاعية الشكل أو حزمية. تتراوح قساوته بين ٢–٣، وتتراوح كثافته بين ٢،٠٦٥–٢،٠٧١، عديم اللون شفاف ومع مرور الزمن يتأكسد ويصبح لونه أزرق أو أخضر زيتوني قاتم، سطوح انفصامه تامة، مخدشه أبيض، بريقه زجاجي.

التوربيرنيت Torbernite:

صيغته الكيميائية $\{Cu(UO_2)_2(PO_4)_2.12H_2O\}$، يتبلور في المنظومة الرباعية، توجد بلوراته على هيئة ثنائي الهرم الرباعي المضاعف. حرشفي الشكل أو على هيئة تورقات مسطحة ناعمة، لونه أخضر تفاحي أو زمردي، بريقه زجاجي، تتراوح قساوته بين ٢– ٢،٥، تتراوح كثافته بين ٣،٠٢–٣،٠٦، سطوح انفصامه تامة إلى جيدة.

الأوتونيت Autunite:

صيغته الكيميائية $\{Ca(UO_2)_2(PO_4)_2.10\text{-}12H_2O\}$، يتبلور في المنظومة الرباعية، توجد بلوراته على هيئة ثنائي الهرم الرباعي المضاعف· حرشفي الشكل أو على هيئة تورقات مسطحة ناعمة ذات مظهر ميكاوي، يتراوح لونه بين الأخضر إلى الأصفر المخضر وحتى الأصفر الرمادي، تتراوح قساوته بين ٢–٣، تتراوح كثافته بين ٣،٠٥–٣،١٩، سطوح انفصامه تام وجيد·

المونازيت Monazite:

صيغته الكيميائية $\{Ce,La,Yt,Th)(PO_4)_2\}$، يتبلور في المنظومة وحيدة الميل، توجد بلوراته على مواشير قصيرة أو متطاولة· يتراوح لونه بين الأبيض إلى الأصفر وحتى البني، مخدشه أبيض وتتراوح قساوته بين ٥–٤،٥، تتراوح كثافته بين ٤،٦–٥،٤، سطوح انفصامه جيدة·

توزع الفلزات في التربة وانتشارها

يتباين محتوى الترب من الفلزات، كما يختلف شكل تواجد الفلزات في التربة بشكل كبير· يوضح (الجدول–١٦) التالي توزع فلزات المجموعات الفلزية الرئيسة في الترب (أبو نقطة،٢٠٠٤)، بحيث يأخذ هذا التوزع من الناحية الكمية والوفرة أشكاله الأربعة من التواجد تتزايد وفق الترتيب الآتي: نادر، عرضي، غالباً وغالباً جداً·

جدول-١٦: شكل توزع الفلزات في التربة وانتشارها.

مجموعة الفلزات السيليكاتية		شكل تواجدها في التربة
مجموعة فلزات الأوليفين	الفورستريت	نادراً
	الفاياليت	نادراً
مجموعة فلزات الأمفيبول	التريموليت	عرضي
	الأكتينوليت	عرضي
	الهورنبلند	عرضي
مجموعة فلزات البيروكسين	الانستاتيت	عرضي
	الأوجيت	عرضي
	الديوبسيد	عرضي
مجموعة فلزات الميكا	الموسكوفيت	غالباً جداً
	البيوتيت	عرضي
	الليبيدوليت	عرضي
مجموعة الفلزات الأوكسيدية		شكل تواجدها في الترب
مجموعة أكاسيد الحديد	الهيماتيت	غالباً جداً
	الغوتيت	غالباً
	الليمونيت	غالباً جداً
	الماغنيتيت	غالباً
مجموعة أكاسيد الألمنيوم	الكورونـدوم	نادراً
	الدياسبور	نادراً
	الجبسيت	عرضي
مجموعة أكاسيد المنغنيز	مانغانيت	نادراً
	هاوسمانيت	نادراً
	بيرولوزيت	غالباً
مجموعة أكاسيد التيتان	روتيل	غالباً
	إيلمينيت	عرضي

مجموعة الفلزات السيليكاتية		شكل تواجدها في التربة
مجموعة أكاسيد السيليسيوم	كوارتز	غالباً جداً
	كريستالوباليت	عرضي
	كالسيدوان،أغات	عرضي
مجموعة الفلزات الكربوناتية		شكل تواجدها في الترب
الكالسيت		غالباً
الماغنيزيت		نادراً
الدولوميت		عرضي
السيديريت		نادراً
مجموعة الفلزات الفوسفاتية		شكل تواجدها في الترب
الأباتيت		عرضي
الفيفانيت		نادراً
مجموعة الفلزات الغضارية		شكل تواجدها في الترب
الكاولينيت		غالباً
المونتمورولونيت		غالباً
النونترونيت		غالباً
الميكا المائية		غالباً

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس

طرائق تشكل الأجسام البلورية الفلزية

- تشكل الأجسام البلورية الفلزية من السوائل
  - تشكل الأجسام البلورية الفلزية من المصاهير Melts
  - تشكل الأجسام البلورية الفلزية من المحاليل Solutions
- تشكل الأجسام البلورية الفلزية من الغازات أو الأبخرة
- تشكل الأجسام البلورية من الأجسام الصلبة المتساوية أو المتجانسة الخواص(الأمورفية)

طرائق اصطناع بلورات مفردة فلزية نامية متجانسة

- طرائق اصطناع بلورات مفردة فلزية نامية متجانسة من مصاهير
  - طريقة العالم بريدجمان
  - طريقة العالم فرنويل
  - طريقة العالم تشورلاسكي (طريقة السحب)
  - طريقة العالمان ناكن وكيربولوس
  - طريقة التدفق الصهيري
- طرائق اصطناع بلورات مفردة فلزية نامية متجانسة من محاليل


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

طرائق تشكل الأجسام البلورية الفلزية

أسهم التطور العلمي الهائل والتقني السريع نهاية القرن الماضي في فهم الآليات المختلفة لتشكل الأشكال المتنوعة والمختلفة من البلورات الفلزية، كما شهدت تلك الحقبة تعدد المحاولات والتجارب لتحضير وتشكيل بلورات فلزية مفردة نادرة صنعية " خاصة بلورات بعض الفلزات النفيسة كالألماس والياقوت والزفير والأحجار الكريمة الأخرى"، على أن تكون مشابهة إلى حد كبير بخصائصها وصفاتها مع خصائص الفلزات الطبيعية وصفاتها، من حيث متانة التبلور والشفافية والبريق والقساوة واللون....

لقد تزايدت الحاجة وكثر الطلب على اصطناع بلورات مفردة فلزية نامية متجانسة في العقدين الأخيرين، نتيجة استخدام هذه البلورات قي فروع كثيرة من التقانات الصناعية الحديثة والمتطورة "في المركبات والمحطات الفضائية، في مراكز البحث العلمي المتطورة..."· إلا أنه وعلى الرغم من ذلك بقي عدد مراكز اصطناع البلورات الفلزية الصنعية المفردة محدوداً في العالم، بسبب كلفة تجهيز وتشغيل الوحدات المختلفة الباهظة لهذه المراكز·

قبل التطرق لشرح الآليات المختلفة لاصطناع البلورات الفلزية وتوضيحها، سنستعرض أولاً كيفية تشكلها وتكونها في الطبيعة، على اعتبار أن جميع عمليات التشكل والتكون لهذه الأشكال المتنوعة والمختلفة من الأجسام البلورية الفلزية تعد ببساطة عمليات تحول طوري للمادة من حالتها الغازية أو السائلة أو الصلبة إلى الحالة البلورية، بناءً عليه تم وبشكل عام تحديد ثلاثة طرائق رئيسة تتشكل وفقها الأجسام البلورية الفلزية هي:

- **تشكل الأجسام البلورية الفلزية من السوائل:**

يمكن تقسيم السوائل حسب طبيعتها وخصائصها بصورة عامة إلى مصاهير أو محاليل·

- **تشكل الأجسام البلورية الفلزية من المصاهيرMelts:**

من أهم وأبسط أمثلتها تحول الماء عند انخفاض درجة حرارته إلى ما تحت الصفر إلى بلورات صلبة من الجليد، كذلك تشكل الصخور المتبلورة كصخور الغابرو والديوريت والغرانيت من الصهير المغماتي، علماً أن تشكل البلورات الفلزية من الصهير المغماتي لا تتم إلا إذا انخفضت درجة حرارته إلى ما دون درجة حرارة انصهار مكوناته الفلزية· أما

إذا ارتفعت حرارته لاحقاً فإن البلورات الفلزية المتكونة ستصبح غير مستقرة وستنصهر من جديد.

- **تشكل الأجسام البلورية الفلزية من المحاليل Solutions:**

يطلق على محلول مادة صلبة في سائل اسم الخليط المتجانس، وتقسم المحاليل حسب درجة تشبعها إلى: محاليل غير مشبعة أو تحت مشبعة Un-saturated Solutions، محاليل مشبعة Solutions Saturated ومحاليل فوق مشبعة Ultr- Solutions saturated. كما يطلق على كمية المادة الصلبة المنحلة في مائة غرام من المادة المحلة والكافية لإيصاله لدرجة الإشباع بمعامل انحلال تلك المادة، علماً أن معامل الانحلال لمواد مختلفة في ظروف محددة من الحرارة والضغط يكون متبايناً، كذلك يكون معامل الانحلال لمادة معينة متغيراً مع تغير درجة حرارتها، فغالباً يزداد معامل الانحلال مع ارتفاع درجة الحرارة.

إن عملية تبلور بلورات نامية مفردة للفلزات لا تتم عادة إلا في المحاليل فوق المشبعة، حيث يتم تشكل البلورات ونموها من الكمية الفائضة من المادة المنحلة في المادة المحلة. ويتم الحصول على محاليل فوق مشبعة في الطبيعة أو المختبر عادة إما من خلال انخفاض درجة حرارة المحاليل المشبعة، أو نتيجة تبخر المحاليل المشبعة مع ثبات درجة حرارة المحاليل أو نتيجة حدوث تفاعلات كيميائية بين محاليل ملحية مشبعة بأملاح مختلفة، فمثلاً عند التقاء محلولين مشبعين بملحي كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4 وكلور الباريوم $BaCl_2$، يترسب ملح كبريتات الباريوم نتيجة انخفاض معامل انحلاله على هيئة بلورات صلبة نامية وفق التفاعل الآتي:

$$BaCl_2 + K_2SO_4 \rightarrow BaSO_4 \downarrow + 2KCl$$

يلاحظ من المثال السابق، أنه لكي تتشكل بلورات لا بد أن تكون المحاليل فوق مشبعة، حيث ينشأ ويتشكل بداية الأمر ما يطلق عليه اسم براعم أو مراكز التبلور Crystalline Foetus، يتابع النمو البلوري عادة حول تلك البراعم أو المراكز البلورية ليتشكل نهاية المطاف تجمعات بلورية يطلق عليها اسم متعددة البلورات

Polycrystalline، يكون لها أهمية بالغة لبعض التطبيقات الصناعية، كصناعة مواد شديدة الصلابة تستخدم في عمليات الحفر أو الشحذ أو القطع.

يتم تسريع عملية التبلور، أي تنشيط عملية تشكل براعم أو مراكز التبلور عادة، إما من خلال تثبيت بعض النوى البلورية أو نثر أجسام دقيقة (سلتية) الأبعاد لها تركيب كيميائي مماثل للتركيب الكيميائي للمادة المنحلة في المحلول، أو من خلال خدش أو حك جدران أوعية التبلور بقضبان زجاجية.

يؤدي نمو البلورات المستمر وتشكلها من المحاليل فوق المشبعة إلى تغير تجانس تركيز هذه المحاليل، وينحصر عدم التجانس هذا بداية الأمر بالأجزاء المحيطة أو القريبة من التجمعات البلورية المتكونة بسبب تغذية المحاليل المستمرة لها، وبالتالي سيتشكل قطاع قريب منها يكون قليل التركيز (تحت مشبع) يطلق عليه اسم ساحة التبلور Yard Crystallization. تتميز ساحة التبلور بخاصيتين: الأولى تتمثل بارتفاع درجة حرارتها مقارنة مع الوسط المحيط بها، ويعزى ذلك للحرارة المنتشرة نتيجة عملية التبلور، كما تتميز بانخفاض تركيز المحاليل ضمنها، والتي تتجدد بتدفقات جديدة تأتي من الأجزاء الجانبية المحيطة حيث يكون تركيز المحاليل هناك عالياً، هذه العملية تساعد على نشوء نوع من تيارات أو دوامات التركيز تكون محيطة بمنطقة تشكل التجمعات البلورية.

- **تشكل الأجسام البلورية الفلزية من الغازات أو الأبخرة:**

من أمثلتها تشكل العديد من الأجسام البلورية من الغازات المرافقة للصهارة المغمانية التي تتوضع في الشقوق والفراغات الصخرية.

- **تشكل الأجسام البلورية من الأجسام الصلبة المتساوية أو المتجانسة الخواص(الأمورفية):**

لقد لوحظ تحول ألواح الزجاج الصناعي مع مرور الزمن إلى أجسام متبلورة، فما انعدام الشفافية في زجاج نوافذ العديد من المساجد والكنائس والمعابد القديمة جداً، إلا نتيجة تشكل بلورات دقيقة أو صغيرة الأبعاد ضمن ألواح الزجاج، والتي بدورها تصبغ الزجاج بصفة عدم الشفافية، بشكل مشابه لما سبق ذكره تتحول البلورات الدقيقة من فلز الكالسيت في الطبيعة إلى بلورات من الرخام نامية كبيرة الحجم.

مخبرياً أثبتت التجارب المخبرية ارتباط عملية اصطناع أي تشكيل بلورات مفـردة فلزية نامية متجانسة وسرعة نمو سطوحها البلورية من سوائل (مصاهير أو محاليل) مع مجموعة من العوامل الخارجية، نذكر منها على سبيل المثال: موقـع البلـورة ضـمن السوائل، درجة تركيز السوائل ومدى تجانسها، تباين درجة حرارة وضـغط الـسوائل، وأخيراً وجود شوائب ضمن السوائل. كما أثبتت تلك التجارب أيضاً أن تبـاين وتنـوع طرائق اصطناع وتحضير بلورات مفردة فلزية نامية متجانسة يكون مرتبطاً بشكل رئيس بنوع الفلز وتركيبه الكيميائي.

رغم تعدد وتنوع طرائق اصطناع البلورات المفردة الفلزية النامية المتجانـسة، إلا أنها تنطلق إما من مصاهير أو محاليل، وتعتمد كلا من الطريقتين على مبـادئ أساسـية ثابتة، وما الاختلاف والتباين بين كل الطرائق المتبعة، إلا تعديلات في أصـل الطريقـة المتبعة التي ترتبط مباشرة مع طبيعة البلـورة الفلزيـة الناميـة والمتجانـسة المـراد اصطناعها، فعلى سبيل المثال تستوجب طرائق تحضير بلورات ناميـة مـن الألمـاس، تطبيق شروط حرارية تفوق الـ ١٧٠٠م° وضغط يفوق الـ ١٠٠٠ كيلوبار. من أهـم طرائق اصطناع البلورات المفردة الفلزية النامية المتجانسة نذكر على سـبيل المثـال لا الحصر:

١. طرائق اصطناع بلورات مفردة فلزية نامية متجانسة من مصاهير:

تتميز طرائق اصطناع البلورات المفردة الفلزية النامية المتجانسة من مصاهير بتكاليفها الباهظة نسبياً عند مقارنتها مع طرائق اصطناع البلورات من محاليل، ويـتم اعتمـاد هـذه الطرائق عندما تكون المواد أو المركبات الكيميائية المراد اصطناع البلورات منها غير قابلـة للانحلال أو ذات درجات منخفضة من الانحلال، لذلك يكون من غيـر الممكـن تحـضيرها واصطناعها من محاليلها.

يعتمد المبدأ الرئيس لطرائق اصطناع البلورات من مصاهير على صهر مواد كيميائيـة لها تركيباً كيميائياً مطابقاً لبلورة الفلز المراد اصطناع بلوراته النامية المنفردة والمتجانسة.

يعرف في وقتنا الحاضر عدد كبير من طرائق تحضير واصطناع البلـورات اعتبـاراً مـن المصاهير، يطلق على كل منها غالباً اسم مكتشفها.

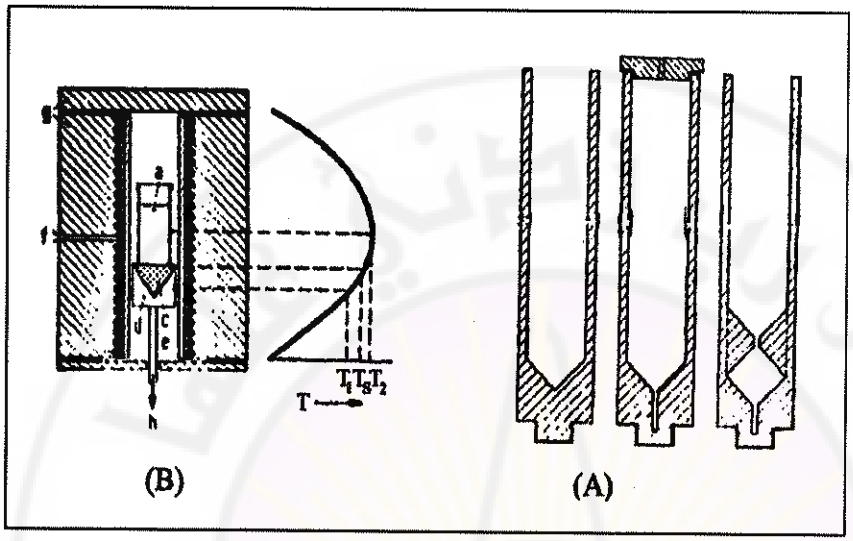
- **طريقة العالم بريدجمان:**

تستخدم طريقة العالم بريدجمان لاصطناع بلورات مفردة فلزية ناميـة متجانسة مـن العناصر الكيميائية المعدنية النقية كالزنك Zn مثلاً، أو بلورات مجموعة فلـزات الهاليـدات كالفلوريت CaF_2 أو لبلورات بعض المركبات العضوية كالنفتـالين$C_{10}H_8$، تـصل أبعـاد البلورات المصطنعة بين ٣٠ سم طولاً و٢٠سم.قطراً.

في هذه الطريقة، توضع المادة أو المركبات الكيميائية المراد اصطناع البلورة الفلزيـة منها في بوتقة مصنوعة غالباً من مادة تتحمل الحرارة العالية نقية وخاملة كيميائياً كالزجاج أو الغرافيت، لضمان عدم حدوث تفاعلات كيميائية بينها وبين المادة المـراد صـهرها. تأخـذ البوتقة عادة أشكالاً وأبعاداً مختلفة، وذلك تبعاً لشكل البلورات المراد اصطناعها وحجمها، إلا أن جميع بواتق الصهر تأخذ نهاياتها السفلية شكلاً مخروطياً دقيق الأبعاد (شكل-١٢). توضع بوتقة الصهر الحاوية على المركبات الكيميائية المراد صهرها على حامـل قابـل للحركـة شاقولياً نحو الأعلى أو الأسفل قي فرن كهربائي أسطواني الشكل معزولاً بشكل محكم مـزود بوشيعة كهربائية تمده بالحرارة موصولة بمنظم حراري يمكن من خلالـه ضـبط درجـات الصهر والتبريد بشكل آلي وبدقة عالية.

لصهر المركبات الكيميائية المراد صهرها يتم تحريك حامل العينة نحو الأسفل بـشكل بطيء، فتبدأ هذه المركبات عند وصولها لدرجة الحرارة العظمى أي درجة انـصهار العينـة بالانصهار، ومن البديهي أن تبدأ الأجزاء الموجودة في أسفل الاسـطوانة (النهايـات دقيقـة الأبعاد) بالانصهار، عند متابعة تحريك العينة نحو الأسفل تبـدأ المـواد المنـصهرة سـابقاً بالتبريد، وتتشكل بالتالي البراعم أو النوى البلورية بينما تكون المركبات في الأجزاء العليا من البوتقة منصهرة، مع متابعة تحريك البوتقة نحو الأسفل ستنخفض درجات الحـرارة وتبـرد المركبات المنصهرة تدريجياً وتنضم بلوراتها المتكونة للانضمام للنوى البلورية المتكونة فـي المرحلة السابقة، فتعمل على نمو سطوحها البلورية وتتحول في نهاية المطاف جميع مكونات المركبات الكيميائية المنصهرة إلى بلورة مفردة فلزية نامية ومتجانسة التركيب (شـكل-١٣).

تأخذ هذه البلورة شكل البوتقة التي تشكلت ضمنها، لاحقاً يمكن فصل هذه البلورة عن البوتقة ويتم شحذها وتقطيعها بالشكل المطلوب.



شكل-١٢: طريقة العالم بريدجمان لاصطناع بلورات مفردة فلزية نامية متجانسة، من(شقرا،٢٠٠٥).

• طريقة العالم فرنويل:

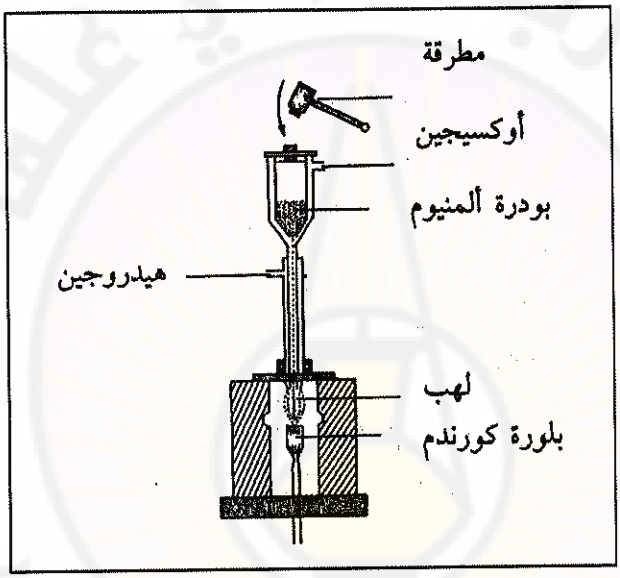
تستخدم طريقة العالم فرنويل عادة لاصطناع بلورات مفردة فلزية نامية متجانسة لعدد كبير من بلورات الأحجار الكريمة النفيسة " كالياقوت، الزفير، السبينيل والروتيل من مصاهير مركباتها الكيميائية الرئيسة.

تمكن العالم الفرنسي أوجيست فرنويل من اصطناع بلورات مفردة فلزية نامية متجانسة لفلز الكورندوم"الياقوت". وذلك من خلال صهر مسحوق ناعم جداً من أوكسيد الألمنيوم Al_2O_3 بعد اضافة نسبة ٢% من أوكسيد الكروم في فرن وعلى درجة حرارة تقدر بنحو ٢٢٠٠م° واستخدم لذلك لهب ناتج عن عملية مزج عنصري الأوكسجين والهيدروجين (شكل-١٣)، ينصهر المسحوق ويسقط فوق حامل مقاوم للحرارة، فتتشكل بلورات الكورونـدوم.

لدى استخدام طريقة العالم فرنويل يمكن التحكم بسرعة نمو وتشكل البلورات، كما يمكن تلوين البلورات المتشكلة، وذلك من خلال إضافة بعض النسب القليلة من العناصر

الكيميائية(الشوائب)، فعلى سبيل المثال نستطيع تلوين بلورات الياقوت والسبينيل بالألوان التالية عند إضافة العناصر الكيمائية الآتية:

- تتلون البلورات باللون الأصفر المخضر عند إضافة عنصري النيكل والتيتانيوم.
- تتلون البلورات باللون الأخضر عند إضافة عنصر الكوبالت.
- تتلون البلورات باللون الأزرق عند إضافة عنصري التيتانيوم والحديد.
- تتلون البلورات باللون الوردي عند إضافة كل من التيتانيوم والحديد والكروم.

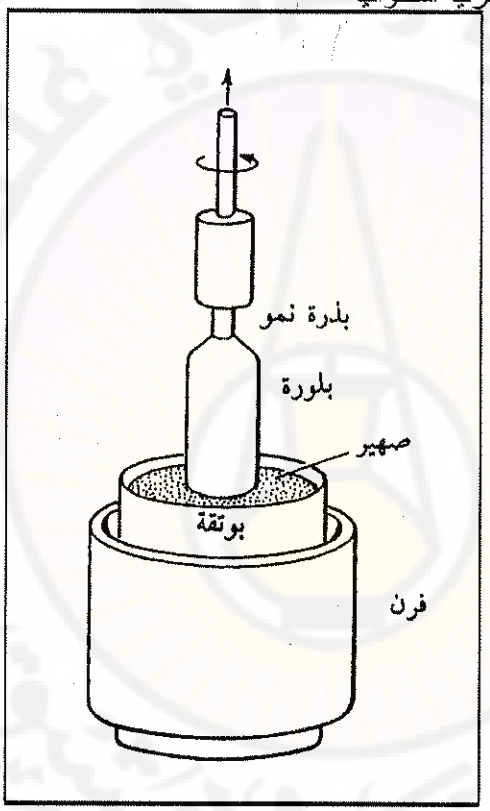


شكل-١٣: طريقة العالم فرنويل لاصطناع بلورات مفردة من الكورندوم، من نصر،١٩٩٨.

- **طريقة العالم تشورلاسكي (طريقة السحب):**

في هذه الطريقة يتم وضع المواد الكيميائية المراد صهرها ضمن بوتقة أسطوانية الشكل مصنوعة من معدن الأرديوم المتحمل لدرجات الحرارة المرتفعة جداً، تحاط الأجزاء الخارجية للبوتقة بفرن كهربائي مصنوع من الخزف ومزود بوشيعة كهربائية تؤمن تزويده بالحرارة اللازمة، يتم التحكم برفع أو خفض درجات الحرارة من خلال منظم آلي دقيق للحرارة(شكل-١٤).

تبدأ عملية صهر المواد والمركبات الكيميائية بعد وصولها إلى درجة الحرارة العظمى أي درجة انصهارها بالانصهار، فتتشكل مجموعة من البراعم البلورية " بذور تبلور" تلتصق على نهاية سلك دقيق يتدلى على الصهير من الأعلى، مكونة نواة التبلور، يتم التحكم بحركة السلك آلياً، حيث يتم سحبه بشكل بطيء وبمعدل عدة سنتمترات في الساعة ليساعد على تبلور المادة المصهورة على النمو في نهايته، تأخذ جميع البلورات المتشكلة وفق طريقة العالم تشورلاسكي شكلاً مغزلياً اسطوانياً.



شكل-١٤ : طريقة العالم تشورلاسكي (طريقة السحب) لتشكيل البلورات الفلزية، من نصر،١٩٩٨.

- **طريقة العالمان ناكن وكيربولوس:**

طور العالمان ناكن وكيربولوس طريقة اصطناع بلورات مفردة فلزية نامية متجانسة خارج بوتقة الصهر. في هذه الطريقة تستعمل بواتق صهر متحملة لدرجات الحرارة المرتفعة

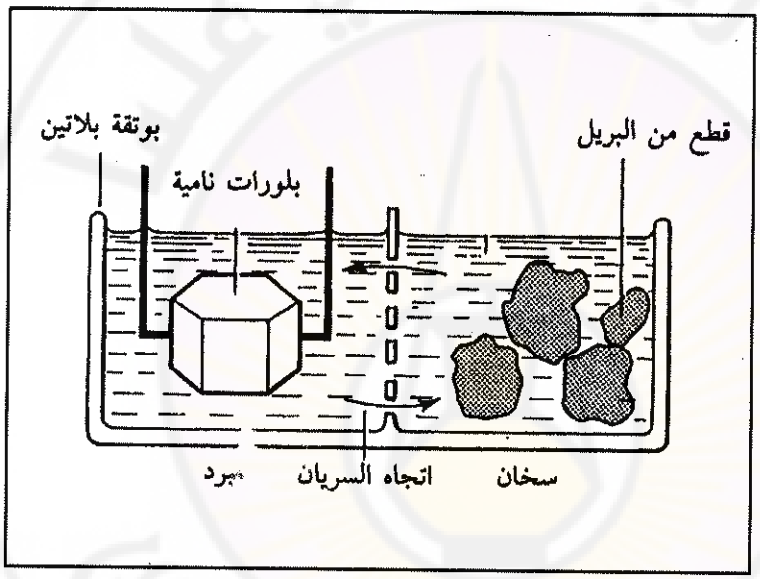
ومصنوعة من الكورونـدوم " الياقوت"· تثبت بوتقة الصهر على حامل ثابت يقع في مركز فرن كهربائي مصنوع من الخزف ومزود بوشائع تسخين كهربائية تزوده بـالحرارة الـضرورية لعملية الصهر، ويتم عزل الفرن عزلاً جيداً حتى لا يتم حدوث أي فقد للحرارة· ويتم الـتحكم برفع أو خفض درجات الحرارة من خلال منظم آلي دقيق للحرارة·

نرفع درجات الحرارة وتبدأ المكونات والمركبات الكيميائية المراد صهرها بالانـصهار عند بلوغ درجة انصهارها، ثم نرفع درجة الحرارة بمقدار ١٥٠م° إضـافية وتتـرك المـواد المنصهرة عدة ساعات حتى يتم التأكد من خلوها من أي تشكل للبراعم أو لنوى التبلور· ننزل سلكاً معدنياً دقيقاً مبرداً من داخله بتيار مائي أو هوائي ويلتصق على نهايته بلـورة لهـا ذات التركيب الكيميائي للمركبات المنصهرة تعمل عمل برعم أو نواة التبلور حتى يلامـس سـطح المواد المنصهرة، يتم التحكم بحركة السلك المعدني الشاقولية آلياً· يتم خفض درجات الحرارة تدريجياً وببطء شديد، مما يساعد على تشكل بلورة مفردة فلزية نامية ومتجانسة تنمـو حـول نواة التبلور المثبتة في نهاية طرف السلك المعدني الدقيق· عند نمو البلورة المتكونـة للحجـم المطلوب، يتم سحب السلك نحو الأعلى فتتابع البلورة نموها بالاتجاه المعاكس لاتجاه السحب، وتستمر بالنمو حتى نفاذ الصهارة من المواد أو المركبات الكيميائية المغذية· تأخذ البلـورات المتكونة وفق هذه الطريقة أشكالاً اسطوانية ذات قاعدة دائريـة محدبـة وتـراوح أبعادهـا ٣x٣x٣سم·

- **طريقة التدفق الصهيري:**

تعد طريقة التدفق الصهيري أكثر طرائق تصنيع البلورات الفلزيـة انتـشاراً كونهـا سريعة و سهلة التنفيذ، وتستخدم عادة لاصطناع وإنماء بلورات ضخمة جداً من الأحجـار الكريمة الفلزية كالياقوت والزفير والزمرد والسبينيل· يتشابه مبدأ هذه الطريقة مع تبلـور الفلزات السيليكاتية من الصهارة المغماتية إلى حد كبير، فهنا يتم مزج المـواد الكيميائيـة المراد صهرها مع مواد كيميائية إضافية مساعدة ومحفزة على الانـصهار ذات درجـات انصهار متدنية مثل: فلوريت الرصاص، أوكسيد الرصاص، أوكسيد الليثيـوم أو أوكـسيد المولبيدينيوم·

توضع المواد والمركبات الكيميائية في بوتقة من البلاتين أو الأرديوم، ويتم وضع البوتقة في فرن حراري(شكل-١٥)· يتم صهر المزيج بعد رفع درجة الحرارة إلى درجة تتجاوز درجة حرارة المواد أو المركبات الموجودة في البوتقة، تنصهر في بداية الأمر المواد المساعدة والمحفزة، ثم تنصهر المواد والمركبات الكيميائية المراد صهرها، بعد انتهاء عملية الانصهار بشكل تام، يتم تبريد المصهور بشكل بطيء إلى أن تبدأ معه عملية التبلور·



شكل-١٥: طريقة التدفق الصهيري لتشكيل البلورات الفلزية، من نصر،١٩٩٨·

٢· طرائق اصطناع بلورات مفردة فلزية نامية متجانسة من المحاليل:

تستخدم طرائق تحضير بلورات مفردة فلزية نامية من المحاليل المائية الساخنة بشكل شائع من أجل تحضير كل من بلورات فلز الكوارتز، البريل والياقوت· ويتشابه مبدأ هذه الطريقة مع آلية تشكل وتبلور تلك الفلزات في الأطوار الهيدروترمالية أو/والبغماتوئيدية في الطبيعة، وكما أسلفنا في مطلع الفصل أن عملية التبلور من المحاليل تبدأ عند زيادة نسبة العناصر الكيميائية المنحلة في المادة المحلة عن حالة ما فوق الإشباع، يتحقق ذلك

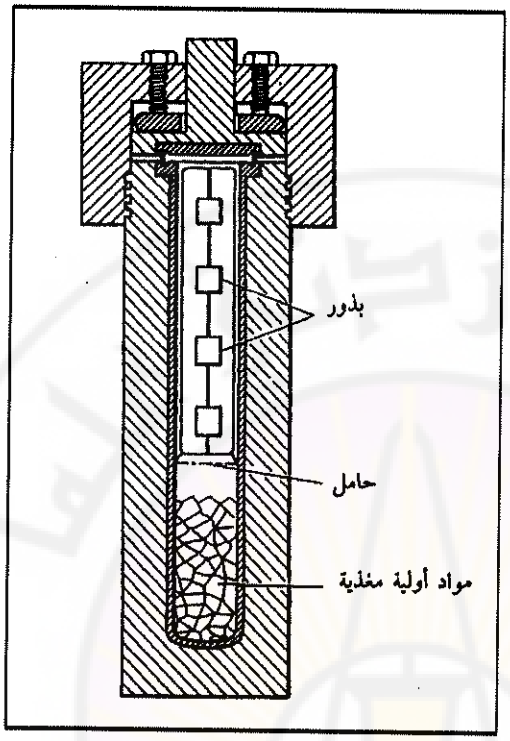
عادة إما عن طريق زيادة التركيز أو عن طريق تبخير المحاليل الحاوية على المواد والأملاح الذائبة.

عند اصطناع بلورات مفردة فلزية نامية متجانسة وفق هذه الطريقة يتم بشكل رئيس تحضير محاليل ملحية ساخنة مشبعة، ثم يتم تبريد هذه المحاليل بشكل تدريجي لنصل إلى حالة ما فوق الإشباع، لتبدأ عند هذه المرحلة عملية تشكل ونمو البلورات الفلزية.

يتم تسخين المحاليل فوق المشبعة عادة في سخانات ذات جدران فولاذية ثخينة، محكمة الإغلاق، تراوح سعتها بين ٥-١٠ ليتر، توضع ضمن أفران حرارية تراوح درجة حرارتها بين ٥٠٠-٦٠٠م°، يضاف للمحاليل بعض الكسارات والشذرات البلورية دقيقة الأبعاد تعمل عمل بذور أو نوى أو براعم التبلور. يتم تبريد المحاليل تدريجياً وبشكل بطيء، يتم التحكم به بواسطة منظم حراري آلي ينظم عملية انخفاض درجة الحرارة بشكل منتظم وبشكل يتحقق معه بقاء المحلول فوق مشبع طوال فترة نمو وتشكل البلورات(شكل-١٦).

تبدأ مع انخفاض درجة حرارة المحلول التدريجي عملية انفصال البلورات من المحاليل لتنمو بشكل مستقل.

لقد دلت التجارب المخبرية أنه من أجل الحصول على بلورات فلزية نامية ومتجانسة، يتم إما تركيب خلاطات كهربائية دوارة ضمن أوعية التسخين تعمل على تحقيق تجانس التركيب الكيميائي وبقاء التركيز متجانساً للمحلول، أو يتم تدوير البلورات الفلزية المتكونة بشكل دائم ضمن المحاليل. لهذا السبب تم بشكل لاحق تركيب حوامل ضمن أحواض التسخين يثبت عليها نوى أو بذار وبراعم بلورية تنمو عليها البلورات الفلزية النامية، يكون باستطاعة هذه الحوامل أن تدور بشكل مستمر ضمن المحلول كما تضمن للبلورة أن تدور أيضاً حول نفسها.



شكل-١٦: طريقة تحضير بلورات فلزية من المحاليل المائية الساخنة، من نصر،١٩٩٨.

Damascus University

المراجع العلمية للباب الأول

المراجع الأجنبية

- Berner,R.A.,(1971): Principles of Chemical Sedimentology, McGraw-Hill Book Company, Newyork. U.S.A.240pp.,
- Borchardt, O.W. (1990): Lehrbuch der Kristallographie , 3. Auflage,
- Brownlow,A.,(1979): Geochemistry. Englewood Cliffs,N.J.Prentice-Hall, Inc.
- Bucher, K and ,Frey,M (1994): Petrogenesis of metamophic rockc: 315pp,& sons, Newyork. U.S.A.
- Busenberg,E., and C.V.Clemency,(1976): The dissolution kinetics of feldspars at 25°C and 1 atm CO2 partial pressure, Geochim. Cosmochim Acta. V.,40.41-49 PP.
- Deeson,A.F.L.,(1983): The Collectors Encyclopedia of Rocks and Minerals, 288pp, Exeter Books, Newyork. U.S.A.
- Evans,S.,(1964): An Introduction to Crystal Chemistry. Cambridge University Press, Cambridge.U.K.,
- Foster. J.R.,(1980): Geology, Uded. 187P. C.E. Merril Publischers U.S.A.
- Goldich.S.S.,(1938): A Study In Rock Weathering ,J.Geol.,V.46,17-58 pp,.
- Goldschmidt,V.M.,(1954): Geochemistry,Oxford University Press, London .,730pp.
- http://www.cs.ubc.ca/cgi-bin/nph-pertab/tab/periodic-table.
- Jackson,M.L.,(1968): Weathering of primary and secondary minerals in Soils, Trans.9th.Int.Cong.Soil.Sci,4,281-292.
- Kleber.W.,(1983): Einfuehrung in die Kristallographie ,VEB. Verlag Technik. Berlin.16.,Auflage,384S.
- Klein.C., and C.S.Jr.Hurlbut,(1993):Manual Mineralogy , 21. .681S.Auflage, JohnWiley & Sons,New York,U.S.A.
- Krauskopf.k.b.,(1967):Introduction to geochemistry. McGraw-Hill, Newyork. U.S.A.
- Mason,B., and C.B., Moore, (1982):Principles of geochemistry.4th ed. , 344pp John Wiley and Sons, New York, U.S.A.
- Masson,C.E.,(1966):Principles of Geochemistry, 329pp. John Wiley and Sons, New York, U.S.A.
- Mathe,G.,(1985):Metamorphite.In:Pfeiffer,L;Kurze,M;Mathe,G:Einfuhrung in die Petrologie. -Berlin.442-565S.

- Montgomery.C.W.,(1990):Physical Geology.2d ed.W.M.C.Brown.Publischers U.S.A.
- Pauling,L.,(1960):The Nature of the Chemical Bond,3rd ed., Cornell University Press, 644pp.,Ithaca,N.Y..
- Seim.R.,(1981): Minerale. Sammeln und Bestimmen von **Rolf Seim,** Neumann-Neudamm Verlag, , 3. Auflage,408S..
- Seim.R., and G.Tischendorf.,(1989): Grundlagen der Geochemie, VEB. Verlag fuer Grundstoffindustrie, 1. Auflage, 632S.,Leipzig. Germany.
- Ringwood. A.E.,(1966a):The chemical composition and origin of the Earth.In:Advances In Earth Sciences(ed.P.M.Hurley),287-356ll.Mit. Press.
- Ringwood. A.E.,(1966b): Chemical evolution of terrestrial planets. Geochem.Cosmochem.Acta 30:41-104pp.
- Roesler.H.J.,(1983): Lehrbuch der Mineralogie VEB-Deut.Verlag fur Grundstoff- Industrie. 833 S., Leipzig. Germany.
- Wedepohl.K.H.,(1969):Handbook of geochemistry.Springer- Verlag, Berlin. Germany. Vol.1.,442pp.
- Wimmenauer. W.,(1985): Petrographie der magmatischen und metamorphen Gesteine. Enke Verlag. - Stuttgart. 382S.
- Wood,J.A.,(1968):Meteaorites and the Origin of Planets,McGraw-Hill Book Company, Newyork. U.S.A.116pp.,

Damascus University

المراجع العربية

- أبو نقطة، فلاح (١٩٩٩): الجيولوجيا، ٢٣٦ ص، منشورات جامعة دمشق، دمشق، الجمهورية العربية السورية.
- أبو نقطة، فلاح (٢٠٠٤): أساسيات في علم التربة، الجزء النظري ٢٨١ ص، منشورات جامعة دمشق، دمشق، الجمهورية العربية السورية.
- حبيب، حسن (١٩٩٣): فلزات الطين، الجزء النظري ١٧٨ ص، منشورات جامعة دمشق، دمشق، الجمهورية العربية السورية.
- حسن، محمد يوسف، شريف، عمر حسين، النقاش، عمر باقر (١٩٩٠): أساسيات علم الجيولوجيا ٥٥٠ ص، مركز الكتب الأردني، عمان، الأردن.
- سيدا، محمد غالب (١٩٨٢): علم الفلزات٤٩٠ ص، المطبعة التعاونية بدمشق، منشورات جامعة دمشق.
- سيدا، محمد غالب (١٩٨٤): علم البلورات٤٠٠ ص، المطبعة التعاونية بدمشق، منشورات جامعة دمشق.
- شقرا، تميم (٢٠٠٥): علم البلورات، الطبعة الأولى٤١١ ص، منشورات جامعة دمشق، دمشق.
- شيخاني، هالة (٢٠٠٥): مذكرات في الكيمياء العامة لطالبات كلية العلوم الزراعية والأغذية ٢١٣ ص، جامعة الملك فيصل، الأحساء، المملكة العربية السعودية.
- عتقي، مصطفى (١٩٨٢): الجيوكيمياء(١) ، الطبعة الأولى٢٥٣ ص، مطبعة النصر، منشورات جامعة دمشق، دمشق.
- عجيب، علي (١٩٩٢): جيوكيمياء التربة، الطبعة الأولى٣٨٣ ص، مطبعة خالد بن الوليد، منشورات جامعة دمشق، دمشق.
- عطائي، محمد برهان (١٩٨١): الجيولوجيا الاقتصادية، الطبعة الأولى٣٨٤ ص، منشورات جامعة دمشق، دمشق.

- علاوي، جمعة عبد الرحيم عوض (١٩٩٩): ترجمة كتاب الجيوكيمياء لأرثر براونلو ٨١٢ ص، منشورات مركز النشر العلمي والمطابع، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.
- قزاز، محمد أحمد، حشاد، أحمد حسنين (٢٠٠٠): أسس الجيوكيمياء٤٧٧ ص، مركز النشر العلمي، مطابع جامعة الملك عبدالعزيز، جدة، المملكة العربية السعودية.
- ماثيوز، وليام هـ، ترجمة ناشد، مختار رسمي (١٩٩٥): ما هي الجيولوجيا ٣٩٤ ص، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، مصر.
- مرزوقي، محمد فؤاد، عبد الغفور ممدوح (١٩٩٣): الصخور النارية٢٢٨ ص، منشورات مركز النشر العلمي- جامعة الملك عبد العزيز، جدة، المملكة العربية السعودية.
- مشرف، محمد عبدالغني عثمان (١٩٩٧): أساسيات علم الرسوبيات٧١٠ ص. مطابع جامعة الملك سعود، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.
- مشرف، محمد عبدالغني عثمان (١٩٩٧): أساسيات علم الأرض، الجيولوجيا الفيزيائية٩٢٨ ص. دار المريخ للنشر، الرياض- المملكة العربية السعودية.
- نصر، صبحي (١٩٩٨) المعادن النفيسة والأحجار الكريمة وشبه الكريمة الطبيعية والمقلدة، ١١٢ ص، منشورات جامعة قطر، الدوحة، قطر.

الباب الثاني

فلزات الطين

الفصل الأول: أهمية ومفهوم فلزات الطين (١) ومنشؤها وتكوينها

الفصل الثاني: أسس بناء السيليكات

الفصل الثالث: فلزات الطين السيليكاتية الورقية

الفصل الرابع: فلزات الطين الليفية

الفصل الخامس: فلزات الطين(أو السيليكات) غير المتبلورة أو ضعيفة التبلور

تأليف: الأستاذ الدكتور حسن حبيب

Damascus University


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

أهمية ومفهوم فلزات الطين [1] ومنشؤها وتكوينها

Concept, genesis and formation of clay minerals


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

أهمية ومفهوم فلزات الطين [1] ومنشؤها وتكوينها
Concept, genesis and formation of clay minerals

١-١-أهمية فلزات الطين Importance of clay minerals:

تعد فلزات الطين من أكثر الفلزات انتشاراً على سطح الأرض، حيث تشكل الجزء الأكبر من مكونات الصخور الرسوبية، وخاصة تلك التي تدعى الصخور الطينية Mud rocks ، حيث تشكل فلزات الطين حوالي ٤٠ % من مجموع مكونات هذه الصخور ، وتتواجد فلزات الطين في معظم الترب وبنسب مختلفة، حيث تشكل الجزء الأكبر من مكونات بعض الترب.

بالنسبة للجيولوجيين وعلماء التربة، فالطين عبارة عن حبيبات التربة أو الصخور التي تقل أقطارها عن 2 ميكرومتر(1 ميكرومتر= 10^{-6} م)، أما من الناحية الكيميائية والبنائية فإن فلزات الطين تقترب كثيراً من السيليكات الورقية أو الطينية Phyllosilicates or layersilicates ، والتي قد تتواجد أحياناً بأقطار أكبر من 2 ميكرومتر .

إن الحجم الصغير لفلزات الطين والمساحة السطحية Surface area الكبيرة قياساً بالحجم، تعطي فلزات الطين مجموعة من الخواص الفريدة Set of unique properties ، منها السعة التبادلية، التبادلات والتفاعلات الكيميائية، المرونة خلال أوقات الرطوبة.

إن المعرفة الدقيقة والفهم الواضح للسيليكات الورقية Phyllosilicates يعد النقطة المركزية للانطلاق لفهم فلزات الطين، تعد هذه المعرفة ضرورية جداً من الناحية الزراعية، لأنها تساعد على معرفة بناء التربة، عمليات التجوية التي تطرأ على هذه الفلزات، العناصر الغذائية المتبادلة أو المستخلصة من هذه الفلزات، على سبيل المثال، تعد فلزات الميكا في التربة، مصدراً مهماً لعنصر البوتاسيوم الضروري لنمو النبات، مثال آخر، تحول الميكا إلى فيرميوكوليت وسمكتيت، يؤدي إلى زيادة كبيرة في السعة التبادلية الكاتيونية، كذلك عملية الحراثة والتعامل مع التربة يرتبط غالباً بكمية الطين الموجود فيها ونوعه، يضاف إلى ذلك أهمية فلزات الطين في مجال الهندسة المدنية والإنشاءات العمرانية وكذلك في الصناعة.

١-٢- مفهوم فلزات الطين Concept of clay minerals

يختلف مفهوم كلمة الطين Clay، وذلك تبعاً للغرض المقصود من استعمالها، وبشكل عام يقصد بالطين ذلك الجزء الناعم من التربة الذي يتصف باللدونة وقابلية التشكل عند محتوى رطوبي معين، أما من الناحية الميكانيكية فتعني كلمة الطين تلك الحبيبات التي تقل أقطارها عن 1 ميكروناً أو 2 ميكروناً وذلك حسب المدرسة المتبعة.

وقد تأتي كلمة الطين للتذكير بمجموعة كبيرة من الفلزات التي تتميز ببنية بلورية معينة وتركيب كيميائي قوامه سيليكات الألمنيوم، إضافة للحديد وبعض القواعد(خاصةMg). أما من الناحية الزراعية فتعبر فلزات الطين عن حبيبات التربة الناعمة التي تتصف بالطبيعة الغروية والسطوح الكبيرة والمشحونة غالباً بشحنات كهربائية سالبة.

هذا وقد عرفت الرابطة العالمية لدراسة فلزات الطين(AIPEA) فلزات الطين على أنها تتبع السيليكات الورقية، تتوضع فيها رباعيات الوجوه Tetrahedra (SiO_4^{-4}) في شرائح Sheets، ينجم كل منها عن اشتراك كل رباعي وجوه بثلاث زوايا، لتبقى الزاوية الرابعة حرة للارتباط مع شريحة ثمانيات الوجوه Octahedra ، حيث يسمح الوضع الجديد باستمرار رباعيات الوجوه بالنمو في الاتجاهين الأفقيين.

مما تقدم يمكن القول إن فلزات الطين Clay minerals تتكون أساساً من السيليكات الألومينية Alumino-Silicates ، تنتظم مكوناتها في رباعيات وجوه وثمانيات وجوه يرتبط غالباً بعضها مع بعضها الآخر لتشكل طبقات ثنائية البعد Bidimensional layers، وتتميز ببنية بلورية محددة، إضافة إلى حجم حبيباتها الدقيق وخواصها الكهراكيميائية والفيزيائية، مثل السطوح النوعية الكبيرة والشحنات الكهربائية والطبيعة الغروية.

١-٣- منشأ فلزات الطين: Genesis of clay minerals

يعرف الفلز عموماً على أنه جسم صلب ومتجانس يتواجد طبيعياً، وله تركيب كيميائي محدد(لكن ليس دائماً ثابتاً)، وله ترتيب ذري وبنية بلورية منتظمة.

تقسم فلزات التربة عادة إلى فلزات موروثة Inherited غالباً من المادة الأم(الصخور) وفلزات تشكلت عملياً خلال عمليات التجوية المختلفة للمواد الأولية وخلال العمليات المنشئية للتربة In situ formation .

فلزات الطين شأنها في ذلك شأن الفلزات الأخرى في التربة، فهي تصنف في مجموعتين حسب منشئها:

أ ـ **فلزات طين أولية Primary clay minerals** : وهي فلزات تدخل بالأصل في تركيب الصخرة الأم، حيث تشكلت تحت درجة حرارة عالية إبان تمايز الصخور الاندفاعية أو تشكل الصخور المتحولة، وتأثرت بعدئذٍ بالتجوية الفيزيائية التي أدت إلى تغيير أبعادها دون تغيير يذكر لا في تركيبها الكيميائي ولا في بنيتها البلورية، ومن هذه الفلزات، الميكا والكلوريت.

ب ـ **فلزات طين ثانوية Secondary clay minerals**: وهي فلزات تشكلت في الترب أو الصخور الرسوبية تحت تأثير درجات حرارة منخفضة. ونتجت عن الفلزات الأولية وعما تعرضت له هذه الفلزات من تجوية كيميائية متنوعة في الشدة والشروط، الأمر الذي لابد أن ينعكس على طبيعة هذه الفلزات التي تتوقف إذاً على الظروف السائدة خلال عمليات التجوية، وتسود فلزات الطين الثانوية على الأولية في معظم الترب، وتقل كميتها في ترب المناخ الجاف. ومن هذه الفلزات نذكر مجموعة السمكتيت وفلزات الكاؤولينيت والباليغروسكيت وغيرها. وتكتسب فلزات الطين أبعاداً دقيقة كناتج مباشر للمنشأ، وتصل في الغالب إلى أقل من 2 ميكروناً، إلا أن بعضها(كاؤولينيت، جبسيت وبعض أكاسيد الحديد) يمكن أن ينمو في ظروف مناسبة حيث تبلغ بلوراته أبعاداً كبيرة نسبياً (<2 ميكروناً).

١ـ٤ـ تكوين فلزات الطين: Formation of clay minerals

تتعرض الفلزات الأولية إلى أنواع مختلفة من التجوية، كيميائية، فيزيائية وحيوية، تؤدي إلى إحداث تغيير في تركيبها الكيميائي وبنيتها البلورية وتكوين فلزات جديدة.

ويمكن تصنيف العمليات المختلفة المسؤولة عن التغييرات السالفة وعن تكوين فلزات الطين في:

١ ـ عمليات الإزاحة(الطرح) Processes of subtraction وعمليات الإضافة Processes of addition .

٢ـ التكوينات(التخليق) الحديثة Neoformation (Neosynthesis) .

في الوقت الذي تأخذ في حبيبات التربة أبعاداً أصغر خلال عمليات التجوية، فإن نواتج عمليات الإزاحة والإضافة تقود إلى تكوين حبيبات جديدة ذات أبعاد متناهية في

الصغر، وتنشأ عنها فلزات ثانوية مماثلة لأصولها بنيةً وتركيباً أو مغايرة لها إلى حد بعيد وبخاصة فيما يتعلق بالخواص الكيميا- بلورية.

هذا وتتعرض الفلزات في التربة عادة إلى نوعين من التجوية هما:

١ - التجوية المنسجمة(المتناغمة) Congruent weathering:

و تأتي هذه التجوية كناية عن الانحلال(الذوبان) المنسجم والذي تتحرر فيه جميع عناصر الشبكة البلورية بالسرعة ذاتها و تنتقل إلى المحلول بنسب مساوية نسبها في الشبكة البلورية، كانحلال الأملاح البسيطة مثل: كربونات الكالسيوم، الجبس، والأملاح الذوابة) و ربما بعض السيليكات البسيطة.

٢ - التجوية غير المنسجمة(غير المتناغمة) Incongruent weathering :

وهي كناية عن الانحلال التفككي الذي يترافق مع تشكل راسب ناتج عن جزء من مكونات الفلز التي انتقلت إلى المحلول وبقاء الجزء الآخر فيه، بمعنى آخر يأخذ ذوبان عناصر الشبكة البلورية أو انحلالها معدلات مختلفة، يسود هذا النوع من التجوية

بالنسبة للفلزات التي تتميز بشبكة ألومينو سيليكاتية وبخاصة السيليكات الورقية Phyllosilicates .

هذا وتتكون فلزات الطين في التربة بطريقتين أساسيتين:

- التحول Transformation .
- التكوين الجديد Neoformation .

١-٣-١- التحول Transformation:

يمكن أن تتعرض فلزات الطين في التربة لعمليات تحول من فلز إلى آخر مع الحفاظ على البنية العامة لهذه الفلزات، وتتم عملية التحول هذه عن طريق إزاحة بعض الكاتيونات أو الشرائح أو إضافة بعض المكونات للشبكة البلورية، وتتضمن عملية التحول الشكلين الآتيتين:

١- عملية الإزاحة أو الطرح: تعبر عن إزاحة بعض الكاتيونات إلى المحلول، أو إزاحة بعض الشرائح مثل شريحة البروسيت، وتؤدي إلى تدهور البنية Structural degradation وتترافق بتحول الفلزات ثابتة المسافة القاعدية إلى فلزات متغيرة المسافة القاعدية.

٢- عملية الإضافة: وتدعى أيضاً بالـ Aggradations وفيها تدخل عناصر جديدة (K^+) في الفراغات البينية، وتؤدي بذلك إلى تشكيل فلزات ثابتة المسافة القاعدية، أو Si إنما عوضاً عن Al في الشريحة الرباعية.

تظهر عمليات الإزاحة بخاصة في فلزات الميكا والكوريت، إذ يحدث أن يتم الاستبدال بالكاتيونات الموجودة بين الطبقات في فلزات الميكا أو إزاحة شريحة البروسيت في فلزات الكوريت، ويتم إشباع الشحنات السالبة الناتجة عن عملية الإزاحة بالكاتيونات الموجودة في محلول التربة، وهي عادة كاتيونات مميهة وغالباً ما يكون كاتيون الهيدرونيوم $H3O^+$ المسؤول عن عملية الإشباع، ويمكن لأي كاتيون آخر أن يقوم بهذه العملية وإشباع الشحنات السالبة .

إذا كانت الشحنات على الطبقة 2 : 1 عالية فإنها تدفع فلزات الميكا والكوريت لتتحول إلى فلزات الفرميكيوليت، وفي حال كون الشحنات على الطبقة 2 : 1 منخفضة، فإن فلزات الميكا والكوريت، تتحول إلى سمكتيت (سيتم توضيح ذلك لاحقاً). ويحدث خلال عملية التحول التي تتم بشكل تدريجي، أن يحصل إزاحة جزئية للكاتيونات بين الطبقات أو لشريحة البروسيت، مما ينتج عنه نماذج أو أنماط انتقالية أو متدرجة Intergrades على النحو الآتي:

ميكا ـــــ فرميكيوليت

كلوريت ـــــ فرميكيوليت

ميكا ـــــ سمكتيت

كلوريت ـــــ سمكتيت

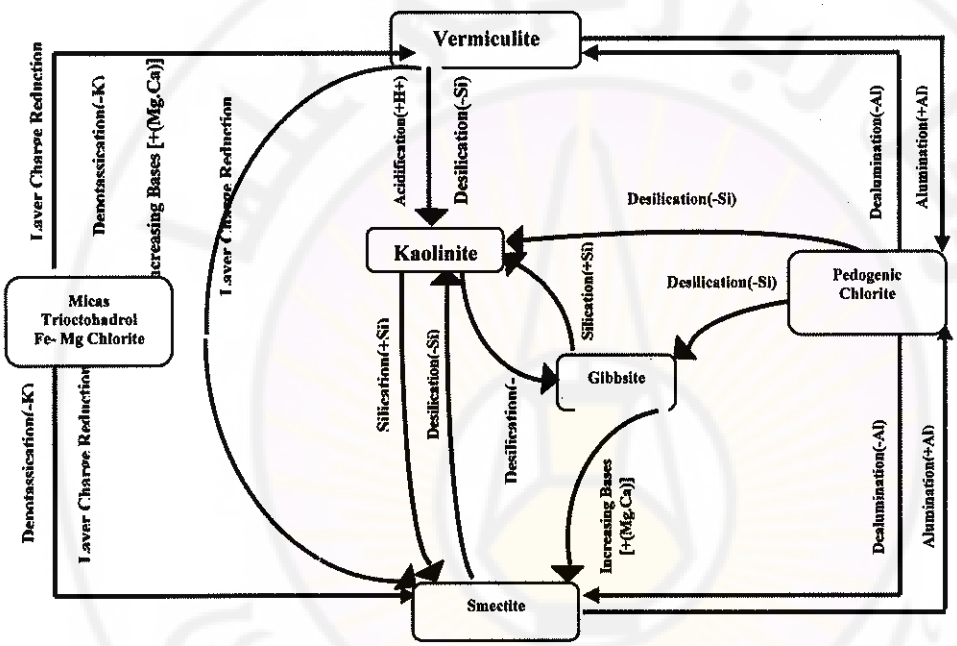
يحدث خلال عملية الإزاحة خفض تدريجي للشحنة على الطبقة 2 : 1 ، وهكذا نجد أن الميكا تتحول أولاً إلى فرميكيوليت ثم إلى سمكتيت، ويطلق على هذه العملية أحياناً تعبير Vermiculization، أي تكوين فلز الفرميكيوليت. أما بالنسبة لعملية الإضافة فهي من العمليات النادرة في التربة، وقد تم وصف حالة عامة واحدة، وهي عندما يتخلى الألمنيوم (ومن الممكن الحديد) عن بروتون، ثم يتماثر Polymerization في الفراغات بين طبقات الفلزات متغيرة المسافة القاعدية. ويشكل معقدات ألمنيوم موجبة الشحنة غير قابلة للتبادل، تزيد هذه الحالة من مقاومة الفلزات للتحطيم بالحرارة، كما يمكن لعملية الإضافة أن تتم بموجب إعادة بناء الشبكة البلورية وترميمها عن طريق انتقال بعض المكونات (Si مثلاً) من

المحلول إلى وريقة الطين (عجيب ١٩٩١). كما ينتج عن طريق التحول فلـزات الكلوريـت الثانوية أو الكلوريت ذو المنشأ الأرضي Pedogenic chlorite.

فرميكيوليت ـــــ كلوريت

سمكتيت ـــــ كلوريت

ويبين الشكل (١-١) طرق التحول الممكنة التي تحدث لفلزات الطين في التربة



الشكل (١-١)، طرق التحول الممكنة التي تحدث لفلزات الطين في التربة

١-٣-٢- التكوينات (التشكيلات) الحديثة Neosynthesis (Neoformation) :

يعتمد سلوك العناصر المحررة خلال عمليات التجوية المختلفة، على خواصها ، وتبعـاً لاختلاف هذه الخواص، يمكن تمييز نطاقين Zones متمايزين في مقطع التربة:

- نطاق الاستنزاف (الغـسيل Zone of export (Leaching ونطـاق التـراكم أو الإضافة (الترسيب Zone of addition (Accumulation .

يحدث في نطاق الغسل، تراكم العناصر قليلة الذوبان، وذلك بسبب الاستنزاف المستمر للعناصر الذوابة وانتقالها إلى أسفل مقطع التربة Soil Profile

ويدعى هذا التراكم بالتراكم النسبي Relative accumulation، أما في نطاق الإضافة فيحدث تراكم للمواد الذائبة المنقولة، ويدعى تراكم هذه المواد بالتراكم القطعي أو التراكم المطلق Absolute accumulation.

وتتأثر عمليات الاستنزاف والإضافة بعدة عوامل منها:

١- المناخ الذي يحدد بشكل أساسي مدى توافر الماء الذي يشكل واسطة النقل الأساسية للمواد المختلفة.

٢- الوضع التضاريسي.

٣- طبيعة المواد الأم للتربة أو تحت التربة.

وتتحدد طبيعة الفلزات المتكونة أو المتشكلة بنسب تواجد العناصر في النطاقين من جهة، وبطبيعة هذه العناصر ونزوعها للاتحاد بعضها مع بعضها الآخر من جهة ثانية.

آ - نطاق الاستنزاف Zone of export:

يحدث في هذا النطاق خلال عمليات التجوية غسيل العناصر سهلة الذوبان ونقلها إلى عمق معين في مقطع التربة، بينما تتراكم العناصر الأقل ذوباناً مثل السيليكون والألمنيوم والحديد، تبدي هذه العناصر الثلاثة اختلافاً في درجة ذوبانها فالسيليكون أكثر ذوباناً من الألمنيوم والأخير أكثر ذوباناً من الحديد.

في ظروف تكون فيها درجة الـ PH الوسط منخفضة بسبب وجود كميات كبيرة من المواد العضوية، فإنه يحصل ربط لكل من الحديد والألمنيوم على شكل معقدات عضوية - معدنية، بينما يتم نقل عنصر السيليكون إلى أسفل المقطع.

خلال عملية تصنيع الفلزات الثانوية، يميل عنصرا الألمنيوم والسيليكون إلى الاتحاد معاً لتشكيل سيليكات الألمنيوم، بينما يميل عنصر الحديد لتشكيل فلزات ثانوية تحوي الحديد فقط أو أن يكون هو السائد فيها(مثل أكاسيد الحديد المختلفة).

عند عدم حدوث ربط للألمنيوم بالمكونات العضوية، فإن طبيعة الفلزات الثانوية المتشكلة في التربة، تعتمد على درجة تركيز عنصر السيليكون، وهنا يمكن تمييز الحالات الثلاث التالية:

- إذا كانت عمليات الغسل بطيئة جداً بسبب نقص كمية المياه، كما هي الحال في المناخ الجاف، تتشكل فلزات ثانوية تكون فيها نسبة SiO_2/Al_2O_3 نحو 4 ، وهذه الظروف تعطي دفعاً لتصنيع الفلزات 1:2 ذات المسافة القاعدية المتغيرة(فلزات السمكتيت والفرميكوليت وكذلك الفلزات الليفية مثل الباليغروسكيت).
- في ظروف تجوية شديدة نسبياً، يحدث غسل كامل تقريباً للقواعد والقواعد الأرضية وغسل جزئي للسيليكون، كما هي الحال في المناخ المعتدل أو الرطب، بحيث تكون كمية السيليكون المتبقية كافية فقط لتكوين سيليكات ألمنيوم من النموذج 1:1، وعندها تكون النسبة SiO_2/Al_2O_3 تساوي 2 (تشكل الكاؤولينيت).
- أما في ظروف تجوية شديدة، فإنه يحدث غسل كامل للقواعد والقواعد الأرضية والسيليكون، وفي هذه الحالة تكون الظروف ملائمة لتشكل ماءات الألمنيوم مثل الجبسيت وأحياناً البوهميت.

ب ــ نطاق الإضافة Zone of addition :

تتراكم في هذا النطاق المواد الأكثر ذوباناً وهي القواعد والقواعد الأرضية والسيليكون إضافة لبعض الأنيونات Anions ، تعطي هذه الظروف الفرصة لتشكل فلزات طين تحتوي في شبكتها البلورية على كميات قليلة من الألمنيوم(خاصة لسمكتيت) وفي ظروف تكون فيها PH الوسط مرتفعة، يمكن أن تتشكل الفلزات الليفية.

الفصل الثاني

أسس بناء السيليكات

Basic structure of silicates

Damascus University


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني

أسس بناء السيليكات
Basic structure of silicates

٢-١- التناسق Coordination :

تنطوي فكرة التناسق أساساً على تشكيل مركب متناسق قائم على تكوين روابط كيميائية، تمنح زوجاً من الإلكترونات إلى أيون مركزي يدعى مركز التناسق Coordination center. إن عدد الروابط الموجودة في مركب تناسق لا يعتمد فقط على عدد الأزواج الإلكترونية التي يستقبلها مركز التناسق فحسب، بل على حجم الفراغ أو الحيز اللازم كي تتوضع فيه الرابطات وتحيط بالذرة المركزية إحاطة كاملة، وهو عامل تعبر عنه النسبة حجم الذرة المركزية / حجم الرباط ، إذ كلما صغرت هذه النسبة صغر عدد الرابطات اللازم لإعطاء وحدة التناسق.

ولا تختلف فكرة التناسق الأولية عن الراهنة بشيء، سوى في طبيعة الرابطة المميزة للتجمع التي قد تأتي أيونية بقدر ما هي تشاركية، وذلك تبعاً للطبيعة الكيميا ــ كهربائية لعناصر التجمع التي تشكل الشبكة البلورية.

ومؤخراً تم توسيع فكرة التناسق لتدل على عدد الأيونات التي تحيط بأيون مخالف لها بالشحنة، مع عدم وجود روابط كيميائية.

مثال: يحاط عنصر السيليكون Si^{+4} بأربع ذرات من الأكسجين في شبكة السيليكات، يقال في هذه الحال، إن لكاتيون السيليكون عدد تناسق رباعياً، وفي مثال آخر: يحاط كاتيون الألمنيوم Al^{+3} ، إما بأربع ذرات من الأكسجين أو بست ذرات من الهيدروكسيل، لذلك فإن عدد التناسق Coordination number للألمنيوم هو رباعي أو سداسي على التوالي.

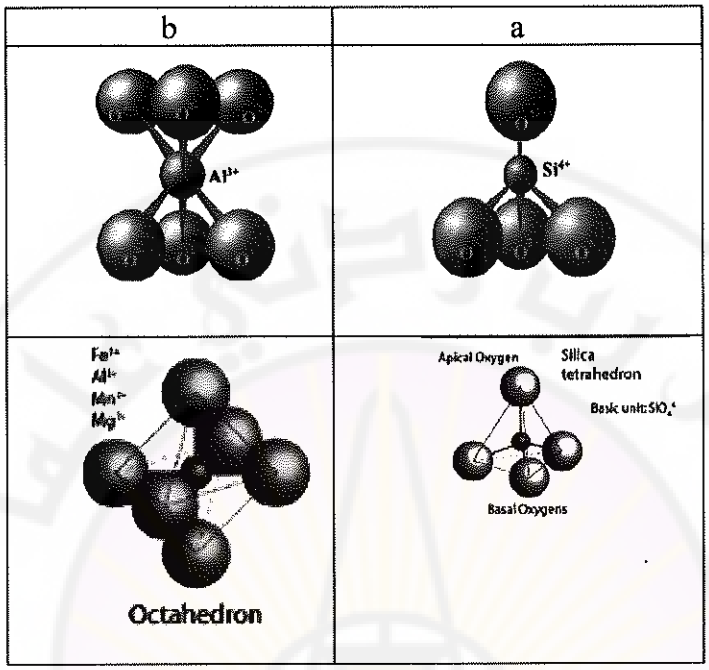
وسيليكات التربة بما فيها فلزات الطين ليست إلا تجمعات لعناصر عالية الكهراسلبية(الأنيونات) وأخرى منخفضة الكهراسلبية (الكاتيونات)، والمركبات تلك ليست إلا أكاسيد تقوم فيها ذرات الأكسجين بتعيين الملامح الأساسية للبنية، فهي بتداعيها ترسم هيكل البنية وتحدد مواقع استقبال الكاتيونات.

الأوكسجين بصفاته الفيزيا-كيميائية وخاصة الكهربائية السالبة التي يتمتع بها، يعد لدى دراسة الفلزات Minerals، مرجع التناسق Coordination reference ، حيث يدل عدد التناسق على عدد ذرات الأوكسجين التي تحيط بكاتيون واحد، جدول رقم (٢-١).

جدول(٢-١)، يبين عدد التناسق لبعض الأيونات المهمة في التربة .

العنصر	عدد التناسق
O^{-2}	-
F^{-}	-
Cl^{-}	-
Si^{+4}	4
Al^{+3}	6,4
Fe^{+3}	4,6
Ti^{+4}	6
Fe^{+2}	6
Mn^{+2}	6
Na^{+}	(12)8
Ca^{+2}	(12)8
K^{+}	12,8
Ba^{+2}	12,8
Rb^{+}	12,8

وانطلاقاً من فكرة التناسق فإن ذرات الأوكسجين التي تحيط بكاتيون معين، تشكل وحدة هندسية Geometrical unit يتوقف شكلها على عدد التناسق، فالتناسق الرباعي(عدد التناسق ٤)، كما في SiO_4 يشكل وحدة هندسية رباعية الوجوه(هرم Terahedron ، حيث يشكل السيليكون مركز التناسق، الذي ينشأ عن توزع ذرات الأوكسجين على زوايا الهرم الأربع، وللتناسق السداسي وحدة هندسية لها شكل ثمانية وجوه Octahedron (هرمين مشتركين بقاعدة واحدة)، كما في $Al^{+3}(OH)_6$ أو $Mg^{+2}(OH)_6$، حيث يتوضع Al^{+3} أو Mg^{+2} في المركز، فيما تتوزع مجاميع OH الست على الزوايا الست لثماني الوجوه، الشكل(٢-١).



الشكل(٢-١) رسم تخطيطي: a ــ رباعية وجوه، b ــ ثمانية وجوه

يجب التذكر دائماً أن متعدد الوجوه Polyhedron، يتكون بشكل كامل تقريباً من تلامس ذرات الأوكسجين، التي تترك فيما بينها فراغات صغيرة· تتوضع فيها الكاتيونات المناسبة· تعد رباعيات الوجوه وثمانيات الوجوه الوحدات البنيوية الأساسية لمعظم فلزات الطين في التربة·

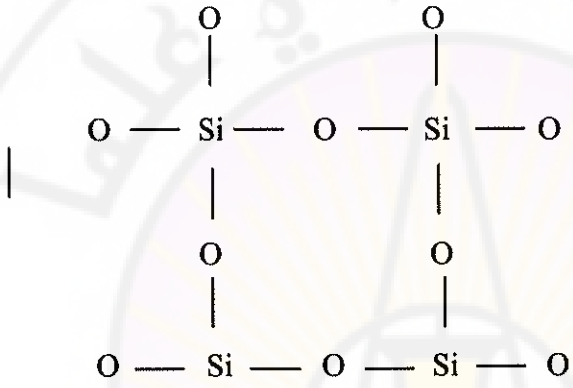
٢-٢- الشحنات الكهربائية والارتباط بين السيليكات
Electrical charge and bounding of silicates:

٢-١-١- الشحنات وتوزعها The charge and it is repartition :

يعد التوازن الكهربائي الشرط الأساسي الثاني الذي يقوم عليه استقرار الشبكة البلورية، ويقتضي بالطبع أن يتساوى مجموع الشحنات السالبة مع مجموع الشحنات الموجبة في الشبكة، أي أن تكون البنية متعادلة كهربائياً Electrically neutral.

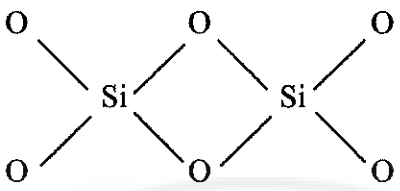
وفي هذا التوازن، يفترض أن يقوم كل أيون بمعادلة(تعديل) مقدار من الشحنة المعاكسة، بحيث تتوزع فيه الشحنة بصورة متجانسة على الروابط التي ينتمي الأيون من خلالها إلى التجمع.

فالكاتيون المركزي لمتعدد الوجوه يوزع شحنته بصورة متساوية على الأنيونات المحيطة به دون أن يشبع تكافؤاتها إشباعاً تاماً، الأمر الذي يتم بوساطة الكاتيونات المركزية لمتعددات الوجوه المجاورة كما في المثال الآتي(ارتباط السيليكات في رباعيات الوجوه).



حيث يقوم Si^{4+} رباعي التكافؤ بإشباع شحنة واحدة من شحنتي الأوكسجين لكل ذرة من ذرات الأوكسجين الأربع في رباعي الوجوه، فيما يقوم Si^{4+} رباعي وجوه مجاور بتعديل الشحنة الثانية المتبقية ممثلاً بذلك الصورة التي يتحقق على منوالها التعادل الكهربائي للشبكة البلورية اللامتناهية.

إن رباعية وجوه السيليكات ذات الشحنة العالية، يمكن لها أن تشارك بزواياها وليس بحروفها، بمعنى أن ذرتين O_2 لا يمكن لها أن ترتبط بنفس ذرتي Si:



هذا البناء غير مستقر.

يعبر هذا المثال عن القاعدة الأساسية التي يصاغ عليها التوازن الكهربائي للشبكات البلورية كافة. وإن جاءت الصيغة محورة في الكثير من الأحيان تحت وطأة الاستبدال المتماثل الشكل Isomorphous substitution ، الذي يعتري الشبكة البلورية، حيث تلجأ الشبكة البلورية إلى استكمال توازنها بطرق أخرى كالادمصاص الأيوني فاستبدال Si^{4+} في المثال السابق بـ Al^{3+} أو Fe^{3+} يخلف شحنة كهربائية سالبة تعدل بادمصاص الكاتيون المناسب.

٢-٢-٢- الاستبدال المتماثل Isomorphous Substitution:

الاستبدال المتماثل هو الحادث الفيزيا- كيميائي الذي يعين مقدرة عنصر على استبدال عنصر آخر في الشبكة البلورية، ويتم في المقام الأول وفقاً لقواعد غولد شميت المبينة على النموذج الأيوني للشبكة البلورية وهي:

١ - عندما يدخل ايونان متماثلان في تكافؤهما وفي نصف قطرهما الأيوني، في تنافس لشغل موقع كيما - بلوري، فإن محتوى الفلز منهما يتناسب طرداً مع نسبتهما في وسط التبلور، أي أن نسبتهما تبقى ثابتة في المركب.

٢ - إذا كان الأيونان متماثلين في الشحنة ومختلفين في نصف القطر الأيوني، فالأصغر منهما يدخل البناء البلوري بسهولة أكبر، شريطة أن لا يتجاوز الفرق بينهما ١٥% (مقارنة مع الايون الأصغر)، ذلك أن الاستبدال بينهما يصبح غير ممكن عندما يتجاوز الفرق هذه القيمة الحدية.

٣ - إذا ما كان الأيونان متماثلين بالقطر الأيوني ومختلفين بالشحنة فإن البناء البلوري يفضل أقواهما شحنة.

تعد القواعد السابقة أساساً لوضع الإطار العام لظاهرة الاستبدال المتماثل التي تقوم على الأسس الآتية:

- التشابه في القطر الأيوني وفي رقم التناسق.
- التشابه في التكافؤ وفي البنية الالكترونية، ولكن على الرغم من أن هذا التشابه يسهل من الاستبدال، فإنه ليس شرطاً أساسياً، بسبب تعدد الأمثلة التي تخرج عن القاعدة، وربما كانت السيليكات من أكثرها انتشاراً (استبدال بـ (Si) (Al) في الشريحة الرباعية واستبدال (Mg) (Al) في فلزات الطين الثلاثية)، على أن لا يتجاوز الفرق بين تكافؤي الاستبدال شحنة واحدة في غالب الأحيان.
- تشابه العنصرين بالكهراسلبية، وتشابه شكل متعددي الوجوه الناتجين عنهما أيضاً.
- يتأثر الاستبدال بدرجات الحرارة والضغوط، فالاستبدال يمكن أن يكون تاماً على درجات حرارة وضغوط مرتفعة، في الوقت الذي يبقى فيه جزئياً على درجات حرارة وضغوط منخفضة.
- إن شدة الاستبدال وتكراره يتوقفان أيضاً على طبيعة البنية الكيميائية فبعض البنى تظهر قدرة متميزة على الاستبدال.

استناداً إلى ما تقدم يمكن لبعض الكاتيونات أن تستبدل كاتيونات أخرى من مواقعها وإن اختلفت عنها في التكافؤ شريطة اقترابهما في القطر ورقم التناسق (جدول ٢-٢).

ويعد استبدال بـ Si ، Al في رباعيات الوجوه واستبدال بـ Al ، Mg في ثمانيات الوجوه أو العكس من الأمثلة الشائعة التي تعد مصدراً مباشراً لشحنات كهربائية سالبة أو موجبة، تظهر محصلتهما في فلزات الطين على صورة شحنة كهربائية سالبة دائمة Permanent charge ، تُعدل بادمصاص كاتيونات تنتظم لتشكل ما يسمى بالطبقة الأيونية المزدوجة Ionic double Layer .

ـ جدول(٢-٢)،يبين نصف قطر بعض العناصر المهمة في التربة، والنسبة بينها وبين O^{-2} والعنصر:

العنصر	نصف القطر nm	نسبة نصف القطر إلى نصف قطر الأوكسجين
O^{-2}	0.140	-
F^{-}	0.133	-
Cl^{-}	0.181	-
Si^{+4}	0.039	0.278
Al^{+3}	0.051	0.364
Fe^{+3}	0.064	0.457
Mg^{+2}	0.066	0.471
Ti^{+4}	0.068	0.486
Fe^{+2}	0.074	0.529
Mn^{+2}	0.080	0.571
Na^{+}	0.097	0.693
Ca^{+2}	0.099	0.707
K^{+}	0.133	0.950
Ba^{+2}	0.134	0.957
Rb^{+}	0.147	1.050

٢-٢-٣- ارتباط رباعيات وجوه السيليكات بعضها مع البعض الآخر Linking of silica Tetrahedra:

يمكن لرباعيات الوجوه أن تتشارك بزواياها فقط، إلا أن عدد الزوايا المشاركة غير ثابت، وأن عدد الزوايا المشاركة وطريقة مشاركتها، تحدد إلى حد بعيد طبيعة السيليكات الناتجة وشكلها:(الشكل ٢-٢)

ـ رباعية وجوه معزولة Isolated Tetrahedron:

يتم معادلة الشحنة في هذه الحالة، بوساطة كاتيونات موجودة في الوسط المحيط· تدعى هذه السيليكات: Orthosilicates أو Nesosilicates وصيغتها العامة SiO_4^{-4}، مثل الألوفين $(Mg, Fe)\ SiO_4$.

وقد ترتبط رباعيتا وجوه معاً، لتشكل رباعيات وجوه مزدوجة تدعى Sorosilicates كما هي الحال في فلز الهيميمورفيت· أو تتجمع على شكل حلقة، وعندها تدعى بالسيليكات الحلقية Ringsilicates مثل فلز التورمالين·

ـ رباعيات وجوه تشترك بزاويتين:

وتدعى بالسيليكات الشريطية أو السلسلية Chain silicates، ومنها نوعان:

أ- سلسلة بسيطة Simple Chain، مثالها البيروكسينات وصيغتها العامة SiO_3^{-2}.

ب- سلسلة مزدوجة Double chain، ومثالها فلزات الأمفيبول وصيغتها العامة $Si_4O_{11}^{-6}$.

ـ رباعيات وجوه تشترك بثلاث زوايا:

لتشكل صفائح أو رقائق ثنائية الأبعاد Bidimensional، وصيغتها العامة $Si_2O_5^{-2}$ ، تدعى هذه البنية بالسيليكات الورقية Phyllosilicates أو السيليكات الطبقية Layersilicates ، تتضمن هذه المجموعة معظم فلزات الطين المهمة في التربة.

ـ رباعيات وجوه تشترك بأربع زوايا:

لتشكل بنية متعادلة كهربائياً، صيغتها العامة SiO_2، وتدعى بالسيليكات الهيكلية Frame work silicates.

يمكن تمثيل الأشكال المختلفة لرباعيات الوجوه على شكل سلسلة، اعتماداً على عدد ذرات الأوكسجين وما يقابلها من ذرات السيليكون:

$$SiO_4^{-4} \rightarrow Si_2O_7^{-6} \rightarrow SiO_3^{-2} \rightarrow Si_4O_{11}^{-6} \rightarrow Si_2O_5^{-2} \rightarrow SiO_2$$

تتوافق هذه السلسلة مع درجة المقاومة للتجوية، حيث تزداد المقاومة للتجوية كلما نقصت نسبة ذرات الأوكسجين إلى ذرات السيليكون.

٢-٣- بنية سيليكات التربة وتركيبها

Structure and composition of soil silicates:

السيليكات عامة فلزات تحتوي في شبكتها البلورية على نسبة مهمة من عنصر السيليكون في رباعيات الوجوه، وعلى عناصر أخرى(أهمها الألمنيوم) في المواقع الرباعية أو الثمانية أو في مواقع أخرى وهي تصنف في مجموعات عدة، اعتماداً على طريقة ارتباط رباعيات الوجوه فيما بينها وما ينشأ عن ذلك من تعقيد في البنية، الشكل(٢-٢).

٢-٣-١- السيليكات المعزولة Isolated silicates:

أهمها الاولفين Olivine والزركون Zercon والكارنت Garnite والإبيبدوت Epidote، فرباعيات وجوه السيليكا SiO_4^{-4} تعدل فائض الشحنة السالبة بـ Fe^{+2} أو Mg^{+2} أو كلتيهما معاً، وتتوضع هذه الكاتيونات وفقاً لتنسيق سداسي، ويمكن تمييز فلزين رئيسين من الاولفين هما:

الفورستريت **Forstrite**:

$$(Mg)_2\ SiO_4$$

والفاياليت **Fayalite**:

$$(Fe)_2\ SiO_4$$

ويمكن لرباعيتي وجوه أن ترتبطا معاً لتشكلا رباعيات مزدوجة معزولة كما هي الحال في فلز الهيميمورفيت **Hemimorphite** وصيغته:

$$Zn_4\ (Si_2O_7)\ (OH)_2\ H_2O$$

٢-٣-٢- السيليكات الحلقية Ring silicates:

لهذه المجموعة بناء حلقي مؤلف من ست رباعيات وجوه، وتحتوي على عنصر البور B في مركب تناسق ثلاثي، وعلى أيونات Na, Ca, Fe, Al ومجموعة OH. من أهم فلزات هذه المجموعة: التورمالين **Tourmaline** وصيغته:

$$Na\ (Mg,\ Fe)_3\ Al_6\ B_3\ Si_6\ O_{18}$$

٢-٣-٣- السيليكات الشريطية أو السلسلية Chain silicates:

وتقسم إلى مجموعتين:

١- السيليكات السلسلية البسيطة Simple chain silicates أو السيليكات وحيدة السلسلة:

وتمثل بالبيروكسين Pyroxenes ، حيث ترتبط رباعيات الوجوه جانبياً بوساطة الكاتيونات Na,Ca,Mg,Fe ،التي تقبل الإزاحة فيما بينها،وتتوضع في ثمانيات وجوه أو في متعددات وجوه غير منتظمة، ثمانية التنسيق، تحتوي معظم فلزات البيروكسين على كميات

عالية من الحديد والمغنزيوم اللذين قد تصل نسبة MgO أو FeO فيهما إلى 30 % ، يعد فلز الأوجيت **Augite**:

$$Ca(Mg, Fe)(SiO_3)_2 [(Al, Fe)_2O_3]$$

من أهم فلزات هذه المجموعة، ويتميز بمحتواه العالي من CaO بنسبة قد تصل إلى 20 %، ومن فلزات البيروكسين فلز الإنستايت **Enstatite** أيضاً:

$$Mg\ Si\ O_3$$

٢- سيليكات مزدوجة السلسلة Double Chain silicates:

تضم هذه المجموعة فلزات الأمفيبول Amphiboles، وترتبط فيها السلاسل معاً بوساطة مستويات من الكاتيونات موجودة في رباعيات وجوه (Mg, Fe) أو في متعدد وجوه غير منتظم (Ca)، إضافة إلى وجود بعض مجموعات من الهيدروكسيل (OH)، من فلزات الأمفيبول المهمة، فلز الهورنبلند **Hornblende** وصيغته:

$$Ca_2(Mg, Fe, Al)_5(OH)_2 [(Si, Al)_2O_{11}]_2$$

٢-٣-٤- السيليكات الهيكلية Frame Work silicates:

تتميز البنية الأساسية لهذه السيليكات بوجود هيكل عام من رباعيات وجوه $(Si, Al)O_4$، وتشارك كل ذرة أوكسجين بين رباعيتي وجوه، تتعادل الشحنة الزائدة بوساطة كاتيونات تتوضع في فراغات موجودة ضمن الهيكل العام، وغالباً ما تكون هذه الكاتيونات من K, Na, Ca.

يمكن تقسيم السيليكات الهيكلية إلى عدة مجموعات وذلك تبعاً لحالة الاستبدال المتماثل من جهة، وإلى درجة تراص البنية من جهة ثانية.

أ ـ مجموعة الفلدسبارات Feldspars group:

تتميز هذه المجموعة بانخفاض الاستبدال المتماثل فيها وبتراص بنيتها، وتحتوي على الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم، في فراغات ضيقة نسبياً، ومحاطة بأوكسجين البنية، واستبدال أي من Na و K بالكالسيوم في هذه المجموعة يشير إلى تغيير موافق للنسبة Al / Si.

ب ــ مجموعة الفلدسبارتويد أو أشباه الفلدسبار Feldsparthoids group:

وفيها يصبح النصف من رباعيات الوجوه آلوميني، ولها بنية مفتوحة قياساً بالمجموعة السابقة، تتوضع فيها الكاتيونات Na , K, Ca في فراغات كبيرة نسبياً ومتصلة فيما بينها داخلياً، كما أن لفلزات الفلدسبارتويد قنوات اتصال مع المحيط تستعمل في إضافة بعض الكاتيونات أو إزاحتها وفي تمرير بعض الجزئيات الصغيرة، دون أن يخل ذلك في البنية العامة، وتجدر الإشارة هنا إلى أن ارتفاع نسبة الألمنيوم والبنية المفتوحة يجعلان فلزات هذه المجموعة أكثر عرضة للتجوية والتأثر بالأحماض قياساً بمجموعة الفلدسبارات.

جـ ــ مجموعة الزيوليت Ziolite group:

تتشابه البنية العامة لهذه المجموعة مع بنية الفلدسبارتويد، إلا أنها أكثر انفتاحاً فهي تحوي فراغات وأقنية أكبر نسبياً، ومن الجدير بالملاحظة أن المجموعات الثلاث آنفة الذكر تختلف في أوزانها النوعية فهي:

2.6 – 2.7 للفلدسبار و 2.3 – 2.5 للفلدسبارتويد و 2 – 2.3 للزيوليت، وهذا الاختلاف إنعكاس لاختلاف البنية وانفتاحها.

تعد الفلدسبارات من الفلزات المهمة الواسعة الانتشار في التربة، ويمكن تصنيفها حسب نظام Ternary إلى المجموعات الثلاث الآتية:

- فلدسبار صودي(ألبيت Albite) وصيغته: $Na\ Al\ Si_3\ O_8$
- فلدسبار بوتاسي(أورثوكلاز Orthoclase) وصيغته: $K\ Al\ Si_3\ O_8$
- فلدسبار كلسي(أنورثيت Anorthite) وصيغته: $Ca\ Al_2\ Si_2\ O_8$

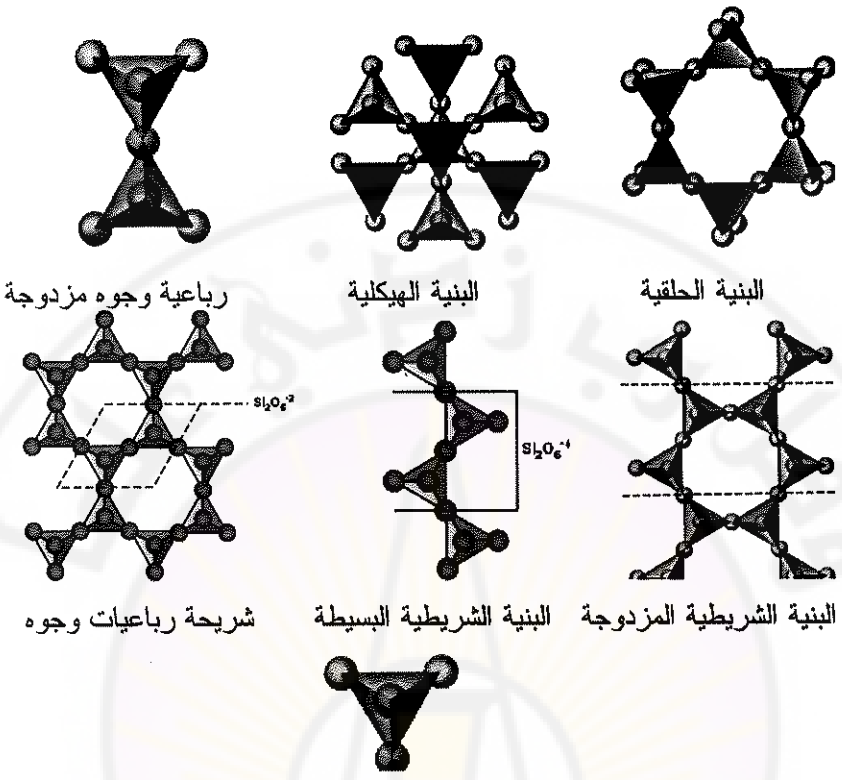
ولهذه الفلزات التراكيب الكيميائية الآتية:

$Na\ Al\ Si_3\ O_8$		$K\ Al\ Si_3\ O_8$		$Ca\ Al_2\ Si_2\ O_8$	
11.8 %	Na_2O	16.5 %	K_2O	20 %	CaO
19.5 %	Al_2O_3	18.5 %	Al_2O_3	37 %	Al_2O_3
68.7 %	SiO_2	65 %	SiO_2	43 %	SiO_2

والنسب المولية M . R:
SiO_2
Al_2O_3 هي : 2 , 6 , 6 لكل من الأنورثيت والأورثوكلاز والألبيت على التوالي.

تظهر الصيغة الكيميائية السابقة، أنه تم استبدال للسيليكون في كل واحدة من أربع رباعيات وجوه، وأشبعت الشحنة الزائدة بالصوديوم والبوتاسيوم في فلزي الألبيت والأورثوكلاز على التوالي، إلا أن نسبة الاستبدال السابقة ارتفعت في الأنورثيت حيث استبدلت ذرتا سيليكون بذرتي ألمنيوم من كل أربع رباعيات وجوه، أما الشحنتان الفائضتان فتشبعان بالكالسيوم.

تنتمي فلزات الفلدسبار في التربة إلى مجموعتي الرمل والسلت غالباً وربما الطين أيضاً، ولكن بكمية قليلة جداً، ونظراً لاختلاف بنيتها الهيكلية عن البنية الورقية لفلزات الطين، فهي لا تستطيع أن تسهم في تشكيل الأخيرة إلا بعد تحطيمها وتحرير عناصرها الأولية، التي قد تتحد من جديد Reunited أو تدخل في بنية ورقية سابقة.



الشكل(٢-٢) يبين أشكال البنى المختلفة الناجمة عن ارتباط رباعيات الوجوه معاً

٢-٣-٥- سيليكات الطين الورقية أو الطبقية Layer or Phyllosilicates:

تشكل سيليكات الطين الورقية الجزء الأكبر من فلزات الطين في التربة، وهي رقائق ثنائية البعد Bidimensional layers ولها الصيغة العامة الآتية:

$$Si_2O_5 \text{ أو } Z_2O_5$$

وتتمايز بنيتها إلى العناصر التالية، وذلك حسب CMS 1971 (ثبت في Dixon 1977):

١- المستوى Plane: للتعبير عن توضع الذرات المتماثلة جانبياً في رباعيات الوجوه وثمانيات الوجوه، مثال: ذرات الأوكسجين في رباعيات الوجوه.

٢- الشريحة Sheet: تدل على مجموعة مستويات، مثال: مستوى الهيدروكسيل ومستوى الألومنيوم في ثمانيات الوجوه.

٣- الطبقة Layer: للتعبير عن اتحاد شريحتين أو أكثر، لتشكل الوحدة البنيوية للفلز.

٤- الفراغ بين الطبقات Interlayer space أو الفراغ البيني: ويقصد به الفراغ الموجود بين طبقتين متتاليتين.

٢-٣-٥-١- المبادئ الأساسية للبنية General principles of the structure:

٢-٣-٥-١-١- شريحة رباعيات الوجوه Tetrahedral sheet:

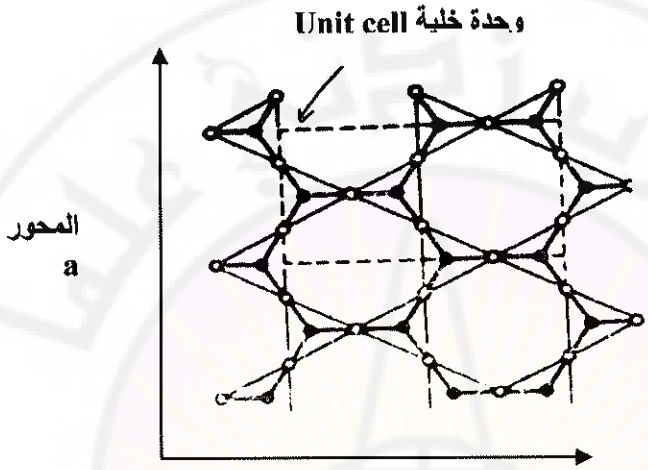
تتألف شريحة رباعيات الوجوه من رباعيات وجوه SiO_4، تتوضع هذه الرباعيات، بحيث تشارك ثلاث ذرات من O^{-2} في رباعية الوجوه، مع ثلاث رباعيات وجوه مجاورة، الشكل(٢-٣)، تكون أنيونات الأوكسجين المشاركة جميعها في نفس المستوى (المستوى a b من البناء البلوري)، وهذه الذرات من الأوكسجين تدعى بالأوكسجين القاعدي Basal Oxygens ، يجب ملاحظة أن كل رباعيتي وجوه متجانسة تشارك بأوكسجين واحد. أما بالنسبة للأوكسجين الرابع في كل رباعية وجوه، فإنه لا يشارك في رباعية وجوه أخرى بل يبقى حراً ليرتبط مع متعدد وجوه آخر، الأوكسجين غير المشارك يطلق عليه اسم الأوكسجين الساند أو الداعم Apical Oxygens .

وهذا التجمع (التكاثف) Polymerization لرباعيات الوجوه، يأخذ مكانه في اتجاهين فقط، ليعطي الشكل البنائي المميز لهذه الفلزات.

وكما يظهر من الشكل(٢-٣) أن التجمع يتمايز إلى وحدات سداسية تتألف كل منها من رباعيات وجوه ست، تنتظم فيما بينها لتشكل فجوات سداسية Hexagonal cavities.

ويسمى المستوى الذي يدخل في تشكيل رباعيات الوجوه بالمستوى a و b للبناء البلوري، حيث يعد a و b بعدين بلوريين يكافئ كل منهما في اتجاهه ما يسمى بالعقدة البلورية

التي تعرّف على أنها المسافة الفاصلة بين ذرتين أو جزئين، وإن المقاييس الأولية a و b هما أقصر مسافة على المحورين a و b حتى نجد O^{--} أو Si آخر، ويساوي المحور a حوالي 9 A° أما المحور b فيساوي 5.1 A° تقريباً.



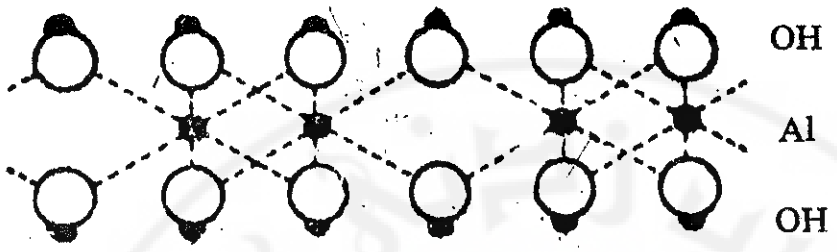
الشكل(٢-٣)، رسم تخطيطي يبين تجمع رباعيات الوجوه وتشكل الفجوات السداسية

٢-٣-٥-١-٢- شريحة ثمانيات الوجوه Octahedral sheet:

يوجد في شريحة ثمانية وجوه منفصلة، مثل بلورة الجبسيت، ذات الصيغة العامة $Al(OH)_3$، كل Al^{+3} محاط بست ذرات من الأوكسجين O^{--}، ويوجد أيضاً عدد من ذرات الهيدروجين H^{+} مساوٍ عدد ذرات الأوكسجين، لذلك يفضل القول إن كل ذرة ألمنيوم محاطة بست جزيئات من الهيدروكسيل OH^{-} ، بخاصة أن حجمها قريب جداً من حجم ذرة الأوكسجين، تتوضع كل ذرة ألمنيوم بين مستويين من الهيدروكسيل، كيف يتم التوازن الكهربائي في هذه الحالة ؟

تحاط كل ذرة Al^{+3} بست جزيئات من OH^{-} ، وبما أن عدد شحنات الألومنيوم يساوي ثلاث شحنات موجبة، فإن التوازن الكهربائي يحصل فقط عندما ترتبط كل OH بذرة ألمنيوم

ثانية، كي يعادل النصف المتبقي من الشحنة السالبة، بمعنى أن ترتبط كل جزيئة OH^- بذرتي Al^+ كما في الشكل(٢-٤).

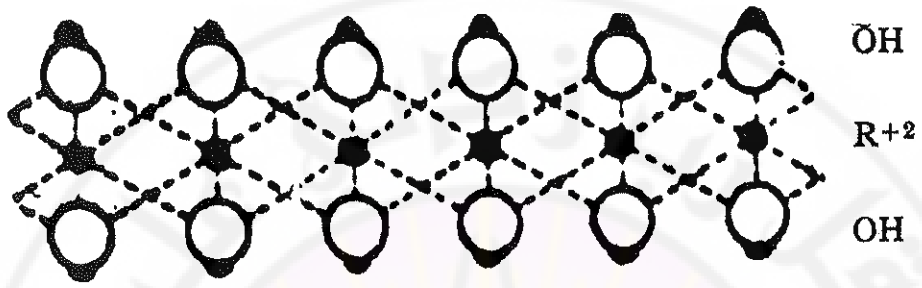


الشكل(٢-٤)، يبين بنية ثمانية وجوه ألومينية

يلاحظ من الشكل السابق أن كل مستويين من OH^- ، يشكلان ثمانيات وجوه مستمرة، وليس كل زوايا ثمانيات وجوه OH^- مشغولة بالألمنيوم (أو أي كاتيون ثلاثي التكافؤ)، بل اثنتان فقط من أصل كل ثلاث ثمانيات وجوه تكون مشغولة بالألمنيوم، كما هو واضح من الشكل السابق، يدعى هذا النموذج البنائي لثمانيات الوجوه، بثمانيات وجوه ثنائية Dioctahedra .

أما في شريحة منفصلة من ثمانيات وجوه المغنزيوم brucite sheet ذات الصيغة $Mg(OH)_2$ ، فيوجد مستويان من OH^- متوضعان فوق بعضهما بعضاً، ونتيجة لرقم التناسق للـ Mg^{++} فإن كل ذرة مغنزيوم محاطة بست جزيئات من الهيدروكسيل، إن محصلة توزيع الشحنات هي ست شحنات سالبة لجزيئات الهيدروكسيل مقابل شحنتين موجبتين للمغنزيوم، هذا يعني أن الشحنات الموجبة للمغنزيوم، تعادل فقط ثلث الشحنات السالبة للهيدروكسيل، حتى يحصل التوازن الكهربائي، فإنه يجب أن ترتبط كل جزيئة OH^- بثلاث ذرات من Mg، وبمقارنة هذه الحالة، مع حالة الألمنيوم السابقة، نلاحظ أنه في طبقة البروسيت، وحتى يحصل التعادل الكهربائي، يجب أن تكون المواقع الثلاثة في شريحة الثمانيات، مشغولة بذرات المغنزيوم، تدعى بنية ثمانيات الوجوه المتشكلة، عند انشغال المواقع الثلاثة بثمانيات وجوه ثلاثية Trioctahedra الشكل(٢-٥).

يمكن القول، أنه عندما تكون شريحة ثمانيات الوجوه مشغولة بكاتيونات ثنائية التكافؤ تتشكل ثمانيات وجوه ثلاثية، وعندما تكون مشغولة بكاتيونات ثلاثية التكافؤ تتشكل ثمانيات وجوه ثنائية.



الشكل(٢-٥)، رسم تخطيطي لشريحة ثمانيات وجوه ثلاثية

٢-٣-٥-٢- الارتباط بين شرائح ثمانيات الوجوه وشرائح رباعيات الوجوه:

لقد لاحظنا أن الزوايا العليا لرباعيات الوجوه، غير مرتبطة برباعيات وجوه أخرى، وإذا افترضنا أنه قد أزيلت بعض شوارد الهيدروجين من شريحة ثمانيات الوجوه، فإن الأوكسجين المتبقي يشكل قمة Apex لرباعية الوجوه، وهذا الأوكسجين يعود أصلاً لثمانيات الوجوه، وبهذه الطريقة ترتبط رباعيات الوجوه مع ثمانيات الوجوه.

اعتماداً على عدد الشرائح(من رباعيات وثمانيات وجوه) يمكن أن نميز البنى الآتية:

- إذا تم ارتباط شريحة ثمانيات الوجوه من جهة واحدة مع شريحة رباعيات الوجوه، نحصل على بنية مؤلفة من شريحتين ويرمز لها بـ 1:1 أي شريحة رباعيات وجوه وشريحة ثمانيات وجوه.
- إذا تم الارتباط على جهتي شريحة ثمانيات الوجوه مع شريحتين من رباعيات الوجوه، تنتج بنية مؤلفة من ثلاث شرائح ويرمز لها بـ 1:2 ، أي شريحتي رباعيات وجوه مع شريحة ثمانيات وجوه.
- يوجد احتمال آخر لارتباط شرائح رباعيات الوجوه مع ثمانيات الوجوه، كأن تتحد طبقة من النموذج البنائي 1:2 مع شريحة ثمانيات وجوه ثلاثية والتي تدعى بشريحة الماءات

أو البرّوسيت، في هذه الحالة يعترض تتابع الطبقات 1:2 بدخول شريحة البروسيت، ينتج عن هذا النوع من الارتباط بنية يرمز لها بـ 1:1:2.

في حالة البنية 1:1، تتحدد الطبقة بمستوى من الأوكسجين من جهة ومستوى من OH من الجهة الثانية للطبقة.

بينما في البنية 1:2، يشكل مستوى الأوكسجين الحد الخارجي للطبقة من الجهتين.

هناك صفة مهمة أخرى وهي وجود فجوات سداسية Hexagonal cavities هذا يعني أنه لا يمكن لثمانيات الوجوه أن ترتبط مع رباعيات الوجوه في هذه النقاط، لذلك تحتفظ ثمانيات الوجوه بذرة الهيدروجين H^+ في هذه المواقع، وبالتالي يوجد دائماً جزيء OH^- فوق هذه الفراغات.

٢-٣-٥-٣- الصيغة البنائية للسيليكات الطبقية Structure formula of layer silicates:

من الصعب ملاحظة توزع الكاتيونات من خلال الصيغة الكيميائية للسيليكات الطبقية، لذلك يعبر عن بنية هذه السيليكات بالصيغة البنائية Structure formula حيث يمكن تبيان توزع الكاتيونات في الشرائح بشكل منفصل. تستخدم عادة الأرقام الرومانية IV و VI للدلالة على رباعيات الوجوه وثمانيات الوجوه على التوالي، في حين تتم كتابة ذرات الأوكسجين وجزيئات الهيدروكسيل والكاتيونات بشكل منفصل.

مثال، الصيغة البنائية للكاؤولينت:

١)	$6\ OH^-$	⟵	- 6
٢)	$4\ Al^{+3}$	⟵	+ 12
٣)	$4\ O^{--} + 2\ OH^-$	⟵	- 10
٤)	$4\ Si^{+4}$	⟵	+ 16
٥)	$6\ O^{--}$	⟵	- 12
			- 28 + 28

نجد أن مجموع الشحنات السالبة مساوٍ تماماً مجموع الشحنات الموجبة.

مثال آخر ، الصيغة البنائية للمسكوفيت:

$$(Si_6 Al_2)^{IV} (Al_4)^{VI} O_{20} (OH)_4 K_2$$

تتابع توزيع المستويات:

(١	K^+	⟵	+ 1
(٢	$6 O^{--}$	⟵	- 12
(٣	$3 Si^{+4} + Al^{+3}$	⟵	+ 15
(٤	$4 O^{--} + 2 OH^-$	⟵	- 10
(٥	$4 Al^{+3}$	⟵	+ 12
(٦	$4 O^{--} + 2 OH^-$	⟵	- 10
(٧	$3 Si^{+4} + Al^{+3}$	⟵	+ 15
(٨	$6 O^{--}$	⟵	- 12
(٩	K^+	⟵	+ 1
			- 44 + 44

مجموع الشحنات = الصفر

٢-٣-٥-٤- المسافة القاعدية Basal spacing:

لقد مر سابقاً، أن ارتباط شريحة من رباعيات الوجوه مع شريحة من ثمانيات الوجوه، أو ارتباط شريحتين من رباعيات الوجوه على جانبي شريحة من ثمانيات الوجوه، يشكل طبقة من السيليكات، تبقى هذه الطبقة بشكل منفصل في حالات نادرة جداً، لكن الحالة العامة والسائدة هي ارتباط هذه الطبقة مع طبقة أخرى(جانبياً) عن طريق جسر هيدروجيني Protonic bridge تدعى المسافة التي تفصل بين مستوى الأوكسجين في الطبقة ومستوى الأوكسجين الأسفل من الطبقة التالية، المسافة القاعدية Basal spacing ، وتقاس عادة بالأنغستروم A° ($1 A^\circ = 10^{-8}$ cm) ، ويفضل الآن استخدام النانوميتر ($1 A^\circ = 0.1$ nm).

تستخدم المسافة القاعدية للتعرف على الفلزات وتمييز بعضها من بعض، ويمكن أن تكون المسافة ثابتة(لا تتغير عند المعاملات المختلفة للفلز)، أو متغيرة حسب المعاملة التي يتعرض لها الفلز. وتستخدم أحياناً كثيرة لتصنيف الفلزات وبخاصة الفلزات الورقية.

٢-٣-٥-٥- تصنيف فلزات الطين Classification of clay minerals:

يمكن تصنيف فلزات الطين إلى عدة مجموعات، اعتماداً على قرائن مختلفة، سنستعرضها فيما يأتي:

أ ـ حسب الحالة البلورية:

١- فلزات طين متبلورة Crystalline clay minerals.

٢- فلزات طين غير متبلورة Non-crystalline or amorphous clay minerals.

ب ـ حسب الشكل الناتج عن ارتباط الوحدات البنيوية:

١- فلزات طين ذات بنية طبقية Layer clay minerals.

وتسمى أيضاً السيليكات الورقية أو الطبقية Layer or phyllosilicates .

٢- فلزات طين ذات بنية ليفية Fibrous clay minerals.

يمكن تقسيم فلزات الطين ذات البنية الطبقية إلى عدة مجموعات، وذلك حسب القرائن التالية:

١- حسب عدد الشرائح:

- فلزات مؤلفة من شريحتين: 1:1.
- فلزات مؤلفة من ثلاث شرائح: 1:2.
- فلزات مؤلفة من أربع شرائح: 1:1:2.

٢- حسب المسافة القاعدية:

- فلزات ذات مسافة قاعدية تساوي $7\ A^{\circ}$.
- فلزات ذات مسافة قاعدية تساوي $10\ A^{\circ}$.
- فلزات ذات مسافة قاعدية تساوي $14\ A^{\circ}$.

٣- حسب الاستبدال المتماثل:

- فلزات ذات استبدال متماثل.

- فلزات بدون استبدال متماثل.

٤- حسب وضع المسافة القاعدية:

- فلزات متغيرة المسافة القاعدية Variable basal spacing minerals.
- فلزات ثابتة المسافة القاعدية Stable basal spacing minerals.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

فلزات الطين السيليكاتية الورقية
(Phyllosilicates) layer clay silicates


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

فلزات الطين السيليكاتية الورقية
(Phyllosilicates) layer clay silicates

يمكن القول إن فلزات الطين السيليكاتية ذات البنية الورقية، هي من أهم فلزات الطين في التربة، ومرد ذلك إلى سيادة هذه الفلزات من جهة، وإلى الخواص الفيزيائية والكيميائية التي تملكها من جهة أخرى.

سنحاول في هذا الفصل، إلقاء الضوء على أهم فلزات الطين الورقية، وبهدف تسهيل الدراسة فقط، سنعتمد التصنيف حسب عدد الشرائح في الطبقة الواحدة عند هذه الفلزات.

٣- ١- مجموعة الكاؤولينيت والسربنتين (فلزات ١ : ١):
Kaolinite and Serpentine group (1;1 clay minerals)

يعد فلز الكاؤولينيت من أكثر فلزات الطين انتشاراً في التربة، وهو من الفلزات السائدة في ترب المناطق ذات المناخ الحار والرطب، ويعد من أهم مكونات رسوبيات المحيطات Oceanic sediments في الحزام الاستوائي، أما بالنسبة لفلز الهالوزيت Halloysite (وهو من مجموعة الكاؤولينيت)، فإنه يتشكل بسرعة في الترب المتطورة على مواد من أصل بركاني، يعد كل من الكاؤولينيت والهالوزيت من نواتج التجوية الحامضية.

إن فلزات مجموعة الكاؤولينيت والهالوزيت هي سيليكات ألومينية طبقية البنية Layer structured alumino-silicates، وتتميز ببنية مثالية مؤلفة من شريحة من رباعيات الوجوه وشريحة أخرى من ثمانيات الوجوه، دون وجود ظاهرة الاستبدال المتماثل في أي من الشريحتين.

فلزات السربنتين هي أيضاً سيليكات ألمنيوم ورقية من النموذج ١:١ ، لكن يمكن للألمنيوم أو الحديد أو المغنزيوم، أو أي كاتيون آخر، أن يحتل موقعاً في شريحة ثمانيات الوجوه، مما يجعل الخواص الفلزية للسربنتين أكثر تعقيداً من الكاؤولينيت والهالوزيت، يعد السربنتين فلزاً نموذجياً من حيث حجم حبيباته التي تكون دائماً أخشن من مجموعة الطين، وهو من الفلزات النادرة في التربة. ويبين الجدول رقم (١)، تصنيف مجموعة فلزات الكاؤولينيت والسربنتين.

جدول رقم (١)، تصنيف مجموعة فلزات الكاؤولينيت والسربنتين:

النموذج	المجموعة	تحت المجموعة	النوع	
١:١	كاؤولين- سربنتين	كاؤولين (ثنائي ثمانيات الوجوه)	كاؤولينيت	kaolinite
			هالوزيت	Halloysite
			ديكيت	dickite
			ناكريت	Nacrite
		سربنتين (ثلاثي ثمانيات الوجوه)	كريزوتيل	Chrysotile
			ليزارديت	Lizardite
			أميسيت	Amesite
			شاموزيت	Chamosite
			أنتيغوريت	Antigorite

٣-١-٢- فلز الكاؤولينيت Kaolinite :

٣-١-٢-١- بنية الكاؤولينيت

$Si_4\ Al_4\ O_{10}\ (OH)_8$ structure of Kaolinite:

تتألف بنية الكاؤولينيت (الشكل ٣-١)، من رباعية وجوه وثمانية وجوه، وهو من الفلزات السيليكاتية الورقية ذات النموذج ١/١ ، وتكون ببعد قاعدي Basal spacing مقداره ٧،٢ A° أو ٠،٧٢ nm (١ أنغستروم = ٠،١ نانومتر)، يعد تركيب الكاؤولينيت ثابتاً جداً لغياب ظاهرة الاستبدال الأيوني المتماثل سواء في رباعية الوجوه أو في ثمانية الوجوه ويعد غياب الاستبدال الأيوني المتماثل، السبب في عدم وجود شحنات كهربائية على الشبكة البلورية.

إن الطبقة ١:١ متعادلة كهربائياً ، وترتبط الطبقات المتجاورة بواسطة رابطة كهربائية ساكنة Electrostatic bonding ، أو بالجسور الهيدروجينية (Protonic bridges)، بين

الأوكسجين القاعدي في شريحة رباعية الوجوه وهيدروكسيل المستوى السطحي لشريحة ثمانية الوجوه المجاورة.

تشكل شريحتا رباعية وثمانية الوجوه طبقة واحدة سماكتها ٧،٢ A° ، على شكل وحدة خلوية ثلاثية الميل Triclimic unitcell ، يشغل الألمنيوم فيها موقعين من أصل ثلاثة مواقع في شريحة ثمانية الوجوه معطياً ثمانيات وجوه ثنائية Dioctahedra .

أما فيما يتعلق بشريحة رباعيات الوجوه، فمواقعها كافة مشغولة بكاتيونات السيليكون Si^{+4}.

تتوزع أيونات الألمنيوم داخل ثمانيات الوجوه بشكل منتظم وتشغل صفين من المواقع الموازية للمحور X (الشكل ٣-١)، ويبقى الموقع الثالث في ثمانيات الوجوه شاغراً Vacant ، تشكل جزيئات الهيدروكسيل المستوى السطحي لأنيونات ثمانيات الوجوه وثلث المستوى الداخلي لأنيونات الطبقة الواحدة.

عند إسقاط شريحة رباعيات الوجوه على المستوى (b-a)، شكل(٢٣) يظهر بشكل واضح الفراغات السداسية Hexagonal cavities حيث يلاحظ وجود مجموعة OH (OH-group) فوق الفراغات السداسية العائدة لشريحة رباعيات الوجوه.

تبلغ سماكة شريحة رباعيات الوجوه ٠،٢٩ nm، وسماكة ثنائيات الوجوه ٠،١٥ nm وتبلغ المسافة بين مستوى الهيدروكسيل ومستوى الأوكسجين المجاور ٠،٢٧ nm، وبذلك تكون المسافة القاعدية بين مستوى الأوكسجين الأسفل في الطبقة الأولى ومستوى الأوكسجين في الطبقة التالية ٠،٧٢ nm.

تكتب الصيغة البنيوية للخلية الواحدة من الكاؤولينيت كما يلي:

$$(Si_4)^{IV}\ (Al_4)^{VI}\ O_{10}\ OH_8$$

وتعطي هذه الصيغة التركيب الكيميائي الآتي:

$$\% \text{ ٤٦،٥} = SiO_2$$

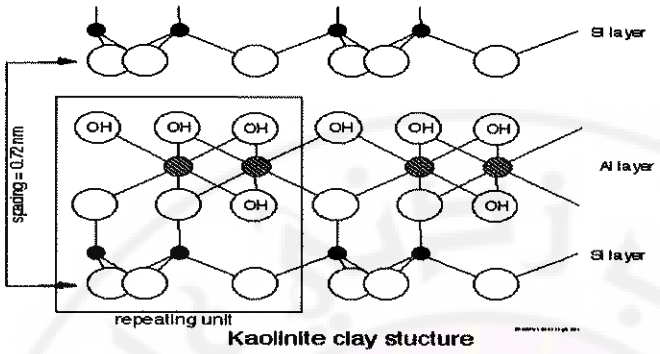
$$\% \text{ ٣٩،٥} = Al_2O_3$$

$$\% \text{ ١٤} = H_2O$$

وتساوي النسبة المولية Molar ratio

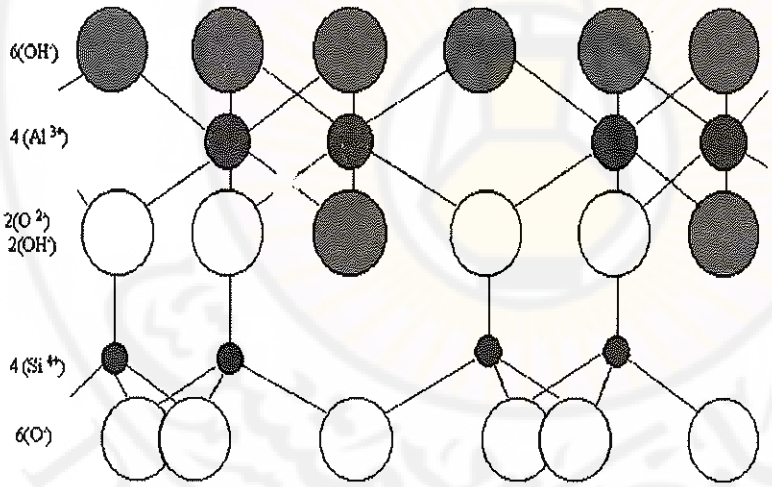
$$\text{٢} = \frac{SiO_2}{Al_2O_3}$$

Kaolinite Clay Structure



Kaolinite clay stucture

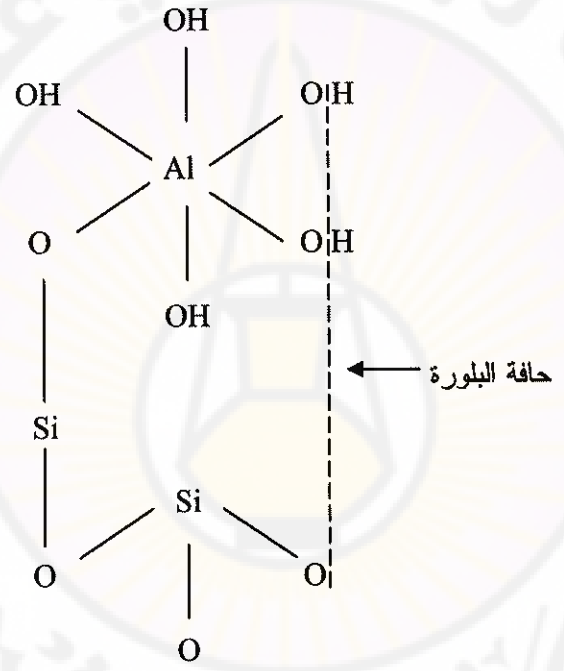
Diagrammatic Representation of Kaolinite



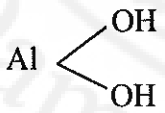
الشكل (٣-٢) ، رسم تخطيطي يبين بنية الكاؤولينيت

٣-١-٢-٢- شحنة الكاؤولينيت Charge of Kaolinite :

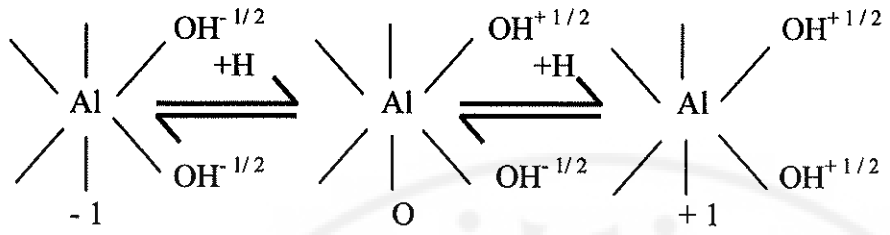
يتميز الكاؤولينيت بتركيبه الثابت، وبعدم وجود استبدال متماثل في أي من شـريحة رباعيات الوجوه أو ثمانيات الوجوه، وهذا يعني أن الـشحنات فـي الكاؤولينيـت متعادلـة كهربائياً، لكن من الناحية العملية يمكن أن يحمل الكاؤولينيت شحنات كهربائية، تتكون هـذه الشحنات على حواف البلورة فقط، وتدعى أثر الحافة Edge effect ، وذلك بـسبب تحطـيم بعض روابط الشبكة البلورية وظهور تكافؤات غير مشبعة على طول شرائح رباعيات الوجوه وثمانيات الوجوه كما يأتي:



يلاحظ من الشكل السابق وجود مجموعتين فعالتين هما مجموعة:



ومجموعة : Si – O - ، تنتجان بتأينهما شحنة كهربائية متغيـرة Variable charge تابعة لدرجة أل pH والتركيز الأيوني للوسط، مما يجعل الشحنة الكهربائية تتغير كمـا يلـي بالنسبة للمجموعة الأولى:



يدل هذا التفاعل على أن معظم الشحنات الكهربائية للكاؤولينيت، تعود إلى حدوث تفاعل على سطح البلورة، وهذه الشحنات متغيرة وتعتمد على الـ pH الوسط وتدعى بالشحنات المعتمدة على الـ pH – dependent charge pH .

حسب بعض المؤلفين ، في شريحة رباعيات الوجوه، لا تؤدي الصيغة Si- O – Si إلى خلق صيغة جديدة $Si - O^-$ بعد تحطيم الرابطة، كما كان يتوقع بعضهم، إن القوة الحامضية PKa الخاصة بالمركب Si – OH ، تبدو أنها أعلى بكثير من القيمة ٢٠٠ كما ذكرها بعض المؤلفين، لأنه في هذه الحالة سوف يكون الكوارتز مصدراً للتبادل الكاتيوني، وهذا يعود إلى عدم دقة تفسير نقطة الشحنة صفر ZPC والتي تساوي حوالي ٢٠٠ للكوارتز، كما هو واضح في التفاعل السطحي التالي:

$$Si - OH + H_2O \longleftrightarrow Si - O^- + H_3O^+$$

ويمكن أن يكون هناك تفاعل أكثر قبولاً :

$$Si - OH_2^+ + H_2O \longleftrightarrow Si - OH^\circ + H_3O$$

إن قيمة PKa الصحيحة في موقع Si – OH في السيليكات الورقية غير معروف، ومن المتوقع أن تكون قيمة الـ PKa أقل من قيمتها لحمض الأورثوسيليكات Orthosilicacia ($PKa, H_{14}Si\ O_4 = 9.5$).

ومن المحتمل أيضاً أن لا تكون منخفضة كتلك المسجلة لمجموعة السنالون ($PKa = 6.8 \pm 2$).

٣-١-٢-٣- خواص الكاؤولينيت Specific surface :

١- السطح النوعي specific surface :

يتكون السطح النوعي للكاؤولينيت، غالباً من السطوح الخارجية للمستويات المختلفة، إضافة إلى سطوح الحواف، لقد ذكر بعض الباحثين، أن السطح النوعي للكاؤولينيت يتراوح من ٥ ــ ١٤،٥ م^{٢} / غ لحبيبات مختلفة الأحجام، وذلك عند استخدام طريقة ادمصاص الغليسرول Glycerol adsorption ، أما عند استخدام طرائق قياس أخرى، فإن السطح النوعي للكاؤولينيت قد اختلف، إن السطح النوعي تراوح بين ٦ ــ ٣٩ م^{٢} / غ، باستخدام طريقة N_2 BET وبين ٨ ــ ٢٥ م^{٢} / غ عند استخدام طريقة الادمصاص السالب Negative adsorption .

ربط بعض الباحثين قيمة السطح النوعي (طريقة ادمصاص الغليسرول) مع قيمة CEC حسب الجدول رقم (٢).

جدول رقم (٢) ، يبين العلاقة بين السطح النوعي وسعة التبادل الكاتيوني لبعض أنواع الكاؤولينيت، ولأحجام مختلفة منه:

كاؤولينيت	الصفة	قطر الحبيبة بالميكرومتر			
		0.25-0.5	1 – 2	2 – 5	5 - 10
A	CEC	3.72	2.03	1.47	1.28
	السطح النوعي	8.82	8.60	5.86	5.86
B	CEC	4.19	2.34	1.92	1.72
	السطح النوعي	14.04	9.82	8.49	6.8
I	CEC	4.62	3.22	2.71	3.34
	السطح النوعي	17.47	14.32	13.85	14.46

٢- الكثافة Density:

لفلز الكاؤولينيت كثافة تساوي ٢،٣٦٠ غ / سم^{٣} ، سواء تم تقديرها حسابياً اعتماداً على المعطيات البلورية أو عند قياسها بالماء.

٣- سعة التبادل الكاتيوني Cation exchange capacity (CEC):

يتميز الكاؤولينيت بسعة تبادل كاتيوني منخفضة، وذلك بسبب الغياب شبه التام لظاهرة الاستبدال الأيوني المتماثل، وتتراوح سعة التبادل الكاتيوني عادة بين ٣ ــ ٥ سنتيمول/كغ . ونادراً ما تصل إلى ٢٠ سنتيمول/كغ.

٤- الشكل Form:

يأخذ الكاؤولينيت غالباً شكل صفائح سداسية، قد تصل أبعادها إلى ٢ ميكروناً أو أكثر، لذلك يمكن للكاؤولينيت أن يتواجد في مجموعة السلت أيضاً، لكن وجود هذه الصفائح السداسية لا يمكن اعتمادها كبرهان قاطع على وجود الكاؤولينيت، لأن بعض الفلزات الأخرى قد تأخذ الشكل نفسه، مثل الفرميكوليت والجبسيت، يمكن أن يحتفظ الكاؤولينيت بشكله الخارجي، حتى بعد التسخين لدرجة حرارة ١٠٠٠ م° ، ويؤدي الطحن الجاف Dry grinding ولو لمدة دقيقة واحدة إلى تغيير في بنية الكاؤولينيت.

٣- ١-٢-٤- التعرف على الكاؤولينيت Identification of Kaolinite:

يمكن استخدام عدة طرائق للتعرف على فلز الكاؤولينيت، وفيما يأتي عرض لبعض هذه الطرائق.

أ ــ التحليل الكيميائي العنصري Elemental chemical analysis:

تتميز فلزات ١ : ١، بما فيها الكاؤولينيت، باحتوائها على كمية عالية نسبياً من أوكسيد الألمنيوم Al_2O_3، وبانخفاض النسبة المولية SiO_2 / Al_2O_3 كما يتصف الكاؤولينيت بخلو بنائه تقريباً من الكاتيونات القاعدية.

ب ــ التحليل الحراري Thermal analysis، الشكل (٣-٣):

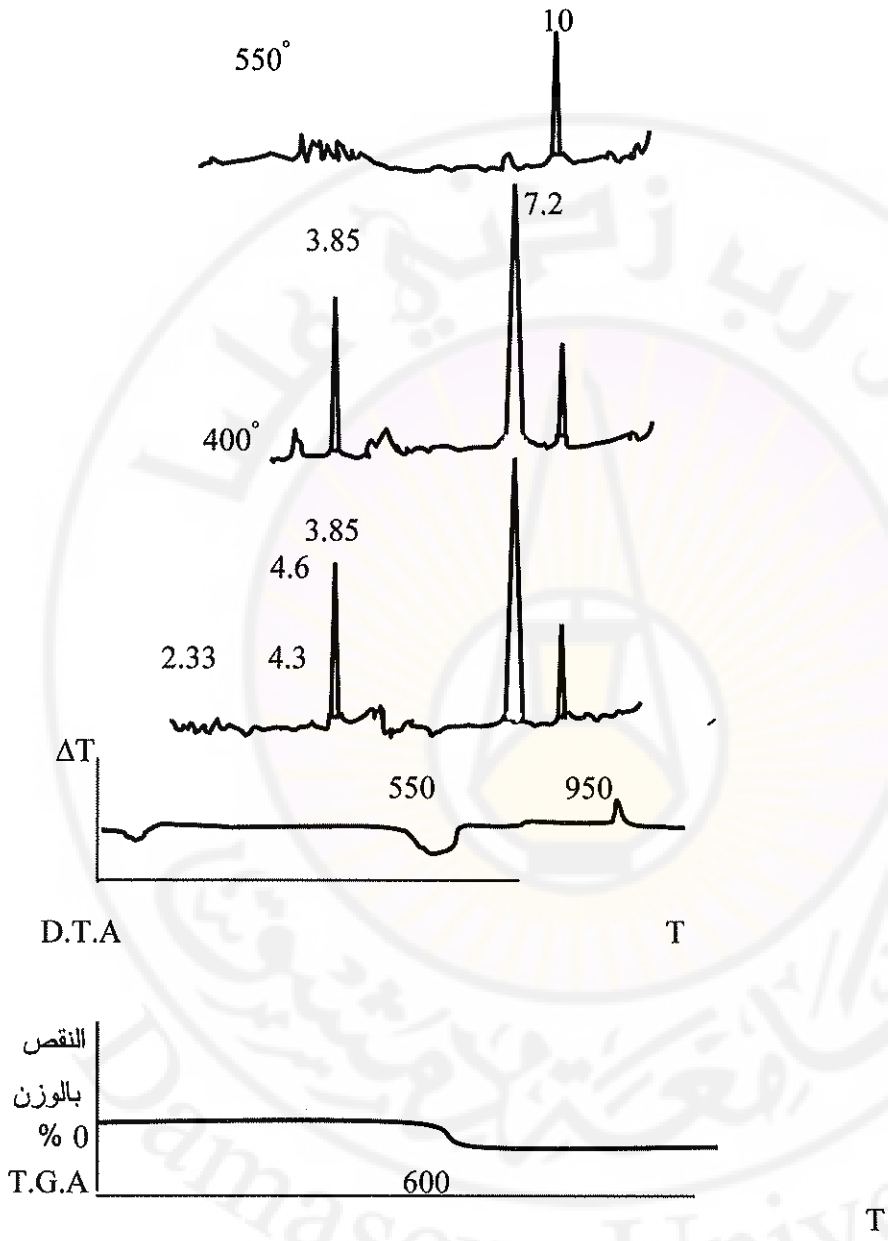
يظهر عند معاملة الكاؤولينيت بالتحليل الحراري التفاضلي (DTA) تفاعل ماص للحرارة على درجات حرارة منخفضة، يعود هذا التفاعل لفقد جزيئات الماء، وعند رفع الحرارة إلى ٥٠٠ ــ ٥٥٠ م° ، يظهر تفاعل آخر، لكنه أقوى بكثير من السابق، ينتج هذا

التفاعل عن تحطيم جزيئات الهيدروكسيل Dehydroxylation ، يتبع ذلك تفاعل ناشر للحرارة على درجة ٩٥٠ مئوية، وذلك بسبب إعادة تبلور الكاؤولينيت.

عند تعريض الكاؤولينيت للتحليل الحراري الوزني (T.G.A) فإنه يفقد نحو ١٤ % من وزنه.

ج ــ الأشعة السينية X-ray:

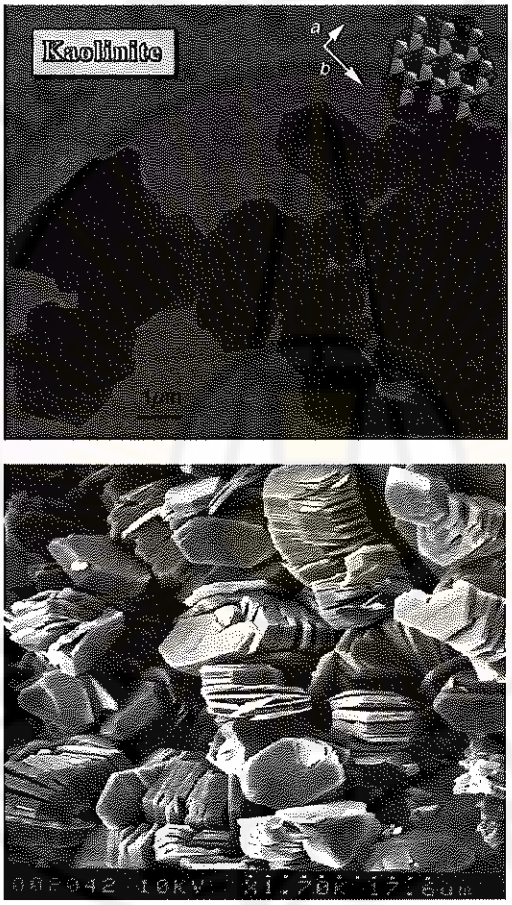
يعطي الكاؤولينيت سلسلة من الانعراجات أو القمم Peaks ، عند معاملته بالأشعة السينية، تبدأ من ٧،١٥ ــ ٧،٠٢ A° للمرتبة الأولى ثم ٣،٥٨ A° للمرتبة الثانية و ٢،٣٤ A° للمرتبة الثالثة، الشكل (٣-٣)، من الناحية العملية، إن أكثر القمم وضوحاً هي التي تعود للمرتبتين الأولى والثانية، تزول جميع الانعراجات عند تعريض الكاؤولينيت لدرجة حرارة ٥٥٠ $^{\circ}$م قبل استعمال الأشعة السينية، وذلك عائد إلى تحطيم الوحدة البنائية، نتيجة نزع مجموعات الهيدروكسيل Dehydroxylation .



الشكل (٣-٣)، يبين انكسارات الأشعة السينية ومنحني الـ D.T.A و T.G.A للكاؤولينيت.

د ــ الدراسة بالمجهر الالكتروني Electron microscope:

يمكن الاستدلال على الكاؤولينيت من خلال مشاهدة وجوه رقائق بلورية سداسية الشكل وذلك عند استخدام المجهر الالكتروني النفّاذ (TEM) أو المجهر الالكتروني الماسح (SEM)، الشكل (٣-٤)، مع ذلك يجب أن لا تؤخذ مثل هذه المشاهدة كدليل قاطع لوجود الكاؤولينيت، حيث إن لبعض الفلزات الأخرى الشكل نفسه، ومن جهة أخرى، قد يأخذ الكاؤولينيت أشكالاً أخرى في التربة.



الشكل (٣-٤)، صورة للكاؤولينيت مأخوذة بالمجهر الالكتروني النفاذ TEM مأخوذة بدرجة تكبير مختلفة.

٣-١-٢-٥- تشكل الكاؤولينيت Formation of Kaolinite:

تبين من خلال التجارب المتعددة التي أجريت لاصطناع Synthesis الكاؤولينيت مخبرياً، إمكان ترسيبه من هلامة Gel أو محلول Solution ، من السيليكا والألمنيوم على مدى واسع من درجات الحموضة (PH). لقد لوحظ أن ترسب البهميت Boehmite في بعض التجارب البسيطة، يعيق إلى حد ما تشكل الكاؤولينيت، مما يدعو إلى القول أن ترسيب هيدروكسيد الألمنيوم أو أكاسيده، يعيق تشكل الكاؤولينيت في الطبيعة، وأن الزمن اللازم لتشكل الكاؤولينيت، قد يكون قصيراً نسبياً (أياماً أو أشهراً)، وهذا يعتمد على ظروف التجربة.

دلت التجارب التي أجريت، على تصنيع الكاؤولينيت، من فلز البيوتيت بوجود النباتات كعامل مساعد، وكذلك بالطريق الهيدروثرمالية من هلامات، الألمنيوم فيها سداسي أو رباعي التناسق، على عدم أهمية رقم تناسق الألمنيوم في المواد الأولية التي يتشكل منها الكاؤولينيت.

يبدو أن سرعة تشكل الكاؤولينيت، تعتمد على حفظ الألمنيوم في المحلول مع السيليكون أو تفريق عالٍ للأيونين في طور مستقر للسيليكا، كما أن وجود الألمنيوم المرتبط مع المواد العضوية، يسهل ترسيب الكاؤولينيت من المحلول.

بشكل عام، يمكن القول إن الظروف المناسبة لتشكل الكاؤولينيت في التربة، هي توافر غسل سريع وشبه كامل للقواعد في التربة، أو عند وجود ظروف حامضية ، ويدل على ذلك سيادة الكاؤولينيت في ترب المناطق الرطبة والحارة التي تحقق الشروط السابقة.

٣-١-٢-٦- أهمية الكاؤولينيت Importance of Kaolinite :

يعد فلز الكاؤولينيت من أكثر فلزات الطين انتشاراً في الترب، وهو فلز سائد في الترب المتطورة تحت ظروف تجوية شديدة، وقد يتواجد كفلز موروث Inherited في الكثير من الترب الموجودة في المناخ المعتدل، وتذكر الكثير من المصادر وجود فلز الكاؤولينيت، وبنسب لا بأس بها، في ترب المناخ الجاف، ويمكن القول، إنه نادراً ما تخلو تربة من هذا الفلز.

٣-١-٣- فلز الهالوزيت Halloysite:

٣-١-٣-١- بناء الهالوزيت وخواصه:

يعد فلز الهالوزيت من حيث التركيب العنصري لطبقاته، مشابهاً تماماً للكاؤولينيت.لقد وجد الهالوزيت بداية في الترب المتطورة من الرماد البركاني، والذي يتجوى إلى كاؤولينيت، وإذا لم يتم التعامل بشكل مناسب خلال أخذ العينات أو التحاليل فإنه، من الصعب التفريق بين الكاؤولينيت والهالوزيت، وقد ذكر أن الهالوزيت يمكن أن يقاوم ويستمر لفترة أطول تحت الظروف الرطبة.

ويختلف عن الكاؤولينيت، بأن كل وحدة خلوية من الهالوزيت تحتوي على أربع جزيئات من الماء، بين الطبقات المتتالية، يمنع وجود جزيئات الماء في الهالوزيت، تكوين روابط مستقرة بين مستويات الأوكسجين والهيدروكسيل من جهة، وتعمل على زيادة المسافة القاعدية من جهة ثانية، حيث تصل إلى ١٠،١٥ nm ، الشكل (٣-٥).

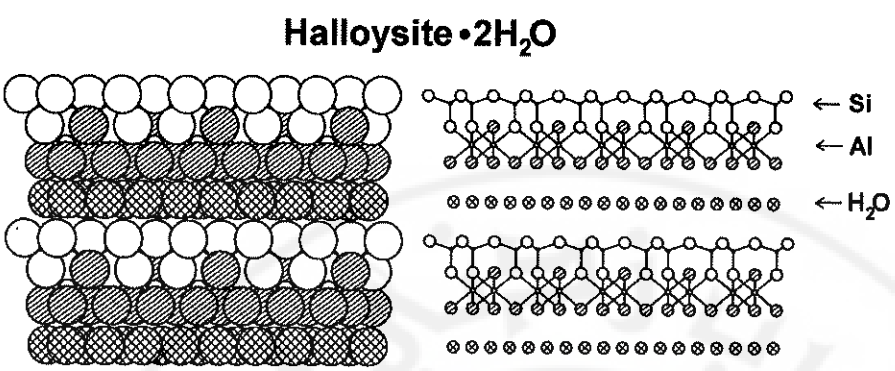
للهالوزيت الصيغة البنيوية التالية:

$$(Al_4)^{VI}\,(Si_4)^{IV}\,O_{10}\,(OH)_8\;{}_4H_2O$$

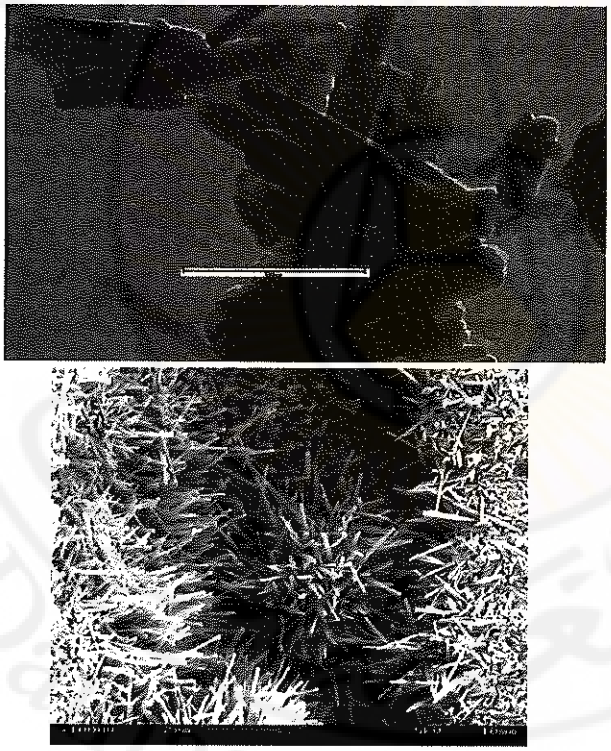
والنسبة المولية (M.R) $\quad ٢ = \dfrac{SiO_2}{Al_2O_3}$.

يخلو الهالوزيت من ظاهرة الاستبدال المتماثل، وبالتالي فإن شحناته متعادلة. إن ارتباط جزيئات الماء في الهالوزيت ضعيف نسبياً، لذلك تفقد هذه الجزيئات على حرارة منخفضة نحو ١٠٠ م° ، وهذا يسبب بدوره تقلص المسافة القاعدية من١٠،١٥ nm إلى ٠،٧٣ nm ، يدعى الفلز عند ذلك بالميتاهالوزيت Metahallaysite ، إن إمكان دخول جزيئات الماء بعد فقدها غير متيسر، وذلك بسبب تشكل بعض الروابط O – OH .

ينتج عن وجود جزيئات الماء، وعدم توزعها بشكل منتظم، عدم انتظام ارتباط طبقات الهالوزيت المختلفة، وينعكس ذلك على عدم وضوح انعراجات الأشعة السينية عند تعريض الفلز لهذه الأشعة.



الشكل (٣-٥)،رسم تخطيطي يبين بنية فلز الهالوزيت



الشكل (٣-٦)،صورة للهالوزيت مأخوذة بالمجهر الالكتروني بدرجة تكبير مختلفة (TEM).

إن الشكل الخارجي السائد للهالوزيت هو الأنبوبي Tubular ، الشكل (٣-٦)،إضافة لذلك فقد دلت بعض الدراسات على إمكان تواجد الهالوزيت على شكل شبه كروي Spheroidal ، وفي بعض الحالات النادرة تم التعرف على هالوزيت له شكل صفائحي Platy · تذكر بعض المصادر أن النسبة بين طول الأنبوب وعرضه تتراوح بين 2 :1إلى 1: 20.

للهالوزيت سعة تبادل كاتيوني أعلى بقليل من الكاؤولينيت، لكنها نادراً ما تصل إلى أكثر من ٢٠ سنتيمول/كغ · وتذكر بعض المراجع أن الهالوزيت مع جريئتين من الماء له سعة تبادل كاتيوني تتراوح بين ٥ ــ ١٠ سنتمول / كغ ، أما إذا ترافق بأربع جزيئات ماء فتزداد السعة التبادلية لتتراوح بين ٤٠ ــ ٥٠ سنتمول / كغ ·

٣-١-٣-٢- التعرف على الهالوزيت Identification of Halloysite :

أ ــ التحليل الكيميائي الكلي:

للهالوزيت النسبة المولية نفسها كما في الكاؤولينيت $SiO_2 / Al_2O_3 = 2$ ، ويختلف عنه في أن محتوى الهالوزيت من الماء أكبر·

ب ــ التحليل الحراري:

عند معاملة الهالوزيت بالـ D.T.A فإنه يخسر جزيئات الماء الموجودة بين طبقاته على درجة حرارة منخفضة (١٠٠ م°)، وهذا يعطي تفاعلاً واحداً للحرارة، قوياً وواضحاً، أما باقي التفاعلات فهي مماثلة للكاؤولينيت· يكون الفقد في الوزن أكبر في الهالوزيت عند معاملته بالـ T.G.A بسبب احتوائه على كمية أكبر من الماء·

ج ــ الأشعة السينية:

للهالوزيت انعراجات أو قمم قيمتها ١٠،١٥ nm عندما يكون مشبعاً بجزيئات الماء، وتنخفض هذه القيمة إلى٠،٧٣ nm عند التسخين على درجة ١٠٠ م° ، غالباً ما تكون هذه الانعراجات غير واضحة وذلك بسبب التوزيع غير المنتظم لجزيئات الماء·

د ــ المجهر الالكتروني:

للهالوزيت شكل أنبوبي، وقد يتواجد على شكل كروي أو صفائحي، ومشاهدة الشكل الأنبوبي ربما يدل على تواجد الهالوزيت، لكنه لا يعد دليلاً قاطعاً·

٣-١-٤- فلزات ١ : ١ ذات ثمانيات وجوه ثلاثية
Trioctahedral 1 :1 minerals:

تتكون هذه الفلزات من شريحة ثمانيات وجوه وشريحة رباعيات وجوه، ومركز التناظر في شريحة ثمانيات الوجوه، هو كاتيون ثنائي التكافؤ Bivalent Cation ، لذلك تكون المواقع الثلاثة في الشريحة مشغولة لتحقيق شرط التوازن الكهربائي. يمكن تمييز مجموعتين من هذه الفلزات، مجموعة السربنتين ومجموعة الشاموزيت.

٣-١-٤-١- مجموعة السربنتين Serpentine group:

يتكون بناء هذه الفلزات من شريحتين، رباعيات وجوه وثمانيات وجوه ثلاثية، الشكل (٣-٧)، كما تخلو هذه الفلزات من ظاهرة الاستبدال المتماثل، لذلك فإن مجموع الشحنات السالبة مساوٍ لمجموع الشحنات الموجبة.

لهذه الفلزات الصيغة الكيميائية التالية:

$$Si_4 R_6^{+2} O_{10} (OH)_8$$

يرمز الحرف R إلى الكاتيون الثنائي الذي يشغل مركز التناسق في ثمانيات الوجوه (غالباً Mg).

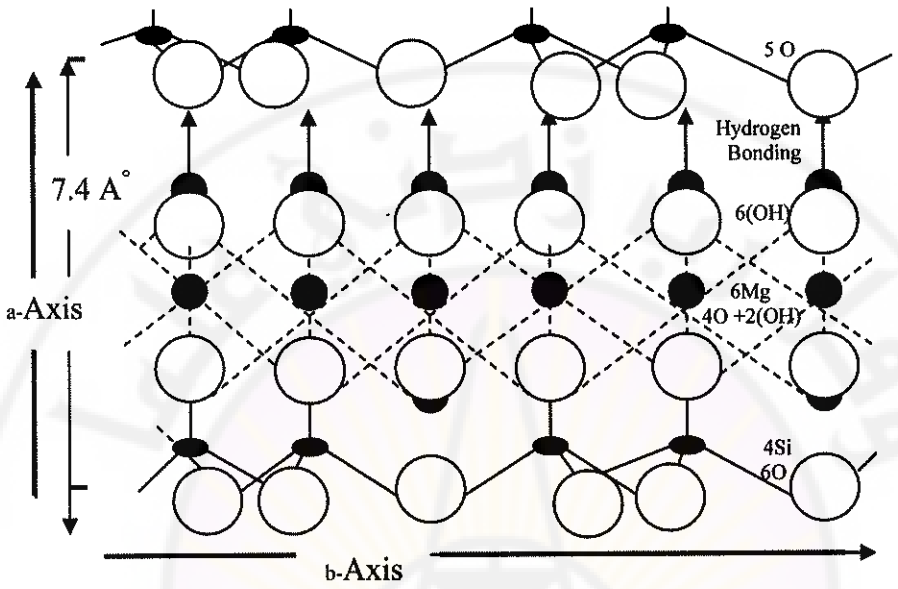
$$\text{النسبة المولية} \quad \frac{2}{3} = \frac{SiO_2}{Ro}$$

تتوزع الأيونات والشحنات في هذه المجموعة كما يأتي:

$6\,(OH)^-$		- 6
$6\,Mg^{+2}$		+ 12
$4\,O^{--}$	$+ 2\,(OH)^-$	- 10
$4\,Si^{+4}$		+ 16
$6\,O^{--}$		- 12
		- 28 + 28

لهذه المجموعة من الفلزات التركيب الكيميائي الآتي:

.% 15.25 = H_2O ، % 43 = MgO ، % 42.75 = SiO_2



الشكل (٣-٧)،رسم تخطيطي يبين بنية فلز السربنتين

٣-١-٤-٢- مجموعة الشاموزيت Chamosite group :

يختلف بناء الشاموزيت عن السربنتين، في حدوث ظاهرة الاستبدال المتماثل فيها، في رباعيات الوجوه وثمانيات الوجوه، ويتم التعادل الكهربائي عن طريق إشباع الشحنات السالبة في رباعيات الوجوه، الناتجة عن استبدال الألمنيوم بالسيليكون، بوساطة الشحنات الموجبة في ثمانيات الوجوه الناتجة عن استبدال الألمنيوم بالمغنزيوم، بحيث يكون مجموع الشحنات السالبة والموجبة مساوياً الصفر، لهذه المجموعة الصيغة البنائية الآتية:

$$(Si_4 - x\ R_x^{+3})^{IV}\ (R_x^{+3}\ R_6^{+2} - x)^{VI}\ O_{10}\ (OH)_8$$

يتضح من الصيغة السابقة أن عدد الكاتيونات ثلاثية التكافؤ في رباعيات الوجوه مساوٍ عدد الكاتيونات ثلاثية التكافؤ في ثمانيات الوجوه.

يحتوي فلز الشاموزيت في تركيبه الكيميائي بين ٢٢ ــ ٣٥ % SiO_2 ونحو ٢٠ % Al_2O_3 وعلى كمية عالية نسبياً من FeO و MgO .

٣-١-٤-٣- التعرف على مجموعة السربنتين والشاموزيت:

أ ــ التحليل الكيميائي العنصري:

تبين الصيغ الكيميائية لهذه الفلزات احتواءها على كميات عالية نسبياً من الحديد والمغنزيوم، لذلك عند إجراء التحليل الكيميائي الكلي، يمكن عد وجود كمية مرتفعة من MgO أو FeO مؤشراً على وجود فلزات السربنتين والشاموزيت.

ب ــ التحليل الحراري:

يلاحظ عند إجراء التحليل الحراري التفاضلي لهذه الفلزات، وجود تفاعل داخلي على درجة حرارة ٥٥٠ ــ ٦٥٠ م° ، ناتج عن عملية نزع الماءات أو الهيدروكسيل ، كما يلاحظ نقص بالوزن عند تعرض هذه الفلزات للـ (T.G.A).

ج ــ الأشعة السينية X-ray:

إن المسافة القاعدية لهذه الفلزات أكبر قليلاً من المسافة القاعدية لفلزات الطين 1 : 1 ذات ثمانيات الوجوه الثنائية، وهذا يعود إلى كون قطر الكاتيون الثنائي أكبر قليلاً من قطر كاتيون الألمنيوم الموجود في ثمانيات الوجوه الثنائية، لذلك تصل المسافة القاعدية للشاموزيت والسربنتين إلى ٠،٧٣ nm.

د ــ الدراسة المجهرية :

تبدي هذه الفلزات شكلاً إبرياً أو ليفياً Fibrous، لذلك عند ملاحظة مثل هذه الأشكال بالمجهر الإلكتروني، قد يكون مؤشراً على تواجد هذه الفلزات.

٣-١-٤-٤- أهمية هذه الفلزات:

يمكن لهذه الفلزات أن تتواجد في الصخرة الأم لبعض الترب، لكن تختلف في سلوكها عن فلزات 1 : 1 ذات ثمانيات الوجوه الثنائية، حيث تتواجد الأولى فقط في الترب الحديثة أما الأخيرة فتتواجد غالباً في الترب التي تعرضت لعمليات تجوية شديدة نسبياً.

٣-٢- فلزات الطين الورقية ٢ : ١ Phyllosilicates 1 : 2 :

٣-٢-١- مقدمة Introduction:

تتميز فلزات هذه المجموعة ببناء مؤلف من ثلاث شرائح، شريحتين من رباعيات الوجوه بينهما شريحة من ثمانيات الوجوه، تحتوي الخلية البلورية لهذه الفلزات على عشرين ذرة أوكسجين، وأربع جزيئات من الماءات، بحيث يكون عدد الشحنات السالبة في كل وحدة خلية ٤٤ شحنة. تضم هذه المجموعة عدداً كبيراً من الفلزات، التي تختلف فيما بينها بما يأتي:

١- قد تكون هذه الفلزات ذات ثمانيات وجوه ثنائية Dioctahedra أو ثمانيات وجوه ثلاثية Trioctahedra.

٢- تختلف هذه الفلزات من حيث وجود ظاهرة الاستبدال الأيوني المتماثل، أو عدم وجودها.

٣- يختلف عدد الشحنات في الوحدة الخلوية، فبعضها تكون شحنته صفراً كما هي الحال في فلز البيروفلليت، وتصل في بعضها الآخر إلى 2 شحنة سالبة لكل وحدة خلية كما في فلزات الميكا، في الحالة الأخيرة تصل سعة التبادل الكاتيوني النظرية ، محسوبة على أساس عدد الشحنات، إلى ٢٢٠ ــ ٢٤٠ سنتيمول/كغ .

٤- قد تحصل ظاهرة الاستبدال الأيوني المتماثل في رباعيات الوجوه و / أو ثمانيات الوجوه.

٥- في بعض هذه الفلزات، يمكن أن تتعادل الشحنات السالبة في شريحة بالشحنات الموجبة في الشريحة الأخرى.

٦- تختلف فلزات هذه المجموعة في ثبات المسافة القاعدية أو تغيرها.

٧- يمكن أن تتعادل الشحنات، في بعض فلزات هذه المجموعة، بوساطة كاتيونات مثبتة في الشبكة البلورية أو أن تكون جزءاً منها، وقد تكون هذه الكاتيونات قابلة للتبادل أو غير قابلة للتبادل، وتبعاً لقابلية هذه الكاتيونات للتبادل، تتحدد حالة المسافة القاعدية من ثابتة ومتغيرة.

يتم التبادل الكاتيوني في وسط مـــائي،وتكون الكاتيونـــات المعادلـــة للـــشحنة مميهـــة Hydrated Cations ، بحيث يكون حجمها الفعال أكبر بكثير من حجمها وهي غير مميهـــة Dehydrated، وبما أن هذه الكاتيونات، تشغل مواقع بين الطبقات، فإن المـــسافة القاعديـــة الظاهرية Apparent basal spacing ، لا تعتمد فقط على الحجم الحقيقي لهذه الكاتيونات، بل تتغير تبعاً لحجم الكاتيونات المميهة والمواقع التي تشغلها. هذا يعني أن المسافة القاعديـــة تتغير حسب طبيعة هذه الكاتيونات وقوة تثبتها من جهة أخرى، لذلك تـــدعى الفلـــزات التـــي أشبعت شحناتها بكاتيونات غير قابلة للتبادل، بالفلزات ذات البعد القاعـــدي الثابـــت Stable basal spacing minerals، أما الفلزات التي تكون كاتيونات الإشباع فيها قابلـــة للتبـــادل فتدعى فلزات متغيرة البعد القاعدي Variable basal spacing minerals.

٣-٢-٢- فلزات الطين ٢ : ١ بدون استبدال متماثل
2 : 1 Clay minerals without Isomorphous substitution:

٣-٢-٢-١- فلزات ذات ثمانيات وجوه ثنائية Dioctahedral minerals :

ـ البيروفيلليت Pyrophyllite :

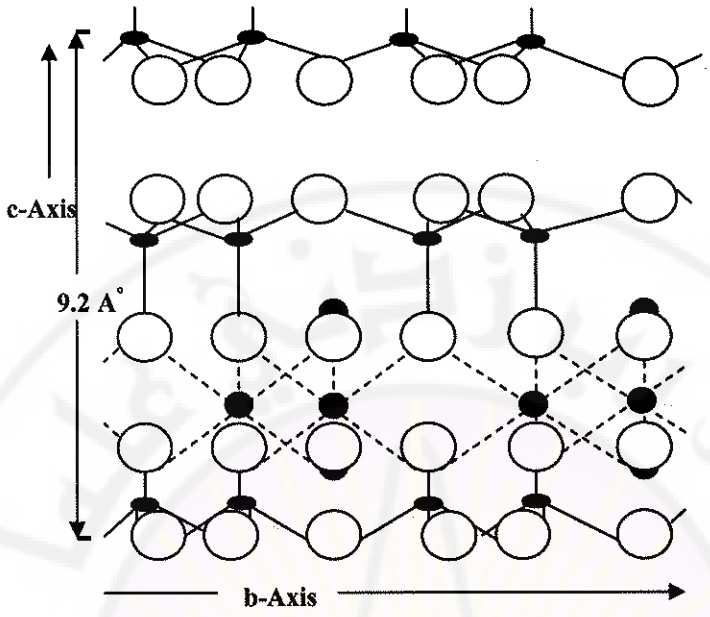
يتألف هذا الفلز من ثلاث شرائح: رباعيات وجوه ـ ثمانيات وجوه ثنائية ـ رباعيات وجوه، الشكل (٤-٨)، لهذا الفلز الصيغة البنائية الآتية:

$$(Si_8)^{IV}\ (Al_4)^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4$$

المسافة القاعدية للبيروفيلليت ثابتة وتساوي 9.20 A°. ويعود ســـبب ثبـــات المـــسافة القاعدية إلى غياب ظاهرة الاستبدال المتماثل في شرائح هذا الفلز.

يعد فلز البيروفيلليت من الفلزات النادرة في التربة، وتكمن أهميته في كونه فلزاً نموذجياً لمجموعة الفلزات ذات البناء 1 : 2، لهذا الفلز التركيب الكيميائي النظري الآتي:

SiO_2 = %66.7 ، Al_2O_3 = % 28.30 ، H_2O = % 5.



الشكل(٣-٨)، رسم تخطيطي لبلورة البيروفيلليت

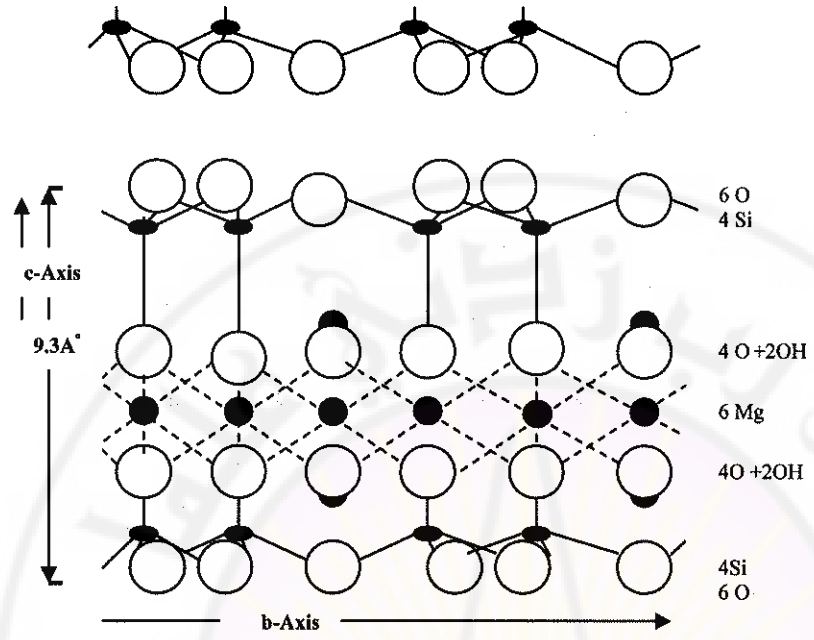
توزع الشحنات في الشبكة البلورية للبيروفيلليت:

$6\ O^{--}$	- 12
$4Si^{+4}$	+ 16
$4\ O^{--} + 2OH^{-}$	- 10
$4\ Al^{+3}$	+ 12
$4\ O^{--} + 2OH^{-}$	- 10
$4Si^{+4}$	+ 16
$6\ O^{--}$	- 12
	- 44 + 44

٣-٢-٢-٢- فلزات ذات ثمانيات وجوه ثلاثية Trioctahedra minerals:

ـ التالك Talc:

لهذا الفلز بناء مؤلف من ثلاث شرائح، رباعيات وجوه ـــ ثمانيات وجوه ـــ رباعيات وجوه ، ويختلف عن البيروفيلليت في كون ثمانيات الوجوه من النوع الثلاثي Trioctahedra، أي أن مركز التناسق مشغول بكاتيون ثنائي التكافؤ (Mg) الشكل (٣-٩).



الشكل(٣-٩)، رسم تخطيطي لبلورة التالك

إن المسافة القاعدية للتالك أكبر قليلاً من المسافة القاعدية للبيروفيليت، وتصل إلى $9.30\ A^{\circ}$ ، وذلك لأن قطر Mg^{+2} أكبر قليلاً من قطر Al^{+3}. الشحنات الكهربائية متعادلة، ويتوقع أن يكون لهذا الفلز التركيب الكيميائي الآتي:

$$\%\ 4.75 = H_2O\ ،\ \%\ 31.85 = MgO\ ،\ \%63.40 = SiO_2$$

أما الصيغة البنائية فهي:

$$(Si_8)^{IV}\ (Mg_6)^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4$$

٣-٢-٣- التعرف على هذه الفلزات:

يعتمد في التعرف على هذه الفلزات على كلٍ من التحليل بالأشعة السينية والتحليل الحراري، فالمسافة القاعدية لكل من البيروفيليت والتالك هي $9.20\ A^{\circ}$ و $9.40\ A^{\circ}$ على التوالي وهي مقاومة للحرارة، وتبدي هذه الفلزات تفاعلاً حرارياً عند 600 م$^{\circ}$ ، يعود إلى

عملية نزع الهيدروكسيل، لكن هذا التفاعل ضعيف بسبب احتواء هذه الفلزات على كمية قليلة من الماء.

لقد تم تمييز الانعكاس 0.93 nm الذي يعود إلى فلز البيروفيليت في عدد من ترب Oxisols، كان هذا الانعكاس في كلٍ من حبيبات السلت (2 ـ 50) µ وحبيبات الطين (< 2 µ) ، كما تم التعرف على كميات قليلة من هذا الفلز في ترب Paleoudalfs، أما بالنسبة للتالك ،فقد ذكر أنه من نواتج التجوية الشائعة للصخور الداكنة Ultramafic rocks ، و أنه يتشكل التالك عادة من البيروكسين أو الهورنبلد.

٣-٢-٢-٤- الأهمية :

تعد هذه الفلزات نادرة في التربة، وتتميز بخاصتين هما: عدم ادمصاصها للماء وملمسها اللزج أو الدهني Greasing القوي وذلك بسبب إمكان انزلاق بعض هذه الفلزات فوق بعضها الآخر، يعود أساس هذه الصفات إلى عدم وجود شحنات سطحية.

٣-٢-٣- فلزات الطين ٢ : ١ ذات استبدال متماثل
2 : 1 Minerals with isomorphous Substitution:

٣-٢-٣-١ فلزات ثابتة المسافة القاعدية أو مجموعة الميكا
Minerals with stable basal spacing or micas group:

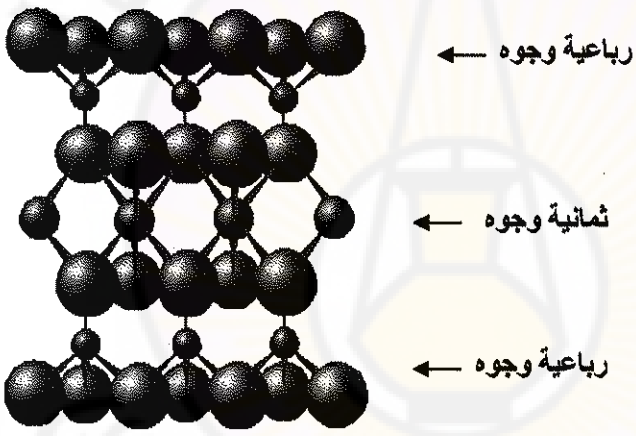
٣-٢-٣-١-١- مقدمة:

فلزات الميكا هي سيليكات ورقية من النموذج 2 : 1، الشكل(٣-١٠) تتعادل الشحنات العالية على طبقاتها بوساطة كاتيونات مثبتة بشكل محكم بين الطبقات (غالباً K^+).

تعد معظم فلزات الميكا، فلزات أولية، وهذا يعني أن الميكا في التربة موروثة Inherited من المواد الأم، ولا يعتقد بأن الميكا الثانوية تشكل أي انتشار مهم في التربة، تدخل الميكا بشكل واسع في التركيب الفلزي للكثير من الصخور مثل الغارنيت والغنيس والشيست والفيليت وغيرها، وفي الرسوبيات المشتقة من هذه الصخور، تعطي

حبيبات الميكا الكبيرة لمعاناً عند تعريضها لأشعة الشمس، وذلك بسبب انعكاس الضوء عنها وقد يكون ذلك سبب تسميتها الميكا (من اللاتيني Micare ، أي تشع To shine).

تعد الميكا مصدراً مهماً لفلزات الطين 2 : 1 وبخاصة الفيرميكيوليت، وتعد الميكا من أهم المصادر الطبيعية لعنصر البوتاسيوم الضروري لنمو النباتات في معظم التربة، الذي تختلف كميته باختلاف حبيبات الميكا كماً وحجماً وطبيعة، تزداد كمية البوتاسيوم المتحررة بازدياد كمية الحبيبات وبانخفاض حجومها، وتنخفض في فلزات الميكا ذات ثمانيات الوجوه الثنائية مثل المسكوفيت الأكثر مقاومة للتجوية قياساً بفلزات الميكا ذات ثمانيات الوجوه الثلاثية مثل البيوتيت.



الشكل(٣-١٠)، يبين البنية العامة للفلزات 2:1

٣-٢-٣-١-٢- البنية العامة لفلزات الميكا General structure of micas:

تعد فلزات الميكا من السيليكات الطبقية النموذجية، حيث تتكون من ثلاث شرائح، رباعيات وجوه ــ ثمانيات وجوه ــ رباعيات وجوه، كل ثلاث ذرات من الأوكسجين من أصل أربع في رباعيات الوجوه، تشارك مع رباعيات وجوه أخرى، ينتج عن هذه المشاركة ربط الفجوات السداسية، أما ذرة الأوكسجين الرابعة، فإنها لا تشارك مع أي رباعية وجوه

أخرى، تتجه ذرات الأوكسجين غير المشاركة (تدعى بالأوكسجين القمي Apical) من مستوى الأوكسجين القاعدي Basal oxygenes باتجاه داخل الطبقات.

تتكون شريحة ثمانيات الوجوه من كاتيونات ثمانيات الوجوه والأوكسجين القمي بالإضافة إلى الهيدروكسيل، الشكل(٣-١١).

كل كاتيون في ثمانيات الوجوه محاط بستة أنيونات (أربعة من الأوكسجين $^{-}$ اثنين من الهيدروكسيل)، وكل من مستوى الأوكسجين القمي بالإضافة إلى الهيدروكسيل، هو جزء من كل من رباعيات الوجوه وثمانيات الوجوه، لذلك لا يمكن لأي من الشريحتين أن تتحرك بمعزل عن الأخرى، دون إحداث خلل للأخرى.

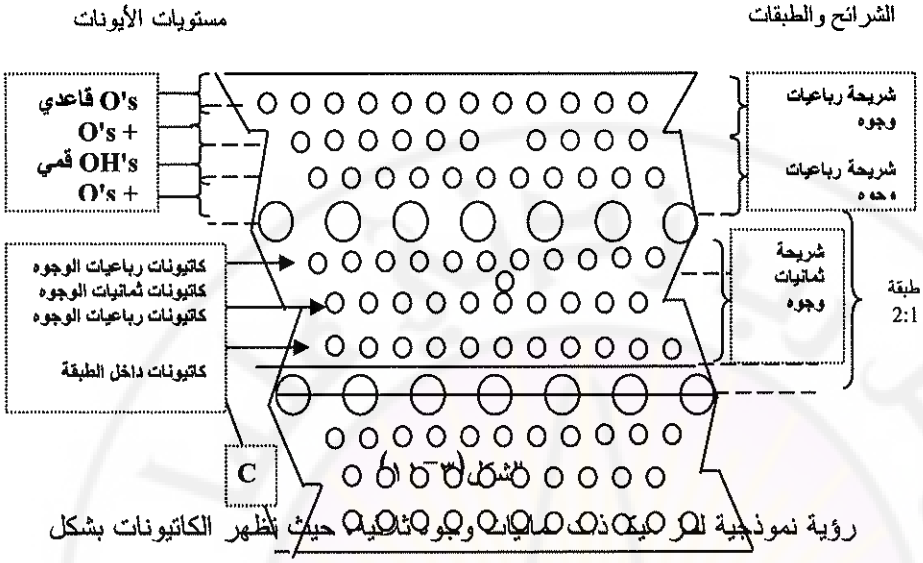
إن الارتباط بين الطبقة والكاتيون الموجود بين الطبقات، قوي إلى درجة يستطيع معها منع دخول جزيء H_2O أو جزيئات قطبية أخرى إلى الفراغ بين الطبقات، لذلك بأن فلزات الميكا غير قابلة للتمدد(بعدها القاعدي ثابت).

إن النطاق Zone الموجود بين الطبقات، مشغول دائماً بكاتيونات غير مميهة Unhyderated في فلزات الميكا، ويمكن استخدام الكاتيونات الموجودة بين الطبقات Interlayer cation، للتمييز بين فلزات الميكا المختلفة (انظر الجدول ٣-١)، يشغل النطاق ما بين الطبقات في معظم فلزات الميكا بكاتيون البوتاسيوم.

وللميكا الصيغة العامة الآتية:

$$M_x\,(R^{+2}{}_{3-y}\,,R^{+3}{}_{y})\,(Si_{4-x}\,,Al_x)\,O_{10}\,(OH)_2$$

كما سنرى فيما بعد، يمكن تقسيم فلزات الميكا إلى مجموعتين، اعتماداً على بنية ثمانيات الوجوه، ميكا ذات ثمانيات وجوه ثنائية Dioctahedral micas وميكا ذات ثمانيات وجوه ثلاثية Triocatahedral micas.



رؤية نموذجية لتركيب ذات ثمانيات وجوه ثنائية حيث تظهر الكاتيونات بشكل منفصل

٣-٢-٣-١-٣- فلزات الميكا ذات ثمانيات الوجوه الثنائيـــة Dioctahedral micas

:

أ ــ فلز المسكوفيت Muscovite:

يتميز هذا الفلز باستبدال يتركز في شريحة رباعيات الوجوه، تزاح فيه ذرة سيليكون من أصل أربعة ويستعاض عنها بذرة ألمنيوم، ينتج عن ذلك شحنتين سالبتين في كل وحدة خلية، أو طاقة كلية تساوي تقريباً 220 – 250 سنتمول/كغ، مما يعطي للمسكوفيت الصيغة البنائية الآتية:

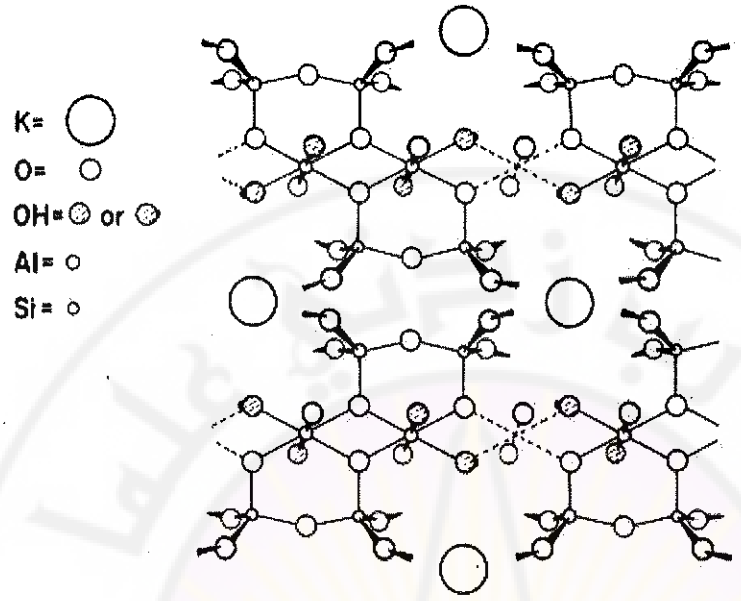
$$(Si_6\ Al_2)^{IV}\ (Al_4)^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\ K_2$$

التي تظهر اكتساب شريحتين رباعيتين كل منهما في الخلية البلورية شحنة سالبة ناجمة عن الاستبدال السابق، أما تعديل هذه الشحنة فإنه يتم بادمصاص كـــاتيون البوتاســـيوم فـــي الفراغات المتشكلة من فجوتين سداسيتين متقابلتين لمستويي الأوكسجين في شريحتين متتاليتين

الشكل(٣-١٢)، وكاتيون البوتاسيوم عادة غير مميه وغير قابل للتبادل Non-exchangeable.

يدخل البوتاسيوم و يقيم في الفجوات السداسية بين مستويين متجاورين من الأوكسجين، لذلك فهو محاط بـ 12 ذرة أكسجين (رقم التناسق = 12)، ويقيم من موقعه المحدد تماماً له رابطة أيونية Ionic bound (K-O)، وهي المسؤولة عن ضم طبقتين متجاورتين، نظراً لما تتمتع به هذه الرابطة من قوة ناجمة عن اقتراب k من O. ثم إن البوتاسيوم يقترب موقعاً من مراكز الشحنات السالبة في الشريحتين الرباعيتين المتقابلتين لطبقتين متتاليتين، الأمر الذي يحكم شد هاتين الطبقتين ويجعل مباعدتهما عسيرة فيبقى البوتاسيوم عصياً على التبادل إلا في الحواف، وهذا ما يفسر انخفاض السعة التبادلية لهذا الفلز على الرغم من كثافة شحنته العالية.
أما الشحنات فيه فتتوزع كالآتي:

	K^+	+ 1
$6\ O^{--}$		- 12
	$3\ Si^{+4} + Al^{+3}$	+ 15
$4\ O^{--} + 2\ OH^-$		- 10
	$4Al^{+3}$	+ 12
$4\ O^{--} + 2\ OH^-$		- 10
	$3\ Si^{+4} + Al^{+3}$	+ 15
$6\ O^{--}$		- 12
	K^+	+ 1
		+ 44 - 44



الشكل(٣-١٢)، يبين البنية النموذجية لفلز المسكوفيت

فلز المسكوفيت مسافة قاعدية ثابتة وتتراوح عادة بين 1.0 – 1.02 nm، إن عدد الشحنات في المسكوفيت يساوي 2 شحنة سالبة في كل وحدة بلورية، وهذا يعادل 220 – 250 سنتمول / كغ، وهي معادلة تماماً بكاتيون البوتاسيوم، لذلك فإن السعة التبادلية للمسكوفيت منخفضة جداً، وإن وجدت فإن التبادل يحدث فقط على السطوح الخارجية.

ب ــ فلز الإليت Illite:

تم اقتراح التعبير إليت في الثلاثينيات من القرن الماضي، ليدل على مجموعة فلزات من الميكا لها حجم حبيبات الطين، أما حالياً فإن التعبير إليت أصبح يدل على فلز من فلزات الميكا ، وباعتبار أن طريقة X-ray لا تستطيع اكتشاف حالة التطبق الداخلي إذا كانت كميتها أقل من 5 %، لذلك عرف الإليت على أنه أنواع من الميكا تحتوي على أقل من 5 % مركبات داخلية التطابق.

يماثل فلز الإليت في بنيته العامة فلز المسكوفيت إلى حد كبير ،الشكل(٣-١٣)، ويمكن اعتبار الإليت ناتجاً عن المسكوفيت بعد تعرض الأخير إلى بعض التحولات الميكانيكية، يملك فلز الإليت الصيغة البنائية الآتية:

$$(Si_{8-x}\ Al_x)^{IV}\ (Al_4)^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\ K_x$$

في حال كون شحنات ثمانية الوجوه مكافئة للعجز في الشحنات الموجودة بين الطبقة فيمكن للصيغة التالية أن تمثل فلز الإليت:

$$(Si_7\ Al_1)^{IV}\ (Al_{3.5}\ R^{+2}{}_{0.5})^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\ K_{1.5}$$

رغم تماثل البناء العام للإليت مع المسكوفيت، فإنه يمكن التنويه إلى الاختلافات التالية:

١- إن الاستبدال بين الألمنيوم والسليكون في الإليت أقل مما هو عليه في المسكوفيت ($X = \pm 1$)، ومتغير ، لذلك يكون عدد الشحنات السالبة وكمية البوتاسيوم في الإليت أقل من المسكوفيت، يتراوح محتوى الإليت من البوتاسيوم بين 6 – 8 %، ومحتواه من SiO_2 أعلى من المسكوفيت، بينما كمية Al_2O_3 في المسكوفيت أعلى منه في الإليت.

٢- التنوع في التركيب الكيميائي في الإليت أكبر منه في المسكوفيت، ويعود ذلك لاستبدال بعض الألمنيوم في ثمانيات الوجوه بالمغنزيوم والحديد، أو استبدال الصوديوم أو الكالسيوم ببعض البوتاسيوم.

٣- سعة التبادل الكاتيوني في الإليت أعلى من المسكوفيت، وتبلغ قرابة 25 سنتيمول /كغ وقد تصل إلى 40 سنتيمول/كغ.

٤- يحتوي الإليت على كمية أكبر من الماء وتتراوح بين 9 – 10 %.

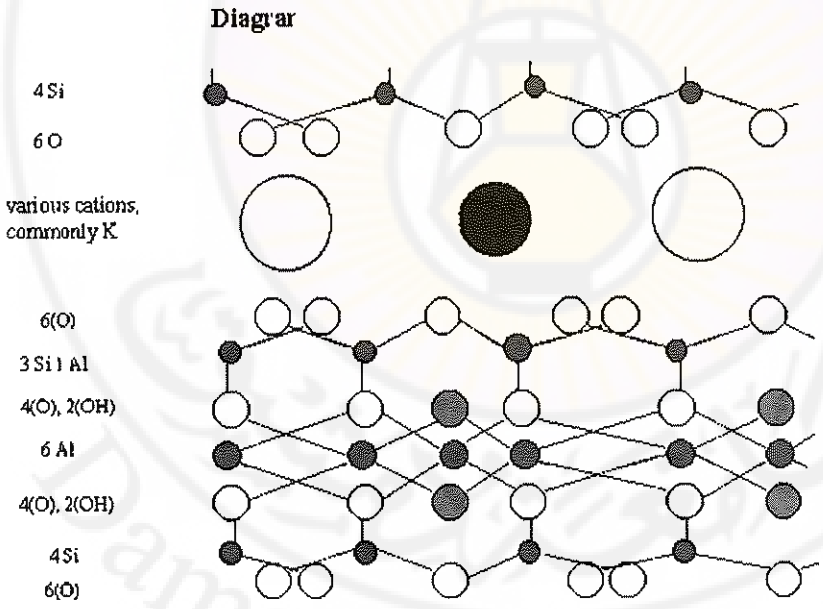
٥- البعد القاعدي في الإليت ثابت ويساوي 1.01 nm .

يتكون فلز الإليت في الغالب من تجوية الميكا أو من تصنيعه في وسط مائي يحتوي بالإضافة إلى البوتاسيوم، على Fe, Ca, Na, Mg .

لقد استخدم اصطلاح الميكا المائية Hydrousmica أو السريسيتSericite للدلالة على فلزات لها تركيب كيميائي يمكن مقارنته مع فلز الإليت، ولا يزال موضوع تسمية الإليت عرضة للنقاش في جمعية فلزات الطين (C.M.S)· دافع بعض الباحثين عن التعبير إليت، لأن دراستهم لعينات مختلفة من الإليت، أظهرت أن كمية البوتاسيوم أقل من فلزات الميكا الأخرى ذات التبلور الجيد· وكذلك معظم الإليت لم يكن من النموذج مختلط الطبقات Mixed layer structure.

ومؤخراً نصحت (C.M.S) ، باعتماد اسم الإليت على الفلزات التي تحقق الشروط الآتية:

- طبقات الميكا غير قابلة للتمدد·
- شريحة ثمانية الوجوه من النوع الثنائي Dioctahedral.
- يختلف البناء عن المسكوفيت في نسبة الاستبدال في الشريحة الثمانية والرباعية·



الشكل(٣-١٣)،رسم تخطيطي يبين بنية فلز الإليت

ج ــ فلز الغلوكونيت Glauconite :

لفلز الغلوكونيت الصيغة البنائية النظرية التالية:

$$(Si_{7.5}\ Al_{0.5})^{IV}\ (Al_{1.0}\ Fe^{+3}{}_{2}\ Fe^{+2}{}_{0.2}\ Mg_{1.0})^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\ K_{1.1}$$

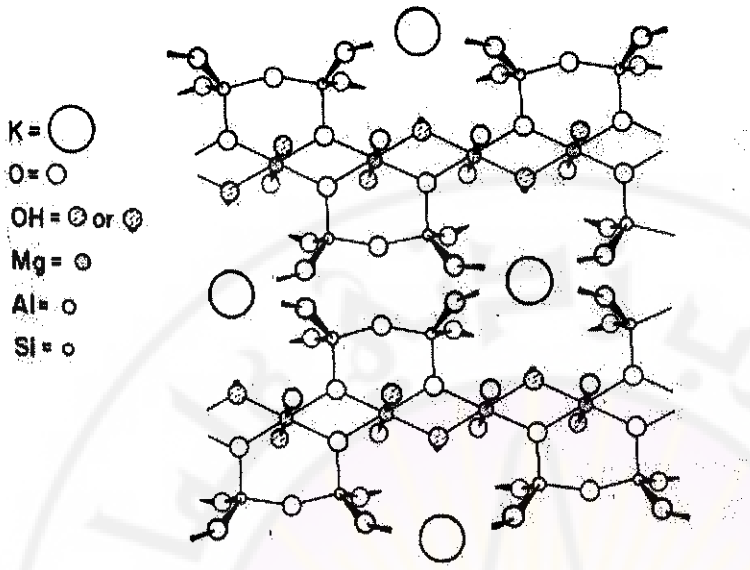
وله بنية مماثلة لبنية فلزي المسكوفيت والإليت، ولكنه يتميز عنهما بامتداد ظاهرة الاستبدال المتماثل لتشمل ثمانيات الوجوه أيضاً، ولهذا الفلز حبيبات متفاوتة الحجوم، فقد تختزل إلى حجم حبيبات الطين، وقد تصل إلى أحجام حبيبات الرمل، ويمكن لها أن تتحطم ميكانيكياً بسهولة دون حدوث أي تغيير في تركيبها الكيميائي.

يظهر التركيب الكيميائي للغلوكونيت احتواءه على نسبة عالية من الحديد تتراوح بين 15 – 30 % ، يسودها الحديد الثلاثي فيما تبقى نسبة الحديد الثنائي قليلة (2 – 4 %)، يشكل الألمنيوم نحو 10 %، MgO 3 – 4 %، K_2O 4 – 6 %، كما يمكن تواجد كميات قليلة من الكالسيوم والصوديوم.

يمكن عد الغلوكونيت نوعاً خاصاً من الإليت (إليت حامل للحديد Fe-bearing illite) وهو لا يختلف عنه في مسافته القاعدية ولكن قد يكون له سعة تبادلية أعلى، نظراً لارتفاع نسبة المواقع المفتوحة التي تشغلها كاتيونات مميهة قابلة للتبادل عوضاً عن البوتاسيوم.

٣ـ٢ـ٣ـ١ـ٤ـ فلزات الميكا ذات ثمانيات الوجوه الثلاثية Triocatahedral micas:

تملك هذه الفلزات بنية مشابهة تماماً لبنية فلزات الميكا ذات ثمانيات الوجوه الثنائية، إلا أن الطرفين يختلفان في الطبيعة الكيميائية بلورية لثمانيات الوجوه التي يشغلها كاتيونات ثنائية التكافؤ (Mg^{+2}, Fe^{+2})، بحيث تصبح فراغات شريحة ثمانيات الوجوه من ذلك مملوءة تماماً في كل خلية بلورية. الشكل(٣ـ١٤).



الشكل(٣-١٤) مقطع في بلورة الغلوغوبيت(ثمانيات الوجوه ثلاثية)، يلاحظ أن برتونات الهيدروكسيل تتجه مباشرة نحو الكاتيونات الموجودة بين الطبقات

توزع الشحنات كما يأتي:

$2\ K^{+}$		+ 2
$6\ O^{--}$		- 12
$3\ Si^{+4}$	$+ Al^{+3}$	+ 15
$4\ O^{--} + 2\ OH^{-}$		- 10
$6\ Mg^{+2}$		+ 12
$4\ O^{--} + 2\ OH^{-}$		- 10
$3\ Si^{+4}$	$+ Al^{+3}$	+ 15
$6\ O^{--}$		- 12
	+ 44	- 44

وفلزات الميكا ذات ثمانيات الوجوه الثلاثية ثابتة المسافة القاعدية وتشكل سلسلة تقع بين مركبين الفلوغوبيت Phlogopite (أو الفلز الحامل للمغنزيوم Mg-bearing minerals)، والبيوتيت Biotite (أو الفلز الحامل للحديد Fe-bearing minerals). إلا أنه من النادر مصادفة هذين الشكلين الحديين في التربة، والمألوف هو أن تنوب عنهما فلزات انتقالية في

تركيبها، لكن ومع ذلك فهي تصنف في مجموعتي الفلوغوبيت والبيوتيت، بعد أن اصطلح على أن تطلق كلمة البيوتيت على فلزات ذات نسبة (Mg /Fe) > 2 ، وعلى أن يطلق الفلوغوبيت على فلزات ذات نسبة (Mg /Fe) < 2.

تكتب الصيغة البنائية نظرياً لهذين الفلزين كالآتي:

$$(Si_6\ Al_2)^{IV}\ (Mg_6 + Fe \text{ قليل من})^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\ K_2$$

$$(Si_6\ Al_2)^{IV}\ (Fe_6^{+2} + Mg \text{ قليل من})^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\ K_2$$

٣-٢-٣-١-٥- الخواص الفيزيائية والكيميائية لفلزات الميكا
:Physico-chemical properties of micas

١- سعة التبادل الكاتيوني:

إذا استثني فلز الإليت الذي قد تصل سعته التبادلية إلى 40 سنتمول /كغ ، فإن فلزات الميكا تتميز بسعة تبادلية متدنية جداً (وبخاصة إذا ما قورنت بفلزات أخرى مثل فلزات السمكتيت) وذلك على الرغم من الشحنة العالية التي تحملها طبقاتها، الأمر الذي يرجع إلى جملة الخواص الكهرا-كيميا بلورية التي تحكم ضم طبقات الميكا وتمنع مباعدتهما وتجعل من البوتاسيوم غير تبادلي· وإذا كان لهذه الفلزات قليلاً من القدرة التبادلية، فإن ذلك يرجع إلى تدخل السطوح الخارجية وإلى مواقع الأطراف والحواف، مما يجعل من إسهام الميكا في السعة التبادلية للتربة إسهاماً محدوداً، تزداد قليلاً مع انخفاض حجم الحبيبات، وعموماً يمكن القول إن إسهام الميكا في السعة التبادلية لا تتعدى 10 سنتمول /كغ·

٢- التركيب الكيميائي:

يعد التركيب الكيميائي لمجموعة الميكا معقداً جداً، بسبب تعدد نماذج الاستبدال الأيوني المتماثل في بنائها، عموماً ، البوتاسيوم هو الكاتيون السائد المشبع للشحنة مع إمكانية وجود كاتيونات أخرى مثل Na^{+} , Ca^{+2}.

إن العناصر الأساسية التي تدخل في تركيب الميكا هي: Fe, Mg, K, Al, Si وقليل من H_2O ، ويبين الجدول رقم(٣-١) التركيب الكيميائي لمختلف فلزات الميكا،وقد تحتوي فلزات الميكا على كميات ضئيلة من بعض العناصر مثل: Ni, Zn والتي يمكن أن تصبح في متناول النباتات بعد التجوية.

جدول (٣-١)، الصيغة، والشحنات على الطبقة لبعض فلزات الميكا النموذجية من ثمانيات الوجوه ثنائية وثلاثية:

اسم الفلز	عدد الشحنات في الطبقة	Cations الكاتيونات			الأنيونات
		بين الطبقات	رباعيات الوجوه	ثمانيات الوجوه	
Dioctahedral					
المسكوفيت	1	K	$Si_3 Al$	Al_2	$O_{10} (OH)_2$
الغلوكونيت	0.71	$Na_{0.06} K_{0.65}$	$Si_{3.87} Al_{0.13}$	$Al_{0.63} Fe_{0.82}^{+3}$ $Fe_{0.82}^{+3} Mg_{0.36}$	$O_{10} (OH)_2$
الإليت	0.82	$Ca_{0.16}, Na_{0.02}, K_{0.64}$	$Si_{3.38} Al_{0.62}$	$Al_{1.4} Fe_{0.39}^{+3} Mg_{0.22}$	$O_{10} (OH)_2$
Trioctahedral					
البيوتيت	1	K	$Si_3 Al$	$(Mg, Fe^{+2})_3$	$O_{10} (OH)_2$
الفلوغوبيت	1	K	$Si_3 Al$	Mg_3	$O_{10} (OH)_2$

٣- الخواص الفيزيائية:

تعد ظاهرة الانفصام Cleavage من أهم الخواص التي تكاد تميز فلزات الميكا دون غيرها، لوضوحها وتكرارها، واتجاهها موازياً المستوى البلوري القاعدي على شكل شرائح أو رقائق Flakes.

تتميز الميكا وبخاصة المسكوفيت بأنها غير ناقلة Non-conductor للحرارة والكهرباء، لذلك فإنها تستخدم تجارياً كمواد عازلة، كذلك تتميز الميكا بأنها مرنة وقابلة للتشكل Flexable.

٣-٢-٣-١-٦- طرائق التعرف على فلزات الميكا:

١- التركيب العنصري:

تتميز فلزات الميكا باحتوائها على كمية عالية نسبياً من عنصر البوتاسيوم، وبانخفاض محتواها من الماء الذي لا تزيد نسبته على 5 % من التركيب الكيميائي لهذه الفلزات، إلا بوجود بعض الكاتيونات المميهة، كما في فلزي الإليت والغلوكونيت، بشكل عام، إن وجود كميات عالية من البوتاسيوم عند تحليل عينة من التربة، يعد مؤشراً على وجود فلزات الميكا، إلا في حالة وجود فلزات أخرى حاملة للبوتاسيوم مثل الفلدسبار، وعند احتواء العينة على كمية عالية من الحديد، فهذا مؤشر على وجود البيوتيت أو الغلوكونيت أو كليهما معاً، وعند احتواء العينة على كمية عالية نسبياً من Mg، يكون دليلاً على وجود الفلوغوبيت.

٢- المعاملة بحمض كلور الماء:

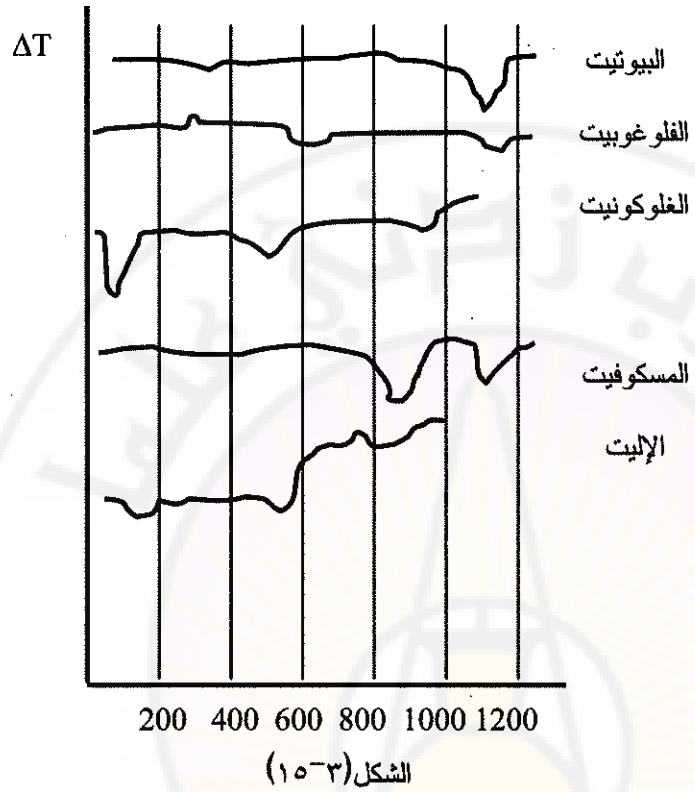
عند معاملة عينة الميكا بحمض كلور الماء 1 N لمدة ليلة كاملة على درجة حرارة 80 مئوية، فإنه تحدث إذابة كاملة لفلز الغلوكونيت، بينما يكون تأثير الحمض ضعيفاً على المسكوفيت والبيوتيت.

٣- التحليل الحراري: الشكل(٣-١٥)

يتوقف سلوك فلزات الميكا إزاء التحليل الحراري التفاضلي إلى حد كبير، على درجة التجوية التي تعرضت لها وعلى الكاتيونات المعدلة للشحنة وطبيعتها، وكذلك على نوع الكاتيون في الفراغات البينية في ثمانيات الوجوه.

فالمسكوفيت والبيوتيت اللذان لم يتعرضا بعد للتجوية ينعدم فيهما ماء الادمصاص تقريباً وينعكس ذلك في منحنى التحليل الحراري الذي يشهد على تفاعل ماص للحرارة ضعيف جداً أو قد لا يظهر نهائياً.

لكن قد يزداد وضوحاً في فلزي الإليت والغلوكونيت بعد تعرضهما لدرجة مناسبة من التجوية، يحدث تفاعل نزع الهيدروكسيل على درجات حرارة عالية 500 م°، وتعطي تفاعلاً حرارياً داخلياً Endothermic واضحاً تماماً، يحدث هذا التفاعل بالنسبة للمسكوفيت والفلوغوبيت على درجة حرارة أعلى من 600 م°. تتباين درجة الحرارة اللازمة لحدوث تفاعل نزع الماءات بالنسبة لكل من البيوتيت والغلوكونيت حيث يتم التفاعل على حرارة 600 و 400 م° على التوالي.



الشكل(٣-١٥)

يبين منحنيات التحليل الحراري التفاضلي D.T.A لفلزات الميكا

عموماً تنشأ انعراجات منحنى D.T.A لمعظم فلزات الميكا بسبب نزع OH البنائي بالتزامن مع إعادة ترتيب البناء من جديد (إعادة تبلور) ، أكسدة الحديد الثنائي أو خسارة الحديد.

كما تتضمن عملية نزع الماءات Dydroxylation تحويل الجذر M)OH-M كاتيون في ثمانية الوجوه الثنائية) إلى O-M $(2\ OH^- \longrightarrow O^{-2} + H_2O)$ ، تظهر هذه الحالة في معظم فلزات الميكا بشكل تدريجي بدون أي تغيير يذكر في البناء.

يعد انعراج التفاعل الحراري الداخل الناتج عن نزع الماءات لفلزات الميكا غير حاد وأصغر من مثيلاتها في فلزات الطين الأخرى، إن درجة الحرارة اللازمة لطرد H_2O

البنائي، تعتمد إلى حد كبير، على كاتيون ثمانيات الوجوه الثنائية، فعملية نزع الماءات بوجود المغنزيوم تحتاج إلى حرارة أعلى منه في حالة الألمنيوم.

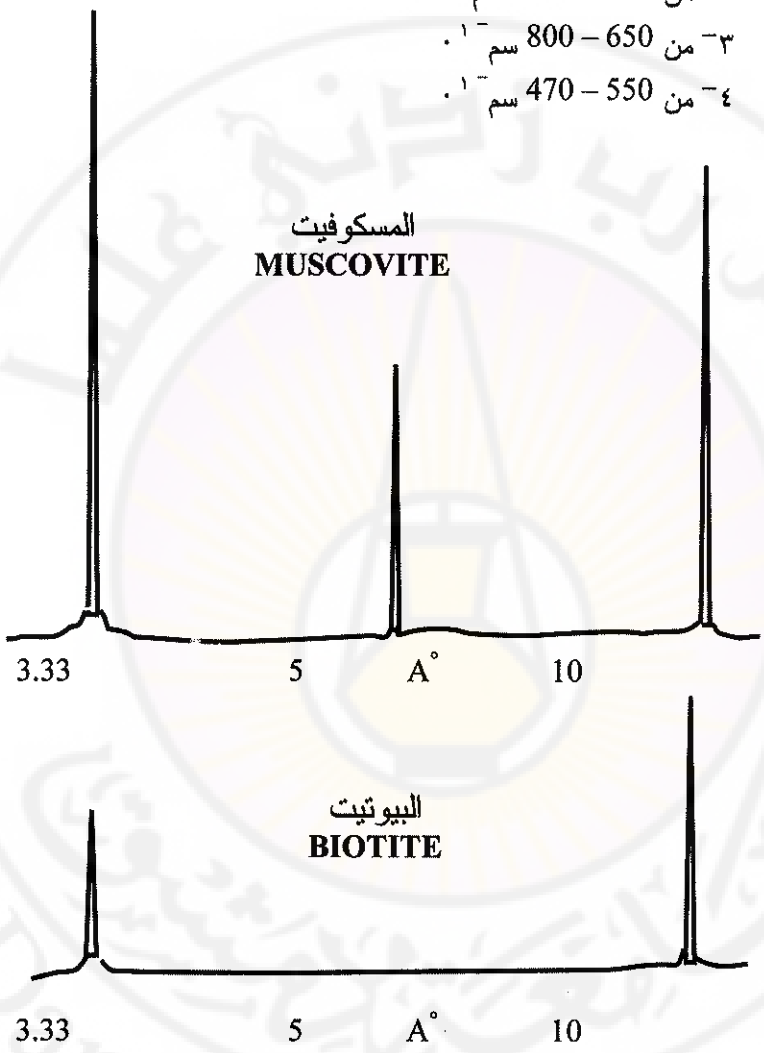
٤- انعراجات الأشعة السينية X-ray diffraction:

يمكن التعرف على فلزات الميكا باستخدام الأشعة السينية على عينات موجهة أو عشوائية، حيث تعطي هذه الفلزات انعراجات أو قمماً تبدأ بالمرتبة الأولى 1.0 nm، ثم الثانية ٥ nm ثم الثالثة ٠،٣٣٣ nm والرابعة ٠،٢٥ nm الشكل(٣-١٦)، تعد هذه القمم ثابتة بالنسبة لفلزات الميكا، ولا تتغير عند تعرض هذه الفلزات للحرارة أو إشباعها بكاتيونات مختلفة، تكون انعراجات المرتبة الأولى 1.0 nm والثالثة ٠،٣٣٣ nm ، أكثر وضوحاً من انعراجات المرتبة الثانية 0.5 nm والرابعة ٠،٢٥ nm ، ويزداد هذا الفرق وضوحاً في كل من البيوتيت والغلوكونيت عليه في المسكوفيت، لذلك يمكن اعتماد هذا الفرق للمساعدة على التفريق بين هذه الفلزات.

٥- مطيافية الأشعة تحت الحمراء Infrared spectroscopy :

يمكن استخدام الأشعة تحت الحمراء بشكل مرضٍ للتعرف على فلزات الميكا، حيث تبدي هذه الفلزات قمم امتصاص قوية وواضحة في أربع حقول من طيف الأشعة تحت الحمراء(امتصاص OH):

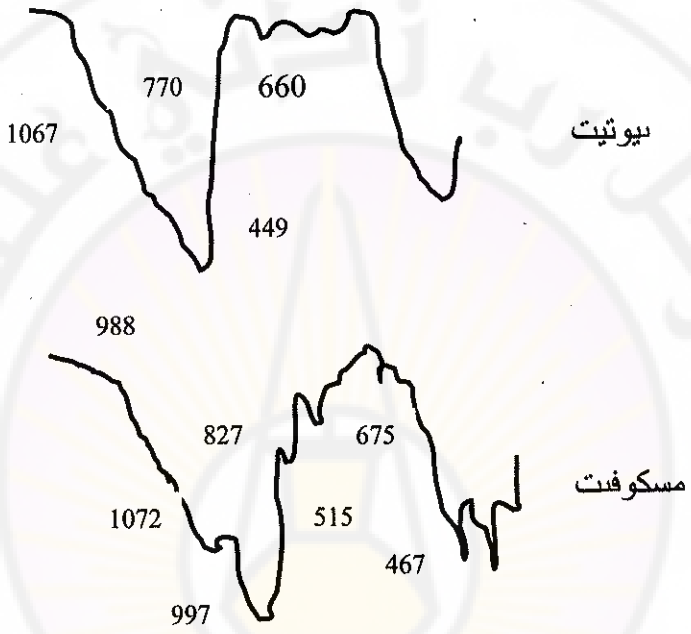
١- من 3600 – 3700 سم$^{-١}$.
٢- من 900 – 1100 سم$^{-١}$.
٣- من 650 – 800 سم$^{-١}$.
٤- من 470 – 550 سم$^{-١}$.



الشكل (٣-١٦)

انعراجات الأشعة السينية من عينات موجهة لكل من المسكوفيت والبيوتيت .

يبين الشكل(٣-١٧) منحنى الامتصاص الطيفي للأشعة تحت الحمراء لفلزين من الميكا، وكما يبدو واضحاً، الفرق بين انعراجات فلزات الميكا ذات ثمانيات الوجوه الثلاثية(البيوتيت) وفلزات الميكا ذات ثمانيات الوجوه الثنائية(المسكوفيت).



الشكل(٣-١٧)

يبين امتصاص طيف الأشعة تحت الحمراء لفلز البيوتيت وفلز المسكوفيت.

٦- المجهر الالكتروني:

تظهر فلزات الميكا تحت المجهر الالكتروني على شكل صفائح رقيقة Thin plates، وفي بعض الحالات تبدي بلورات الميكا الحاملة للبوتاسيوم والصوديوم حوافاً أو حدوداً Boundaries واضحة، كما يظهر الإليت على شكل صفائح رقيقية أيضاً، ولكن ضعف الروابط بين طبقاته يعيق رؤية حدود البلورات، حيث لا يمكن رؤيتها بوضوح، وفي حالات أخرى يظهر الإليت في أشكال سداسية غير ناضجة، وتقدر سماكة أرق صفيحة بنحو 30 A°.

٧- السطح النوعي:

يتراوح السطح النوعي لحبيبات غير مجواة من المسكوفيت والبيوتيت والغلوكونيت بين 20 – 30 م^{٢}/غ ويزداد مع ازدياد الحبيبات نعومة ، أما السطح النوعي للإليت فقد يصل إلى 100 – 120 م^{٢}/غ، وهي تعود فقط للسطوح الخارجية.

٣-٢-٣-١-٧- تواجد فلزات الميكا Occurrence of micas:

تعد فلزات الميكا في التربة، إلى حد كبير، فلزات أولية موروثة من المادة الأم، ولا يعرف لها أصول ثانوية تبلغ درجة مهمة تستحق التقويم.

تنتشر الميكا بخاصة في صخور الغرانيت وفي الصخور الحامضية عامة وتلي في انتشارها في هذه الصخور كلاً من مجموعتي الفلدسبار والمكوارتز، أما في الصخور المعتدلة أو السوداء فإن انتشارها قليل نسبياً، ولكن ذلك لا يمنع من الإشارة إلى أن بعض الدراسات التي أجريت على ترب من هاوايHawaii تظهر إمكان تشكل الميكا في الأفق السطحي لبعض هذه الترب، ويستند هذا الرأي في افتراضه إلى خلو الصخرة الأم من الميكا، ثم إلى تناقصها مع العمق، وقد يكون تركيز البوتاسيوم في الأفق السطحي بواسطة النشاط الحيوي المتكرر، قد أسهم في خلق الظروف المواتية لتصنيع Synthesis الميكا في هذه الترب، وقد يكون في هذه الدراسة تفسير لانتشار الميكا في بعض ترب جنوب سورية.

باعتبار أن الميكا تأتي غالباً من المادة الأم، وتميل للتجوية إلى فلزات أخرى مع الزمن، لذلك فإنها تكون أكثر انتشاراً في الترب الحديثة نسبياً أو الأقل تجوية مثل الترب الجافة أو

البدائية أو قليلة التطور (Entisols و Inceptisols)، ويقل انتشارها في الترب التي تعرضت إلى تجوية شديدة مثل الترب المغسولة Ultisols و المتدهورة Oxisols .

٣-٢-٣-٢- فلزات 2 : 1 ذات مسافة قاعدية متغيرة، مجموعة السمكتيت والفرميكيوليت

Minerals with variable basal spacing, group of smectites and Vermiculites:

تتماثل هذه الفلزات من حيث بنيتها مع الفلزات ذات البنية 2 : 1 ثابتة المسافة القاعدية، أي أنها تتألف من ثلاث شرائح ــ رباعيات وجوه ــ ثمانيات وجوه ــ رباعيات وجوه، وتختلف عنها في أن الشحنات الزائدة في الخلية البلورية والناتجة عن عملية الاستبدال الأيوني المتماثل، تتعادل بوساطة الكاتيونات المميهة Hydrated Cations الموجودة في محلول التربة، غالباً ما تكون هذه الكاتيونات قابلة للتبادل Exchangeable

يمكن تقسيم فلزات هذه المجموعة تبعاً لكثافة الشحنة إلى قسمين:

آ – فلزات ذات شحنة عالية > ١،٢ شحنة في الوحدة الخلوية، وتنتمي إلى هذا القسم فلزات الفرميكيوليت Vermiculites ، لكنها وسطياً تكون حوالي ٠،٩ شحنة في الوحدة الخلوية.

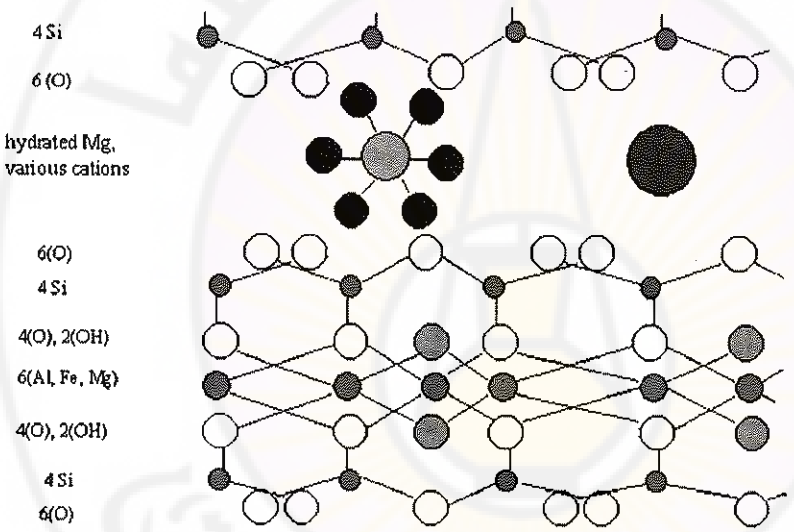
ب – فلزات ذات شحنة منخفضة من ٠،٤ – ١،٢ شحنة في الخلية البلورية، وتنتمي لهذا القسم فلزات السمكتيت Smectites، لكن غالباً ما تتراوح هذه الشحنة بين ٠،٧ – ١،٠ يعد الاختلاف في كمية الشحنات في هاتين المجموعتين سبباً رئيساً في اختلاف سلوك كل منهما، حيث نجد أن زيادة عدد الشحنات في فلزات الفرميكيوليت، يؤدي إلى تماسك Cohesion أو التصاق قوي بين الطبقات المتتالية Successive layers، مما يؤدي إلى منع دخول جزيئات قطبية بكمية كافية لتمدد المسافة القاعدية، الأمر الذي يبقي على ظاهرة الانتباج أو الانتفاخ ضعيفة جداً وغير واضحة، قياساً بفلزات السمكتيت ذات الشحنة المنخفضة نسبياً.

٣-٢-٣-٢-١- فلزات الفرميكيوليت Vermiculite minerals:

٣-٢-٣-٢-١-١- تركيب وبنية الفرميكيوليت:

إن بنية الفرميكيوليت ذات ثمانيات الوجوه الثلاثية معروفة تماماً، وذلك بسبب تواجد بعض البلورات بحجم كافٍ يسمح بدراستها بشكل مفرد، ومطابقة البناء والتركيب الكيميائي لهذه البلورات الكبيرة مع البناء والتركيب الكيميائي للفرميكيوليت طيني الحجم.

يتألف البناء Structure للفرميكيوليت كما هي الحال في الميكا ذات ثمانيات الوجوه الثلاثية، من شريحة رباعيات وجوه ــ ثمانيات وجوه ــ رباعيات وجوه، الشكل(٣-١٨).



الشكل(٣-١٨)، يبين البنية البلورية لفلز الفرميكيوليت

أما بالنسبة للفرميكيوليت ذات ثمانيات الوجوه الثنائية، فإن بنيته أقل وضوحاً من سابقه، ومع ذلك فالتحليل بالأشعة السينية مستعيناً بالتحليل الكيميائي لعينات مسحوقة منه يبين أنه

يماثل تماماً فلز المسكوفيت منزوع البوتاسيوم، يمكن كتابة الصيغة البنائية للفرميكيوليت ذات ثمانيات الوجوه الثنائية على الشكل التالي:

$$(Si_{8-x}\ Al_x)^{IV}\ (Al_4)^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\ K_y\ R_{x-y}^{+1}\quad n\ H_2O$$

أما الصيغة العامة للفرميكيوليت الثلاثي فهي:

$$(Mg, Fe)_3\ (Al_x\ Si_{4-x})\ O_{10}\ (OH)_2\ .\ 4\ H_2O\ Mg_x$$

حيث $x = 0.5 - 1.5$ إن معظم الحديد الموجود هو Fe^{+3} مع ملاحظة وجود Fe^{+2} في بعض المواقع.

تحمل رباعيات الوجوه من $0.9 - 1.4$ شحنة سالبة، بينما تحمل ثمانيات الوجوه من $0.1 - 0.9$ شحنة موجبة، مما يعطي وسطياً من $0.5 - 1.0$ شحنة سالبة على طبقة الفرميكيوليت، هذه الكمية العالية نسبياً من الشحنات يمكن أن تصل بسعة التبادل الكاتيوني للفرميكيوليت إلى حوالي 160 سنتمول / كغ، يتم معادلة هذه الشحنات بوساطة كاتيونات قابلة للتبادل(غالباً من Mg)، وقد ترافق بقليل من الكالسيوم، تتوضع هذه الكاتيونات في الفراغ بين الطبقات، كما تشكل في هذه المواقع طبقة مزدوجة، مما يعطي الفرميكيوليت مسافة قاعدية تساوي ١،٤ nm.

٣-٢-٣-٢-١-٢- الفرميكيوليت ذات ثمانيات الوجوه الثنائية
:Dioctahedral Vermiculite

يوجد هذا الفلز في التربة مجتمعاً إلى أنواع أخرى من الطين ومن النادر أن يكون حراً بها، ويبدو أنه ينتج عن الميكا الثنائية بإزاحة البوتاسيوم من الفراغات البينية واستبدال كاتيونات مميهة(Ca , Mg)تبقى تبادلية(بعكس البوتاسيوم)، وتفقد المسافة القاعدية شيئاً من ثباتها في الميكا فتصبح هذه المسافة تابعة لطبيعة الكاتيون المعدل وخواصه، وإزاحة البوتاسيوم هذه ليست إلا تفاعلاً عكوساً مادامت شدته لم تبلغ درجة متقدمة بعد، ففلز الفرميكيوليت يمكن أن يستقطب k^+ مرة ثانية في فراغاته ويعطي طبقة ميكا، وهنا يجب التنويه إلى أن اتجاه التحول يتوقف على طبيعة الوسط وخواصه الكيميائية ولابد لارتفاع تركيز البوتاسيوم فيه من أن يحفظ طبقات الميكا ويعيق تحولها إلى فرميكيوليت.

إلا أن كثافة الشحنة في الفرميكيوليت تقل عما هي عليه في الميكا، ويرجع ذلك إلى قليل من إزاحة Al الرباعي واستبداله بالسيليكون، وبخاصة إلى أكسدة Fe^{+2} ⟵ Fe^{+3} في الشريحة الثمانية · تعد طبقة الفرميكيوليت بخواصها السابقة طبقة ناتجة عن أوساط معتدلة غنية بالقواعد وبخاصة Ca ، Mg ، إلا أن التحول الذي يطرأ على طبقة الميكا يأخذ منحى مغايراً تماماً في شروط مناسبة من الحموضة، حيث يدمص Al في الفراغات البينية ويؤدي دور الكاتيون المعدل عوضاً عن الكاتيونات القاعدية، ويكسب الفرميكيوليت خواص كهرا — كيميا بلورية تلخص بالآتي :

١- يؤدي الألمنيوم إلى خفض السعة التبادلية ويرجع ذلك إلى موقع ادمصاصه، ثم إلى طبيعته التماثرية، فالعاملان يجعلان منه كاتيوناً غير قابل للتبادل (عسير التبادل)·

٢- يقوم الألمنيوم بربط الطبقات ويمنع تمددها·

٣- يكسب الألمنيوم الطبقات المزيد من المقاومة الحرارية نظراً لما يتصف به من خواص تميه تتجلى في شدة ضمه للماء·

٣-٢-٣-٢-١-٣- الفرميكيوليت ذات ثمانيات الوجوه الثلاثية
Trioctahedral vermiculite:

يمكن لهذه الفلزات أن تتواجد كفلزات طين أوعلى شكل بلورات مجهرية Microscopic crystals ،وهناك من الدلائل ما يشير إلى أن فلزات الفرميكيوليت هذه تنشأ عن بعض الفلزات ذات ثمانيات الوجوه الثلاثية مثل البيوتيت والفلوغوبيت، وذلك بتعرضها لعملية التحول(Transformation) المماثلة للتحول الذي أعطى الفرميكيوليت الثنائي والتي تتلخص بـ :

١- إزاحة كاتيونات البوتاسيوم من فلزات البيوتيت والفلوغوبيت·

٢- إزاحة شريحة البروسيت Brucite sheet ($Mg(OH)_2$ أو $Fe(OH)_2$) من فلزات الكلوريت الثلاثي، وقد تكون هذه الإزاحة في كلتا الحالتين غير تامة·

يترتب على هذا التحول بعض النتائج منها:

أ ـ أكسدة الحديد الثنائي إلى حديد ثلاثي ودخول الهيدروجين البنية البلورية مما يؤدي إلى خفض شحنة الشبكة البلورية·

ب ــ يصل الأمر بالطبقة في شروط مناسبة من الحموضة إلى تشكل معقدات ألمنيوم متماثرة في الفراغات البينية.

تؤدي أكسدة الحديد وتشكل الألمنيوم المتماثر إلى تقليص السعة التبادلية لطبقة الفرميكيوليت الناتجة قياساً لما هو متوقع، وذلك بخفض كثافة الشحنة للطبقة، في الوقت الذي تترافق فيه إزاحة طبقة البروسيت بنتيجة معاكسة تنشأ عن اكتساب الطبقات قدرة على التباعد، أما توضع الألمنيوم في الفراغات البينية فإنه يقود في جميع الحالات إلى خفض السعة بمنعه الطبقات من التباعد.

٣-٢-٣-٢-٢- فلزات السمكتيت Smectite minerals:

لهذه المجموعة من الفلزات أهميتها الخاصة نظراً لانتشارها الواسع في الترب والرسوبيات على حد سواء، وبخاصة تحت ظروف تجوية معتدلة، كانت تعرف هذه الفلزات إلى عهد قريب بمجموعة المونتموريللونيت.

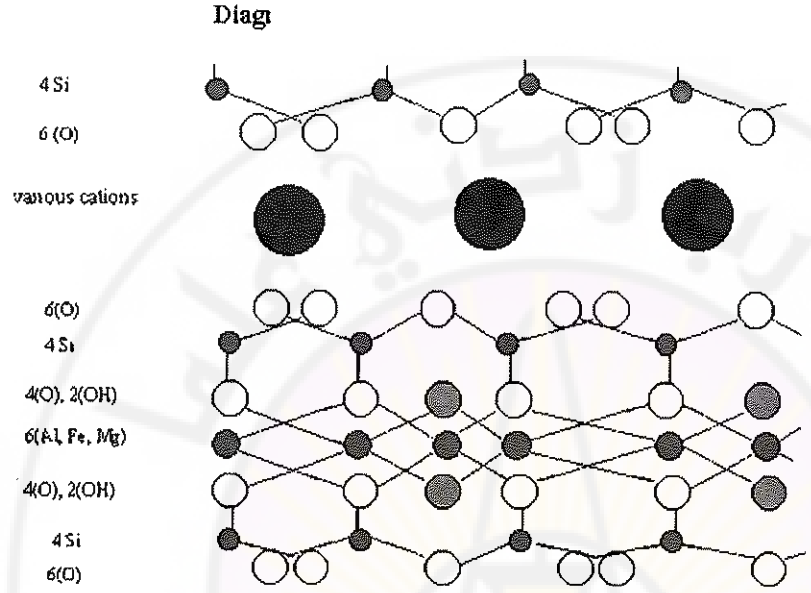
وتؤثر هذه الفلزات(مع الفرميكيوليت) في الكثير من صفات التربة وخواصها المهمة كالسعة التبادلية، والانتفاخ والانكماش وتماسك التربة والتخفيف من شدة الانجراف والنفاذية وغيرها، وتعد مسؤولة عن انزلاق التربة Land slides وزحفها Soil creep.

وفلزات السمكتيت في التربة قد تأتي حصيلة تخلقات جديدة Neosynthesis في ظروف مناسبة، وقد تأتي عن طريق التحول الذي تخضع له طبقات أخرى كالميكا والكلوريت، وذلك بإزاحة البوتاسيوم أو شريحة البروسيت على التوالي، واستبدال كاتيونات مميهة وقابلة للتبادل لهما، تترافق عملية التحول هذه بخفض كثافة الشحنات عن طريق أكسدة الحديد الثنائي إلى حديد ثلاثي واستبدال ببعض الألمنيوم للسيليكون في رباعيات الوجوه.

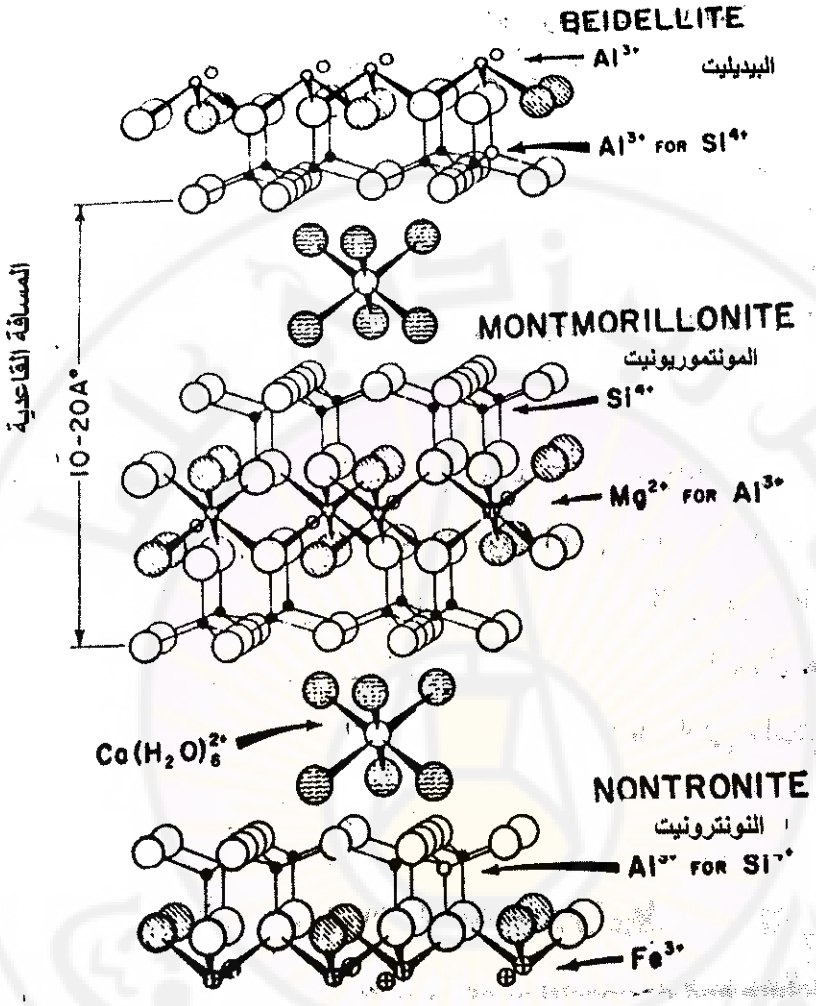
٣-٢-٣-٢-٢-١- بنية فلزات السمكتيت وتركيبها
Structure and composition of smectites:

تماثل فلزات السمكتيت في بنيتها الشكل(٣-١٩)، كلاً من الميكا والفرميكيوليت، تتألف خليتها البلورية من ثلاث شرائح: رباعيات وجوه ــ ثمانيات وجوه ــ رباعيات وجوه، إلا أن فلزات السمكتيت تختلف فيما بينها من حيث مواقع الاستبدال المتماثل، وكاتيون الاستبدال ،الشكل(٣-٢٠) ، وتضم مجموعة السمكتيت ذات ثمانيات الوجوه الثنائية أهم ثلاث فلزات

هي: المونتموريللونيت والبيديليت والنونترونيت،الشكل(٣- ٢٠) والجدول(٣-٢) يوضحان البنية البلورية و التركيب الكيميائي لهذه الفلزات.



شكل (٣-١٩)، رسم تخطيطي للبنية العامة لفلزات السمكتيت



الشكل(٣-٢٠)، يبين البنية البلورية لكل من البيديليت والمنتموريللونيت والنونترونيت

هناك بعض العناصر مثل Zn , Cu , Ni, Cr ، وجد أنها تدخل أحياناً في عملية الاستبدال وبكميات معقولة، في بنيات بلورية شبيهة بالسمكتيت، لكن الصفات الفلزية لهذه الفلزات لم تحدد بشكل واضح بعد.

جدول(٣-٢)، يبين الصيغ النموذجية لفلزات السمكتيت في التربة:

الفلز	كاتيونات رباعيات الوجوه	كاتيونات ثمانيات الوجوه	أنيونات التناسق	كاتيون التبادل	H_2O %	السعة التبادلية الناتجة عن الاستبدال المتماثل سنتيمول/كغ	الصيغة الوزنية غ / مول
المونتموريللونيت	Si_4	$Al_{1.5}$ $Mg_{0.5}$	$O_{10}(OH)_2$	$Ca_{0.25}$	4.88	135.5	369
البيديليت	$Si_{3.5}$ $Al_{0.5}$	Al_2	$O_{10}(OH)_2$	$Ca_{0.25}$	4.87	135.2	370
النونترونيت	$Si_{3.5}$ $Al_{0.5}$	Fe_2	$O_{10}(OH)_2$	$Ca_{0.25}$	4.21	117.0	428

أما بالنسبة لفلزات السمكتيت ذات ثمانيات الوجوه الثلاثية، فهي من الفلزات النادرة في التربة، وتبدو أنها موروثة من المادة الأم، وهي بذلك تختلف عن مجموعة السمكتيت ذات ثمانيات الوجوه الثنائية، التي تعد فلزاتها ناتجاً لعملية التجوية.

١- المونتموريللونيت Montmorillonite:

تتركز ظاهرة الاستبدال الأيوني المتماثل بالنسبة لهذا الفلز في الطبقة الثمانية التي تكتسب شحنة سالبة كما تظهره الصيغة البنائية التالية:

$$(Si_8)^{IV}\ (Al_{4-x}\ Mg_x)^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\quad R_{x/2}{}^{2}\quad n\ H_2O$$

٢- البيديليت Beidilite:

تحدث ظاهرة الاستبدال الأيوني المتماثل هنا في شريحة رباعيات الوجوه التي تكتسب شحنة سالبة من جراء ذلك وهو ما تظهره الصيغة البنائية لهذا الفلز:

$$(Si_{8-x}\ Al_x)^{IV}\ (Al_4)^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\quad R_{x/2}{}^{2}\quad n\ H_2O$$

٣- النونترونيت Nontronite:

يماثل النونترونيت فلز البيديليت من حيث موقع الاستبدال المتماثل، ويتميز باحتوائه على كمية عالية من الحديد نسبياً، للنونترونيت الصيغة البنائية:

$$(Si_{8-x}\ Al_x)^{IV}\ (Fe^{+3})^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\quad R_{x/2}{}^{2}\quad n\ H_2O$$

أما فلزات السمكتيت ذات ثمانيات الوجوه الثلاثيـة، فـإن أهمهـا فلـز الهيكتوريـت Hectorite لهذا الفلز الصيغة البنائية:

$$(Si_8)^{IV}\ (Mg_{6-x}\ Li_x)^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\quad R_{x/2}{}^{2}\quad n\ H_2O$$

التي تظهر أن الاستبدال المتماثل، قد حدث في شريحة ثمانيات الوجوه الثلاثية، ويقترب الهيكتوريت في خواصه من فلز الستيفسيت Stevesite ذي الصيغة:

$$(Si_8)^{IV}\ (Mg_{6-x})^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\quad R_{2\,x}\quad n\ H_2O$$

إلا أن هذا الفلز يختلف عن سابقه في أن المواقع التي غادرها Mg تبقى شاغرة وأن قيمته لا تبلغ أكثر من 0.1 في حين تتراوح في الهيكتوريت بين 0.3 – 0.4.

أما الفلز الآخر فهو السابونيت Saponite وصيغته:

$$(Si_{8-x}\ Al_x)^{IV}\ (Mg_6)^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\quad M_x{}^{+}\quad n\ H_2O$$

ويظهر النقص في الشحنات في شريحة رباعيات الوجوه.

٣-٢-٣-٢-٢-٢- خواص فلزات السمكتيت properties of smectites :

أ ــ تتميز فلزات السمكتيت بسعة تبادلية عالية قياساً بفلزات الطين الأخـرى(باسـتثناء الفرميكيوليت) وتصل 110 سنتمول/ كغ ، وتذكر بعض المراجـع إلـى أن بعـض أنـواع السمكتيت لها سعة تبادلية قد تصل إلى 160 سنتمول/ كغ،(وسطياً80 سنتمول/ كـغ)، وهـذه السعة تنشأ عن الاستبدال المتماثل في الشرائح الرباعية والثمانية، وتبلغ 0.6 شحنة لكل خلية بلورية وسطياً، وترجع قيمتها المرتفعة إلى انفراج السطوح الداخلية، واتصال مواقع الشحنات مع المحلول اتصالاً مباشراً، وتحولها بذلك إلى مواقع تبادليـة تـدخلها كاتيونـات التعـديل وتخرجها بيسر وسهولة.

ويعزى للسمكتيت في الكثير من الأحيان– بسبب سعته التبادلية العالية – قسط من خصوبة بعض الترب، وذلك لقدرته العالية على حفظ بعض الكاتيونات مثل K و NH_4 ومنعها من الغسل خارج مقطع التربة.

ويمكن لفلزات السمكتيت أن تبدي سعة تبادل أنيوني Anion exchange capacity ، لكنها لا تتجاوز في أحسن الحالات 5 سنتمول/ كغ ، وتعود هذه الظاهرة إلى توضع بعض الأنيونات التي لها أحجام مناسبة مكان بعض الماءات على الحواف فقط، بمعنى آخر، تعود سعة التبادل الأنيوني إلى ما يسمى بأثر الحافة Edge effect.

ب ــ ظاهرة التميه Hydration phenomenon:

يمكن لفلزات السمكتيت أن تحتفظ بكميات مختلفة من الماء بين طبقاتها، ويعود ذلك إلى وجود الكاتيونات المميهة المعدلة التي تعمل على جذب جزيئات الماء حولها، تعود ظاهرة التميه هذه إلى وجود فرق في التركيز الأيوني بين الطبقات ومحلول التربة الخارجي Outer soil solution أو ظاهرة الضغط الحلولي Osmatic pressure الناتج عن التركيز العالي للمحلول الموجود بين الطبقات مقابل التركيز المنخفض لمحلول التربة الخارجي، وتعتمد كمية الماء المدمصة بين الطبقات على العوامل الآتية:

١– الشحنات الموجودة على الطبقات: عند وجود عدد كبير من الشحنات على الطبقات، يتبعه وجود عدد مناسب من الكاتيونات لإشباع هذه الشحنات، تنجذب هذه الكاتيونات إلى جهتي الفراغ بين الطبقات المتجاورة، يترتب على ذلك حدوث تماسك أو ارتباط Cohesion قوي بين الطبقات المتجاورة، مما يحدد عدد جزيئات الماء التي يمكنها الدخول بين الطبقات، على العكس من ذلك، عندما يكون عدد الشحنات أقل، فإن عدد الكاتيونات يكون أقل أيضاً وبالتالي يكون الارتباط بين الطبقات أضعف، مما يسمح بدخول كمية أكبر من جزيئات الماء بين الطبقات.

لذلك يمكن لفلزات السمكتيت أن تسمح بدخول كميات كبيرة من جزيئات الماء، إلى درجة يمكن للطبقات عندها أن تنفصل بعضها عن الآخر، بينما نجد أن فلزات الفرميكيوليت ذات الشحنة العالية، تسمح بتشكل طبقتين من جزيئات الماء في كل فراغ.

هذا وتختلف الطاقة التي ترتبط بها جزيئات الماء، وذلك حسب موقعها من الكاتيونات، بمعنى أن جزيئات الماء الأقرب للكاتيون تكون مثبتة بقوة أكبر ، والعكس صحيح.

٢- تعتمد الطاقة التي تثبت بها جزيئات الماء على نوع الكاتيون المعادل للشحنة، فالكاتيونات أحادية التكافؤ مثل Na لها طاقة تميه منخفضة Low hydration energy ، على عكس الكاتيونات الثنائية مثل Mg , Ca التي تمتاز بطاقة تميه عالية، بمعنى أنها تحتفظ بجزيئات الماء بقوة أكبر من السابقة.

هذه الاختلافات في طاقة التميه، تؤدي إلى ظهور تفاعلات حرارية على درجات حرارة متباينة، بشكل عام فإن الحرارة اللازمة لنزع كامل الماء، تتناقص حسب الترتيب التالي للكاتيونات $Mg > Ca > Li > Na > K$.

٣- عند كل درجة حرارة يحصل توازن بين كمية الماء الموجودة بين طبقات الفلز والماء الموجود في الجو المحيط، والذي يعبر عنه بالرطوبة النسبية Relative humidity، لذلك هناك تناسب طردي بين درجة تميه الفلز والرطوبة النسبية في الجو.

ج ـ الانتفاخ (الانتباج) Swelling:

يعود سبب تمدد الفلزات ذات النموذج البنائي 2 : 1 عند أخذ الماء إلى حادثة الضغط الحلولي، حيث يميل الماء المدمص إلى تشكيل الطبقة الكهربائية المزدوجة، وتأخذ هذه الحادثة مكانها على السطوح الخارجية للغرويات عند وجود كمية كافية من الماء بدون أي عائق، على أية حال، لكي تتشكل الطبقة الكهربائية المزدوجة في الفراغ الداخلي للفلزات، يجب أن يزيد الضغط الحلولي على قوى الارتباط، وهذا يعتمد على عدة عوامل منها، الكاتيونات الموجودة على طبقة الفلز(وهي ثابتة بالنسبة لفلز معين)، طبيعة الكاتيونات المتبادلة وتركيب وتركيز محلول التربة.

تكون قوى الارتباط قوية جداً عندما تمتلك الفلزات شحنات عالية على طبقاتها، كما هي الحال في فلزات الفرميكوليت، إلى درجة تمنع تكوين الطبقة المزدوجة، حتى عند وجود محلول أرضي حاوٍ على صوديوم وبتركيز منخفض، في هذه الحالة فإن الماء المدمص، كافٍ فقط لتكوين طبقتين من جزيئات الماء ضمن الفراغ الداخلي.

أما فلزات السمكتيت ذات الشحنة المنخفضة نسبياً، فإنها تستطيع أن تأخذ كمية أكبر من الماء بغض النظر عن كاتيون الإشباع، ففي المرحلة الأولى والتي تسمى الانتباج أو الانتفاخ

بين الطبقات Interlayer swelling ، حيث يتم ادمصاص عدد قليل من جزيئات الماء، مؤدية إلى دفع المسافة القاعدية إلى نحو ٢٠٠ـ ٢٠١ nm ، هذا الحجم الجديد يساوي تقريباً ضعفي حجم الطين الجاف، تحتفظ الطبقات في هذه المرحلة بالتصاق منتظم بعضها مع بعضها الآخر، في المرحلة الثانية يبدي السمكتيت انتفاخاً أكبر يساوي عدة مرات حجم الطين الجاف، وفي مرحلة لاحقة، عندما يكون تركيز محلول التربة منخفضاً جداً والكاتيون السائد هو الصوديوم، فإن الضغط الحلولي العالي يعطي فرصة لدخول أكبر كمية ممكنة من الماء إلى ما بين الطبقات، تعمل قوى التنافر Repulsion forces إلى دفع الطبقات بعيداً بعضها عن بعضها الآخر مؤدية إلى فصلها على شكل صفائح متقطعة Discreet plates.

يتبين من المناقشة السابقة، أن الفلزات 2 :1 متغيرة المسافة القاعدية، تخضع إلى ظاهرة التغيير في الحجم، وذلك اعتماداً على كمية الماء المتوافرة. ففي الظروف الجافة، فإن جزءاً مهماً من الماء يطرح خارجاً عن طريق التبخر مسبباً انكماشاً Shrinking قوياً للطبقات، وفي حال وفرة الماء فإنه يتم دفع الطبقات بعضها عن بعضها الآخر مسبباً انتفاخ هذه الفلزات.

٣ـ٢ـ٣ـ٢ـ٣ـ التعرف على فلزات السمكتيت والفرميكيوليت:

أ ـ انعراج الأشعة السينية X-ray diffraction:

تتميز هذه الفلزات بمسافتها القاعدية المتغيرة وبخاصة في السمكتيت الذي تتراوح فيه هذه المسافة بين 10 – 18 A° (١٠٠ـ١٠٨ nm) عوضاً عن 10 – 14 A° (١٠٠ـ١٠٤ nm) للفرميكيوليت، ويعود هذا الاختلاف بين المجموعتين إلى الاختلاف في الخواص الكيميا ـ بلورية لكلٍ منهما. ويرتبط هذا الاختلاف بالعديد من العوامل ككثافة الشحنات الكهربائية ومواقع هذه الشحنات وطبيعة الكاتيون المعدل ونوع المعاملة الكيميائية أو الحرارية التي تتلقاها الطبقات والرطوبة النسبية، الأمر الذي يجعل من كثافة الأشعة السينية في بعض الحالات وسيلة غير مباشرة للتفريق بين فلزات المجموعتين، وتحتاج إلى إخضاع الفلزات إلى معاملات خاصة تكرس الفروقات التي تبديانها في استجابتهما للتحليل بالأشعة السينية، كما يتضح من الجدول(٥)، وكذلك فارتباط المسافة القاعدية في السمكتيت بالعوامل المذكورة يجعل من التحليل السيني تحليلاً مرهوناً بحصر شروطه وتعيينها بدقة.

يبين الشكل(٣-٢١)، انعراجات الأشعة السينية لعينة تربة تحتوي على فلزي البيديليت والمونتموريللونيت، حيث يتضح من الشكل أن قيم الانعراجات لهذين الفلزين تتراوح بين 1.0 nm عند الإشباع بالبوتاسيوم ورطوبة صفر وتعريض العينة لدرجة حرارة تصل إلى 550 م°، و1.4 nm عند الإشباع بالمغنزيوم، ثم ترتفع إلى 1.8 nm عند الإشباع بالمغنزيوم والغليكول. ويمكن قول الشيء نفسه بالنسبة للفرميكيوليت عدا الحالة الأخيرة حيث لا يستجيب الفرميكيوليت للإشباع بالغليكول، بسبب قوة ارتباط طبقاته بعضها إلى بعضها الآخر.

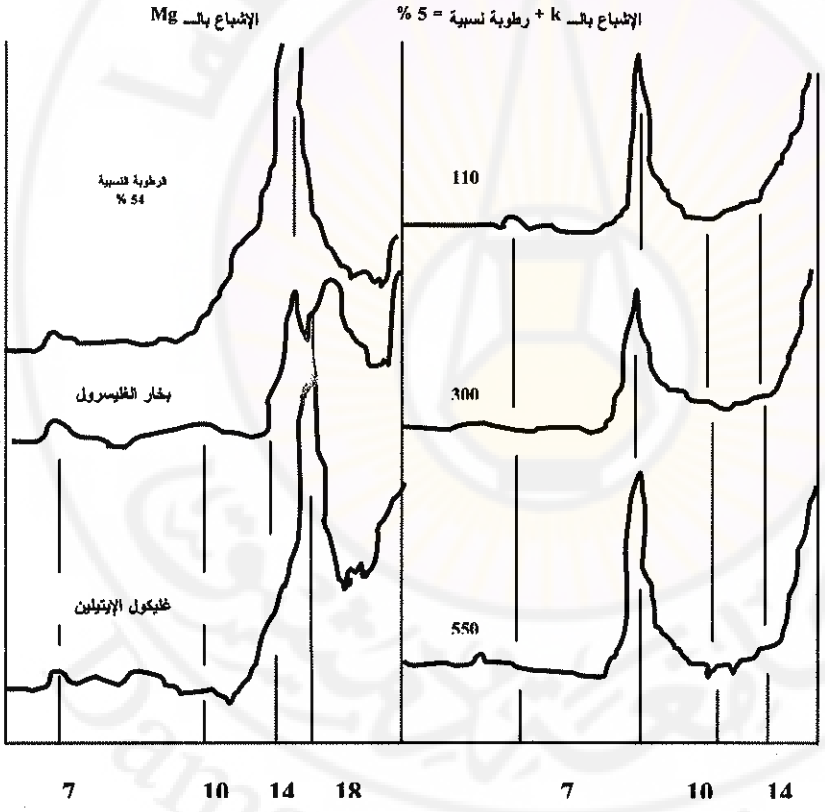
الجدول(٥)، يبين المسافة القاعدية للفرميكيوليت والسمكتيت عند معاملات مختلفة:

المعاملة Treatment	المسافة القاعدية nm	
	فرميكيوليت	سمكتيت
الإشباع: Mg ,Ca	1.45	1.45
Mg , Ca + غليكول	1.45	1.76 – 1.81
Na	1.2 – 1.1	1.3 – 1.2
Na + غليكول	1.2	1.4 – 1.7
K	1.0	1.2
K + غليكول	1.0	1.4 – 1.7
K + تسخين حتى 250 م°	1.0	1.2 – 1.0
K + تسخين حتى 400 م°	1.0	1.0

وقد وجد أنه يمكن التمييز بين المونتموريللونيت من جهة والنونترونيت والبيديليت من جهة ثانية، وذلك انطلاقاً من استجابة الطرفين المختلفة إزاء معاملتهما بالليثيوم Li^+ مع التسخين على حرارة 250 – 350 م° أولاً، ثم معاملتهما بالغليكول ثانياً، فقد تبين أن

المونتموريللونيت يحتفظ بمسافة قاعدية قدرها 1.0 nm ، في حين يتمدد كل من البيـديليت والنونترونيت إلى نحو 1.8 nm، وسلوك الطرفين على النحو المذكور يرجع إلى اختلافهمـا في مواقع الاستبدال المتماثل، فهو يتركز في الشريحة الثمانية في المونتموريللونيـت وفـي الشريحة الرباعية في الفلزين الآخرين، وينعكس ذلك في سلوك Li^+ حيالهما إذ إنـه يـدخل الثمانية في المونتموريللونيت ويقوم بذلك بضم الطبقات ويمنع تباعدها تحت تأثير الغليكول في هذا الفلز بعكس ما يحدث في الفلزين المتبقيين.

بالنسبة للنونترونيت فيمكن التعرف عليه بوساطة التحليـل العنـصري، وذلـك عنـد الحصول على كميات عالية نسبياً من الحديد.

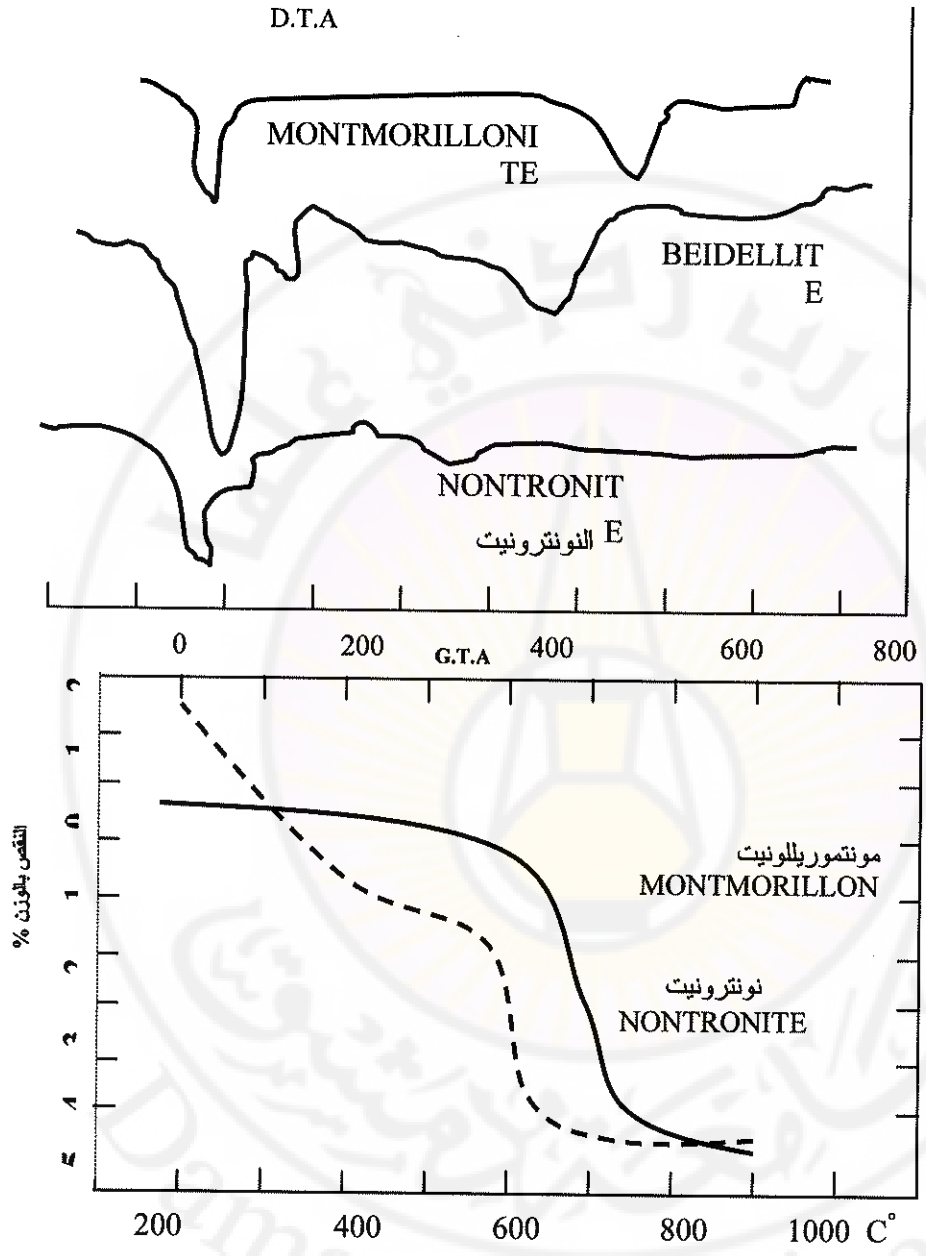


الشكل(٣-٢١)

انعراجات الأشعة السينية لعينة تربة تحتوي على فلزي المونتموريللونيت والبيديليت.

ب ــ التحليل الحراري Thermal analysis :

تعطي هذه الفلزات تفاعلات ماصة للحرارة عند استخدام الـــ D.T.A على درجة حرارة أقل من 300 م° ، وذلك بسبب نزع الماء، أما تفاعلات نزع الماءات فإنها تظهر على درجة حرارة تتراوح بين 500 – 700 م° ، وتظهر تفاعلات ناشرة للحرارة على درجة حرارة أعلى من 850 م° لتشكل فلزات غير مائية Anhydrous minerals ،الشكل(٣-٢٢).

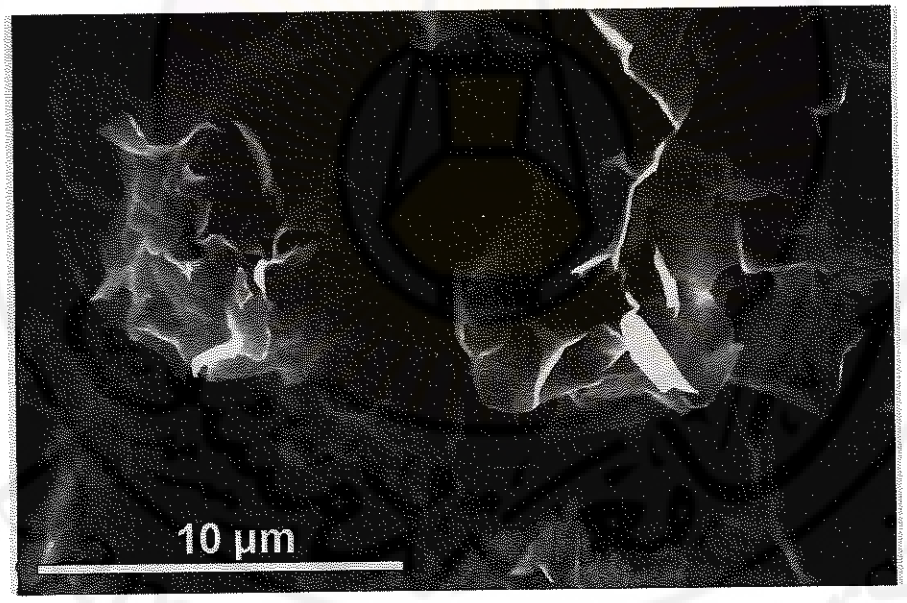


الشكل(٣-٢٢) يبين منحنيات التحليل الحراري التفاضلي D.T.A
والتحليل الحراري الوزني T.G.A لفلزات السمكتيت

يحدث نقص في وزن هذه الفلزات عند استخدام الـ D.T.A، ويكون أعظمه عند حرارة نحو 550 م°، وذلك بسبب نزع الماءات، هذا ولا تختلف فلزات السمكتيت عن الفرميكيوليت من حيث المعاملة الحرارية.

ج ــ الفحص المجهري:

يمكن في بعض الحالات استخدام المجهر الالكتروني للتعرف على الفلزات السابقة، لكن هذا يتطلب بعض الخصوصية في تحضير العينات، ومع ذلك تعد هذه الطريقة عملية في التعرف على هذه الفلزات وبخاصة بالنسبة لفلزات الفرميكيوليت، ويمكن استخدام المجهر الالكتروني النفّاذ(الماسح)بجدوى أفضل بالنسبة للتعرف على فلزات السمكتيت،الشكل(٣-٢٣).



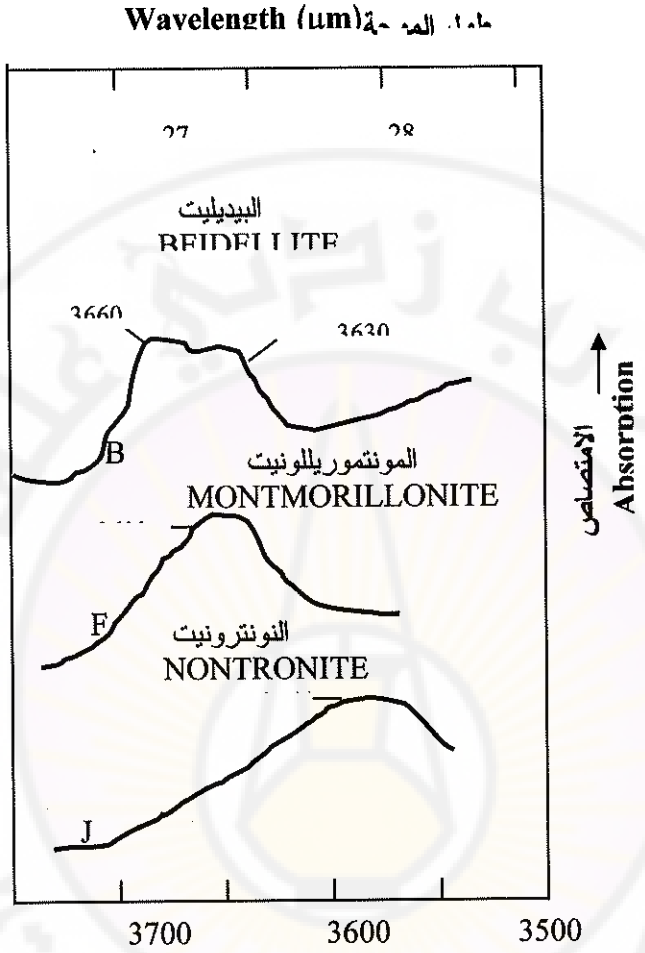
الشكل(٣-٢٣)، صورة مأخوذة بالمجهر الالكتروني الماسح S.E.M لفلز المونتموريللونيت.

د ــ التحليل بالأشعة تحت الحمراء Infrared analysis :

لقد ساعدت الدراسة بالأشعة تحت الحمراء على إعطاء معلومات مهمة عن الخواص البنائية لفلزات السمكتيت وكذلك الآلية التي تتفاعل بها هذه الفلزات مع المركبات الكيميائية العضوية وغير العضوية، ويمكن أن يساعد منحنى الامتصاص الأساسي على تمييز فلزات السمكتيت في التربة، الشكل(٣-٢٤) والجدول(٦).

يسبب اهتزاز روابط الماءات، امتصاصاً مميزاً لشريحة ثمانيات الوجوه، عندما يكون الكاتيون المركزي هو Al فقط، يكون الامتصاص قريباً من 920 سم$^{-1}$ ، وعندما يكون Fe فقط يكون الامتصاص نحو 820 سم$^{-1}$ ، أما عندما يكون الكاتيون المركزي Fe , Mg, Al فإن قيم الامتصاص تقع عندئذٍ بين القيمتين السابقتين.

تمتص اهتزازات الماءات Hydroxyl stretching vibration في المجال الترددي من 3000 – 3800 سم$^{-1}$ ويمكن أن يتسع نطاق الامتصاص بسبب الاستبدال المتماثل للسيليكون بالألمنيوم.



الشكل(٣-٢٤): " منحنيات امتصاص الأشعة تحت الحمراء لفلزات السمكتيت "

الجدول(٦)، قيم امتصاص الأشعة تحت الحمراء لفلزات السمكتيت من (Borchardt 1977):

Farmer and Russell 1967	White 1971	الرابطة	الفلز
920 - 890 – 845	950 844 887	Al Al – OH Al Mg – OH Al Fe^{+3} – OH	المونتموريللونيت
-	935	Al Al – OH	االبيديليت
820	-	Fe Fe – OH	التونترونيت

هـ ـ السطح النوعي:

تتميز هذه الفلزات وبخاصة السمكتيت بسطوحها النوعية الكبيرة(مقارنة مع الفلزات الأخرى)، التي تتألف من سطوح خارجية وسطوح داخلية وهي الأهم والأكبر.

يتوقف السطح النوعي للفرميكيوليت على مرحلة التجوية التي وصلها، وعموماً يمكن أن يبلغ 200 – 250 م^{٢} /غ ، تؤلف منها السطوح الداخلية 150 – 200 م^{٢} /غ.

أما بالنسبة للسمكتيت النموذجي فهو يتصف بصغر حبيباته، ويتمتع بسطح نوعي مرتفع يصل إلى 500 م^{٢} /غ تشكل منها السطوح الداخلية 300 – 350 م^{٢} /غ.

٣-٢-٣-٢-٤- تواجد فلزات السمكتيت:

يعزى وجود السمكتيت في التربة إلى مجموعة من العمليات المنشئية المختلفة ، وبشكل عام يعد السمكتيت أحد نواتج تجوية أنواع مختلفة من الصخور تحت ظروف تجوية معتدلة إلى قليلة الشدة.

يتكون السمكتيت في التربة بتصنيعه أو تخلقه Synthesis من نواتج التجوية الذائبة في أوساط معتدلة إلى قلوية وبتوافر تراكيز عالية من Si^{+4} و Mg^{+2} في محلول التربة. كما يمكن أن يتشكل من الميكا أو الكلوريت بنتيجة التحول الذي يطرأ على طبقتي هذين الفلزين، والذي يتلخص بإزاحة البوتاسيوم من الميكا وشريحة البروسيت من الكلوريت وما يتبع ذلك

من تغيرات أخرى تكسب الفلز خواص كهراكيميابلورية جديدة تنخفض معها الشحنة، وعموماً إن الظروف المناسبة التي تساعد في تحول الميكا إلى سمكتيت هي:

١- درجة حرارة وضغط منخفض، مما يساعد على عدم استقرار رباعية وجوه الألمنيوم التي تميز الميكا المتجوية.

٢- تركيز منخفض من البوتاسيوم.

٣- تركيز عالٍ من $Si(OH)_4$.

٤- تركيز منخفض من الألمنيوم، كما هي الحال في الترب التي لها pH أكثر من 6 أو 7.

ويتردد السمكتيت في الكثير من الترب المتطورة فوق رماد بركاني وذلك بتصنيعه من نواتج تجوية المواد الأم، و يعتقد أن هذه الحالة ممكنة عندما تكون ظروف التجوية مناسبة، هذا و تذكر بعض الدراسات أيضاً إمكانية تشكل السمكتيت على حساب الأولفين في الترب المتشكلة فوق زجاج بركاني غير مجوى Unaltered glass.

٣-٣- فلزات الطين الورقية ذات البنية 1:1:2:
: Phyllosilicates with 2:1:1 structure

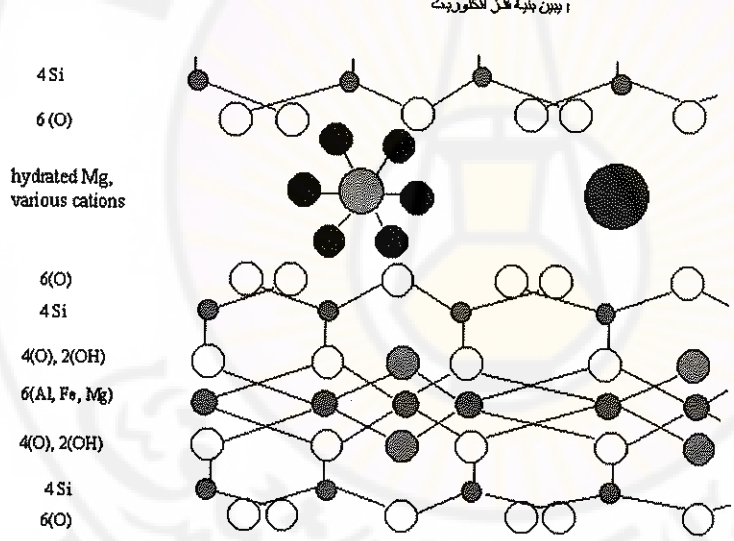
فلزات الكلوريت Chlorite minerals

٣-٣-١- البنية العامة لفلزات الكلوريت General structure of chlorite:

يمكن النظر لطبقة الكلوريت على أنها طبقة مركبة تتألف من طبقة 1:2 وشريحة من هيدروكسيد المغنزيوم تدعى بشريحة البروسيت Brucite sheet أو هيدروكسيد الألمنيوم(شريحة جبسيت)، تستدعي في الغالب إزاحة كاتيونات التعديل من الفراغات البينية، وتأتي بنيتها دائماً تعبيراً عن تتابع ثابت ومستقر، الشكل(٣-٢٥).

تسهم شريحة البروسيت بما تحمله من شحنة موجبة ناتجة عن استبدال بـ Mg^{+2} ، Al^{+3} في تعديل شحنة الطبقة 1:2 السالبة، إلا أن شدة التعديل هذه تختلف تبعاً لقيمة الاستبدال في شريحة البروسيت، التي تؤدي إلى الصفر أحياناً.

ويجري تعديل الشحنة في طبقة 1:2 في هذه الحالة بادمصاص كاتيونات تبادلية في الفراغات السداسية تحت شريحة البروسيت، كما أن جزيئات الماء تستطيع دخول الفراغات بين شريحة البروسيت وطبقة 1:2، وتتسبب في تغير البعد القاعدي والطبقة الناتجة في هذه الحالة تمثل طبقة كلوريت كاذب Pseudo chlorite تمييزاً له من الكلوريت الحقيقي الذي تشترك فيه شريحة البروسيت بتعديل شحنة الطبقة 1:2 ، تعد الشحنتان المتعاكستان في طبقة 1:2 وشريحة البروسيت مصدراً لقوة جذب كهربائية ساكنة Electrostatic attraction force تنشأ بينهما وتقوم بضمهما وربطهما معاً، ولابد للرابطة الناتجة هنا من أن تكون أشد من الرابطة الهيدروجينية التي تميز بعض أنواع الكلوريت معدوم الشحنة في شريحة البروسيت، ولابد من الإشارة إلى أن الشريحة الثمانية(الألومينية) تختلف عن الشريحة الثمانية للطبقة 1:2 بعدم اشتراك الأولى بمستو بلوري مع شرائح الطبقة الأخرى(الرباعية).



الشكل(٣-٢٥)

يبين البنية النموذجية لبلورة كلوريت ثلاثي مع توزيع الذرات في المستويات المختلفة

تبدي فلزات الكلوريت الكاذب انتفاخاً قد يصل مع الغليكول إلى ١,٧٥ nm، لهذا فهي تدعى بالكلوريت المنتفخ Swelling chlorite أيضاً، تنشأ هذه الخاصية عندما تنعدم تقريباً الشحنة على شريحة البروسيت، الأمر الذي يلغي قوى الضم الكهربائية الساكنة ويضعف الرابطة بين شريحة البروسيت وطبقة 1:2، مما يسمح بدخول السوائل القطبية، إلا أن

المسافة القاعدية للكلوريت الحقيق (سماكة الطبقة1:1:2) تبقة ثابتة وتتراوح بين 1.45- nm 1.4، ولا تتأثر بالمعاملة الحرارية· تتـراوح الـسعة التبادليـة للكلوريـت بـين 10 – 40 سنتيمول/كغ، إن كثافة الشحنات التي تحملها الطبقة 1:2 تماثل نظيرتها في فلـزات الميكـا ويعود ذلك للاستبدال المتماثل للسيليكون بالألمنيوم ·

٣-٣-٢- تصنيف الكلوريت حسب التركيب الكيميـا-بلـوري لـشريحة البروسـيت والشريحة الثمانية في طبقة 1:2 إلى عدة نماذج :

- **كلوريت ثلاثي** ــ تكون شريحة ثمانية الوجوه في الطبقة 1:2 من النوع ثمانية الوجوه الثلاثية وكذلك شريحة البروسيت·

- **كلوريت ثنائي** ــ تكون شريحة ثمانية الوجوه في الطبقة 1:2 من النوع ثمانية وجوه ثنائية، وكذلك شريحة الماءات أو البروسيت·

- كلوريت ثنائي ثلاثي ــ تكون شريحة ثمانية الوجـوه فـي الطبقـة 1:2 وشـريحة البروسيت من النوع ثمانية الوجوه الثلاثية·

- كلوريت ثلاثي ثنائي ــ تكون شريحة ثمانية الوجـوه فـي الطبقـة 1:2 وشـريحة البروسيت من النوع الثنائي·

ــ الكلوريت الثلاثي Trioctahedral chlorite:

إن معظم الفلزات التي لها بنية الكلوريت، تعود إلى هذه المجموعـة· وتحتـوي هـذه الفلزات على كمية عالية من Mg أو Fe أو كليهما معاً، وكمية قليلة نسبياً من الـسيليكون· ويمكن تمثيل التركيب المثالي لهذه المجموعة بالصيغة البنائية العامة الآتية:

$$[\,(Si_{8-x}Al_x)^{IV}(Fe,\ Mg)^{VI}O_{20}(OH)_4\,]\,[\,(Mg_{6-x}Al_x)(OH)_{12}\,]$$

شريحة البروسيت **طبقة 1:2**

إن الكاتيونات الموجودة في الطبقة 1:2 أو في شريحة البروسـيت لا يمكـن تمييزهـا بوساطة التحليل الكيميائي، تعد الكاتيونات الموجودة في رباعيات الوجوه غالباً غير متغيـرة (Al, Si)، فيما يعد كل من Fe^{+2} و Mg^{+2} الأكثر تواجداً في شريحة ثمانيات الوجوه، مع وجود كمية مهمة من Ni^{+2} و Mn^{+7} في بعض فلزات الكلوريت، كما يمكن تواجد بعض الكاتيونات الثلاثية في ثمانية الوجوه مثل: Al^{+3} ، Fe^{+3} ، Cr^{+3}.

عموماً للكلوريت النموذجي التركيب الكيميائي الآتي:

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

SiO_2 = 29 – 30 %.

Al_2O_3 = 15 – 16 %.

Fe_2O_3 = 4 %.

FeO = 15 %.

MgO = 21 – 22 %.

H_2O = 12 %.

ـ الكلوريت الثنائي والكلوريت الثنائي الثلاثي:

يدعى الكلوريت ثنائياً عندما تكون شريحة البروسيت وشريحة ثمانيات الوجوه من النوع الثنائي، أي أن الكاتيون المركزي فيهما ثلاثي التكافؤ ويشغل موقعين من أصل ثلاثة. ويدعى الكلوريت ثنائياً ـ ثلاثياً عندما تكون الشريحة الثمانية في الطبقة ثنائية وشريحة الهيدروكسيل ثلاثية، للنوع الأول الصيغة البنائية التالية:

$$(Si_{8-x}Al_x)^{IV}Al_4)^{VI}O_{20}(OH)_4\ Al_{4-x}R_x^{+2}(OH)_{12}$$

وللكلوريت الثنائي الثلاثي الصيغة:

$$(Si_{8-x}Al_x)^{IV}Al_4)^{VI}O_{20}(OH)_4\ Mg_{6-x}Al_x(OH)_{12}$$

أ- التحليل الكيميائي:

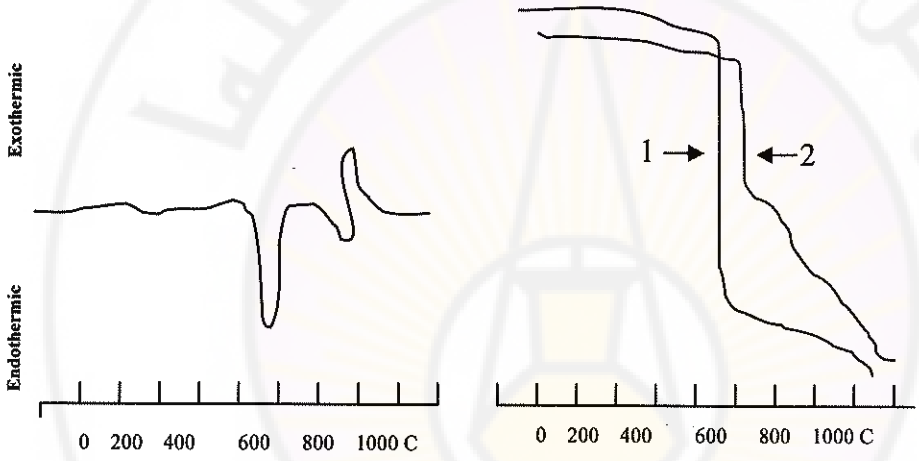
يعطي التحليل الكيميائي الكلي للكلوريت الثلاثي النقي كميات عالية نسبياً من الحديد والمغنزيوم، وكميات قليلة من السيليكون والألمنيوم، بينما يعطي الكلوريت الثنائي كمية أكبر من Al. يذوب الكلوريت بسهولة عند معاملته بحمض كلور الماء النظامي على حرارة 80 م° ، وهذه المعاملة تسمح باستخلاص انتقائي Selective extraction، عند وجود الكلوريت مع مجموعة من الفلزات المقاومة للأحماض مثل الكاؤولينيت والمسكوفيت.

ب – التحليل الحراري:

تدل المنحنيات الناتجة عن معاملة الكلوريت بالتحليل الحراري الوزني T.G.A على نقص قليل في الوزن على درجات حرارة أقل من 500 م° الشكل(٣-٢٦).

أما على درجات حرارة من 500 – 550 م° فإنه يلاحظ حدوث نقص واضح بالوزن، يتبع ذلك نقص تدريجي بالوزن عند رفع الحرارة إلى 800 م°.

يظهر عند معاملة الكلوريت حرارياً بطريقة D.T.A تفاعل ماص للحرارة ضعيف على درجة حرارة نحو 100 م° وربما يعود هذا التفاعل إلى وجود كميات قليلة من الماء الهيغروسكوبي. ثم يتبعه تفاعل قوي على درجة حرارة من 500 – 550 م° ناتج عن نزع OH شريحة البروسيت، ثم يتبعه تفاعل آخر على درجة حرارة 80 م° بسبب نزع ماءات شريحة ثمانيات الوجوه، الشكل(٣-٢٧)، هذا ويؤدي نوع الكاتيون المركزي ودرجة تجوية الكلوريت، دوراً مهماً في تحديد الطاقة اللازمة لهذه التفاعلات.



الشكل(٣-٢٦)،يبين منحنى T.G.A لعينتين من الكلوريت

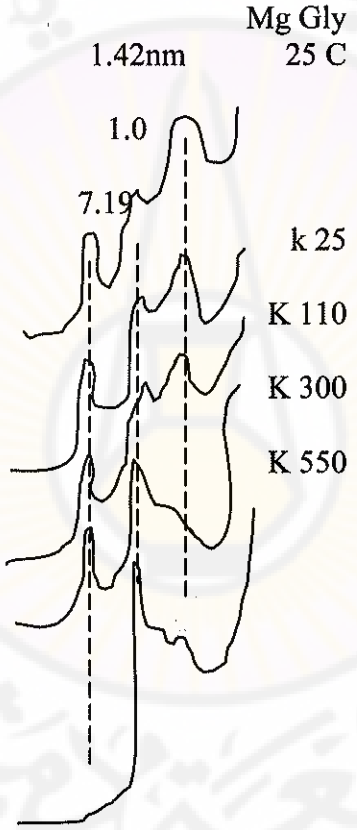
الشكل(٣-٢٧)،يبين منحنى D.T.A لفلز الكلوريت

جدول(٧)، يبين أثرالتركيب الكيميائي للكلوريت على درجة حرارة dehydroxylation:

Dominant cation	Hydroxide sheet C°	Oct.sheet 2:1
Mg^{+2}	640	820
Al^{+3}	500	750
Fe^{+2}	430	530
Fe^{+3}	250	

جـ - انعراجات الأشعة السينية:

يعطي الكلوريت عند معاملته بالأشعة السينية سلسلة من الانعراجات أو القمم، تبدأ المراتب الأولى 1.45 nm ثم الثانية 0.72 nm والثالثة 0.36 nm وهكذا ....، يلاحظ أن قمم المراتب المفردة أقل شدة من قمم المراتب المزدوجة الشكل(٣-٢٨)، إن المسافة القاعدية للكلوريت ثابتة عند المعاملة بالحرارة حتى 600 م° ، وتؤدي أيضاً مرحلة التجوية دوراً في تحديد الحرارة اللازمة لتحطيم الفلز.



الشكل (٣-٢٨) " يبين انعراجات الأشعة السينية(nm) لعينة تربة تحتوي على الكلوريت ضمن معاملات مختلفة "

٣-٢-٥- التعرف على الكلوريت في وجود الكاؤولينيت:

تتطابق انعراجات المرتبة الثانية للكلوريت 0.72 nm تماماً مع انعراجات المرتبة الأولى للكاؤولينيت، وإلى حد مماثل تقريباً، بالنسبة للمرتبة الثالثة للكلوريت 0.355 nm مع المرتبة الثانية للكاؤولينيت ٠,٣٥٨ nm.

يؤدي هذا التداخل إلى حدوث بعض المغالطات عندما يراد تمييز هذه الفلزات بعضها من بعضها الآخر، وحتى يكون التعرف على هذه الفلزات صحيحاً يمكن اللجوء إلى إحدى المعاملات الآتية:

١- التحليل الكيميائي الكلي:

من المعروف أن الكلوريت يحتوي على كميات عالية نسبياً من Fe و Mg شريطة عدم وجود فلزات أخرى حاملة لهذه العناصر.

٢- المعاملة بحمض كلور الماء، كما مر سابقاً.

٣- المعاملة بالحرارة حتى 500 م° في حال وجود الكاؤولينيت، يحصل تحطيم للبناء ولا تظهر قمم الأشعة السينية، بينما الكلوريت مقاوم للحرارة.

٤- استخدام المجهر الالكتروني حيث يأخذ الكاؤولينيت غالباً شكل شرائح سداسية، بينما ليس للكلوريت شكلاً مميزاً.

٣-٣-٦- تواجد الكلوريت:

تتواجد فلزات الكلوريت بكمية مهمة في معظم الصخور الاندفاعية والمتحولة والرسوبية، عند تعرض الصخور إلى عمليات التجوية وبعدها إلى عمليات تكوين التربة، تتعرض فلزات الكلوريت إلى تغيير مهم في تركيبها، تؤدي عملية الأكسدة غير العكوسة للحديد الثنائي Fe^{+2} دوراً مهماً في تجوية الكلوريت، ويمكن للكلوريت أن يتجوى إلى عدة أطوار فلزية، ومن أهم عمليات التحول إزاحة جزء من شريحة البروسيت، وهذا ربما يؤدي إلى سلسلة نظامية أو عشوائية من الفلزات مختلطة الطبقة.

أما في التربة، فيتواجد الكلوريت كفلز أولي موروث من هذه الصخور أو الصخور النارية، وكذلك كنواتج تحول فلزات أخرى مثل الهورنبلد، البيوتيت وفلزات أخرى تحتوي على الحديد والمغنزيوم، يعد انتشار الكلوريت وتواجده في التربة قليلاً نسبياً، ويرتبط بشكل أساسي بالمواد الأم التي تشكلت منها التربة، ويعزى انتشاره القليل في التربة إلى انخفاض

درجة ثباته واستقراره، أو إلى صعوبة تمييز الكميات القليلة منه، بخاصة في حـــال وجـــود فلزات السمكتيت والفرميكيوليت والكاؤولينيت.

٣-٤- الفلزات مختلطة الطبقة Mixed layer minwrals:

٣-٤-١- مقدمة Introduction:

تحتوي السيليكات الطبقية(ميكا، سمكتيت، كلوريت، فرميكيوليت، والكاؤولينيت) على رباعيات وجوه وثمانيات وجوه، كوحدات بنائية أساسية، تتألف شرائح رباعيات الوجوه من مستوى من أيونات Si^{+4} و Al^{+3} . تحاط هذه الأيونات بأربع ذرات من الأوكسجين، أما شرائح ثمانيات الوجوه فتتألف من أيونات Mg, Fe, Al. وهي محاطة بست ذرات من الأوكسجين أو الهيدروكسيل.

يتكون كل من السمكتيت والفرميكيوليت والميكا من شريحة ثمانيات وجوه بين شريحتين من رباعيات الوجوه، بينما يتألف الكلوريت من زوجين من الشرائح زوج من رباعيات الوجوه وآخر من ثمانيات الوجوه(بشكل متناوب).

بسبب التماثل في البناء، تظهر هذه الفلزات على شكل رتب مختلطـــة وملتـــصقة مـــع بعضها، بحيث تكون البلورة الواحدة مؤلفة من طبقتين أو أكثر من السيليكات الورقيـــة. هـــذا التجمع من السيليكات الورقية، يدعى عادة بالفلزات المختلطة أو الفلزات ذات التطبق البيني.

يبدو أن تكوين الفلزات المختلطة له تأثير واضح على كل من البوتاسيوم والفوسفور، فقد بينت التجارب أن البوتاسيوم في الفلزات المختلطة التي تدخل فيها فلزات الميكا يكون مرتبطاً بقوة أكبر في الفلزات المختلطة من النوع ميكا ــ فرميكيوليت، منه في فلزات الميكا، وكذلك في حالة تكوين الهيدروكسيل في الطبقات البينية لكل من السمكتيت والفرميكيوليت، فإن تثبيت الفوسفور يكون أعلى منه في الحالات المفردة .

إن وجود الفلزات المختلطة يدعو للاعتقاد بأن هناك تغييراً في الظروف التي كانت سائدة عند تكوين سيليكات الطين، خاصة وأن الفلزات المختلطة تتكون تحت تأثير تغيير بسيط في الظروف السائدة، بينما تغيير الفلزات الأخرى يكون بطيئاً جداً.

تتواجد الفلزات المختلطة الناتجة عن اتحادات مختلفة، بكمية وافرة في حبيبات الطين والسلت في التربة والرسوبيات.

هناك عدة نماذج من التطبق البيني أو الفلزات المختلطة سوف نستعرضها بإيجاز:

٣-٤-٢- نماذج التطبق البيني Types of Interstatifications:

يمكن التمييز بين ثلاثة نماذج من الفلزات المختلطة، وذلك تبعاً لطريقة تعاقب الطبقات، الشكل(٣-٢٩):

ا ــ فلزات ذات تطبق بيني منتظم Regular interstratified minerals:

ينتج هذا النموذج عن تعاقب منتظم لطبقتين مختلفتين(مثال تعاقب الطبقتين A و B على الشكل ... AB AB AB أو على الشكل... AAB AAB AAB داخل البلورة) وتصبح المسافة القاعدية لفلزاته مكافئة لسماكة الطبقتين A و B معاً، وتسمى هذه الفلزات الناتجة عادة بأسماء الطبقات المكونة لها، مثال:

ميكا ــ سمكتيت، كلوريت ــ فرميكيوليت، بيوتيت ــ فرميكيوليت.

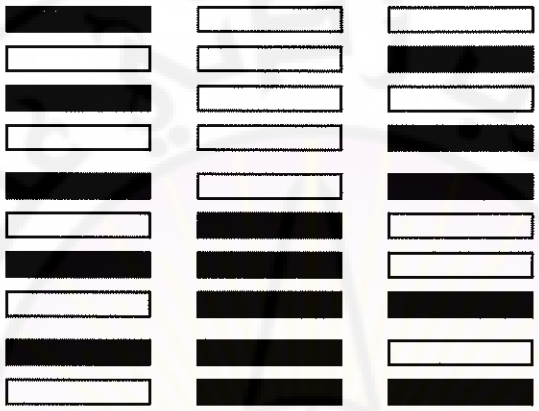
ب ــ فلزات ذات تطبق بيني غير منتظم Irregular interstratified minerals:

تعد هذه الفلزات أكثر انتشاراً في التربة والرسوبيات من سابقتها وأكثر تعقيداً أيضاً وذلك نتيجة للتتابع العشوائي للطبقات ولعدم دوريته، الأمر الذي يجعل من دراسة هذه الفلزات بالأشعة السينية أمراً عسيراً صعب التفسير، يأخذ التتابع أشكالاً عديدة ، مثال:

... ABC CBA BCA ...

جـ ــ فلزات ذات تطبق بيني معزول Segregated interstratified:

ينشأ هذا النوع من الفلزات من تعاقب(تنضيد) مجموعات من طبقات مختلفة تشكل عند الفحص بالأشعة السينية أطواراً منفصلة، وتنجم هذه الفلزات عن عملية خلط ميكانيكي لبلورات فلزات مستقلة.



a b c

الشكل(٣-٢٩) يبين النماذج المختلفة للتطبق البيني

a ــ تطبق بيني منتظم.

b ــ تطبق بيني معزول.

c ــ تطبق بيني عشوائي.

٣-٤-٣- دراسة الفلزات مختلطة الطبقة بالأشعة السينية:

تعد دراسة الفلزات مختلطة الطبقة بالأشعة السينية، أمراً غاية في التعقيد، وبخاصة إذا كانت من النموذج العشوائي، لكن يمكن ملاحظة بعض النقاط التي يمكن أن تسهم في تفسير انعراجات الأشعة السينية:

أ ــ بما أن الطبقات المتعاقبة Successive layers متماثلة تقريباً في هذه الفلزات، فإن الانعراجات المفردة تكون غالباً ضعيفة بسبب تداخل الأشعة المنعكسة من هاتين الطبقتين، وفي حالات عديدة ينعدم ظهور الانعراجات المفردة تماماً، بينما تكون الانعراجات من

المراتب المزدوجة قوية وواضحة وذلك بسبب إعادة تدعيم أو تقوية الشعاع المنعكس من الطبقتين المتماثلتين.

ب ـ يتحدد الموقع الصحيح لقمة الانعراج لفلز مختلط الطبقة، حسب نسبة كل طبقة، مثال: تقع قمة الانعراج لفلز مختلط الطبقة 1.0 + 1.4 nm بين القمة 1.0 والقمة 1.4، والموقع الصحيح يعتمد على نسبة عدد طبقات الـ 1.0 nm إلى عدد طبقات الـ 1.4 nm ، فإذا كان عدد طبقات الـ 1.0 nm أكثر تكون قمة الانعراج أقرب لها، وإذا كان عدد طبقات الـ 1.4 nm أكثر تكون قمة الانعراج أقرب لها.

جـ ـ كلما زاد انتظام تعاقب الطبقات، كانت الانعراجات كاملة ومنتظمة.

د ـ تعطي الفلزات مختلطة الطبقة غير المنتظمة، انعراجات أو قمماً عريضة ومتسعة، بين انعراجات الطبقتين التي يتكون منهما الفلز.

٣-٤-٤- الفلزات مختلطة الطبقة في التربة:

يعود تشكل الفلزات مختلطة الطبقة في التربة إلى عملية التحول Transformation، وذلك إما عن طريق الإزاحة أو النقل Removal أو عن طريق الإضافة Addition للأيونات أو الشرائح من وإلى السيليكات الورقية على التوالي.

لذلك غالباً ما تكون الفلزات الناتجة من النموذج غير المنتظم، أو أن تكون الطبقات الجديدة متكدسة بشكل عشوائي، يؤدي إلى ظهور انعراجات الأشعة السينية بشكل غير واضح وغالباً ما تأخذ القمم شكلاً متسعاً.

هذه السمات تجعل من الصعب إعطاء توصيف واضح لهذه الفلزات، وفيما يلي نورد مثالاً توضيحياً:

عند تشكل فلز مختلط الطبقة تظهر وحدة خلية جديدة بسبب إضافة مسافة قاعدية تمثل الطبقة الجديدة المضافة، خلال عملية تجوية الكلوريت مثلاً، يتم نزع شريحة ماءات واحدة من كل اثنتين، وبذلك تتشكل بلورة جديدة مسافتها القاعدية تساوي مسافة طبقة الكلوريت وطبقة الفرميكيوليت الجديدة أي 1.4 + 1.4 = 2.8 nm، إذا تمت هذه العملية بشكل منتظم، يمكن عندها الحصول على سلسلة من الانكسارات الواضحة 2.8 nm، 1.4 nm، 0.93 nm ... وهكذا، أما إذا أدت العملية السابقة إلى تشكل طبقة منتفخة، تصبح المسافة القاعدية ٣٠٠- ٣٠١ nm عند الإشباع بالمغنزيوم والغليكول.

٣-٤-٥- تكوين الفلزات مختلطة الطبقة Formation of mixed layerminerals:

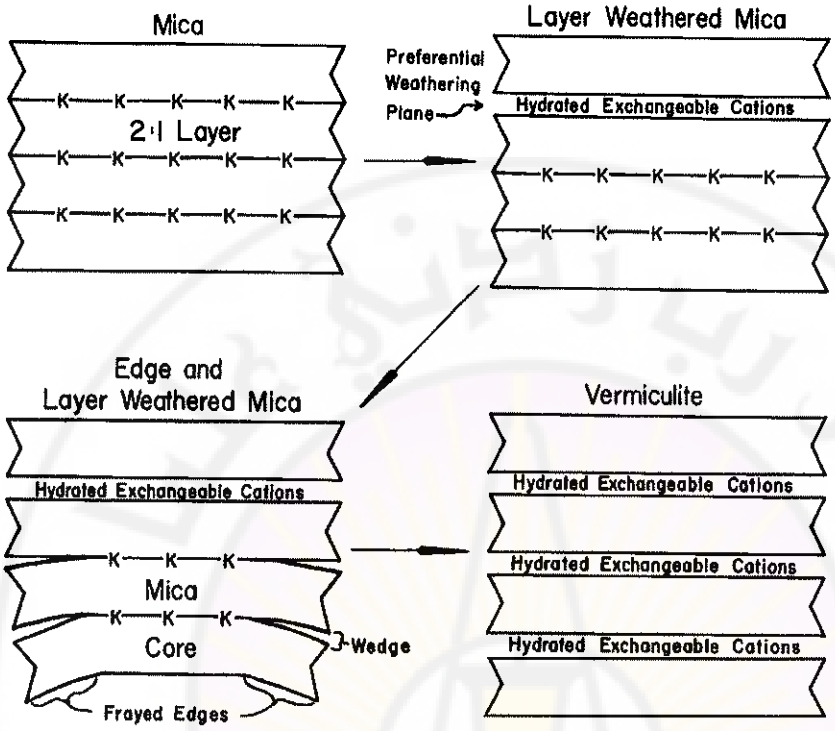
تتكون الفلزات مختلطة الطبقة الموجودة في الطبيعة، أساساً عن طريق التجوية(التغيير) الحرارية المائية Hydrothermal alteration، وتتضمن عملية التجوية هذه إزاحة البوتاسيوم الموجود بين طبقات فلزات الميكا، أو إزاحة طبقة البروسيت من فلزات الكلوريت(قد تكون هذه الإزاحة جزئية أو كلية في كلا الحالتين السابقتين)، وربما تترافق هذه العملية ببعض التغيرات في البناء التي تؤدي بدورها إلى خفض شحنة الفلز. وقد يحدث العكس، أخذ كاتيون البوتاسيوم أو تكوين طبقة البروسيت أو الجبسيت البينية من قبل الفلزات ذات البعد القاعدي المتغير مثل السمكتيت والفرميكيوليت، لتكوين فلزات مختلطة.

سنورد فيما يلي مثالاً:

إن عملية تحول الميكا إلى فلزات ذات بعد قاعدي متغير، يمكن التعبير عنها بالمعادلة البسيطة التالية:

ميكا ـ K^+ كاتيونات مميهة متبادل ⟸ فلزات ١:٢ متغيرة البعد القاعدية

والشكل التالي يوضح مراحل هذا التحول:



الشكل(٣-٣٠) يبين مراحل تحول الميكا إلى فلزات متغيرة البعد القاعدي

Damascus University


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

فلزات الطين الليفية
Fiberous Clay Minerals

الباليغروسكيت والسيبيوليت
Palygroskite and Sepiolite

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

فلزات الطين الليفية
Fiberous Clay Minerals

الباليغروسكيت والسيبيوليت
Palygroskite and Sepiolite

٤-١- الخصائص البنائية Structural properties:

إن بنية الفلزات الليفية مثل الباليغروسكيت(كان يعرف سابقاً باسم الأتابولغيت Attapulgite،لكنه أسقط مؤخراً) والسيبوليت، تختلف عن بنية الفلزات السيليكاتية التي مرت سابقاً مثل الميكا، ووجهة الخلاف أن الفلزات الليفية تفتقد إلى وجود شرائح مستمرة من ثمانيات الوجوه.

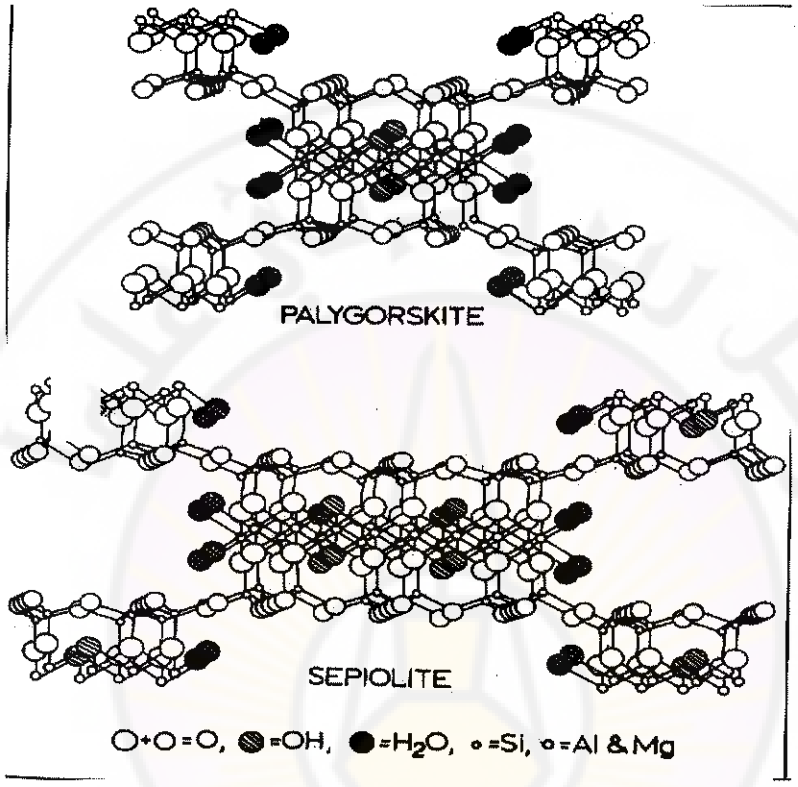
يعد فلز الباليغروسكيت سيليكات مغنيزية ــ ألومينية، حيث يتواجد هذان العنصران في هذا الفلز بنسب متساوية، وفي هذه النقطة يختلف الباليغروسكيت عن السبيوليت، الذي ترتفع فيه نسبة عنصر المغنزيوم قياساً مع النسبة الضئيلة للألمنيوم.

يشكل فلزي الباليغروسكيت والسبيوليت مرحلة انتقالية بين ثمانيات الوجوه الثنائية وثمانيات الوجوه الثلاثية، والتي يعتقد أنها المسؤولة عن الشكل الليفي Fiberous لهذه الفلزات.

عموماً، يعتقد أن الشكل الليفي ناتج عن استطالة موازية للمحور C بحزم Bands ناشئة عن تناوب Alternating شرائط Ribbons ، لها النموذج البنائي ٢ : ١.

يمكن اعتبار كلا البنيتين عبارة عن شرائط Ribbons مستمرة للبنية السيليكاتية الورقية من النموذج ٢ : ١، كل شريط يرتبط مع الشريط التالي بوساطة رباعية وجوه SiO_4 مقلوبة على طول مجموعة من حزم Bands : $Si-O-Si$.

ينشأ عن ارتباط الشرائط مع بعضها إطار بنائي Framework structure مفتوح نسبياً، يحتوي على أقنية تسير موازية مع حواف الشرائط وطول المحور الليفي، الشكل(٤-١).



الشكل(٤-١) رسم تخطيطي لبنية فلزي الباليغروسكيت والسيبيوليت

يتكون كل شريط Ribbon من خمس ثمانيات وجوه في الباليغروسكيت ومن ثمان ثمانيات وجوه في السبيوليت، ومظهرها هذا يشبه التوضع الجانبي لسلسلتين من البيروكسين Pyroxenes في الباليغروسكيت، وثلاث سلاسل في السيبيوليت.

على الرغم من أن رباعيات الوجوه، تشكل شرائح مستمرة، فإن العمم [illegible] في الحزم المجاورة، تتجه اتجاهاً معاكساً، ينتج عن هذا البناء عدم وجود مستويات مستمرة من الذرات مع رباعيات وجوه مواقعها مشغولة أساساً بالسيليكون، ومع ثمانيات وجوه مواقعها مشغولة اساساً بالمغنزيوم والألمنيوم، التي تتناوب لتشكل أقنية Channels مفتوحة ذات أبعاد محددة وثابتة، يحتوي البليغروسكيت على أقنية أبعاد مقطعها العرضي 3.8 × 6.3 A° ، أما

السبيبوليت فأبعاد أقنيته تساوي $3.8 \times 9.4\ A^{\circ}$، تحتوي هذه الأقنية على الكاتيونات وجزيئات الماء، يتوضع نحو نصف جزيئات الماء مجاوراً لثمانيات الوجوه من أجل تحقيق شرط التوازن فيها، بينما يتوضع النصف الباقي في الأقنية، مما يعطي هذه الفلزات بعض الصفات الزيوليتية ·

٤-٢- التركيب الكيميائي Chemical compositin:

يعد التركيب الكيميائي للباليغروسكيت متغيراً نسبياً، مقارنة مع السمكتيت على سبيل المثال، إن الصيغة الكيميائية الأكثر تمثيلاً للتركيب الكيميائي لهذا الفلز، يمكن أن تكون على الشكل الآتي:

$$(Si_8)^{IV}(Mg)^{VI}O_{20}(OH)_2\ (OH_2)_4 \cdot 4H_2O$$

وباعتبار أن التركيب الكيميائي للباليغروسكيت متغير نسبياً، فإن الصيغة الكيميائية التالية يمكن اعتمادها:

$$(Si_{8-x}R_x^{+3})^{IV}(Mg_{5-y-2}R_y^{+3}O_2)^{VI}O_{20}(OH)_2\ (OH_2)_4\ R_{(x+y+2z)/2}^{+2} \cdot 4H_2O$$

يعد البليغروسكيت(والسيبيوليت) من أكثر فلزات الطين استقراراً تحت الظروف السائدة على سطح القشرة الأرضية·

أما بالنسبة للتركيب الكيميائي للباليغروسكيت فهو كالتالي:

SiO_2 حوالي 55 %، MgO 6 – 15 %، Al_2O_3 6 – 15 %، Fe_2O_3 2 – 5 %، والماء الكلي نحو 20 %.

أما صيغة فلز السبيوليت فهي:

$$(Si_{12})^{IV}(Mg_8)^{VI}O_{30}(OH)_4 \cdot 8H_2O$$

وله التركيب الكيميائي التالي:

SiO_2 حوالي 46 - 58 %، MgO 15 – 25 %، Al_2O_3 < 1 %، Fe_2O_3 < 5 %، و نحو 20 % ماء·

٤-٣- خواص الفلزات الليفية Properties of fiberous minerals:

٤-٣-١- الخواص الكيميائية:

تتميز الفلزات الليفية بسعة تبادل كاتيوني متوسطة إلى منخفضة، وهي تتراوح بين 5 – 30 سنتيمول/ كغ للباليغروسكيت ومن 20–45 سنتيمول/ كغ للسيبيوليت، وتتغير هذه السعة قليلاً تبعاً لتغير pH الوسط وحجم الحبيبات، يتصف الباليغروسكيت بخاصة التفكك Dissociation العالية للبوتاسيوم والكالسيوم مقارنة مع أي فلز طين آخر، وبمقاومته لتأثير الأوساط الحامضية قياساً بالسيبيوليت الذي يتحلل بسرعة فيها.

٤-٣-٢- الخواص الفيزيائية:

يقدر السطح النوعي لكلٍ من الباليغروسكيت والسيبيوليت حسابياً من النموذج البنائي structural models بحوالي 8 إلى 9×10^5 م^2/كغ، بما فيها سطوح الأقنية، إن القيمة النظرية للسطح النوعي لهذه الفلزات، تاتي دائماً أكبر من القيمة التجريبية، وذلك بسبب وجود الأنابيب والأقنية التي تأخذ شكل أسافين Wedge-shaped capillaries and channels والتي لا تكون متاحة للقياس.

تذكر بعض المصادر الأخرى أن السطح النوعي للباليغروسكيت حوالي 140 م^2/غ وللسيبيوليت 392 م^2/غ ، وهذه السطوح معظمها سطوح خارجية، وإن الطبيعة الليفية لهذه الفلزات تمكنها من تشكيل تجمعات ترابية عالية المسامية نسبياً.

٤-٣-٣- الشحنات الكهربائية Electrical charges:

لقد أظهرت الصيغتان البنائيتان لخليتي الباليغروسكيت والسيبيوليت تعادلاً كهربائياً قائماً على غياب الاستبدال المتماثل فيهما، إلا أن هاتين الصيغتين البنائيتين ليستا إلا صيغاً نظرية، وتحتملان في الكثير من الأحيان مقداراً من الاستبدال الذي يأتي في الشريحة الرباعية كما في الشريحة الثمانية، كاستبدال الـ Mg من قبل Fe^{+3} أو استبدال Si من قبل Al الذي يترافق باستبدال الـ Mg من قبل Al في بعض أنواع السيبيوليت، وكذلك الأمر بالنسبة للباليغروسكيت الذي يبقى فيه الاستبدال أكثر تردداً، ويمكن أن يهبط عدد ذرات Si إلى 7.3 نتيجة استبدال Al لها، ويترافق هذا الاستبدال بآخر معاكس Al / Mg (ومن الممكن Fe^{+3} بمعدل أقل).

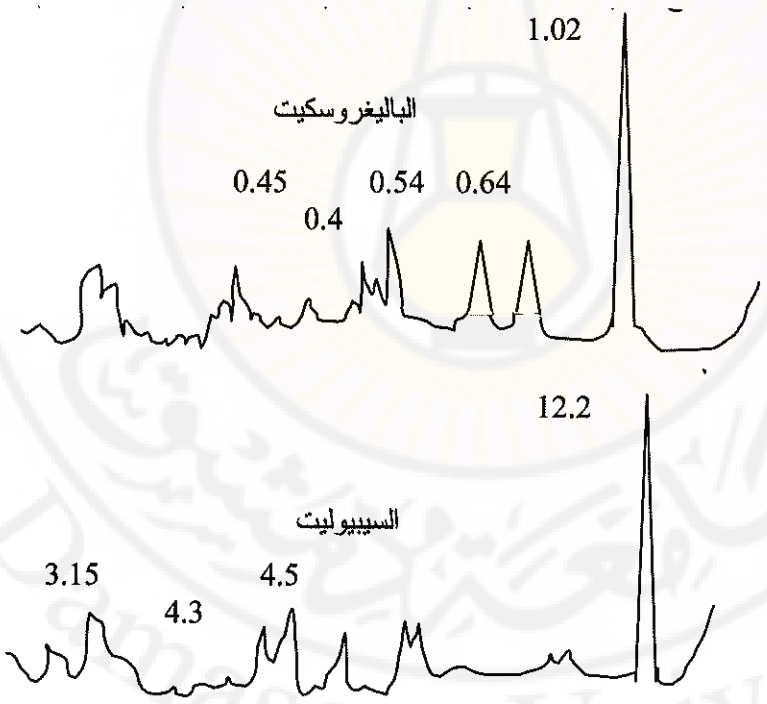
ولابد من الإشارة إلى أن هذه الفلزات تتصف بسعة تبادلية منخفضة نسبياً، وقد يرجع ذلك إلى انخفاض درجة الاستبدال من جهة والاستبدال المعاكس من جهة ثانية.

٤-٤- التعرف على الفلزات الليفية:

١- انعراجات الأشعة السينية:

يبدي الباليغروسكيت عند معاملته بالأشعة السينية، انعراجات أو قمماً قوية وواضحة عند القيم 1.02 و 0.64 و 0.54 و 0.45 nm ، تزول جميعها عند رفع درجة الحرارة إلى 400 م°، الشكل(٤-٢). وهي بذلك تماثل بمخططها مخطط الفلدسبار(عدا الانعراج 1.02 nm)، الأمر الذي يدعو إلى الخلط بين الطرفين.

أما بالنسبة للسيبيوليت فتقع انعراجاته عند القيم 1.22 nm (قمة عريضة وغير منتظمة)، 0.45 و 0.43 و 0.375 nm تتحطم جميعها عند رفع درجة الحرارة إلى 400 م° وذلا



الشكل (٤-٢)، يبين انكسارات الأشعة السينية لفلزي الباليغروسكيت والسيبيوليت

٢- **التحليل الحراري:**

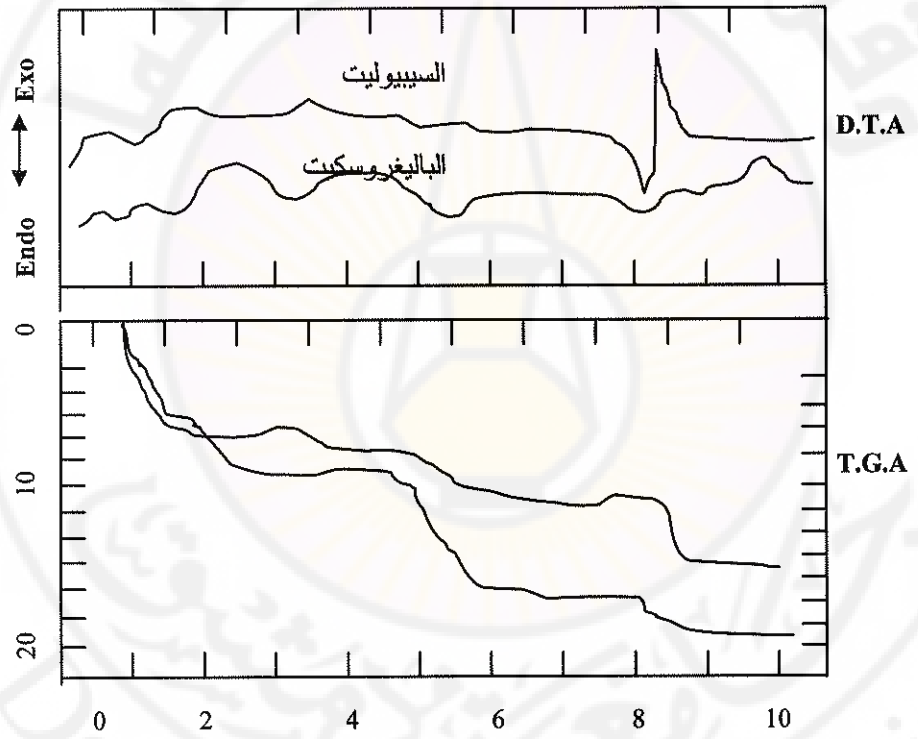
الشكل(٤-٣) ، يظهر من المعاملة الحرارية الوزنية T.G.A أن عملية نزع الماء والنقص بالوزن تمر في أربع مراحل متمايزة، تتوافق هذه المراحل الأربع مع فقد:

١- الماء الهيغروسكوبي.

٢- الماء الزيوليتي الموجود في الأقنية.

٣- الماء البنائي الموجود على حواف شريحة ثمانيات الوجوه.

٤- الماءات المرافقة لشرائح ثمانيات الوجوه.



الشكل(٤-٣) " يبين منحنيات التحليل الحراري التفاضلي والوزني لكلٍ من السيبيوليت والباليغروسكيت"

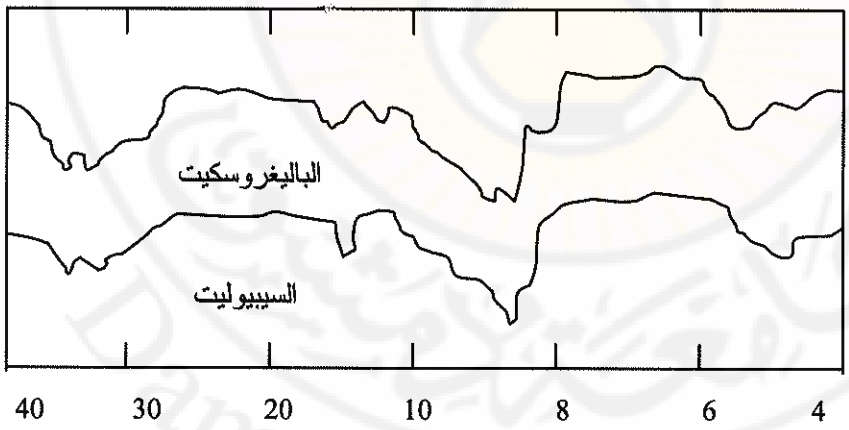
وأما بالنسبة للتحليل الحراري التفاضلي D.T.A ، فإن الباليغروسكيت يشهد أربعة تفاعلات حرارية داخلية Endothermic، وهي على التوالي على حرارة 80 – 210 م°، 210 – 350 م°، 350 – 540 م° و 690 – 770 م° ، كما يبدي الباليغروسكيت تفاعلاً خارجياً Exothermic على درجة حرارة 925 م°.

وكذلك الأمر بالنسبة للسيبيوليت الذي يشهد أربعة تفاعلات داخلية وهي على التوالي: 90 – 200 م° ، 325 – 400 م°، 450 – 580 م°، و 750 – 810 م° وله أيضاً تفاعل خارجي على درجة 820 م° .

٣- التحليل بالأشعة تحت الحمراء:

يبدي الباليغروسكيت امتصاصاً واضحاً لطيف الأشعة تحت الحمراء في عدة نطاقات وهي:

3609 سم$^{-1}$ وعند الموجة 3685 سم$^{-1}$(مع وجود أكتاف)، 3645 سم$^{-1}$، 3533 سم$^{-1}$ و 3573 سم$^{-1}$(مع وجود أكتاف) وامتصاص آخر عند التردد 1650 سم$^{-1}$ مع وجود كتف عند 1665 سم$^{-1}$.



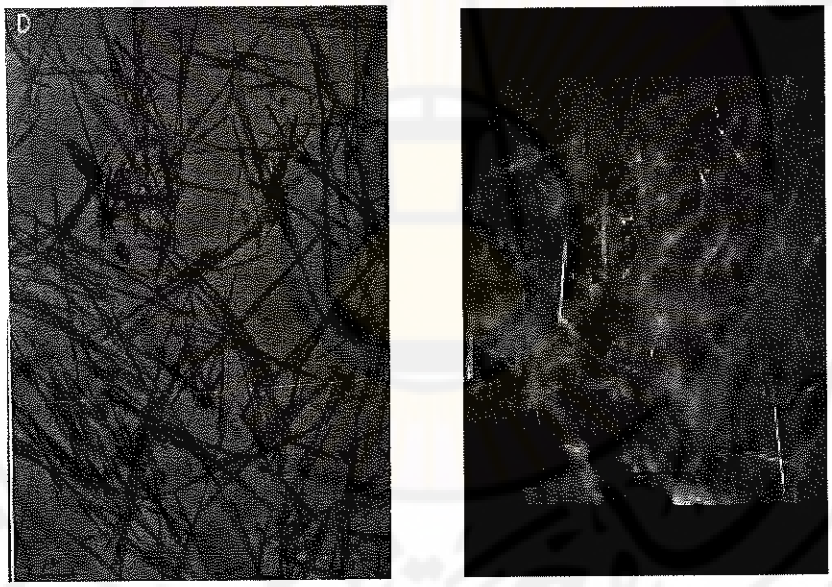
الشكل(٤-٤) " يبين منحنى امتصاص الأشعة تحت الحمراء لكلٍ من الباليغروسكيت والسيبيوليت"

كما تظهر ثلاث مناطق امتصاص عريضة Board قريبة من 3350 و 3260 و3200، للسيبيوليت أيضاً مجالات امتصاص وهي 3685 سم$^{-1}$، 3617 سم$^{-1}$(مع كتف عند الموجة 3645 سم$^{-1}$)، 3571، 3350، 3200، 1660(مع كتف عند الموجة 1625 سم$^{-1}$). الشكل(٤-٤).

٤- الدراسة بالمجهر الالكتروني:

يمكن تتبع الطبيعة والشكل الليفي للباليغروسكيت بشكل واضح بالمجهر الالكتروني، ويمكن عدها صفة مميزة له، الشكل(٤-٥)، تأخذ هذه الألياف شكل حزم من القضبان عشوائية التوجه.

أما السيبيوليت فله أيضاً الشكل الليفي، لكنه يتميز عن الباليغروسكيت في أن بعض السيبيوليت له شكل تجمعي كثيف مع وجود عدد قليل من الحبيبات المتطاولة.



السيبيوليت　　الباليغروسكيت

الشكل (٤-٥)

صورة مأخوذة بالمجهر الالكتروني لكلٍ من الباليغروسكيت والسيبيوليت

٤-٥- التواجد الطبيعي للفلزات الليفية Natural occurrence of fibrous minerals:

يتطلب تواجد فلزات الباليغروسكيت والسيبيوليت، ظروفاً قلوية، مع نشاط عالٍ لكلٍ من Si^{+4} و Mg^{+2} في محلول التربة، وذلك من أجل استقرار هذه الفلزات، ويتطلب وجود الباليغروسكيت تواجد بعض من Al^{+3} و Fe . هذه المتطلبات هي التي تحكم توزع كلٍ من الباليغروسكيت والسيبيوليت في المكان والزمان.

يتواجد الباليغروسكيت في ظروف البحار والبحيرات المالحة وفي التربة، ويمكن أن يتواجد بشكل محدود مرافقاً للنشاطات الهيدروثرمالية Hydrothermal في كل من البحار والبحيرات. أما بالنسبة للسيبيوليت فإنه يتواجد تحت نفس الظروف، لكنه قليل التواجد جداً في التربة، لذلك يعد الباليغروسكيت من الفلزات الخاصة بترب المناطق الجافة(لأنها تحقق الشروط السابقة)، حيث تنتشر بشكل واسع في هذه التربة، ويندر وجودها في ترب المناطق الأكثر رطوبة.

بإعتبار فلز السيبيوليت من الفلزات الرسوبية والهيدروثرمالية Hydrothermal فإن عملية تصنيعه مخبرياً ممكنة، حاول الكثير من الباحثين تصنيع السيبيوليت من محاليل تحتوي على كميات عالية من Mg^{+2} و Si^{+4} على درجة pH تتراوح بين 8 – 10 . وفي كل الحالات لم يحصل ترسيب لفلز الباليغروسكيت من هذه المحاليل، وهذا يقود إلى القول، إن التجارب المخبرية لإنتاج الفلزات الليفية، أدت فقط إلى تصنيع السيبيوليت دون الباليغروسكيت.

على الرغم من عدم إمكان تصنيع الباليغروسكيت من السمكتيت، مع أنهما يتواجدان مع بعض في الكثير من الترب، مما يدعو إلى توقع وجود علاقة بين تشكل السمكتيت والباليغروسكيت، علاوة على ذلك اقترح بعض الباحثين وجود سلسلة منشئيه جديدة بين:

المنتوريللونيت ← الباليغروسكيت ← السيبيوليت

في رسوبيات البحار والبحيرات بسبب الارتفاع التدريجي للنسبة Mg / Al.

على كلٍ، يجب أن توضع هذه العلاقة في الحسبان، بخاصة أن تشكل كل من المونتموريللونيت والباليغروسكيت يتطلب نسبة عالية من Mg^{+2} و Si^{+4} ، مما سبق، يمكن القول إن الباليغروسكيت موجود في الطبيعة، على الرغم من عدم معرفة الشروط الدقيقة

المناسبة لتصنيعه، ولكن من المتعارف عليه أن ظروفاً تسود فيها كميات عالية من Mg^{+2} و Si^{+4} ونسبة ضئيلة من Al^{+3} و PH من 8 – 10 هي الوسط المناسب لتصنيعه.

أما بالنسبة للباليغروسكيت المنشئي Pedogenic palygroskite،يعتقد أنه يتكون عن طريق بعض التغيرات التي تحدث على بعض الفلزات مثل السمكتيت، أو عن طريق الترسيب من المحلول الأرضي، إن عملية تكوين الباليغروسكيت من السمكتيت مقبولة كثيراً، وذلك بسبب الحاجة إلى كمية مهمة من الطاقة التي تعمل على تحطيم الروابط التي تدخل في عملية قلب Inversion رباعية الوجوه.

Damascus University

الفصل الخامس

فلزات الطين(أو السيليكات) غير المتبلورة أو ضعيفة التبلور
Amorphous or weakly crystallized clay minerals(silicates)

الفصل الخامس

فلزات الطين(أو السيليكات) غير المتبلورة أو ضعيفة التبلور
Amorphous or weakly crystallized clay minerals(silicates)

٥-١- مقدمة Introduction:

في حالة الفلزات المتبلورة، تكون الذرات موزعة بشكل منتظم، وينتج عن هذا التوزع المنتظم وحدات بلورية ثلاثية الأبعاد Tridimensional، وفي حالات أخرى تأخذ بعض الوحدات البلورية بعدين فقط Bidimensional.

أما بالنسبة للفلزات غير المتبلورة، فإن توزع الذرات يأتي بشكل غير منتظم Random لتشكل وحدات بلورية ذات بنية غير محددة Ill-defined structure، ويكون تفاعلها مع الأشعة السينية سلبياً أو غير واضح.

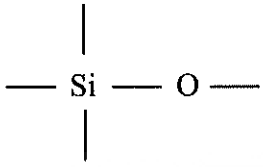
يطلق حالياً على الفلزات المتبلورة تعبير Long-range order materials وعلى الفلزات غير المتبلورة Short- range order materials .

كما يوجد بعض الفلزات التي تقع بين المجموعتين السابقتين، بمعنى أنها تكون ضعيفة التبلور أو شبه متبلورة وتدعى Paracrystalline minerals.

ويمكن تقسيم الفلزات غير المتبلورة من حيث المنشأ إلى مجموعتين، سيليكات غير متبلورة أولية، وسيليكات غير متبلورة ثانوية.

٥-٢- السيليكات غير المتبلورة الأولية Primary amorphous silicates:

تعد هذه السيليكات مركبات ناتجة عن اتحاد رباعيات وجوه السيليكون أو السيليكون والألمنيوم مع ثمانيات وجوه تحتوي على Mg , Fe , Al، ترتبط مع بعضها بشكل غير محكم Loosely، تاركة بينها عدداً كبيراً من الفجوات Voids، حيث يمكن أن تتواجد فيها بعض الكاتيونات مثل Ca, K, Na. تعمل هذه الكاتيونات على معادلة الشحنة الزائدة في رباعيات الوجوه(إن وجدت) أو أن تكون مرتبطة مباشرة مع الجذر:



مكونة سيليكات لهذه الكاتيونات:

للسيليكات الأخيرة درجة ذوبان عالية نسبياً، وعند تأينها تعطي كاتيونات SiO_4^{-4} كأنيون، تتحلما Hydrolysis مباشرة:

$$SiO_4^{-4} + 4\,H_2O \longrightarrow Si(OH)_4 + 4\,OH$$

يؤدي هذا التفاعل إلى رفع PH التربة من جهة، وترسيب ماءات السيليكون من جهة ثانية.

تدعى السيليكات الأولية غير المتبلورة عادة بالزجاج البركاني Volcanic glass وقد يكون الزجاج البركاني قاعدياً أو حامضياً، وهذا يعتمد على محتواه من القواعد والقواعد الأرضية والظروف المناخية .

٥-٣- السيليكات غير المتبلورة الثانوية Secondary amorphous silicates:

عند ذوبان السيليكات الأولية غير المتبلورة، تغسل معظم أو كامل القواعد والقواعد الأرضية إلى خارج قطاع التربة، يسهل عملية الغسل هذه المسامية Porosity العالية التي تتميز بها مواد الزجاج البركاني، بينما تبقى العناصر قليلة الذوبان وغير المتحركة Immobile مثل الحديد والألمنيوم، أما السيليكون متوسط الذوبان فيحدث له غسل جزئي، أما الجزء المتبقي من السيليكون، فيتحد من جديد مع الألمنيوم وأحياناً مع الحديد، ليشكل فلزات ثانوية غير متبلورة متباينة الطبيعة، يبدو أن للمادة العضوية تأثيراً في طبيعة المواد المتكونة، فعند توافر كمية قليلة جداً من المادة العضوية، عندها يشكل كل من الألوفان والأموغلوبيت جزءاً من المواد المتكونة، حيث يمكن عد الألوفان والأموغلوبيت من الفلزات السائدة في معظم ترب الرماد البركاني، أما عند توافر كمية عالية من المواد العضوية، فإنها تعمل على ربط الحديد والألمنيوم مشكلة بذلك معقدات دبالية Humus complexes، أو مواد أقل تنظيماً تدعى بالمواد مثيلة الألوفان Allophane-like constituents.

إلى جانب هذه الفلزات غير المتبلورة، فقد ذكر عدد من الباحثين ، وجود سيليكات غير متبلورة وبكميات كبيرة نسبياً في ترب الرماد البركاني الحديثة، تدعى بسيليكات الأوبالين Opaline silica وهي كريات دقيقة من السيليكا، تتواجد غالباً في مجموعة الطين التي أقطارها 0.4 – 2 ميكروميتر.

٥-٤- فلز الألوفان Allophane mineral:

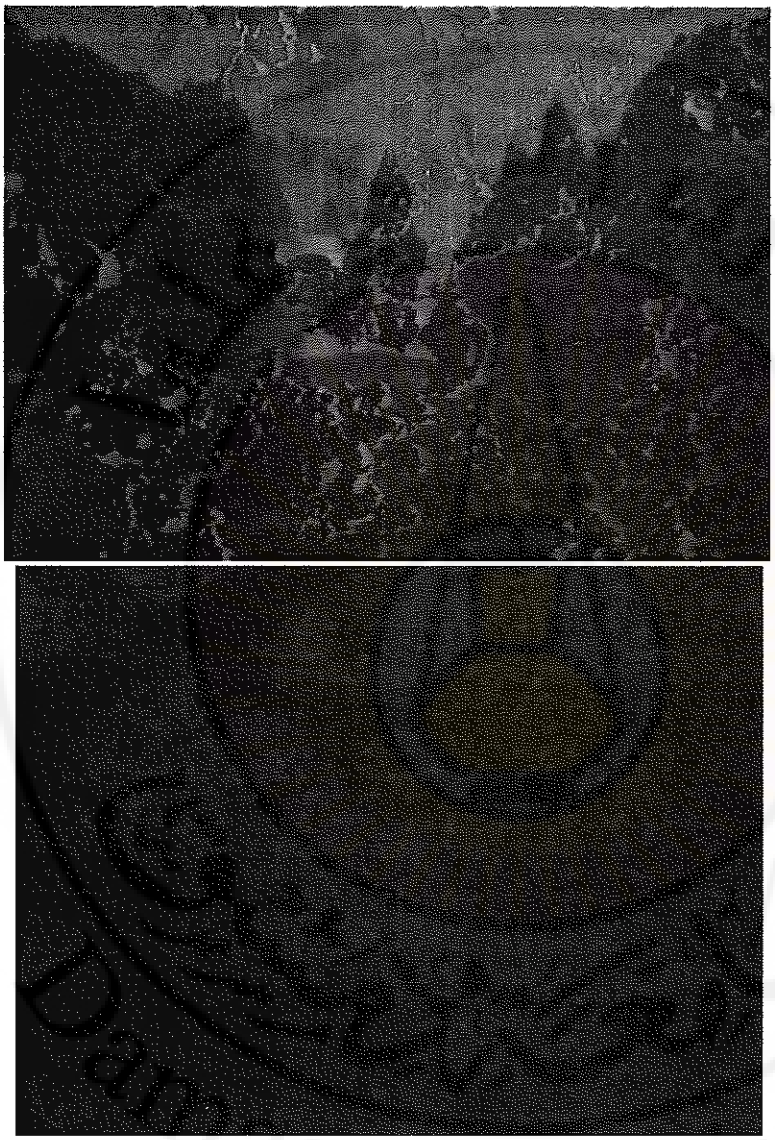
٥-٤-١- الخصائص البنائية Structural properties:

لقد استخدم الاسم ألوفان بطرق مختلفة:

- للدلالة على مجموعة من مواد الطين غير المتبلورة.
- للدلالة على سيليكات الألمنيوم غير المتبلورة، والتي لها نسبة مولية Si/Al تساوي1:1.
- أي مواد لها حجم حبيبات الطين وتتصف ببنية غير منتظمة.
- سيليكات الطين المائية Hydrous aluminosilicates التي تتواجد طبيعياً وتتصف بعدم التبلور أو Short-range order material.

لقد توافرت في السنوات الماضية معلومات كثيرة عن الألوفان، والتي تدل على أن هذا الفلز ليس بعديم التبلور، وهناك بعض التبلور قد تطور في بنية الألوفان، لذلك تستخدم كلمة الألوفان للدلالة على مجموعة من سيليكات الألمنيوم المائية، والتي تتألف من كريات صغيرة مجوفة Hollow spherical، تتراوح أقطارها بين 3.5 – 5 nm، وتبلغ سماكة جدار الكريه نحو 0.7 nm، الشكل(٥-١).

a



b

الشكل(٥-١) صورة بالمجهر الإلكتروني لفلز الألوفان-a -(الكريات) وفلز الأموغوليت-b -(الأنابيب)

يتميز الألوفان بسطح نوعي كبير جداً يتراوح بين 700 – 1100 م^2/غ، ويمكن للكريات أن تتجمع معاً أو مع مكونات التربة الأخرى، للألوفان سعة تبادل أيوني متباينة وذلك تبعاً لدرجة pH الوسط، وهذا يعود إلى أن شحنات الألوفان متغيرة. يتراوح الوزن النوعي الألوفان بين 1.85 – 1.89 غ/سم^3. يتواجد الألمنيوم في الألوفان في مواقع داخل ثمانيات الوجوه ورباعيات الوجوه، وتختلف كمية الألمنيوم في رباعيات الوجوه، ولكنها تزداد كلما انخفضت النسبة SiO_2/Al_2O_3.

وللألوفان الصيغة الكيميائية المقترحة التالية:

$$Al_2O_3\ (SiO_2)_{1.3-2},\ (H_2O)_{2.5-3}$$

وتركيبه الكيميائي كما يلي:

Al = 23.97 %, Si= 16.22 %, H = 2.24 %, O= 57.57 % .

أما تركيبه كأكسيد عناصر فهو:

Al_2O_3 = 45.24 % , SiO2= 34.70 %, H_2O= 20.01 %.

ويقترح بعض العلماء الصيغة الكيميائية التجريبية التالية Empirical formula:

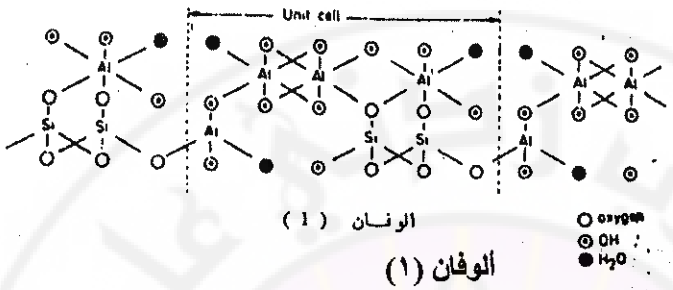
$$(Al_2O_3)\ (SiO_2)_{1.3}\ .\ 2.5(H_2O)$$

من الناحية البنائية يبدو أن مركبات الألوفان تتباين بين مركبين رئيسين هما ألوفان(1) وألوفان(2)، الشكل(٥-٢)، اللذين لهما التوزع الأيوني التالي:

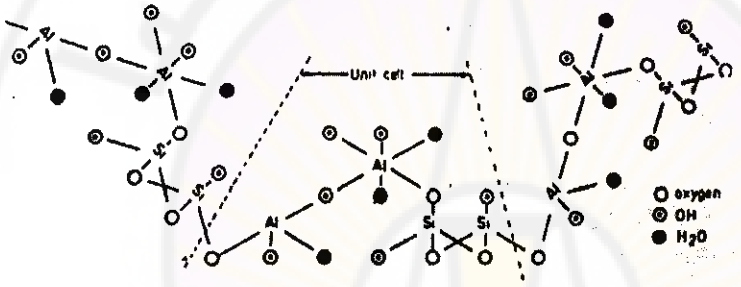
ألوفان(1)	ألوفان(2)
4OH,2 H_2O	2OH, H_2O
3Al	1 Al
2O. 4OH	O, 2OH, H_2O
2Si, Al	2Si, Al
3 O, 2OH, H_2O	3 O, 2OH, H_2O

النسبة المولية SiO_2/Al_2O_3 = 1.

هذا ويذوب الألوفان بأنواعه المختلفة في محلول ساخن من N 0.5 Na OH وكذلك في محلول حمض الأوكساليك Oxalic acid.



ألوفان (١)



ألوفان (٢)

الشكل(٥-٢): يبين بنية مقترحة للألوفان(1) والألوفان(2)

٥-٤-٢- الشحنات في الألوفان Charge in allophone:

إن بناء الألوفان متعادل كهربائياً، كما هو واضح من الشكل(٥-٢)، ولكن يمكن لمجموعات مختلفة أن تغير تركيبها، وذلك يعتمد على الظروف المحيطة بالفلز.

على الرغم من احتواء رباعيات الوجوه في الألوفان على الألمنيوم، فإن شحناته تبدو متغيرة بشكل كامل، يمكن تعليل ذلك لكون Al رباعيات الوجوه مرتبطاً مع مجموعات حرة من OH و OH_2، ولأن هاتين المجموعتين على احتكاك مع المحلول الخارجي، فإنها تستطيع أن تقوم بتفاعل أساس Base بالنسبة لمجموعة OH^- وتفاعل حامضي Acid بالنسبة لمجموعة OH_2، وفي حال وجود مجموعة واحدة من كلٍ منهما، فإن الشحنات تكون متعادلة،

أما في حال وجود المجموعتين على شكل OH^- تكون الشحنات سالبة، أما إذا كانت على شكل OH_2 فإنها تكون، أي الشحنات، موجبة. ويمكن أن يقال الشيء نفسه بالنسبة للألمنيوم الموجود في ثمانيات الوجوه، إن التغير الذي يحدث عن طريق ضم الهيدروجين أو تحريره، يؤدي إلى تغيير الشحنات في هذا الفلز، يمكن أيضاً تشكل شحنات سالبة عن طريق تأين مجموعة السيلانول Silanol(Si-OH) إلى $SiO^- + H^+$.

يتضح من الشكل(٥-٢) أيضاً أن للألوفان بناءً مفككاً مع وجود فتحات على جانبي الوجوه البنائية، لذلك تستطيع الكاتيونات المختلفة والماء بالتحرك إلى داخل البناء وخارجه، إضافة إلى ذلك هناك بعض المواقع غير المشغولة في ثمانيات الوجوه ورباعيات الوجوه، كذلك وجود بعض الخلل البنائي الذي يسمح حتى بدخول بعض الأنيونات الكبيرة مثل PO_4^{---} وتثبيتها في هذه المواقع.

٥-٥- فلز الإموغوليت Imogolite:

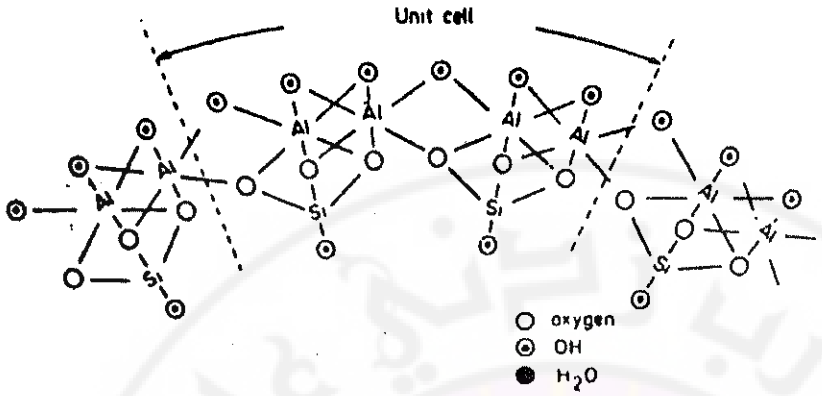
٥-٥-١- البنية:

تتألف بنية هذا الفلز من خيوط ملساء ومنحنية، تختلف هذه الخيوط من حيث أقطارها بين 10.0 nm – 30.0 وتمتد بضع نانوميترات، الشكل(٥-١)، يتألف كل خيط من وحدات أنبوبية دقيقة أقطارها الداخلية والخارجية نحو 1.0 و 2.0 nm على التوالي، وتبلغ سماكة الجدار أقل من 1.0 nm ، تعد هذه الوحدات الأنبوبية مهمة جداً في التعرف على فلز الإموغوليت.

يمكن أن تتوزع الأيونات في الوحدة البنائية للإموغوليت كما يلي:

6 OH^-
4 Al^{+3}
6 O^-
2 Si^{+4}
2 OH^-

يعطي هذا التوزيع للأيونات في الإموغوليت بنية أولية كما في الشكل(٥-٣).



الشكل(٥-٣) رسم تخطيطي لبنية فلز الإموغوليت

ومن المحتمل أن كل عشر وحدات بنائية تشكل أنبوباً كاملاً، يذوب الإموغوليت في مذيبات الألوفان وله سطح نوعي كبير يتراوح بين 900 – 1100 م^2/غ، والنسبة المولية للإموغوليت تساوي SiO_2/Al_2O_3 = 1.

٥-٥-٢- الشحنات في الإموغوليت:

يبين الشكل(٥-٣) أن الإموغوليت متعادل كهربائياً، مع العلم أن شحناته متغيرة، حيث يؤدي Al ثمانيات الوجوه دوراً في ذلك، يمكن شرح حالة الشحنات المتغيرة، إما عن طريق فاعلية Reactivity مجموعات Al – OH التي تشكل الحدود الخارجية للأنبوب، أو عن طريق وجود مجموعات حرة في الأنبوب يسبب خللاً في البناء.

٥-٦- المكونات مثيلة الألوفان:

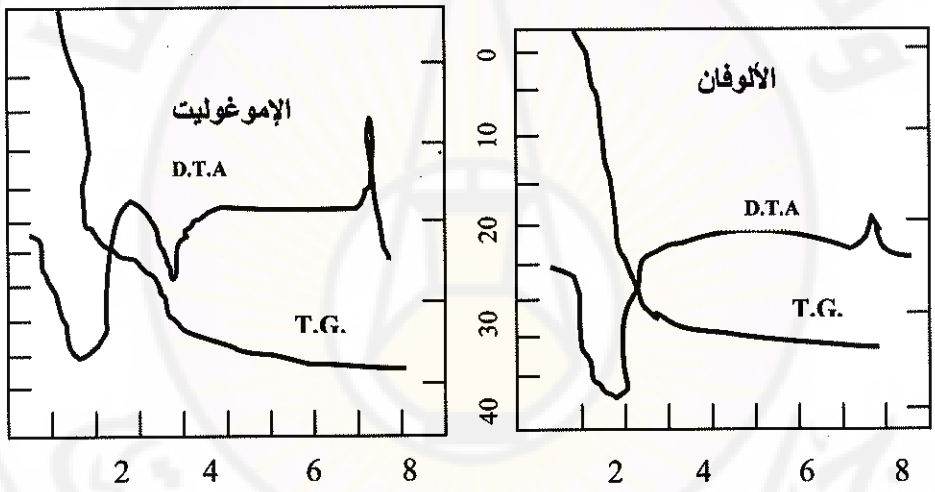
تذوب هذه المكونات في محلول سترات الديثيونيت Dithionite citrate وفي محلول من كربونات الصوديوم 2 %، تتراوح النسبة المولية SiO_2/Al_2O_3 من ١،٤ – ٠،٢، وهذا يدل على أنها تملك تركيباً وبناء متغيرين، تتواجد هذه المكونات عادة مع الألوفان ومن المحتمل أن تكون كاتيونات متماثرة مع ماءات الألمنيوم السيليكاتية.

٥-٧- التعرف على الفلزات غير المتبلورة:

- التحليل الحراري: الشكل(٥-٤)

يظهر على منحنى التحليل الحراري التفاضلي D.T.A، أن للإموغوليت والألوفان تفاعلاً ماصاً وقمة داخلية واضحة، على درجة حرارة بين 50 – 300 م° ، وينتج هذا التفاعل عن تحرير كمية كبيرة من الماء المدمص.

وعند التحليل الحراري الوزني، يلاحظ نقص مستمر بالوزن، لذلك لا يلاحظ أي تفاعل حراري وسطي على منحنى D.T.A، يعطي الإموغوليت تفاعلاً حرارياً صغيراً، لكنه واضح عند درجة الحرارة 390 – 420 م° ، يعود التفاعل الحراري الناشر للحرارة على درجة 900 – 1000 م° ، إلى تشكل مكونات جديدة.



الشكل(٥-٤)، منحنيات الـ D.T.A و T.G.A للألوفان والإموغوليت

- المجهر الالكتروني: Electron microscope

يمكن أن يعطي المجهر الالكتروني ذو التكبير العالي معلومات مهمة عن مورفولوجية الألوفان والإموغوليت وبنائهما، وللحصول على قدرة تمييز عالية، لابد من أخذ احتياطات كبيرة لمنع حدوث أي تلوث للعينة المدروسة، وكذلك لمنع حدوث ضرر يمكن أن ينتج عن

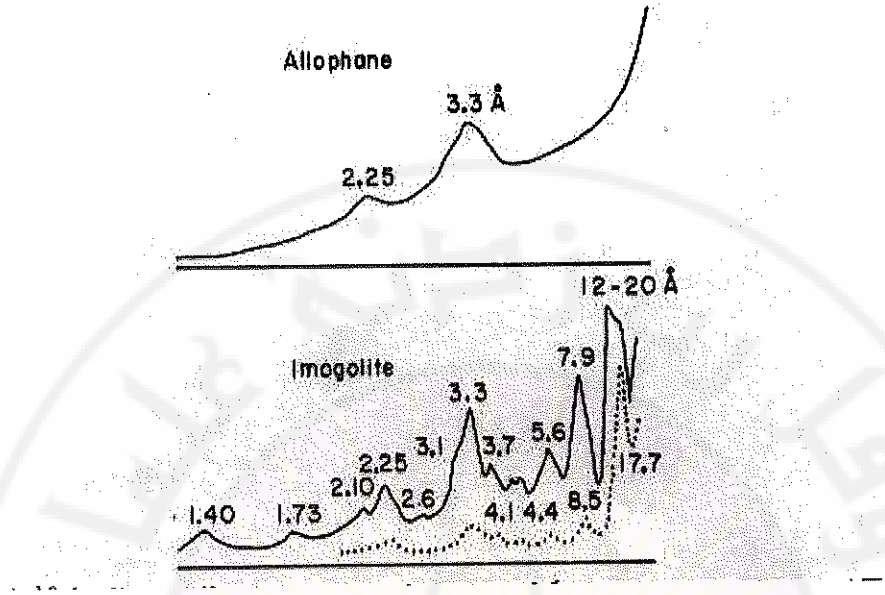
التعرض للأشعة الناتجة عن الالكترونات، لقد تم إعطاء فكرة عن الصفات الشكلية للألوفان والإموغوليت في فقرة سابقة(انظر الشكل ٥-١).

- **انعراجات الأشعة السينية X-ray diffraction:الشكل(٥-٥)**

لا تتفاعل بودرة الألوفان مع الأشعة السينية، أي لا تعطي أي انكسارات، ولقد وجد أن عملية توجيه Orientation حبيبات الألوفان لم تحسن من وضع تفاعل الأشعة السينية مع هذا الفلز، مع ذلك لقد وجد أن بعض العينات من الألوفان غير المعاملة بالحرارة، قد أعطى بعض الانعراجات الضعيفة عند القيم التي تتراوح بين 1.23 إلى 1.45 نانوميتر، وهذا يعتمد على النسبة المولية Si/Al.

أما بالنسبة للإموغوليت Imogolite، فإن نموذج انعراجات الأشعة السينية لعينات جافة هوائياً، تدل على أن هذه الانعراجات ليس لها أي علاقة مع فلزات الطين المعروفة، وهذا يوضح خصوصية بنية الإموغوليت من جهة، ويساعد على تمييز هذا الفلز من فلزات الطين الأخرى من جهة ثانية.

ينتج عن تفاعل الإموغوليت مع الأشعة السينية عدد من الانكسارات أو القمم العريضة، أقصاها يقع بين 1.2 – 2.0 و 0.78 – 0.8 و 0.55- 0.56 نانوميتر، والتي يتحسن مظهرها مع توجيه الحبيبات، وتضعف هذه الانعراجات عند التسخين على درجة حرارة 300 م°، وتتحطم عند درجة حرارة 350 – 400 م°.



الشكل(٥-٥)

يبين انكسارات الأشعة السينية لفلز الألوفان وفلز الإموغوليت

٥-٨- تواجد الفلزات غير المتبلورة:

تتواجد هذه الفلزات بشكل رئيسي في ترب الرماد البركاني Volcanic ash soils (Andisols)، وهي نواتج تجوية الرماد البركاني في ظروف مناخية مناسبة بالإضافة إلى الطبيعة البتروغرافية للمواد الأم ودرجة تطور التربة، لذلك تكون هذه الفلزات سائدة في الترب التي تطورت على رماد بركاني في مناخات رطبة أو شبه رطبة، ولا يعتقد أن تجوية الرماد البركاني في ظروف المناخ الجاف، وبخاصة إذا كان للمواد الأم طبيعة قاعدية، تؤدي إلى تشكل مثل هذه الفلزات ، ويذكر بعض الباحثين أن تشكل فلزات الطين أو تحولها من نواتج تجوية الرماد البركاني يتأثر إلى درجة كبيرة بمحتوى هذه المواد من الدبال، الذي يعمل في حال وجوده بكميات كبيرة على تكوين معقدات دبالية مع الحديد والألمنيوم.


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المراجع
References

١- العربية:

- عجيب، علي ١٩٩١ ــ جيوكيمياء التربة ــ منشورات جامعة دمشق.
- فارس، فاروق ١٩٩١ ــ أساسيات علم الأراضي ــ منشورات جامعة دمشق.

٢- الأجنبية:

- BARNHISEL, R.I. 1977 and 1989, Chlorite and Hydroxy Interlayerd vermiculite and smectite, In mineral in soil environments, Ed. By J.B. Dixon and S.B. Weed. Soil sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin, P.331 – 356.
- BORCHRDT, G.A. 1977and 1989, Montmorillonite and Other Smectite Minerals. In: Minerals in soil environments, Ed. By J.B. Dixon and S.B. Weed, soil sci, soc. Of Am. Madison, Wisconsin, P.293 – 330.
- CHICHESTER, F.W., C.T. Youngborg and M.E, Haward 1960, clay mineralogy of soils formed on Mazama pumice. Soil sci. soc. Am. Proc. 33:115 – 120.
- DE CONINCK, F. 1978. Physico – Chemical aspects of pedogenesis, I.T.C., state univ. of Ghent, Belguim, 154 p.
- DE CONINCK, F.1985, soil with variable charge, I.T.C, state univ. of Ghent, Belgium, 27 p.
- DEER, W.A., R.A. Horvie and J.Zuss Man. 1966. Introduction to the rock forming minerals, longman, Green Land co. Ltd. London, 528 p.
- DIXON, J.B.1989. Kaolinite and serpentine group. Minerals, In: minerals in soil environments, Ed.by J.B. Dixon and S.B. Weed, soil sci. soc.Am Madison, Wisconsin,p.357 – 403.
- DOUGLAS, L.A. 1989. Vermiculites. In: minerals in soil environments. Ed. By J.B.Dixon and S.B. Weed. Soil sci. soc. Am. Madison, Wisconsin, P. 259 – 292.
- ESWARAN, h., m. Ilaiwi and A. Osman. 1981 Mineralogy and micromorphology of Aridisols, In: Proceedings, third International soil classification workshop.

  ACSAD / SS / P 17, Damascus, p. 153 – 174.

- FANNING, D.S and V.Z. Keramidas, 1989. Micas. In: minerals in soil environments. Ed. By J.B. Dixon and S.B. weed, soil sci. soc. Am. Madison, Wisconsin, p. 195 – 258.
- GAUDETTE, H.E., J.L. Eades and R.E. Grim 1966. The natural of illite, clays and clay minerals. 13:33 – 48.
- GRIM, R.E. 1968. CLAY MINERALOGY. Mc Graw – Hill Book Co. Newyork. 596 p.
- HABIB, H. 1986. Genesis, surface charge and classification of soils on volcanic ash and basalt in an arid vlimate (Syria). Doctoral thesis, state univ. of Ghent, Belgium, 192 p.
- HENIN, S. and S. Caillere, 1975, Fibrous minerals. In: Soil components. Vol. 2. In organic components. Ed. By J.E. Giese King, Springer – Verly – New York. P. 335 – 349.
- HIGASHI, T. 1982. Amorphous in organic constituents under Prominent accumulation of Humus in volcanic ash soils. Pedologie XXXII, 1, P. 5 – 18. Ghent, Belgium.
- ISPHORDING, W.C. 1973. Discussion of the occurrence and Origin of sedimentary palygorskite – sepiolite deposits, clays and clay minerals. 21:391 – 401.
- JACKSON, M.L.1959. Frequency distribution of clay minerals in major soil groups, as related to factors of soil formation, clays and clay minerals 6: 133 – 143.
- JACKSON, M.L.1967. Chemical composition of soils. In: Chemistry of the soil. Ed. By F.E. Bear. Zud Reinhold corp., New York, p. 71 – 141.
- MARSHALL, C.E. 1964. The physical chemistry and mineralogy of soils. Vol. 1. soil materials. Wiley and sons, New York, 366 p.
- MILLOT, G.1970. Geology of clay. Massonet cie, Paris. 429 p.
- MULDERS, M.A. 1969. The arid soils of the Balikh baisin (Syria). Ph. D. Thesis, state univ. of Utrecht, the Netherlands, 196 p.
- NELSON, S. A. 2006. Clay minerals in earth materials, Tulan University.
- RANST, Van, Eric, .1995. Clay mineralogy, I.T.C, state Univ. of Ghent, Belgium, 287 p.
- SAWHNEY, B. L. 1989. Interstratifications in layer silicates. In: Hand Book of soil sciences, Chief Ed. M.E. Sumner, CRC press.

- SCHWERTMANN, U. and R.M. Taylor. 1977. Iron oxides In: Minerals in soil environments, Ed. By J.B. Dixon and S.B. Weed. Soil sci. soc. Am., Madison, Wisconsin, p. 145 – 180.
- SHOJI, S. and J.I. Masui, 1971. Opal ne silica in recent volcanic ash soils in Japan, J. of soil sci. Vol. 22. No. 1: 101 – 108.
- SWINDALE, L.D. and G. Uehara. 1966. Ionic rela. In the pedogenesis of Hawaiian soils. Soil sci. soc. Am. Proc. Vol. 30: 726 – 730.
- VELDE, B. 1985. Clay minerals, a physico- chemical explanation of their occurrence, Elsevier Sci. Publishers. 427 p.
- WADA, K. 1989. Allophane and Imogolite. In: Minerals in soil environments. Ed. By J.B. Dixon and S.B. Weed. Soil sci. soc. Am., Madison, Wisconsin, p. 87 – 107.
- WADA, K. 1980. Mineralogical characteristics of Andisols. In: Soil with variable charge, Ed. By B.K.G, Theng. New Zealand soc. Of soil sci, p. 87 – 107.
- WHIT, J.L. 1977. Preparation of specimens for infrared analysis. In: Minerals in soil environments. Ed. By J.B. Dixon and S.B. Weed. Soil sci. soc. Am., Madison, Wisconsin, p. 847 – 863.
- WILDING, L.P., N.E. Smeck and L.R. DREES 1977. Silica in soils. In: Minerals in soil environments. Ed. By J.B. Dixon and S.B. Weed. Soil sci. soc. Am. Madison, Wisconsin, p. 471 – 552.
- WOLLAST, R., F.T. MACKENZIE and O.P. BRICKER. 1968. Experimental precipitation of sepiolite at earth surface conditions, Am. Min. 53: 1645 – 1662.
- ZELAZNY, L.W. and F.G. Calhoun 1977. Palygoriskite, sepiolite, talc, pyrophyllite and Zeolite. In: Minerals in soil environments. Ed. By J.B. Dixon and S.B. Weed. Soil sci. soc. Am. Madison, Wisconsin, p. 435 – 470.

Damascus University


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المصطلحات العلمية	
A	
Absolute accumulation	التراكم القطعي
Absorped Ions	الأيونات الممتصة أو المتشربة
Absorption	امتصاص
Actinolite	الأكتينوليت
Accessory minerals	الفلزات الثانوية
Addition	إضافة
Adsorption	الإدمصاص (الامتزاز)
Agate	الأغات(عقيق)
Aggradation, Aggregates	تجمع، تجمعات
Aggregate Crystal	تجمعات بلورية
Albite	الألبيت
Allophane	الألوفان
Alluvial	ترسيبي - طميي
Alteration	تغيير(تبديل)
Almandine	الألماندين
Amethyst	الأميتيست
Amorphous	غير متبلور
Amphibole	الأمفيبول
Amphibolite	الأمفيبوليت
Andradite	الأندراديت
Andesine	الأنديزين
Analysis	تحليل
Andesite	الأنديزيت
Anhedral Crystal	بلورة غير نامية
Anion	أنيون
Anion exchange capacity	سعة التبادل الأنيوني
Anisotropic	غير متماثلة الخواص
Anhydrite	الأنهيدريت
Angles	زوايا- ذروات
Anorthite	الأنورتيت

Anthophyllite	أنتوفيلليت
Anthracite	الأنتراسيت
Apatite	الأباتيت
Aplite	الأبليت
Aragonite	الأراغونيت
Argentinite	الأرجنتينيت
Argilite	الغضار الصلب
Argile	الغضار
Arkose	الأركوز
Arsenice	الزرنيخ
Arsenopyrite	الأرسينوبيريت
Asbestose	الأسبستوس
Atmophille Elements	عناصر أتموفيلية
Atmosphere	الغلاف الغازي (الجوي)
Augite	الأوجيت
Axes	محاور
Axis of Symmetry	محور تناظر
Axial Symmetry Types	أنماط تناظر محورية
Azorite	أزوريت
B	
Basal spacing	المسافة القاعدية
Bayerite	الباريت
Beidilite	البيديليت
Bidimensional	ثنائي البعد
Biogenesis	منشأ عضوي
Biotite	البيوتيت
Boehmite	البوهميت
Bonding Forces	قوى الارتباط
Bornite	البورنيت
Boulder	الجلاميد
Breccia	البريشيا
Bronzite	البرونزيت
Brucite sheet	شريحة البروسيت الماءات

Bulk Density	الكثافة الظاهرية
C	
Cation	كاتيون
Cation exchange capacity	سعة التبادل الكاتيوني
Cavity	فجوة(فراغ)
Chain silicates	السيليكات الشريطية(السلسلية)
Chalcocite	الكالكوسيت
Chalcophile Elements	عناصر كالكوفيلية
Chalcophyllite	كالكوفيلليت
Chalcopyrite	الكالكوبيريت
Chalk	طباشير- حوار
Chamosite	شاموزيت(فلز)
Charge Valance	قيمة الشحنة الشاردية
Chert	الشيرت (الصوان)
Chemical Property	خاصية كيميائية
Chlorite	الكلوريت
Chromite	الكروميت
Classification	تصنيف
Clay Minerals	فلزات الغضار، طين
Clay schist	الشيست الغضاري
Claystone	صخر غضاري
Cleavage	سطوح الانفصام (التشقق)
Closed System	المنظومة المغلقة
Cohesion	تماسك التصاق
Columbite	الكولومبيت
Compaction	انضغاط
Combinative Form	شكل مركب
Conglomerate	الكونغلوميرات
Congruent weathering	التجوية المنسجمة(المتجانسة)
Constant	ثابت
Coordination	تناسق
Coordinates Axes	محاور إحداثية
Coordination center	مركز التناسق

Coordination Number	عدد التناسق(الاحاطة)
Coordination Polyhedron	عدد الوجوه(السطوح) التناسقي
Coordination reference	مرجع التناسق
Copper	نحاس
Concentration	تركيز
Corals	المرجانيات
Corundum	الكورونـدوم (العقيق)
Covalent Band	رابطة تساهمية (مشتركة)
Cristabolite	كريستابوليت
Crystal	البلورة
Crystalline	متبلور
Crystallization differentiation	التبلور المجزأ أو التبلور التفاضلي
Crystallographic Axes	المحاور البلورية
Crystal Growth	نمو بلوري
Crystallography	علم البلورات
Crystals Form	أشكال البلورات
Crystals Symmetry	تناظر البلورات
Cube	المكعب
Cubic	مكعبي
Cubic System	المنظومة المكعبية
Cuprite	الكوبريت
D	
Degradation	تجريد(تدني)
Dehydration	نزع الماء
Dehydroxylation	نزع الماءات
Diamond	الألماس
Diaspore	الدياسبور
Diatoms	المشطورات (الدياتوميت)
Differential Thermal Analysis (D.T.A)	التحليل الحراري التفاضلي
Diffraction	انكسار ـ انعراج ـ حيود
Dioctahedra	ثمانيات وجوه ثنائية
Diopside	ديوبسيد

Discreet layer	طبقة معزولة
Disintegration	عمليات التفتت
Dissociation	التأين
Dolomite	الدولوميت
Dolomitic	دولوميتي
Dolomitization	دلمته
Dolerite	الدولوريت
Double layer	الطبقة المزدوجة
Dry grinding	الطحن الجاف
Dunite	الدونيت
E	
Electronegativity	الكهربائية السالبة
Endothermic reaction	تفاعل حراري داخلي(ماص للحرارة)
Energy	طاقة
Epiclastic	حطامي رسوبي
Epidote	الإيبيدوت
Equilibrium	التوازن
Euhedral Crystal	بلورة مكتملة النمو
Erosion	الحت، تحات
Electrical conductivity (EC)	الموصلية (الناقلية) الكهربائية
Exchangeable	متبادل (قابل للتبادل)
Exolution Textures	النسج الانبثاقية
Exothermic reaction	تفاعل حراري خارجي(ناشر للحرارة)
External surface	السطح الخارجي
F	
Ferrihydrite	الحديد المائي
Fibrous	ليفي
Flakes	رقاقة
Fluorite	الفلوريت
Formation	تشكيل - تكون
Forsterite	فورستريت
Framework silicates	السيليكات الهيكلية
Francolite	الفرانكوليت

Fracture	المكسر
Frequency	التردد
Function	تابع (دالة)
G	
Gaseous phase	الطور الغازي
Garnet	الغرينا
General	عامة
General Forms	أشكال عامة
Gibbsite	الجبسيت
Glauconite	الغلوكونيت
Gneiss	الغنايس
Goethite	الغوتيت
Gold	الذهب
Grain	حبة
Granite	الغرانيت
Granular	حبيبي
Graphic	بياني
Graphite	الغرافيت
Gravel	الحصى
Gravimetric	وزني
Grossulare	الغروسولار
Greywacke	الغرواك
Growth of Crystals	نمو البلورات
Growth Theory	نظرية النمو
Gypsum	الجص (الجبس)
H	
Halloysite	الهالوزيت
Hectorite	الهيكتوريت
Hematite	الهيماتيت
Hexagonal	سداسي
Hollow spherules	كريات مجوفة
Host spring	ينبوع حار
Hydration	كاتيونات مميهة

Hydrolysis	الإماهة، تميؤ
Hydromorphy	الحلمأة
Hydrothermal Solutions	المحاليل المائية الحارة
Hydrous mica	الميكا المائية
Hydroxyl	هيدروكسيل
I	
Illite	الأليت(فلز)
Imogolite	الأموغوليت(فلز)
Incongruent weathering	تجوية غير منسجمة(غير متجانسة)
Indicator	دليل أو مشعر
Infrared	الأشعة تحت الحمراء
Infrared spectroscopy	مطيافية الأشعة تحت الحمراء
Inherited	موروثة
Intergrade	متدرج، انتقالي
Inter layer	بين طبقي
Interstratified minerals	فلزات ذات تطبق بيني
Ion	أيون
Ionic bound	رابطة أيونية
Irregular	غير منتظم
Irreversible	غير عكوس
Insitu	في الموقع
Isomorphous substation	الاستبدال المتماثل
J	
Jasper	الجاسبر (اليشب)
K	
Kaolinite	الكاولينيت
L	
Lath	شريحة ضيقة
Lattice	شبكة
Layer	طبقة
Layer silicates	السيليكات الطبقية
Ligand	رباط
Limonite	الليمونيت

Lipidocrosite	الليبيدوكروسيت(فلز)
Lithoclastic	حطام صخري
Lithosphere	الغلاف الصخري
Lithosphil Elements	عناصر ليثوفيلية
Loam	طمي، لومي
Luster	البريق
M	
Matrix	أرضية
Metal	معدن
Metallic Ores	الخامات المعدنية
Metamorphic	متحول
Metamorphic Rocks	الصخور المتحولة
Metasomatism	عمليات استعاضة
Mica	الميكا
Microcline	الميكروكلين
Mineral	الفلز
Mineralization	تمعدن
Mixed layer minerals	فلزات مختلطة الطبقة
Molar ratio(M.R)	النسبة المولية
Molybdenite	الموليبدينيت
Monazite	المونازيت
Monochromatic beam	شعاع وحيد الطول الموجي
Monohydrate	وحيد الماءات
Monoclinic System	المنظومة وحيدة الميل
Monocrystals	بلورة منفردة
Monohedron	وحيد الوجه
Montmorillonite	المونتموريللونيت
Mud	الوحل
Muscovite	الموسكوفيت
N	
Neoformation	تشكلات حديثة(تكوينات حديثة)
Neosynthesis	تخلقات حديثة(تصنيع حديث)
Nepheline	النيفلين

Non-crystalline	غير متبلور
Non-exchangeable	غير قابل للتبادل
Nontronite	النونترونيت
O	
Obsidian	الأوبسيديان
Occurrence	تواجد
Octahedron	ثماني الوجوه
Oligoclase	الأوليغوكلاز
Olivine	الأوليفين
Opal	الأوبال
Opaline silica	سيليكات الأوبالين
Open System	المنظومة المفتوحة
Optical	ضوئي(بصري)
Ore	خام
Organic	عضوي
Organogenesis	عضوي المنشأ
Organic Carbon	كربون عضوي
Organic Matter	مادة عضوية
Orientation	توجيه
Orpiment	الأوربيمينت
Orthoclase	الأورثوكلاز
Ortho	مستقيم(قائم)
Orthorhombic System	الفئة المعينية المستقيمة
Osmatic pressure	الضغط الحلولي
Outer solution	المحلول الخارجي
Oxidation	الأكسدة
p	
Parallel oriented sample	عينة متوازية الاتجاه
Parent material	المادة الأم
Peak	قمة
Pebbles	حصى
Pedogenic chlorite	كلوريت أرضي المنشأ (ثانوي)
Peridotite	البيريدوتيت

Permanent charge	شحنة دائمة
Plane	مستوى
Phlogobite	الفلوغوبيت(فلز)
Phyllosilicates	السيليكات الورقية
Plane Symmetry	مستوى تناظر
Plane Symmetry Types	أنماط تناظر مستوية
Plate	صفيحة
Polyhedra	متعددات وجوه
Polyhedron	متعدد وجوه
Polymerization	تماثر، بلمرة
Polymorphism	تعدد الشكل البلوري
Pseudchromatic Minerals	معادن كاذبة اللون
Pressure	ضغط
Primary minerals	فلزات أولية
Prism	موشور
Prismatic	موشوري
Processes	عمليات (حوادث)
Processes of addition	عمليات الإضافة
Processes of subtraction	عمليات الطرح(الإزاحة)
Protonic bridge	الجسر الهيدروجيني
Pyrite	البيريت
Pyrolusite	البيرولوزيت
Pyrophyllite	البروفيليت
Pyrope	البيروب
Pyroxene	بيروكسين
Pyroxenite	البيروكسينيت
Q	
Quartz	الكوارتز(مرو)
Quartzite	الكوارتزيت
R	
Random	عشوائي
Reaction	تفاعل
Recrystalliration	إعادة تبلور

Regular	منتظم
Reflection	انعكاس
Relative accumulation	تراكم نسبي
Ribbon	شريط
Riebeckite	الريبكيت
Ring silicates	السيليكات الحلقية
Rock	الصخر
Rutile	الروتيل
S	
Salt	ملح
Sample	عينة
Sand	رمل
Sandston	حجر رملي
Sandy	رملي
Saphir	زفير (ياقوت)
Saponite	السابونيت(فلز)
Saturation	إشباع
Scheelite	الشيلليت
Schist	الشيست (التورق)
Secondary	ثانوي
Secondary minerals	فلزات ثانوية
Sediments	رسوبات (ترسبات)
Sedimentary	رسوبي
Sedimentation	ترسيب
Sepiolite	السيبيوليت(فلز)
Serpentinite	السربنتينيت
Sheet	شريحة
Shrinking	انكماش
Siderite	السيديريت
Siderophile Elements	عناصر سيدروفيللية
Sillimanite	السيلليمانيت
Sill	بينية ، مندسة
Silica	السيليكا

Silicates	السيليكات
Silt	السلت
Silty	سلتي أو غريني
Similar Forms	أشكال متماثلة
Simple Forms	أشكال بسيطة
Silver	الفضة
Slate Schist, Schist Slatestone	شيست الألواح الحجرية، شيست الحجر الغريني
Slit	الغبار، الغرين
Smectite	السمكتيت(فلز)
Smelting	الصهر
Soil	التربة
Solid Solution	محلولاً صلباً
Solutions	المحاليل
Soluble	ذائب
Solution	المحلول
Sphalerite	السفاليريت
Specific Gravity	الكثافة النوعية (الوزن النوعي)
Specific surface	السطح النوعي
Spinel	سبينيل
Spheroidal	شبه كروي
Stability	استقرار (ثبات)
Stevisite	الستيفيسيت
Stibnite	ستبنيت
Streak	المخدش
Structure	البناء
Structure formula	الصيغة البنائية
Subhedral Crystal	بلورة منقوصة النمو
Substitution	استبدال ضمن البناء البلوري
Sulphate	الكبريتات
Sulphur	الكبريت
Swelling	الانتفاخ
Sylvine	السلفين

Symbols	رموز
Symmetrical	تناظري
Symmetry	تناظر
Symmetry Axis	محور تناظري
Symmetry Center	مركز تناظر
Symmetry Elements	عناصر تناظر
Symmetry Group	مجموعة تناظرية
Symmetry Plane	مستوي تناظر
Symmetry Systems	فئات التناظر
Symmetry Types	أنماط التناظر
Symmetry Variety	نوع التناظر
Synthesis	الاصطناع
Systems	منظومة، نظام
T	
Tetrahedra	رباعيات وجوه
Tetrahedron	رباعية وجوه
Thermal analysis	التحليل الحراري
Thermogravimetric analysis (T.G.A)	التحليل الحراري الوزني T.G.A
Topaz	التوباز
Tourmaline	تورمالين
Trachyte	التراكيت (التراخيت)
Transformation	التحول
Travertane	ترافرتان
Triclinic System	منظومة ثلاثي الميل
Tridymite	التريديميت
Trigonal System	المنظومة الثلاثية
Trihydrante	ثلاثي الماءات
Trioctahedra	ثمانيات وجوه ثلاثية
Tuff	الطف، التوف
Types	أنماط
Types of Symmetry	أنماط التناظر
Typical Crystals	بلورات نموذجية

U	
Ultrabasic	فوق قاعدي
Unit cell	وحدة الخلية
Unaltered	غير متغير (غير مجوى)
Uraninite	الأورانيتيت
V	
Variable charge	شحنات متغيرة
Vermiculite	الفيرميكيوليت
Vermiculization	تشكل الفيرميكيوليت عن طريق التحول
Vitroclastic	الحطام البركاني
Vivianite	الفيفيانيت
Volumetric	حجمي
Volvanic	بركاني
Volcanic ash	رماد بركاني
W	
Wave	موجة
Wave length	طول الموجة
Weathering	التجوية
Weathering Processes	عمليات التجوية
Weathering Products	نواتج التجوية
Willemite	الويلليميت
Wolframite	الولفراميت
X	
X.Rays	الأشعة السينية
X.Ray Diffraction(XRD)	الأشعة السينية الإنعراجية
X.Ray Spectra	أطياف الأشعة السينية
Z	
Zincite	الزينكيت
Zircon	الزيركون
Zonal	نطاقي
Zones	نطاقات
Zone of addition	نطاق الإضافة
Zone of export	نطاق الاستنزاف (الغسل)

المدقق اللغوي

الأستاذ الدكتور عبد الرحمن عبد الرحيم

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعية

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University