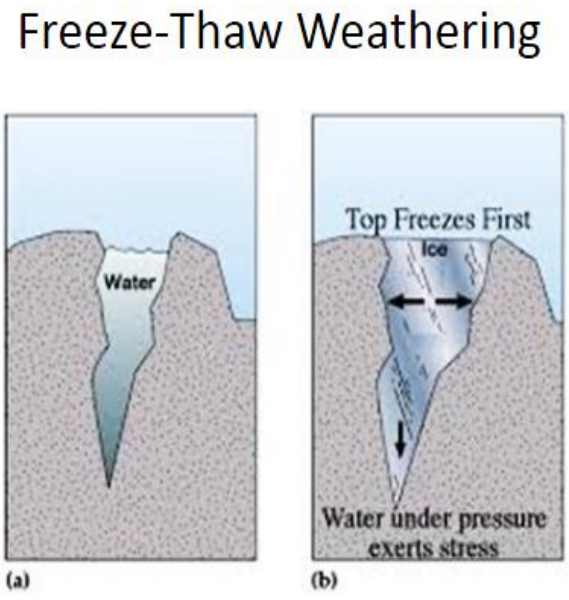
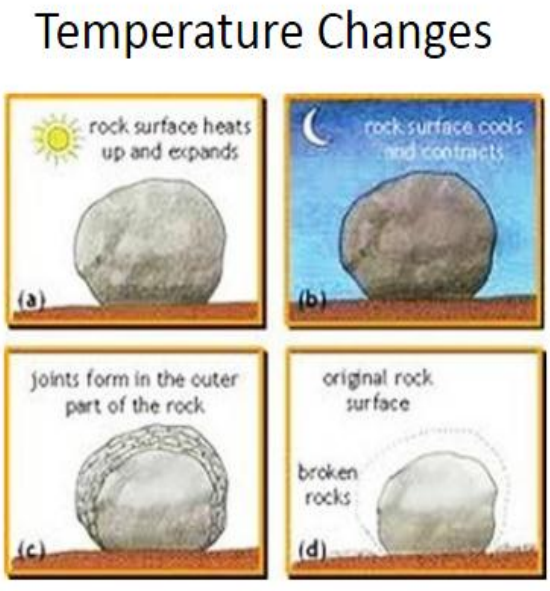
تجوية الصخور Weathering of Rocks

عرفت التجوية بأنها مجموعة عمليات تتحول بواسطتها الصخور والمعادن إلى أجزاء أنعم وفتات صخري غير مندمج. إذ يحدث تغيير المعادن الثابتة بفعل درجات الحرارة والضغط العاليين، ومن ثم تكوين معادن جديدة بسبب تأثير الغلاف الجوي والمائي، وتكون الترب إحدى نواتج هذه العمليات، حيث تتطور عند سطح الأرض أو بقربه. أن هذه العمليات عموما غير عكسية وفي الغالب تكون بطيئة قد تمتد إلى الاف السنين. إذ تتأثر شدتها بالمقدار الزمني الذي تتعرض فيه الصخور للتجوية، وتعد عملية التجوية من أهم العمليات ذات التأثير المباشر في معادن التربة المختلفة وخصوصا معادن الطين السليكاتية، وإن تجوية الصخور ومعادن التربة هي محصلة نهائية لتداخل ثلاث عمليات فيزيائية وكيميائية وحيوية. إذ تشمل التجوية ثلاثة أنواع رئيسية، هي التجوية الفيزيائية، والتجوية الكيميائية، والتجوية الحيوية.

1 – التجوية الفيزيائية Physical Weathering

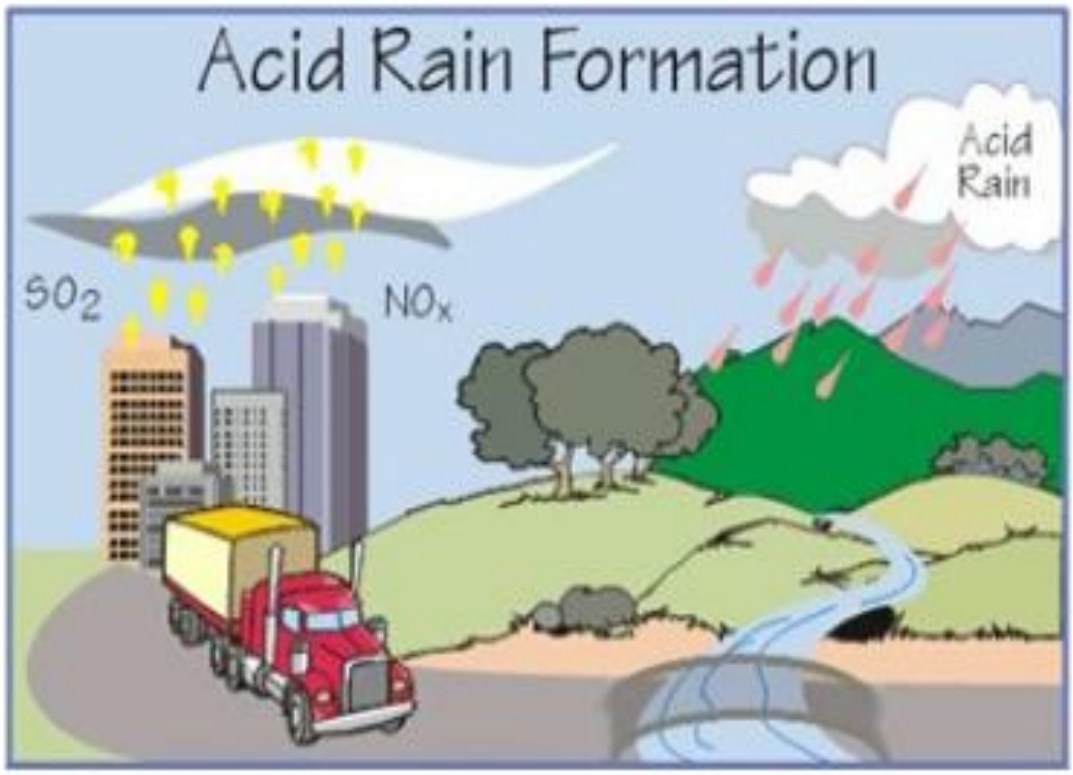
عرفت التجوية الفيزيائية بانها تجزئة وتحطيم الصخور والمعادن بوساطة العمليات الفيزيائية أو الميكانيكية، إذ يشمل الفعل الميكانيكي تأثير الظروف الجوية كالرياح والحرارة والبرودة والمياه والثلوج، والتي تؤدي إلى تكسير أو تفتيت الصخور إلى أجزاء صغيرة دون تغير التركيب المعدني للصخور. وتكون هذه العملية مهمة أو سائدة ضمن المناطق ذات الترددات العالية من الصقيع وخطوط السواحل والصحاري، كما تكون أهميتها ثانوية من حيث التأثير المباشر في الصخور والمعادن.





2-التجوية الكيميائية Chemical weathering

عرفت التجوية الكيميائية على أنها عملية التحلل الناتج من تجوية الصخور بفعل التفاعلات الكيميائية، والذي يؤدي إلى تخليق مواد جديدة من خلال التبدل والتحول للمواد الأصلية ضمن الصخر، وإنتاج مواد معدنية جديدة شبه ثابتة قرب سطح الأرض. وتعد التجوية الكيميائية أكثر تعقيدا وشدة في تأثيرها في الصخور ومكوناتها المعدنية مقارنة بالتجوية الفيزيائية. وتؤدي التجوية الكيميائية إلى تحولات كيميائية هامة من خلال عمليات التجوية الكيميائية المختلفة كالذوبان Dissolution والأكسدة Oxidation والاختزال reduction والكربنة carbonation.....الخ. هذه التحولات الكيميائية في المعادن الأولية Primary minerals للصخر تؤدي إلى تكوين معادن جديدة يطلق عليها بالمعادن الثانوية secondary minerals والتي لم تكن موجودة أصلا في الصخر الأصلي، ونتيجة لهذه العمليات تتكون الترب التي تعكس صفاتها الكيميائية والمعدنية الصفات الأصلية للصخر الأم وما حدث له من تغيرات.



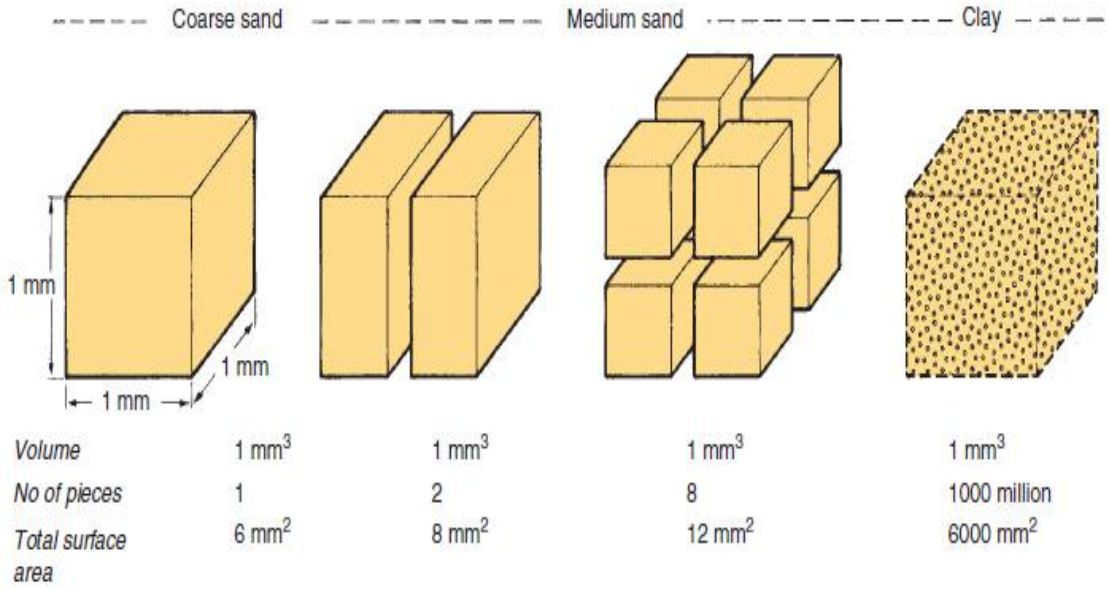
3- التجوية الحيوية Biological Weathering

التجوية الحيوية هي عملية تحطيم وتحليل الصخور والمعادن بفعل تأثير الأحياء المختلفة، بشكل أدق فأنها عملية تشمل ميكانيكية (تحلل معقد – انتقال تفاضلي – أعادة تبلور) ناتجة عن المواد الحامضية اللزجة التي تفرزها جذور النباتات وما يرافقها من أحياء دقيقة ومتوسطة وكبيرة مغلفة بها المعادن والصخور. أن التجوية الحيوية للمعادن هي إحدى الظواهر الجيوكيميائية المهمة والتي تحدث بالقرب من سطح الأرض، وتتم عن طريق إنتاج سلالات بكتيرية متعددة، وأحماض عضوية ولا عضوية وبوليمرات، تعمل على التأثير في الصخور والمعادن وتؤدي إلى تجويتها إلى دقائق أصغر حجما.

اما التعرية(Erosion) فهي مجموعة من العوامل هي ذاتها التي تحدث في عمليات التجوية سواء كانت الفيزيائية والكيميائية والإحيائية المؤثرة في مكونات صخور القشرة الأرضية، وتنشط عند وجود ما يساعد على نقل تلك المكونات المفتتة والمتحللة بوساطة التيارات المائية والهوائية والجاذبية بالإضافة الى حركة الكتل الجليدية الذائبة.

وتعد التجوية الفيزيائية بالنسبة للمكونات الصخرية من أهم العمليات على الرغم من مساهمتها القليلة في نتاج معادن جديدة بنسبة لا تزيد عن15% وذلك لكونها تزيد من مساحة السطح النوعي للكتلة الصخرية أو المعدنية المتعرضة للتجوية الكيميائية نتيجة لتكسر وتفتت تلك الكتل الى أحجام حبيبية تتناسب عكسيا مع المساحة السطحية النوعية (Specific Surface Area). إذ إن المساحة السطحية النوعية تعرف على إنها المساحة السطحية الكلية (Surface Area) لكل وحدة حجم أو لكل وحدة كتلة من الدقائق أو لكل وحدة حجم كلي من التربة. وهي تتأثر بعاملين هما

الشكل الهندسي الذي تمتلكه تلك المادة سواء كانت معدنية أو غير ذلك ونصف قطر حجم حبيباتها. فعندما يكون الشكل الهندسي لأي مادة صلبة كروي يمتلك مساحة سطحية نوعية أقل مما هي عليها في الشكل المكعبي ومتوازي المستطيلات على التتابع. وبذلك تصبح شدة التجوية الفيزيائية ونشاط التجوية الكيميائية أقل في الدقائق الكروية اذا ما قورنت بالدقائق ذات الشكل المكعبي وتكون شدة التجوية ونشاطا في الدقائق ذات الشكل الصفائحي (متوازي االمستطيلات) اعلى من الدقائق ذات الشكل الكروي والمكعبي بسبب زيادة المساحة السطحية النوعية لسطوح الدقائق مما يزيد من مساحة اسطح التفاعل. العامل الثاني المؤثر في المساحة السطحية هو الحجم الحبيبي الذي يتناسب عكسيا معها. وهذا يوضح تأثير شدة التجوية الفيزيائية ومساهمتها في نشاط التجوية الكيميائية فكلما قل حجم الدقائق كلما زادة مساحتها السطحية النوعية للتلامس.



Volume	1 mm^3	1 mm^3	1 mm^3	1 mm^3
No of pieces	1	2	8	1000 million
Total surface area	6 mm^2	8 mm^2	12 mm^2	6000 mm^2

ان الأنواع المختلفة من التجوية تؤثر عموما في الصخور والمعادن الأولية Primary minerals محدثة تحولات كيميائية فيها تؤدي إلى تكوين معادن ثانوية Secondary minerals جديدة. لذا فأن المعادن التي ترثها inherit التربة من الصخور النارية الأصلية يطلق عليها تسمية المعادن الأولية Primary minerals، أما المعادن التي تكونت أثناء عملية التجوية وتكوين التربة فيطلق عليها تسمية المعادن الثانوية Secondary minerals ، ونظرا لزيادة فعالية عمليات التجوية بزيادة المساحة السطحية النوعية للدقائق Specific surface area of particles نجد أن المعادن الثانوية ترتفع نسبتها في الجزء الناعم من التربة، فمثلا نجد أن معظم معادن الطين هي عبارة عن معادن ثانوية تتواجد في الجزء الناعم من التربة الأقل من 2 مايكرون أو ما يطلق عليه

بالجزء الغروي من التربة، بينما تتركز المعادن الأولية مثل الفلدسبارات والكوارتز في الجزء الخشن من التربة كالرمل Sand والغرين Silt لذا فعند دراسة التركيب المعدني للتربة فأننا يجب أن نفرق بين تركيب الجزء الخشن (الرمل والغرين) وتركيب الجزء الناعم (الطين) فيها .

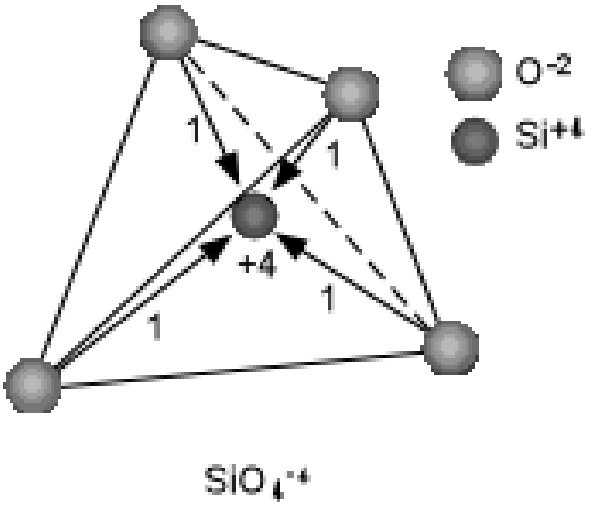
معادن التربة (Soil Minerals)

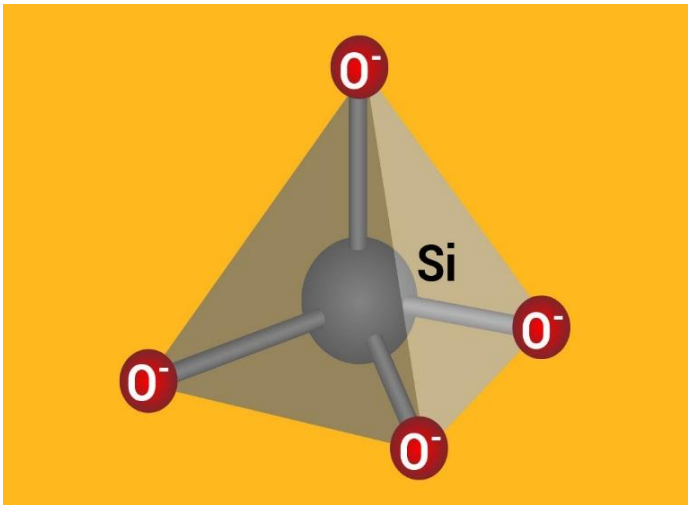
معادن التربة هي عبارة عن دقائق صلبة بحجم أقل من 2ملم بصورة متدرجة تؤلف نسبة 45% من مكونات التربة عند حالتها المثالية يطلق عليها بمكونات التربة المعدنية أو مفصولات التربة الأولية تتمثل في بادئ الأمر بالرمل(Sand) الذي تتراوح أقطار أو أحجام حبيباته بين 0.02-2ملم على وفق تصنيف إدارة الزراعة الأمريكية(USDA)، وبين0.05-2ملم حسب تصنيف جمعية التربة العالمية (ISSS)، وهو في أغلب الأحيان لا يضفي شيء على نشاط وفعالية خصائص التربة، منها المساحة السطحية الكلية والنوعية، فضلا عن السعة التبادلية للأيونات الموجبة، بل يكسبها قوة وصلابة، لذلك يدعى بهيكل التربة. والثاني مفصول الغرين(Silt) الذي يكون بين مواصفات الرمل والطين، وتتراوح أقطار حبيبات الغرين بين 0.002-0.05 أو0.002ملم على وفق تصانيف الرمل العالمية. في حين المفصول الثالث والمهم من بين مفصولات التربة هو الطين الذي تكون أقطار حبيباته أقل من 0.002ملم يعد الجزء الغروي والمعدني الفعال في التربة، لما يتصف به من مساحة سطحية نوعية عالية لشكله الهندسي المتطاول، وحجمه الحبيبي الدقيق. وكذلك يمتلك سعة تبادلية للأيونات الموجبة عالية بسبب كثافة الشحنات السالبة على سطوحه.

ومن حيث الأصل فان هذه المفصولات تتألف من معادن أولية ناتجة عن تفتت مكونات صخور القشرة الأرضية على أثر التجوية الطبيعية (الفيزيائية أو الميكانيكية)، ومعادن ثانوية ناتجة عن تحلل مكونات صخور القشرة الأرضية على أثر التجوية الكيميائية. إذ إن النتاج الرئيسي للمعادن الأولية هو تبلور الصهير الصخري عند انخفاض درجة حرارته على سطح الأرض يتضمن المعادن السليكاتية المتمثلة بسلسة باوين التفاعلية كالفلدسبارات البلاجيوكليزية ومعادن الحديد والمغنيسيوم(الفيرومغنيسية). في حين المصدر الأساسي للمعادن الثانوية تحلل المعادن الأولية منها المعادن السليكاتية تحت مجموعة من العوامل والظروف البيئية السائدة في ظل عمليات التجوية الكيميائية كالمعادن الطينية.

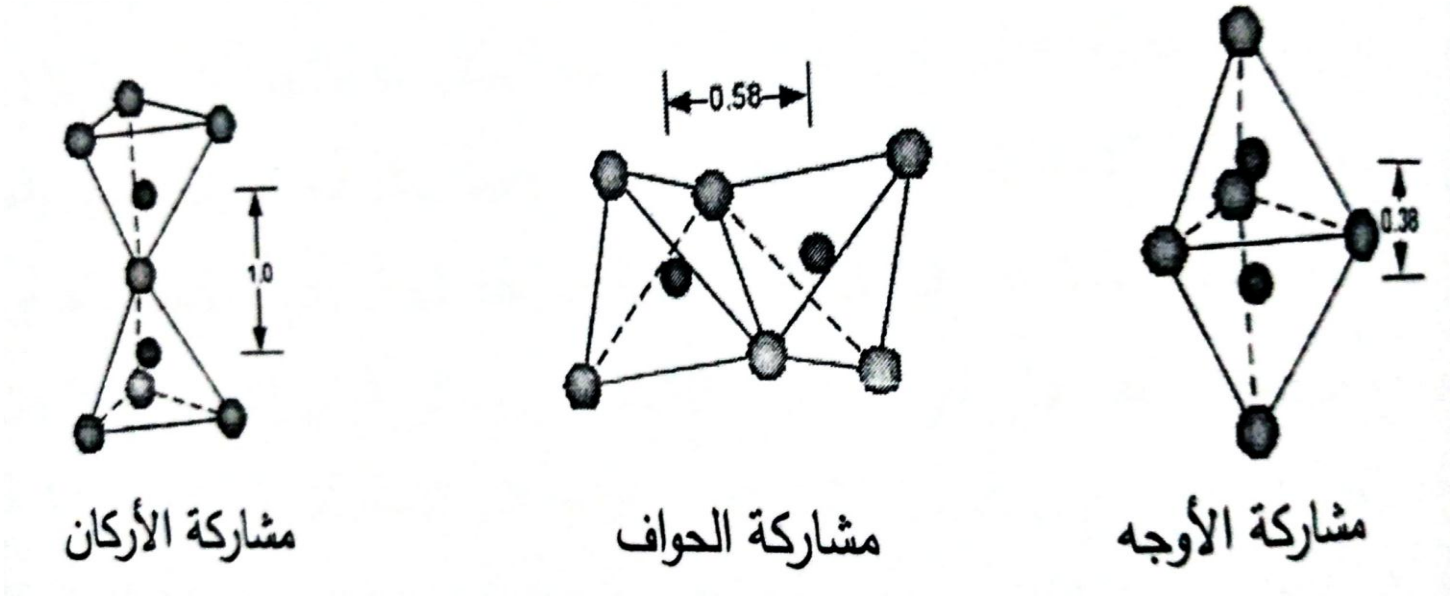
المعادن السليكاتية:(Silicate Minerals)

هي عبارة عن مركبات أو معادن تدخل في تركيبها السليكا ناتجة عن عملية البلمرة للصهير الصخري بانخفاض درجة حرارته على سطح الأرض. تتكون الوحدة الأساسية لبناء المعادن السليكاتية وتصنيفها لعدة أنواع هي وحدة السليكا التي تمتلك شكل هرمي يطلق عليه بوحدة رباعي الأوجه(Tetrahedron unit) ناتج من النسبة بين نصف القطر الأيوني للسليكون(0.39أنكستروم) الذي يحتل مركز ذلك الشكل الهندسي الى نسبة القطر الأيوني للأوكسجين (1.40أنكستروم)الذي يكون ممثلا لأركانه، وهذه النسبة يكون مقدراها 0.278 هي التي تجعل وحدة السليكا بشكل هندسي رباعي الأوجه ذات الصيغة الكيميائية$(SiO_4)^{-4}$ بأربعة أنيونات من الأوكسجين مرتبطة مع أيون السليكون رباعي التكافؤ(Si^{4+}) وتكون فائضة على أركان ذلك الشكل الهندسي تميل الى الارتباط مع وحدات سليكاتية أخرى على وفق انخفاض درجة حرارة الصهير الصخري وعملية بلمرته على سطح الأرض. وأن ارتباط الوحدات السليكاتية مع بعضها عن طريق الأركان وليس عن طريق القواعد ولا عن طرق الحافات، والسبب في ذلك هو قوة التنافر التي تبديها الأيونات الموجبة المتمثلة بالسليكون في الوحدات السليكاتية التي تكون أوطأ عند الارتباط من الأركان لكون المسافة أبعد بين تلك الأيونات مقارنة بطريقتي الارتباط عند الحافات والقواعد التي تكون عندها قوة التنافر بسبب قرب المسافة أعلى مما هي عليها في حالة الارتباط عن طريق الأركان. ومن خلال طريقة ارتباط تلك الوحدات السليكاتية فيما بينها مع انخفاض درجة حرارة الصهير الصخري تدريجيا تظهر أشكال هندسية متنوعة تقسم على أساسها المعادن السليكاتية. علما إن هنالك وحدة بنائية أخرى تسهم في التركيب البلوري لهذه المعادن تعرف بوحدة ثماني الأوجه (Octahedron unit) توجد في جميع المعادن السليكاتية ليس لها دور في تصنيف المعادن السليكاتية على أساس عملية بلمرة الصهير الصخري مع انخفاض درجة حرارته وتنوع أشكالها الهندسية.





والشكل التالي يمثل مشاركة الوحدات السليكاتية من الأركان، ومشاركة الوحدات السليكاتية من الحافات ومشاركة الوحدات السليكاتية عن طريق القواعد وكما في الرسم.



اهمية المعادن السليكاتية تكمن في:

1- انها المكون الاساسي لصخور القشرة الارضية، فهي تشكل ما يقارب 25% من المعادن المعروفة على سطح الأرض و% 40 من المعادن الشائعة.

2- تعتبر الوحدة الاساسية التي تشارك في بناء جميع المعادن السليكاتية والتي تحتوي على أربعة أيونات اوكسجين تحيط بأيون السليكون الرباعي التكافؤ مكونة شكل رباعي الاوجه . Tetrahedron.

3- الآصرة بين ايونات الاوكسجين والسليكون قوية وهي السبب في جعل الارض متماسكة وقوية

4- الطاقة الرابطة لأيون السليكون في مجموعها تكون موزعة الايونات الاربعة للأوكسجين أي ان كل رابطة لايون السليكون والأوكسجين تكون لها 1\4 الطاقة الرابطة لأيون السليكون او نصف طاقة الرابطة لأيون الاوكسجين.

5- كل ذرة اوكسجين لها فرصة بالارتباط بأيون سليكون اخر لمجموعة رباعي الاوجه المجاور بمعنى آخر ان لكل مجموعتان من رباعي الاوجه ترتبطان مع بعضهما بواسطة ايون الاوكسجين المشترك بينهما.

6- قد يحدث ارتباط بين مجموعتين بواسطة ايون واحد من الاوكسجين او بواسطة ايونين او ثلاثة او اربع ايونات وذلك بسبب تكوين العديد من الانواع المختلفة للبنيات السليكاتية والتي تعرف بعملية البلمرة Polymerization ويلاحظ ان معدل البلمرة للمركبات السليكاتية يزداد مع انخفاض درجة الحرارة وذلك اثناء عملية التبلور الجزئي يتميز ببناء سليكاتي بسيط عند درجات الحرارة المرتفعة وفي نهاية عملية التبلور تتكون معادن الاورثوكليز والكوارتز وهما يمثلان حالات التبلمر , حيث ان رباعي الاوجه قد شارك بجميع ايونات الاوكسجين الاربعة في درجات الحرارة المنخفضة مع مجموعة رباعية الاوجه الاخرى . ويتم هذا الاشتراك عن طريق حواف او قواعد رباعية الاوجه كما موضح بالشكل السابق والسبب في ذلك هو قوة التنافر بين ايونات السليكون، حيث تكون هذه الايونات ابعد ما يكون في حالة الارتباط عن طريق اركان رباعي الاوجه.