



بیتروغرافیا الصخور النارية والمتحولة





منشورات جامعة دمشق
كلية العلوم

بيتروغرافيا الصخور النارية والمتحولة

الدكتورة

فيروز لطفي المهنا

مدرسة في قسم الجيولوجيا

جامعة دمشق 2020-2019 م

1442-1441 هـ



فهرس الكتاب

الصفحة	الموضوع
11	مقدمة
13	الفصل الأول التركيب الداخلي للكرة الأرضية
16	1-1- نطاق القشرة الأرضية:
17	1-1-1- القشرة المحيطية.
18	1-1-2- القشرة القارية.
19	1-2- المانتل.
21	1-3- النواة:
21	1-3-1- النواة الخارجية.
22	1-3-2- النواة الداخلية.
25	الفصل الثاني الماغما
27	2-1- تركيب الماغما.
30	2-2- عمليات تبرد الماغما.
35	2-3- هجرة الماغما.
37	2-4- تمايز الماغما.
40	2-5- الهضم والتمثل.
43	الفصل الثالث البراكين

45	3-1- العناصر الشكلية للبراكين.
46	3-2- أنماط البراكين وأنواعها.
61	3-3- أماكن توزع البراكين في العالم.
65	الفصل الرابع أشكال توضع الصخور الاندفاعية
67	4-1- أشكال توضع الصخور الاندفاعية العميقة:
67	4-1-1- الباثوليث
68	4-1-2- الستوك
68	4-1-3- اللاكوليث
69	4-1-4- اللابوليث
70	4-1-5- الأيتموليث
70	4-1-6- البسماليث
70	4-1-7- السفينوليث
70	4-1-8- الفاكوليث
71	4-1-9- الاكموليث
71	4-1-10- الهونوليث
71	4-1-10- الغاريوليت
76	4-2- أشكال التوضع للصخور والاندفاعات متوسطة العمق
76	4-2-1- الرقبة أو الأفنية البركانية
76	4-2-2- الدايكات
78	4-2-3- السيلات

79	4-2-4-العروق
82	4-3- أشكال توضعات الصخور الاندفاعية السطحية
82	4-3-1-نواتج صلبة متماسكة
84	4-3-2-نواتج صلبة فتاتية
87	الفصل الخامس بنيات الصخور الاندفاعية
89	5-1- بنيات الصخور الاندفاعية:
89	5-1-1-البنية الكتلية أو المتجانسة
89	5-1-2-البنية التاكسيتية
90	5-1-3-البنية الكروية
90	5-1-4-البنية المخططة
91	5-1-5-البنية الشرائطية
91	5-1-6-البنية الغنيسية
91	5-1-7-البنية التراكتية
91	5-1-8-البنية السيلية
91	5-1-9-البنية التاكسيتية البريشية
92	5-2-بنية الصخور الاندفاعية السطحية (البركانية):
92	5-2-1-البنية المتجانسة
92	5-2-2-البنية التاكسيتية
92	5-2-3-البنية الكتلية المتماسكة
93	5-2-4-البنية شبه التاكسيتية

93	5-2-5-البنية الفلوتيدية
93	5-2-6-البنية البيرلينية
93	5-2-7-البنية الماريكونية
93	5-2-8-البنية الكروية أو السفيروليتية
93	5-2-9-البنية الفراغية
95	5-2-10-البنية الزجاجية
95	5-2-10-1-ليفية بورفانيتية (فيتروبورفيرية)
95	5-2-10-2-فيتروافانيتية (ليفية أفانيتية)
95	5-2-10-3-البنية المبلورة
95	5-2-10-4-البنية الزجاجية (هياليتية)
95	5-2-11-البنية المختلطة
95	5-2-11-1-البنية التراكمية - الهيبنديومورفية
95	5-2-11-2-البنية الغابروية الأوفيتية
97	الفصل السادس تصنيف الصخور الاندفاعية العميقة والسطحية
99	6-1-حسب أماكن تشكلها أو تبردها
101	6-2-حسب التركيب الكيميائي
102	6-3-حسب التركيب الفلزي
243	6-4-حسب التصنيف الكمي الفلزي

249	الفصل السابع الاستحالة
251	7-1- مفاهيم عامة عن الصخور الاستحالية
254	7-2- عوامل الاستحالة
261	7-3- تصنيف الصخور الاستحالية
273	7-4- التفاضل الاستحالي
278	7-5- التركيب العنصري للصخور الاستحالية (فلزي وتركيب كيميائي)
287	7-6- السحنات البتروغرافية الاستحالية
290	7-7- درجة الاستحالة
292	7-8- الصخور الميتابليتية
298	7-9- الصخور الميتابازيتية
306	7-10- بنيات الصخور الاستحالية
316	7-11- نسج الصخور الاستحالية
325	7-12- مقارنة الصخور الاستحالية والرسوبية
331	الخاتمة
333	المراجع



المقدمة:

الصخور هي مادة الأرض، وصخور القشرة الأرضية هي المادة التي يُعنى بها الجيولوجي بالدراسة والبحث في أي فرع من فروع علوم الأرض. لذلك فإن من أوائل ما يتعلمه طالب علم الأرض وصف الصخور، أو ما يطلق عليه بالإنكليزية اصطلاح petrography (بتروغرافيا)، وهو اصطلاح مركب من شقين petros و graph ومعناها باليونانية (يكتب)، وفي غياب اصطلاح عربي مناسب لهذه الكلمة فإننا سنستخدم نفس الكلمة معربة (بتروغرافيا) بمدلولها الإنكليزي في بعض الأحيان أو نستخدم المصطلح العربي (وصف الصخور) الذي يأخذ المعنى نفسه.

التيروغرافيا هي أحد الفروع الأساسية لعلم الصخور بصفة عامة وتختص باستخلاص كل ما يمكن من خصائص الصخر، وأهمها التركيب الفلزي، النسيج، البنية بالملاحظة المباشرة، حيث يتم ذلك بفحص عينات متعددة من الصخر بالعين المجردة أو باستخدام العدسات المكبرة، ولكن ظهور المجهر في بدايات القرن العشرين أعطى البتروغرافيا دفعة هائلة كانت الأساس للتطور الهائل الذي نعيشه الآن لكشف أسرار الصخور. وليس وصف الصخور هدفاً في حد ذاته، ولكنه وسيلة لكشف أسرار الصخور، والعوامل التي أدت إلى نشأتها، والتغيرات التي طرأت عليها بعد ذلك.

وقد قسم العلماء الصخور إلى الأقسام الثلاثة المتعارف عليها، وهي: الصخور النارية (الاندفاعية)، والرسوبية، والاستحالية (المتحولة)، استناداً إلى طبيعة الفلزات المكونة لهذه الصخور، والعوامل التي تؤدي إلى نشأتها. وسيقوم هذا الكتاب بدراسة الصخور النارية والمتحولة من حيث تراكيبها العامة لوصف الصخور النارية والمتحولة بالإضافة إلى إعطاء فكرة عامة وشاملة عن العمليات المرتبطة بتشكيل هذه الصخور في باطن الأرض وعلى سطحها. لذلك كان هدفنا

في هذا الكتاب أن يكون معيناً للطالب في فهم الصخور من حيث تركيبها وتصنيفها وعمليات تشكلها.



الفصل الأول

التركيب الداخلي للكرة الأرضية

1-1- نطاق القشرة الأرضية Crust:

1-1-1- القشرة المحيطية.

1-1-2- القشرة القارية.

2-1- المانتل.

3-1- النواة:

1-3-1- النواة الخارجية.

2-3-1- النواة الداخلية.

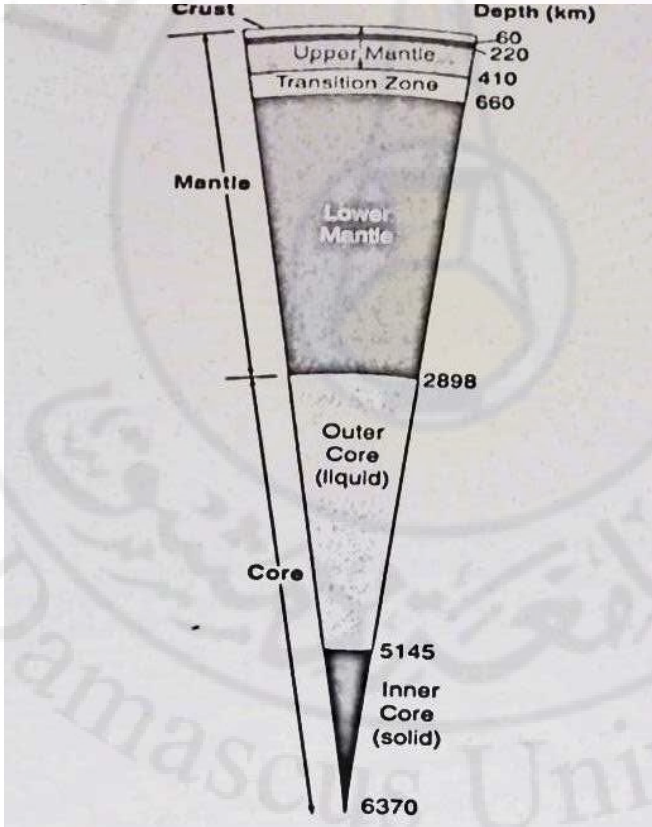


التركيب الداخلي للكرة الأرضية

تنتج جميع الصخور المتواجدة والمعروفة على سطح الأرض عن الانصهار في أعماق الأرض الداخلية، أي من المانتل. مع العلم أن بعضها قد تحول منذ ذلك التاريخ إلى رسوبات أو صخور استحالية أو نارية.

فإذا كانت هذه الصخور أتت فعلياً من الأعماق، هذا يعني أننا يجب أن نعرف تركيب الأرض إن أردنا أن نعرف تماماً أصل هذه الصخور الذي تطور تركيباً، ومن ثم فإن باطن الأرض يقسم إلى ثلاثة أجزاء رئيسية، وهي:

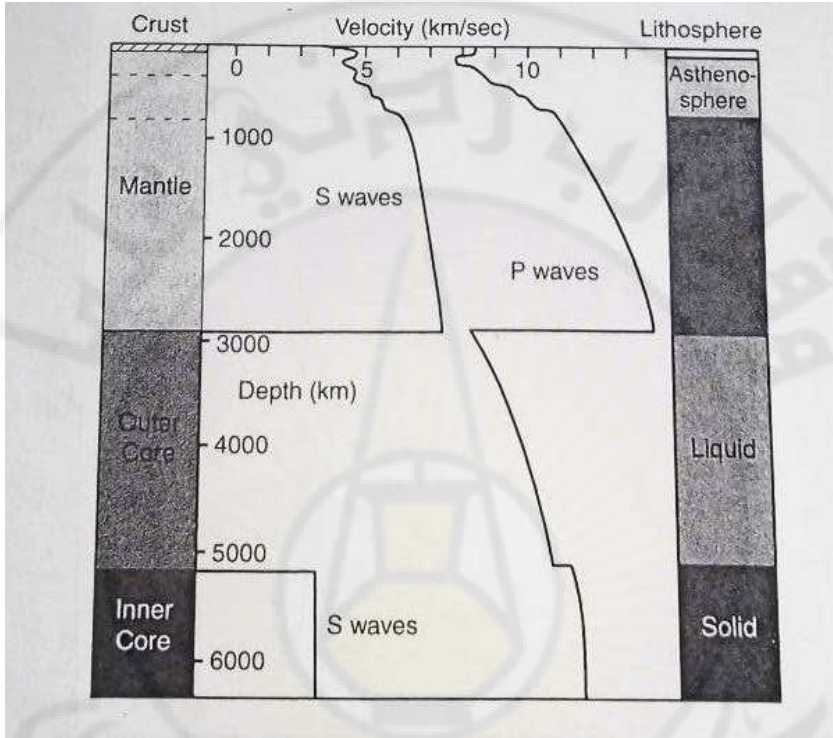
1-1- القشرة. 2-1- المانتل (المعطف). 3-1- النواة. كما في الشكل (1)



الشكل (1)
التقسيمات الرئيسية
للأرض

العمق	Depth (Km)	القشرة	Crust
المانتل العلوي	Upper Mantle	نطاق مروري	transition Zone
النواة	Core	المانتل (المعطف)	Mantle
النواة الداخلية (صلبة)	Inner core (Solid)	النواة الخارجية (سائلة)	Outer core (liquid)

وقد لوحظت هذه الأجزاء من عقود مضت من خلال الدراسات السيسمية القديمة، لأنها قسمت بنتيجة الانقطاعات في السرعات للموجات الانضغاطية (P)، وموجات القص (S) كما تنتشر ضمن طبقات الأرض. الشكل (2)



قشرة	Crust	أثينو سفير	Asthenosphere
موجة S	S waves	موجة P	P waves
معطف	Mantle	موجة S	S waves
نواة خارجية	Cuter core	العمق	Depth
نواة داخلية	inner core	سائل	Liquid
		صلب	Solid

الشكل (2) تغيرات سرعة الأمواج S , P مع العمق

1-1- نطاق القشرة الأرضية Crust:

ويؤلف بحدود (1%) من حجم الأرض، ويقسم إلى القشرة المحيطية والقشرة القارية، وتعد القشرتين ذات سماكات قليلة جداً ليتم تمثيلها على الشكل

(1)، حتى إن سماكة القشرة القارية سوف تكون أرق من الخط المستقيم الرفيع في الشكل، وإن القشرة الأرق بين القشرتين السابقتين هي القشرة المحيطية.

1-1-1- القشرة المحيطية Oceanic crust:

تصل سماكتها حتى (10 كم)، وتتألف بشكل رئيسي من البازلت، حيث تبين من دراسة الآبار أن الغالبية العظمى لتركيب القشرة المحيطية هي من البازلت الثلوثيني ذي التركيب الكيميائي المحدد والفريد نسبياً. إن هذا النوع من البازلت أخذ عدة أسماء وسوف نورد الأسماء الأكثر شيوعاً، وهي:

أ- بازلت قاع المحيط.

ب- بازلت العميق (أو الثلوبييت العميق).

ج- بازلت الأعراف المحيطية (MORB) والمتوضع في منطقة الأعراف المحيطية المتوسطة، المجاور لمنطقة تباعد الصفائح المحيطية، حيث تتباعد صفيحتين ويطفو المانتل للأعلى حتى يملأ الفجوة الحاصلة. إن المانتل المرتفع من الليرزوليت يذهب تحت المناطق ذات الضغط المنخفض، ويصل إلى درجة حرارة منخفضة (درجة التصلب)، والنتيجة عن الانصهار الجزئي للبازلت، ومن ثم هذا الناتج المنصهر، ينفصل ويرتفع إلى القشرة الصدمية حيث تتجمع وتتصلب وتضاف إلى حواف الصفائح المتباعدة. ولأن الصفائح التكتونية تشكل القشرة المحيطية في منطقة الأعراف المحيطية المتوسطة، وتقوم بهضمها (ابتلاعها) في منطقة النطاق الإنغراسي، فإن القشرة المحيطية تتجدد باستمرار، حيث إن القشرة المحيطية القديمة موجودة في جنوب غرب الباسيفيك، ويصل عمرها حتى 160 مليون سنة.

ويقل سمك القشرة المحيطية بشكل مفاجئ في مناطق قاع المحيطات وعلى الأخص في بعض أجزاء المحيط الهادي والمحيط الأطلسي فيحدث أن يقل بشكل مفاجئ سمك القشرة الأرضية وعلى مساحات كبيرة إذ لا يزيد سمكها عن

خمسة أو ستة كيلومترات فقط، وفي تلك الأماكن لا يزيد سمك الغطاء الرسوبي عن عدة عشرات من الأمتار في حين لا وجود للطبقة الغرانيتية على الإطلاق، حيث تتوضع صخور الغطاء الرسوبي مباشرة على الطبقة البازلتية.

1-1-2- القشرة القارية continental crust:

إن القشرة القارية أسمك من القشرة المحيطية، حيث تصل تحت المناطق المستقرة بين 30-40 كم، ولكن عامة تصل إلى 50-60 كم في المناطق الجبلية (الناجمة عن الحركات المولدة للجبال)، وتصل في بعض المناطق حتى 90 كم. وهي غير متجانسة، حيث تحوي جميع أنواع الصخور الرسوبية والنارية والاستحالية، والتركيب الأولي للقشرة القارية من الغرانوديوريت.

وتمثل القشرة القارية 40% من سطح الأرض، وهي قابلة للطفو بعيداً، وقد زادت كمية القشرة القارية على مدى الـ 4Ga الماضية (أي على مدى الـ 4 بليون سنة الماضية)، علماً بأنه هناك مناطق من القشرة الأرضية قديمة جداً، في حين المناطق الأخرى حديثة جداً. إن القارات المستقرة (Crotons) مؤلفة من شيلل وبلاتفورم المستقرة، والأخيرة مؤلفة من جزء سفلي من صخور مبلورة أحدث من الشيلل، يعلوها عدة كيلومترات من الصخور الرسوبية. وتمثل هوامش متعددة في الأحزمة المولدة للجبال الجزء المستقر من القشرة الأرضية، وهي في حالة تفاعل مع مناطق الإنغراس التي تضاف إلى القشرة القارية مع مرور الزمن، ويعتقد بأن القشرة السفلية تنضب بالعناصر المتحركة، وهي ذات طابع أساسي التركيب أكثر من الجزء العلوي من القشرة، أي أن القشرة القارية مؤلفة من ثلاث طبقات، طبقة علوية رسوبية تليها باتجاه الأسفل الغرانوديوريت إلى غرانيت وأسفلها طبقة بازلتية. إن الاندفاعات الزلزالية في الجزء السفلي من القشرة الأرضية (انقطاع كونراد) لوحظت في بعض المناطق، وهي تحدد الحد الفاصل بين القشرة القارية والجزء العلوي من المانتل (السيالي).

كان يعتقد في السابق أن انقطاع كونراد مستمر، ويفصل القشرة الغرانيتية قليلة العمق عن القشرة البازلتية في الجزء السفلي من القشرة، والتي تشكل قاعدة القارة.

ولكن يعتقد الآن بأن الجزء العلوي والسفلي من القشرة القارية غير متجانس أكثر بكثير، حيث لا يوجد هناك حد واضح بين القشرة القارية والمانتل، فمن الممكن أن يكون هناك تدرج، أو حتى طبقات انتقالية بينهما، يتوضع مباشرة تحت القشرة الأرضية المانتل.

1-2- المانتل (المعطف) Mantel:

يمتد المانتل حتى عمق 3000 كم، ويمثل بحدود 83% من حجم الأرض، ويسمى الحد الفاصل بين القشرة الأرضية والمانتل (بحد موهو)، أو (M) نسبة إلى موهوروفيتش (عالم جيوفيزيائي من البلقان)، اكتشف هذا الحد في العام 1909.

وتحت القشرة المحيطية عند نقطة عدم الاستمرار (الانقطاع) تُظهر سرعة الأمواج (P) تزايداً مفاجئاً من 7-8 كم/ثا، حيث تحصل في منطقة الانكسار عملية انكسار وانعكاس للأمواج السيسمية عندما ترتطم بمنطقة عدم الاستمرار، مما يجعله نسبياً سهلاً لتحديد العمق.

ويتألف المانتل من فلزات حديدية - مغنيزية مسيطرة، أي أنه يتألف من طبقة بيريدوتيتية تقع تحت الطبقة البازلتية التابعة لأسفل القشرة الأرضية، والبيريدوتيت عبارة عن صخور نارية فوق أساسية، تحوي نسبة قليلة من السيليكا (SiO_2)، وهي ذات كثافة عالية، وتمتاز بالسرعة الكبيرة لانتشار الموجات الاهتزازية فيها.

إن الانقطاعات السيسمية تفصل الطبقات التي تتميز بالخواص الفيزيائية أكثر من الكيميائية. وتقع أقل هذه الطبقات عمقاً على عمق (80-220 كم)

وتسمى طبقة السرعات المنخفضة، لأن ضمنها تنخفض الموجات السيسمية بشكل بسيط إذا ما قورنت بالطبقة التي تعلوها والطبقة التي تتوضع تحتها (تدونها)، إن انخفاض سرعة الأمواج السيسمية غير معتاد، لأن الأمواج السيسمية عادة تزداد مع العمق، لأنها تتزايد بشكل أوضح من خلال المواد الأكثر ترصاً. وإن سبب انخفاض سرعة الأمواج السيسمية يعود إلى الانصهار الجزئي للمانتل بنسبة (1-5 %)، وهذا الانصهار يؤدي غالباً إلى تشكيل انقطاع رقيق (بسيط) على كامل حدود الحبات الفلزية، والذي يؤخر الأمواج السيسمية (يبطئ الأمواج السيسمية)، كذلك يضعف الانصهار الجزئي طبقة المانتل ويجعلها تتصرف كأنها لدنة. أما عن سماكة طبقة السرعات المنخفضة فهي مختلفة وهذا يعتمد على الضغط المحلي، الحرارة، نقطة الانصهار، وإمكانية وجود الماء (H_2O).

إن هذه تسمى أيضاً بالمانتل العلوي، وهي نفسها طبقة البيريدوتيت، وتأتي من حيث الوضعية أسفل القشرة الأرضية مباشرة، يقول المغماتيون أنه يوجد في هذه الطبقة كثير من مستودعات الماغما التي تغذي البراكين، كما تقع فيها مراكز الزلازل الأرضية (بؤر الزلازل).

وتحت هذه الطبقة منخفضة السرعة يصادف طبقتين أكثر انقطاعية ضمن المانتل، هذه الطبقات هي طبقة غوتنبرغ الهادئة نسبياً، وطبقة جولستين التي يعتقد بأنها تحوي مراكز البؤر الزلزالية المدمرة. حيث الانقطاعات على عمق (410 كم) ويعتقد بأنها ناتجة عن طور تحول الإلوليفين من البنية المعروفة له، وهي (α -phase) إلى الرودسلييت (β -phase)، ثم إلى رينغوايت (γ -phase)، (أي المرور إلى بنية أكثر ترصاً)، مع بنية متناظرة من نمط السبينيل. ونجد على عمق (660 كم) أن السيليكات المسيطرة تصبح من نوع $(Mg, Fe) SiO_3$ ، أي سيليكات حديدية - مغنيزية مع بنية شبيهة ببنية البروفسكت ومحاور Mg, Fe ، وتشكل أكسيد $(Mg, Fe)O$ ما يسمى ماغنيروويسيت أو فيروبيريكلاس، وهذه

الفلزات ليست فلزات مرور نظامي وسهل من $b \leftarrow a$ ، وإنما مرور من $C+b \leftarrow a$. إن المرور من العمق 410-660 كم يؤدي إلى زيادة مفاجئة لكثافة المانتل، وهذا يترافق مع قفزة في سرعة الأمواج السيسمية. ويزداد الانقطاع (عدم الاستمرار) للأمواج السيسمية تحت العمق (660 كم) تقريباً بشكل نظامي مع العمق. (الشكل 2)

ويوجد في قاعدة المانتل سماكة قدرها (200 كم) لطبقة غير متجانسة، يظهر فيها سرعة أمواج منخفضة بشكل مفاجئ تسمى بالطبقة (D)، وتحت هذه الطبقة يتوضع على ما يبدو طبقات غير مستمرة مع سرعة أمواج أخفض ويسماكة (40 كم) نتجت عن انصهار الحدود بين المانتل والنواة، وهذا ظاهر تحت مركز الباسيفيك (في منتصف الباسيفيك).

إن طبيعة الطبقة (D) والطبقة التي على عمق (40 كم) ليس واضحاً بشكل كامل، غير أن خواصهما غير نظامية بشكل كاف (شاذة)، وهذا يؤدي إلى اضطرابات حرارية حدودية. وغالباً يوجد طبقة مختلفة التركيب عن طبقة المانتل التي تعلوها، ومن ثم أكثر كثافة، وهنا الوضعية الشائعة في هذه الحالة تمثل هضم الرسوبات الكثيفة التابعة للقشرة المحيطية المنغرسية التي استقرت في قاعدة المانتل.

1-3-النواة:

يظهر الحد بين النواة والمانتل من خلال عدم استمرار التركيب الكيميائي نفسو للمانتل حيث إن المانتل ذات فلزات غنية بالحديد أكثر كثافة من النواة، وتحوي على نسبة من النيكل، الكبريت، السيليكا والأوكسجين، وغيرها.

1-3-1- النواة الخارجية:

سائلة وتمتد حتى عمق (5000 كم)، وهي مؤلفة من حديد وتتوضع تحت المانتل، وقد أثبت الجيولوجيون بأنها سائلة وذلك بالاعتماد على السيسمية،

وسماكتها 2.33 كم، وتستمر تقريباً حتى عمق 3.400 كم. وتتألف النواة الخارجية من 80% حديد وقليل من النيكل وعدد من العناصر الخفيفة، حيث إنه عندما تشكلت الأرض - (أي بدأت بالتبرد) - من بلايين السنين، فإن العناصر الثقيلة توضع في مركزها، في حين أن العناصر الخفيفة طفت إلى الأعلى، لذلك تزداد الكثافة كلما اتجهنا باتجاه مركز الأرض، إن نواة الأرض الخارجية حارة لدرجة تصبح معها سائلة، في حين أن الضغط غير كاف حتى يجعل الحديد صلباً من جديد كما هو موجود في النواة الداخلية وطالما النواة الخارجية سائلة إذاً تكون ذات سرعة أمواج منخفضة، وذلك من الممكن أن تدور أسرع من النواة الداخلية، والصفات السابقة تعطي الأرض المغناطيسية.

1-3-2- النواة الداخلية:

تمتد من (5000-6000) كم، وتعد مركز الأرض، وهي شبيهة بالنواة الخارجية ومؤلفة من الحديد والنيكل، يصل قطرها إلى 1.220 كم، والاختلاف بين النواة الداخلية والخارجية هو في الكثافة والضغط العالي، وعلى الرغم من الحرارة العالية جداً، فإن هذه النواة صلبة وغنية بالعناصر الثقيلة مثل الذهب، الفضة، البلاتين، الإيديم والتنجستين.

والنواتان غالباً لهما التركيب نفسه وعملية المرور باتجاه الصلب ناتج عن ازدياد الضغط مع العمق، ومن المعروف بأن الأمواج (S) لا تنتشر عبر السائل، لأن السائل لا يقاوم الضغط (ضغط القص)، على الرغم من أن موجات (S) لا تتباطئ إلا في طبقات السوائل (الشكل 2)، في حين أن الأمواج (P) تكون بطيئة في النواة السائلة وتتكسر باتجاه الأسفل، حيث يظهر بنتيجة ذلك في السيسمية نطاق ظل يشبه الدائرة، بحيث لا تصل الهزات الأرضية من نمط الموجات (P) إلى السطح (سطح الأرض) في المكان البعيد عن مصدر الهزة الأرضية.

إن القشرة والمانتل والنواة تختلف عن بعضها بالتركيب، وبطريقة أخرى يمكن تحديد تقسيمات الأرض بالاعتماد على صفات الصخور، وكيف تتصرف تحت التشوهات. وباستخدام هذه المقاييس نستطيع أن نعد أن القشرة والقسم العلوي من المانتل الذي يوجد فوق الطبقة منخفضة السرعة يتصرف كوحدة قوية متماسكة تسمى بشكل إجمالي الليثوسفير، ويكون الليثوسفير المحيطي رقيقاً ويبلغ حوالي (50 كم) بالقرب من الأعراف المحيطية المتوسطة الحرارة، وتصل سماكته إلى (110 كم)، أما سماكة الليثوسفير تحت الطبقات القارية المستقرة فتبلغ حوالي (200-250) كم، والطبقة الأكثر لدونة وليونة من المانتل والمتوضعة تحت الليثوسفير تسمى بالآستينوسفير.

ويُعتبر الآستينوسفير هاماً في الصفائح التكتونية، لأن الليونة هامة في الصفائح التكتونية، لأنه يعتقد بأن الليونة هي التي تؤمن حركة الصفائح، والذي تتحرك على أساسه الصفائح الليثوسفيرية التكتونية القاسية تفاضلياً من وجهة النظر الريولوجية، (أي من وجهة نظر دراسة تدفق المواد والتي تساعد على فهم صفات الصخور كيف تتأثر عندما يطبق قوة قوية عليها)، فإن المانتل الموجود تحت الآستينوسفير يسمى ميزوسفير، وحدود الليثوسفير مع الآستينوسفير والميزوسفير كلها موجودة ضمن المانتل، وتتناسب مع الانتقال من القاسي إلى اللين، وترجع إلى مادة أقل ليونة مع العمق.

وتُعد الانتقالات بطريقة ما تدريجية، ولكن من الصعب أن نفهم سيزمياً على الأخص قاع الطبقة اللينة، ومن الممكن أن تكون سماكة الليثوسفير حوالي (150 كم).

إن طبيعة الميزوسفير غير معروفة بشكل جيد، ولكن الموجات السيسمية ليست ضعيفة بشكل كبير للإشارة بأن هذه الطبقة قوية، ومع هذا فإنه يمكن التمييز بين النواة الخارجية السائلة والداخلية الصلبة على أسس ميكانيكية.



الفصل الثاني

الماغما

Magma

2-1- تركيب الماغما

2-2- عمليات تبرد الماغما

2-3- هجرة الماغما

2-4- تمايز الماغما

2-5- الهضم والتمثل



الماغما

أُنت تسمية الماغما من اليونانية القديمة، والتي تعني المعجون السميك (thick unguent)، وهي عبارة عن مصهور أو شبه مصهور طبيعي، تتشكل منه جميع الصخور النارية المستمدة. وقد أُنت الماغما من انصهار الجزء العلوي من المانتل، وهي مؤلفة من جميع عناصر الجدول الدوري، وأهم عناصرها:

Al_2O_3 , CaO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , SiO_2 , P_2O_5 .

بالإضافة إلى: Zr , Ta , Va , Co , Ni , Cr ، وغيرها، وتضم الماغما أيضاً غازات منحلة مثل: Br , O_2 , HF , H_2 , HCl , S_2 , S , Co , Co_2 , H_2SO_4 ، وغيرها من الغازات حيث تكون الماغما مقارنة بالصخور، أغنى بالغازات التي تفقد عند التبلور، وخاصة منها: H_2O , Co_2 , H_2 ، CO , F_2 , Cl_2 ، وغيرها.

والماغما عدة أنواع، ماغما بازلتية وتتصف بغناها بالحديد والمغنسيوم وينسبة سيليكات تتراوح بين (45-55%)، والماغما الأنديزيتية والتي تتصف بأنها متوسطة الغنى بالحديد والمغنسيوم والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم، وبأن نسبة السليكا فيها (55-65%)، وأخيراً الماغما الريوليتية التي تتصف بغناها بالبوتاسيوم والصوديوم وفقرها بالحديد والمغنسيوم، ونسبة السيليكات فيها تتراوح بين (65-75%).

2-1- تركيب الماغما:

إن المشكل الرئيسي للمحلول السيليكاتي هو رباعيات الأوجه السيليكاتية من SiO_4 و AlO_4 وذلك بدرجات مختلفة من البوليميرات (الوحدات الأولية) في الدرجات الدنيا من تواجد هذه الوحدات الأولية للبوليميرات، وبارتفاع نسبة هذه البوليميرات في المحلول يؤدي ذلك إلى تشكيل جذور للأكاسيد السيليكاتية والسيليكاتية الألومينية ($AlSiO_4$) , ($AlSi_2O_6$) , (SiO_2) حيث توجد الأكاسيد في

الماغما في حالات معقدة مع كاتيونات الـ (Na^{+2} , Ca^{+2} , K^{+} , Fe^{+} , Ti^{+4}) وعناصر فلويديّة أخرى كميتها كبيرة تحت الضغوط العالية، ودرجة تجمع وتنفذ هذه المجموعات ترتبط حكماً بدرجة الحرارة من ناحية وبتكوين الماغما ناحية أخرى، وذلك لأن زيادة (Fe , OH) تؤدي إلى تشكيل مجموعات أيونية صغيرة تخفض من لزوجة الماغما.

إن الماغما الأولية تغير تركيبها عندما تقع في ظروف ترموديناميكية جديدة، وذلك أثناء عملية اندفاعها على الجزء العلوي من القشرة الأرضية، هذه العملية تسمى التفاضل الماغماتي، أو التطور نتيجة تشكل ماغما بتركيب جديد والتي تعطي أحياناً تتابعاً مغماتياً منتظماً.

حيث تشكل العناصر الأساسية بالمشاركة مع بعض المواد الطيارة نتيجة التبريد التدريجي للماغما الفلزات الرئيسية لأنواع الصخور النارية المختلفة والمواد المفيدة المرافقة لها. في حين تؤدي معظم المواد الطيارة دور منشطات للتبلور والتفاعلات الكيميائية، ونادراً ما تدخل في تراكيب الفلزات.

وللمواد الطيارة أهمية كبيرة عندما تتوفر في الماغما نظراً لتمتعها بالميزات التالية:

1- تخفض من درجة انصهار العديد من العناصر الأخرى الموجودة في المصهور الماغماتي.

2- تساعد على تبلور بعض المعادن والفلزات وفصلها، والتي لا يمكن أن تتفصل من المصهور الماغمي بدونها.

3- ترفع من درجة انحلال بعض العناصر، فمثلاً يؤدي توافر CO_2 في الماغما إلى رفع معامل انحلال CaO .

4- تؤثر العناصر الطيارة في تسلسل تبلور الماغما وتتابعها بالمقارنة مع تتابع تبلور المصاهير الجافة (الفقيرة بالمواد الطيارة).

- 5- عند انطلاق المواد الطيارة وتسربها ضمن التشققات، تؤدي إلى حدوث بعض التغيرات في الصخور المارة ضمنها.
 - 6- تدخل المواد الطيارة بتفاعلات مع بعض العناصر غير الطيارة مثل: الحديد، الألمنيوم والتيتانيوم.
 - 7- تتخفض درجة لزوجة الماغما عندما يتاح للمواد الطيارة الانفصال عن الماغما نتيجة انخفاض الضغط والحرارة.
 - 8- تشارك جزئياً في تركيب بعض الفلزات، مثل الفورمالين، التوباز، الاباتيت الموسكوفيت، البيريل، وغيرها.
- تؤثر الطبيعة الكيميائية للماغما في لزوجتها من حيث درجة التبلور والحبيبة للصخور الناتجة عنها.

2-1-1- تأثير التركيب في لزوجة الماغما:

تبدو أنواع الماغما الحامضية أكثر لزوجة من الماغما الأساسية إذا كانت تحت الشروط الترموديناميكية نفسها.

حيث وجود الأكاسيد TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 ، وتزيد من لزوجة الماغما، ويرتبط ازدياد أو نقصان اللزوجة بتوافر هذه الأكاسيد، أو تلك بمقادير مختلفة، فعندما يسيطر في الماغما الـ SiO_2 تكون الماغما حامضية عالية اللزوجة، وعندما يسيطر كل من FeO , CaO , MgO تكون الماغما أساسية منخفضة اللزوجة.

وتعزى اللزوجة العالية لأنواع الماغما الحامضية إلى أن السيليكا تشكل في هذه الماغما مجموعات معقدة تتحول عند التبلور إلى سيليكات لها كاركاسية، مثل كوارتز والسيليكات الألومينية (الصفاح)، التي ترتبط بجوار بعضها أو تتشابك مع بعضها أكثر مما هو عليه في رباعيات الأوجه، مما يؤدي إلى مقاومة داخلية

للحركة، ومن ثم ازدياد اللزوجة ومنع الانتقال لمسافات بعيدة لهذه الماغما الحامضية.

في حين أن الأنواع الأساسية في الماغما تشكل رباعيات أوجه منفصلة تعطي نتيجة التبرد سيليكات جذرية، مثل الأوليفين، وهذا ما يسهل حركة الماغما ويقلل من لزوجتها.

2-1-2- تأثير التركيب في درجة التبلور:

يؤثر تركيب الماغما في درجة التبلور والحببية للصخور الناتجة عن تبردها وذلك بالتأثير في سرعة تشكل مراكز التبلور. فمثلاً الصخور المتعددة الفلزات تكون ناعمة الحبيبة مقارنة بالصخور المؤلفة من فلز واحد والموجودة والمتشكلة معها تحت الشروط نفسها فلو أخذنا صخري الغابرو واللابرادوريت، نجد أن الغابرو مؤلف من فلزين رئيسيين، هما بلابجوكلاز وبيروكسين في هذا الصخر يكون بلابجوكلاز أكثر جهية من الكلنيوبيروكين، والسبب هو أن سرعة النمو لهذه الفلزات تكون متباينة، فالأسرع يأخذ أشكالاً نظامية، في حين أن الأبطئ يملأ الفراغات بينها، مع العلم بأن سرعة النمو للبلورات التي تكون من نوع واحد هي واحدة.

أما في اللابرادوريت فإن سرعة النمو لفلز الصفاح تكون واحدة لأنها جميعها من التركيب نفسه، مما يؤدي إلى تشكيل صخر مؤلف من فلزات متساوية الحجم، هذا ويتأثر مقياس حجم الفلزات للصخور بدرجة تركيز العناصر في الماغما التي تتواجد فيها، لذلك فإن العناصر التي تتوافر بكميات قليلة في الماغما لا يمكن أن تعطي فلزات كبيرة كما هو الحال في فلزات الزركون، السفين، الاباتيت، الماغنتيت الكروميت وغيرها.

2-2- عمليات تبرد الماغما:

تتشكل الصخور النارية من مصهور يسمى الماغما، والتي يؤدي دوراً

كبيراً في بناء نواة الأرض، وهذه الصخور تشكلت بطرائق مختلفة، فمنها ما هو كبير الحبيبية، تشكل على أعماق مختلفة دون الوصول إلى السطح، وكان للحرارة والغازات تأثير كبير فيها وسميت بالصخور العميقة التشكل، ومنها تشكل نتيجة انطلاق الماغما على السطح مشكلة الصخور المسماة بالصخور السطحية. إن أي مصهور مغماتي يتألف من ثلاثة أطوار، وهي السائل، والغاز، والصلب، والتي تحاول الوصول إلى حد التوازن، وذلك بالاعتماد على تغير الحرارة والضغط.

إن تركيب الغازات وتغير المصهور والفلزات المتشكلة في المرحلة الأولى من التبلور يعطي تغيراً مستمراً في تركيب الماغما، وهذا يعطي الماغما الأولية والماغما الثانوية، حيث يتشكل النوع الأول في جميع مستويات أعماق الأرض والمانتل العلوي، ويكون لها التركيب نفسه في كل المستويات، في حين أنه في الجزء العلوي من النواة عندما تكون الشروط الديناميكية مختلفة تغير الماغما تركيبها متحولة إلى الماغما الثانوية، معطية تراكيب مغماتية متنوعة، وهذه العملية تسمى تفاضل الماغما (أي عمليات تبرد الماغما)، حيث يبدأ ظهور فلزات تؤثر في الصخور وفي تيارات الفلوتيد العميقة. إن عملية التفاضل، أو ما يسمى تبرد الماغما مدروسة بشكل جيد نظرياً وتجريبياً، ومن ثم البلورات الناتجة (الفلزات) تختلف عن الماغما بتركيبها وفي لزوجتها وكثافتها، وهذا يؤدي إلى ترسب الفلزات ومن ثم تغيير تركيب الماغما نتيجة التفاضل.

ومهما يكن فإن الماغما عندما تتبرد ببطء ضمن مستويات عميقة في القشرة الأرضية، فإنها ستمر بالمراحل التطورية التالية:

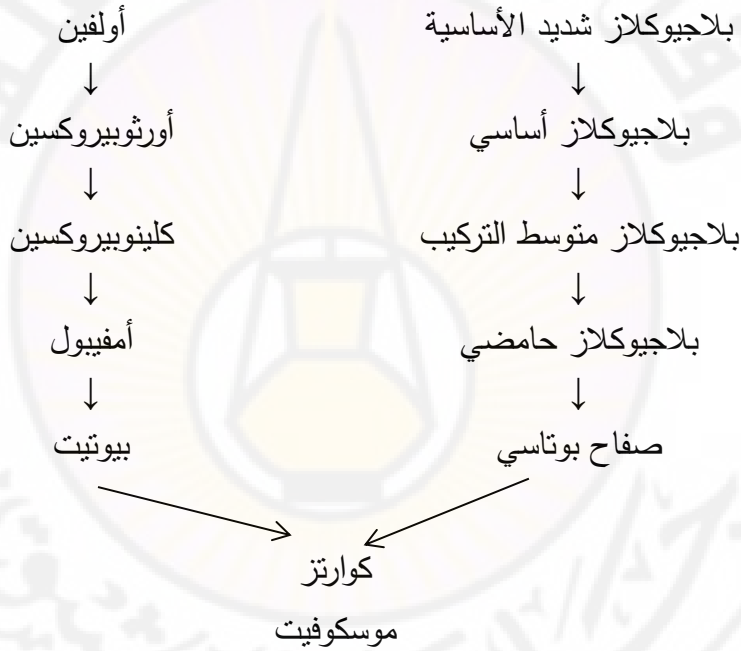
2-2-1- المرحلة ما قبل الماغماتية (أو الماغماتية المبكرة):

تتم هذه المرحلة في ظروف حرارية أعلى من (1500 م°)، وتحت ضغوط عالية جداً، حيث يتبلور أثناءها الكروم، والماغنيت، والأباتيت، والزركون،

والبلاتين، الموناسيت، اللوبازيت، أي الفلزات النادرة والتي تسمى أيضاً بالفلزات الثانوية.

2-2-2- المرحلة الماغمية:

تحصل تحت ظروف الحرارة بين (900-1500 م°)، وذلك تحت ضغوط عالية، تتشكل فيها الفلزات السيليكاتية للصخور النارية المتنوعة، وذلك حسب سلسلة باوون للفلزات الفاتحة والقاتمة.



يلاحظ من خلال السلسلة أن التسلسل في التبلور يؤدي إلى تفاضل تدريجي في تركيب الماغما، وإعطاء فلزات سيليكاتية تدخل في تركيب الصخور النارية المتنوعة فوق الأساسية، الأساسية، متوسطة التركيب، الحامضية.

حيث تدخل فلزات الأوليفين والبيروكسين بنوعيهما في تشكيل الصخور فوق الأساسية دون احتوائها على البلاجيوكلاز إلا في بعض أنواعها، مثل البيريدوتيت البلاجيوكلازي. في حين تدخل فلزات الصفاح والبيروكسين بنوعيهما في الصخور الأساسية، أما متوسطة التركيب فيدخل في تركيبها الأمفيبول والصفاح الكلسي

الصودي متوسط التركيب وأحياناً، الأورتوز كما هو الحال في السيانيت، وأخيراً الصخور الحامضية تتألف من الصفاح الحامضي والبوتاسي والكوارتز والبيوتيت.

2-2-3 المرحلة البغماتيتية:

تتحقق ضمن حدود حرارية تتراوح بين 600-900 م° حسب الأطوار

التالية:

أ-الطور (A) الحرارة (800-900 م°) وهو نهاية المرحلة الماغماتية.

ب-الطور (B) الحرارة (700-800 م°) حيث يتشكل صخر الابلت ضمن التشققات الطبقة معطياً فلزات ناعمة جداً، وأما تسمية الصخور ونوعيتها فهي تتبع الصخور الغرانيتية المرافقة لها.

ج-الطور C الحرارة (600-700 م°)

في هذا الطور تتشكل صخور البغماتيت بحجوم كبيرة، حيث حجم الفلز (1-1.5 سم)، ويتألف الغماتيت حسب نوعه إما من اليبيت + ليبدوليت + تورمالين + بيريل إذا كان قلوياً - صودياً، أو من 74% ميكروكلين و 26% كوارتز في الأنواع البوتاسية. وفي هذه المرحلة يزداد تركيز العناصر الطيارة التي تذهب ضمن المصاهير والسوائل التي بقيت ضمن الشقوق والعروق، وهذا ينشط عمليات التبلور لتشكيل بلورات كبيرة. وفي حال كانت الشقوق كبيرة ومستقرة والتغذية مستمرة بالمحاليل والمصاهير، تعطي بلورات عملاقة قد يصل حجم البلورة الواحدة إلى 10 م، مثل بلورات الكوارتز مثلاً.

2-2-4 المرحلة الغازية (البانوماتوليتية):

تبدأ هنا المواد الطيارة بالظهور على شكل غازات وأبخرة، وتتم هذه

المرحلة في ظروف حرارية تتراوح بين (400-600 م°)، وتتحقق وفق طورين:

الطور الأول: بغما توينيدي، وهو خاتمة المرحلة السابقة

ويتحقق في المجال الحراري (500-600 م°)، حيث يتشكل خلاله اعتباراً

من المزيج الغازي السائل فلزات الصفاح البوتاسي والكوارتز (α , β)، ثم فلزات حاوية على مواد طيارة، مثل الموسكوفيت (الحاوي على الماء والفلور)، والبيريل (الحاوي على البيريليوم)، والتوباز الحاوي على (الكلور)، والتورمالين الحاوي على (البوروالفلور).

الطور الثاني (فوق الحرج):

ويتحقق في ظروف حرارية بين (400-500 م°)، ويتشكل فيه البيريت (أي بلورات من أورتوز متضمنة انبثاقات من البلاجيوكلاز من نوع الاليت)، وفلزات الليثيوم: كالسيدومين، لبيدوليت، تورمالين أحمر وفي النهاية توباز. وتتشكل في الدرجة (400 م°) فلزات أو مركبات حمض الفوسفور، مثل: فوسفور سيدريت وأباتيت.

2-2-5- المرحلة الهيدروترمالية:

يكون المصهور قد وضع معظم حمولته فلا يبقى من محتوى المستودع الماغمي سوى أبخرة الماء حاملة معها عناصر كثيرة لم تدخل في تركيب الفلزات السابقة. وتتم في ظروف حرارية تتراوح بين (50-400 م°)، وفي هذه المرحلة تتشكل الفلزات اعتباراً من المحاليل المائية الحارة. ونميز فيها المراحل الثلاث التالية:

أ- المرحلة عالية الحرارة (300-400 م°): يتشكل في بدايتها بلورات حرشفية دقيقة من الميكا المائية ضمن بلورات الصفاح القلوي، وتتميز هذه المرحلة بتشكيل الكريوليت والفلوريت ذي المكامن الهامة التي لا توجد إلا في التشكل الهيدروترمالي.

ب- متوسط الحرارة (200-300 م°)، وتتشكل فيها معظم السولفيديات وبعض الأملاح والأكاسيد. إن معظم السولفيديات والتي تشكل معظم المكامن المعدنية الاقتصادية تتشكل في هذه المرحلة.

ج-منخفضة الحرارة (50-200 م): في هذه المرحلة تتوضع فلزات الزيوليت، الكربونات، الكوارتز، الكلوريت ضمن الفراغات في الصخور الاندفاعية السطحية مشكلة البنية اللوزية.

2-3- هجرة الماغما:

الحرارة العالية (900 م) والضغط العالي جداً الموجودان في طبقات المانتل الأرضي كافيان لصهر الصخور، حيث إن الضغط العالي يحول الصخور إلى مادة شبه صلبة تسمى الماغما، غير أنها قابلة للحركة ولها السماكة نفسها. هذه المادة شبه الصلبة تستمر في الحركة عبر القشرة الأرضية، حيث تصبح أكثر سيولة تحت الضغط المنخفض، وبالنتيجة نرى اللافا المنسكبة من البراكين.

إن الصخور عالية الانصهار في المانتل عادة لا تصل إلى عدة كيلومترات من القشرة الأرضية، وإنما فقط في بعض المناطق المصابة بالكسر، مثل حدود الصفائح التكتونية، يُمكن للسائل المذاب أن يسير عبرها ببطء، وطالما الصخور في المانتل أقل كثافة من القشرة، هذا يؤدي إلى خروج الماغما من خلال أي فتحة أو حفرة تصادفها، والماغما المنصهرة أسخن من القشرة المحيطة بها وهذا يؤدي إلى صهر بعض صخور القشرة المحيطة بها.

وهنا يجب تمييز الحالات التالية في هجرة الماغما:

2-3-1- الهجرة إلى الأعماق السحيقة من القشرة الأرضية:

وفيها تنتقل الماغما من نطاق المانتل إلى الأعماق الدنيا للقشرة الأرضية وذلك عبر النماذج الثلاثة من حدود الصفائح المتحركة عكسياً، أي باتجاهين مختلفين، والصفائح المتباعدة (divergent) حيث تتحرك الصفائح متباعدة عن بعضها، أو على حدود الصفائح المتصادمة المتقاربة (convergent)، حيث تتحرك الصفائح باتجاه بعضها، أو باتجاه الشقوق والفوالق، حيث تستقر فيها

مشكلة مستودعات كبيرة بمقاييس متباينة تبقى الماغما فيها في الحالة المصهورة، ولا يحدث فيها تبلور إلا لبعض الفلزات القليلة لكون درجات الحرارة في الأعماق الدنيا من القشرة الأرضية عالية تفوق درجات انصهار المواد المركبة لها.

وقد يحدث للماغما في مثل هذه المستودعات ما يدعى بعمليات التفاضل أو التمايز، بحيث تأخذ مصاهير المواد الثقيلة تحت تأثير تيارات الفلوئيد العميقة وتأثير الثقالة بالانتقال نحو أسفل الغرفة المهلية، وعندها تصبح الماغما بشكل طبقات (أي منقسمة إلى عدة مستويات)، المستوى السفلي ذو عناصر ثقيلة فوق أساسية التركيب، ثم يليه جزء يشبه البازلت في تركيبه، والجزء العلوي الغني بالعناصر الخفيفة وخاصة Si معطياً سائلاً ذا تركيب حامضي وهذا ما يعطي، فيما بعد تتابع الصخور الاندفاعية العميقة، هذا النوع من التمايز يدعى بالتمايز في الحالة المصهورة.

2-3-2- الهجرة إلى الأعماق الوسطى من القشرة الأرضية:

هذا النوع من الهجرة غالباً ما يرافق الحركات المولدة للجبال، حيث تنتقل الماغما فيه إما من المانتل أو من الغرف المهلية السابقة، وتستقر في مستويات أعلى من القشرة الأرضية التي تكون فيها درجات الحرارة أخفض ومناسبة لتبرد عناصر الماغما ببطء، مما يؤدي إلى تشكيل فلزات الصخور النارية العميقة ذات التبلور الواضح، حيث مقاييس فلزاتها تتراوح بين (3-12 مم)، يحدث في مثل هذه الغرف المهلية أثناء التبلور التدريجي والبطيء، تمايزات ينتج عنها أنواع متنوعة من الصخور النارية بدءاً من الصخور فوق الأساسية وحتى الحامضية، ويدعى هذا التمايز أو التفاضل بالتمايز التبلوري.

2-3-3- الهجرة إلى مستويات تحت سطحية (قريبة من السطح):

حيث تنتقل الماغما من جميع المستويات السابقة، أي المانتل والأعماق السحيقة والمتوسطة، أو من إحداها إلى أماكن من القشرة الأرضية قريبة من سطح

الأرض، حيث يصبح تبرد المصهور المغماتي أسرع بكثير من المستويات السابقة، والتمايز أقل، وتتشكل صخور اندفاعية ناعمة الفلزات يصعب تمييزها بالعين المجردة، وتحتاج إلى مكبرة حيث لا تتجاوز مقاييس فلزاتها (3 مم).

2-3-4- الهجرة إلى سطح الأرض:

تخرج الماغما في هذا النوع من الهجرة من جميع المستويات السابقة، أو من المانتل مباشرة إلى سطح الأرض مباشرة، أو تنسكب تحت المياه وذلك عبر الشقوق الأرضية وفوهات البراكين، حيث تبرد مباشرة معطية إما صبات بركانية، أو مواد فتاتية مفككة صلبة زجاجية، أو نصف مبلورة، أو ذات تبلور دقيق حيث لا تميز بلوراته إلا تحت المجهر وأحياناً تحت المكبرات، وتختلف أحياناً كمية الزجاج في الصخر إلى حد يتألف فيه الصخر أحياناً بكامله من الزجاج مثل السكوريا والايسيديان وغيرها.

أما في حال كان الانسكاب تحت الماء (تحت البحار والمحيطات) فيتشكل لدينا ما يسمى البيلولافا (أي البنية الوسائدية) المؤلف من طبقة سطحية بازلتية سبيليتية زجاجية، يتوضع بين حناياها لافا، تتبرد ببطء أكبر من الطبقة السطحية، وتتمايز بشكل نظامي كما في الغرف المهلية.

وهنا يجب الإشارة إلى أن حافة الصفائح التكتونية تمثل المكان الأمثل للبركنة، حيث إن القشرة مكسورة في هذه المنطقة وتنغمس الصفيحة تحت الأخرى وتتصهر في منطقة المانتل الساخنة لتشكل صخوراً مصهورة مشكلة ماغما من جديد، والتي تعطي بركنة من جديد.

2-4- تمايز الماغما:

تمايز الماغما هو حدوث تباينات في تركيب المصهور المغماتي ضمن الغرف المهلية العميقة، وذلك في ظل ظروف محددة واحدة أو متنوعة، يكون من

نتائجها بعد التبريد النهائي الحصول على معقدات صخرية اندفاعية متباينة في التركيب الكيميائي والفيزي.

ومن هنا يجب أن نميز عدة أنواع من التمايز، وهذا يعتمد على الآلية التي يتم فيها التمايز والظروف المطبقة على هذه الآلية من ضغط وحرارة وغيرها، لذلك يمكن أن نميز ثلاثة أنواع من التمايز، وهي:

2-4-1- التمايز بالثقالة:

لنأخذ حالة مهل بازلتي في غضون تبريد بطيء داخل غرفة مهلية في أعماق الأرض، نجد أن الفلزات التي تتشكل أولاً، هي: (أوليفين، أوجيت، لابرادور)، وهي فلزات ثقيلة وكثافتها أعلى من كثافة الماغما التي تحويها، ومن ثم تسعى هذه البلورات للهبوط إلى قاع الغرفة المهلية والتجمع فيها، أو إلى إعادة الانحلال، ومن ثم فإن الغرفة المهلية مع الزمن سوف تحوي مهلاً أكثر أساسية. وأغنى بالكلس والحديد والمغنيزيوم في أسفل الغرفة، وأغنى بالسيليس والألومين والقلويات والمواد الطيارة في الأعلى بالنسبة للغرفة المهلية، وهنا يكون قد حصل لدينا تمايز بالثقالة. أي نستطيع القول إنه:

أ- يحدث هذا النوع من التمايز عندما يتم تبريد الماغما ببطء داخل الغرف المهلية في أعماق الكرة الأرضية.

ب- تتشكل في بدايات التبلور فلزات: الكروم، البلاتين، الموناسيت واللوزايت، وغيرها من الفلزات النادرة وفي مرحلة لاحقة الأولفين والبيروكسين بنوعيه والانورتيت. والفلزات الأخيرة تتشكل بغزارة عندما تكون الماغما أساسية.

ج- تسعى الفلزات المتشكلة بالهبوط نحو قاع الغرفة المهلية، وذلك لأن كثافتها أعلى من كثافة الماغما الحاوية عليها، ومن ثم نجد مع الزمن أن الماغما في الغرفة المهلية تمايزت إلى قسمين:

القسم السفلي: وقد أصبح أكثر أساسية، أي أقل غنىً بالسيلييس، وأكثر اغتناءً بالحديد والمغنيزيوم والكالسيوم والمنغنيز.

القسم العلوي: وقد أصبح أقل أساسية، أي أكثر غنىً بالسيليسيوم وأكثر تركيزاً بالألمنيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمواد الطيارة.

إن الحادث السابق يتطور أكثر فأكثر إذا اندفعت الماغما المتميزة عبر شقوق في غرفة مهلية ثانوية. حيث يتشكل لدينا غرفة مهلية حاوية على ماغما نوعية، بازلتية، أنديزيتية، تراكيتية فونوليتية، ويمكن لهذه المهل أن تتميز بالثقالة بدورها، معطية صخوراً نوعية محتفظة مع هذا بصفات قرابة.

إن هذا التمايز الذي أتينا على وصفه يتم من خلال هبوط الفلزات إلى أسفل الغرفة المهلية، لذلك يطلقون عليه أيضاً اسم التمايز بالترئيد، يقابله التمايز بالتعويم (التصاعدي)، الذي يحصل عندما تكون البلورات أخف من المهل المنصهر الذي يحتوي عليه.

إن آلية هذا التعويم تكون على غاية من الأهمية عندما تكون لدينا بلورات ذات كثافة منخفضة وذات حجوم كبيرة، ومخففة بغطاء من فقائيع غازية، فيحصل مثلاً في القسم الأعلى من الصبات أو الغرف المهلية، زيد حقيقي من بلورات صفاح أو صفاح حديث ذي مقاييس كبيرة. وهكذا تتشكل بعض الصخور ذات البنية البورفيرية.

2-4-2- التمايز بواسطة جر الغازات:

لقد أثبتت التجارب المخبرية أن بخار الماء قادر عند وجوده فوق الدرجة الحرجة، أن يحل ويجر ميكانيكياً السيلييس والأملاح القلوية بسهولة. لذلك فإن الغازات المهلية قادرة في غضون هجرتها نحو الأماكن الأقل ضعفاً، أي نحو قمة المستودعات أن تترك تمايزاً كميات هامة من السيليسيوم، الصوديوم، البوتاسيوم،

وكذلك عناصر أخرى، مثل الليثيوم والبريليوم التي نجدها متوافرة في المكامن ذات المنشأ الغازي.

ويؤدي التمايز بجر الغازات دوراً إيجابياً باتجاه التمايز الثقالي كونهما يجريان على الترافق، مما يؤدي إلى تسريع التمايز لمصاهير المستودع الماغمي.

2-4-3 التمايز بالانتثار:

الانتثار هو الحادث الذي تتمكن بواسطته عناصر المادة من أن تنتقل تلقائياً من وسط عالي التركيز لهذه العناصر إلى وسط أقل تركيزاً بها وفقاً لقوانين الفيزياء الراكدية في الأوساط السائلة والصلبة والغازية، ويكون هذا الانتقال بطيئاً للغاية إذا ما قورن ببقية أنواع التمايزات، غير أنه يشكل دوراً هاماً في القشرة الأرضية، إن سرعة هذا الانتقال تزداد بارتفاع الحرارة وازدياد الضغط.

لذلك من المتوقع أن نصادف تظاهراتها على أطراف الكتل الجسيمة الباطنية، مثل الباثوليث والستوك، ولذلك نجد عند أطرافها أن الصخور قد افترقت بالسيليس، واغتنت بالماغنيزيوم والحديد، مما يؤدي إلى تشكيل صخور متميزة عن صخور الجسم ذاته.

ومن الأمثلة الواضحة على الانتثار (صخر الغرانيت) الذي يمر تدريجياً إلى سيانيت أو إلى ديوريت، وهذه التحولات تناقض تماماً تلك التي تحصل نتيجة عمل التمايز الثقلي أو التمايز بجر الغازات، وفي هذه الحالة، فإن فرضية التمايز بالانتثار تصبح جدية بالاعتبار.

2-5- الهضم والتمثل:

عند تشكل المهل والبدء بهجرته باتجاه السطح فقد تأتي لأن تكون بتماس مع الجدران الصخرية التي تكون مختلفة بتركيبها عن الماغما، والتي تعود إلى الغرفة المهلية، أو أن الماغما تقوم باقتلاع الصخور أثناء سيرها باتجاه السطح مارة بالطبقات المختلفة من القشرة الأرضية وأسرها. وإذا كان هناك متسع من

الوقت فستأخذ التفاعلات بين السائل (الماغما) والصخور الصلبة، حيث تقوم الماغما بهضم (أو تمثيل) الصخور الغريبة المنشأ (الكزنيوليتية) العائمة في المهل، أي تقوم على صهرها وحلها لتدخل في صلب تراكيبها، فتكتسب الماغما تركيباً جديداً بالقرب من تلك الأجسام الغريبة. وبذلك يتم التمثيل على حساب الصخور المحيطة المغلفة للماغما، أو على حساب المحتسبات الصخرية المأسورة داخل الماغما.

وهنا يمكن اعتبار التمثيل من الناحية الفيزيوكيميائية، عبارة عن تبادل للمادة بين الصخور المحتبسة والماغما المحيطة بها. ويستمر هذا التبادل حتى يتم التجانس والتوازن الكامل حسب قوانين الانتشار.

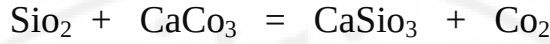
أما من الناحية المينرالوجية فإن فلزات الحشوة الصخرية تصبح وسط الماغما غير ثابتة، فتتهدم وتتشكل بدلاً عنها فلزات جديدة تكون بحالة توازن مع الشروط التي يتطلبها تطور الماغما وفقاً لقوانين التسلسل التفاعلي لباوون.

وكلما كان عدم التوازن بين الحشوة والمهل كبيراً، كلما كان التمثيل والهضم سريعاً. ومن الأمثلة التي يمكن أن نوردها عن الهضم والتمثيل:

أ- إن مهلاً غرانيتياً يهضم بسهولة حشوة من الغابرو المؤلف من البلاجيوكلاز الأساسي (نوع اللابرادور) وكليנוبيروكسين (نوع أوجيت)، ويكونان غير ثابتين في مثل هذا النوع من الماغما، مما يؤدي إلى تهدم هذه الفلزات، وموادها تتبعثر وتختلط بالگرانيت المغلف. ويتشكل في النهاية صخر ذو تركيب متوسط كالگرانيت ذي الأوليغوكلاز والامفيبول، وتصبح فلزاته ثابتة.

ب- إذا كان لدينا مهل غرانيتي قد أسر صخراً رسوبياً من الحجر الرملي، نجد أن الحجر الرملي لا يهضم بسهولة من قبل الماغما الحامضية لكون الكوارتز يبقى ثابتاً في ظروف الماغما الحامضية.

ج-تهضم الماغما الحامضية حشوات الصخور الكلسية معطية تبدلات هامة جداً وعديدة وهي حالة مثيرة للغاية حيث يحصل تفاعل المهل الحامضي وحشوة الكلس من النموذج التالي:



غاز ثاني أكسيد الكربون + ولسانيت = كلس + سيليس

إن غاز الفحم المنطلق، يؤدي دور معدن إضافي، بالإضافة إلى المعادن التي يحتوي عليها المهل، فكمية السيليس الحر تنقص، ويتشكل ميتاسيليكات، ويستبدل الغرانيت ذو البيوتيت بغرانيت ذي امفيبول أوديوريت أو غابرو.

الفصل الثالث

البراكين

Volcanos

3-1- العناصر الشكلية للبراكين

3-2- أنماط البراكين وأنواعها

3-3- أماكن توزع البراكين في العالم



البراكين

هي عبارة عن جبل أو مرتفع مخروطي الشكل ناتج عن تمزق في القشرة الكونية مثل قشرة الأرض، والتي تعطي لاقاً ساخنة، رماداً بركانياً، غازاً، جميعها آتٍ من الغرفة المهيبة المتوضعة تحت السطح. وتتواجد البراكين على سطح الأرض لأن القشرة الأرضية مكسرة إلى 17 صفيحة تكتونية، التي تعوم فوق بقع حارة، وطبقات طرية من المائل.

3-1-العناصر الشكلية للبراكين:

عادة ما تأخذ البراكين المركزية أشكال مخاريط تدعى بالمخاريط البركانية، المؤلفة من الأجزاء الثلاثة التالية:

3-1-1- المخروط البركاني:

وهو عبارة عن جوانب منحدرية مكونة من الحمم البركانية، له قاعدة وجوانب منحدرية تميل بزاوية (30-35 م°).

3-1-2- الفوهة:

وهي عبارة عن منخفض على شكل قمع، تنشأ فوهات البراكين بواسطة النشاط البركاني، وتنتج معظم هذه الفوهات البركانية عن التفجيرات الحاصلة أثناء البركة، ومن النادر أن يزيد حجم مثل هذه الفوهات قطرياً عن كيلومترين، ويمكن أن تتكون الفوهات البركانية بسبب ارتداد الماغما، مما يؤدي إلى انهيار سطح الأرض، وتشكيل وهادات على شكل صحن، وتتميز حوافها الداخلية بأنها ذات اندادات شبه قائمة. ويعود تشكل الوهادات البركانية إلى أحد الأسباب التالية:

- 1- حدوث انفجارات شديدة تقذف بكل المواد الموجودة في قمة البركان.
- 2- حدوث انخفاض للقمة البركانية، نتيجة تراجع الماغما ضمن قناة البركان.
- 3- تأثير عوامل التعرية الشديدة على قمم البراكين.

وتسمى فوهات البراكين الهابطة ذات القطر الذي يزيد على كيلومتر واحد،

بالفوهة البركانية الضخمة، أما الفوهات الأقل هبوطاً تسمى بالفوهات الصغيرة، وهي من أشهر الأنماط الموجودة في القمر والكواكب الأخرى، ولكن ليس على الأرض.

3-1-3- المدخنة:

وهي الأنبوب الذي يصل بين خزان الصهارة تحت الأرض (الغرفة المهلية) والفوهة، والذي تصعد منه الصهارة، وقد تتفرع المدخنة في أجزائها السفلى معطية أفنية فرعية تصل إلى أماكن جانبية من المخروط البركاني، وهذه الأفنية تدعى بالأفنية البركانية الثانوية، حيث قد تتشكل على المخروط الرئيسي ابتداءً من هذه الأفنية مخاريط بركانية صغيرة، تدعى بالمخاريط البركانية الثانوية.

ويلاحظ أحياناً حدوث نشاط بركاني بعد فترة هدوء نسبية، فيتشكل ضمن وهدة البركان مخروط بركاني صغير يدعى بالمخروط الوليد.

بعد انخمد البراكين ومع مرور الزمن وتأثير عوامل التعرية تتسع رقعة الوهاد البركانية مشكلة منخفضات تحتل أواسط وأعلى الأهرامات البركانية التي غالباً ما تشكل بحيرات صغيرة ذات انتشار واسع في أنحاء متعددة من العالم.

3-2- أنماط البراكين وأنواعها:

تبعاً لخصائص النشاط البركاني وبنية الأجهزة البركانية وحسب تركيب اللافا وخواصها، أمكن تمييز الأنماط التالية من البراكين:

- I- النمط المخروطي stratovolcono
- II- النمط مركزي الفوهة Cinder cone
- III- النمط الدرعي Shield volcono
- IV- النمط القببي الحممي Lava domes
- V- نمط المعقدات الكالديرية الريوليتية Rhyolite colder complexes
- VI- نمط الفيضانات البازلتية Flood Basalts

VII- البراكين المعقدة Composite volcano

VIII- نمط الانفجاعات المتكررة في المكان Supervolcanoes

3-2-1- النمط المخروطي stratovolcono

وهي من نمط البراكين المعقدة والتي تمثل بحدود 60% من براكين الكرة الأرضية وتتصف نواتج ثورانها بأنها من اللافا الأنديزيتية والداسيتية أو حامضية وقليلة الغازات، والتي تعد أبرد وأكثر لزوجة من اللافا البازلتية. إن لزوجة هذه الماغما تسمح بازدياد ضغط الغازات، لذلك تكون ثورانات هذه البراكين انفجارية، وهو عادة من النمط المؤلف من عدة طبقات متعاقبة من اللافا الصلبة، الخفان، الرماد. أي مؤلفة من لافا بيروكلاست (فتات)، لذلك يتصف هذا النمط بأن مخاطره دورية ذات جوانب سلمية. وذات ثورانات انفجارية، تتصلب اللافا المنطلقة داخل البركان قبل أن تخرج، ويصل ارتفاع هذه البراكين إلى 2500 م، مثاله براكين أثنا فيزوف، ومونبيليه.

إن إيطاليا منطقة نشطة تكتونياً تحوي البراكين النشطة الوحيدة في منطقة أوروبا، وتقع هذه البراكين على الحدود بين القارة الأفريقية والأوراسية في الجنوب، وتنتج الماغما المنسكبة بسبب الانصهار في منطقة الإنغراس لإحدى القارات تحت الأخرى على طول الجزء المركزي للمنطقة البرية الرئيسية في إيطاليا ومنطقة الكتل شمال شرق سيبيليا، والكتل الأخرى تقع حول جزر المتوسط من منطقة بانتيليريا، حيث تنشط في هذه المنطقة، وبركان أثنا الذي انفجر 200 مرة وكان آخر انفجار له في 2015/9/3، حيث وصل ارتفاع المقذوفات (1 كم)، معطياً رماداً بسمكة 3 كم، وهو يقذف بشكل مستمر ودوري لافاً، وأول انفجار له كان في 475 قبل الميلاد، وفي عام (1169) حصل هزة رافقها انفجار بركان قضي على (15000) نسمة في سيبيليا.

أما جبل فيزوف (فهو بركان بالقرب من نابولي)، الذي كان الانفجار

الأخير له عام (1944)، وهو البركان النشط الوحيد في المنطقة البرية الرئيسية الأوروبية، وكذلك يعد بركان سانت هيلين من النمط نفسه وله قمع متناظر مع لاقا متناوبة، وهو من النوع الانفجاري ويعدّه الجيولوجيون من النوع المعقد التابع للنمط Strotovolcano. (شكل 3).

أ-براكين أثينا - فيزوف:

تعود براكين أوروبا الشهيرة إلى هذا النمط كبركان أثينا في جزيرة صقلية، وبركان فيزوف على مقربة من مدينة نابولي، وكثير من براكين شبه جزيرة كامشاتكا شرق روسيا المقابلة لآلاسكا بالاتحاد السوفيتي السابق. ويتميز هذا النمط من البراكين بنشاطاته المتكررة التي تعطي نواتج غازية ضخمة ونواتج قاتانية ضخمة وصبّات بركانية عادة ما تكون ذات تراكيب حامضية أو متوسطة الحموضة. لذا فإن نمط لاقا يتصف بأنه لزج وقليل السيولة والانسياب والحركة، مما يؤدي في كثير من الأحيان إلى تبرّد اللاقا في قمة القناة على شكل سدادة تتطلق بقوة مروعة عندما يصبح الضغط داخل القناة في أقسامها السفلى عالياً جداً.

وتتطلق في هذا النمط من البراكين بادئ الأمر الغازات والأبخرة بكميات ضخمة، تتلوها النواتج القاتانية التي تنتشر على مسافات شاسعة، ومن بعدها تأخذ اللاقا بالانسياب مشكلة صبّات بركانية غير واسعة الانتشار.

ب-براكين نمط مونبيليه:

وذلك نسبة إلى بركان مونبيليه الموجود في جزيرة المارتينيك، وتتميز اللاقا المنطلقة من هذا النمط من البراكين بأنها ذات لزوجة عالية، وتبرّد اللاقا مباشرة في الأقنية على شكل سدادة التي تخرج تحت تأثير الضغوط العالية للغازات والأبخرة مع نواتج قاتانية غزيرة جداً، ترافقها كميات ضخمة من الغازات والأبخرة على شكل انفجار مروع بدرجة حرارة (800 م). ويتميز الهرم البركاني لهذا النمط

من البراكين بأنه ذو تركيب قناتي، بينما تبرز من قناته سداة صخرية صلبة على شكل مسلة عالية.

3-2-2- النمط مركزي الفوهة Cinder cone (شكل 4)

هذا النمط ذو فوهة مركزية لتلة شديدة الانحدار تتألف من بيروكلاست (فتات غير متماسكة) مبعثرة، يعد هذا النمط من البراكين الأكثر شيوعاً بين البراكين، ويأخذ شكلاً مخروطياً، غير أنه أقل حجماً بكثير من البراكين من نمط البراكين الدرعية، ونادراً ما يصل ارتفاعه إلى (300 م)، غير أن جوانبه انحدارية، مع العلم بأن المخروط ينمو تدريجياً من دورة ثورانية واحدة، ويتألف من كسارات صغيرة من الصخور الشبيهة بالخفان مكدسة فوق بعضها بعضاً، حيث تقذف بالهواء، غير أنها لا تبتعد كثيراً عن الفوهة. والتركيب الدقيق لهذا النمط من البراكين يعتمد على نوعية اللافا المنسكبة من البركان، وعادة ما يكون النمط المركزي له فوهة بركانية في حفرة القمة، ويتواجد هذا النمط من البراكين بالقرب من البراكين الضخمة، ويعد من أبسط الأنماط.

3-2-3- النمط الدرعي Shield volcano :

أخذت هذه البراكين تسميتها من شكلها الدرعي، بالرغم من كون هذه البراكين غير منحدر، ويمكن أن تكون كبيرة جداً. وإلى هذا النمط تعود براكين هاواي. وتتواجد البراكين الدرعية على طول مناطق التوسع، أو مناطق البقع الحارة داخل الصفائح، أما اللافا الناتجة عنها فهي أساسية سهلة الانسياب سائلة تعطي الشكل الدرعي.

وتتصف البراكين الدرعية بأنها مؤلفة من عدة انسكابات (طبقات) تنتج عن الثورات المتكررة مع الزمن، أما من حيث التركيب فهي من النوع نفسه. ويكون الثوران في هذا النمط معتدلاً، ليس انفجارياً مقارنة بالبراكين الأخرى، ولكن مع ذلك فإن هذه الانسكابات البركانية يمكن أن تكون مهدمة

للمتلكات والغطاء النباتي، وتسيل اللافا قليلة اللزوجة كما على السطح كذلك داخل الأرض ضمن الأحواض الحممية. ومن أشهر الأنواع البركانية الدرعية براكين هاواي التي تتصف بأن اللافا سائلة أساسية التركيب بازلتية، قليلة اللزوجة، سريعة الحركة، قليلة الغنى بالغازات والمواد الطيارة، وحرارتها تبلغ (1200 م°) (الشكل 4) وتتطلق مثل هذه البراكين دون حدوث انفجارات قوية على الأغلب، وتسيل اللافا من فوهاتها بسرعة (5 م/ثا) وتصل لمسافات كبيرة قد تصل إلى (40-50 كم).

3-2-4- النمط القببي الحممي Lava Dome أو Volcanic domes

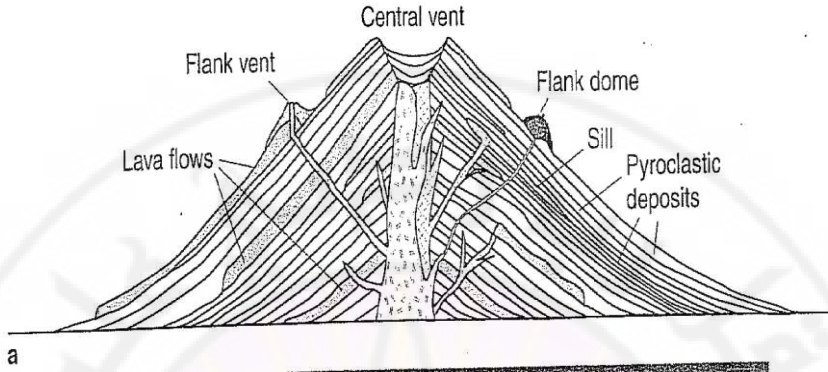
تكون اللافا في هذا النمط لزجة تندفع بقوة إلى السطح، ثم تتراكم حول الفوهة ولا تسير لمسافات بعيدة، وهذا النمط يشبه نمط البراكين الانسكابية (Lava flows)، وهو نمط لا يحوي كمية كافية من الغازات، أو الضغط حتى تحدث الانفجارات، ولكن يمكن أحياناً أن يلي اللافا نشاطات انفجارية. يعد هذا النمط متنوع الأشكال والحجوم، ويمثل بحدود (6%) من البراكين في العالم، ويتواجد هذا النمط مرافقاً لأي نوع من أنواع البراكين النشطة، مثالها بركان سانتت هيلين (اللافا في هذا البركان سميقة ولزجة). شكل (4-5).

3-2-5- نمط المعقدات الكالديرية الريوليتية Rhyolite cinder

وهو النمط الأكثر انفجارية في العالم غير أنها لا تشبه البراكين، حيث إنها عندما تنثور تكون شديدة الانفجار، وتنتهي بانفجار البركان نفسه، ويسمى هذا النمط أيضاً بالبراكين الانعكاسية، مثالها منطقة الحجر الأصفر في أميركا ورايول وتوبو وغيرها. وسوف نورد هنا صفات تشكل البراكين الكالديرية الضخمة ومراحلها.

ويستخدم تعبير الكالديرية الضخمة للدلالة على الفوهات البركانية العملاقة والتي تتراوح أبعادها بين بضعة كيلومترات وبضعة عشرات الكيلومترات، وتتشكل

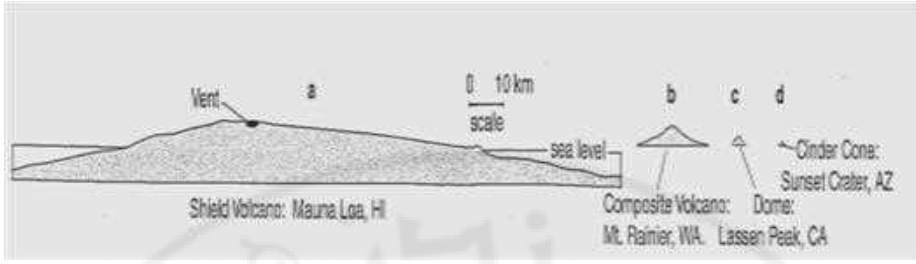
الكالديرات وفق المراحل التالية: الشكل (6- أ و ب)



فوهة جانبية Flank vent
سيل (عتبة) Sill
انسكابات لافية Lava flows

فوهة مركزية central vent
فوهة قبابية Flank dome
حمم بركانية Pyroclastic deposits

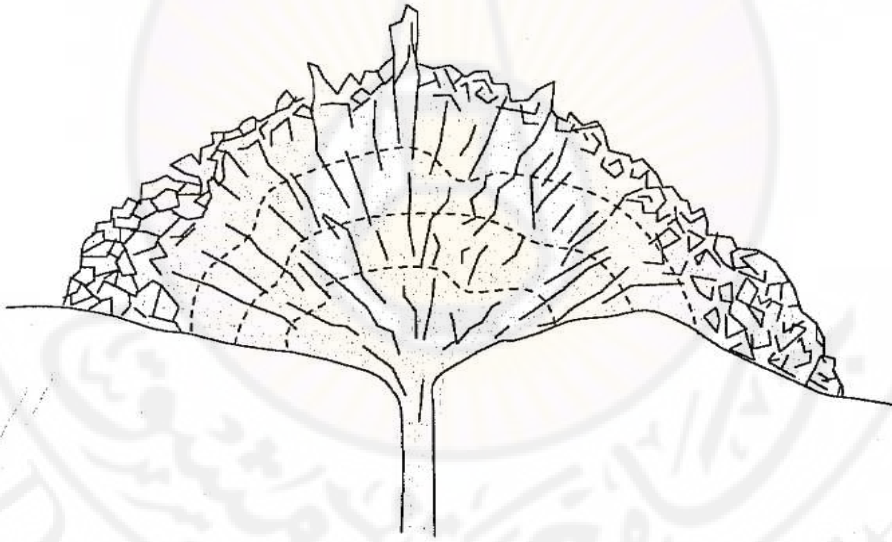
شكل (3) a- يبين رسم تخطيطي لبراكين من النمط المخروطي
b- نمط لبراكين مخروطية تظهر طبقات من البيروكلاست.



عروق Vent
 براكين درعية Shield Volcano
 براكين مركزية
 براكين معدقة Composite Volcano

شكل (4) رسم تخطيطي للبراكين:

a-الدرعية مع فوهة مركزية -b البراكين المعقدة composite volcano
 c-براكين قلبية Dome d-براكين مركزية cinder cone



الشكل (5) مقطع تمثيلي من نمط بركان هممي قبيبي Lavadomes

نمط الفيضانات البازلتية Flood Basalts

1-المرحلة الأولى:

في هذه المرحلة تتشكل الماغما على عمق 4-5 كم تحت سطح الأرض
 بلوتونا (أو غرفة مهلية)، تعمل على رفع وتقرب السطح ببطء، ومع ازدياد التقرب
 نتيجة الدفع السفلي للصهارة، تصبح القبة عرضة لإجهادات مرتفعة. والبلوتون

الصحاري عادة ما يكون متمایزاً إلى قسمين: العلوي يتألف من صحارة لزجة غنية بالسيليكا والغازات المنحلة فيها، والسفلي يتألف من صحارة مائعة فقيرة بالسيليكا والغازات.

2- المرحلة الثانية:

في هذه المرحلة تتمزق أطراف القبة وتتفصل عن امتداداتها، وتصبح محاطة بشق أسطواني ذي مقطع عرضي دائري إهليلجي بأقطار كبيرة، ويتوسع الشق نتيجة نهوض بلوك القبة، وتتولد عبر الشق (اعتباراً من البلوتون الماغمي)، أعمدة ثوران بركاني عنيف، تخرج إلى الأجواء بسرعة هائلة وإلى ارتفاعات عالية تصل إلى (10000 م)، خاصة عندما تكون فتحة القذف ضيقة (50-100 م) وتحوي الصحارة على كميات كبيرة من المواد الطيارة.

وتتولد أعمدة الثوران البركاني (أعمدة بليني أو النوافير البالسيتية) من عمق يقارب (1000 م)، حيث يؤدي انطلاق الغازات المضغوطة إلى انفجار الصحارة وخروجها إلى الجو مبعثرة على شكل خفان متوهج ورمال ورماد بركاني، وترتفع هذه الجسيمات إلى أعلى بالسيتياً مشكلة الجزء السفلي من أعمدة بليني، وتقوم تيارات حمل تتكون في الجو برفع الجسيمات الملتهبة إلى ارتفاعات أعلى بعدة كيلومترات مشكلة الأجزاء العليا المتسعة من أعمدة بليني.

ويعتقد أن أعمدة بليني هي أول طور في الثوران البركاني المدمر الذي يخلف كالديرة وليدة، وتستمر في الاندفاع والثوران لعدة ساعات أو أيام ساحبة معها كميات هائلة من الغازات والأبخرة والمواد الفتاتية، محدثة فراغاً في البلوتون الماغمي.

3- المرحلة الثالثة:

ويحدث في هذه المرحلة انهيار تدريجي لسقف التجويف البلوتوني على امتداد الكسر الحلقي مشكلاً فتحة واسعة (كالديرة)، تنخفض عن المناطق المجاورة

لعدة مئات من الأمتار. وينجم عن ذلك اتساع في فتحات القذف وتصبح سرعة الثوران بطيئة، وهذا يؤدي إلى تدمير أعمدة بليني التي تتحول إلى تدفقات حطامية نارية، ترتفع بقوة الدفع البالستي لمسافات بعيدة في الجو، ثم تأخذ بالهبوط نحو الأرض، مشكلة سحباً ضخمة من الجسيمات والأبخرة الملامسة للأرض والممتدة لمسافات بعيدة نوعاً ما، لا تلبث بعدها من التدفق نحو الأعلى بفعل الغازات الجوية الساخنة متسلقة الأجواء من جديد إلى ارتفاعات تصل حتى (1000 م)، ثم تأخذ بالتهادي والامتداد لمسافات تبلغ (150 م) بسرعة (6 كم / د)، فتملاً الكلديرة والمناطق المحيطة بها بالمواد الفتاتية البركانية.

4-المرحلة الرابعة:

تستمر القبة في هذه المرحلة بالهبوط، وتشكل بهبوطها دور سداة تضيق فتحة الكسر الحلقي للكالديرة، مما يؤدي مع الزمن إلى وقف تدفق أعمدة بليني، ومن ثم توقف النشاط البركاني.

5-المرحلة الخامسة:

وتتميز بالهدوء النسبي لآلاف السنين حيث يؤدي الحث والتعرية أثناءها دوراً نشطاً في إزاحة كميات كبيرة من المقذوفات الفتاتية ونقلها إلى أماكن بعيدة عن الكالديرة، ويكون من نتيجتها تعميق البحيرة الواسعة المتشكلة داخل الكالديرة.

6-المرحلة السادسة:

وتمتد لعدة مئات آلاف السنين، التي يحصل أثناءها اندساس لصهارة جديدة إلى التجويف البلوتوني، مما يؤدي إلى ارتفاع أجزاء من أرضية الكالديرة الأصلية التي قد تشكل بعض الجزر التي تبرز من قاع بحيرتها المائية.

7-المرحلة السابعة:

تحدث هذه المرحلة فيما إذا استمرت تغذية التجويف البلوتوني، بدفعات جديدة من الماغما تؤدي إلى زحزحة القبة التي تعلوها، ومن ثم حدوث ثورات

بركانية جديدة.

8-المرحلة الثامنة:

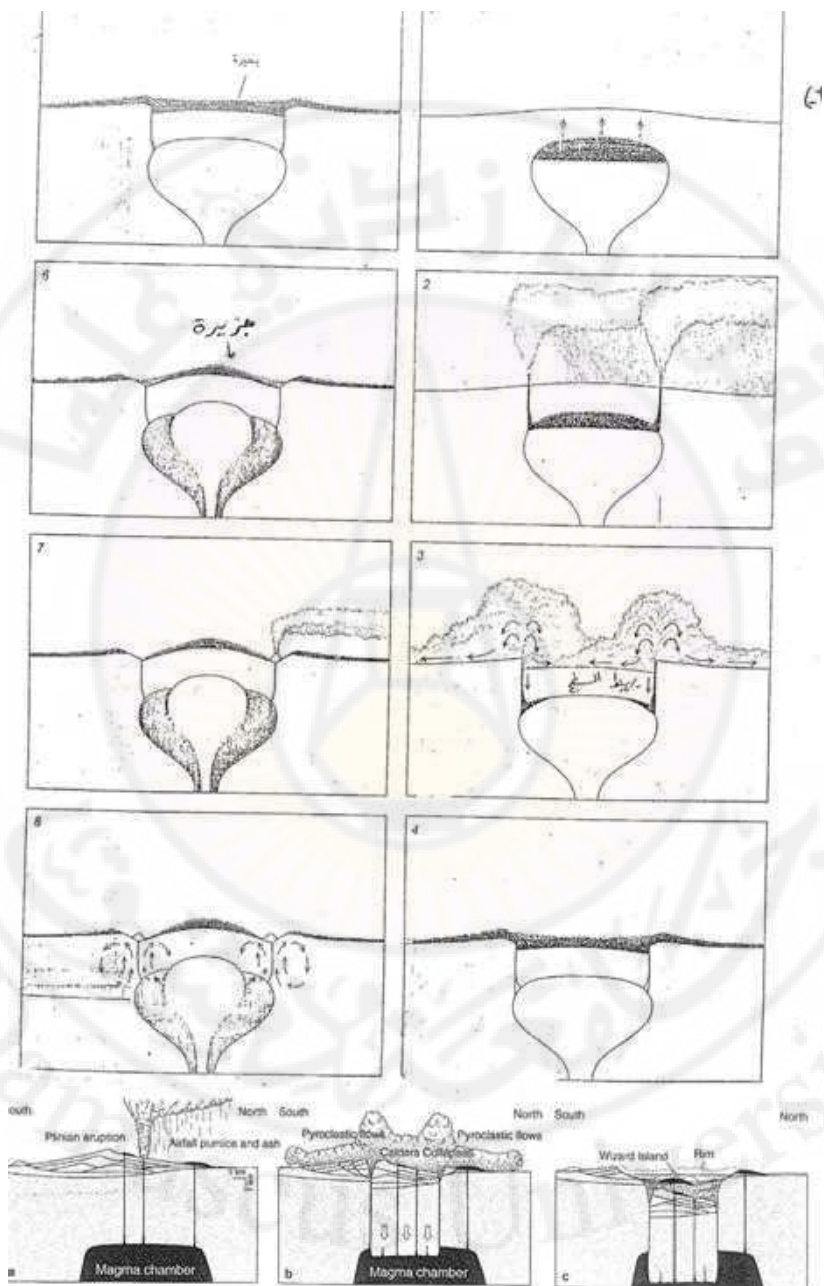
إن حرارة البلوتون يمكن أن تحدث تيارات حمل من المياه الجوفية التي تصبح غنية بالمعادن، وتؤدي بالنتيجة إلى ظهور ينابيع حارة وفورات على السطح في بعض الأماكن من الكسر الحلقى للكالديرة القديمة، وتستمر هذه المظاهر بعد البركة بعدة ملايين من السنين. شكل (6)

3-2-6-نمط الفيضانات البازلتية Flood Basalts:

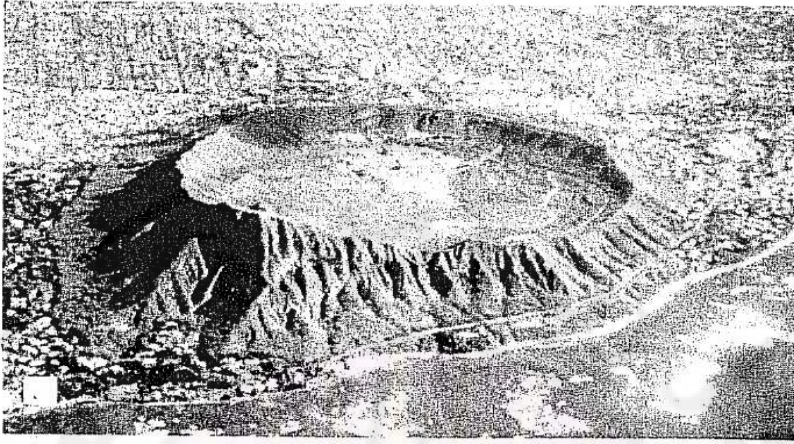
تغطي اللاقا البازلتية في هذا النمط مساحة واسعة حول المناطق الشقية أو في مناطق قاع المحيط، وتسمى المناطق البازلتية في هذا النمط بالأفخاخ أو الحفر (Traps)، كما هو الحال في منطقة ديكان في الهند، إن الفيضانات البركانية تكون من النوع الثلوبيتي المتناسك الكتلي الحاوي على الأوليفين وهذا ينطبق على منطقة بارانا، ويمكن لهذا النوع من اللاقا أن يتشكل تحت قيعان الأنهار عندما يحصل كسر بسبب ضغط الغازات القريبة من السطح وبوجود قنوات، مما يؤدي إلى وصول كمية كبيرة من اللاقا وانسكابها على السطح، إن هذه اللاقا تكون غنية جداً بالغازات مع تشكل سطح فراغي غير نظامي (تنتج الكسور تحت تأثير ضغط الغازات)، وتتصف اللاقا لهذا النمط بأنها على شكل انسكابات واسعة عريضة تتوضع على جانبي الشق على هيئة صبات بركانية واسعة الامتداد، تشبه في توضعها وتتابعها فوق بعضها الطبقات الرسوبية. وتتميز لاقا هذا النمط من البراكين بأنها أساسية التركيب، ضعيفة اللزوجة، سريعة الحركة والانسحاب، حرارتها عالية تنتشر على مساحات كبيرة تصل لعدة مئات من آلاف الكيلومترات المربعة شكل (7-8).

مثال هذا النمط مجموعة كولومبيا، والفيضانات البازلتية القارية في اليمن

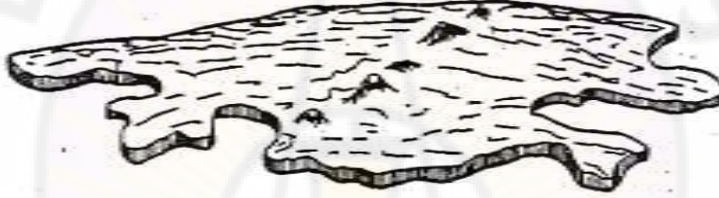
وأثيوبيا.



شكل (6-أ) مراحل تشكل الكالديرات العملاقة



شكل (6-ب) يبين بركان من نوع الكالديراتية العملاقة



شكل (7) صبات بركانية متدفقة من شقوق خطية
(صبات شقية من بركان لافي في ايسكلندا)



شكل (8) شكل يظهر تواضع صبات شقية في هاواي

3-2-7-البراكين المعقدة Composite volcanoes: الشكل (4)

تعرف بالبراكين المعقدة لأنها مؤلفة من عدة طبقات في اللافا القاسية، وتعد من أخطر البراكين على سطح الأرض، وتتواجد على طول مسافة الحدود من المحيط إلى المحيط وعلى الحد بين المحيط والقارة، وذلك بسبب النطاق الانغراسي الذي يتألف من صخور حامضية إلى متوسطة التركيب وذات لزوجة عالية، ومن ثم الثوران انفجاري.

إن اللافا اللزجة لا تسير لمسافات بعيدة عن سطح البركان بعد تصلبها، حيث تشكل البراكين النمط السلمي من البراكين المعقدة، إن الزوجة في هذه البراكين تعطي الرماد والفتات (صخور صغيرة)، وتكون بشكل طبقات متعددة متناوبة من الرماد والمادة الصلبة، ويسمى هذا النمط من البراكين أيضاً بـ Stratovolcano، أو البراكين الأنديزينية، وبالنتيجة نحصل على الشكل المعتاد للفوهة البركانية.

مثالها: بركان سانت هيلين، جبل رينر، جبل شاستا، جبل هود، جبل بيناتوبا، تنثور هذه البراكين أحياناً بعنف، ومن ثم يحصل انهيار على نفسها أحياناً. وبثوراتها تزيل الجزء العلوي من البركان مشكلة الكالديرة، أحد أقوى هذه البراكين هو بركان الحجر الأصفر (yellowstone) في (أمريكا، له كالديرة ضخمة والتي تهدمت أكثر من مرة، تملأ هذه الكالديرة أحياناً بالماء معطية بحيرات جميلة مثل بحيرة جبل مازاما (Mazama).

3-2-8-نمط براكين الاندفاعات المتكررة في المكان (النقطة نفسها) :Supervolcanoes

إن هذا النمط كما هو معروف من تاريخ الأرض نادر جداً ما يكون انفجارياً، فهو يقذف أكثر من 1.000 كم³، ويعد الأكثر خطورة، والسبب الرئيسي للاندفاعات التابعة لهذا النمط مازال تحت النقاش، مع العلم أن العلماء يعتقدون أن

هناك غرفة مهلية كبيرة تندلع بالكامل على السطح في عملية انفجارية واحدة، هذه تشكل فجوة كبيرة أو كالديرة ينهار سطحها.

وأكبر هذه الأنواع يتوضع شمال أمريكا تحت الحديثة العالمية للجبل الأصفر (yellowstone)، حيث يقع الجبل الأصفر فوق بقعة حارة أدت إلى الاندفاع الذي حصل.

ومن ثم نستطيع أن نقسم البراكين ونصنفها حسب نوعية اللافا المنسكبة وحسب مكان انسكابها:

أ-تقسيم البراكين حسب نوعية اللافا المنسكبة إلى خمسة أنواع، وهي:

1-النمط الدرعي:

حيث يحصل فيه اندفاعات مستمرة مع انخفاض نسبة الغازات، حيث تسيل اللافا من الفوهة المركزية، مثالها بركان مونولوانا في هاواي، طوله 120 كم، وعرضه 50 كم، وقد سمي هذا النمط باسم جزر هاواي.

2-النمط القببي:

تنتج عندما تكون الماغما المنسكبة شديدة اللزوجة ولا تسيل وإنما تتوضع عند الفوهة معطية شكل قبة، حيث يتجمع الغاز تحت هذه القبة وتحت تأثير الضغط العالي له تتفجر القبة، هذا ما حصل في بركان سانت هيلين الموجود في أمريكا.

3-نمط المخروط الخبثي:

عندما يحصل اندفاع لقطع كبيرة من الخبث تتوضع حول الفوهة، أما الناعمة فتعطي انحدرات خفيفة، وبالنتيجة ينمو البركان في كل اندفاع يحصل شاقولياً، مثالها: براكين كامشاتكا.

4-البراكين المتطبقة (الطبقيّة):

تعطي لافاً متنوعة متعاقبة ويبروكلاست تترسب على أطراف المخروط

وتخرج من الشقوق إلى المنحدرات، مثالها: بركان فوزياما.

5-البراكين المعقدة:

وهي براكين مؤلفة من أنماط متعددة من البراكين التي ورد ذكرها، ويعود لهذا النمط بركان (هوما) في كينيا، و(باكايا) في غواتيمالا، و(كيلوموتو) في أندونيسيا.

ب-تقسيم البراكين حسب مكان انسكابها إلى:

1-سطحية (تنسكب على سطح الأرض):

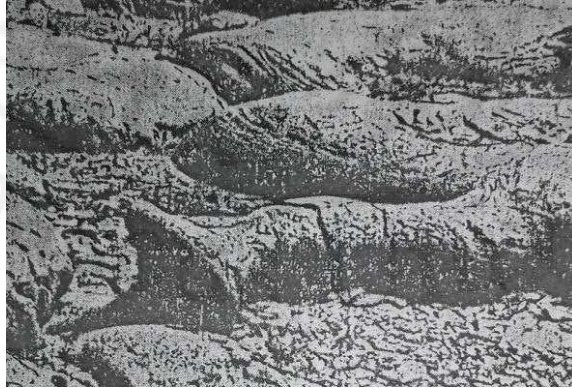
تتوضع في المناطق الجافة على طول الانكسارات التكتونية الصفائحية، وفي مناطق الجزر المحيطية. شكل (9)

2-تحت الماء:

حيث تتوضع البراكين تحت المياه المحيطية، ويظهر بنتيجة نشاطاتها جزر، يعرف في الوقت الحالي بحدود (10000) بركان تحت مائي مشكلاً البيلولاقا، مثالها: (قيست - ماتا) في المحيط الهادي.

3-النمط الفضائي (خارج الأرض):

وهو النمط الذي اكتشف في القمر وغيره من المجموعة الشمسية أعلاها يتواجد في المريخ حيث يصل ارتفاعها إلى (2102) كم.



شكل(9) صبات بركانية من بركان كيلوا في جزر هاواي

3-3- أماكن توزيع البراكين على سطح الكرة الأرضية:

تسمى منطقة انتشار البراكين على سطح الكرة الأرضية بحلقة النار، وسميت كذلك لأنها حلقة من البراكين التي تتوضع حول المحيط الباسيفيكي بشكل رئيسي، مروراً بالمناطق الغربية للأمريكتين وشرق الاتحاد السوفيتي السابق، وجزر اليابان والفلبين وأندونيسيا وماليزيا ونيوزيلندا، وبنسبة أقل شرقي قارة أفريقيا وغربي الهند وجنوب غرب الجزيرة العربية.

وتنتج حلقة النار عن انغماس القشرة المحيطية تحت القشرة القارية الخفيفة، وذلك لأن موقع أكثر مناطق الانغماس هي المنطقة التي يغوص إحدى ليثوسفير الصفائح المحيطية (القشرة + الجزء العلوي من المانتل) تحت صفيحة أخرى، مع العلم أن الصفيحة المنغرسه دائماً هي المحيطية.

بما أن القشرة المحيطية مشبعة بالرسوبيات المائية كذلك الأمر بالنسبة للجزء العلوي من الصفيحة وعلى مسافة آلاف الأمتار أيضاً يحوي الماء، وبما أن الصفيحة تنغرس في المانتل الساخن هذا يؤدي إلى أن الصفيحة المنغرسه تسخن عندها جميع المواد الطيارة والماء الموجود فيها يغلي وتهاجر إلى الأعلى عبر الصفيحة التي تعلوها، مما يؤدي إلى الانصهار الجزئي للصفيحة التي تعلو المحيطية وتعطي الماغما. هذه الماغما تتدفع عبر الصفيحة التي تعلو المحيطية وتتدفع عبر البراكين على السطح، فإذا كانت الصفيحة العليا هي القارية عندها نحصل على سلسلة من البراكين الأنديزيتية. أما إذا كانت المحيطية عندها نحصل على سلسلة جزر براكين، مثل جزر مريانا وأوليتين، وهذه مناطق خنادق وهزات عميقة، وتشكل هذه الخنادق لأن القشرة التي تنغرس تتحني نزولاً أثناء انغراسها. وأما الزلازل فتحصل عندما تغوص صفيحتين تحت بعضهما وتضطدمان، وعندما تتحني الصفيحة المنغرسه، وهذه الزلازل تحدث مكان الصفيحة المنغرسه، وكما هو معلوم فإن الزلازل تترافق مع البراكين، وتسمى مناطق الزلازل هذه بنطاق بينوف -

ودايتي نسبة إلى الباحثين بينوق ودايتي.

أما البراكين المنتشرة في أواسط القارات كما هو الحال في أواسط أفريقيا وآسيا وغيرها، فيعزى تشكلها إلى حدوث فوالق وانهدامات محلية عميقة تصل إلى المانتل. فمثلاً سبب تشكل البراكين غرب الأمريكيتين هو تصادم الصفيحة القارية مع المحيطية وانغراس المحيطية تحت القارية، ونتيجة التصادم تنصهر الصخور معطية الماغما التي تتبثق على بعد 100-150 م على الشواطئ القارية. إن مناطق تركيز البركة عادة ما تكون مرافقة لمناطق الزلازل الضعيفة والشديدة، ومن هنا تطابق بين خرائط توزيع الزلازل والبراكين في العالم شكل (10).



الشكل (10) مناطق النشاط البركاني في الكرة الأرضية (حلقة النار)

1- مناطق النشاط البركاني في الوقت الحاضر.

2- مناطق البركة التي حدثت في الحقين الثالث والرابع.



الفصل الرابع

أشكال توضع الصخور الاندفاعية

4-1- أشكال توضع الصخور الاندفاعية العميقة:

4-1-1- الباثوليث Matholith

4-1-2- الستوك Stock

4-1-3- اللاكوليث Lakolith

4-1-4- اللابوليث Lapolith

4-1-5- الأيتموليث Itmolth

4-1-6- البسماليث Besmalith

4-1-7- السفينوليث Sfinolth

4-1-8- الفاكوليث Fakolith

4-1-9- الاكموليث Acmolith

4-1-10- الهونوليث Honolith

4-1-10- الغاربوليث Gorbolith

4-2- أشكال التوضع للصخور الاندفاعات متوسطة العمق

4-2-1- الرقبة أو الأفتية البركانية Neck

4-2-2- الداياتك Dike

4-2-3- السيلات Sills

4-2-4- العروق Viens

4-3- أشكال توضع الصخور الاندفاعية السطحية

4-3-1- نواتج صلابة متماسكة

4-3-2- نواتج صلابة فتاتية



4-1- أشكال توضع الصخور الاندفاعية العميقة:

عند تحرك الماغما من الأعماق باتجاه السطح فإنها تبدأ بالتصلب والتبلور في مستويات مختلفة منها معطية أجساماً اندفاعية عميقة مختلفة الحجم يحيط بها صخور رسوبية أو من تراكيب أخرى، غير أنها لا تظهر على السطح إلا بعد أن تحصل عملية إزالة هذه الصخور المحيطة وتعريضها. من هنا يمكن أن نميز أشكالاً متعددة ومتباينة للأجسام الاندفاعية العميقة، وذلك تبعاً لظروف تشكلها ومدى علاقتها بالصخور الحامضية لها، أو المحيطة بها.

4-1-1- الباثوليث Batholith:

كلمة باثوليث أتت من اليونانية وتعني الصخر العميق (Bathos تعني عميق lithos تعني صخر)، ويكون الباثوليث شديد الميل، وهو جسم ضخم الأبعاد قليل منها يحوي فراغات على سطحه، شكله غير منتظم، ويكون بشكل اندساسات متناظرة أو غير متناظرة يتبرد في الأعماق الكبيرة، قاطع للصخور المحيطة، تطاوله موازٍ لمحور الطي الذي يتوضع فيه. ومن ملاحظة السطح العلوي له كان هناك عدة اعتقادات وآراء تقول بأن تركيب الباثوليث إما ناري أو استحالي أو جزء ناري وجزء ناتج استحالة إقليمية، غير أنه تبين بأنه يحوي صخوراً نارية غنية بالكوارتز، مثل الغرانيت والصخور الشبيهة بها، وبعض أنواع الباثوليث تظهر نوعاً واحداً من أنواع الغرانيت، ونادراً ما يكون هناك تغير حتى في البنية على مساحة تقدر بالميل المربع (أي 1.61 كم²)، ولكن من جهة أخرى هناك منطقة هامشية عريضة مؤلفة من مزيج من الصخور داخل صخور من جميع الأنواع المتداخلة مع بعضها بشكل معقد، قرب هذا التماس. ويمكن للغرانيت أن يحوي فلزات ذات صفات غير نظامية (غير معتادة)، وهي غارنت مبلور بشكل بلورات كبيرة، وولستانيت، كورديوريت، ديوبسيد، فيسيفانيت، أبييدوت، لتظهر

التغيير السريع في الغرانيت. شكل (11)

4-1-2- الستوك Stock:

وهو عبارة عن جسم ناري بارز لأقل من 64 كم²، (أي ما يقابل 40 ميل مربع)، وهو جسم اندساسي مرتبط مع أنواع متنوعة من الصخور المندسة فيها (التي يغزوها)، وهو عادة ما يتشكل في مستويات أعلى من القشرة الأرضية من مستويات تشكل الباثوليث، سطحه على شكل قباب، تخرج منها الدايكات، أو أي جسم ناري يندس ضمن الصخور المحيطة.

القبة عادة ذات أشكال غير منتظمة، ضيقة تأخذ شكل إسفين هرمي نظامي أو مقلوب، وعادة ما يقترب من الشكل الأسطواني. شكل (3) ويأخذ مقاييس أصغر من الباثوليث، وتأخذ سطوح تماسه مع الصخور الحاضنة ميولاً شديدة وأحياناً شاقولية، وتظهر المقاطع العرضية له أنها غير منتظمة وذات أبعاد غير متميزة من حيث الطول والعرض. أجسام الستوك كثيرة الانتشار في القشرة الأرضية، ويمكن أن تكون أجساماً لكثير من الصخور الاندفاعية المختلفة.

4-1-3- اللاكوليث Lacolith:

يتشكل اللاكوليث على أعماق غير بعيدة عن سطح الأرض، حيث تقل سماكة السيلات تدريجياً حتى تغلق نهائياً، ومن ثم تتشكل عدسات مسطحة، وعندما يصبح تحدب هذه العدسات أكبر من الشكل المعتاد لها، عندها يتشكل نوع جديد من الاندفاعات، وهو اللاكوليث شكل (12)، والذي يأخذ قبة محدبة قاعدتها شبه أفقية، مقاييسها صغيرة تتراوح بين (100-200 م)، ويبلغ أحياناً بضعة كيلومترات.

يتوضع اللاكوليث على التوافق مع الصخور الحاضنة له (صخور رسوبية، استحالية)، ذلك أن الماغما تندس وفق السطوح والفواصل البينية

للتوضعات الحاضنة رافعة الطبقات التي تعلوها بشكل قبة متميزة (تشبه الفطر)، وتبعاً لموضع قناة التغذية السفلية بالنسبة لجسم اللاكوليث، ويمكن التمييز بين النوعين التاليين:

- 1- لأكوليث متناظر: عندما تكون قناة التغذية آخذة موضعاً مركزياً.
 - 2- لأكوليث غير متناظر: عندما تأخذ قناة التغذية موضعاً جانبياً
- شكل (13).

كثير من اللاكوليث يتدرج باتجاه الستوك والسيالات وأجسام نارية غير نظامية، لا يتعدى قطر كثير من اللاكوليث (1.61 كم) (أي الميل)، غير أن اللاكوليئات مثل السيالات تميل لأن تمثل تجمعات كما هو الحال في منطقة كولورادو، حيث تتألف اللاكوليئات التابعة لها من صخور متوسطة التركيب، ديوريت، مونزونيت، سيانيت بشكل تدريجي باتجاه الأعلى، أما الجزء الذي يعلو هذه الصخور فهو قلوي.

4-1-4-اللابوليث Lapolith:

هو جسم اندفاعي ناري له شكل قمع يحتل حوضاً تكتونياً، يمكن أن يكون له تغير في السطح العلوي يمكن أن يكون مقبباً أو بشكل سينكلينال أو سطح ذي انحناءات بسيطة أو أفقي. في حين يأخذ سطحه السفلي شكلاً كأسياً واللابوليث يتوضع فيما بين الطبقات للصخور الحاضنة على التوافق وأشكال اللابوليث كما هو الحال في اللاكوليث إما أن تكون متناظرة أو غير متناظرة حسب ما تكون وضعية القناة المغذية مركزية أو جانبية. والمثال المميز لهذه الأشكال هو لابوليث دولوث في ميني سوتا، والذي يمتد على مسافة (241.5 كم)، أي ما يقارب (150 ميل)، وأما الثخانة فتصل إلى أعظم قيمة لها (16.1 كم)، أي ما يقارب (10 ميل)، ولكن المثال الأكثر توضيحاً هو لابوليث سادبوري الذي يأخذ شكل قارب بطول (35 ميل)، أي ما يقارب (56.35 كم)، وعرض يصل بحده الأعظمي (32

كم)، والسطح مؤلف من صخور رسوبية، وأما أرضية اللابوليث فهي الغرانيت وصخور استحالية بريكامبرية. شكل (14) يمثل شكلاً تمثيلاً اختراقياً للتوضعات. مثال آخر عن اللابوليث هو لا بوليث بوشفيلد يغطي بحدود (204 كم) شرق غرب و (241.5 كم) شمال جنوب يحيط به صخور رسوبية، وتحتها يتوضع حوض مؤلف من صخور نارية، والسطح العلوي له مصاب بالتعرية التي أزلت الجزء العلوي منه، حيث يصبح متناثراً، وهذا المثال ينطبق تماماً على أي لابوليث صغير الحجم.

ولكن أكبر أشكال اللابوليث المتوفرة في العالم هو لا بوليث جنوب أفريقيا، الذي يشغل مساحة (480 كم²)، ولابوليث شمال أميركا الذي يشغل مساحة (38000 كم²) بحجم يصل إلى (200.000 كم³).

4-1-5- الأيتموليث Itmolith:

يشبه اللابوليث وإنما غالباً ما يأخذ أشكال قمع ذات جدران شديدة الميل (غير منتظمة)، وذات تفرعات جانبية ضمن الصخور الحاضنة. شكل (15)

4-1-6- بسماليث Besmalith:

جسم ناري عميق يشبه اللاكوليث غير أن جزؤه العلوي له شكل كتلة أسطوانية، أما جزؤه السفلي فهو عريض ويتوضع بالتوافق مع الصخور الرسوبية الحاضنة له. شكل (16).

4-1-7- سفينوليث sfinolith:

جسم ناري إسفيني الشكل (يشبه الإسفين) كثيراً ما يقطع الصخور المحيطة، وكثيراً ما يكون موافقاً لهذه الصخور ويقتصر، على الطبقات البيئية، حيث يتواجد في أجنحة الطيات شديدة الانحدار. شكل (16)

4-1-8- فاكوليث phacolith:

هي أجسام نارية ليست كبيرة تتوضع موازية وموافقة للصخور الحاوية

عليها، وهي ذات أشكال عدسية تحتل إما قمة الطية المحدبة، أو قاعدة حوض الجيوسينكلينال ومقطعها العرضي يأخذ شكل (S)، والفاكوليث يتوضع على توافق مع الصخور الحاضنة، إذا كان محور الطية لا يتوضع أفقياً، ومن ثم يصبح اتجاه الفاكوليث مقلوباً من الأسفل للأعلى، وتعطي شكل المنجل أو الهلال، ويعتقد أن الفاكوليث ينتج عن دخول الماغما في فجوات مفتوحة ناتجة عن عملية الترسيب (أي بين الفواصل الترسيبية)، وتتشكل بالترافق مع الحركات التكتونية المولدة للطيات لذا تدعى بالأجسام المرافقة للطيات. شكل (16)

4-1-9 أكموليث: Acmolith:

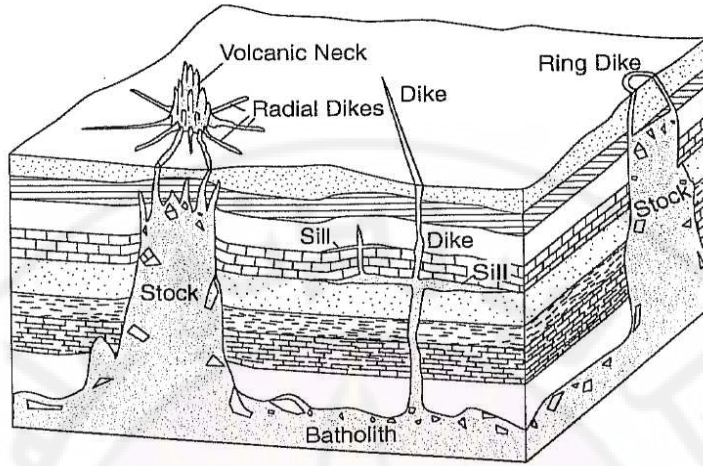
وهي أيضاً أجسام اندفاعية صغيرة تندس على التوافق فيما بين الطبقات الحاضنة على شكل الموس أو السكين، ذات ثخانة ضيقة ومتطاولة، وتتوضع في أجنحة الطيات. شكل (17)

4-1-10 هونوليث: Honolith:

وهي من الأجسام الصغيرة غير منتظمة الشكل، تتوضع ضمن الصخور الحاضنة لا على التوافق، أي قاطعة لها. شكل (17)

4-1-11 غاربوليث: garbolith:

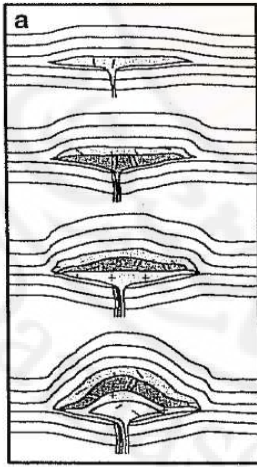
وهي أجسام رفيعة حبلية الشكل تشبه الحية، وتتوضع ثاقبة أو متقاطعة مع الصخور الحاضنة. شكل (17).



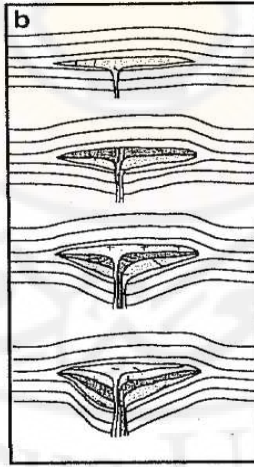
Stok سترك
 Radial Dikes دايكات شعاعية
 Sill عتبة
 Dike دايك
 Ring Dike دايكات حلقيه
 Volcanic Neck رقبة
 Batholith باثوليت

شكل (11) شكل تمثيلي لبعض الأجسام العميقة سترك، دايك عادي دايك حلقي، باثوليت، دايك شعاعي، رقبة

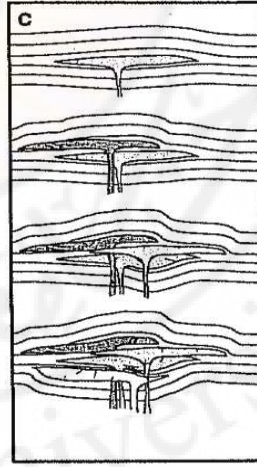
Downward-building
laccolith



Upward-building
lopolith



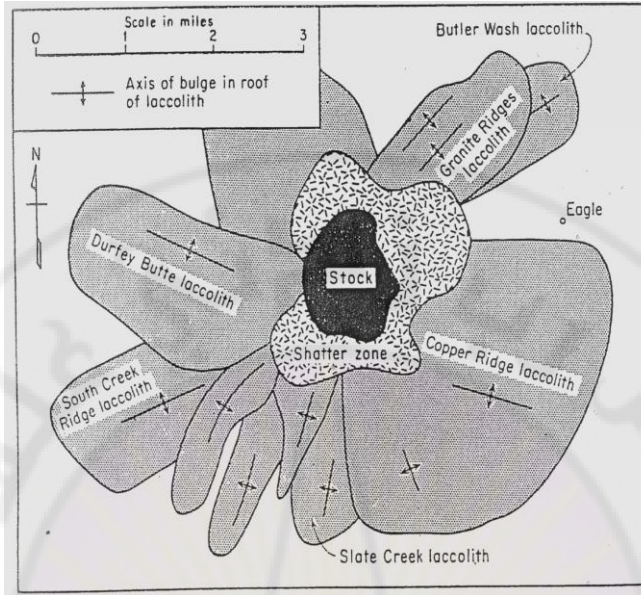
Irregular and
unsystematic



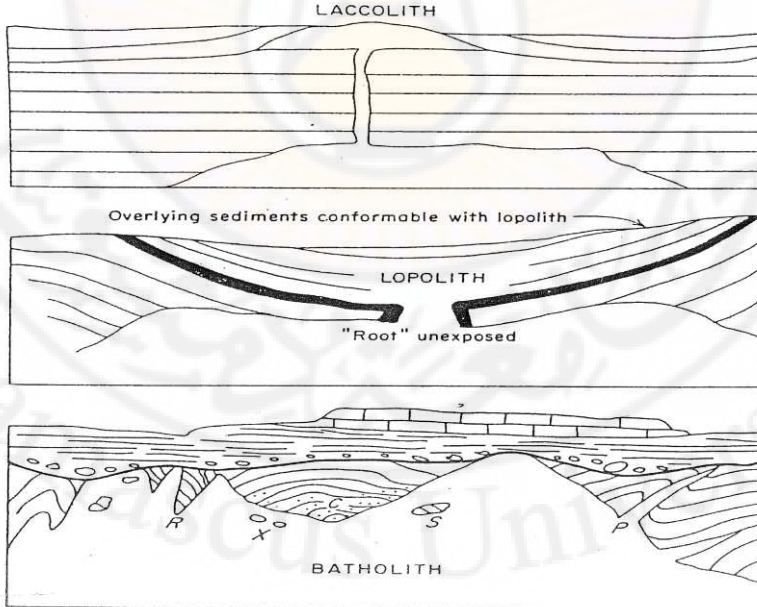
تتمة شكل (11):

a-تشكل باثوليت تحت طبقات قليلة السماكة، b-تشكل الباثوليت تحت تأثير ضغط أرضية الغرفة المهلية عندما تكون الماغما مهاجرة باتجاه الأعلى، -أشكال متعددة متقطعة غير منتظمة للباثوليت

شكل (3)

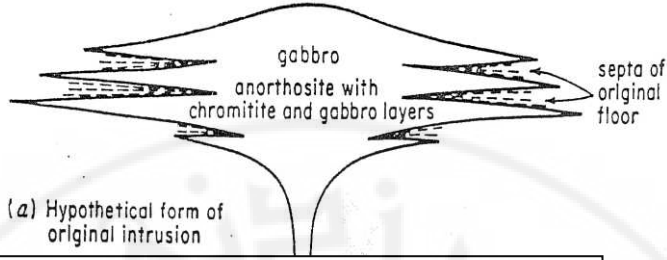


شكل (12) لأكوليث يتغذى على ماغما آتية من الأعماق عبر ستوك مركزي: متعدد القطاعات.
 Butler Wosh loccolith الجزء الكبير من اللاكوليث
 Copper Ridge loccolith حافة لأكوايث تحوي نحاس
 Durtey Butte Loccolith منطقة تل اللاكوليث
 South creek Ridge loccolith الحافة الجنوبية للاكوليث

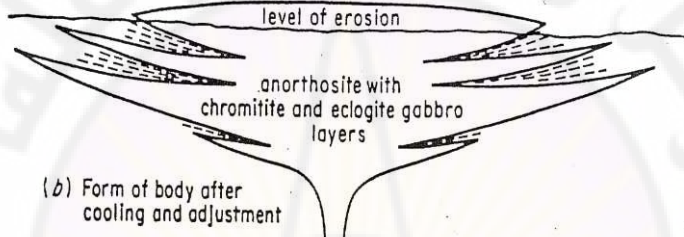


Laccolth لأكوليث Lopolith لابوليث Batholith باثولايث

شكل (13) يمثل شكل محتمل لللابوليث متوسط بين اللاكوليث والباتوليث.

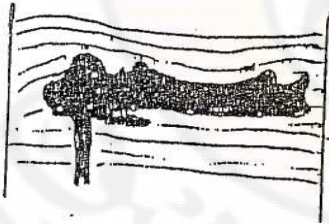


شكل افتراضي لاندفاعات عامة

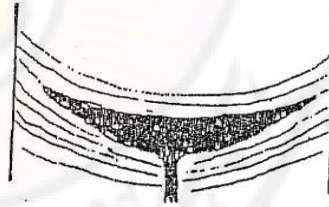


شكل الجسم بعد التبريد والتعديل

غابرو أنورثوزيت كروميتي
طبقات أنورثوزيت مع كروميت وغابرو إيكولوجيت
gabbro anorthosite with chromitite and gabbro layers
onrthosite with chromitite and eclogite gabbro layers

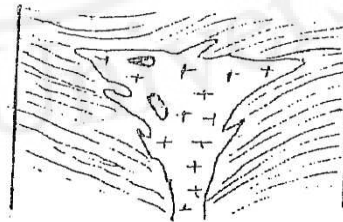
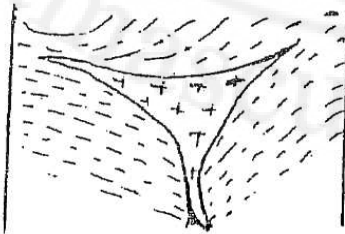


لابوليث غير متناظر قناة جانبية.

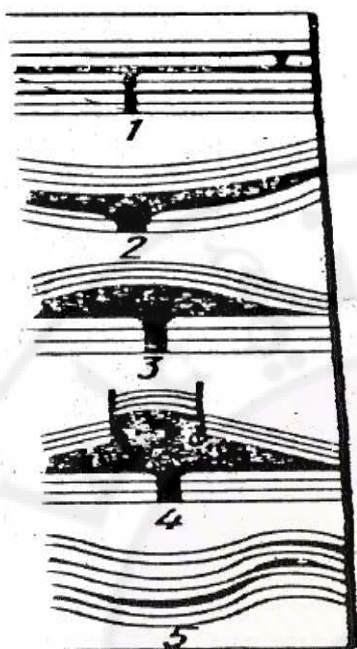


لابوليث متناظر قناة مركزية

شكل (14) شكل تمثيلي افتراضي لللابوليث



شكل (15) رسم تمثيلي للأيتموليث



شكل تمثيل يبين:

1-سيلا

2-لاپوليث

3-لاكوليث

4-بسموليث

5-فاكوليث

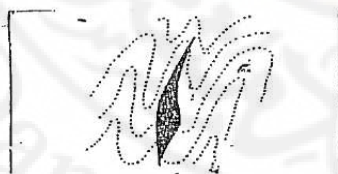
شكل (16)



فاكوليث



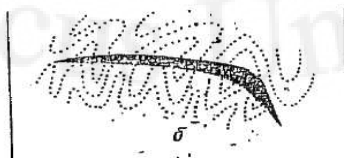
سفينوليث



أكموليث



هونوليث



غاربوليث

شكل (17)

4-2- أشكال التوضعات للصخور الاندفاعية متوسطة العمق:

إن التوضعات متوسطة العمق مرتبطة ارتباطاً وثيقاً مع العمليات البركانية، ومن هذه التوضعات الرقبة أو الفوهة.

4-2-1- الرقبة neck أو الأفتنية البركانية:

جسم له شكل أسطواني ناتج عن تبريد تحت سطحي (قرب السطح) للمagma مائلة للقناة المغذية للبراكين أثناء البركة، وتسمى أيضاً العنق، فتحات، وبسماليت اندفاعي.

الرقبة يكون لها شكل دائري، إهليلجي، نادراً غير منتظم، ولكن بكل الأحوال قريب من الشكل المتناظر وقطرها عدة أمتار وحتى الكيلومتر، وتتصف الرقبة بأن لها جدران شديدة الانحدار، شكل (11)

4-2-2- الدايات Dike:

هي صخور عميقة المنشأ محددة بجدارين شديدي الميل متوازيين، أطوالها أكبر من سماكتها، حيث تتراوح أبعاد الدايات بين أجزاء من المتر وحتى المتر، وتصل أحياناً عدة كيلومترات أو مئات الكيلومترات، مثالها دايك بريفتين في السويد حيث يصل طوله إلى (32 كم) وعرضه (1.6 كم). وتأخذ الدايات شكلاً شبيه باللوحة، أو تكون شاقولية أو سطحاً شديد الميل والانغماس في الأعماق، محاطة بجدر متوازية له امتدادات طولية وله سماكات صغيرة وتقسم الدايات حسب التركيب إلى ثلاثة أنواع:

1- دايات باطنية المنشأ تنتج عن ملء الشقوق بالماغما.

2- ميتادايك (أي الدايات الناتجة عن الاستحالة)، تشبه الدايات السابقة غير أن تركيبها من الأبلت والغرانيت، بغماتيت الناتجة عن العمليات الاستعاضية.

3- دايات سطحية (يكزودايك)، وتكون ناتجة عن ملء الشقوق بالرسوبات.

أما من ناحية توضع الدايات فهي تقسم إلى:

4-2-2-1- دايات عادية Dayke:

تأخذ أشكال مجموعات متوازية بشكل جدران أو طبقات (مفردة)، ذات ميل حادة أو شاقولية وامتدادات كبيرة، وسماكة قليلة تتراوح بين عدة سنتيمترات حتى كيلومترات، أو ذات توزيع شعاعي من الستوك.

ومن أشهر الدايات في العالم روديسيا جنوب أفريقيا يمتد لمسافة (480 كم) بسماكة (3-11 كم)، ويتألف من صخور أساسية وفوق أساسية ومبلورة بشكل جيد، وفي إنكلترا دايك كليفلاند طوله (175 كم)، ويمكن أن يصل حتى (310 كم).

ويمكن للدايات أن تكون مفردة أو بشكل مجموعات (دايات معقدة)، والدايات المفردة تتشكل من توضعات صغيرة ولا تأخذ مساحات كبيرة، وميولها بزوايا مختلفة. أما الدايات المعقدة تنمو عادة بشكل مجموعات متوازية تنتج عن الشقوق المتوازية، ويمكن أن نجد في المنطقة نفسها أكثر من نوع من الدايات، ويكون لكل منها صفاته المختلفة عن الآخر من حيث التوضع مما يساعد على تحديد كيفية تشكلها وزمنه. شكل (11)

4-2-2-2- الدايات الشعاعية (الحلقية) Radial Daikes:

عادة ما تكون مرتبطة بالمراكز البركانية، أو الكتل الاندفاعية النارية متوضعة بشكل شعاعي (حلقي) بالعلاقة مع المراكز البركانية والكتل الاندفاعية وطولها يصل إلى كيلومتر. الشكل (18) ففي منطقة كانلايت وقايومينغ في أمريكا يبلغ طول الدايات (8-11 كم) بدءاً من مركز بركاني. الشقوق الشعاعية (أو الحلقية) التي أعطت الدايات ظهرت نتيجة عوامل التباعد والشد الناتج عن ضغط الماغما بالاتجاه الأفقي على جدران القناة داخل المخروط، أو نتيجة ارتفاع كل الهيكل البركاني تحت تأثير القوة الناتجة عن التفاعلات في الغرفة المهلية

الموجودة تحت البركان أو داخل الجسم الناري، والأخيرة أكثر واقعية لأن الضغط موجه من الأسفل للأعلى، حيث يؤدي إلى تشكيل نظام شقوق شاقولية حلقة متباعدة، تأخذ الدايات الحلقية شكل حلقة مغلقة أو أقواس، وغالباً ذات أشكال غير منتظمة، مثال هذه الدايات منطقة كازاخستان. شكل (19 و 20 و 11)

4-2-3- الدايات المخروطية Conical dics:

تنتج عن ملء الشقوق المخروطية ابتداءً من قمة البركان ويفسر تشكل هذا النوع بأنه نتيجة اصطدام البلوكات المركزية، وهذا ناتج إما عن ضغط الماغما أو نتيجة انفجار كبير تحت البركان، كما تتشكل أمثال هذه الأجسام بتبريد اللافا ضمن تشققات مخروطية التوزع والامتداد داخل القشرة الأرضية الناتجة عن الانفجارات الحاصلة تحت البراكين. شكل (20). وتأخذ الدايات المخروطية عادة في تكشفتها السطحية أشكالاً حلقة أو قوسية في حين تظهر مقاطعها الشاقولية على هيئة دايات شديدة الميل متوازية. وتتشكل هذه الدايات في المناطق البركانية الحديثة قرب السطحية، وتأخذ نظاماً مخروطياً في توزيعاتها.

في الدايات عامة تتوضع البلورات المتشكلة باكراً على (أطراف الماغما)، في حين تتوضع الفلزات أو البلورات الكبيرة في مركزها.

4-2-3- السيلات (الطبقات الاندفاعية) Sills:

هي توضعات ناتجة عن حقن الماغما ضمن الطبقات بين الفواصل رافعة الطبقات لدرجة معينة، ويمكن أن تكون بأي أبعاد من (2.5 سم)، وحتى (1/2 كم) أو أكثر في العرض. وتتشكل السيلات في مناطق البلاتفورم القاري متوضعة على التوافق فيما بين الطبقات الرسوبية، مشكلة سلسلة من الطوابق المتصلة مع بعضها بعضاً بأقنية تشقعية، تمكنت الماغما المرور عبرها، وهي آتية من الأعماق الشكل (16 و 11)

تتميز الطبقات الاندفاعية عن الصبات البركانية السطحية بأنها لا تحوي على فقاعات هوائية في أقسامها العليا والسفلى، كما أن أقسامها العليا لا تبدي أية علائم لحدوث عمليات تجوية.

والشيء الملاحظ أن الطبقات الاندفاعية عادة ما تقوم بعمليات ثني للتوضعات الرسوبية الأفقية أو قليلة التشوه، وتتميز سطوحها العليا والدنيا بأنها متوازية لمسافات كبيرة.

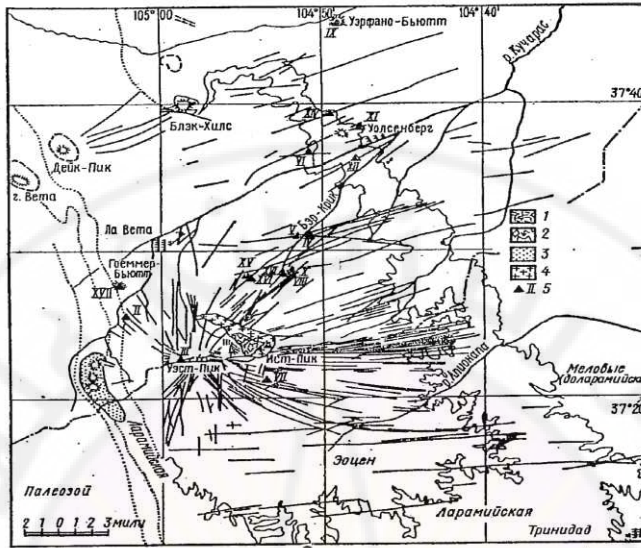
أما سماكتها فيمكن تراوحها ما بين أجزاء المتر وحتى عدة أمتار، وقد تمتد لمساحات تصل إلى عشرات آلاف الكيلومترات المربعة، ونذكر من الأمثلة المعروفة طبقة الدوليريت في جنوب أفريقيا التي تمثل مساحة (13000 كم²) وتصل بعض الطيات في السماكة إلى (600 مم)

إن حدوث فساد الصخور يشكل مكامن هامة جداً من اللوسيت الذي يستخرج منه الألومنيوم، تتشكل الطبقات الاندفاعية على شكل مجموعات متوازية، وهي عادة ما تكون من حيث التركيب أساسية. شكل (20)

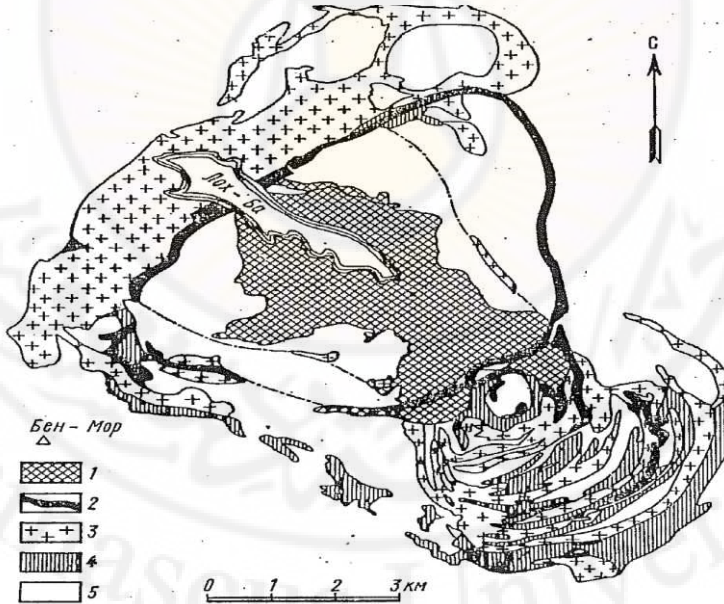
ويمكن للسيالات أن تكون معقدة وذلك من خلال تغير تركيب الصخور المشكلة لها من الأسفل وحتى القمة، وكثير من السيالات غنية بالأوليفين والبيروكسين وفلزات ثقيلة أخرى، وتتوضع في قاعدة السيالات، وفلزات الصفاح والكوارتز تتوضع في قمة السيالات، وعلى ما يبدو أن هذا ناتج عن التبلور تحت تأثير الثقالة.

4-2-4- العروق Veins:

هي عبارة عن أجسام اندفاعية وحيدة البعد تقريباً، عادة ما تكون متفرعة تتفرع من كل الأجسام الماغماتية التي ذكرناها آنفاً، وقاطعة للصخور التي تصادفها، وتتشكل في التشققات الصغيرة والعروق. وهي إما أن تكون بركانية ومتوسطة العمق وعميقة، إلا أن تبلورها تقريباً متشابه في الحالات الثلاث السابقة.

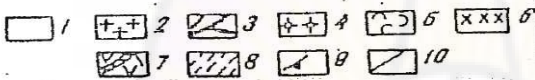
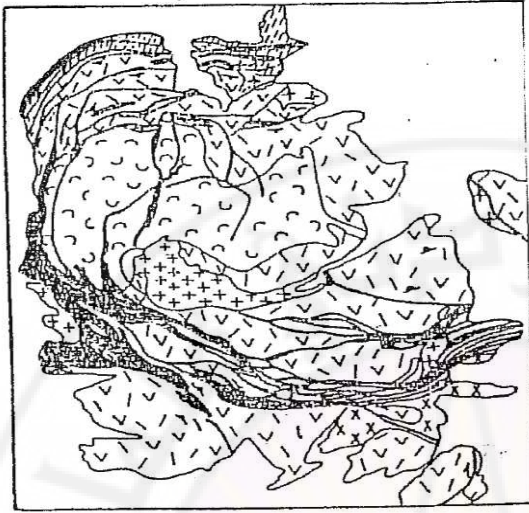


دايك لامبروفيري يخرج بشكل شعاعي من كتلتين ضخمتين من الغرانيت. 1-سيانيت ديوديريت بيروكسيني، 2-
 غرانوديوريت بورفيري، 3-ميكرو غرانين، 4-غرانيت بوفير، 5-لاكوليث.



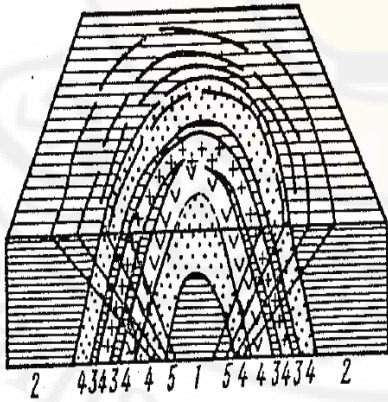
الجزء المركزي لمعقد مول في سكوتلاندا لأجسام اندفاعية حلقية
 1-غرانوفير وفيلزيت (أجسام مركزية)، 2-دايك حلقي من الفلزيث، 3-غرانوفير، 4-دولوريت وغابرو، 5-
 صخور اندفاعية وصخور متنوعة مبلورة (دولوريت كوارتزي)، 6-غابروكوارتزي (دايكات حلقية)

الشكل (10)



مخطط بنية جيولوجية لأجسام اندفاعية
حلقية في أواسط كازاخستان. 1-توضعات
رباعية، 2-غرانيت الاسكيتي، 3-دايكات
حلقية من غرانيت بوفير وگرانوديوريت
بوفير، 4-دايكات غرانيت بوفير المظهر،
5-تراكي ليباريت بوفير، 6-ديوريت،
گرانوديوريت، 7-غرانوسيانيت، 8-بورفير -
داسيت ليباريت مع طف وتوضعات
رسوبية، 9-أحجار رملية وحصى،
10-الحدود الجيولوجية.

شكل (19)



مخطط لطبقات مخروطية ودايكات حلقة:
1-2-3-دايكات حلقية ذات تراكيب
متنوعة وأوقات اندفاعات مختلفة.
4-صخور جانبية
5-شقوق نظامية

شكل (20)

4-3- أشكال توضع الصخور الاندفاعية السطحية (البركانية):

تخرج نواتج البركنة من أعماق مختلفة من القشرة الأرضية، أو من الأعماق السحيقة للقشرة الأرضية من خلال البراكين المركزية أو الشقية أو غيرها، أو من المستويات الأخرى معطية نواتج متنوعة، وهي:

4-3-1- نواتج صلبة متماسكة (الصبات):

تتوضع حول البراكين على شكل صبات، وتنتج من انسكاب المصهور الماغمي (أي اللافا) من فوهة البراكين المركزية أو الشقية أو غيرها، إلى أماكن بعيدة أو قريبة وهذا حسب لزوجة اللافا وتكون الصبات متنوعة التراكيب:

4-3-1-1- صبات بازلتية:

أساسية التركيب منخفضة السيليكات والمواد الطيارة، عالية الحرارة، سهلة الحركة سائلة لذلك تسير إلى مسافات بعيدة عن مركز البركان، لها مظهر تموجي، متجدد، غشائي، حلي وعلى السطح تحوي فراغات دائرية، أو إهليلجية وأحياناً متطاولة حسب حركة الماغما بشكل أنابيب وأحياناً بشكل خبث. هذا النوع من الصبات يميز نمط البراكين المركزية وخاصة البراكين الدرعية والشقية.

4-3-1-2- صبات ريوليتية:

وهي صبات حامضية عالية اللزوجة ونسبة السيليكات فيها عالية، وهي ذات سماكات كبيرة، وذلك لأن اللافا المنسكبة حامضية متماسكة وذات لزوجة عالية، لا تستطيع السير لمسافات كبيرة، إلا في حالة كون الغازات كثيرة في اللافا.

4-3-1-3- صبات أنديزيتية (متوسطة التركيب):

تكون اللافا غنية بالقلويات، ذات تماسك عالٍ غير أنه أقل تماسكاً من الماغما الريوليتية، وذلك بسبب فقدان المواد الطيارة، كمية SiO_2 عالية وتتوضع الصبات بشكل قبة أو مسلات، وتكون صبات هذا النمط مكسرة بشكل قشيرات ناتجة عن الفقاعات الغازية، معطية صبات من النمط الكتلي والقشري، وتصاب

هذه الصبات قبل نهايتها بتكسر لهذه القشيرات باتجاه الأسفل، ثم تغطي بلافا بطيئة الحركة.

وتكون الصبات عامة ذات أشكال مسطحة وسماكات وامتدادات متفاوتة، وتتميز الصبات البركانية بتفوق طولها على عرضها بعشرات أو مئات المرات. وتؤدي النشاطات المتعاقبة للبركان إلى تشكيل صبات متراكبة ومتعاقبة فوق بعضها بعضاً، يفصل فيما بينها نواتج حثية أو مواد بركانية فتاتية بيروكلاستية (كسارات متنوعة)، ويختلف مظهر الصبة البركانية وبنائها في الأجزاء المختلفة منها: ففي الجزء العلوي منها غالباً ما تكون ذات تجاويف وفراغات وفقاعات نتيجة انطلاق الغازات (أثناء التبريد) إلى الأعلى، ومن ثم نحو الأجواء الخارجية، وهذا ما يكسبها مظهراً إسفنجياً.

أما الأجزاء الوسطى منها فتتميز بأنها متماسكة، كثيفة، صلبة وعديمة الفراغات. بينما الأجزاء السفلى تكون مشابهة للأجزاء العليا، إنما أقل نسبة من التجاويف والفراغات. إن تيارات اللافا التي تتبرد على السطح تتصلب أقسامها العليا والدنيا بينما تبقى مائعة في الوسط لفترة محدودة من الزمن، وقد تستمر في سيرها وحركتها محدثة تشققات وتكسرات في الأقسام العليا المتصلبة التي تتدثر بتأثير اندفاعها إلى أماكن أخرى. وعند تبرد التيار نهائياً تتشكل صخور حاضنة لكسيرات وكتل صخرية من التركيب نفسه مشكلة ما ندعوه بالبريش لاقاً كما هو موضح في الشكل (21).

ويحدث أحياناً تفريغ للتيار السائل من اللافا في أعالي الصبة مما يؤدي إلى تهدم سقفها باتجاهات مختلفة محدثة مغاور منتظمة.

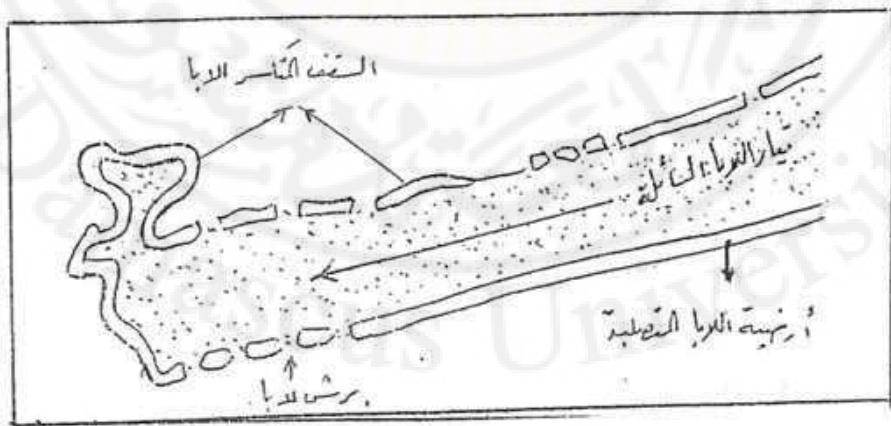
ويمكن اندلاع اللافا على قيعان البحار والمحيطات، حيث يعطي أشكالاً لا تشابه أشكال الصبات المتشكلة على سطح الأرض، وإنما تأخذ شكلاً كروياً أو شكل وسائد أثناء عملية التبريد، ومن هذه الأشكال ما يكون مملوءاً بإبر وزوايا

حادة أحياناً تكون من نفس اللافا أو من مواد رسوبية. وتتميز الوسائد بأنها ذات بناء متمركز ووجود غازات ودرجة عالية من التبلور في الأجزاء المركزية منها. أما تشكل الكرات، فإنه يتشكل أثناء الاندفاعات، فتنقسم اللافا إلى قطيرات تغطي بسرعة بغطاء خارجي، والعامل الرئيسي في هذا التشكل هو الانخفاض السريع في الحرارة، والتبريد السريع الناتج عن عملية التماس بين اللافا الساخنة والمياه الباردة.

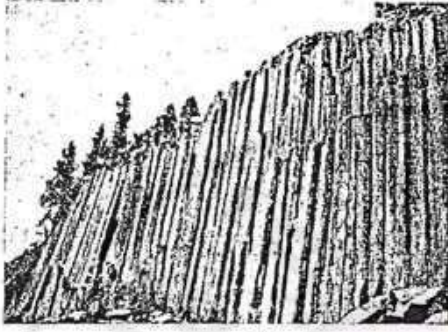
إن اللافا البازلتية تكون على السطح وتحت سطح الماء بشكل أنابيب شاقولية كما هو الحال في منطقة كاليفورنيا. الشكل (22)

4-3-2- نواتج صلبة فتاتية:

أو ما يسمى بالبيروكلاست تنتج عن المراحل الانفجارية للبراكين عندما يكون هناك كمية كبيرة من الغازات، ومن ثم فإن اللافا السائلة تقسم إلى أجزاء وتطير في اتجاهات مختلفة، وهنا فإن النواتج البركانية العميقة المنشأ تقع في الهواء أو في المياه وتترسب، مع العلم أن الأجزاء الكبيرة منها والتي تأخذ أشكالاً مغزلية وتدعى بالقنابل البركانية وغيرها تتوضع قريبة من المخروط البركاني، والأجزاء الناعمة التي ندعوها بالرمال البركانية والأنعم بالرماد البركاني.



شكل (21) تفسير حدوث البريش لافاً والكهوف البركانية



توضعات اندفاعية شاقولية سداسية للاف
البازلتية

شكل (22)

فتبتعد لمسافات كبيرة خاصة إذا ما رافق النشاط البركاني رياح وأمطار شديدة تبعد النواتج الناعمة لمسافات تقدر بعشرات الكيلومترات.

ومن وجهة نظر بعض الباحثين فإن مقاييس البيروكلاست هي ذات المقاييس 10، 18، 28، و 186 كم³، في حين أن بعضهم الآخر قدرها بين 1.7 و 4.9 كم³، في حين قسم بعضهم الآخر المواد البيروكلاستية إلى أجزاء رخوة سميت تيفري (الرماد)، وأنواع أخرى مجموعة باسمنت وسمي بالطف والبريش البركاني، ومن الأنواع العائدة إلى التيفري القنابل البركانية والتي يتراوح حجمها ما بين (100-1000 مم) والقنابل البركانية مؤلفة من أجزاء من اللافا تأخذ شكلاً إهليلجياً أو شكل قنبلة، تشكل المواد الفتاتية بعد جفافها ما يسمى التوف البركاني الذي يتميز بالخصائص الرئيسية التالية:

1- قد يشكل توضعات بسماكات كبيرة جداً تشبه في تطبقها الصخور الرسوبية في حال توالي الاندفاعات البركانية.

2- يتميز بأنه غير متجانس في حجوم المؤلفة له، حيث تكون الأجسام الكبيرة فيه قرب المخروط البركاني، بينما تتضاءل في الحجم كلما ابتعدنا عن البركان حتى تغدو دقيقة جداً في الأماكن البعيدة عنه، وبهذه الصفة نستدل على أماكن البراكين القديمة التي زالت مخاريطها بتأثير عوامل الحت الخارجي.

3- إن الفتات المؤلف للطف له أشكال متباينة ومختلفة، وهي عادة ما تكون غير منتظمة وذات حواف ورؤوس حادة، وتسمى الأجزاء الكبيرة منها ذات الأشكال المغزلية المفتولة بالقنابل البازلتية.

أما عن الطف فهو مؤلف من تجمع البيروكلاست وتصلبه واختلاطه مع الرسوبيات وخاصة منه الرماد، حيث إن الطف يتوضع على هيئة طبقات تشبه الطبقات الرسوبية، كما يحوي على بعض المستحاثات التي قد تمكن من تحديد العمر الذي توضع فيه. والطف أنواع حسب تركيب اللافا المتشكلة منها، وهي: طف بازلتي، طف ربولتي، طف أنديزيتي، طف تراكتي، وطف مختلط، أما ألوان الطف فهي حسب الشوائب المرافقة له، مثل اللون الأحمر التوتي، أو الأحمر بسبب وجود شوائب الحديد، والأخضر بسبب شوائب الكلوريت، وأزرق بسبب شوائب الحديد الثنائية، وسوداء بسبب شوائب الفحم.. وغيرها.

كذلك يمكن للطف أن يكون ليثوكلاستياً إذا تألف من كسارات صخرية، أو طفاً كريستالوكلاستياً إذا تألف من كسارات فلزية، وطفاً فيتروكلاستياً من كسارات زجاجية بركانية، وأخيراً طفاً بيروكلاستياً أي مؤلف من كسارات مختلفة.

الفصل الخامس

بنيات الصخور الاندفاعية

5-1- بنيات الصخور الاندفاعية العميقة:

5-1-1- البنية الكتلية أو المتجانسة

5-1-2- البنية التاكسيتية

5-1-3- البنية الكروية

5-1-4- البنية المخططة

5-1-5- البنية الشرائطية

5-1-6- البنية الغنيسية

5-1-7- البنية التراكتية

5-1-8- البنية السيلية

5-1-9- البنية التاكسيتية البريشية

5-2- بنية الصخور الاندفاعية السطية (البركانية):

5-2-1- البنية المتجانسة

5-2-2- البنية التاكسيتية

5-2-3- البنية الكتلية المتماسكة

5-2-4- البنية شبه التاكسيتية

5-2-5- البنية الفلويديّة

5-2-6- البنية البيرليتية

5-2-7- البنية الماريكونية

5-2-8- البنية الكروية أو السفيروليتية

5-2-9- البنية الفراغية

5-2-10-البنية الزجاجية

5-2-10-1-ليفية بورفيرية (فيتروبورفيرية)

5-2-10-2-فيتروافانيتية (ليفية أفانيتية)

5-2-10-3-البنية المبلورة

5-2-10-4-البنية الزجاجية (هياليتية)

5-2-11-البنية المختلطة

5-2-11-1-البنية التراكيتية - الهيبنديومورفية

5-2-11-2-البنية الغابروية الأوفيتية

بنيات الصخور الاندفاعية

5-1- بنيات الصخور الاندفاعية العميقة:

البنية:

هي العلائم التي تدل على كيفية توضع الفلزات ضمن فراغ الصخر وعلاقة هذه الفلزات مع بعضها بعضاً أثناء انتهاء التبلور وبعده، وترتبط عملية تشكل البنية بالقدرة التبلورية للفلزات والعوامل الداخلية والخارجية المؤثرة فيها.

5-1-1- البنية الكتلية أو المتجانسة:

تتشكل أثناء التبلور الهادئ دون وجود حركة، وتتميز هذه البنية بأن الفلزات فيها تكون موزعة بشكل منتظم في جميع أنحاء الصخر دون أي توجه، وهذا دليل على أن ظروف التشكل واحدة، وهذا النموذج من البنيات منتشر بشكل كبير في الصخور الاندفاعية.

5-1-2- البنية التاكسيائية:

وهي بنية غير متجانسة، منقطة، شليزية (أي أن جزءاً من الصخر يغتني بالفلزات الفاتحة وتكون في حالة مرور تدريجي مع الصخر المحيط، وهذا ما يميزها عن المحتبسات). إن الشليرات يمكن أن تأخذ شكل طبقات أو نطاقات أو أشرطة أو أشكال غير منتظمة.

وعندما تكون الشليرات موزعة دون انتظام وبأشكال غير منتظمة وغير محددة بحدود واضحة تدعى البنية عندها أتاكسيائية، وتدعى غلوميروكريستالية عندما تكون التجمعات الفلزية صغيرة وتماثل في تركيبها تركيب الصخر. أما في حال كانت هذه التجمعات تشكل فينوكريستالات في النسيج البورفيرى تدعى عندها البنية غلوميروبورفيرية.

وتتميز البنية التاكسيائية بأنها غير متجانسة في جميع أنحاء الصخر، حيث يمكن أن تختلف أجزاء الصخر عن بعضها بالتركيب، (أي تواجد تجمعات

فلزية قاتمة، شليرات كزينوليتات) والنسيج.

إن تشكل البنية التاكسيتية متعلق بتغير ظروف التبلور الفيزيائية والكيميائية للماغما (اختلاف درجات الحرارة في أجزاء مختلفة من الصخر وتغير الضغط متضمناً ضغط الغازات)، انتشار العناصر، انتشار الغازات في وسط سائل غازي، كما يمكن لهذه البنية أن تتشكل نتيجة أسر صخور من نوع آخر أثناء حركة الماغما إلى السطح عبر طبقات القشرة الأرضية.

5-1-3- البنية الكروية:

وتتميز بتركيز الفلزات حول مراكز متعددة، معطية أشكالاً دائرية بحيث يختلف تركيب الدوائر عن بعضها، ومن ثم الشكل الناتج دوائر أو أشكال بيضوية متمركزة حول مركز محدد بشكل طبقات مختلفة التركيب. ويرتبط تشكل مثل هذه البنية بتغير إشباع الماغما بهذا العنصر أو ذاك، أثناء عمليات التبلور مما يؤدي إلى توزيع متتالٍ لفلزات متباينة، مثالها صخور الغابرو، الغرانيت، الديوريت ذي البنية الكروية.

وأحياناً يفسر تشكل هذه البنية بأنه انخفاض الحرارة أثناء التفاضل وتشكيل سائلين غير قابلين للمزج، حيث يتبلور كل منهما على حدى.

5-1-4- البنية المخططة:

حيث تظهر الفلزات الموشورية أو المتطاولة مصطفة في الصخر وفق خطوط تعطي الصخر المظهر المخطط. وتظهر هذه البنية في الصخور التي تتألف من طبقات مختلفة في التركيب أو في النسيج، وأسباب تشكلها إما اصطافات الفلزات السابقة وفق خطوط، أو تحدث نتيجة ترسب طبقات فلزية متباينة في زمن تبلورها، وأن الطبقات متباينة التركيب تتشكل من مصاهير غير قابلة للمزج تتفصل عن بعضها نتيجة التمايز، ويمكن أن يفسر تشكل هذه البنية أيضاً بالحركة المستمرة والمتكررة للماغما أثناء التبريد والتبلور، مما ينجم عنها

تعاكس المواد المتبلورة عن مجارات المصاهير أو السوائل المتحركة.

5-1-5- البنية الشرائطية:

تتصف بأنها مؤلفة من شرائط مختلفة التركيب أو النسيج، وإن تشكل مثل هذه البنيات في الصخور ينتج عن التفاضل بالثقالة أو التفاضل عامة أو التبلور المبكر، مثالها غابرو - نوريت شرائطي الموجود في صخور البلاتفورم النارية القديمة، كذلك صخور الدونيت - هارتزبرجيت الشرائطية البنية.

إن البنية الشرائطية أو المخططة حسب رأي بعضهم ناتجة عن التبلور أثناء حركة الماغما أو لأسباب أخرى تؤدي إلى تشكيل خطوط أو أشرطة أو مظهر غنيسي وتراكيتي.

5-1-6- البنية الغيسية:

بنية تميز الصخور الاندفاعية كاملة التبلور مع تحت توجه للفلات القائمة، وتظهر نتيجة تبلور الماغما تحت تأثير الضغط الموجه (تسمى أيضاً هذه البنية بالصفوفية المتقطعة).

5-1-7- البنية التراكيتية:

ترتبط هذه البنية بتوضع الفلات الصفائحية القلوية ذات الشكل اللوحي أو الموشوري المتطاوّل، بشكل متوازٍ نتيجة حركة الماغما ضمن مجال ضيق يؤدي إلى توجه الفلات باتجاه الحركة.

5-1-8- البنية السيلية:

تميز الصخور الزجاجية أو نصف الزجاجية، والتي تتوجه فيها طلائع التبلور بشكل يتوافق والتيارات المتحركة في اللافا.

5-1-9- بنية تاكسيتية بريشية:

تتميز بتوزع مبرقش دون انتظام لأوضاع بعض الفلات، وتشكل مثل هذه البنيات بطريقتين:

- 1- تحدث بأن يجري بعد تبلور جزء من الماغما تكسرات، ومن ثم جمع وربط الكسيرات باسمنت أو ملاط ناتج عن تبرد بقايا الماغما التي قد تختلف من حيث التركيب عن الكسيرات بأنها أكثر حامضية.
- 2- وتحدث بأن تخرق بقايا المصهور الماغمي الكتل المبلورة على شكل عروق.

5-2- بنية الصخور الاندفاعية السطحية (البركانية):

5-2-1- البنية المتجانسة:

حيث تتوزع الفلزات بشكل منتظم في جميع أنحاء الصخر، وتدل على ظروف متماثلة في التبلور.

6-2-2- البنية التاكسيتية:

تتميز بعدم التوزع المنتظم للفلزات، وتتضمن عدة أنواع:

- 1- البنية التاكسيتية وشبه التاكسيتية والتي تضم تحت بنيتين وهما:
- أ- بنية تاكسيتية بريشية.
- ب- بنية شليرية.

وقد تم وصف هذه البنيات في البنيات العميقة.

2- البنية التاكسيتية الكروية.

وهي ذات توزع غير منتظم في الصخر بشكل كرات أو شبه كروي (سفيروليتي)

3- بنية تاكسيتية متمركزة تطبيقية:

تتميز بوجود كرات منفصلة سفيروليتية تاكسيتية.

5-2-3- البنية الكتلية المتماسكة:

وهي بنية متماسكة تتوضع فيها الفلزات بجانب بعضها بعضاً بشكل لا تسمح بتواجد فراغات ناتجة عن الغازات.

5-2-4- البنية شبه التاكسيئية:

وتتضمن أنواعاً مختلفة مثل البنية التاكسيئية الرقائقية، بنية تاكسيئية طفيفة، بنية تاكسيئية مؤلفة من توضعات متوازية، بنية تاكسيئية مخططة، وهي تعني توضع أنواع متنوعة التركيب (غير متجانسة من حيث التركيب ومن حيث التركيب البلوري) اللون، التركيب الفلزي، المسامية.

5-2-5- البنية الفلويديية:

تميز اللافا الحامضية ومتوسطة التركيب المؤلفة من أنواع غير متجانسة من اللافا تظهر حركة الماغما.

5-2-6- البنية البيرليتية:

تتواجد عادة في الماغما الحامضية نتيجة تصلب الزجاج مشكلة كرات متمركزة يصل قطرها إلى (1-3 مم)، لؤلؤي اللون.

5-2-7- البنية الماريكونية:

بنية تتواجد في الصبات الحامضية، عندما يتوزع في الصخور البيرليتية أجزاء من كرات من الأوبسيديان بشكل غير منتظم غير متأثرة بعملية امتصاص الماء، عادة ما تكون هذه الكرات قاتمة اللون.

5-2-8- البنية الكروية أو السفيروليتية:

تميز الصبات والصخور الحامضية وتتميز بوجود كرات أو أشكال كروية.

5-2-9- البنية الفراغية:

تميز اللافا المتدفقة الحاوية على الغازات وحسب نسبة الغاز يستخدم أحد المصطلحات التالية:

5-2-9-1- البنية اللوزية:

وهي البنية التي تكون فيها الفراغات مملوءة بأي فلز من الفلزات.

5-2-9-2-بنية ميكروليتية:

وتقسم إلى:

1- بنية بورفيرية حيث تكون مؤلفة من فلزات فينوكريست (كبيرة) تتوضع

ضمن أرضية خفية التبلور أو مبلورة أو نصف مبلورة ناعمة.

2- بنية آفيرية: وهي ناعمة لا تحوي بلورات كبيرة، وتكون عدة أنواع

أورتوفيرية، فونوليتية، ميكروبيكيلية، تراكتية، بيلوتاكسيتية، أنترسيرتالية،

سيليتية، هبالو بيليتية، فاريوليتية). سنورد شرحاً لبعض هذه البنيات:

البنية الفونوليتية:

هي بنية تميز صخر الفونوليت تتألف من خليط بين الأفانيتية (فلزات

ناعمة) وحتى البورفيرية.

البنية الميكروبيكيلية:

وهي بنية مؤلفة من فلزات متوضعة داخل فلزات أكبر.

البنية الأنترسيرتالية:

وهي بنية تتألف من بلورات بلاحيوتلاز تأخذ شكل مثلث يتوضع بينها

زجاج.

البنية الهبالوبييليتية:

وهي بنية مؤلفة من بلورات بلاحيوكلاز متوضعة ضمن زجاج.

البنية البيلوتاكسيتية:

هي البنية لأرضية الصخور نارية كاملة التبلور حيث يتوضع بلورات

متطاولة من الميكروكلين في أرضية زجاجية.

البنية السيليتية:

وهي بنية ناعمة للصخور البازلتية المحيطية الفاسدة جزئياً والمتفاعلة مع

مياه المحيط.

البنية القاريوليتية:

وهي بنية كروية ليفية من البلاجيوكلاز والبيروكسين المتواجدة في زجاج القشرة البازلتية للدايكات والسيالات والبيلولافا.

5-2-10- البنية الزجاجية:

تتألف من عدة أنواع:

5-2-10-1- ليفية بورفيرية (فيتروبورفيرية)

وهي بنية بورفيرية تحوي بلورات كبيرة من فلزات ليفية ضمن وسط زجاجي.

5-2-10-2- فيتروافانيتية (ليفية أفانيتية):

بنية تتميز بأرضية أفانيتية (خفية التبلور) مع بلورات ليفية ضمن هذا الوسط.

5-2-10-3- البنية المبلورة:

حيث تكون البلورات واضحة التبلور، صغيرة، متوسطة وحتى كبيرة.

5-2-10-4- البنية الزجاجية (هيايتية):

حيث تتشكل من أرضية زجاجية سيليكاتية تحوي بحدود (3-8%) ماء، لأنها تحوي بنيات مختلفة ولا تُظهر تغيراً لونياً (بنيات متتابعة طبقية)

5-2-11- البنية المختلطة:

5-2-11-1- البنية التراكتية - الهيبنديومورفية:

وهي بنية تراكتية تمر من البنية الهيبنديومورفية إلى بلورات موشورية.

5-2-11-2- البنية الغابروية الأوفيتية:

وهي تجمع بين البنية الغابروية والأوفيتية وهي بنية شعاعية، غلوميروبوروفيرية.



الفصل السادس

تصنيف الصخور الاندفاعية

العميقة والسطحية

- 6-1- حسب أماكن تشكلها أو تبردها
- 6-2- حسب التركيب الكيميائي
- 6-3- حسب التركيب الفلزي
- 6-4- حسب التصنيف الكمي الفلزي



تصنيف الصخور الاندفاعية

العميقة والسطحية

تصنف الصخور الاندفاعية بالاعتماد على عدة أسس، وهي:

- 1- حسب أماكن تشكلها، أو تبردها.
 - 2- حسب تركيبها الكيميائي.
 - 3- حسب تركيبها الفلزي.
 - أ- حسب المعيار اللوني للفلزات.
 - ب- حسب نسب الفلزات الفاتحة والقائمة المئوية.
 - ج- حسب درجة تبلور الفلزات
 - د- حسب نوعية الفلزات.
 - 4- حسب التصنيف الكمي الفلزي.
 - 6-1- حسب أماكن تشكلها، أو تبردها:
- تقسم الصخور النارية وفقاً لهذا التصنيف إلى:
- 6-1-1- صخور عميقة:

تتشكل نتيجة تبرد الماغما على أعماق كبيرة من القشرة الأرضية على شكل أجسام ضخمة مثل اللابوليث، اللاكوليث، الستوك، ذات تبلور كامل وشامل، حجم الحبيبية أكبر من 5 مم، وهي كتلية، متراسة، متماسكة، فلزاتها متجانسة التوزع وترى بالعين المجردة دون حاجة للمكبرة أو المجهر، وتشكل في الأعماق السحيقة من القشرة الأرضية.

6-1-2- صخور متوسطة العمق:

تتشكل على أعماق متوسطة على شكل أجسام غير كبيرة، تبلورها شامل، حجم حبيباتها صغير أصغر من (5 مم)، كتلية، متراسة، متجانسة، حيث تتوزع فلزاتها بشكل متجانس في الصخر، وترى فلزاتها بوضوح أقل من الصخور العميقة

وتتبرد في أعماق متوسطة بين العميقة والسطحية.

6-1-3- صخور قرب سطحية:

تتشكل قريباً من السطح مشكلة دايات وسيلات، تبلورها شامل، دقيقة التبلور، كتلية متراسة، متماسكة، متجانسة تنتج عن التبريد السريع نسبياً، لذلك تكون فلزاتها دقيقة لا تتجاوز 3 مم، وترى بصعوبة بالعين المجردة وتحتاج، إلى مكبرة أو مجهر لدراستها، وهي تتبرد على أعماق قريبة من سطح الأرض.

6-1-4- صخور عرقية:

تتشكل تحت سطح الأرض على أعماق مختلفة، عادة ما تكون متفرعة وقاطعة للصخور التي تصادفها، تتشكل من التشققات الصغيرة والعروق، وهي إما أن تكون سطحية أو متوسطة العمق أو عميقة، وتكون إما بشكل عروق دقيقة، أو ضخمة الحبيبات كتلية، متراسة، متماسكة، متجانسة، ويمكن أن تكون غير متجانسة.

6-1-5- صخور سطحية (بركانية أو مخترجة):

تنتج عن تدفق اللافا على سطح الأرض بتماس مع الهواء مشكلة الصبات البركانية، أو الصخور الحطامية البيروكلاستية، تنتج عن المخاريط البركانية ويمكن أن تكون مؤلفة من الصبات والصخور البيروكلاستية الحطامية معاً، ويمكن لهذه اللافا أن تتدفق تحت مياه البحار والمحيطات معطية ما يسمى بالوسائد البركانية (البيلولافا)، وتكون الصخور الناتجة عن البركة ذات تبلور مجهري (خفية التبلور)، نصف مبلورة (زجاج + بلورات)، أو زجاجية (عديمة التبلور)، كما هو الحال في صخور الأوبسيديان، والبنتستين وغيرها. أما في حالة البيلولافا فهي تتألف من وسائد مؤلفة من طبقة بازلتية سبيليتية سطحية خفية التبلور تحوي بين حناياها فلزات أكثر وضوحاً بسبب التبريد البطيء نسبياً.

6-2- حسب التركيب الكيميائي:

6-2-1- حسب نسبة أكسيد السيليكا (SiO_2):

تقسم الصخور الاندفاعية بالاعتماد على الأوكسيد الرئيسي وهو أوكسيد السيليس الذي يحدد درجة حموضة (حامضية الصخر) أي حسب النسبة الوزنية لهذا الأوكسيد إلى أربع زمر، وهي:

- 1- الصخور فوق الأساسية حيث نسبة أوكسيد السيليس أقل من (45%).
- 2- الصخور الأساسية حيث نسبة أوكسيد السيليس الوزنية تتراوح بين (45-50%).
- 3- الصخور متوسطة التركيب حيث النسبة الوزنية لأوكسيد السيليس تتراوح بين (52-65%).
- 4- الصخور الحامضية حيث النسبة الوزنية لأوكسيد السيليس تتراوح بين (65-75%)، أو أكثر من (65%) (الجدول رقم 1)

6-2-2- حسب نسبة السيليكا مقابل مجموع أوكسيد الصوديوم وأكسيد البوتاسيوم:

تقسم إلى:

- 1- صخور كلسية - قلوية (نظامية)، لا تحوي فلزات قلوية.
- 2- صخور تحت قلوية وتكون نسبة القلويات متوسطة، ولا تحوي فلزات قلوية حقيقية.
- 3- صخور قلوية وتحوي على فلزات قاتمة قلوية (بدون صفاح أو صفاح حديث)

تحت كل مجموعة من هذه الصخور توجد مجموعات بتركيبات تقسم حسب احتوائها على أوكسيد السيليكا، فمجموعة الصخور النظامية تضم الدونيت، بيريدونيت بيروكسينيت، غابرو ديوريت، ديوريت كوارتزي، غراتوديوريت، غرانيت

ومقابلاتها السطحية مثل (الكاماتيت، بيكريت، بازلت، أنديزيت، بازلت، أنديزيت داسيت، لياريت).

أما صف الصخور تحت القلوية فتحتوي، بيريدوتيت أمفيبولي ميكروي، ميمشكيت، الغابرو تحت القلوي، تراكيت تحت قلوي، سيانيت، تراكيت، غرانوسيانيت، تراكي لياريت.

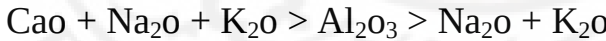
أما الصخور القلوية فتضم: ياكوبيرا نجيت، أيوليت، أورثيت، نيفلليت، ايسكسيت، شونكونيت، فيرغوسيت، تيفريت، بازانيت، سيانيت نيفليني، فونوليت، غرانيت قلوي، بانتيليريت، كومنديت (جدول 2)

وتبعاً لنسب القلويات في المجموعات السابقة يمكن أن نميز في كل منها عدة زمر: فقير جداً، فقيرة، متوسطة، غنية، غنية جداً بالقلويات، ويمكن أن نطبق ذلك أيضاً على كل من أكاسيد الألمنيوم، الحديد، المغنيزيوم، المنغنيز، ومجموع مغنيزيوم مع المنغنيز وغيرها من الأكاسيد.

6-2-3- تصنيف الصخور كيميائياً بالاعتماد على علاقة القلويات بالألومنيا:

حيث تصنف الصخور الاندفاعية حسب علاقة المقادير الجزئية لأكاسيد الألومنيا، الكالسيوم، الصوديوم والبوتاسيوم وفق العلاقات المبينة التالية:

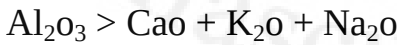
1-زمرة الصخور النظامية حيث:



2-زمرة الصخور فوق المشبعة بالقلويات



3-زمرة الصخور فوق المشبعة بالألومنيا



6-3- حسب تركيبها الفلزي:

وهنا عدة معايير بهذا التصنيف، وهي:

6-3-1- حسب لون الفلزات.

6-3-2- حسب النسبة المئوية للفلزات الفاتحة والقاتمة.

6-3-3- حسب درجة تبلور الفلزات.

6-3-4- حسب أولوية تشكل الفلزات ونوعيتها.

6-3-1- حسب لون الفلزات:

تصنف الصخور الاندفاعية سواءً أكانت سطحية أم عميقة حسب المعيار اللوني، حيث إن الفلزات المشكلة للصخور الاندفاعية منها ما يكون فاتح اللون ومنها ما يكون قاتماً، وحسب غلبة هذه الفلزات أو تلك، قسمت الصخور الاندفاعية إلى:

6-3-1-1- مجموعة الصخور المميزة بفلزات فاتحة أو بيضاء:

حيث يسيطر على تركيب مثل هذه الصخور الفلزات الفاتحة مثل الكوارتز، الصفاح، الميكا الفاتحة، الصفاح الحديث في حين أن الفلزات القاتمة أو السوداء تكون أقل أو معدومة، ويصبح الصخر في هذه الحالة فاتحاً كما هو الحال في صخر الغرانيت.

6-3-1-2- مجموعة الصخور المميزة بفلزات قاتمة أو سوداء:

حيث تسيطر الفلزات القاتمة على تركيب الصخر مثل فلزات الأوليفين، البيروكسين، الأمفيبول، الميكا القاتمة، في حين أن الفلزات البيضاء تكون أقل أو معدومة، كما هو الحال في صخر الغابرو، البازلت، مجموعة الصخور فوق الأساسية.

ويمكن إضافة مجموعة ثالثة من الصخور والتي تعد انتقالية بين النوعين السابقين المؤلفة من نسب متوسطة، حيث تحوي على مجموعتي الفلزات الفاتحة والقاتمة معاً، وهي:

6-3-1-3- مجموعة الصخور متوسطة اللون:

وهذه تضم صخوراً مثل صخر الديوريت متوسط اللون، والذي يحتوي نسبة

متوسطة من خليط مجموعتي الفلزات السابقة، أي الفاتحة والقاتمة، والتي تعطي الصخر لوناً وسطاً بين المجموعات السابقة.

6-3-2- حسب النسبة المئوية للفلزات الفاتحة والقاتمة:

حيث تقسم الصخور حسب النسبة المئوية للفلزات الفاتحة والقاتمة على الشكل التالي:

1- صخور فاتحة اللون، ويطلق عليها اسم ليكو Leuco حيث نسبة الفلزات القاتمة (12.5-37.5%).

2- صخور متوسطة اللون ويطلق عليها Mezo ونسبة الفلزات القاتمة (37.5-62.5%).

3- صخور عالية التلون أو قاتمة ويطلق عليها اسم ميلانو Melano ونسبة الفلزات القاتمة (62.5-87.5%).

6-3-3- حسب درجة تبلور الفلزات:

حيث تصنف الصخور حسب درجة تبلور الفلزات إلى:

1- صخور ذات حبات خشنة، حجم الحبات (الفلزات) أكبر من (5 مم).

2- صخور ذات حبات متوسطة (تبلور متوسط)، حجم الحبات (الفلزات) يتراوح بين (1 - 5 مم)

3- صخور ذات تبلور ناعم أي حبات ناعمة، حيث حجم الحبات (الفلزات) أقل من 1 مم.

وعليه تقسم الصخور إلى صخور خشنة التبلور مثالها الصخور العميقة وهي التي تشكلت في الأعماق السحيقة من القشرة الأرضية مثل الغابرو، والغرانيت، الصخور فوق الأساسية الديوريت وغيرها من الصخور عميقة المنشأ، وصخور متوسطة الخشونة، وهي الصخور المتشكلة في الأعماق المتوسطة من القشرة الأرضية، حيث يكون تبردها أسرع من سابقتها، مثل الغرانيت متوسط

الخشونة، الغابر متوسط الخشونة وغيرها.
وأخيراً صخور ناعمة التبلور وهي الصخور السطحية ناعمة التبلور حيث
من الصعب تمييز فلزاتها بالعين المجردة.

6-3-4- حسب أولوية تشكل الفلزات ونوعيتها:

حيث يتعلق التركيب الفلزي لصخر ما بتركيبه الكيميائي من جهة
وبالشروط الترموديناميكية لتبلوره من جهة أخرى، حيث يؤدي كل من السيليس
والألومنيوم دوراً رئيسياً في تحديد التركيب الفلزي، وتبعاً لذلك تقسم الفلزات المكونة
للصخور إلى:

6-3-4-1- فلزات أولية:

وهي الفلزات التي تبلورت مباشرة من المهل بنتيجة التبريد وتقسم هذه
الفلزات إلى ثلاثة أنواع حسب أهميتها في الصخر:

1- فلزات رئيسية.

2- فلزات درجة ثانية.

3- فلزات درجة ثالثة.

ومنه فإن:

1- الفلزات الرئيسية:

هي الفلزات التي تبلورت أولاً من الماغما أثناء تشكل الصخر، وتقسم
حسب تركيبها الكيميائي وحسب زمن تبلورها ولونها إلى نوعين:
أ- فلزات رئيسية فاتحة اللون مثل الكوارتز، الصفاح، الصفاح الحديث، والميكا
البيضاء.

ب- فلزات رئيسية قاتمة اللون مثل أوليفين، بيروكسين، أمفيبول، ميكا سوداء.

2- فلزات الدرجة الثانية:

وتكون هذه الفلزات في الصخر بنسبة لا تتجاوز (5%)، ولا تؤثر في

طبيعة أو تسمية الصخر، وينسب إلى هذه الفلزات أي فلز من الفلزات الرئيسية إذا ما تواجد في الصخر بنسبة قليلة.

3-فلزات الدرجة الثالثة:

وتكون هذه الفلزات في الصخر بنسبة لا تتجاوز (3%)، منها زركون، أباتيت، تورمالين، روتيل، سفين، سبينيل، ماغنيتيت، هيماتيت، إيلمينيت، كروميت.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذه الفلزات يمكن تسميتها في بعض المراجع أحياناً بالفلزات النادرة أو الفلزات الثانوية.

6-3-4-2- الفلزات الثانوية:

وهي لاحقة التبلور، قد تكون تحولية أو هيدروترمالية، أو ناتج فساد الفلزات الأولية، ومنها السرينتين، الإيدنغزيت، تالك، كلوريت، تريموليت، أيبيدوت سيرسيت، موسكوفيت، كاولينيت، كربونات.

وبالاعتماد على تركيب الفلزات المشكلة للصخور ونوعيتها وعلى ألوانها نستطيع أن نصنف الصخور إلى صخور عميقة وسطحية فاتحة وقاتمة في جدول حيث يشكل فيه الاتجاه العمودي الفئات والاتجاه الأفقي الصفوف التي تتطوي تحتها العائلات على الشكل التالي:

1-صف الصخور ذات الصفاح والمرو، وفيه ثلاث عائلات:

أ-عائلة الغرانيت - ريوليت القلوية ذات أوتوز.

ب-عائلة الغرانيت - ريوليت كلسي - قلوي ذات أورتوز وبلاجيوكلاز.

ج-عائلة ديوريت - أنديزيت المروي ذات بلاجيوكلاز.

2-صف الصخور ذات الصفاح فقط: وفيه العائلات الأربع التالية:

أ-عائلة سيانيت - تراكيت قلوي ذات أورتوز.

ب- عائلة سيانيت - تراكيت كلسي - قلوي ذات أورتوز وبلاجيوكلاز.

ج- عائلة ديوريت أنديزيت بلاجيو كلاز ($An < 50\%$)

د- عائلة غابرو - بازلت ذات بلاجيوكلاز ($An > 50\%$)

3- صف الصخور ذات الصفاح والصفاح الحديث، وفيه أربع عائلات:

أ- سيانيت - فونوليت نيفليني قلوي ذات أورتوز ونيفلين.

ب- سيانيت - فونوليت كلسي - قلوي ذات أورتوز وبلاجيوكلاز ونيفلين.

ج- إيسكيت - تيفريت ذات بلاجيوكلاز ولوسيت.

د- ثيراليت - بازانيت ذات بلاجيوكلاز ولوسيت.

4- صف الصخور ذات الصفاح الحديث فقط، وفيها ثلاث عائلات:

أ- إيجوليت - نيفيلينيت تتألف من النيفلين.

ب- ميليليت تتألف من ميليليت فقط.

ج- لوسيتيت تتألف من لوسيت فقط.

أما بالنسبة لمجموعة الصخور القائمة فهي تحوي أيضاً عدة صفوف تتطوي تحتها عدة عائلات حسب نوع الفلزات المشكلة لهذه الصخور ولونها وتركيبها على الشكل التالي:

1- صف الأمفيبوليت ويضم عائلتين:

أ- عائلة الهورنبلانديت وتتألف من هورنبلاند.

ب- عائلة الأكتينوليت وتتألف من الأكتينول أو (الأكتينوت)

2- صف البيروكسينيت ويضم خمس عوائل، وهي:

أ- عائلة ديوبسيديت وتحوي الديوبسيد.

ب- عائلة ديالاجيت وتحوي الديالاج.

ج- عائلة هبرستينيت وتحوي هبرستين.

د- عائلة برونزيتيت وتحوي برونزيت.

هـ- عائلة أريجيت وتحوي ديوبسيد + ديالاج + هبرستين + غرينا.

3- صف البيريدوتيت وتضم سبع عائلات:

- أ- عائلة الألوفينيت وتتألف من أوليفين + ماغنيتيت.
- ب- عائلة الدونيت وتتألف من أوليفين + كروميت.
- ج- عائلة وهرليت (فيرليت) وتتألف من كلينوبيروكسين + أوليفين.
- د- عائلة الهارتزيرجيت وتتألف من أوليفين + أورثوبيروكسين + كروم سينيل.
- هـ- عائلة الليروزوليت وتتألف من أوليفين + أورثوبيروكسين + كلينوبيروكسين.
- و- عائلة كورتلانديت وتتألف من أوليفين + أمفيبول.
- ز- عائلة كمبرليت وتتألف من أوليفين + بيروكسين + بيوتيت (أوفلوغوبيت).

كما هو مبين في الجدولين (1 و 2)

جدول رقم (1) تصنيف الصخور الاندفاعية الباطنية حسب التركيب القلزي

مجموعة I صخور اندفاعية مميزة بفلازات فاتحة													
صنف		صخور ذات صفاح وكوارتز		صخور ذات صفاح فقط		صخور ذات صفاح حديث		صخور ذات صفاح حديث		صنف		صخور ذات صفاح	
فئة		غرانيت قلوي		سينيت قلوي		سينيت نيفيليني قلوي		إيجوليت		صخور ذات نيفيلين		فئة	
صخور ذات أورتنوز		غرانيت قلوي		سينيت قلوي		سينيت نيفيليني قلوي		إيجوليت		صخور ذات نيفيلين		فئة	
صخور ذات أورتنوز وزيلاجيوكلاز		غرانيت قلوي كلسي		سينيت كلسي قلوي		سينيت نيفيلي كلسي قلوي		-		صخور ذات ميلاليت		فئة	
صخور ذات بلاجيوكلاز فقط		ديوريت مروي		ديوريت		إيسيكسيت		-		صخور ذات لوسيت		فئة	
		-		غابرو		تيراليت		-					
				An < 50 %		An < 50 %		An < 50 %					
				An > 50%		An > 50%		An > 50%					
مجموعة II صخور اندفاعية مميزة بفلازات قاتمة													
صنف البيروكسينيت						صنف البيرودوتيت						صنف الأمفيبوليت	
هورنبلاند		أكتيتوت		ديويسيد		ديالاج		هيرستين		برونزيت		ديو بسيد	

جدول (2) - تصنيف الصخور الاندفاعية السطحية (البركانية) حسب معيار التركيب الفلزي

I - مجموعة الصخور الاندفاعية المميزة بفلزات فاتحة					
فئة	صف	صخور ذات صفاح وكوارتز	صخور ذات صفاح فقط	صخور ذات صفاح وصفاح حديث	صخور ذات صفاح حديث
صخور ذات أورتوز	ريوليت قلوي	تراكيب قلوي	فونوليت قلوي	نيفيلينيت	صخور ذات نيفيلين
صخور ذات أروتوز وبلاجيوكلاز	ريوليت كلسي - قلوي	تراكيت كلسي قلوي	فونوليت كلسي قلوي	ميلابيتيت	صخور ذات ميلابيت
صخور ذات بلاجيوكلاز فقط	داسيت	أنديزيت	تيفريت	لوسيتيت	صخور ذات لوسيت
	-	بازلت	بازانيت		
II-مجموعة الصخور الاندفاعية المميزة بالفلزات القائمة					
صف الأمفيبوليت	صف البيروكسينيت	صف البيريدوتيت			
-	أوجيتيت	كمبرليت لامبرونيد			

وسوف ندرس الآن مجموعات الصخور الواردة في الجداول:

I-مجموعة الصخور المميزة بالفلزات الفاتحة:

تتميز هذه المجموعة من الصخور الاندفاعية بسيطرة الفلزات الفاتحة حيث تتراوح نسبة الفلزات الفاتحة بين (70-85%) في حين تصل نسبة الفلزات القاتمة بين (15-30%)، وعليه نجد من خلال دراسة الجداول التصنيفية السابقة من وجهة النظر البتروكيميائية بأن الصخور تصنف وفق المعايير التالية:

أ-نسبة السيليكا. ب-نسبة القلويات

ج-نسبة القلويات والكالسيوم د-حسب نسبة السيليكات والقلويات

أ-حسب النسبة المئوية للسيليكا (SiO_2):

- 1- يتميز صف الصخور ذات الصفاح والكوارتز بأنه فوق مشبع بالسيليكا.
- 2- يتميز صف الصخور ذات الصفاح فقط دون وجود مرو ودون وجود صفاح حديث بأنه مشبع بالسيليكا.
- 3- يتميز صف الصخور ذات الصفاح والصفاح الحديث بأنه غير مشبع بالسيليكا.

4- يتميز صف الصخور ذات الصفاح الحديث بأنه فقير بالسيليكا.

ب-تتميز فئات هذه المجموعة وفق نسبة القلويات (K_2O , Na_2O):

- 1- فئة الصخور ذات الصفاح القلوي (الأرتوز) فقط بأنها صخور قلوية غنية بالقلويات، ويزداد غناها باتجاه يسار الجدول.
- 2- فئة الصخور ذات صفاح بوتاسي وبلاجيوكلاز، أو ما يسمى بالصخور الكلسية - القلوية، وهي متوسطة الغنى بالقلويات، ويزداد نحو اليسار.
- 3- فئة الصخور ذات البلاجيوكلاز فقط أو الصخور الكلسية القلوية، وهي فقيرة بالقلويات، وتزداد نسبتها باتجاه اليسار في الجدول.

ج- تتميز فئات هذه المجموعة بالاعتماد على نسبة القلويات والكالسيوم (K_2O , Na_2O , CaO)

1- فئة الصخور ذات الصفاح القلوي (الأورتوز)، وهي قلوية بوتاسية تحوي K_2O .

2- فئة الصخور ذات الصفاح القلوي والبلاجيوكلاز، وهي صخور كلسية قلوية تحوي (Na_2O , K_2O , CaO)

3- فئة الصخور ذات البلاجيوكلاز فقط، وهي عبارة عن الصخور الكلسية - الصودية لأن فلزات البلاجيوكلاز هي مجموعة متكاملة تبدأ من الأنورتيت الكلسي $CaAl_2Si_2O_8$ وتنتهي بالألبيت الصودي $NaAlSi_3O_8$.

د- تصنف عوائل هذه المجموعة حسب نسبة السيليكا والقلويات إلى زميرتين:

- 1- زمرة الصخور القلوية وتضم عوائل النصف الأيسر من الجدول.
- 2- زمرة الصخور الكلسية القلوية (النظامية)، وتضم عوائل القسم الأيمن من الجدول.

وتقسم هذه الصخور إلى:

1- الصخور الحامضية الفاتحة:

وهي الصخور المغماتية العميقة والسطحية التشكل فاتحة اللون تصل نسبة الكوارتز فيها (30-40%)، وتكون نسبة السيليكا (68-73%)، وتعد مرتفعة البوتاسية عندما تكون $K_2O > Na_2O > 3$ ، ومرتفعة القلوية عندما $\frac{K_2O + Na_2O}{Al_2O_3} > 1$ ومرتفعة الألومنية عندما $\frac{K_2O + Na_2O}{Al_2O_3} < 1$ وتقسم إلى:

- 1- الصخور الحامضية العميقة.
- 2- الصخور الحامضية تحت السطحية (قرب سطحية).
- 3- الصخور الحامضية السطحية (البركانية).

1-1-1- الصخور الحامضية العميقة:

1-1-1-1- الصخور الحامضية النظامية (الكلسية - القلوية)

تكون نسبة السيليكا فيها (68-73%) ومجموع أوكسيد البوتاسيوم والصوديوم (7-8%) ($K_2O + Na_2O = 7-8\%$) مع نسبة مرتفعة من الألومينا. وتزداد نسبة حامضية البلاجيوكلاز، والأورثوكلاز والميكروكلين ونسبة البيوتيت (من الفلزات القائمة)، بينما تنخفض نسبة الفلزات القائمة بازدياد نسبة الكوارتز في الغرانيتويدات (أنواع الغرانيت المختلفة).

وتقسم هذه الصخور حسب نسبة الاحتواء على الكوارتز وعلى نسبة البلاجيوكلاز والميكروكلين والأورثوكلاز إلى مجموعات:

حسب نسب الاحتواء على الكوارتز:

- مجموعة الغرانوديوريت حيث تكون نسبة الكوارتز (15 - 25%)، وتكون نسبة البلاجيوكلاز في هذه الصخور أكبر من نسبة الأورثوكلاز والميكروكلين.
- مجموعة الغرانيت حيث نسبة الكوارتز (25 - 55%)، وتكون نسبة البلاجيوكلاز مساوية لنسبة الأورثوكلاز والميكروكلين.

* حسب نسبة البلاجيوكلاز والأورثوكلاز والميكروكلين تقسم إلى:

- مجموعة البلاجيوغرانيت، وتكون نسبة الأورثوكلاز والميكروكلين منخفضة، وتكون نسبة البلاجيوكلاز مرتفعة وتصل إلى (80 - 85%).
- مجموعة الآلاسكيت حيث نسبة الأورثوكلاز والميكروكلين مرتفعة، أما نسبة البلاجيوكلاز فتكون أقل من (10%).

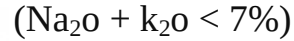
تضم مجموعة الصخور العميقة الحامضية النظامية أربع عائلات، وهي:

أ- عائلة الغرانوديوريت:

تصنف حسب نسبة السيليكا تتراوح بين (64 - 68%)، ونسبة أوكسيد الصوديوم والبوتاسيوم تكون أقل من (7.5-8.1%).
($Na_2O + K_2O < 7.5 - 8.1\%$)

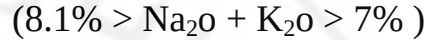
ب- عائلة الغرانيت منخفض القلوية:

تكون فيها نسبة السيليكا أكبر من (68%) ونسبة القلويات أقل من (7%).



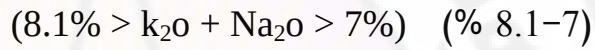
ج - عائلة الغرانيت النظامية (الكلسية - القلوية):

تتراوح نسبة السيليكا بين (68 - 73%) ونسبة القلويات بين (7-8.1%)



د- عائلة الليكوغرانيت:

حيث نسبة السيليكا تكون أعلى من (73%) ونسبة القلويات تتراوح بين



وسنعمد إلى دراسة كل عائلة على حده فيما يلي:

أ- عائلة الغرانوديوريت:

- التسمية: أعطيت بالاعتماد على وضوح الفلزات والآتية من كلمة (Granom)

ومن الكلمة اليونانية (Diorite) وتعني يميز.

- اللون والبنية: صخر رمادي مخضر، ضخيم كبير، متوسط إلى ناعم الحبيبة،

متجانس أو غير متجانس الحبيبة ويمكن أن يكون بورفيرياً، البنية كتلية نادراً ذات

مظهر غنيسي.

- الفلزات المشكلة:

1- الفلزات الرئيسية:

- بلاجيوكلاز: 28-60.5% عادة يكون تمنطقياً، (النواة هي An_{30-50} وبشكل

أندر An_{60} ، والمحيط يكون An_{5-30})، ويكون البلاجيوكلاز لوحياً.

- الصفاح البوتاسي: أورثوكلاز - ميكروكلين.

- الأمفيبول: وهو عادة من نوع الهورنبلاند، يشكل الهورنبلاند بشكل حبات كاملة

الوجهية قصيرة أو طويلة لا تتضح فيها الحواف.

- البيوتيت: ويكون بشكل بلورات لوحية كبيرة مع وريقات ناعمة ويتوضع البيوتيت

بين الفلزات الأخرى.

2 - فلزات الدرجة الثانية:

ماغنيتيت، كلينوبيروكسين (أوجيت)، تيتانوماغنيتيت، إيلمينيت.

3 - الفلزات الثانوية:

وهي: أباتيت، تيتانيت، زركون وبشكل أندر أورثيت، فلوريت، غرانات، تورمالين روتيل (هناك 45 فلزاً ثانوياً).

4 - الفلزات النامية على حساب الفلزات الرئيسية:

- إبيدوت: وينمو على حساب جميع الفلزات الرئيسية.

- كلوريت: وينمو على حساب البيوتيت والهورنبلاند.

- سيرسيت، كاربونات، البييت وينمو على حساب البلاجيوكلاز.

ويُعدّ صخر التوناليت فرداً من أفراد عائلة الغرانوديوريت.

نسبة الفلزات القائمة في الصخر يمكن أن تصل حتى (41%).

تعتمد الأنواع المختلفة في هذا الصخر على نسبة الفلزات القائمة وعلى شكل الفلزات المشكلة له وحجمها.

أ-1- التوناليت:

اللون: صخر رمادي مخضر، رمادي فاتح، حتى الرمادي القاتم.

حجم الحبات: كبير، متوسط الحبيبية، ناعم الحبيبية.

التجانس: متجانس، غير متجانس، ويمكن أن يكون بورفيرياً.

البنية Texture: كتلية أو غنيسية نادرة مخططة أو منقطة.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

أ- الفلزات الرئيسية:

- بلاجيوكلاز: يكون بشكل بلورات متناظرة من نوع الأنديزين، وهو الفلز المسيطر في الصخر.

-**الصفاح البوتاسي:** نادر ويمثل 10% من مجموع فلزات الصفاح وهو من نوع الأورثوكلاز.

- **كوارتز:** يملأ الفراغات بين الفلزات الأخرى.

- **كلينوبيروكسين:** وهو من نوع (ديوبسيد، أوجيت)، لا يتواجد بشكل دائم في صخر التوناليت، ينمو حوله فلز الهورنبلاند، ويتواجد بالإضافة إليه فلز الأورثوبيروكسين وهبرستين).

- **الأمفيبول:** وهو من نوع الهورنبلاند وذو تبلور كامل (وجهي).

- **البيوتيت:** يكون بشكل ألواح أو وريقات، ويعد من الفلزات الدائمة الوجود في الصخر.

2- فلزات الدرجة الثانية:

ماغنيتيت، تيتانوماغنيتيت، إلمينيت.

3- الفلزات الثانوية:

أباتيت، تيتانيت، زركون، روتيل.

4- الفلزات النامية على حساب الفلزات الرئيسية:

- كلوريت على حساب البيوتيت والهورنبلاند.

- البيت

- سيرسيت

- ساسوريت على حساب البلاجيوكلاز

- أيبيدوت على حساب الفلزات القاتمة

نسبة الفلزات القاتمة في الصخر يمكن أن تصل 41%، تعتمد الأنواع

المختلفة من هذا الصخر على نسبة الفلزات القاتمة، وعلى شكل الفلزات المشكلة له وحجمها.

ب- عائلة الغرانيتات منخفضة القلوية (تحت القلوية):

ينطوي تحت هذه العائلة صخرا البلاجيوغرانيت والغرانيت منخفض القلوية.

ب-1- البلاجيوغرانيت:

اللون: يتواجد الصخر بألوان الأبيض، الرمادي، الرمادي المخضر، ومختلف درجات الظلال الحمراء الرمادية.

حجم الحبات: كبير خشن إلى متوسط الخشونة، ذو مظهر بورفيرى.

البنية: كتلية، تاكسييتية، أحياناً موجهة، غنيسية.

الفلزات المشكلة للصخر:

1- الفلزات الرئيسية:

- بلاجيوكلاز: وهو من نوع أوليغوكلاز، أو أنديزين ونادراً لابرادور، تمنطقي كامل التبلور، لوحى (المركز أوليغوكلاز - أنديزين An_{20-30} ، والمحيط من نوع البيت An_{7-20}) يمثل (50 - 60%) من نسبة فلزات الصخر.
- الصفاح البوتاسي: أورثوكلاز (أورثوز) - ميكروكلين، ويمثل أقل من 5% من الصخر.

- بيوتيت ونادراً موسكوفيت: يمثل (5 - 8%)، وهو تموجي (بني مخضر وحتى بني محمر، نادراً ذو ظلال حمراء بنية)، ويكون بشكل صفائح.

- كوارتز يمثل (30 - 35%)

- هورنبلاند (5 - 8%)

- بيروكسين يمثل بلورات مفردة.

2 - الفلزات الثانوية:

أباتيت، زركون، ماغنيتيت، مونايت.

ما يميز صخر البلاجيوغرانيت هو ارتفاع نسبة البلاجيوكلاز والفلزات القائمة، وانخفاض نسبة الصفاح البوتاسي. ويتميز عن الديوريت الكوارتزي بارتفاع

الكوارتز نسبياً في الأخير وانخفاض الفلزات القائمة مع ازدياد في نسبة البيوتيت فيه، ونسبة السيليكات في البلاجيوغرانيت تصل بين (68 - 77%) وارتفاع نسبة الصوديوم مقارنة بالبوتاسيوم حيث $(\frac{Na_2O}{K_2O} \geq 7.1\%)$ ، وأحياناً أكثر، وهو ذو ألومينية مرتفعة، وللبلاجيوغرانيت عدة أنواع، منها:

ب- 1- 1- البلاجيوغرانيت الفاتح (ليكوبلاجيوغرانيت):

يحتوي بلاجيوكلاز حامضي (الببت - أوليغوكلاز)، ويمثل (70%)، كوارتز (25%)، مع نسبة قليلة من الفلزات القائمة، وعندها يسمى الصخر ترانديميت.

- البلاجيوغرانيت ثنائي الميكا (بيوتيت - موسكوفيت).

- بلاجيوغرانيت أنديزيني وبلاجيوغرانيت لابرادوري.

- أندريت (وهو بلاجيوغرانيت حاوٍ على هبرستين، ديوبسيد، غرانات)، وعلى تماس مع صخور البلاجيوغرانيت ينمو مكان النحاس، الحديد ضمن صخور استعاضية تماسية.

ب- 1- 2 - الغرانيت منخفض القلوية (تحت قلوي):

اللون: له ألوان فاتحة خاصة اللون الرمادي، الزهري.

حجم الحبات: متوسط - خشن الحبيبة، بورفيرى. البنية: كتلية، تاكسينية محليا.

الفلزات المشكلة للصخر:

- البلاجيوكلاز: (30 - 50%)، وهو من نوع (أوليغوكلاز - انديزين)، ويشكل

بلورات كاملة التبلور وجهة تمنطقية (المركز An_{35-40} حتى Ana_{55} ، أما المحيط فهو An_{15-25}).

الصفاح البوتاسي: (19 - 30%) تحت وجهي، بيريتي بشكل صفائح ضيقة وحتى المظهر الخيطي.

بيوتيت: (1 - 6%) من نوع (فلو غوبيت - أنيت، أيستونيت - سيديروفاليت).

الهورنبلاند: (صفر - 3%).

كوارتز: (21 - 33%).

أحياناً يتواجد البيروكسين.

2 - الفلزات الثانوية:

أباتيت، زركون، ماغنيتيت، إيلمينيت، أورثيت، غرانات.

تتميز هذه الصخور من حيث التركيب الكيميائي بارتفاع نسبة CaO , MgO , Al_2O_3 وانخفاض نسبة القلويات وما يميزها عن البلاجيوجرانيت هو ارتفاع نسبة K_2O فيه وانخفاض نسبة الفلزات القائمة، وهو مرتفع الألومينية.

وتتميز أنواع هذه الصخور عن بعضها بأنواع الصفاح وبالفلزات القائمة المشكلة لها، كذلك بظهور أو غياب الفلزات الألومينية.

ج- عائلة الغرانيت النظامية (الكلسية - القلوية):

اللون: رمادي فاتح، رمادي حتى الأصفر، زهري ويسيطر على الصخر اللون الزهري.

حجم الحبات: خشنة - متوسطة إلى ناعمة الحبيبة نادراً بغماتيتي.

التجانس: متجانس أو بورفيرى.

البنية: كتلية، غنيسية.

الفلزات المشكلة للصخر:

- كوارتز: (23 - 36%) في جميع أنواع الغرانيت يكون له جيلان الأول بشكل

بلورات كبيرة حتى (1 سم)، والجيل الثاني يكون بشكل بلورات صغيرة (1 - 5 مم)، بالإضافة إلى توضع داخل الصفاح البوتاسي بشكل انبثاقات ميكروغرافية.

- البلاجيوكلاز: (24 - 35) وأندر تصل (39 - 41)، وهو من نوع An_{30-36} حتى

An_{8-10} وعادة يكون An_{20-25} ، ويكون بشكل مواشير متطاولة أحياناً، ويكون

تمنطقي (المركز An_{30-40} والمحيط An_{20-15}) أوليغوكلاز - أنديزين.

- الصفاح البوتاسي: له شكل لوحى ويمثل (30%).

يلاحظ في أنواع الغرانيت أن نسبة البلاجيوكلاز تكون أكثر قليلاً من الصفاح البوتاسي، ونادراً تكون نسبة الصفاح البوتاسي أعلى من بلاجيوكلاز، في حين تكون متساوية في بعض الحالات.

- البيوتيت: يكون بشكل حبات لوحية متوضع بشكل جيلين يتراوح حجم حباته بين (2-5 و 0.5-2 مم) ويمثل (4%) من حجم الصخر، ويحتوي على أباتيت وزركون.

- أمفيبول:

يمثل (0.3-1%) من حجم الصخر.

- موسكوفيت:

يتواجد في الغرانيت نوعي الميكا، ويمثل (6%) من حجم الصخر مع العلم أن نسبته عادة لا تتجاوز (1-1.5%).

الأنواع المعروفة من الغرانيت تكون حاوية على فلزات ذات ألومينية مرتفعة كورديوريت، سيليمانيت، أندالوزيت).

تمثل نسبة السيليكا في الغرانيت النظامي (68%)، ونادراً ما تصل إلى (73%)، ونسبة أكسيد الصوديوم + أكسيد البوتاسيوم = 7-8%، أكسيد الصوديوم/أكسيد البوتاسيوم = 0.6-1.4، وهي مرتفعة الألومينية. لهذه الصخور أنواع مختلفة، منها: (الشكل 24).

• غرانيت بيوتيتي.

• غرانيت هورنبلاندي.

• غرانيت بيوتيتي - موسكوفيتي (ميكاوي).

• غرانيت هورنبلاندي - بيوتيتي.

د- عائلة اليكوغرانيت (الگرانيت الفاتح) تحت قلوي:

اللون: رمادي وزهري.

حجم الحبات: يتراوح بين بغماتيتي كبير الحجم وحتى ناعم الحبيبية.

البنية: كتلية نادرة مخططة، غنيسية.

الفلزات المشكلة للصخر:

أ- الفلزات الرئيسية:

- **البلاجيوكلاز:** تتراوح نسب البلاجيوكلاز بين (20 - 30%) في أغلب أنواع هذه الصخور، ونادراً ما يتراوح بين (11 و 22%) ويعود لجيلين. الجيل الأول تمنطقي، ذو توأمية وهو من نوع الأوليغوكلاز An_{22-33} وبحجم (4 - 5 مم)، أما الجيل الثاني أكثر حامضية An_{15-18} وحجمه أجزاء من المليمترات له توأمية البيت.

- **الصفاح البوتاسي:** أورتوكلاز، ميكروكلين، لوحى، حجم حبيباته (1 - 2 سم) وحتى ناعم الحبيبات (2 - 3 مم)، ويحوي الصفاح البوتاسي على انبثاقات من الألييت نسبة الصفاح (15-20%).

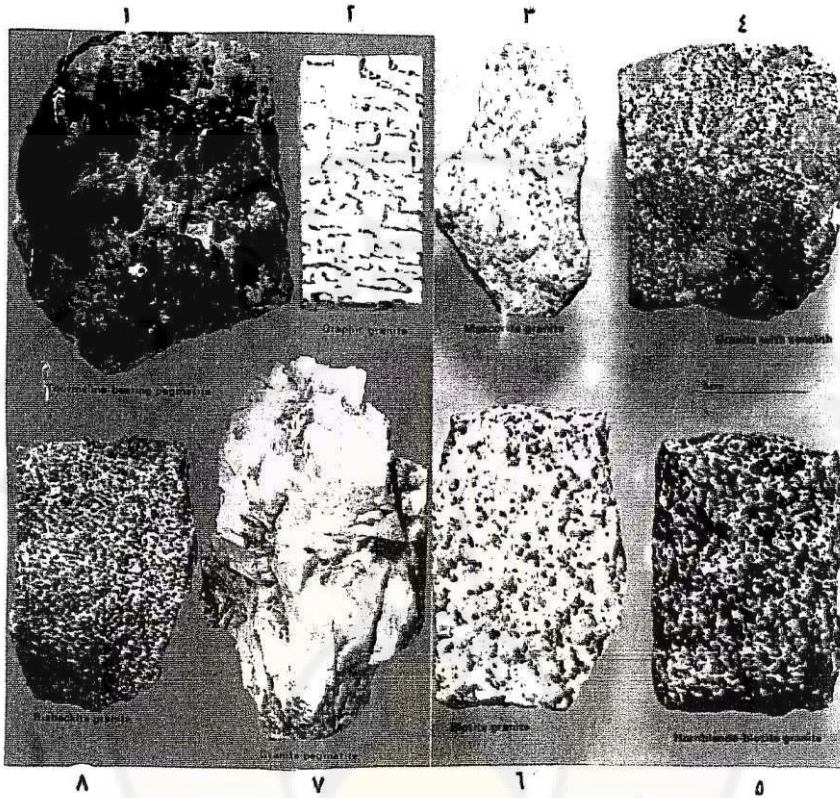
- **بيوتيت:** لوحى يتشكل من جيلين الجيل الأول يكون حجم الفلزات فيه (2 - 5 مم)، أما الجيل الثاني فيكون حجم الفلزات أجزاء من أعشار المليمترات، ويكون هذا البيوتيت واضحاً في الليكوغرانييت.

- **أمفيبول:** هورنبلاند قياس حباتها (1 - 3 مم)، وهو لا يتواجد دائماً في الصخر، نادراً تصل نسبته إلى (1-1.5%).

- **كوارتز:** شكله غير منتظم، وحجم الحبات يصل من (1 سم) وحتى (2 - 5 مم) ويمثل (23-40%) من حجم الصخر.

2 - فلزات ثانوية (نادرة):

أباتيت، زركون، أورثيت، إليمينيت، تيتانيت، ماغنيتيت يتواجد بنسبة قليلة أو لا يتواجد.



الشكل (24) يمثل الأنواع المختلفة للجرانيت:

- 1- البغماتيت التورماليني 2 - الجرانيت الكتابي 3- الجرانيت الموسكوفيتي 4 - الجرانيت الحاوي على محتبسات 5- الجرانيت البيوتيتي الهورنبلاندي 6 - الجرانيت البيوتيتي 7 - الجرانيت البغماتيتي 8 - الجرانيت الريبكيتي (الريبكيت نوع من أنواع الأمفيبول)

محتوى هذه الصخور من السيليكا (73-76.4%)، متوسط قيمة Na_2O

$$K_2O + \text{نصل حتى } 7.5\% = \frac{Na_2O}{K_2O} = 0.54 - 1.23$$

هذه الصخور صودية - بوتاسية غير أن النوع البوتاسي فيها نادر.

ونميز في الليكوغرانيت حسب نسبة الاحتواء على الفلزات القاتمة:

- ليكوغرانيت بيوتيتي وهو كثير الانتشار.
- ليكوغرانيت بيوتيتي هورنبلاندي.
- ليكوغرانيت ميكاوي (بيوتيت، موسكوفيت).

- ليكوغرانيت تورماليني (التورمالين من المظاهر الغازية).
- ليكوغرانيت تورماليني - موسكوفيتي.
- الإسكيت وهو صخر فاتح يتألف من بلاجيوكلاز، أقل من 10%، وتكون نسبة الأورتوز والميكروكلين فيه أكبر من بلاجيوكلاز وهو لا يحتوي على فلزات قائمة وإن احتوى فهي لا تتجاوز (1%)، وهو حبيبي (ذو تبلور واضح)، زهري أو رمادي.

- أبلت وهو صخر فاتح يتميز بتبلوره الدقيق.
- بغماتيت، صخر أبيض، حجوم فلزاته تصل حتى (اسم) و أكبر، له تركيب الغرانيت نفسه، يكون بشكل عروق.

1-2- صخور نصف الأعماق (ميكروغرانيت نظامي):

وتتألف من كوارتز + أورثوز + بلاجيوكلاز + بيوتيت ونادرا كوردبيريت وأمفيبول، وموسكوفيت.

نميز حسب درجة التبلور الأنواع التالية:

- ميكروغرانيت دقيق التبلور.
- ميكروغرانيت خفي التبلور.
- ميكروغرانيت بورفير

1-3- الصخور البركانية الحامضية النظامية (السطحية):

المقابلات السطحية للگرانيت - غرانوديوريت والتوناليت هي على التوالي (ريوليت - ريوليت أوبسيديان)، (ريوداسيت - ريو أوبسيديان)، (داسيت - داسيت أوبسيديان)، الشكل (26).

أ- ريوليت - ريوليت أوبسيديان:

صخر ناتج عن التبريد السريع للماغما، حيث تتصلب بشكل زجاج مع بلورات كبيرة (فينوكريست) أو بدونها، هذه الصخور بورفيرية حيث الفينوكريست

يكون من الفلدسبار (من الساندين)، وعادة يكون الساندين السوداني بالإضافة إلى بلورات الكوارتز الفينوكريستية. في بعض أنواع الريوليت مرتفع القلوية يكون الفينوكريست من الأنورثوكلاز، في حين يكون من البلاجيوكلاز في الصخور تحت القلوية.

في الأوبسيديان يكون البلاجيوكلاز من نوع البليت، ويتواجد أحيانا هذا النوع من البلاجيوكلاز في الأنواع القلوية ومرتفعة القلوية.

في كثير من أنواع الريوليت يتواجد فلزات حديدية مغنيزية أكثرها تواجدا هو البيوتيت ذو البلورات الوجهية الصغيرة، وبشكل ليس نادراً الأوجيت عديم اللون، ثم الهيبيرستين الذي يتواجد في بعض الأنواع، أما الهورينلاندهو فهو أكثر ندرة.

في بعض الأنواع تحت القلوية الريوليتية والبتيشستون يتواجد فينوكريست من الفيرواوجيت وفالييت بالإضافة للأورتوز، وفي بعض الحالات الغارنت من نوع سبيسارتين - الماندين، في حين لا يتواجد الموسكوفيت الأولي.

كما يحتوي هذا النوع من الريوليت الأنغيماتيت كفلزات حديدية مغنيزية فينوكريستية متوازنة مع أيدينبرجيت صودي يترافق أحيانا مع الغاياليت أو مع أمفيبول صودي، كما تتواجد فلزات حديدية مغنيزية في أرضية هذا الصخر، وهي عبارة عن إنغيماتيت - إيجيرين - أرفيدوسينيت وربيكيت.

الفلزات الثانوية (النادرة من الأباتيت، خامات حديد، زركون: يمكن أن تلاحظ هذه الفلزات في طور الفينوكريست الذي يخترق ضمن الأرضية.

الريوليت - الريوليت أوبسيديان هي المقابلات السطحية للصخور الغرانيتية تحت القلوية والقلوية والغرانيت.

أ- 1- الريوليت مرتفع القلوية - ريوليت - أوبسيديان مرتفع القلوية:
peralkalin rhyolites

تحتوي على فينوكريست من الأنورثوكلاز، أيدينبرجيت صودي، إنغيماتيت

أحياناً فياليت بعضها يحتوي كوارتز، الأرضية تحتوي فلزات واضحة التبلور من الفلدسبار البوتاسي وفلزات سيليكاتية بالإضافة إلى إيجيرين وانيجماتيت، بعض أنواع هذه الصخور تحتوي الريبكيت.

أ- 2 - الريوليت القلوي: Alkali rhyolites

صخر فاتح جدا يحتوي فينوكريست من ساندين وكوارتز، أو من الساندين فقط مع ظهور كميات صغيرة من البلاجيوكلاز الكلسي بين الفينوكريست، غير أنه لا يتواجد في الأرضية بالإضافة للفلزات السابقة يوجد البيوتيت ويكون الأمفيبول متواجداً بشكل أندر بكميات قليلة بشكل فلزات فينوكريست، كما يتواجد البيروكسين بشكل متناوب مع الأمفيبول، وغالبا يكون من نوع الفيرواوجيت مع أو بدون فياليت.

أ- 3 - ريوليت أوبسيديان قلوي:

ليس بورفيرياً، يحوي أحزمة من البلورات وميكروليت وكزينوليت، وهورنبلاند بني مخضر إبري وأنديزين مع قليل من الزجاج الداخلي. الفلزات نفسها موجودة في الأوبسيديان، ولكن بشكل مبعثر بشكل خثرات، أو حبات مفصولة مفردة.

ب- ريوداسيت - داسيت ومقابلاتها من الأوبسيديان:

تكون هذه الصخور زجاجية، جزئياً، أو كلياً أو مبلورة بشكل كريبتوكريستال (بلورات لا تتميز تحت المجهر العادي). إن الريوداسيت كثيراً ما يشابه الريوليت، في حين الداسيت والريوداسيت يشبه كثيراً الأنديزيت. وعادة ما تكون هذه الصخور بورفيرية تحتوي فينوكريست وجهي من الكوارتز، ريوداسيت يحوي فينوكريست ساندين، وهذا ما يميزه عن الداسيت، غير أن الكوارتز والفلدسبار القلوي يكون خفياً مختبئاً في زجاج الأرضية. يحتوي الريوداسيت والداسيت عادة فينوكريست من البلاجيوكلاز الكلسي

الممنطق، أما الفلزات المغنيزية الحديدية فتكون عادة بشكل فينوكريست من البيوتيت، هورنبلاند (بني أو أخضر في المقاطع الرقيقة)، أوجيت وهبرستين، قليل من أنواع الداسيت الفقير بالسيليس يحتوي أوليفين.

تحتوي بعض أنواع الداسيت والريوداسيت فينوكريست من الفيروأوجيت والفاياليت، والهورنبلاند يتواجد في صخور ذات أرضية زجاجية محصوراً في زجاج الأرضية.

وعندما تكون الأرضية مبلورة تكون عندها من فلزات الفلدسبار مع فلزات سيليكاتية وبلورات وجهية من البيروكسين، والساندين والبلاجيوكلاز المتواجد في أرضية الريوداسيت. ويتواجد التريموليت وكريستوباليت في جسم الصخر الحديث أما في الصخر القديم فيكون عبارة عن الكوارتز.

ب - 1 - أوبسديان:

وهو ريوليت لا مائي زجاجي.

ب - 2 - بشتاين (أوريتينيت):

وهو ريوليت مائي (10%) زجاجي بأكمله.

ب - 3 - بيرليت:

ريوليت مائي تصل نسبة الماء فيه بين (5.2-6%) تظهر تشققات في هذه الصخور تقسمها إلى عدة بلوكات (أجزاء) التي تشكل كرات منفصلة تسمى البيرل، (أي ذات الشكل الدائري الشبيه بالؤلؤ).

وتمثل الصخور الثلاث الأخيرة الصخور البركانية الزجاجية غير المبلورة لكن هنا تجدر الإشارة إلى أن البيشتاين يمكن أن يحوي أحيانا بعض البلورات من الأوجيت.

1- 1- 2 - عائلة الصخور الحامضية تحت القلوية العميقة:

يتبلور الغرانيت تحت القلوي من ماغما تحت مشبعة بالألومينا ويؤدي إلى

تشكيل بيروكسين صودي أو بيروكسين صودي، ويتواجد الإيجيرين (أكميت) في تحاليل النورم، هذا النوع من الغرانيت يحتوي ريبكيت، ريبكيت وإيجيرين، إيجيرين، أرفيدو سينيت، وهذه الفلزات تعد الفلزات القائمة في هذه الصخور.

أ - الغرانيت الحامل للريبكيت:

حيث يكون الريبكيت والإيجيرين بشكل بلورات تحت وجهة، أو بينيه تنمو بين البلورات، أو متغلغلة ضمن الفلزات الأخرى.

الفلدسبار في هذه الصخور يكون من نوع ميكروكلين - ميكروبيرتيت وفي بعض الصخور يكون هذا النوع من الفلدسبار فقط هو النوع الوحيد المتواجد. وفي مجموعة أخرى يتواجد الألبيت.

ويتواجد الإيجيرين الأخضر متوازناً مع الإيجيرين البني.

ب - الغرانيت الحامل للأرفيدوسينيت:

وهو يحوي الأرفيدوسينيت (نوع من أنواع الأمفيبول القلوي) مع البيت - أنتيبرتيت، كوارتز مع محتبسات من السوائل ويكون الأرفيدو سينيت بشكل مباشر غير منتظمة وبشكل بلورات غير منتظمة، وأما الإيجيرين والإينغماتيت فيتواجدان بشكل بلورات ثانوية.

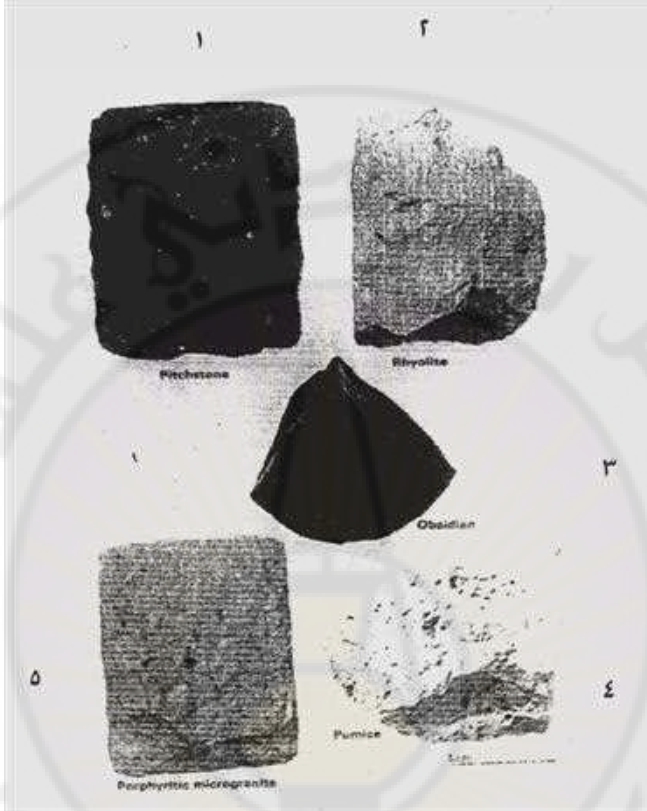
1-1-3 عائلة الصخور الحامضية العميقة القلوية:

صخور نادرة وتتميز عن الصخور الحامضية الأخرى بأنها تحتوي صفاحاً صودي - بوتاسي، وعلى فلزات قاتمة (أمفيبول قلوي وبيروكسين قلوي). نسبة البيت (Ab)، أورتز (or) وميكروكلين تصل (60%)، أما الكوارتز فيصل (30%) بالإضافة للفلزات القائمة وهي إيجيرين، ريبكيت، بيوتيت). الفلزات ثانوية: تيتان زركون، أباتيت، فلوريت، ماغنيت.

أنواعه تتبع الفلز القاتم:

غرانيت بيروكسيني، غرانيت أمفيبولي، غرانيت بيوتيتي، غرانيت

موسكوفيتي، غرانيت بيوتيتي موسكوفيتي، غرانيت بيروكسيني أمفيبولي.



الشكل (25): يظهر الشكل الأنواع المختلفة من الصخور الاندفاعية الحامضية. 1- صخر الريوليت 2- البتشتون 3- اوبسيدان 4- بوميس 5- ميكروجرانيت بورفيري (تحت سطحي).

البنية:

متجانسة حبيبية أو غنيسية، يختلف الغرانيت القلوي عن النظامي باحتوائه على كمية عناصر قلوية أعلى من (9%) وعلى حديد (Feo) عالٍ في حين تكون كمية Cao قليلة.

من أنواعه أيضاً:

أ- البغماتيت: الذي يتألف من مرو + صفاح

فلزات حديدية مغنيزية نادرة

فلزات غازية بنسبة كبيرة (تورمالين، توباز، فلوغوبيت، أباتيت، بيريل).

ويقسم البغماتيت إلى نوعين:

أ-1- بغماتيت صودي لיתי:

يحتوي هذا البغماتيت على:

- ليبيدوليت (أخضر مصفر) + مرو + صفاح.

- تورمالين بشكل مواشير صافيه أو وردية (بتأثير الروبيديوم).

- البيريل بشكل مواشير خضراء أو شافة أو حليبية.

أ- 2 - بغماتيت بوتاسي:

وهو صخر شائع مشترك مع أنواع الغرانيت الكلسية - الصودية، ومؤلف

بشكل رئيسي من:

مرو + ميكروكلين صودي أو بيريتي.

الفلزات الثانوية:

موسكوفيت، تورمالين، توبار.

1- 2- 3- صخور نصف أعماق حامضية قلوية:

أ- ميكروغرانيت قلوي:

يتواجد على أطراف الكتل الغرانيتية القلوية وتكون ذات سحنة حبيبية

ناعمة، وهي دليل التبريد السريع مقارنة بصخور الأعماق. وله تركيب الغرانيت

القلوي نفسه، غير أنه أنعم.

1- 3- 3- صخور حامضية قلوية اندفاعية

أ- ريوليت قلوي:

هذا النوع من الصخور الاندفاعية قليل جداً، يتألف من كوارتز، أورثوز،

بلاجيوكلاز بيوتيت، ولكن عندما يسيطر الفلدسبار البوتاسي يصبح الصخر بلون

أحمر أو زهري، وتكون عندها نسبة أورثوز أعلى من البلاجيوكلاز، ويكون

الريوليت غالباً بورفيرى البنية.

ب- كيراتوفير كوارتزي:

لون هذه الصخور أحمر، أخضر.

يتألف من أبرميكروليتية من الألبيت المغلفة بإسمنت قوامه من المرو والكلوريت والسيرسيت والايبيدوت والسفين والأباتيت، ومن هنا أتى لون هذه الصخور.

ويعد نوعاً من أنواع التراكيت الغني بالألبيت، والذي استعيض فيه عن الفلزات الحديدية المغذية بما يقابلها من فلزات هيدروترماليه (كلوريت، أيبيدوت، كالسيت).

1-2- صخور متوسطة التركيب

1-2-1- صخور متوسطة التركيب عميقة:

1-1-2- صخور متوسطة التركيب عميقة نظامية:

الفلزات المشكلة لهذه الصخور هي بلاحيوكلاز An_{40} تحت وجهي غالباً تمنطقي، بيوتيت بني متواجد في كثير من أنواع الديوريت، ويكون بشكل الواح صغيرة أو نثرات لوحده، أو في حالة توازن مع الهورنبلاند، ولكن يكون في أنواع الديوريت البيروكسيني بشكل صفائح بويكيلية، ويمكن أن يكون قد تشكل بشكل جزئي على حساب البيروكسين أو الهورنبلاند. الهورنبلاند يتواجد بشكل بلورات موشورية تحت وجهية، عادة يكون بلون بني مخضر، ويكون بنياً في أنواع الديوريت القاتمة.

البيروكسين إن كان متواجداً فيكون أورثو كلينو بيروكسين، ويكون الأورثوبيروكسين نسبياً تحت وجهي ونادراً ما يأخذ شكل بلورات بويكيلية مع البلاحيوكلاز.

يكون الكلنوبيروكسين من نوع الأوجيت متحول إلى هورنبلاند الأوليفين، وعادة يكون من الفلزات الثانوية، وأحياناً يصبح فلزاً من الفلزات الهامة.

الفلّزات الثانوية: أباتيت، زركون، سفين، أورثيت وخامات حديدية، ايلمينيت، ماغنيتيت، بيروثيت، كالكلوبيريت، بيريت، بيروثيت أنواع من الديوريت تحتوي على الكوارتز يمكن عندها أن يترافق هذا الكوارتز مع الفلدسبار البوتاسي.

البنية:

البنية النموذجية للديوريت هي حبيبية تحت وجهة، أحياناً بنية بويكيلية الشكل (23). تقسم هذه المجموعة من الصخور إلى ثلاث عائلات:

أ- عائلة الديوريت:

لون صخور هذه العائلة رمادي، رمادي مخضرة وحتى الأسود، متجانسة، نادراً بورفيرية مع تفاوت كبير في حجم الحبات، حيث تتفاوت بين كبيرة الحجم وحتى الناعمة.

البنية:

كتلية، تاكسيتية نادراً، كروية، غنيسية.

الفلّزات المشكلة الرئيسية:

1- بلاجيوكلاز: (65-70%) في أنواع الديوريت الفاتح (ليكوديوريت) يصل حتى (95%) من حجم الصخر، وهو من أنواع أوليغوكلاز وأنديزين نادراً لابرادور، وفي الأنواع التمنطقية يمكن أن يتواجد بيتونيت وأنورثيت.

البلاجيوكلاز لوحى أحياناً متناظر، أو موشوري، له توأمية الألبيت والتوأمية المعقدة.

2- الفلّزات القاتمة (30-35%)

- الكلينو بيروكسين وهو من نوع (ديوبسيد، أوجيت) بشكل مواشير قصيرة محاط بنطاق من الهورنبلاند الأخضر.

- الأورثوبيروكسين (هبرستين بشكل أندر من البرونزيت) عادة ما يكون وجهياً.

- الأمفيبول (هورنبلاند) بشكل مواشير متطاولة ليس لأطرافها حدود، ونادراً ما

يكون الهورنبلاند إبيرياً ويكون له مظهر المصفات بسبب فسادَه إلى بيوتيت.

- البيوتيت: بلوراته تكون وجهية، أو يكون لها شكل غير منتظم.

3- الكوارتز:

يحتوي محتسبات من الفلزات القائمة والبلاجيوكلاز والفلزات الثانوية.

4- الفلزات الثانوية (النادرة): 5%

ماغنيتيت، أباتيت، وبشكل اندر ايلمينيت، تيتانيت، زركون، نادر جداً أورثيت.

5- الفلزات النامية على حساب الفلزات الرئيسية (فلزات الفساد):

أوراليت، كلوريت، إبيدوت، ماغنيتيت، البيت، سيرسيت.

أنواع الديوريت الفاتحة والمتوسطة اللون يقابلها الأنديزيت البازلتي.

الديوريت يكون بشكل دايكات ولاكوليت، وعادة يدخل الديوريت في الكتل الكبيرة،

والتي تمر بشكل تدريجي باتجاه الغرانيتويدات.

- ويمكن للديوريت أن يكون بشكل أجسام قاطعة.

والديوريت المرافق للغابروئيدات يكون في مناطق الطيات.

يتواجد مع الديوريت مكامن الذهب والماغنيتيت من نوع السكارن وكذلك

النحاس، الموليبدن، الولفراميت.

يستخدم الديوريت كمادة زينة

ب- عائلة الديوريت الكوارتزي:

اللون: رمادي، رمادي مخضر.

حجم الحبات: من كبير إلى ناعم الحبيبة.

البنية: كتلية، بشكل أندر غنيسية، نادراً، تاكسيتية

الفلزات الرئيسية المشكلة:

1-البلاجيوكلاز (55- 65%) وهو من نوع أوليغوكلاز (An_{10-35}) - وأنديزين

(An_{45}) في المحيط، أما في المركز فهو من نوع البيت وحتى بيتونيت (An_{30-80})

ويكون بشكل ألواح متطاولة (في الأنواع القائمة) وفي الأنواع (الفاتحة ومتوسطة اللون) تكون بشكل ألواح متطاولة، أو يكون متساوي الأبعاد (الحجم).

2- الفلزات القائمة: تمثل (0-25%) من حجم الصخر، ونادراً ما تصل حتى (35%).

- كلينوبيروكسين (أوجيت وبشكل اندر ديوبسيد). بشكل مواشير قصيرة غير منتظمة الشكل، كثيراً ما يكون محاطاً بالهورنبلاند.

- أورثوبيروكسين (هبرستين) تكون بشكل حبات وجهية.

- أمفيبول (هورنبلاند) بشكل ألواح أو بشكل غير منتظم.

- بيوتيت بشكل حراشف يحيط بالبيروكسين ونادراً بالهورنبلاند.

3- الكوارتز (5-20%):

يكون بشكل بلورات غير منتظمة ويتوضع بين الفلزات السابقة.

4- الأورتوز (5%):

أحياناً يتواجد بكمية قليلة.

5- فلزات الفساد:

أوراليت، كلوريت، ايبيدوت، ماغنيتيت، البيت، سيرسيت، ليكوكسين.

6- الفلزات الثانوية:

أباتيت، تيتانيت، زركون، ماغنيتيت، ايلمينيت، فلوريت، تورمالين، غرانات.

الديوريت الكوارتزي من حيث التركيب الكيميائي والفلزي يطابق الأنديزيت.

والديوريت أما أن يكون بوتاسي صودي حيث $\frac{Na_2O}{K_2O} = 0.7 - 4\%$ أو صودية

حيث $\frac{Na_2O}{2O} = 4 - 15\%$

أما ما عدا ذلك فيكون الديوريت ذا ألومينية نظامية (0.75-1) أو مرتفع

الألومينية، حيث (1-2 Al_2O_3)، أو عالي الألومينية جداً (2-3.5 Al_2O_3).

يترافق الديوريت الكوارتزي عادة مع (غرانيتويدات، ديوريتات،

غابروئيدات)، وذلك في مرحلة تشكل الغرانيتويدات. وبترافق أيضاً مع الديوريت الكوارتزي، مكامن الذهب، الحديد، النحاس، وأما الأنواع المميزة من الديوريت الكوارتزي فتستخدم كمواد بناء.

ج- عائلة الفيروديوريت:

اللون: رمادي فاتح أو قاتم فساده يعطي لوناً بنياً محمراً.

البنية: مخططة.

يتميز الفيروديوريت بأن البلاجيوكلاز فيه أكثر حامضية من أنديزين - لابرادور أي (An_{50})، أما الفلزات القائمة فتكون غنية بالحديد. الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- بلاجيوكلاز: وهو من نوع أوليغوكلاز - أنديزين حيث يكون تمنطقياً، ومركزه من الأنديزين، وأما المحيط فهو أوليغوكلاز.

2- الفلزات القائمة:

- الكالسيومبيروكسين وهو من نوع الأوجيت الحديدي، لونه بني قاتم - أسود.

- الأوليفين وهو من نوع فاياليت شديد الحديدية (10-21%)

3- الكوارتز: يكون بشكل بلورات مستقلة أو انبثاقات ضمن الأورتوز، وتكون نسبة الكوارتز بين (5-10%)

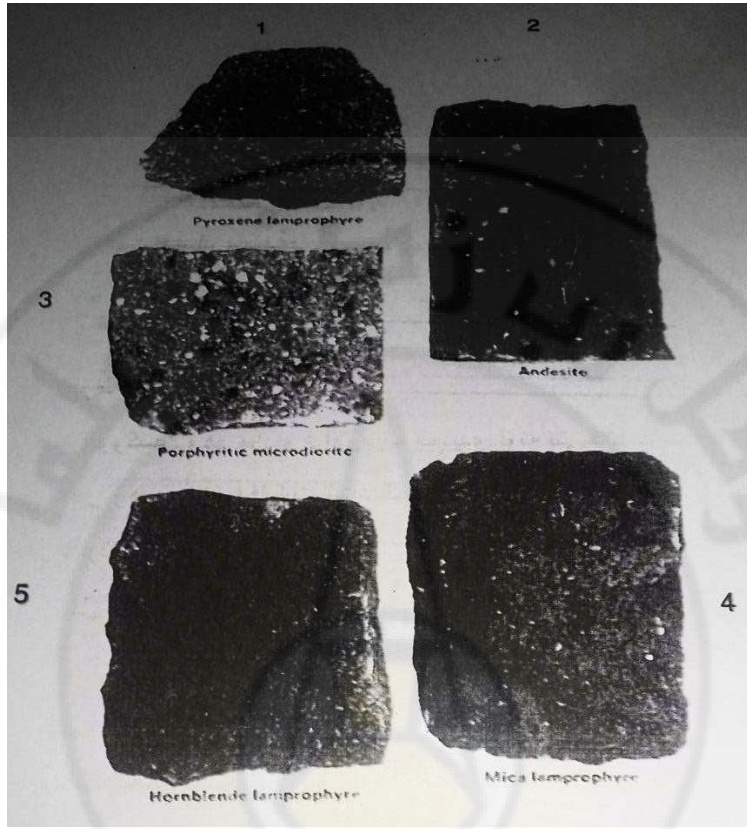
4- الأورتوز:

الفلزات الثانوية: أبائيت، زركون، إيلمينيت، تيتانوماغنيت.

أنواع الفيروديوريت:

- فيروديوريت أوليفيني بيروكسيني.

- فيروديوريت بيروكسيني.



الشكل (26) يبين الشكل أنواع صخور:

- 1- اللامبروفير البيروكسيني. 2 - انديزيت. 3 - ميكروديوريت يورفيري. 4 - لامبروفير ميكاي. 5- لامبروفير هورنبلاندي.

2- 3- 1- صخور متوسطة التركيب اندفاعية نظامية (سطحية):

أ- الأنديزيت:

هو المقابل السطحي (الاندفاعي) لصخر الديوريت الكوارتزي، وهو بورفيري، لونه قاتم، البنية كتلية وأحياناً فراغية الشكل (26).

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- فلدسبار:

غالباً ما يكون بشكل فينوكريست (بلورات كبيرة)، ويكون في الأرضية بشكل عوارض صغيرة، والفينوكريست غالباً تمنطقي، وهو من نوع An_{80} وحتى

An₆₀ والمحيط يكون أنديزين، وحتى أوليغوكلاز التمنطق تسلسلي أو مذبذب.

2- البيروكسين:

يكون عادة حديدياً مغنياً.

- كلينوبيروكسين وهو متوافر بشكل جيد في جسم الصخر وفي الأرضية، وهو من نوع الأوجيت الغني بالكالسيوم وبالمرور باتجاه البازلت يصبح الكلينوبيروكسين عبارة عن أوجيت - بيجونيت.

- أورثوبيروكسين:

يمكن أن يتواجد بشكل فينوكريست في الجسم، أو يمكن أن يتواجد في الأرضية، أو يتواجد في جسم الصخر وأرضيته معاً.

3- الأوليفين المغنيزي:

تكون بلورات الأوليفين بشكل فينوكريست في جسم الصخر وكذلك في الأرضية.

4- الهورنبلاند والبيوتيت:

هي فلزات نادرة وإن وجدت فتكون بكمية قليلة بشكل فينوكريست.

5- الفلزات الثانوية:

إيلمينيت ماغنيتيت، أباتيت وتتواجد هذه الفلزات بشكل فينوكريست في جسم الصخر وكذلك في الأرضية.

يتواجد أيضاً الزركون في بعض أنواع الأنديزيت.

ب- الأنديزيت البازلتي:

وهو صخر قاتم، رمادي إلى رمادي قاتم، وهو المقابل السطحي للديوريت.

الفلزات الرئيسية:

1- بلاجيوكلاز :

تكون بشكل بلورات فينوكريست واضحة التمنطق، وكذلك يمكن أن تكون

بشكل بلورات ميكروليتية، ويكون مركز البلورات من اللابرادور - بيتونيت، وأما

المحيط فيكون من الأنديزين.

2-البيروكسين:

- أورثوبيروكسين المسيطر وهو من الهيرستين.

- الكلينوبيروكسين يكون من نوع ديوبسيد أوجيت.

3-الهورنبلاند:

لونها بني وعادة فاسدة جزئياً أو كلياً مصابة بالأباتيزاتسيا.

4-الفلزات الثانوية:

الماغنيتيت، التيتانوماغنيتيت.

ج- الإيسلانديت:

وهو المقابل السطحي الديوريت الحديدي، لونه رمادي قاتم إلى أسود. نادراً ما يكون بورفيرياً عندها يتواجد البيجونيت بشكل بلورات كبيرة، وبالإضافة للبيجونيت يتواجد الهورنبلاند والأوليفين الحديدي، وما يميز الإيسلانديت عن الأنديزيت أن الأول يحتوي بلاجيوكلاز أكثر حامضية، حيث لا يتجاوز البلاجيوكلاز نوع الأنديزين، وفلزات الإيسلانديت القاتمة (بيروكسين، أوليفين) أكثر حديدية من الأنديزيت.

2-1-الصخور متوسطة التركيب العميقة:

2-1-2- صخور متوسطة التركيب عميقة تحت قلبية:

تكون نسبة السيليكا (SiO_2) في هذه الصخور (53-64) $\pm 2\%$ ومجموع العناصر القلبية (5-7.5% وحتى 9-14%).

أ-عائلة صخور الديوريت - المونزونيت تحت القلبية العميقة:

هذه العائلة أقل انتشاراً من الديوريت واحتوائها على السيليكا تتراوح بين (53-57%)، ونادراً ما تكون أقل من (52%)، وتتميز هذه العائلة عن الديوريت النظامي باحتوائها الأعلى على القلويات ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)، وبظهور الصفاح

الصودي البوتاسي.

أ- 1- الديوريت تحت القلوي:

هذه الصخور مرتبطة بالصخور الديوريتية مع مرور تدريجي منها باتجاه الديوريت تحت القلوي والديوريت الكوارتزي تحت القلوي ومونزوديوبيت. الديوريت تحت القلوي ذو لون رمادي، رمادي - زهري، حجم حباتها متفاوت من الناعمة - خشنة الحبيبة. البنية: حبيبية متجانسة، أو غير متجانسة، أحياناً بورفيرية، نادراً تاكسيتية. الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-بلاجيوكلاز:

تمنطقي من نوع (An_{36-45})، حيث يكون المركز من نوع (An_{60}) وأما المحيط (An_{25}) وحتى (An_{30})، وعادة يكون تمنطقاً نظامياً نادراً تمنطقاً عكسياً ونادراً ويشكل البلاجيوكلاز (59-95%) من الصخر.

2-كلينوبيروكسين:

وجهي وهو من نوع الأوجيت محاط بنطاق من الهورنبلاند وبيوتيت، ويعد الكلينوبيروكسين نادراً في هذه الصخور.

3-أمفيبول:

من نوع الهورنبلاند ذات حديدية تصل (62%) وجهي وعديم الوجهية.

4-البيوتيت:

وهو فلز منتشر في هذه الصخور وجهي، نادراً ما يكون حشيفاً، شكله غير منتظم حرارة تشكله تتراوح بين (650 - 750)، وبشكل أندر (800 - 850)م 5- صفاح صودي بوتاسي:

(بيريتيت ميكروكلين، بيريتيت أورثوكلازي) تحت وجهي محاط بالبلاجيوكلاز، تصل نسبة هذا الصفاح بالصخر (10%) من مجموع قيمة الصفاح القلوي.

6- الفلزات الثانوية:

ماغنيتيت، إيلمينيت، أباتيت، تيتانيت، زركون، بشكل أندر أورثيت وكوارتز كفلزات درجة ثانية.

7- فلزات الفساد:

كلوريت، أيبيدوت، البيت، سيرسيت، ليكوكسين.
تقسم أنواع هذه الصخور بالاعتماد على نسبة الفلزات القائمة.

أ-2-الديوريت المونزونيتي:

يكون التركيب الفلزي لهذه الصخور وسطاً بين الديوريت تحت القلوي والمونزونيت.

اللون: رمادي، رمادي قاتم، رمادي قاتم مخضر.

البنية: متجانسة حبيبة بشكل اندر بورفيرية.

حجم الحبات: من ناعمة الحبيبة وحتى خشنة الحبيبة.

الفلزات الرئيسية المشكلة:

1-بلاجيوكلاز : لوحى، وجهى، ويمكن أن يكون تحت وجهى، تمنطقي ذو تمنطق نظامي أو عكسي، وهو من نوع (An_{30-50}) وبشكل أندر أساسي. ويمثل (60 - 90%) من الصخر.

2-كلىنوبيروكسين:

يكون بشكل مواشير قصيرة أو عديمة الشكل من نوع الأوجيت، محاط بالبيوتيت أو الهورنبلاند بشكل بلورات مستقلة عديمة الوجهية أو لوحية، الهورنبلاند بدوره محاط بالبيوتيت.

3- الأمفيبول:

يكون من نوع الهورنبلاند بشكل بلورات مستقلة عديمة الوجهية أو لوحية، وهو محاط بالبيوتيت.

4-صفاح صودي - بوتاسي:

ويكون بشكل بيرتيت أورثوز أو بيرتيت ميكروكلين غير شبكي. شكله غير وجهي ونادراً وجهي محاط بنطاق من البلاجيوكلاز، والذي يشكل هذا النوع من الصفاح يكون ناتجاً عن عمليات بعد مغماتية استعاضية بوتاسية.

وتمثل نسبة هذا الصفاح في الصخر (10 - 35%) من مجموع كمية الصفاح. والتسلسل الزمني لتبلور الفلزات هو:

البلاجيوكلاز (في الصخور الحاوية على الأوليفين يكون الأوليفين مكان البلاجيوكلاز)، الفلزات القائمة (أوجيت، هورنلاند، بيوتيت)، ثم الصفاح الصودي البوتاسي.

5-فلزات الدرجة الثانية:

كوارتز أوليفين (بشكل نادر).

6- الفلزات الثانوية:

ماغنيت، تيتانيت، زركون، كلوريت، البيت، سيرسيت، أيبيدوت صخور الديوريت المونزونيتي هي صخور صودية بوتاسية حيث $(\frac{Na_2O}{K_2O} = 0.4-3\%)$ وهذه الصخور إما أن تكون فقيرة بالألومينا (0.75-1) نسبة الألومينية، أو مرتفعة الألومينية حيث نسبة الألومينية هي (1-2)، أو مرتفعة الألومينية جداً حيث نسبة الألومينية (2-3).

أنواع هذه الصخور تعتمد على نسبة الفلزات القائمة، وهي منتشرة بشكل واسع في الطبيعة.

أ-3- مونزونيت:

لون الصخر: رمادي قاتم، رمادي، رمادي زهري.

حجم الحبات: الصخر مبلور ضخم إلى كبير الحبيبات وحتى ناعم الحبيبة.

البنية: كتلي متجانس أو غير متجانس، بورفيرى، أو تاكسييتي، تراكتيتي.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-البلاجيوكلاز :

من نوع (An_{30-50}) وبشكل أندر أساسي وأحياناً أوليغوكلاز، وجهي أو بشكل حبيبات غير منتظمة، البلاجيوكلاز المنطق هنا نادر. ويكون البلاجيوكلاز هنا عائداً إلى طورين، حيث يشكل الطور الثاني بلاجيوكلاز من نوع أنديزين أو أوليغوكلازا.

2-الصفاح الصودي البوتاسي:

وهو من نوع بيرتيت أورثوكلاز أو بيرتيت ميكروكلين غير شبكي تحت وجهي وعديم الوجهية يحوي على بلورات من بلاجيوكلاز وفلزات قاتمة ويمثل (35 - 65%) من مجموع الصفاح في الصخر.

3-أوليفين:

نادر جداً ويكون بشكل بلورات غير منتظمة.

4-كلينوبيروكسين:

وهو من نوع أوجيت وبشكل أندر سالييت وجهي.

5-الأمفيبول:

من نوع الهورنبلاند، وهو وجهي وتحت وجهي.

6- بيوتيت:

يتواجد بشكل أندر من الأمفيبول، وهو حشفي الشكل غير منتظم نسبة الفلزات القاتمة في الصخر غير ثابتة (0-40%)، والمونزونيت هو صخر صودي بوتاسي حيث $(3-0.4 = \frac{Na_2O}{K_2O})$.

وهو إما فقير بالألومينا (1-0.75)، مرتفع الألومينية حيث نسبة ألومينا = (2-1) وإما مرتفع الألومينية جدا فتصل نسبة الألومينا فيه إلى (2-6)، وتكون بهذه الحالة نسبة $(3-10\% = MgO + FeO + Fe_2O_3)$.

يتشكل المونزونيت في مرحلة الطيات.

ب- عائلة الديوريت الكوارتزي - المونزونيت الكوارتزي العميقة تحت القلوية:

تتميز هذه العائلة عن الديوريت الكوارتزي بنسبة القلويات الأعلى حيث تكون نسبة $(\frac{Na_2O}{K_2O} = 5.7-7.5\%)$ وهو يمثل الحد الأدنى لهذه الصخور أما الحد الأعلى للقلويات فتصل حتى $(8.2-10.5\%)$. وتقسم هذه الصخور إلى ثلاثة أنواع، وهي: الديوريت الكوارتزي تحت القلوي، المونزونيت الكوارتزي، المونوديوريت الكوارتزي.

ب-1- ديوريت كوارتزي تحت قلوي:

اللون: رمادي زهري، رمادي.

حجم الحبيبات: الصخر مبلور حجم الحبيبات يتراوح بين كبير إلى صغير الحبيبية.

البنية: كتلية نادراً تاكسيتية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

أ- البلاجيوكلاز :

يكون بشكل بلورات وجهية لوحية وبلورات ذات أوجه غير منتظمة، ويلاحظ فيه أحياناً بلورات بمنطقة ذات تمنطق نظامي ونادراً تمنطق عكسي، وفي الحالة الأولى يلاحظ (5-6) نطاقات مع تغيير في تركيب المحيط An_{18-27} ، وأما المركز فيكون An_{30-57} .

نسبة البلاجيوكلاز تمثل أكثر من (90%) من مجموع نسبة الصفايح في الصخر.

2- كلينوبيروكسين:

لا يتواجد في جميع الصخور وهو من نوع أوجيت وجهي ينمو على حسابه الهورنبلاند.

3- الأمفيبول:

وهو هورنبلاند غني بالتيتانيوم، ويكون بشكل مواشير طويلة متوازنة مع البيوتيت.

4- البيوتيت:

يكون بشكل لوحى، الألواح غير وجهية وذات حديدية (40-59%)، ويلاحظ وجود طورين من البيوتيت، ويمكن للبيوتيت أن يحتوي على جميع أنواع الفلزات الثانوية. نسبة الفلزات القائمة في الصخر (0 - 35%).

5- الصفاح البوتاسي:

وهو بيريتيت ميكروكلين غير شبكي، أو بيريتيت أورثوكلازي، ونسبة هذا الصفاح البوتاسي تصل حتى (10%) من نسبة الصفاح في الصخر.

6- كوارتز:

عديم الوجهية يتوضع بين الفلزات الأخرى.

تعد صخور الديوريت الكوارتزي تحت القلوية صودية، حيث $\left(\frac{Na_2O}{K_2O} \right) < 4$ الصودية البوتاسية، وهي الأكثر انتشاراً من السابقة $\frac{Na_2O}{K_2O} = 0.4 - 4$. وهذه الصخور تحتوي نسبة ألومينا منخفضة (0.75 - 1) أو مرتفعة (1-2)، أو مرتفعة جداً (2-3.5)، وبشكل أندر (10)، ومقابلات الصخور الديوريتية الكوارتزية تحت القلوية الصودية فقط هي الصخور المرتفعة الألومينية جداً.

تتشكل الصخور الديوريتية الكوارتزية تحت القلوية في المرحلة الجيوسينكلينالية مرحلة تشكل الطيات.

ب-2- مونزوديوريت كوارتزي:

اللون: رمادي - رمادي قاتم.

حجم الحبات: من كبيرة وحتى ناعمة الحبيبية وبشكل أندر بورفيرى.
البنية: كتلية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-بلاجيوكلاز :

بشكل ألواح متطاولة عادة له توأمية الالبيت ويظهر بشكل طورين (جيلين)
الأول يكون من نوع (An₃₈₋₅₀) والثاني (An₃₀₋₃₈).

2- كلينوبيروكسين:

فلزات ذات شكل غير منتظم بعضها قريب من الوجهي، وهو من أنواع
الأوجيت، غير أنه نادر التواجد في هذه الصخور.

3- أمفيبول:

هورنبلاند بشكل بلورات (حبيبات) عديمة الوجهية (غير منتظمة)، غير أنه
يمكن أن تتواجد حبيبات وجهية يتشكل في طورين.

4- بيوتيت:

حديدي يكون بشكل حراشف نقطية عديمة الشكل، كما أنه يتواجد بشكل
حراشف بين البلاجيوكلاز والصفاح الصودي- البوتاسي، وأحياناً يكون محاطاً
بنطاق من الهورنبلاند، أو يكون بشكل محتبسات ضمن الهورنبلاند.

5- الصفاح الصودي - البوتاسي:

بيرتيت أورثوكلازي أوبيرتيت ميكروكليني غير شبكي، وتكون البلورات
بشكل حبات غير منتظمة نادراً تحتبس بلاجيوكلاز سابق التشكل.
نسبة هذا الصفاح تمثل (10-35%) من نسبة الصفاح في الصخر.

6- كوارتز:

عديم الوجهية متوضع بين حبات فلزات أخرى.

7- الفلزات الثانوية:

ماغنيتيت، أباتيت، زركون، تيتانيت.

8- فلزات الفساد:

كلوريت، ماغنيتيت، البيت، سيرسيت، أيبيدوت.

يقع هذا الصخر من حيث التركيب الكيميائي بين صخري الديوريت الكوارتزي تحت القلوي، والمونزونيت الكوارتزي.

حيث تعود هذه الصخور إلى المجموعة السودية - البوتاسية حيث $\frac{Na_2O}{K_2O}$ $4-0.4=$ وأما بالنسبة للألومينية فهناك أنواع منخفضة الألومينية حيث تكون نسبتها $= (1-0.75)$ أو مرتفعة الألومينية $= (2-1)$ أو مرتفعة الألومينية جداً وتكون القيمة مساوية $(2-5)$.

تمثل صخور المونزونديوريت الكوارتزي كتلاً مستقلة (دايكات، جدر) نادرة التواجد، أو تتواجد مترافقة مع صخور المونزونيت الكوارتزي تحت القلوي الديوريت الكوارتزي تحت القلوي، الديوريت، والمونزونديوريت، وذلك حيث تظهر انتقالاً تدريجياً مع هذه الصخور.

ب- 3- مونزونيت كوارتزي:

اللون: رمادي، رمادي زهري وحتى الزهري.

حجم الحبيبات: كبير حتى ناعم الحبيبية.

البنية: كتلية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-البلاجيوكلاز:

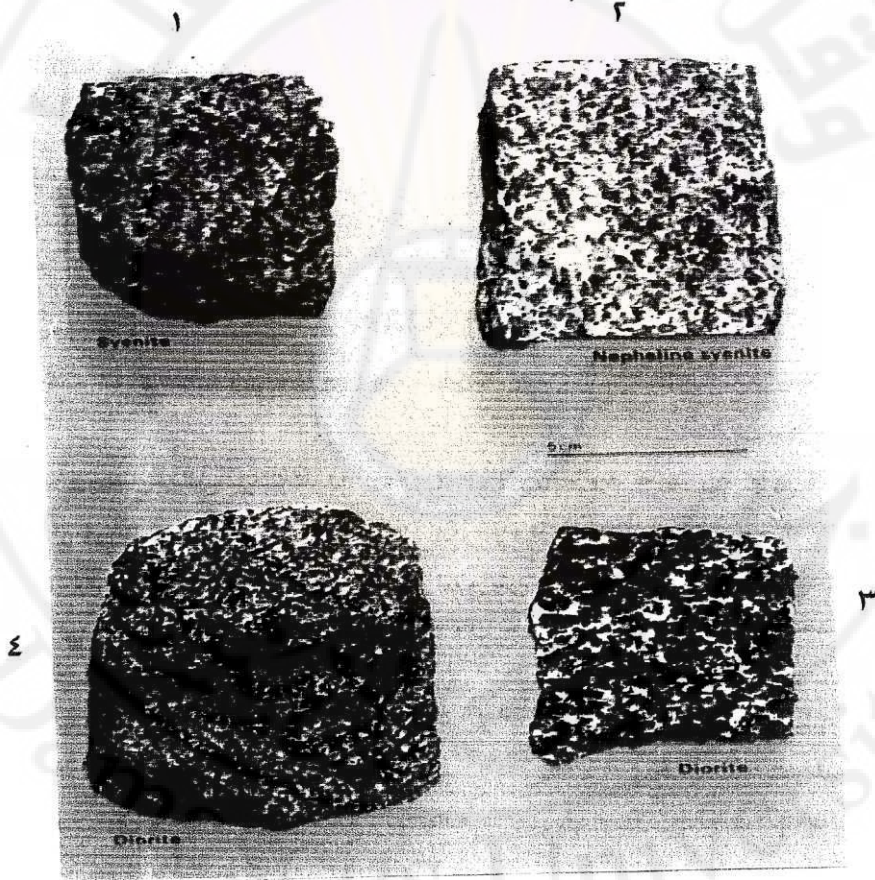
وجهي أو له شكل غير منتظم، ويكون بشكل حبات متطاولة (An_{30-50})، ونادراًً بمنطقي المركز، يكون من نوع (An_{34-55})، والمحيط (An_{30-34})، وعادة ما يكون ناتجاً عن جيلين (طورين)، يطابق الجيل الثاني في تركيبه المحيط

المذكور آنفاً أي (An_{30-34}) ويمثل البلاجيوكلاز (65-90%) من الصخر.

2- الصفاح السوداني - البوتاسي:

يتواجد بشكل حبيبات غير منتظمة متوزعة بشكل غير منتظم في الصخر، ويحتوي على محتبسات من البلاجيوكلاز والفلزات الملونة (أوجيت، هورنبلاند، بيوتيت)، أحياناً يظهر البيريت.

نسبة هذا الصفاح في الصخر مساوية لنسبة البلاجيوكلاز.



الشكل (27) يبين أنواع الصخور متوسطة التركيب المختلفة:

1- السيانيت. 2- السيانيت النيفليني. 3 و 4 - الديوريت.

3- الكوارتز:

يكون بشكل حبيبات عديمة الوجهية نادراً متناظرة.

4- الفلزات الثانوية:

ماغنيتيت، أباتيت، زركون، تيتانيت نادراً أورتيت، تورمالين.

5- فلزات الدرجة الثانية:

كلينوبيروكسين (أوجيت نادرا ديوبسيد)، يحيط به الهورنبلاند والبيوتيت.

يعود هذا الصخر كيميائياً إلى المجموعة الصودية - البوتاسية حيث $\frac{Na_2O}{K_2O} = 0.4-3$ ، ويكون ذا الومينية مرتفعة $(1-2)$ ، ومرتفعة الألومينية جداً = $(2-7)$ ، وهذا يعني بأن هذا الصخر مقارنة مع الصخور المونزوديوريتية الكوارتزية والديوريت الكوارتزي تحت القلوي أفتح لوناً.

يتواجد هذا الصخر (المونزونيت الكوارتزي) بشكل كتل مستقلة من الستسوك والدايكات، وهو نادر التواجد.

ج - عائلة السيانيت:

تتميز هذه العائلة بنسبة $SiO_2 = 54-64\% \pm 2$ ونسبة قلويات $K_2O + Na_2O = 7.8-14\%$

ج-1-السيانيت:

اللون: زهري، رمادي زهري، بشكل أندر رمادي أو بني.

حجم الحبيبات: يتراوح ضمن مجال واسع من ضخ الحبيبات يصل حتى (10 سم) وحتى ناعم الحبيبات، ويمكن للسيانيت أن يكون من حيث توزيع الحبيبات متجانساً أو غير متجانس الحبيبية أو بورفيرى.

البنية: كتلية، تاكسيتية، تراخيتية (تراكيتية) الشكل (27).

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- البلاجيوكلاز:

من نوع البيت، أوليغوكلاز، انديزين (An_{30-33}) ويشكل أندر (An_{35-44}) هذا البلاجيوكلاز موشوري أو غير منتظم الشكل. حيث يحصل استبدال

البلاجيوكلاز بالصفاح السوداني - البوتاسي.

2- الصفاح السوداني - البوتاسي:

أورثوكلاز، بيرتيت أورثوكلاز، بيرتيت ميكروكلين غير شبكي وبشكل أندر يظهر الصفاح السوداني - البوتاسي توأمية كارلسباد، وعادة يكون تمنطقياً وجهياً (1-10سم) تتفصل النطاقات عن بعضها بحدود واضحة، وعدد النطاقات (8-10 وبسماكة 3 مم).

حيث يتوضع ضمن الحدود الفاصلة لهذه النطاقات فلزات (محتبسات) في جميع أنواع الفلزات الأخرى، وتزداد نسبة هذه الفلزات في الأطراف مشكلة سلسلة، أما في الجزء المركزي فهذه المحتبسات غير موجودة وفي حال تواجدتها تكون غير منتظمة التوزيع. من المحتبسات المتواجدة في الصفاح السوداني - البوتاسي فلز البلاجيوكلاز، وخاصة في مركز التمنطق، وفي المحيط يتواجد بالإضافة للبلاجيوكلاز، الهورنبلاند، الماغنييت وغيرها من الفلزات.

3- كلينوبيروكسين:

وجهي من نوع سالييت، تيتانو أوجيت، فيرواوجيت، ديوبسيد، إيدنيرجيت وغيرها. محاط بالهورنبلاند، يصادف بعض فلزات كلينوبيروكسين تمنطقية.

4- أورثوبيروكسين:

وجهي تقريباً، من نوع هبرستين وبشكل أندر إينستاتيت، ولا يتواجد الأورثوبيروكسين في كل أنواع الصخور العائدة للسيانيت.

5- أمفيبول:

وهو من نوع الهورنبلاند.

6- بيوتيت:

من نوع ليبيدوليت.

7- الفلزات الثانوية:

تيتانوماغنيتيت، ماغنيتيت، إيلمينيت، أباتيت، زركون، تيتانيت.

8- فلزات الدرجة الثانية:

عديمة الوجهية من الكوارتز والأوليفين.

9- فلزات الفساد:

إيدنغزيت، كلوريت، كالسيت.

درجة حرارة تبلور السيانيت هي (800 - 900 م°) تمثل بداية التبلور وحتى (500 - 550 م°) في نهاية التبلور.

أ- عائلة تراكي أنديزيت بازلتي:

تتراوح نسبة SiO_2 في هذه الصخور بين (53 - 57%)، ونسبة القلويات تتراوح بين $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5-5.7\%$ كحد أدنى و 7.6-8.2 كحد أعلى. في هذه العائلة يتواجد نوعان من التراكي أنديزيت البازلتي واللاتيت.

أ-1 تراكي أنديزيت بازلتي:

اللون: رمادي قائم أسود تقريباً، رمادي مخضر قائم، وعادة يكون الصخر بورفيرياً، ونادراً إفيرياً (أي متجانس).

البنية: كتلية، فراغية، لوزية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- بلاجيوكلاز:

يكون بجسم الصخر بشكل ألواح من (An_{40-60}) حيث تمثل بحدود (10%)، أما في الأرضية فيكون بشكل ورقي يتواجد معه الأورثوكلاز بشكل انبثاقات من أنتيريت.

2- كلينوبيروكسين:

تيتانواوجيت وأوجيت.

3-أورثوبيروكسين:

هبرستين وهو نادر.

4-أوليفين:

وجهي ولا يتواجد دائما.

5- أمفيبول:

هورنبلاند تيتاني وتكون بشكل رئيسي في جسم الصخر حيث تمثل 5%.

6-الفلزات الثانوية:

ماغنيتيت، أباتيت وفلوريت.

7- فلزات الفساد :

كلوريت، ماغنيتيت، البيت، إبيدوت، ويشكل أندر سرينتين، زيوليت.

الأنواع القديمة من التراكبي أنديزيت البازلتي يتمثل بظهور ماغنيتيت، البيت على حساب البلاجيوكلاز، إبيدوت على حساب كلينوبيروكسين، سرينتين ينمو على حساب الأوليفين أو على حساب الزجاج الذي يمثل 60 - 90% من حجم الصخر يتشكل الكلوريت، إبيدوت، ماغنيتيت وغيرها. هذا النوع من الصخور القديمة يسمى تراكبي أنديزيت بازلتي بورفيريتي، أو ميتاتراكبي أنديزيت بازلتي.

يمثل صخر التراكبي أنديزيت البازلتي المقابل الكيميائي للديوريت والمونزوديوريت، بالاعتماد على نسبة $\frac{Na_2O}{K_2O}$ ، وتقسم هذه الصخور إلى مجموعة صودية حيث $\frac{Na_2O}{K_2O} = 4-13$ ومجموعة صودية - بوتاسية حيث $\frac{Na_2O}{K_2O} = 0.4-4$ ، أو بالاعتماد على الألومينية، فالصخور إما منخفضة الألومينية وتكون نسبة الألومينية (0.75-1) أو مرتفعة الألومينية، وتمثل (1 - 2) أو مرتفعة الألومينية جداً وتمثل (2 - 3.5).

أ-2-لاتيت:

لون الصخر: رمادي مخضر، رمادي، أصفر، عادة يكون الصخر بورفيرياً.
الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-بلاجيوكلاز:

يكون بشكل بلورات لوحية في جسم الصخر من نوع (An₄₀₋₆₀)، أما النوع الأكثر حامضية فيكون ورقي الشكل.

2-كلينوبيروكسين:

تيتانواوجيت وبشكل أندر أوجيت - ديوبسيد.

3-أورثوبيروكسين:

هبرستين وهو نادر في صخر اللاتيت.

4-أوليفين:

يلاحظ وجوده في صخر اللاتيت أكثر من صخر التراكي أنديزيت البازلتي.

5-أمفيبول وبيوتيت:

وجهية.

6-الصفاح البوتاسي:

فلز مميز لصخور اللاتيت، ويمثل مع البلاجيوكلاز (55%) من حجم الصخر.

7- فلزات الدرجة الثانية:

ماغنيتيت، أباتيت، أورثوبيروكسين، كوارتز، تيتانيت.

8- فلزات الفساد:

كلوريت، ماغنيتيت، البيت وبشكل أندر سرينتين.

يتواجد في جسم الصخر بشكل بلورات كبيرة. بيروكسين، بيروكسين +

بلاجيوكلاز، كلينوبيروكسين + بلاجيوكلاز + صفاح صودي - بوتاسي،
كلينوبيروكسين + أوليفين، كلينوبيروكسين + هورنبلاند.

في الأرضية بالإضافة للزجاج يتواجد بلاجيوكلاز، صفاح صودي
بوتاسي، كلينوبيروكسين، بيوتيت، ماغنيتيت، أباتيت، تيتانيت.
نسيج الأرضية في اللاتيت بيلوتاكسيتية، ميكروليتية، هياوليكية وأحياناً
انترسيرتالية.

وبالاعتماد على نسبة Na_2O و K_2O نجد أن اللاتيت يحوي المجموعة
الصودية البوتاسية فقط، حيث $\frac{Na_2O}{K_2O} = 0.4 - 4$ ، وهنا أيضاً تقسم هذه الصخور
إلى صخور فقيرة بالألومينا حيث نسبة الألومينا $= (0.75 - 1)$ ومرتفعة الألومينية
 $= (1 - 2)$ وأخيراً مرتفعة الألومينية جداً $= (2 - 3.5)$. وتقسم هذه الصخور
حسب نسب الفلزات القائمة إلى ليكولاتيت، حيث نسبة الفلزات القائمة أقل من
(20%)، وميزولاتيت حيث نسبة الفلزات القائمة تمثل (20 - 40%)، أما الميلانو
لاتيت فنسبة الفلزات القائمة فيه أعلى من (40%). بالاعتماد على نوع الفلزات
القائمة الموجودة في جسم الصخر، فنميز لاتيت ثنائي البيروكسين (هبرستيني -
أوجيتي)، هبرستيني تيتانواوجيتي - هورنبلاندي، تيتانواوجيني، أوجيتي - أوليفيني
وبيوتيتي - تيتانواوجيتي.

ب- عائلة تراكي أنديزيت، لاتيت كوارتزي:

هذه الصخور أكثر انتشاراً من الصخور السابقة.

ب-1- تراكي انديزيت:

اللون: رمادي قاتم، رمادي مخضر، صخر بورفيرى بشكل أقل إفيري.

بنية: كتلية، فراغية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- بلاجيوكلاز:

يتواجد في جسم الصخر لوحى الشكل من نوع (An₃₀₋₄₀) أحياناً (An₅₀₋₆₀) يحتوي انتيبرتيت أما بلاجيوكلاز الأرضية فيكون ميكروليت (An₃₂₋₄₈) ويمثل بحدود (40-60%) من حجم الصخر، وبين الميكروليت يتوضع فلزات قائمة وزجاج.

2- كلينوبيروكسين:

تيتانو أوجيت، أوجيت، ديوسيد.

3- أورثوبيروكسين:

هبرستين وهو فلز نادر في صخر التراكى أنديزيت.

4- أوليفين:

وجهي يمثل في جسم الصخر (1%) وهو من نوع (Fa₃₅ Fa₆₇)

5- أمفيبول:

هورنبلاند بازلتي، كيرسوتيت ويكون وجهياً في جسم الصخر، أما في الأرضية فيكون بشكل بلورات غير منتظمة.

6- فلزات الدرجة الثانية:

أوليفين، أورثوبيروكسين، ماغنيتيت، بشكل أقل أباتيت، فلوريت.

7- فلزات الفساد:

كلوريت، الببت، ماغنيتيت، هذه الفلزات تظهر في المرحلة بعد الماغماتية. يمثل الفينوكريست الموجود في جسم الأنواع البورفيرية من هذه الصخور (5-40%) من حجم الصخر.

وهي تمثل بلاجيوكلاز، بلاجيوكلاز + كلينوبيروكسين، بلاجيوكلاز + كلينوبيروكسين + أمفيبول، بلاجيوكلاز + أمفيبول. أما الأرضية فتحتوي بالإضافة للزجاج ونواتج فساد البلاجيوكلاز، البيروكسين والماغنيتيت.

يعد التراكي أنديزيت المقابل السطحي للديوريت الكوارتزي والمونزونيت الكوارتزي. تتفاوت نسب احتوائها على الأكاسيد الرئيسية، وهنا نميز حسب نسبة Na_2O و K_2O صخور تراكي أنديزيتية عائدة للمجموعة الصودية $\frac{\text{Na}_2\text{O}}{\text{K}_2\text{O}} = 4 - 18$ ، وصخور تراكي أنديزيتية عائدة للمجموعة البوتاسية $\frac{\text{Na}_2\text{O}}{\text{K}_2\text{O}} = 0.4 - 4$. وبالاعتماد على نسب الفلزات القائمة في الصخر يقسم الصخر إلى: أنواع ليكوتراكييتية أنديزيتية، حيث نسب الفلزات القائمة أقل من (20%)، وميزوتراكييتية أنديزيتية حيث نسب الفلزات القائمة تكون مساوية إلى (20-40%)، وأخيراً الميلانوتراكييتية أنديزيتية حيث نسبة الفلزات القائمة أعلى من (40%)، كذلك تقسم هذه الصخور بالاعتماد على نوع الفلزات القائمة.

ب-2-لاتيت كوارتزي:

اللون: رمادي مخضر إلى رمادي نهدي، عادة الصخر بورفيري.
البنية: كتلية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- البلاجيوكلاز:

يتواجد في جسم الصخر بشكل ألواح من نوع (An₃₀₋₄₀)، أما في الأرضية فيكون ورقياً وهو من نوع أوليغوكلاز - أنديزين.

2- كلينوبيروكسين:

أوجيت تيتانواوجيت.

3- أورثوبيروكسين:

هبرستين وهو نادراً ما يتواجد في صخر اللاتيت الكوارتزي.

4- صفاح صودي - بوتاسي:

من نوع ساندين أو أورثوكلاز (في الأنواع القديمة من هذه الصخور).

5- بيوتيت.

6-كوارتز.

7-أمفيبول من نوع هورنبلاند بازلي بشكل أندر كيرسوتيت.

8-الفلزات الثانوية وفلزات الدرجة الثانية:

ماغنيتيت، أوليفين، أورثوبيروكسين، أباتيت، تيتانيت، روتيل.

9-فلزات الفساد:

كلوريت، ماغنيتيت، البيت. تتواجد في جسم الصخر الفلزات التالية:
بلاجيوكلاز + صفاح صودي - بوتاسي، بلاجيوكلاز + صفاح صودي - بوتاسي +
بيوتيت + كوارتز، بلاجيوكلاز + كلينوبيروكسين، بلاجيوكلاز + كلينوبيروكسين +
صفاح صودي - بوتاسي.

في الأرضية:

بالإضافة للزجاج وفساده يتواجد (40-95%) بلاجيوكلاز، صفاح
صودي - بوتاسي، كلينوبيروكسين وكوارتز.

ويعد اللاتيت الكوارتزي من حيث الاحتواء على Na_2O و K_2O عائداً إلى
المجموعة الصودية البوتاسية، حيث $\frac{Na_2O}{K_2O} = 0.4-4$ ، وباعتماد على نسبة
الألومينا تقسم الصخور إلى صخور منخفضة الألومينية، حيث نسبة الألومينا =
(1-0.75) ومرتفعة الألومينية وفيها نسبة الألومينا = (1-2)، وأخيراً مرتفعة
الألومينية جداً ونسبة الألومينا = (2-3.5). أما الأنواع المختلفة من اللاتيت
الكوارتزي فتقسم بالاعتماد على نسبة الفلزات القائمة ونوعها.

ج- عائلة التراكيت:

صخور اندفاعية نسبة السيليكا فيها (55-66%) ± 2 ، وهي صخور أكثر
قلوية مقارنة بجميع الصخور الاندفاعية السابقة حيث $Na_2O + K_2O$ في الحد
الأدنى لها = (7.8-10.5%)، وأما الحد الأعلى لهذه القلويات فتصل (9-14%)

ج-1- التراكيت (تراخيت):

هو المقابل الكيميائي للسيانيت.

اللون: رمادي فاتح، رمادي قاتم، زهري، أصفر، رمادي زهري.

3-2-3- الصخور متوسطة التركيب القلوية:

تتميز هذه الصخور باحتوائها على السيليكا (53-66%) وقلويات (7.8-14.5%)، وهي متساوية التواجد في الطبيعة مع الصخور متوسطة التركيب تحت القلوية.

3-2-3-1- الصخور متوسطة التركيب القلوية العميقة:

أ- عائلة السيانيت القلوي:

أ-1- السيانيت القلوي:

اللون: رمادي زهري، رمادي زهري مخضر، رمادي مخضر.

حجم الحبات: مختلف الحبيبة وبشكل أندر بورفيرى.

البنية: كتلية وبشكل أندر تراكتيتية المظهر.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- البلاجيوكلاز:

تمنطقي وجهي أو عديم الوجهية، يتميز بتوأمية الألبيت، وهو من نوع البيت، نادراً أوليغوكلاز، ونادراً جداً أنديزين، حيث يكون مركز البلورات في النوع الأول من الأوليغوكلاز ومحيطه من الألبيت.

2- الصفاح البوتاسي الصودي:

أكثر عدم وجهية من البلاجيوكلاز

3- البيروكسين القلوي:

وهو وجهي أو غير منتظم يمكن أن يحتوي في آن واحد على البيروكسين

الكلسي (أوجيت)، وأكثر انتشاراً من (أوجيت إيجيرين).

4- الأمفيبول القلوي:

أقرب للوجهية وعديمة الوجهية وهو من نوع كاتافيريت، بار كفيكيت، غاستنغسيت، غاستنغسيت الحديدي.

5- البيوتيت:

عادة من نوع الليبيدوليت يتواجد على شكل نثرات عديمة الوجهية، ولكن ليس بشكل دائم في جميع الصخور السيانيتية القلوية نسبة الفلزات القائمة تتراوح بين (1-35%).

يُعد السيانيت القلوي هو المقابل البتروكيميائي العميق للتراكيت القلوي. مقارنة بالسيانيت تحت القلوي، ينتمي التراكيت القلوي إلى صف الصخور البوتاسية الصودية.

تقسم الأنواع التابعة للسيانيت القلوي بالاعتماد على مؤشرات مختلفة، وهي:

1- حجم الفلزات.

2- نسبة الفلزات القائمة.

3- نوع الفلزات القائمة.

يتشكل هذا النوع من السيانيت في المراحل النهائية لمراحل الطي في المناطق الفعالة تكتونية، وفي مناطق البلاتفورم.

يترافق التانتال، الزركون مع السيانيت القلوي الذي يمكن استخدامه كمادة بناء.

أ- 2- تنسبرجيت:

اللون: زهري، زهري محمر، رمادي زهري، نادراً رمادي.

حجم الحبات: خشن إلى ناعم الحبات، متجانس أو غير متجانس، نادراً بورفير.

البنية: كتلية، تراكتيتية المظهر، نادراً مخططة.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-الصفاح البوتاسي - الصودي:

وهو من نوع أنورتوكلاز، أورثوكلاز - بيرتيت وجهي أو عديم الوجهية.

2- البيروكسين:

وجهي أو غير منتظم من نوع إيجيرين، إيجيرين أوجيت، الأنواع الكلسية من نوع أوجيت، تيتانو أوجيت.

3-الأمفيبول القلوي:

من نوع ربيكيت، أرفيدوسينيت، أمفيبول كلسي - صودي (غاستنغيت)، باركيفيكيت وهو وجهي أو غير منتظم.

4- فلزات الدرجة الثانية:

بلاجيوكلاز (الببت نادراً أوليغوكلاز)، بيروكسين كلسي - صودي مع أو بدون أمفيبول وبيوتيت.

5- الفلزات الثانوية:

ماغنيتيت، هيماتيت، تيتانيت، زركون، أباتيت، نادراً فلوريت، غرانات (من النوع التيتاني أندرايت - ميلانيت).

6-فلزات الفساد:

كالسيت.

7-صفاح بوتاسي - صودي:

وجهي أو عديم الوجهية، غير منتظم. إن نسبة الفلزات القاتمة لا تتجاوز (5%) أحياناً تصل (25%).

عندما يحتوي هذا الصخر على نسبة (0.1 - 10%) من النيفلين يسمى بولاسكيت.

نسبة السيليكا في صخر التنسبرجيت تتراوح بين (54-66%)، ونسبة

قلويات $Na_2O + K_2O$ أكثر من (9%)، أما نسبة $\frac{Na_2O}{K_2O} = 0.4 - 4\%$.
وعندما ينتمي الصخر إلى النوع البوتاسي - الصودي أو عندما $\frac{Na_2O}{K_2O}$ أقل من (0.4)، ينتسب الصخر إلى النوع البوتاسي.
أما من حيث الألومينية فيُعد مرتفع الألومينية جداً، حيث نسبة الألومينا تصل 2-6. وتعتمد أنواع هذا الصخر على:

1- حجم الحبات.

2- نسبة الفلزات القائمة.

3- نوع الفلزات القائمة.

ب- عائلة السيانيت الفلدسباتوئيدي:

تتميز هذه العائلة بنسبة سيليك (56.7-64.9 %)، وتقسّم إلى مجموعتين:

1- متوسطة التركيب.

2- أساسية التركيب.

مع العلم أن المجموعتين تتميزان بانخفاض نسبة السيليك بالمقارنة مع القلويات والألومينية.

وتتراوح القلويات في هذه العائلة بين (13.86-18.38%)، أما الألومينا (Al_2O_3) فتتراوح بين (20-25%) في الأنواع الفاتحة، أما في الأنواع المتوسطة والقائمة اللون (المينرو والميلانو) فتكون النسبة (10-15%).

إن انخفاض نسبة السيليك (SiO_2) في الصخر تؤدي إلى ارتفاع نسبة أكسيد التيتانيوم، أكسيد الزركون، أكسيد النوبيديوم، أكسيد الفوسفور.

السيانيت الفلدسباتوئيدي واسع الانتشار في الأجزاء القارية.

تقسم هذه العائلة إلى خمسة أنواع:

ب-1- فويايت:

أنت تسمية الصخر من جبال فويا في البرتغال.

اللون: عادة فاتح.

حجم الحبات: متوسط - كبير إلى بغماتيتي الحبيبة.

البنية: كتلية، تاكسيتية، تراكيتية المظهر.

جسم الصخر يتألف من بلورات موشورية من الصفاح البوتاسي -
الصودي حيث يتوضع النيفلين، البيروكسين والأمفيبول بين بلورات الصفاح
البوتاسي - الصودي مظهراً بنية مخططة.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-نيفلين:

تمثل (20-30%) من الصخر يظهر بشكل واضح على السطح المصاب
بالتعرية حيث يكون النيفلين الطازج عادة رمادياً أو رمادياً مخضراً، حاوياً على
محتبسات من الإيجيرين مبكر التشكل (بشكل فلزات بويكيلية).

2-كلينوبيروكسين:

يمثل (5-20%) من حجم الصخر وهو من نوع إيجيرين -أوجيت،
إيجيرين - سالييت إيدنبرجيت.

أما الإيجيرين فيتواجد في أنواع الفويايت شديدة القلوية.

3-أمفيبول:

يمثل (10-18%) من حجم الصخر، وهو من نوع غاستنغسيت حديدي،
كاتافوريت كلسي، أرفيدوسونيت، يتواجد الغاستنغسيت في حالة توازن مع إيجيرين
- إيدنبرجيت. أما الكاتافوريت فيتواجد مع إيجيرين سالييت، والأرفيدوسينيت يتواجد
مع الإيجيرين.

4- الصفاح البوتاسي - الصودي:

يمثل (40-60%) من حجم الصخر، وهو من نوع ميكروبيريتيت أوبيريتيت
عادي (كبير الحجم)، تركيبه يتغير من بيريتيت أورثوكلاري إلى بيريتيت

ميكروكليني.

5-يحتوي أحياناً أوليفين في المراحل الماغماتية المبكرة ويمثل (2-3%) حيث يكون متوازناً مع إيجيرين - إيدنبرجيت والتيتانوماغنيتيت.

6-فلزات الدرجة الثانية:

سالييت، كانكرينيت، زيوليت يتشكل على حساب النيفلين، البيت، بيوتيت أو (ليبيدوليت) ويتشكل على حساب البيروكسين، أمفيبول، تيتانوماغنيتيت.

7-فلزات ثانوية:

بالإضافة للفلزات المتعارف عليها (أباتيت، تيتانيت، زركون، أورثيت، تيتانوماغنيتيت وإيلمينيت) يتواجد سيليكات الزركون، سيليكات تيتانية، سيليكات فوسفاتية، السيليكات الأرضية النادرة، فلوريت، فيليوميت. يعد الفلوياتيت صخراً قلوياً سياليتياً حيث $\text{SiO}_2=54.6\%$ ، $\text{Al}_2\text{O}_3=20.8\%$ ، $\text{Na}_2\text{O} = 9.18\%$ ، $\text{K}_2\text{O}=5.66\%$

ويعد مرتفع القلوية مقارنة بالألومينية حيث $\frac{\text{Na}_2\text{O}}{\text{K}_2\text{O}} = 2.47\%$ ، بالإضافة لاحتوائه على نسبة عالية من Feo ونسبة منخفضة Cao، Mgo. ويقسم هذا الصخر إلى أنواع متعددة، وذلك حسب نوع الفلزات القائمة (إيجيريني، أورفيدو سينيتي، سالييتي - إيجيريني).

ب-2-ليافريت:

أنت التسمية من اسم منطقة ليافرورت.

اللون: رمادي قاتم، رمادي مخضر، أخضر قاتم وحتى أسود تقريباً.

حجم الحبات: وسط - كبير إلى بغماتيتي. يميز هذا الصخر الشرائحية بسماكات مختلفة تعكس تناوب شرائح ناعمة وسميكة بدرجات مختلفة الاغثناء بالإيجيرين، أرفيدوسينيت..

البنية: تراكيتية المظهر.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- النيفلين:

20-35% يكون بشكل مواشير مستطيلة كاملة أو سداسية الأوجه، كما يتواجد بأشكال مدورة متناظرة.

2- ميكروكلين بيرتيت:

تكون بشكل بلورات لوحية وعادة أقل وجهة من النيفلين، ويمثل (35-50%)، والبيرتيت مؤلف من بقع كبيرة من الألبيت لها أشكال مختلفة، ويمكن أن يتواجد أيضا بشكل أنتيرتيت.

3- البيت:

يمثل (5-10%) ويتواجد بشكل بلورات ورقية مستقلة متوازنة مع فلز الإيجيرين في مرحلة متأخرة.

4- إيجيرين:

(10-38%) مؤلف من طورين، الأول بشكل مواشير عديمة اللون، أما الثاني فيكون بشكل بلورات ذات أشكال مختلفة (سلاسل، بلورات متطاولة حريرية نقطية وتتميز عن الطور الأول من حيث التركيب).

5- أمفيبول:

أرفيدوسينيت ماغنيزي، ويتواجد متوازناً مع الإيجيرين في بعض أنواع الليافريت، وتحل مكان البيروكسين في الأنواع الأخرى مشكلة نطاقات متناوبة حاوية على بلورات كبيرة موشورية، وبين هذه النطاقات يتوضع فلزات النيفلين والميكروكلين بيرتيت.

6- إيفدياليت:

يكون بشكل بلورات وجهة وغير نظامية، ويحتوي على تمنطق بسيط غير واضح بشكل جيد، وينمو بعد تشكل الفلزات السابقة.

7-فلزات ثانوية:

أباتيت، إيفدياليت، كاتاليت، لافازيريت، رينكوليت، نيبتونيت، لومونوسوفيت، الأمبروفيليت، لوباريت.

8-فلزات الفساد (ناتج استعاضة):

سوداليت، كانكرينيت، زيوليت، ليبيرينيت (متشكل على حساب النيفلين)، البيت (يكون بشكل بقع كبيرة من بيرتيت، ويشكل نطاق حول فلزات الصفاح البوتاسي-الصودي)، إيجيرين متوازن مع الألبيت، ويكون بشكل نقطي موشوري قصير.

نسبة السيليكا في الصخر تمثل (53%) ومجموع القلويات 14.11%، صخر اليافيريت قريب من الفونوليت مع العلم أنه يحتوي على نسبة أقل من الألومينا (15%)، ونسبة عالية جداً من أوكسيد الحديد (7.73%). تقسم أنواعه بالاعتماد على:

- 1- شكل البنية (مثالها ليافيريت تراكتي المظهر).
- 2- نوع الفلزات القاتمة (ليافيريت إيجيريني، وأمفيبولي).
- 3- تواجد فلزات مميزة مثالها (ليافيريت إيفدياليتي، لامبروفيليتي...)، ويعد هذا الصخر بشكل عام من الصخور القلوية قليلة الانتشار.

ب-3-ماريوبوليت:

اشتق اسم الصخر من مدينة ماريوبول.

اللون: أبيض، رمادي فاتح، رمادي مخضر، أخضر قاتم.

حجم الحبات: ناعمة - متوسطة - كبيرة - بغماتيتية الحجم.

البنية: غنيسية أو مخططة بشكل أندر كتلية أو تاكسيتية منقطة.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-البيت $An_{2.8}$ ونسبته (50-85%).

2- نيفلين (10 - 30%).

3- كلينوبيروكسين (من أوجيت - إيجيرين وحتى الإيجيرين).

4- أمفيبول (من فيروغاستغيت وحتى تراميت عالي القلوية، كاتافوريت، أحياناً أرفيدوسينيت). نسبة الفلزات القائمة (5-15%).

5- الصفاح القلوي: هو عبارة عن ميكروكلين شبكي تصل نسبته حتى (10%)، ومن ثم يجب وضعه تحت اسم فلزات الدرجة الثانية.

6- الفلزات الثانوية وفلزات الفساد: أباتيت، زركون، أورثيت، بيوتيت، ليبيدوميلان أحياناً فيرسميت، إيشنيت وبيروكلور، إيفدياليت، رينوكليت، إستروفيليت (يظهر عندما يصبح الصخر فوق مشبع بالقلويات).

من حيث التركيب الكيميائي يختلف هذا الصخر عن صخري فويائيت وليافريت بأنه يحتوي نسبة أعلى من (56.7%) SiO_2 ، Al_2O_3 تمثل 21.4% Na_2O تساوي 11.3% مع انخفاض نسبة K_2O إلى 3.51%.

تقسم هذه الصخور إلى عدة أنواع وذلك حسب تواجد أنواع مختلفة من الفلزات القائمة وظهور الميكروكلين.

ب- 4- مياسكيت:

تعود التسمية إلى منطقة مياسك الموجودة في جبال إيلمينسك جنوب الأورال. اللون: زهري، رمادي فاتح في بعض الأماكن يكون أبيض تقريباً وحتى الرمادي، الرمادي القاتم.

البنية: كتلية، مخططة، تراكيتية المظهر، غنيسية تظهر تخطيطات سوداء.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- النيفلين (20 - 25%):

وهو يتمثل بجيلين، الجيل الأول ينمو بشكل بلورات صغيرة في المرحلة المغماتية ذات وجهة ضعيفة، أو تحت وجهة بشكل توضعات بيريتية، أما الجيل

الثاني فيكون بعد مغماتي، يأخذ النيفلين شكل بلورات صغيرة عدسية محاطة عادة ببلورات صغيرة من الميكروكلين والألبيت.

2-الصفاح البوتاسي: (20 - 60%).

يكون بشكل بلورات مستقلة أو كريبتو بيرتيت أو بشكل حبات إهليلجية مع حاشية من الألبيت، الميكروكلين يمثل الجيل الثاني، (وهو ناتج المرحلة بعد المغماتية)، ويكون بشكل بلورات ناعمة ليس لها شبكة الميكروكلين، وهو متوضع مع النيفلين.

3-البلاجيوكلاز: (صفر - 20%):

يكون بشكل بلورات لوحية ووجهية أحياناً تمنطقية مع توأمية متكررة، وهذا البلاجيوكلاز يكون ناتج المرحلة المغماتية، وهو من نوع الألبيت (An_{6-8})، ويمكن أن يكون الألبيت بشكل بيرتيت ويشكل حاشية للبيرتيت الميكروكليني.

4-الفلزات القاتمة:

- أمفيبول ويمثل (صفر - 20%).
- بيوتيت (5 - 20%).
- كلينوبيروكسين (صفر - 10%) ويكون بشكل أندر من الفلزين السابقين وهو من نوع إيجيرين - سالييت أو إيجيرين - إيدينبرجيت.

5- الفلزات الثانوية:

أباتيت، تيتانيت، زركون، أورثيت، وتيتانوماغنيتيت نادراً كورندوم، غرانات، بيروكلور، إيشينيت، فيريكميت، غادالينيت.

6- فلزات الدرجة الثانية:

كانكرينيت، ليبينيريت (الذي ينمو على حساب النيفلين)، بيوتيت ينمو على حساب (الأمفيبول، الكلينوبيروكسين، والتيتانوماغنيتيت)، كالسيت.

النسيج:

هبياديامورفي، آلأتريومورفي، بورفيري (نادراً).

ج- عائلة السيانيت الأساسي الفلدسباتوئيدي (ذي الصفاح الحديث):

هذا السيانيت يتميز بانخفاض نسبة السيليكا ($\text{SiO}_2=50.34-44.76\%$) والتي تقابل البازلت نسبة القلويات عالية تصل حتى (18.36%) واغتناء بالألومينا (22.3%).

هذه الصخور تحتوي ما لا يقل عن نوعين من الصفاح.

من أنواع هذا السيانيت:

- ناوياييت (وهو سيانيت نيفليني - صوداليتي).

- ريشوريت (سيانيت نيفليني - كالسيليتي).

- سيرنيت (سيانيت نيفليني - لنكرينيتي).

هذه الأنواع من السيانيت نادرة جداً وتتواجد فقط في البلاتفورم (الركيزة).

ج- 1 - ناوياييت:

تعود التسمية إلى اسم منطقة في جنوب غرب غرينلاندة، الصخر فاتح متوسط - خشن إلى ضخمة الحبيبية، رمادي فاتح، أبيض، أندر يكون منقطاً، ناتج عن تواجد فلزات قلووية قائمة.

تشكل فلزات الصفاح ألواح ضخمة الحجم، ويكون هذا الصفاح حاوياً على انبثاقات من التيفلين والسوداليت ذات مقاييس تصل من (6 - 8 مم).

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-الصفاح البوتاسي: (10 - 40%):

يكون من نوع الأنتيبريت الميكروكليني، وأما البيرتيت فيكون مؤلفاً من الألبيت، حيث يحيط هذا البيرتيت بالصوداليت، وهو متوازن مع أرفيدو سينيت وإيفدياليت.

2- الفلزات القاتمة القلوية:

وهي من نوع الأكميت مرتفع الحديدية والأرفيدوسينيت، حيث تنمو هذه الفلزات بشكل بلورات موشورية بويكيلية تحتبس في داخلها النيفلين والصوداليت. ويتواجد الأكميت بشكل بلورات أبرية ناعمة يتوضع بينها فلزات معادن، نادرة مثل الأمبروفيليت، رينكيت، مورمانيت، نيبتونيت.

النسيج:

هيبديامورفي - بويكلي حيث تكون الفلزات المشكلة للنسيج البويكلي من الصفاح البوتاسي كبيرة الحجم أو من الإيجيرين وبشكل أقل من الأرفيدوسينيت. ويبين هذا الصخر من حيث التحليل الكيميائي أقل قيمة للسيليكا ($\text{SiO}_2 = 46.9\%$)، وأعلى نسبة قلويات ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 18.38\%$) وخاصة نسبة عالية من الصوديوم ($\text{Na}_2\text{O} = 14.9\%$)، غني بالألومينا ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 22.1\%$) وأكسيد الحديد $= 4.09\%$ نسبة ($\frac{\text{Na}_2\text{O}}{\text{K}_2\text{O}} = 6.49\%$)، أي تصل هذه النسبة إلى أعلى قيمة لها.

ج-2 - ريشوريت:

تعود تسمية هذا الصخر إلى اسم جبل رافومشور في الاتحاد السوفييتي السابق، وهو صخر سيانيتي فلدسباتوئيدي خشن الحبيبات رمادي - فاتح، رمادي - مخضر، ذو بنية كتلية، يعتقد كثير من العلماء أن هذا الصخر تشكل نتيجة الاستعاضة البوتاسية المتشكلة على حساب السيانيت النيفليني والإيوليت، في حين يعتقد آخرون أن هذه الصخور هي ناتج العمليات المغماتية (منشأ مغماتي).

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- الصفاح البوتاسي: (40 - 60%):

بلورات كبيرة مستقلة غير متجانسة مؤلفة من أورتز - ساندين حاوية على انبثاقات من الألبيت.

2- النيفلين (25 - 40%):

يمثل الفلز الثاني بعد الصفاح البوتاسي حيث يتشكل في بداية مراحل تبلور الصخر مع فلز الإيجيرين - سالييت، حيث تشكل الفلزات الأخيرة حبات موشورية. ويكون النيفلين في هذا الصخر مميزاً باحتوائه على البوتاسيوم المتراوح بين (38.8-97.12%).

3- كلينوبيروكسين (5 - 15%):

إيجيرين - سالييت، إيجيرين وهو يمثل عدة أجيال، يكون الجيل الأول بشكل بلورات إبرية ناعمة ضمن النيفلين كما أنه يشكل محتبسات بويكيلية في الصفاح، أما الجيل الثاني فيكون من إيجيرين - سالييت بشكل مواشير ضخمة كما يتواجد أيضاً جيل ثالث ورابع من الكلينوبيروكسين.

4- الأمفيبول القلوي:

من نوع كاتافوريت متواجد في توازن مع الإيجيرين، حيث ينفصل (يتشكل) بعد الكلينوبيروكسين مشكلاً بلورات ضعيفة الوجهية وتحت وجهة.

5- ليبيدوميلان:

بلورات كبيرة.

النسيج:

بورفيرى، ميكروبيغماتيتي مؤلف من النيفلين والفلزات القائمة. يعد هذا الصخر الحاوي على $\text{SiO}_2 = 51.30\%$ من الصخور القائمة، غير أنه يتميز عن الصخور القائمة باحتوائه نسبة عالية من الألومينا $\text{Al}_2\text{O}_3 = 22.3\%$ والقلويات $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 17.34\%$ ، ونسبة منخفضة من الكالسيوم CaO والمغنيزيوم MgO والحديد، و $\frac{\text{Na}_2\text{O}}{\text{K}_2\text{O}} = 1.15$.

ج- 3 - سيرنيت:

أتت التسمية من منطقة سيرنا، الصخر هو سيانيت ثنائي الفلدسباتويد يحتوي صفاحاً بوتاسياً ونيفلين بالإضافة إلى الكانكرينيت.

ناعم إلى متوسط الحبيبة رمادي فاتح، رمادي مخضر، رمادي قاتم.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

أ-الصفاح البوتاسي (40 - 54%):

أورثوز بشكل فلزات كبيرة موشورية وجهية بورفيرية له توأمية كارلسباد.

2- النيفلين (3- 30%).

3-كانكرينيت (5 - 30%).

4-كلنيوبيروكسين تمنطقي (5 - 10%).

يمثل هذه الفلزات الأربعة بلورات كبيرة لوحية تغطي أرضية السيرنيت،

الكانكرينيت، يكون وجهياً، وكثيراً ما يكون بشكل محتبسات ضمن النيفلين.

النسيج:

بورفيري

يمثل هذا الصخر السيانيت النيفليني -الكانكرينيتي حيث $\text{SiO}_2 = 51\%$ ،

والذي يتميز عن الصخور السابقة بنسبة الألومينا الأخفض $\text{Al}_2\text{O}_3 = 19.4\%$ ،

وأخفض قيمة للقلويات $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 13.86\%$ مع العلم بأن نسبة Na_2O

أعلى من K_2O مع اغتناء واضح بالكالسيوم (Cao) والمغنيزيوم (Mgo).

ويتواجد هذا الصخر مع الصخور فوق الأساسية القلوية في الصخور

القديمة للركيزة (بالتقورم).

3-الصخور الأساسية:

وهي الصخور التي تكون فيها نسبة السيليكا متراوحة بين 44-53%

($\pm 2\%$).

تقسم الصخور الأساسية بالاعتماد على نسبة السيليكات والقلويات إلى ثلاث مجموعات (صفوف).

1- المجموعة الأولى وهي مجموعة الصخور النظامية (الكلسية - القلوية)، وهذه المجموعة هي الأكثر انتشاراً.

2- المجموعة الثانية هي المجموعة تحت القلوية.

3- المجموعة الثالثة هي المجموعة القلوية.

حيث يمكن تحديد نسبة القلوية بالاعتماد على النسبة $\frac{Na_2O}{2O}$ ، حيث تقسم

الصخور بالاعتماد على هذه النسبة إلى:

- صخور صودية عندما تكون النسبة السابقة (>4)

- صخور صودية - بوتاسية عندما تكون النسبة ($4-1$).

- صخور بوتاسية عندما تكون النسبة (<1).

أيضاً من الهام في الصخور الأساسية نسبة الألومينا والتي تحدد بالشكل

التالي:

$$al' = \frac{Al_2O_3}{FeO + Fe_2O_3 + MgO}$$

حيث تكون هذه النسبة في الصخور منخفضة الألومينية أقل من (0.75)، أما في الأنواع متوسطة الألومينية فتكون النسبة (1-0.75)، أما الأنواع مرتفعة الألومينية فتصل (1 - 2).

3-1- مجموعة الصخور النظامية (القلوية - الكلسية):

3-1-3- مجموعة الصخور النظامية الأساسية الاندفاعية:

أ- عائلة البازلت البيكريتي - البازلت الدوليري:

العائلتان متشابهتان من حيث التركيب، غير أن الاختلاف يظهر في

النسيج وهذا يتعلق بطريقة (ظروف) التبريد من المغما الأساسية نفسها.

أ-1- البازلت البيكريتي - الدولوريت البيكريتي:

هي صخور قاتمة رمادية خضراء في حين يكون البازلت البيكريتي بورفيرياً ناعماً مع أرضية زجاجية، أما الدوليريت البيكريتي يكون ناعماً إلى متوسط الحبيبة.

البنية متجانسة الحبيبة (حبيبية متجانسة)، مخططة (ناعمة الخطوط)، أو ذات تخطط بشكل خطوط عريضة مع اغتناء غير متجانس بخطوط من الأوليفين، (أي يظهر في بعض الأماكن وليس بشكل متجانس).

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-البلاجيوكلاز (20-40%):

وهو من نوع لابرادور - بيتونيت

2-كلينوبيروكسين (15 - 20%):

من نوع بيجونيت، أوجيت

3-أورثوبيروكسين (10-15%):

ويتواجد بشكل ليس نادر.

4-أوليفين (15 - 60%):

كريزوتيل متحول بشكل كلي إلى بلورات صغيرة من الإيدينغزيت أو بولنجيت.

5-فلزات خامية وكالسيت (2 - 7%):

أرضية زجاجية تصل حتى (20%) متحول (فاسد) إلى كلوريت، سربنتين، تيتانيت (من نوع ليكوكسين).

6-أمفيبول وبيوتيت (5-10%).

النسيج:

البازلت البيكريتي بورفيرى المظهر في جسم الصخر، أما الأرضية فهي ميكرو دوليريتية في الأجزاء المركزية من هذه الصخور يكون النسيج بوبكيلو أوفيتية -

أنترسيرتالية أحياناً نسجاً فيريوليتية.

أما نسج الدوليريت البيكريتي فهي بوبكيلية، بانئيدومورفية، بوبكيلووفيتية نادراً أوفيتية.

أما التتابع التبلوري للفلزات فهي أوليفين، بلاجيوكلاز (An_{65-95})، بيوتيت، سولفيدات. وفي صخري البازلت البيكريتي والدوليريت البيكريتي تكون نسبة SiO_2 أقل من (46%)، والألومينا، البوتاسيوم، الصوديوم منخفضة، أما الـ MgO المغنيزيوم عالية (12-24%)، وعادة تكون نسبة Na_2O أعلى من K_2O ، مما يؤدي إلى وضع هذه الصخور في المجموعة البوتاسية - الصودية، ونادراً ما تكون تابعة للمجموعة الصودية وبشكل أندر تكون صخوراً بوتاسية.

ب- عائلة بازلت - دولوريت:

تقسم هذه الصخور إلى أربعة أنواع:

ب-1- البازلت الأوليفيني والدولوريت الأوليفيني (الثلولييتي):

تمثل هذه الصخور البازلت الثلولييتي والأوليفيني الثلولييتي، وهي عادة صخور رمادية قائمة حتى سوداء كثيمة، أحياناً فراغية.

البنية: كتلية.

النسيج: بورفيرى، بورفيرى المظهر.

الدولوريت والدياباز صخور مبلورة بشكل كامل مقارنة بصخور البازلت.

البازلت:

صخر مؤلف من ثلاث فلزات رئيسية:

1- البلاجيوكلاز:

وهو من نوع (An_{50-80}) ويكون تمنطقياً وبشكل فنوكريست. البلاجيوكلاز في المحيطات والقارات يكون بشكل ميكروليتات في جسم الصخر، وأحياناً يأخذ شكل ألواح من نوع (An_{60-70})، كما يتواجد في الأرضية، ويتواجد أيضاً كبلورات

غير كاملة وغير منتظمة ناتجة عن إعادة تبريد المصهور المحمول مع العناصر الطيارة.

2- كلينوبيروكسين:

من نوع بيجونيت - ديوبسيداوجيت، وهو بشكل فينوكريست، غير أن نسبته أقل من نسبة البلاجيوكلاز والأوليفين.

3- الأوليفين:

يكون بشكل فينوكريست، وتمثل (1 - 2%)، ويكون في الأنواع محيطية المنشأ ذا شكل موشوري، حيث يصل حجم البلورة إلى (3 مم)، كما يتميز الأوليفين بأشكاله غير الكاملة وغير المنتظمة الناتجة عن إعادة تبريد المصهور المحمول مع العناصر الطيارة.

ونسبة الأوليفين والكلينو بيروكسين لا تكون أقل من (5%).

4- الفلزات الثانوية:

تيتانوماغنيتيت والإيلمنيت والسبينيل في البازلت الأوليفيني المحيطي.

5- يمكن تواجد الزجاج في الصخور بنسب مختلفة، حيث يمكن أن يكون بكميات قليلة، ويمكن أن تصبح كميته كبيرة حتى الوصول إلى صخور زجاجية كاملة.

ب-2 البازلت والدولوريت (الثلوثي):

كلمة دولوريت أتت من اليونانية (دولوروس أي المخادع).

اللون: أسود مخضر قاتم.

البنية: كتلية، فراغية، لوزية (الفراغات مملوءة بالزيوليت، الكوارتز وغيرها).

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- أوليفين:

أكثر من 5%.

2- البلاجيوكلاز:

من نوع اللابرادور، ويمثل (45-65%).

3- كلينو بيروكسين:

بيجونيت، بيجونيت - أوجيت، فيرو أوجيت (أوجيت حديدي)، حيث يمثل البيجونيت (15-45%)، أما الأنواع الأخرى فتمثل (20-55%).
الأرضية:

هي من اللابرادور، أنديزين-لابرادور مع بلورات غير منتظمة من الكلينو بيروكسين، وندراً أوليفين فاسد إلى سرينتين، إيدينغزيت.

النسيج:

بورفيريت.. مع أرضية كاملة التبلور، في حال وجود الزجاج تكون زجاجية إفيرية أوفيتروفيرية (هيالوبازلت)، انترستالية (متداخلة).

نسيج الدولوريت:

بويكلي، أوفيتي، ميكرو دولوريتي، تاكسيتي، ميكرو تاكسيتي في مناطق التماس.

ب- 3- بازلت بورفيريت:

صخر بازلي قديم فاسد، حيث تكون فلزاته هي ناتج فساد من التحول إلى البيت للبلاجيوكلاز الأساسي، وتحول الكلينو بيروكسين إلى كلوريت، أما الزجاج فهو معاد التبلور.

ب- 4 - الدياباز:

هو ناتج فساد الدولوريت، تركيبه الفلزي هو بلاجيوكلاز أساسي عادة فاسد، أوجيت، أمفيبول، كلوريت، سرينتين، ماغنيتيت. وبسبب العمليات بعد المغماتية تحصل التحولات التالية:

1- التحول إلى أمفيبول، حيث يتحول الأوجيت إلى الأمفيبول.

2- التحول إلى كلوريت (حيث يتحول الأمفيبول إلى كلوريت).

3- التحول إلى ساسوريت (ناتج عن فساد البلاجيوكلاز).

4- التحول إلى البيت، حيث يتحول البلاجيوكلاز الأساسي إلى البيت

وساسوريت.

النسيج: أوفيتي.

ب-5- السبيليت:

ناتج عن إعادة تبلور البازلت المحيطي.

اللون: رمادي مخضر.

البنية: أوفيتية، لوزية.

البلاجيوكلاز يتحول كلياً إلى البيت، أما الزجاج فيكون أخضر بسبب

تحوله إلى كلوريت، كما أن الكلوريت ينمو هنا على حساب الكلينوبيروكسين.

النسيج:

أوفيتي مع كمية قليلة من الفينوكريست.

الأرضية أنترسرتالية، حيث يتوضع بينها بلورات متطاولة ميكروليتية من

البلاجيوكلاز محاطة بفلزات الدرجة الثانية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

كلوريت، كالسيت، ليكوكسين، ماغنيتيت.

نسبة السيليكات في هذا الصخر (50%) مع نسبة عالية من الصوديوم وأما

البوتاسيوم فهو منخفض جداً

يتميز السبيليت التجزو إلى كرات (بنية وسائدية).

أهم صفات الصخور البازلتية والدولوريتية هي القتامية التي تصل أعلى

من (21%).

يتميز البازلت المحيطي عن القاري حيث تكون نسبة K_2O و FeO ، و

Fe_2O_3 في الأنواع المحيطية أقل من القارية. و MgO تصل حتى (8%) في

الأنواع المحيطية ونسبة فيه $\frac{2O}{K_2O} = 2.1-0.7$ عالية جداً ومتراوح (8-30)

كما تتميز بأن نسبة $\frac{F}{Mgo} = 0.7-2.1$ ، وغالباً تتراوح بين (1.1-1.5)

ب- 6- البازلت الفاتح والدولوريت الفاتح (ثولوييتي):

وهي قليلة الانتشار.

اللون: صخر أخضر قائم مع ظلال رمادية.

الصخر متماسك، ناعم الحبيبات، نادراً متوسط الحبات.

البنية: كتلية وبشكل أقل لوزية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- بلاجيوكلاز من نوع (اللابرادور - بيتونيت - أنورتيت)، أحياناً يكون

بشكل فينوكريست.

2- كلينوبيروكسين عادة أوجيت، وبشكل أندر أوجيت حديدي، ويمثل

البيروكسين (1 - 35%).

3- الكوارتز إما أن يكون بشكل بلورات مستقلة، أو ضمن الأرضية

(غرانوفيري) ويمثل (3 - 5%).

4- الفلزات الثانوية تصل حتى (15%).

5- لا يتواجد الأوليفين حيث تتراوح نسبته من (صفر - 2%).

6- نادراً ما يتواجد الأورثوبيروكسين.

7- يحوي (1 - 38%) زجاج.

الأرضية مؤلفة من البلاجيوكلاز والبيروكسين بالإضافة للفلزات الثانوية

(ماغنيتيت، تيتانوماغنيتيت) مع كمية من الزجاج.

النسيج:

1- بويكيلواو فيتي.

2- أوفيتي.

3- غابرو أوفيتي.

هذه الصخور عامة غنية بالألومينا (17%)، نسبة SiO_2 ليس أقل من (48%).
نسبة $\frac{\text{MgO}}{\text{MgO}}$ عالية وأما الاحتواء على MgO فهو منخفض (3-7%) وتتميز أيضاً
بنسبة الكالسيوم عالية (7-15%) وانخفاض نسبة TiO_2 (0.3-0.5)
ونسبة K_2O والفوسفور منخفضة، وتنسب هذه الصخور إلى المجموعة
الصودية، ونادراً ما تلاحظ أنواعاً بوتاسية - صودية.

ب- 7- البازلت الهيبيرستيني: كلسي- قلوي.

يتميز هذا النوع من البازلت عن الأنواع الثلويبيتية الأخرى بارتفاع نسبة
الألومينا (7-23%)، وانخفاض نسبة Ti ، Fe و Mg ، وينتمي إلى مجموعة
الصخور البوتاسية الصودية مع نسبة مرتفعة من $\frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{TiO}_2}$ أعلى من (0.8)
والأنواع الأكثر حامضية من هذه الصخور تحتوي نسبة عالية من الفلزات
القائمة مثل: أوليفين، بيروكسين مرتفع الحديدية.
اللون: رمادي قاتم أو أسود ونادراً رمادي.

أحياناً تكون هذه الصخور فراغية، بورفيرية، الفينوكريست فيها كبيرة.
تتميز هذه الصخور بالتخطيط حيث تتأوب خطوط رمادية سوداء مع خطوط
حمراء.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- بلاجيوكلاز:

ذو توأمية مع محتبسات من الزجاج نوعه (An_{50-70})، أما نسبته فتتراوح بين
(45 - 70%).

2- أوليفين:

يكون بشكل فينوكريست، ويمثل (2-6%).

3- هبرستين:

(2 - 10%)

4-أوجيت - ديوبسيد:

(30 - 40%)

5- ماغنيتيت وبشكل أندر تيتانوماغنيتيت (1- 7%)، وتكون بشكل فينوكريست.

6- بعض بلورات أمفيبول من نوع الهورنبلاند بالإضافة للميكا (قلوغوبيت - بيوتيت).

7- يحوي (8 - 10%) من حجم الصخر زجاجاً.

يمثل مجموع البيروكسين مع البلاجيوكلاز (70%) من الصخر، ويمثل الفينوكريست منها (30%)، والدور الرئيسي في هذه الصخور يقوم به البيروكسين والفلات الثانوية.

النسيج:

تكون الأرضية إنترسيرتالية، بيلوتاكسيتية أو هيالوبيلية، ونادراً ميكرو دولوريتية.

ب- 8- الأوفيت:

الأوفيت له معانٍ متعددة.

1- هو عبارة عن دياباز البيريني، فيه أوجيت فاسد إلى أوراليت.

2- صخر كامل التبلور يتألف من بلاجيوكلاز مع أوجيت مغنيزي، ومع أو بدون أوليفين.

3- السرينتين، حيث يستخدم مصطلح الأوفيت في الوقت الحالي للدلالة على صخور السرينتين.

3-1- مجموعة الصخور الأساسية العميقة:

3-1-1- مجموعة الصخور الأساسية العميقة النظامية:

أ- عائلة الغابروئيدات:

هي صخور عميقة أساسية وتضم مجموعة من الصخور، وهي الغابرو، غابرو أوليفيني، نوريت، أنورتوزيت أوليفيني، غابرونوريت، غابرونوريت أوليفيني

تروكتوليت وأنورتوزيت.

تعد الصخور السابقة صخوراً أساسية نظامية، حيث $(Na_2O + K_2O) = 0.5-4.5\%$ ، ونسبة SiO_2 (44-53%)

أ-1- الغابرو:

سمي هذا الصخر على اسم منطقة تقع شمال إيطاليا.

لونه: رمادي فاتح حتى الرمادي القاتم، أو أخضر قاتم حتى الأسود، والصخر حبيبي.

البنية: مخططة، تراكيبية، غابرو ذا بنية حلقية (الشكل 28).

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- بلاجيوكلاز أساسي تتراوح نسبته بين (35-65 أو 45-90%).

يكون هذا البلاجيوكلاز عادة ذا توأمية متكررة (توأمية الالبيت).

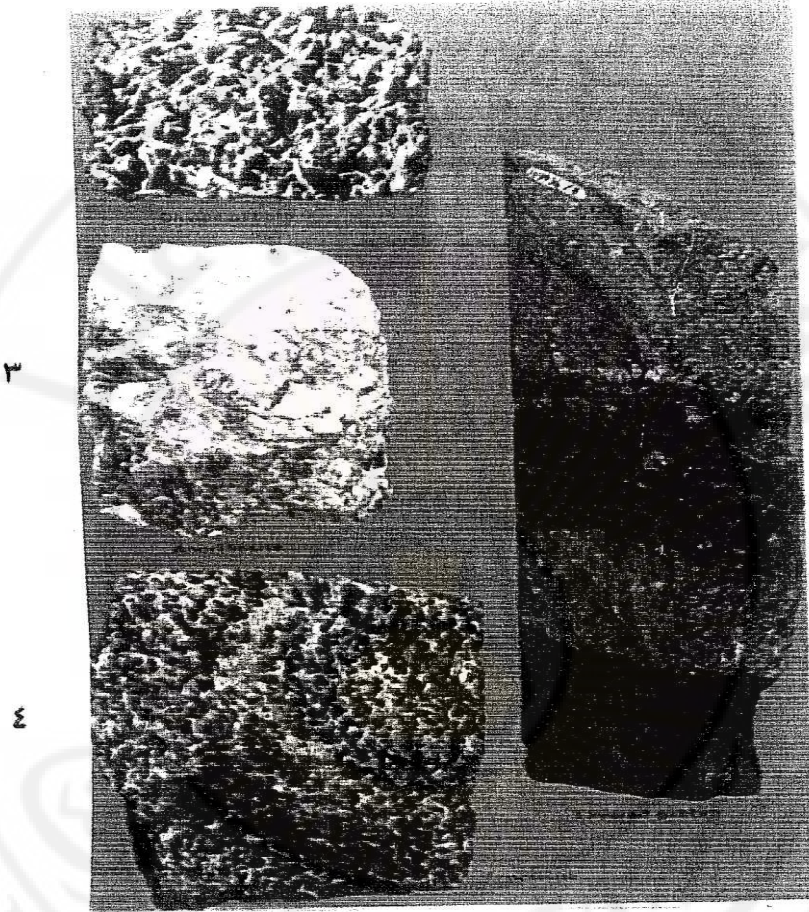
2 - كلينوبيروكسين:

من نوع ديالاج أو أوجيت - ديوبسيد - سالييت، سالييت، تيتانو أوجيت، وأحياناً يحتوي هذا الكلينوبيروكسين على محتبسات الأورثوبيروكسين من نوع هيرستين برونزيت.

ويحتوي التيتانو أوجيت انبثاقات من الكيرسوتيت بشكل نقط، كما يمكن أن يحتوي على الاكتينوليت بلون أخضر فاتح إلى عديم اللون، ويمثل البيروكسين (10-60%) من حجم الصخر.

3- الأوليفين:

يكون بشكل بلورات مدورة، كثيراً ما يحوي نطاقاً كيليفيتياً من الأكتينوليت مع سينيل، بالإضافة إلى ظهور ميرميكيت الناتج عن تداخل أوليفين والتيتانو أوجيت، ويكون الأوليفين عادة متحولاً إلى سرينتين وماغنيتيت.



الشكل (28): يظهر بعض الصخور الأساسية العميقة المنشأ:

1- غابرواويليفيني 2 - غابروتطقي 3 - أنورتوزيت 4 - تروكتوليت

4-الأمفيبول:

عادة ينمو على حساب البيروكسين تمثل أقل من (5%).

5-الفلزات الثانوية:

تيتاتو ماغيتيت، إيلمينيت، أباتيت، تيتاتيت، وسبينل أقل من (5%) من

حجم الصخر.

6-الببوتيت:

أقل من (5%).

النسيج:

يتبع النسيج التركيب الفلزي، حيث يكون في الأنواع البلاجيوكلازية، أي نسبة البلاجيوكلاز هي الأعلى من الفلزات الأخرى (الليكو غابرو)، ويكون النسيج هيبثيديومورفياً.

أما في الأنواع التي تسيطر فيها الفلزات القاتمة (ميلانو غابرو)، يكون النسيج من نوع تحت أوفيتي.

فساد الغابرو:

تتمثل بعملية تشكل الأوراليت، أكتينوليت (التحول إلى أمفيبول)، وتشكل الكلوريت، سيرسيت، ساسوريت، أيبيدوت، سكاليت، سربنتين.

وتحتوي الصخور الغابروية على (42 - 52%) سيليكاً، حيث تتناقص هذه النسبة في أنواع الغابرو القائم إلى (40%)، وإن متوسط احتواء الغابرو على SiO_2 السيليكاً في أنواع الغابرو العالمي هي (50%)، أما الأكاسيد الأخرى فهي Al_2O_3 (8-27%)، وللأنواع القاتمة Al_2O_3 تتراوح بين (8 - 11%).

متوسط الاحتواء لأوكسيد الحديد $Fe_2O_3 + FeO$ تتراوح بين (10 - 15%)، وفي الأنواع الأخرى من الغابرو ترتفع هذه النسبة في حين تنخفض في الأنواع المحيطية إلى أقل من (10%).

أما نسبة MgO المغنيزيوم فمتوسط احتواء الغابرو منه هي (6-8%)، وفي بعض أنواع الغابرو ترتفع هذه النسبة حتى (18%) وقد أثبت بأنه مع انخفاض نسبة MgO ترتفع نسبة النيكل وأوكسيد الكالسيوم CaO من (8-18%)، حيث عنصر التيتانيوم يزداد في أنواع الغابرو الحاوية على الأنورتيت والديوبسيد، أما نسبة $Na_2O + K_2O$ فتتراوح بين (0.5-4.5%) حيث $Na_2O > K_2O$.

أ-2-النوريت:

- صخر كامل التيلور.

اللون: رمادي - بني.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-بلاجيوكلاز:

من نوع لابرادور بيتونيت.

2- أورثوبيروكسين:

من نوع الهيرستين. أحياناً كلينوبيروكسين، كوارتز، بيوتيت ونادراً أوليفين.

الفلزات الثانوية:

ايلمينيت، ماغنيتيت، سولفيدات.

أ-3- غابرونوريت:

يتواجد غالباً مع الغابرو الغابرونوريت يكون متوسط الحبيبة.

اللون: رمادي فاتح، رمادي قاتم حتى الأسود.

يتميز عن الغابرو تحت المجهر بالبلاجيوكلاز الشفاف والهيريستين ذي

اللون البني والأوجيت الأخضر المسود وبوجود البيوتيت والأمفيبول.

البنية: كتلية، تاكسيتية، تراكيتية بحيث يظهر توجه للبلاجيوكلاز والفلزات القاتمة.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-البلاجيوكلاز الأساسي:

يمثل (35-65%) وهو من نوع (An₅₀₋₇₀) حتى البيتونيت.

2-أورثوبيروكسين ينمو داخل الكلينوبيروكسين.

3-الكلينوبيروكسين:

أوجيت، تيتانو أوجيت يمثل (5-60%).

4-الأوليفين:

من نوع غورتونوليت يحتوي محتبسات من الأوجيت وأمفيبول، ونسبة أوليفين أقل من (5%).

5-الفلزات الثانوية:

إيلمينيت، تيتانوماغيتيت، وبشكل أندر ماغنيتيت.

الفساد:

ينمو الساسوريت والإيبيدورت على حساب البلاجيوكلاز، كما ينمو التالك والباستيت على حساب الأورثوبيروكسين، وينمو على الأجزاء الخارجية منه الأكتينوليت، التالك والبيوتيت.

النسيج:

تحت أوفيتي، أوفيتي، غابرو أوفيتي، ونادراً غابروي أوبورفير. إن نسبة السيليكا في هذه الصخور تتراوح (42-45%)، والألومينا Al_2O_3 (12-19%)، ونسبة أكسيد الحديد تطابق نسبته في الغابرو (10-15%)، وترتفع هذه النسبة في الغابرونوريت والغابرونوريت الأوليفيني القاتم إلى (20%).

أما $Na_2O + K_2O$ فتكون النسبة (1-3%)، وترتفع في الصخور تحت القلوية إلى (5-6%).

أ-4-الغابرونوريت الأوليفيني:

له صفات الصخر السابق نفسها.

أ-5-التروكتوليت:

اللون: رمادي، رمادي مخضر، رمادي قاتم وحتى الأسود.

البنية: كتلية، مخططة، تاكستية غير واضحة التخطيط، تراكتيتية، فلونيدية (سيلية).

الشكل (23)

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-بلاجيوكلاز أساسي:

نوعه (An_{50-80}) تتراوح نسبته بالصخر من (35- 65%) له توأمية متكررة ناعمة، ويكون بشكل أندر ذي شكل موشوري، والذي يكون متحولاً إلى برينيت، سيرسيت وعناصر بيلليتية.

2-الأوليفين:

يكون وجهياً أو بشكل بلورات بشكل نقطي، يصل أبعادها من (3-5 مم)، وفلز الأوليفين يتوضع بشكل سلسلة متقطعة محاطة بحبات صغيرة من البلاجيوكلاز بشكل نطاق، وغالباً يحاط الأوليفين بفلز الهيبيرستين، وكثيراً ما يكون الأوليفين محتسباً ضمن البلاجيوكلاز .

3-الكالينوييروكسين:

يكون من نوع الأوجيت، بيجونيت، تيتانواوجيت في التروكتوليت الصودي البوتاسي.

4-الهورنبلاند:

نادراً ما يتواجد، وتكون عديمة اللون أو خضراء، محاطة بنطاق من الفلزات الخامية أو بالأوليفين.

5-الببوتيت:

يكون عادة بشكل نطاق حول الفلزات الخامية (تيتانوماغنيتيت، ماغنيتيت) ونادراً ما يحيط بالأوليفين أحيانا (يحصل تحول الأوليفين كلياً إلى ببوتيت).

النسيج:

غابروي، بشكل أندر بورفيرى المظهر مع بلورات فينوكريست من البلاجيوكلاز أو الأوليفين، ينتشر أيضاً بشكل واسع النسيج الكيليفيتي.

كثيراً ما يكون هذا النطاق الكيليفيتي من الهورنبلاند والغرانات من حيث

الشكل إذا كان المسيطر، أو له النسبة الأكثر هو من الأوليفين، وهذا يعني أنه تشكل أولاً، وأما في حال كان البلاجيوكلاز هو الأكثر، فهذا يعني أنه هو المتشكل أولاً. وتحتوي صخور التروكتوليت (43-44%) من السيليكا، والتي ترتفع حتى (48%) في الغابرو أنورتوزيت والغابر والسيانيتي.

نسبة الألومينا Al_2O_3 (12-15%)، وهي ترتفع حتى (18-21%) في الغابرو السيانيتي والغابرو أنورتوزيت.

نسبة القلويات في التروكتوليت وخاصة الصوديوم من (1%)، وحتى (3-4%) أما نسبة المغنيزيوم فهي حوالي (14%) وترتفع حتى (20%).

أ-6- الغابرو الأمفيبولي:

الفلزات المشكلة الرئيسية:

أ-الأمفيبول:

من نوع أكتينوليت، بني عادة، ويكون بشكل نطاق حول الكلينوبيروكسين، ونادراً ما يكون هو رنبلاند أولي في هذا النوع من الغابرو.

2-البلاجيوكلاز:

أساسي جداً من نوع الأنورتيت.

أ-7-الأنورتوزيت:

أنت تسمية الصخر من الكلمة الفرنسية أنورتوز والتي تعني البلاجيوكلاز. الأنورتوزيت صخر حبيبي خشن كبير الحبيبية، وبشكل أندر متوسط الحبيبية، أو ناعم الحبيبية.

اللون: رمادي قاتم حتى الأسود تقريباً.

البنية: كتلية موجهة ناتجة عن حركة الماغما أثناء التبلور، وهي حاوية على بلاجيوكلاز لوحى.

الأنورتوزيت صخر يتألف تقريباً بأكمله من البلاجيوكلاز (لابرادور،

بيتونيت، وبشكل أندر أنديزين وأوليغوكلاز)، حيث يظهر نوعان من البلاجيوكلاز، الأول ناعم الحبيبة من نوع (An₄₅₋₅₀)، والثاني خشن الحبيبة من نوع (An₅₈₋₆₀)، حيث على الحد مع الأخير ينمو ميرميكيت مع بلاجيوكلاز من نوع (An₉₀).

البلاجيوكلاز في هذه الصخور يحتوي على محتبسات بشكل رقائق من الخامات الحديدية. عندما يصغر حجم بلورات البلاجيوكلاز تختفي المحتبسات وتأخذ الفلزات مظهر حبات المرمر.

البلاجيوكلاز يمكن أن يكون بنوعيه الناعم والخشن متحولاً إلى البيت ثم ميكروكلين وهذا مرتبط بعملية دخول الصوديوم، ويمكن أن ينمو الموسكوفيت، الكوارتز الأبيدوت باراغونيت، زويسيت، كالسيت، كلينوزويسيت على حساب البلاجيوكلاز.

ويحتوي الأنورتوزيت، الأورثوبيروكسين، الكلنوبيروكسين والأوليفين بنسبة ليس أكثر من (10%).

الأورثوبيروكسين:

من نوع الهيبيرستين، فيروهيرستين، برونزيت ويمكن أن يحل محله اكتينوليت وكلوريت مع فلزات خامية.

الكلنوبيروكسين:

من نوع أوجيت، سالييت بشكل مواشير أو ألواح قصيرة، يتحول الأوجيت بالفساد إلى تريموليت وكلوريت.

الفلزات الثانوية:

إيلمينيت، تيتانوماغنيتيت، أندرماغنيتيت، بيروتيت، بيريت، كالكوبيريت وتكون تحت وجهة بالمقارنة مع البيروكسين والبلاجيوكلاز.

النسيج:

الأتريومورفي (عديم الوجهية)، بانثيديومورفي (كامل التبلور)، أحياناً

أوفيتي، بورفيري المظهر، غرانوبلاستي. الشكل (21).

كيمياء الصخر:

تصل أعلى نسبة للسيليكا في الأنورتوزيت إلى (48-54%)، أما نسبة الألومينا فتصل إلى (32%)، والمغنيزيوم (0.3-3%)، وفي بعض أنواع الأنورتوزيت ترتفع نسبة البوتاسيوم حتى (1%)، مما يؤدي إلى ظهور الأورتوز فيها وفي حال ارتفاع الصوديوم ينعكس ذلك على نوع البلاجيوكلاز، حيث يصبح من نوع الأوليغوكلاز.

أنواع الأنورتوزيت:

- 1- الأنواع القائمة تتميز بارتفاع نسبة الفلزات القائمة حتى (10%).
- 2- الأنورتوزيت الحاوي على الأوليفين يحتوي أوليفين حتى (5%).
- 3- أنورتوزيت لابرادوري يحوي بلاجيوكلاز (An_{50-70})
- 4- أنورتوزيت لابرادوري - بيتونيتي البلاجيوكلاز من نوع بيتونيت (An_{70-90})
- 5- أنورتوزيت لابرادوري - انديزيتي.
- 6- أنورتوزيت بيروكسيني.
- 7- فيرو أنورتوزيت يحوي بيتونيت (An_{63}) بنسبة (87%) وفلزات خامية (11%)، وبيروكسين (1%).
- 8- أنورتوزيت كورونومي (كيشتيميت)، حيث يكون الفلز الخام موجوداً في الصخر هو الكورندوم.

3-2-3- مجموعة الصخور الأساسية تحت القلوية:

3-2-3- مجموعة الصخور الأساسية تحت القلوية الاندفاعية (السطحية).

تتميز صخور هذه المجموعة عن الصخور النظامية بارتفاع نسبة القلويات ($Na_2O + K_2O$) (2.5-9.5%)، أما نسبة السيليكا في الصخور النظامية وتحت القلوية، فتكون تقريباً متساوية ($SiO_2 = 44-53\%$)، ومن ناحية أخرى تختلف

الصخور البازلتية تحت القلوية عن الأنواع القلوية بعدم وجود الفلدسباتويد والأمفيبول القلوي والبيروكسين، حيث ترتفع نسبة الألبيت في الصخر البازلتي تحت القلوي.

الفلزات الرئيسية المشكلة للبازلت تحت القلوي هي أوجيت غني بالكالسيوم، ساليت، تيتانواوجيت وإيجيرين - أوجيت - أنورتوكلاز أو ساندين، بيوتيت، كذلك الأوليفين بشكل فينوكريست في جسم الصخر وفي الأرضية. إن الصخور تحت القلوية الاندفاعية الأساسية تتوحد جميعها تحت صف واحد، هو التراكي بازلت.

أ- عائلة البازلت والتراكي بازلت تحت القلوية:

تحت هذه العائلة ينضم سبعة أنواع:

- 1- البازلت الأوليفيني والدولوريت تحت القلوي.
- 2- البازلت الأوليفيني الفاتح (ليكوبازلت)، والدولوريت الفاتح (ليكودولوريت) تحت القلوي.
- 3- ليكوبازلت تحت قلوي (ميغابلاجيوفيري).
- 4- هافاييت (بازلت انديزيتي).
- 5- موجيريت (بازلت أوليغوكلازي).
- 6- تراكي بازلت وتراكي دولوريت.
- 7- شاشونيت (بازلت تراكي غني بالبوتاسيوم والتراكي دولوريت).

أ-1- البازلت الأوليفيني الفاتح والدولوريت الفاتح تحت القلوي:

الصخور كتلية أو ناعمة إلى ناعمة الحبيبة جداً ذات لون رمادي إلى رمادي نهدي، وعادة تكون أفتح من الصخور البازلتية السابقة.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-الأوليفين:

بلورات فينوكرستية سداسية أو دائرية مصابة بالأباتيزاتسيا، يتراوح قياسها بين (1% و 4% مم)، وبعض هذه البلورات محاطة بفساد ذي لون بني مصفر من الإيدنغزيت والبولنجيت الأخضر.

2- الكلينوبيروكسين:

بلورات ناعمة (0.01-0.15 مم) وبشكل أندر (0.2-0.5 مم) موشورية قصيرة أو بشكل حبيبات غير منتظمة، عديمة اللون من نوع الأوجيت والساليت، حيث يكون الأوجيت غنياً بالكالسيوم أو من نوع التيتانواوجيت، ويكون بلون بني فاتح.

3- البلاجيوكلاز:

ينمو بشكل بلورات موشورية متطاولة يصل طولها من (0.1-1.5 مم)، بالإضافة إلى الأشكال البلورية اللوحية العريضة (1-3 مم)، وفي اللافا الحديثة يكون البلاجيوكلاز شفافاً، أما نوع البلاجيوكلاز فيكون لابرادور، أنديزين، ونادراً أوليغوكلاز ذا توأمية متكررة (توأمية الألبيت، أو البيت كارلسباد)، ويظهر التمنطق في بلورات مفردة من البلاجيوكلاز.

4- فلزات ثانوية:

ماغنيتيت، تيتانوماغنيتيت، إيلمنيت هماتيت.

5- فلزات الدرجة الثانية:

إباتيت، كورندوم، زركون، تيتانيت، روتيل، فلوريت.

6- في الفراغات يتوضع:

كالسيدوان، زيوليت، إيدنغزيت، ليمونيت، أراغونيت، كلوريت، إيبيدوت، كالسيت.

7- فلزات خامية:

ماغنيتيت، تيتانوماغنيتيت.

النسيج:

أوفيري (دولوريتية)، بورفيري مع نسبة غير كبيرة من فينوكريست الأوليفين (10-15%)، بويكيلووافيتي مع مواشير قصيرة من البيروكسين التي يصل قياسها إلى (0.5 مم)، وتتضمن بلورات متطاولة من البلاجيوكلاز، أوليفين وفلذات أخرى. وتحتوي هذه الصخور من وجهة النظر الكيميائية (48.3-51.6%) سيليكاً، و (1.9-0.9%) أكسيد التيتانيوم، و (17.7-16.4%) ألومينا، و (10.9-9.2%) أكسيد الحديد، و (5-6.4%) أكسيد المغنيزيوم، و (9.2-7.7%) أكسيد الكالسيوم، و (5.6-4.7%) أكسيد صوديوم والبوتاسيوم، و (1.8-0.9%) من أكسيد البوتاسيوم.

وتعد هذه الصخور ذات محتوى أكبر بالألومينا والسيليك والقلويات مقارنة بالصخور التي وردت سابقاً مع انخفاض نسبة أكاسيد التيتانيوم والحديد والمغنيزيوم والكالسيوم.

أ-2- البازلت الفاتح، ميغابلاجيوفيرية تحت القلوية:

تتميز هذه الصخور بأنها بورفيرية بشكل واضح في أرضية أفيرية معادة التبلور، حيث يكون الفينوكريست عبارة عن بلورات مدورة من البلاجيوكلاز، وتشكل (30-40%) من حجم الصخر.

الفلذات المشكلة الرئيسية:

1-البلاجيوكلاز:

يكون بشكل فينوكريست وميكروليت تصل نسبته حتى (80%)، حيث يكون البلاجيوكلاز الفينوكريستي منطقياً نظامياً، أو ذا توأمية متكررة، أو توأمية البيت - كارلسباد، حيث يحتوي محتبسات من الماغنييت، حجم الميكروليت (0.13-0.16 مم)، ويكون من نوع (An₅₀₋₆₀)، ويحتوي البلاجيوكلاز أكسيد بوتاسيوم (1-0.5%).

2- الأوليفين:

يتواجد بشكل بلورات مفردة غير منتظمة عديمة اللون، تصل نسبته من (صفر-3%)، وكثيراً ما تحتوي هذه الفلزات الزجاج.

3- الكلينوبيروكسين:

أوجيت غني بالكالسيوم، سالييت، تكون بشكل بلورات غير منتظمة عديمة اللون، يصل حجمها من (1-2مم)، وبعض البلورات منها تكون ذات ظلال خضراء.

4- أورثوبيروكسين:

بلورات مفردة موشورية حجمها أقل من (0.5 مم). الأرضية تمثل (80%) من حجم الصخر، وهي مؤلفة من ميكروليتات من البلاجيوكلاز، حجمها أقل من (2 مم) مع تيتانوماغنيتيت وزجاج عديم اللون إلى بني فاتح، تصل نسبتها إلى (15-30%) النسيج للأرضية هيالوبيليتي، أنترسيرتالي أوميكروليتي.

كيميائية الصخر تتميز بنسبة سيليك (53.3-49.5%)، وأوكسيد الألومنيوم (21.7-18.5%)، وقلويات (6.6-5.6%)، وهي كمية عالية، وأوكسيد التيتانيوم تصل حتى (1.1%)، وأوكسيد المغنيزيوم (2.2-5.5%) وأوكسيد الحديد (9-5.7%)، أي يظهر ارتفاع بالألومينا وانخفاض بالسيليكا، وتتميز هذه الصخور عن الموجيريت والبازلت تحت القلوي الفاتح بالاحتواء على نسبة أكبر من القلويات والألومينا.

أ-3- هافايت (بازلت انديزيتي):

يشبه من حيث المظهر صخور البازلت الأوليفيني تحت القلوي ويختلف عنه بالتركيب الفلزي والكيميائي.

الصخر ناعم الحبيبة، إفيري، بورفيري، يكون الفينوكريست من

البلاجيوكلاز الناعم وفلذات قاتمة.

الفلذات المشكلة الرئيسية:

1-البلاجيوكلاز:

تكون بشكل بلورات لوحية، موشورية تمنطقية فينوكرستية (An_{50})، ورقية وميكروليتية (An_{30-40})، ونسبته في الصخر (36-39%).

2-الكلينوبيروكسين:

أوجيت مرتفع الكلسية، سالييت- أوجيت أوتيتانواوجيت، وبشكل أندر سالييت، ديوبسيدواوجيت وفيرواوجيت، وهو موشوري، وينمو بين الفينوكرست والميكروليت.

3-الأوليفين:

شكله منتظم واضح عديم اللون وكذلك غير منتظم، ويتوضع في جسم الصخر بين الفينوكرست، كما يتواجد في الأرضية.

4-فلذات الدرجة الثانية (النامية على حساب الفلذات الرئيسية).

أيدنغزيت، بولنجيت، بالأغونيت، كربونات.

5-كما تتواجد فلذات ماغنيتيت، أورتوكلاز، وفلذات خامية وأباتيت.

النسيج:

إفيري، بورفيري ناعم مع أرضية هيالوبيليتية، بيلوتاكسيتية، أندر تراكيتية أنترسيرتالية، ميكرولولوريتية.

التركيب الكيميائي:

السيليكا تمثل (46.3-49.3%)، وأوكسيد التيتانيوم (2.2-4.1%)، وأوكسيد الألمينيوم (14-17.8%)، وأوكسيد حديد $FeO + Fe_2O_3$ (11.1-13.7%)، وأوكسيد المغنيزيوم (4-6%)، وأوكسيد كالسيوم CaO (7.2-11.2%)، والقلويات $Na_2O + K_2O$ (3.6-3.9%) $(Na_2O = 3.1-4.5\%)$ $(K_2O = 2-2.2\%)$.

0.8%)، حيث يقع صخر الهاثايت في مرحلة وسط بين الصخور تحت القلوية البازلتية الأوليفينية والصخور تحت القلوية البازلتية الأوليفينية الفاتحة. وبعد أكبر قسم من الهاثايت عائداً للصخور البركانية البوتاسية - السودية.

أ-4- موجيريت (بازلت أوليفيني):

اللون: رمادي، رمادي-بنّي، رمادي قاتم أحياناً أسود. ناعم الحبيبة إلى ناعم جداً، إفيري وبشكل أندر ميكروبورفيري. البنية: إفيرية، بشكل أندر ميكروبورفيرية، فلوئيدية، فلوئيدية مخططة، وعادة تكون كتلية (الشكل 24).

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- بلاجيوكلاز: (50-60%)

ألواح حجمها (0.5-0.6 مم) مشكلة فينوكريست، في الأرضية بشكل وريقات وميكروليتات.

2 - الصفاح البوتاسي: (10 - 15%)

بشكل بلورات غير منتظمة حجمها أقل من (0.1 مم)، وبشكل ميكروليتات متطاولة في الأرضية.

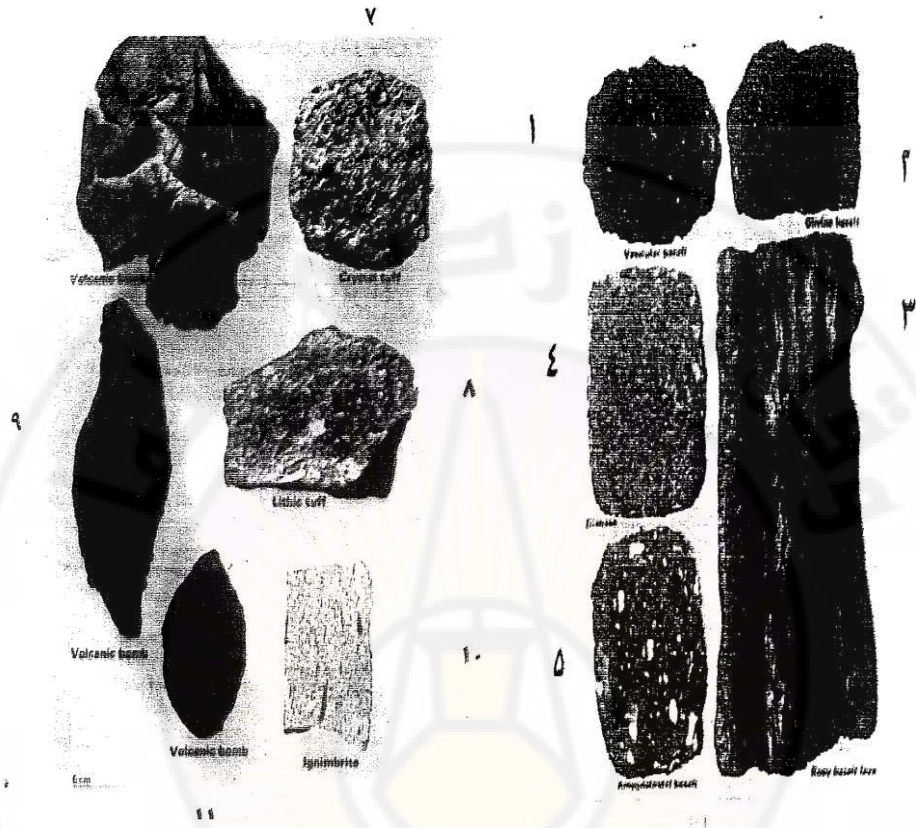
3- أوليفين: (10 - 20%):

جميع فلزات الأوليفين متشابهة الشكل وغير منتظمة، وتصل أبعاد الفينوكريست إلى (0.3-0.5 مم)، أما أوليفين الأرضية فتصل أبعاده إلى (0.05-0.1 مم).

4- كلينوبيروكسين (4-10%):

في الأرضية يكون بشكل بلورات متطاولة أجزاء من المليترات.

5- الفلزات الثانوية (4-10%)



الشكل (29) يظهر الشكل الصخور الاندفاعية الأساسية
 بازلت فراغي 2 - بازلت أوليفيني 3- لافا بازلتية حبلية 4- دياباز 5- بازلت لوزي 6- قنبلة بركانية 7- طف
 مبلور 8- طف 9- قنبلة بركانية 10- إيفنيمبريت 11- قنبلة بركانية
 6- الأباتيت (1- 3%)

مجمّل احتواء الصخر على الفلزات القاتمة يصل إلى (25-35%) من
 الحجم الكلي للصخر.

النسيج:

أفيري أو بورفيرى ناعم وبشكل نادر بورفيرى، حيث يكون حجم
 الفينوكريست فيها (0.5-0.6 مم)، وهي من البلاجيوكلاز والأوليفين، وندراً
 ماغنيتيت، وأحياناً أباتيت، هذه الفلزات تمثل (5-10%).

كثيراً ما يكون نسيج الموجيريت تراكيتياً والذي يتميز بوجود فلزات ورقية متوازية من الفلدسبار .

أ-5- تراكي بازلت - تراكي دولوريت:

لونه: رمادي، رمادي فاتح، رمادي نهدي، رمادي مخضر، رمادي قائم أحياناً أسود.

البنية: بورفيرية بشكل أندر أفيرية، كتلية، لوزية.

الفلزات المشكلة للتراكي بازلت:

1-البلاجيوكلاز:

هو الفلز المسيطر في جسم وأرضية الصخر، ويصل حجم الفينوكريست في جسم الصخر إلى (0.5-5 مم)، وأحياناً إلى (10 مم)، وتكون بشكل ألواح وتركيبها هو (Ap_{15-25})، ويمكن أن يصل إلى اللابرادور.

2- الصفاح البوتاسي:

هي ألواح كبيرة فينوكريستية تتوضع بين فينوكريست الصخر وهي من نوع أورتوكلاز - ميكروكلين، تصل أحجامها (1-20مم)، وفي كثير من الأحيان يكون هذا الصفاح من نوع أنورتوكلاز أو ساندين.

أما في الأرضية فيكون الصفاح البوتاسي بشكل بلورات لوحية متطاولة أحياناً إبرية أو ذات أشكال غير منتظمة، حيث تكون مقاييسها تتراوح بين أجزاء من المئة وحتى (0.2 مم). كما يشكل الصفاح البوتاسي إطاراً ميكروليتياً حول البلاجيوكلاز.

3- الكلينوبيروكسين:

من نوع أوجيت، سالييت، أوجيت مرتفع الكلسية، ديوبسيد، تشكل بلورات متطاولة في جسم وأرضية الصخر.

4- الأوليفين:

فورستريت ويكون في جسم الصخر بشكل بلورات وجهية، يمكن أن تحتوي محتبسات من الزجاج.

5- البيوتيت:

يتواجد في جسم الصخر، قاتم اللون، مقاييسه (1-3 مم)، سداسي الشكل، مصاب بالأباتيزاتسيا بشدة.

6- الأمفيبول:

كيرسوتيت (بني، أخضر فاتح) يتواجد في جسم الصخر حيث مقاس الفلزات يصل إلى (0.2-3 مم)، وغالباً تكون بشكل بلورات متطاولة، أما الأرضية فهي مصابة بالأباتيزاتسيا.

7- الأباتيت:

سداسي الشكل تحت المجهر مقاييسه تصل (1-2 مم).

النسيج:

بورفيرى، ميكروبورفيرى بشكل أندر بيلوتاكسييتى.

نسيج التراكى - دولوريت: أفيرى، بورفيرى أو دولوريتى.

كيميائياً:

التراكى بازلت، التراكى دولوريت ذات تغير واسع كيميائياً نسبة السيليكا (SiO_2) هي (47.6-52.4 %)، وأوكسيد التيتانيوم (0.8-2.3 %)، وأوكسيد الألمينيوم (15.4-18.5 %)، وأوكسيد الحديد (7.7-11.7 %)، وأوكسيد المغنيزيوم (2.3-8.7 %)، وأوكسيد الكالسيوم (5.2-9.5 %)، والقلويات (5.5-8.7 %) ($\text{Na}_2\text{O} = 3.5-5.5$ %) و ($\text{K}_2\text{O} = 1.95-3.2$ %)، وأوكسيد الفوسفور (0.3-11 %).

أ-6- شاشونيت:

التسمية تعود إلى حديقة شاشون في الولايات المتحدة.

اللون: رمادي قاتم، رمادي نهدي أو رمادي مخضر.

البنية: بورفيرية (فينوكريست 25-40%)، بشكل أندر أفيرية، أحياناً فراغية أو لوزية.

في الفينوكريست نميز كلينوبيروكسين، صفاحاً، أوليفين، ميكا سوداء، أحياناً أمفيبول، ماغنيتيت وأباتيت.

الأرضية: أفانيتية، ناعمة الحبيبات، أو زجاجية أحياناً سيلية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

أ- البلاجيوكلاز:

(الأبرادور، أنديزين - لابرادور) في جسم الصخر يكون بشكل ألواح عريضة مقياسها (1-1.5 مم)، أما في الأرضية يكون بشكل ميكروليتات مقياسها (0.1-0.2 مم)، وبشكل أندر (0.4 مم)، وتكون من نوع الألبيت أو البيت - أوليغوكلاز وحتى أوليغوكلاز.

بلاجيوكلاز جسم الصخر يكون ذا تمنطق نظامي، غير أنه ضعيف الظهور، وتظهر فيه التوأمية المتكررة (البيت)، وكثيراً ما يصاب البلاجيوكلاز بالفساد والتحول إلى ساسوريت.

2- الصفاح البوتاسي:

أورتوز - كريبتوبيريت يكون بشكل فينوكريست بكميات قليلة (0.5-1.5 مم) في الأرضية: يكون بشكل ألواح متطاولة ميكروليتية (0.05-0.15 مم)، يكون الصفاح البوتاسي غالباً فاسداً إلى بيليت والبيت.

3- كلينوبيروكسين:

يشكل فينوكريست وميكروليت ويكون من نوع تيتانواوجيت.

الفينوكريست: يصل قياسها من (2.5-0.5 مم)، أحياناً (5-10 مم).

4-أوليفين:

بلورات وجهية واضحة الشكل يصل، مقياسها (1.5-1 مم)، وعادة فاسد إلى سرينتين وتالك، وغيرها من أنواع الفساد.

5- بيوتيت:

بيوتيت تيتاني وفلوغوبيت - أنيت قياسها (0.3-0.1 مم)، بالإضافة إلى وريقات ناعمة في الأرضية.

يفسد البيوتيت إلى كلوريت، ايبيدوت، البيت وليكوكسين.

الفلزات الثانوية:

كربونات، كلوريت، زيوليت.

النسيج:

بورفيرى (فينوكريست بلاجيوكلاز، كلينوبيروكسين)، أنترسيرتالي، تراكييتي، سفير وليتي.

نسيج الأرضية: ميكرو دولوريتي، ويمثل من (60-75%) من حجم الصخر.

التركيب الكيميائي:

يختلف عن الأنواع الأخرى تحت قلبية بارتفاع نسبة البوتاسيوم ($K_2O > 3\%$) مع نسبة ($\frac{Na_2O}{K_2O}$) أقل من (1)

3-3- مجموعة الصخور الأساسية القلوية:

3-3-3 - مجموعة الصخور الأساسية القلوية الاندفاعية (السطحية):

تتميز هذه الصخور باحتوائها على السيليكا (44-53%)، ونسبة القلويات

($Na_2O + K_2O = 4.5-22\%$)، وتقسم هذه المجموعة لثلاث مجموعات:

أ-عائلة البازلت القلوي:

تنتمي لهذه العائلة أربعة أنواع:

تيفريت، تيفريت لوسيتي، نيفليني، تراكي بازلت، تراكي بازلت لوسيتي.
تشبه هذه الصخور من حيث الشكل صخور البازلت النظامي، وتتميز
بارتفاع نسبة القلويات حتى (13%).

أ-1- التيفريت :

أُتت التسمية من الكلمة اليونانية تيفرا، وتعني الرماد، وهو المقابل
السطحي لصخر الثير اليت.

البنية: كتلية أو لوزية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- البلاجيوكلاز:

الابرادور (An_{50-60}) بشكل أقل أنديزين أو بيتونيت، يكون هذا
البلاجيوكلاز مرتفع الألومينية ($Al_2O_3=30\%$)، ومرتفع الكلسية ($CaO=13\%$)،
ويحتوي الصوديوم (4%)، ونسبة منخفضة من أكسيد البوتاسيوم (0.5%). 2-
الكالينوبيروكسين:

تيتانواوجيت بشكل أندر أوجيت أو سالييت، حيث يظهر الأوجيت التيتاني
تعتمد الساعة الرملية، ويحتوي محتبسات من الأباتيت.

3- أوليفين:

غالباً تمنطقي يكون في أرضية الصخر، وغالباً أكثر حديدية من جسم
الصخر، ينمو على حساب الأوليفين فلز الإيدنغزيت، السرينتين والكلوريت، وهذا
الأوليفين يتشكل بحرارة عالية، لذلك يظهر معه بلورات من الماغنييت والتي
تتحول إلى صفائح من الهيماتيت.

4- الفلدسباتويد (نيفلين، انالسيت):

تحتوي هذه الفلزات على (13-19%) من أكسيد الصوديوم.
تكون الفلزات الفلدسباتويدية بشكل فينوكريست متحولة إلى زيوليت،

أنالسيت، كانكرينيت.

5- الفلزات الثانوية:

أباتيت، تيتانوماغنيتيت.

فلزات الدرجة الثانية:

زيوليت، كلوريت، كالسيت.

النسيج:

بورفيرى، أفيري، تراكتيتي عندما يكون الصخر حاوياً على ميكروليتات من البلاجيوكلاز.

أ-2- التفيريت اللوسيتي:

صخر أسود، رمادي مخضر أو بني، وعادة يحوي فينوكريست من الكلينوبيروكسين الأسود وبلورات مدورة من اللوسيت الأصفر، الزهري. أحياناً هذه الفلزات تمثل 50% من حجم الصخر.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

لوسيت، كلينوبيروكسين (أوجيت، ديوبسيد)، وكثيراً ما يحوي محتبسات من الأباتيت، ماغنيتيت، أوليفين، بلاجيوكلاز (لابرادور - بيتونيت، وبشكل أندر انديزين)، وفي الأرضية يتوضع الأوليفين المغنيزي.

من فلزات الدرجة الثانية البيوتيت، الأنالسيت الذي ينمو على حساب اللوسيت، التيفلين، الصفاح القلوي (عادة ساندين)، أمفيبول.

الفلزات الثانوية: منها أباتيت، ماغنيتيت.

كيميائياً:

الصخر غني بأوكسيد البوتاسيوم حيث تصل نسبته إلى (10%)، وعادة تكون أعلى من نسبة أوكسيد الصوديوم.

أ-3- التراكي بازلت النيفليني:

صخر رمادي قاتم أسود تقريباً، تبلوره كامل وبشكل أندر أفانيتي أوبورفييري.

البنية: لوزية مملوءة بالكالسيت.

يختلف هذا الصخر عن التيفريت باحتوائه البلاجيوكلاز الأكثر حامضية، وهي الأنديزين، وبشكل أندر لابرادور مع كمية معتبرة من الأورثوكلاز، وبشكل أندر ساندين يمثل البلاجيوكلاز (30-36%) من حجم الصخر والفينو كريست منه يكون تمنطقياً، أحياناً النيفلين والفلدسبائويدات الأخرى تكون بنسب مختلفة فاسداً إلى ساسوريت.

الفلزات القاتمة: الكليנוبيروكسين يمثل (10-30%) من حجم الصخر.

تمثل تيتانو أوجيت، الأوجيت، الأوجيت - إيجيرين الفلزات الهامة في هذا الصخر بالإضافة للغاستنغسيت، الكيرسوتيت، البيوتيت وبشكل أندر الأوليفين. الفلزات الثانوية: أباتيت، تيتانو ماغنيتيت.

أ-4- التراكي بازلت اللوسيتي:

من الأنواع النادرة في الصخور القلوية، وهو صخر رمادي ناعم الحبيبة بورفييري.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

كلينوبيروكسين (10-30%) من حجم الصخر، بلاجيوكلاز أحياناً يكون تمنطقياً، وبشكل (40%) من حجم الصخر من نوع أنديزين ونادراً لابرادور. الصفاح البوتاسي يمثل (10-30%) من حجم الصخر، لوسيت يمثل (15-30%)، نيفلين يمثل (صفر-10%)، أحياناً أوليفين وبيوتيت.

النسيج:

بيلوتاكسيتي، تراكييتي.

من الناحية الكيميائية هذا الصخر يكون غنياً بأوكسيد البوتاسيوم أكثر من أوكسيد الصوديوم.

أ-5-التيفريت الأوليفيني:

وهو عبارة عن البازانيت مع الأوليفين (بازلت قلوي + أوليفين).
الفلزات المشكلة بيروكسين بشكل بلورات كبيرة، أوليفين، بلاجيوكلاز بالإضافة إلى النيفلين، اللوسيت، وبعض الصخور تحوي النيفلين واللوسيت معاً.
البيروكسين: يكون من نوع الأوجيت.

الأوليفين: بشكل بلورات كبيرة ضمن وسط ناعم وهو فلز نادر.
لوسيت، نيفلين.

أحياناً هورنبلاند، تيتانيت.

بلاجيوكلاز أساسي، نادراً ساندين، زجاج بركاني بني.
في الأنواع الفلدسباتويدية يكون لدينا العناصر الأرضية النادرة مثل تانتال،
زركون، سترونسيوم.

3-1- مجموعة الصخور الأساسية العميقة:

3-1-3- مجموعة الصخور الأساسية العميقة القلوية:

تتضمن هذه المجموعة ثلاث عائلات:

الغابروئيدات القلوية، الفوييدوليت الأساسي، السيانيت الفلدسباتويدية الأساسي.

تحتوي هذه الصخور على (44-53%) سيليكات ونسبة قلويات عالية تصل حتى (23%)، أي ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ تصل حتى 23%).

أ-عائلة الغابروئيدات القلوية:

تحتوي هذه العائلة نسبة عالية من الألومينا والقلويات، وأما بالنسبة للسيليكا فهي تطابق سيليكات الغابرو النظامي.

ونادراً ما تشكل هذه الصخور كتلاً مستقلة تترافق معها دائماً الصخور فوق الأساسية القلوية (أورتيت، ايوليت)، وكذلك الصخور تحت القلوية والصخور متوسطة التركيب القلوية (السيانيت الفلدسباثويدي والسيانيت القلوي). وتتواجد هذه الصخور في القارات والمحيطات.

أ-1- الثيراليت:

أُتت التسمية من الكلمة اليونانية تيراو (Terao) تعني أدرسها بحذر. لون الصخر رمادي قاتم، رمادي.

البنية: متجانسة، بشكل أندر كتلية، مخططة ناعمة.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- البلاجيوكلاز:

($An_{50-70-90}$) ذو توأمية متكررة (البيت)، عادة طازج بفساده ينتج ساسوريت، موسكوفيت، برينيت، كاولينيت.

2- الكالينوبيروكسين:

فلز رئيسي من فلزات هذا الصخر، وأحياناً يكون هو الفلز الوحيد القاتم المشكل له.

3- النيفلين:

نادراً وجهي، وعادة يكون تحت وجهي، يملأ الفراغات بين البلاجوكلاز، يمكن أن يتحول هذا الفلز إلى الزيوليت.

4- الأوليفين:

يتواجد بشكل بلورات مفردة مدورة، وعادة يكون طازجاً، بعض بلوراته تفسد إلى إيدنغزيت كلوريت، أو سرينتين مع انفصال بلورات خامية.

5- الأمفيبول:

فلز درجة ثانية ينمو بشكل نطاق حول التيتانواوجيت، أو يغطي

التيتانواوجيت بشكل كامل.

النسيج:

هيئتيومورفي

يعد من الناحية الكيميائية الثراليت قريباً في تركيبه من التيفريت مع فرق بأن الثيراليت أكثر غنى بالألومينا والصوديوم، ونسبياً أقل غنى بالمغنيزيوم والتيتانيوم، الثيراليت فقير بالسيليكا (غير مشبع) مع احتوائه نسبة عالية من أكسيد الحديد والكالسيوم والقلويات خاصة الصوديوم.

أ-2-إيسكسيت:

صخر رمادي أحياناً مبرقش، يُرى بالعين المجردة فلزات البلاجيوكلاز المتطاولة الرمادية الفاتحة، يتوضع بينها بلورات زهرية من الأورتوز، ونيفلين عديم اللون والفلزات قاتمة.

الفلزات المشكلة :

1-لوسيت كاذب:

يكون محاطاً بأرضية من الكلينوبيروكسين (ديوبسيد، ايدينبرجيت) الموشوري، وهو فاسد إلى غاستنغسيت.

2- غرانات بني.

3- بيتوتيت (فلوغوبيت)

4- صفاح

5- نيفلين عديم الوجهية.

6- أنالسيم.

7- فلوريت.

8- أباتيت، ماغنيتيت.

ما يميز هذا الصخر هو ارتفاع نسبة أوكسيد البوتاسيوم مقارنة بأوكسيد الصوديوم.

هذه الصخور يمكن أن تكون ناعمة- متوسطة -خشنة الحبيبات.
البنية: منقطة أحياناً تراكيتية.

يختلف التيراليت عن التيفريت من حيث التركيب الفلزي بوجود الأورتوز ونسبة أقل من الأوليفين، ونسبة أكبر من الأمفيبول والبيوتيت.
الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-البلاجيوكلاز:

تمنطقي في المركز من نوع الأنديزين والمحيط من اللابرادور.

2-كمية قليلة من الأورتوز أحياناً ميكروكلين، حيث يحوي الأورتوز على انبثاقات من البلاجيوكلاز، في حين هذا الأورتوز يتوضع داخل النيفلين.

3- نيفلين:

تحت وجهي (أحياناً يكون مع الأناالسيم).

4- كلينوبيروكسين:

تيتانواوجيت، إيجيرين أوجيت، أوجيت.

5- بيوتيت:

ينمو على حساب الأمفيبول.

الفلزات الثانوية:

أباتيت، إيلمينيت، وبشكل أندر سفين.

عند ازدياد نسبة النيفلين ينتقل صخر الإيسكسيت إلى التيراليت.

يتميز الإيسكيت بتركيميائية باحتوائه على نسبة أعلى من السليكا

وأوكسيد البوتاسيوم مقارنة بالتشنيت والتيراليت، وتقرب فيه نسبة $K_2O + Na_2$ مع الصخور السابقة.

ويعد الإيسكسيت عائداً إلى المجموعة القلوية البوتاسية - الصودية، وغالباً يكون بشكل دايكات مع التيراليت والتشنيت أحياناً مع الغابروئيدات القلوية.

أ-3- فيرغوسيت:

لونه: رمادي مخضر أو رمادي زهري. وهو متوسط الحبيبة منقط، يحتوي كثيراً من الفلزات المدورة.

II-مجموعة الصخور المميزة بفلزات قاتمة:

أو مجموعة الصخور فوق الأساسية

تتميز صخور هذه المجموعة بفقرها بالسيليكا التي لا تتجاوز نسبتها (45%)، وبغناها بأوكسيد المغنيزيوم والحديد، وهي عادة ما تتألف من فلز واحد أو فلزين من الفلزات الملونة: أوليفين، بيروكسين، أمفيبول، ونادراً بيوتيت.

تصل نسبة الفلزات القاتمة في هذه المجموعة من (90-100%).

4-الصخور فوق الأساسية:

تعد هذه الصخور صخوراً خالية من البلاجيوكلاز، وهي مؤلفة من صخور مغنيزية- حديدية (أوليفين، بيروكسين، أمفيبول)، وكمية هذه الصخور تكون قليلة في القشرة الأرضية، وتكون الصخور العميقة من هذا النوع أكثر من الصخور الاندفاعية.

نسبة السيليكا في هذه الصخور أقل من (44-45%) في البيروكسينيت والهورنبلانديت، حيث تتألف تقريباً من فلز واحد دون تواجد البلاجيوكلاز.

عندما ترتفع السيليكا أكثر من (52%)، تصبح هذه النسبة مميزة للصخور الأساسية.

تقسم مجموعة الصخور فوق الأساسية إلى مجموعتين بيتروكيميائيتين:

1-النظامية و2- قلوية حيث كل من هاتين المجموعتين تحتوي صفين:

البركاني والعميق، أما المجموعة تحت القلوية البركانية تشمل على نوع واحد فقط

وهو بيكريت، أما الأنواع تحت القلوية العميقة فهي نادرة جداً، حيث يعود لهذا النوع البيريدوتيت الميكاي.

عائلة البيروكسينيت (السطحية، تحت السطحية والعميقة)، تحوي صفيين:

أ-الصف الكلسي- القلوية (النظامي)، وهي:

ميمشكيت، بيكريت، كوماتيت، أما من حيث الاحتواء على الفلزات ونوعية النسيج فهي متغيرة مثلاً منها ميمشكيت بورفير، بيكريت بيروكسيني أو ليفيني.

2-الصف القلوي:

البكرت القلوي: تتطوي تحتها أنواع مختلفة من الصخور، منها:

بيكرت بيروكسيني بيوتيتي، بيكرت بيروكسيني ميليليتي، بيكرت فلدسباثوندي، بيكرت قلوي دون بيروكسين، كمبرليت، كما يوجد عائلتان للصخور القلوية الاندفاعية، وهي:

- الميليليت (صخور الميليليت الأوليفيني، الميليليت، ميليليت دون بيروكسين).

- فريدريت فوق أساسي (ميلانونيفلين أوليفيني، ميلانو نيفلين، نيفلينيت ميلان أنالسيت، ميلان أنالسيت أوليفيني، نيفلينيت، ميلالوسيت أوليفيني، ميلالوسيت، ميلالوسيليت أوليفيني أو (مافوريت).

في صف الصخور العميقة النظامية يتواجد عائلتان:

1-الصخور الأوليفينية (أوليفينيت، دونيت)، والتي ينطوي تحتها أوليفينيت، دونيت، بيريدوتيت، هارتزبرجيت، ليرزوليت، فيرليت، بيريدوتيت هورنبلاندي.

في حال ظهور فلزات بلاجيوكلاز، غرانات (غارنت)، عندها يكون لدينا الصخور السابقة نفسها، غير أنها بلاجيوكلازية أوغراناتية.

2-الصخور العميقة القلوية:

الصخور الميليليتية (أنواع الميليليت، كوغديت، أونكامبارغيت، تورباييت،

أوكاييت).

3-الصخور الفويدوليت فوق الأساسية (أنواع ياكو بيرانجيت (ياكوبيرانغيت)، ميلانجيت، (ميلانغيت)، أيوليت، أورتييت، ميسوريت.

4-1-الصخور فوق الأساسية النظامية:

4-1-3- مجموعة الصخور البركانية فوق الأساسية النظامية:

أ- عائلة البيكريت:

وهي عبارة عن صخور اندفاعية لم تكن معروفة سابقاً، أما الآن فهي مكتشفة في أكثر من مكان من العالم. وتنقسم هذه العائلة إلى:

- عائلة الصخور البيكريتية الكلسية - القلوية (النظامية).

- عائلة الصخور البيكريتية القلوية.

تتواجد صخور هذه العائلة مع الصخور القلوية كي تمثل شكل دايكات، سيلات، لافا، وطف.

من الناحية الكيميائية تحتوي هذه العائلة سيليكاً (36-44%)، وأوكسيد مغنيزيوم (20-37%)، وأوكسيد الصوديوم + أوكسيد البوتاسيوم ($K_2O + Na_2O$) = 0-1%)، وعادة أقل من (0.6%).

وتتركز القلويات عادة في هذه الصخور في الزجاج المتواجد في أرضية الصخر، لذلك لا تظهر الصفات القلوية في الفلزات المشكلة للصخور، مما يؤدي إلى صعوبة تمييز الأنواع القلوية لهذه العائلة عن الأنواع النظامية في حين أنه يتشكل الفلوجوبيت، البيوتيت والأمفيبول في الأنواع ذات القلوية غير المرتفعة بشكل عام.

أ-1-ميمشكيت:

تعود تسمية هذا الصخر إلى منطقة ميمشكا الموجودة في شمال البلاتفورم السيبيري، وهي بورفيرية أو بورفيرية المظهر، وهي ذات بنية كتلية، وبشكل أندر مخططة في الأنواع التي تشكل الدايكات.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- في الأنواع المميزة من الميمشكيت يتواجد فينوكريست من الأوليفين الطازج عديم اللون إلى أخضر أو أصفر من نوع الكريزوتيل الذي يمثل (36-60%)، وعادة ما تكون (45-51%)، ونادراً ما تنخفض هذه النسبة إلى (21%)، ولا ترتفع حتى (80%)، كما يتواجد السرينتين المالى للفراغات، (الوزي) وتمثل (5-16%).

2- أما الأرضية فتحتوي على الأوليفين الناعم (أنعم من جسم الصخر) ومتحول إلى سرينتين، كما يظهر السرينتين مع الكلوريت على حساب الزجاج في هذه الصخور.

3- يتواجد الكروميت الذي يمثل (1%) من الصخر ويمكن أن يكون بشكل محتبسات ضمن الأوليفين، ونادراً ما ينمو الكروميت في صخور الميمشكيت الحاوية على فينوكريست من التيتانوماغنيتيت.

4- الفلزات الثانوية:

تتمثل بالماغنيتيت والتيتانوماغنيتيت المتوضع داخل السرينتين كذلك يتواجد الاندرايت، الأباتيت، الليكوكسين والكالسيت، ونادراً ما تتواجد نثرات من البيوتيت في المرحلة بعد الماغماتية، ويظهر بالإضافة للسرينتين فلز الكالسيت والغرانات والزيوليت. وتتميز صخور الميمشكيت من حيث التركيب الكيميائي بارتفاع أوكسيد المغنيزيوم، ونسبة السيليكا المنخفضة، وكذلك الألومينا والقلويات. يقسم الميمشكيت إلى ميمشكيت غني بالأوليفين، حيث تصل نسبة الأوليفين (60-85%) وميمشكيت فقير بالأوليفين (20-35%)، وميمشكيت ناعم، وميمشكيت مبلور بشكل كامل، وطف ميمشكيت.

أ-2- بيكريت:

أُتت التسمية من الكلمة اليونانية (Picross) أي المرة، تظهر توضعات كروية أو زرقاء ضمن أرضية خضراء قائمة إلى سوداء مع وجود فينوكريست من الأوليفين الفاسد إلى سرينتين أخضر فاتح أو بني، كما تتواجد بلورات أصغر من البيروكسين.

البنية: تكون عادة كتلية وبشكل أندر فلوئيدية (سيلية) ولوزية، حيث تملأ الفراغات بالسرنتين والعناصر الكلوريتية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-الأوليفين:

يكون الأوليفين مكسراً يغطي سطحه التشققات حيث تمتلئ هذه التشققات بالكروزوتيل، وتصل أبعاد الأوليفين في الدايات إلى (5-8 مم)، أما كميته فهي متغيرة، وفي بعض أنواع البيكريت يظهر السرينتين الاستعاضى في الأوليفين. وتكون البلورات الناعمة من الأوليفين (0.2-0.1 مم) بشكل محتبسات ضمن البيروكسين.

2- الكلينوبيروكسين:

ويمكن أن يكون ديوبسيد- أوجيت، أوجيت، تيتانواوجيت، حيث يتراوح قياس بلورات البيروكسين بين (0.3-0.5 سم) وهو متوضع بين بلورات الأوليفين.

3- الأورثوبيروكسين:

من نوع البرونزيت، بشكل بلورات وجهية لوحية ناعمة. ينمو في أرضية الصخور البيكريتية الاندفاعية نواتج فساد بين البيروكسين والأوليفين، وهي تمثل (70%) من حجم الأرضية، (مثال هذه النواتج السرينتين، الكلوريت)، بالإضافة إلى تواجد الزجاج الطازج في هذه الأرضية، كما هو الحال في منطقة كامشاتكا.

3- البلاجيوكلاز:

4- أمفيبول:

من نوع باركيفيكي، كيرسوتيت.

5- البيوتيت أو الفلوغوبيت:

يتواجد بنسبة (2%).

6- الفلزات الثانوية:

أكروم سبينيل، ماغنيتيت، سولفيدات، أباتيت، نادراً غرانات، تيتانيت، زركون.

النسيج:

جسم الصخر: بورفيرى، بورفيرى المظهر، بويكيلي.

أرضية الصخر: ميكروليت، فيتروفيري.

كيمياء الصخر:

تتميز الأنواع المختلفة من البيكريت بنسبة سيليكات منخفضة (39-43%)، ونسبة مرتفعة من الألومينا (بالمقارنة مع الصخور فوق الأساسية العميقة، حيث تكون نسبتها أعلى من (2-3 مرات)، ونسبة أكسيد الحديد عالية، وهي أعلى من الدونيت والهارتزبرجيت بمرة ونصف، ونسبة أكسيد المغنيزيوم وأوكسيد الكالسيوم تكون ثابتة حيث تكون مساوية (29-34 %).

أ-3- كاماتيت بيريدوتيتي:

صخر رمادي مخضر يحوي توضعات كروية.

البنية: سبينيفكس (أي غير موجهة، عشوائية تنتج عن وجود كمية كبيرة من فلزات الأوليفين).

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-الأوليفين.

2-الكلينو بيروكسين.

ديوبسيد - أوجيت، أوجيت، بيجونيت.

الفلزات الرئيسية غنية بالكروم والسيينيل.

كيمياء الصخر:

تتميز هذه الصخور بتواجد نسبة من أوكسيد المغنيزيوم أعلى من (20%) وأوكسيد البوتاسيوم، وأقل من (0.9%) مع نسبة منخفضة من أوكسيد التيتانيوم، ونسبة عالية تقريبا من أوكسيد الكالسيوم/ أوكسيد الألمنيوم أكبر من (0.8%)، في حين أن النسبة الأخيرة لا تحدد دائماً كون الصخر هو الكاماتيت.

النسيج:

غير موجه للصخور الحاوية على الأوليفين والبيروكسين.

التواجد:

تتواجد هذه الصخور بشكل صبات (لأفا وسائدية)، سيلات ودايكات.

4-1- صف الصخور العميقة فوق الأساسية:

4-1-1- صف الصخور العميقة فوق الأساسية النظامية:

أ- عائلة الأوليفينيت - دونيت:

تتميز هذه العائلة بأنها مؤلفة من فلز وحيد.

أ- 1- أوليفينيت:

صخر ناعم أو متوسط الحبيبية، اللون في المقطع الطازج رمادي فاتح تقريبا، أسود مع ظلال بنية أو خضراء أحيانا.

البنية:

كتلية، مخططة أحيانا ناتجة عن تناوب طبقات أوليفين مع التيتانوماغنيتيت، أريكلورية (حيث تظهر نطاقات مشكلة حيث يتوضع ضمن هذه النطاقات بلورات من التيتانوماغنيتيت، تشكلت بعد تشكل الصخر وتكون بشكل

محتبسات).

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-الأوليفين.

2-تيتانوماغنيتيت: لا يتجاوز (10%) في أنواع الأوليفينيت الخامية، في حين تصل نسبته عادة إلى (30-40%)، ويتوضع التيتانوماغنيتيت بين فلزات الأوليفين بشكل محتبسات.

3- إيلمينيت:

هو فلز على شكل ألواح ناعمة محتبسة ضمن التيتانوماغنيتيت.

4-بيروفسكيت:

يظهر في الأنواع القلوية.

5- فلزات الدرجة الثانية:

ديوبسيد، أوجيت، هورنبلاند، هبرستين، أباتيت، سبينيل، كروميت، تيتانيت، بيروتين، كالكوبيريت.

7-فلزات الفساد:

إيدتغزيت، تريموليت، فلوغوبيت، سرينتين، دولوميت، كالسيت، ماغنيتيت.

النسيج:

بانئيديومورفي، سيديريتي يميز الأنواع الغنية بالتيتانوماغنيتيت، بوفيري المظهر (حيث تتواجد فلزات كبيرة من الأوليفين في أرضية أنعم مؤلفة من الأوليفين والتيتانوماغنيتيت).

هناك أنواع من الأوليفينيت خامية وأنواع أخرى لا تحوي الخامات الأخيرة، تحوي فلزات حديدية تصل حتى (10%).

أ-2- الدونيت:

أنت التسمية من جبل (دون) في نيوزيلاندة، وعادة يكون الصخر ناعماً، رمادياً مخضراً أو ذا لون أوليفيني قاتم، ويمكن أن يحوي الصخر كتلاً دائرية أو إهليلجية منفصلة. ويصاب الدونيت الأوليفيني عادة بالفساد إلى السرينتين بدرجات مختلفة، وهذا ينعكس على لون الصخر، أما في حال كانت هذه الصخور طازجة، فيكون لها لمعان زجاجي، ويظهر في الدونيت بلورات فينوكريست من الكروميت ذي اللمعان الدهني المشقوق بشقوق ناعمة مملوءة بالسرينتين (الأوليفين طازج واضح الصفات الضوئية).

أما نوع هذا الأوليفين فيكون مغنيزياً.

يظهر في الدونيت بلورات فينوكريست مشققة مملوءة بالسرينتين من الكروميت، بالإضافة إلى وجود الأوليفين المغنيزي ويمثل (95-97%) الطازج اللامع ذات الصفات الضوئية الواضحة، أما فلزات الدرجة الثانية فهي من كروميت (كروم سبينيل)، حيث تصل نسبة هذه الفلزات إلى (3%)، ويصل حجم بلوراتها (0.1-2-5 مم)، ويتواجد بالإضافة للفلزات السابقة فلز الأورثوبيروكسين من نوع الانستاتيت، كما يتواجد الكليנוبيروكسين. أما فلزات الفساد فهي سرينتين (كريزوتيل، ليزارديت، أنتيغوريت) بروسيت، تالك، تريموليت، كربونات، ماغنيتيت، كلوريت.

النسيج:

باننثيديومورفي فلزات الأوليفين تحت الوجهية تُعطي نسيجاً باننثيدومورفياً الشكل (30).

كيمياء الصخر:

يختلف الدونيت عن الأوليفينيت بانخفاض نسبة التيتانية والحديدية، (حيث لا يتجاوز مجموع أوكسيدي الحديد (10%)، أما أوكسيد التيتانيوم فيتراوح بين

(0.02-0.06 %)، وعادة الاحتواء على أكسيد المغنيزيوم يصل إلى (38-45%)، أما السيليكا فهي أقل من (40%)، والألومينا أقل من (1%)، ونادراً ما تصل حتى (2%).

وصخر الدونيت وحيد الفلز ولا يتدرج إلى أنواع مختلفة للصخور، وإنما تظهر ضمن عائلته أنواع غنية بخامات الكروم سبينيل.

ب- عائلة البيريدوتيت:

أُتت التسمية لهذه العائلة من الكلمة الفرنسية بيريدوت، والتي تعني الأوليفين، وهي عبارة عن عائلة صخور بيروكسينية- أوليفينية عميقة فوق أساسية، وتكون نسبة هذه الفلزات أقل من (90%) مع فينوكريست من الكروميت أو ماغنيتيت، وبشكل أندر سولفيدات.

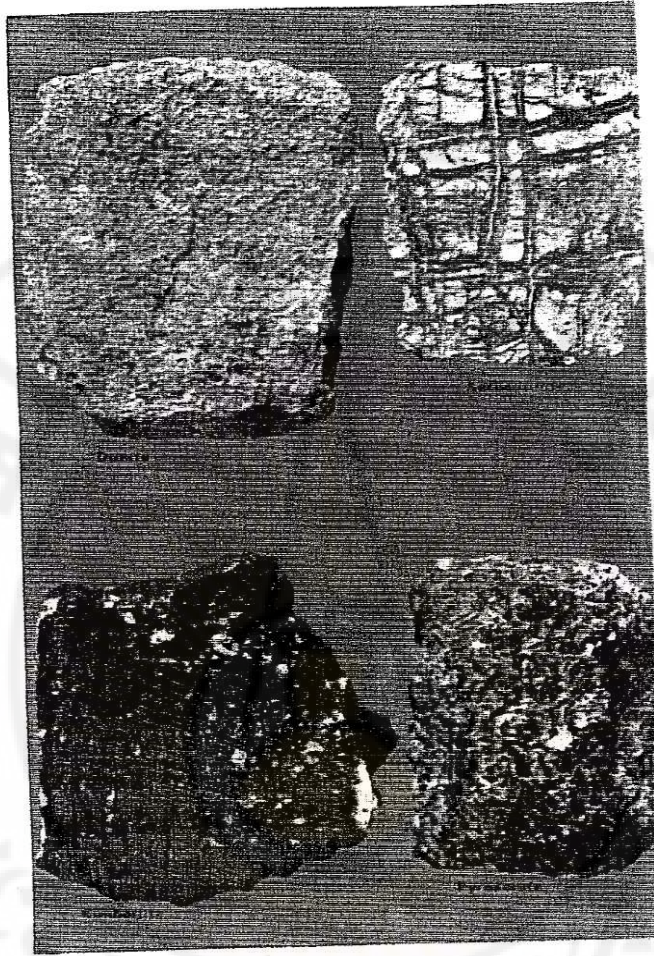
تقسم هذه العائلة إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

1- هارتز برجيت.

2- ليرزوليت.

3- فيرليت.

بالإضافة إلى نوع نادر يُعد النوع الرابع، وهو البيريدوتيت الأمفيبولي، والذي يحوي على الأمفيبول بجانب فلزات الأوليفين والبيروكسين.



الشكل (30) يبين الصخور العميقة فوق الأساسية:

1- دونيت 2 - سرينتين 3 - بيروكسينيت 4 - كيمبرليت.

إضافة إلى الأنواع السابقة هناك أنواع حاوية على فلزات أخرى، مثل البلاجيوكلاز، الميكا، غرانات، ومن ثم تدخل هذه الفلزات في تسمية الصخور البيريدوتيتية، والتي تصبح على الشكل التالي:

البيريدوتيت البلاجيوكلازي والذي لا تتجاوز فيه نسب البلاجيوكلاز (10%)، والبيريدوتيت الميكايوي والذي يعد من الأنواع النادرة جداً والحاوية على البيوتيت أو الفلوغوبيت، حيث تصل نسبة الميكا (5-10%)، والنوع الأخير وهو

البيريدوتيت الغراناتي، (حيث يكون الغرانات من نوع البيروب ويمثل فلز درجة ثانية وتشكله يعود إلى ظروف الضغط العالي للتشكل في أعماق القشرة الأرضية أو في المعطف العلوي). ومن الملاحظ أن الأنواع الأخيرة من البيريدوتيت لا تحوي الكروم سبينيل.

ب-1- الهارتزبرجيت (هارزبرجيت):

أنت التسمية من اسم مدينة هارتزبرج، وعادة ما يكون هذا الصخر فاسداً بدرجة ما إلى سرينتين. لون الصخر متغير من الأخضر القاتم وحتى الأسود مع تعرية بشكل قشرة بنية اللون.

البنية: كتلية، أحياناً مخططة.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- الأوليفين عادة ما يكون هو المسيطر وبشكل فلز وحيد بمقياس (2-3مم)

ودائماً فاسد إلى سرينتين بدرجات مختلفة معطياً نسيجاً نوافذاً.

2- الأورثوبيروكسين (أنستاتيت وبشكل أندر برونزيت) تحت وجهي، أو يكون

بشكل مواشير كبيرة مع نسيج استعاضى، حيث نجد أن الأورثوبيروكسين

المتحول إلى سرينتين يكون إما من نوع باستيت أو أنتيغوريت.

3- كروم سبينيل (1-2 وحتى 5-7%).

4- يتواجد أيضاً في هذه الصخور بلورات مفردة من الكليנו بيروكسين (عدد

قليل)، وعادة تكون من الديوبسيد الطازج.

5- فلزات الفساد، وهي السرينتين، الكلوريت، بروسيت، التريموليت، تالك،

أكتينوليت، ماغنيتيت.

النسيج:

بانثيديومورفي وهيبثيديومورفي، نسيج موجه مع توضعات عشوائية للكروم

والسبينيل والكريزوتيل تعطي مظهراً نقطياً.

التركيب الكيميائي:

تتميز هذه الصخور بارتفاع نسبي للسيليكا ليس أكثر من (42%)، أما الألومينا فتتراوح بين (2-5.1%)، حيث إن هذه النسبة من السيليكا هي التي تؤدي إلى ظهور الأورثوبيروكسين.

ب-2- الليزوليت:

تعود التسمية إلى اسم منطقة ليرز، تكون هذه الصخور فاتحة ظاهرياً (رمادية، رمادية قاتمة) منقطة، أما سبب هذا التتقط فهو وجود الكلينوبيروكسين.

البنية:

كتلية، ناعمة ومتوسطة يمكن أن تكون مخططة.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

الأوليفين، الأورثوبيروكسين والكلينوبيروكسين، فلزات ثانوية، وهي كروم سبينيل (2-3%) وماغنيتيت.

1-الأوليفين:

بلورات ذات تعتيم متناظر.

2-الأورثوبيروكسين:

يكون بشكل مواشير، وهو من نوع البرونزيت.

3-الكلينوبيروكسين :

بلورات تحت وجهة من نوع الديوبسيد، تكون كميته قليلة في الصخر مقارنة بالأورثوبيروكسين.

4-الكروم سبينيل: بشكل بلورات غير منتظمة مكسرة بشدة.

يتغير التركيب الفلزي لليزوليت حيث يتراوح احتوائه على الأوليفين بين (40-80%)، والبيروكسين (10-50%)، مما يؤدي إلى ظهور أنواع انتقالية لهذه الصخور.

الليزوليت عادة شديد الفساد، ومن ثم تحديده يحتاج إلى الاعتماد على تحديد بقايا (آثار) الفلزات الرئيسية المشكلة له.

النسيج:

هيبثيدومورفني، بشكل أندر بورفيرى المظهر، وبوبكيلي يُعد الليزوليت من الناحية الكيميائية مقابل للهارتزرجيت، غير أنه أغنى بأوكسيد الكالسيوم.

ب-3-الفيرليت:

صخر أخضر قاتم أو رمادي مخضر طازج.

البنية:

مخططة كتلية أو استعاضية الشكل.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

أوليفين كلينوبيروكسين بنسب مختلفة.

1-الأوليفين:

يمثل حبات مدورة تحوي الكثير في التشققات المملوءة بالسرينتين والماغنيتيت.

2-الكلينوبيروكسين:

يمثل بلورات كبيرة واضحة الزوايا من الديوبسيد والديالاج، كما يمكن تواجد بلورات ناعمة تحت وجهة من النوع نفسه.

يكون الكلينوبيروكسين أكثر ثباتاً من الأوليفين حيث لا يفسد بسهولة إلى السرينتين، وينمو كل من التريموليت، والهورنبلاند الأخضر والكلوريت، وأحياناً الغرانات (عادة من الغراسوليار) على حساب الكلينوبيروكسين، ومن حيث ترتيب التبلور أولاً الأوليفين، ثم الكلينوبيروكسين، وأخيراً كروم سبينيل (ماغنيتيت أو بليوناست)، هورنبلاند بني.

3- الفلزات الثانوية:

كروم سببيل، ماغنيتيت، نادرا إيلمينيت، سببيل أخضر (بليوناست).

4- الأورثوبيروكسين:

يتواجد بشكل نادر في بعض أنواع الفيرليت.

النسيج:

بويكلي، بورفيري المظهر، هيبثيدومورفي.

التركيب الكيميائي:

نسبة السليكا تتراوح بين (45.44-98.40%)، ونسبة أكسيد الحديد $FeO + Fe_2O_3$ ، تتراوح بين (7.16-12.69%)، وأكسيد المغنيزيوم يتراوح بين (24.83-29.96%)، وأخيراً أكسيد الكالسيوم يتراوح بين (8.30-12.50%).

ح- عائلة البيروكسينيت:

تتميز هذه العائلة باحتوائها بشكل رئيسي على البيروكسين وتنقسم إلى:

أ- كلينوبيروكسينيت (أوجيت - ديالاجيت ...)

ب- أورثوبيروكسينيت (انستاتيت، برونزيت...)

تدخل هذه الصخور تدريجياً في البيرويدوتيت والغابرو (هو البيروكسينيت البلاجيوكلازي).

ج-1 الكلينوبيروكسينيت:

صخر قاتم، أخضر رمادي، أخضر مسود، ضخ الحبيات إلى متوسط الحبيات أحياناً بورفيري.

يتميز هذا الصخر بأنه ثقيل، أما اللون الخارجي له فيعود إلى لون البيروكسين، من أنواعه:

أ- ديوسيديت وهو ذو لون أخضر فاتح.

ب- أوجيتيت - ديالاجيت ذو لون أسود تقريباً.

تحتوي هذه الصخور الأوليفين بنسب متغيرة تصل حتى (15%). الفلزات
الثانوية:

ماغنيتيت، إيلمنيت، كروميت، سبينيل، وعندما تصل نسبة الأوليفين إلى
(15-20%) ندخل في الكلينوبيروكسين الأوليفيني، وإذا ازدادت النسبة أعلى من
(20%) ندخل في صخر الفيرليت.

ج-2- الأورثوبيروكسينيت:

صخر رمادي مخضر أو بني فاتح، أو صخر قائم، ناعم الحبيبة إلى
ضخم الحبيبة، من أنواعه:
أنستاتيتيت:

يحتوي الأوليفين ويمر بشكل تدريجي إلى الهارتزبرجيت، ويحتوي نسبة من
الكروم سبينيل.

ح-3- الويستریت (فيبيستريت):

وهو صخر مزيج بين الأورثوبيروكسين، والكلينوبيروكسين ذو لون رمادي
مخضر قائم يمر بشكل تدريجي إلى الليزروليت.

4-2- الصخور فوق الأساسية القلوية:

يتشكل هذا النوع من الصخور على أساس عدم إشباع الصخور بأوكسيد
السيلييس السيليكا، حيث SiO_2 أقل من $(44 \pm 2\%)$ والقلويات $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$
أكبر من $(1-2\%)$.

4-2-3- صف الصخور فوق الأساسية القلوية البركانية (الاندفاعية):

إن الصخور الاندفاعية وتحت السطحية والعميقة المرتبطة فيما بينها
ارتباطاً قوياً بالانتقال التدريجي فيما بينها وذلك بالاعتماد على الدور النسبي
للفلزات (أوليفين، ميليليت، فلدسباتويد).

وتقسم إلى ثلاثة أنواع:

1- البيكريت القلوي.

2- الميليليت.

3- الصخور فوق الأساسية الفويديتية.

وهي تنمو في مناطق التماس والأعراف المحيطية، وتحيط في بعض الأماكن بالبالزنت.

أ- عائلة البيكريت القلوي:

تكون هذه الصخور على تماس تدريجي مع صخور البيكريت النظامي من جهة، ومع صخور الميليليت والفويديت من جهة أخرى. إن الحد بين الصخور القلوية والنظامية يتعلق بظهور أو غياب الفلدسباتوثيدات و(أو الميليليت).

أما البيكريت القلوي فهو الصخر الحاوي على خليط من الفلزات المشكلة للصخور السابقة بالإضافة إلى الزجاج الموجود في أرضية هذا الصخر (البيكريت القلوي).

وتكون نسبة السيليكا في البيكريت القلوي أقل من (41%)، أما القلويات فتظهر ارتفاعاً أعلى من (1%) ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 1\%$)، وزجاج البيكريت القلوي يحوي زيوليتاً، كربونات وسرينتين، أما الزجاج في البيكريت النظامي فيحوي كلوريتاً وسرينتين.

للبيكريت القلوي تركيب القيرليت الفلزي نفسه حيث يحوي الأوليفين والكلينوبيروكسين غير أنه يتميز عن الأخير بظهور فلز ثالث، وهو ميكا أو أمفيبول، ميليليت وفلدسباتوثيد، ومن ثم له عدة أنواع حسب نوع الفلز الثالث الداخل في التركيب:

بيكربت بيوتيتي (أمفيبولي) بيروكسيني، بيكربت ميليليتي بيروكسيني، بيكربت فلدسباتوثيدي مع وجود نوع مميز من البيكريت غير الحاوي على

البيروكسين، وهو البيكريت القلوي غير الحاوي على البيروكسين، والكمبرليت.
الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- وهي الأوليفين والبيروكسين:

تصل نسبة الأوليفين إلى أعلى من (25%) وتكون نسبة أكسيد المغنيزيوم فيه أعلى من (18%) في حال كان الصخر يحوي على البيروكسين بكمية قليلة، وهذا يتوافق مع ارتفاع نسبة الفلزات الأخرى مثل الميليليت والفلدسباتويد أكثر من (20%).

وترتفع نسبة الأوليفين في البيكريت القلوي إلى (30%)، ويحوي الأوليفين عندها على أكسيد المغنيزيوم (22%).

أما في حال وجود كمية كبيرة من الكلينوبيروكسين وكمية قليلة من الميليليت والفلدسباتويد أقل من (10%)، وتتنخفض نسبة الأوليفين إلى أقل من (20%)، وأحياناً مساوية لـ (20%) مع أكسيد مغنيزيوم (18%).

الفلزات الثانوية:

أكثرها انتشاراً في الصخور القلوية البيكريتية هي: تيتانوماغنيتيت، بيروفسكيت، أبانيت، إيلمينيت، كروميت.

3- فلزات الفساد:

وهي الفلزات التي تنمو على حساب الفلز الأصلي، وهي: سرينتين، كربونات، زيوليت.

أ-1- بيكريت بيوتيتي بيروكسيني:

هي صخور تحت سطحية لا تحوي الميليليت والفلدسباتويد، أما الميكا (بيوتيت فلوغوبيت) فتكون بنسبة تتجاوز (10%).
لون الصخر: رمادي مخضر وحتى الأسود تقريباً.

الصخر بورفيرى حاوٍ فينوكريست من الأوليفين، ويمكن أن يكون الصخر

غير متجانس التوزيع، ونادراً نرى بلورات كبيرة متطاولة لوحية من الكالينو بيروكسين وفي حالات مفردة تكون هذه البلورات رقائق من الميكا.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-الأوليفين:

تأخذ الفلزات شكلها المبلور الكامل بزوايا واضحة، ويصل حجم الفلز (1-5 مم)، وتمثل نسبة الأوليفين في الصخر (30-50%).

2-الكالينوبيروكسين:

أوجيت، تيتانواوجيت، ويمثل (30-60%) من حجم الصخر.

3-ميكا:

بيوتيت، فلوغوبيت، و(أو) أمفيبول.

4-فلزات الدرجة الثانية:

تيتانوماغنيتيت، كروم سبينيل، إيلمينيت، بيروفسكيت، أباتيت، تيتانيت، سولفيدات، وتمثل (5-15%) من حجم الصخر.

5- فلزات الفساد :

ناتجة عن فساد الزجاج المتواجد في أرضية الصخر، وتظهر بشكل بلورات ناعمة من الفلوغوبيت سرينتين، كلوريت، كاربونات، ليكوكسين، زيوليت.

ويمكن لصخور هذه المجموعة أن تكون غنية بالأوليفين، حيث يمثل (60-80%) من حجم الصخر، ويمكن أن تكون فقيرة بهذا الفلز، حيث تكون نسبته أقل من (20%)، وذلك مقارنة بفلزات الكالينوبيروكين والبيوتيت والأمفيبول.

الأرضية:

مؤلفة من خليط من مواشير الأوجيت (التيتانواوجيت)، وألواح صغيرة من البيوتيت، بالإضافة إلى حبات من الفلزات الخامية، تجمع جميعها بملاط ناتج عن فساد الأرضية الزجاجية.

التركيب الكيميائي:

يتميز البيكريت بإحتوائه على نسبة سيليكات أقل من (41%) ($\text{SiO}_2 < 41\%$) وقلويات أكثر من (1%) ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} < 1\%$)، وأوكسيد المغنيزيوم (22.01%) و(31.78%).

أ-2- بيكريت ميليليتي بيروكسيني:

لونه: رمادي مخضر، بورفيري، حيث يكون الأوليفين بشكل فينوكريست من الأوليفين والكلينوبيروكسين معاً، وتصل نسبة هذه الفلزات (60-70%) من حجم الصخر.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-الأوليفين:

بشكل بلورات وجهية مشققة.

2-الكلينوبيروكسين:

تيتانو أوجيت، ديوبسيد.

الأرضية:

زجاجية مؤلفة من زجاج بني مخضر حاوية على توضعات ميكروليتية فلونيدية (سيلية) مع مواشير صغيرة من الكلينوبيروكسين (ديوبسيد، تيتانواوجيت) بنسبة (20-50%)، وميليليت (5-15%).

الزجاج فاسد إلى سرينتين، كلوريت، كربونات وزبوليت، بيروفسكيت بالإضافة إلى تواجد بلورات متناظرة من الأوليفين، وتمثل (20-50%)، وقلزات خامية (تيتانوماغنيتيت، إيلمينيت).

وتتصف الأرضية في أنواع البيكريت هذه كاملة التبلور بأنها تحوي على بلورات صغيرة من النيفلين وناتج فساد الزبوليت، الأنالسيت، الكالسيت.

في الأنواع الداكية (دايكات)، تكون هذه الصخور حاوية على نثرات من

البيوتيت، يكون البيكريت الميليليتي البيروكسيني ذا نسيج أوليفينوفيري.
التركيب الكيميائي:

يحتوي البيكريت الميليليتي البيروكسيني على نسبة سيليكات تمثل (38.15%)، وأوكسيد الألمنيوم (6.66%)، وأوكسيد المغنيزيوم (19.77%)، وأوكسيد الكالسيوم (14.60%)، وأوكسيد الصوديوم (0.89%)، وأوكسيد البوتاسيوم (1.33%).

أ-3- بيكريت فلدسباتوئيدي:

لونه: رمادي مخضر إلى أسود.

النسيج: بورفيرى أو بورفيرى المظهر، وتمثل الفينوكريست (30-70%) من حجم الصخر، وهي من الأوليقيين، وبكمية أقل من البيروكسين ذي الشكل اللوحي المتطاول.

البنية: كتلية، مخططة كثيراً ما تحوي هذه الصخور على محتبسات من الأوليفين في البيريدوتيت.

ويتواجد الكليנוبيروكسين الموشوري الحبيبي في الأنواع كاملة التبلور من هذه الصخور، بالإضافة إلى بلورات بينية من الفلدسباتوئيدي، أو نتائج فسادها، كما تظهر نثرات من الميكا في الأنواع الداكية (الدايكات).

الفلزمات الرئيسية المشكلة:

1-الأوليفين:

يمثل (25-50%) من حجم الصخر، حيث يكون بشكل فينوكريست، يصل حجمها إلى (3-5 مم).

2-الكليנוبيروكسين:

فينوكريست من الديويسيد، التيتانواوجيت، أوجيت-ديويسيد بمقاييس مختلفة، وتصل حتى بلورات تحت مجهرية (ناعمة).

3- فلديسباتونييد :

تمثل (5-20%) من حجم الصخر.

4- بيوتيت و(أو) أمفيبول:

الأمفيبول يكون من نوع الكيرسوتيت، وتكون نسبة فلزات البيوتيت والأمفيبول (0 - 20%).

5- الميليليت:

هذا الفلز نادر الوجود.

6- البلاجيوكلاز:

يكون من النوع الأساسي.

7- فلزات الدرجة الثانية:

تتشكل بعد المرحلة المغماتية أو في مرحلة مغماتية متأخرة، وهي تيتانوماغنيتيت أباتيت، بيروفسكيت، تيتانيت، كالسيت، زيوليت، سرينتيت، كانكرينيت، ليبينيريت وغيرها.

التركيب الكيميائي:

أظهرت التحاليل النسب التالية للسيليكا في هذه الصخور (36.9، 40.9، 40.47%)، حيث تكون هذه النسبة أعلى مما هي عليه في البيكريت الميليليتي البيروكسيني، وتكون صخور البيكريت الفلدسباتونيدي أقل كلسية من البيكريت الميليليتي البيروكسيني، حيث تصل (8.4، 8.7، 8.60 %)، ونسبة أكسيد المغنيزيوم بالنسبة للكالسيوم تمثل $\left(\frac{Mgo}{Cao} = \frac{3}{4}\right)$

أما البيكريت الفلدسباتونيدي فيكون أغنى بالقلويات، حيث أكسيد الصوديوم يساوي (1.23، 1.2، 0.68 %)، أما أكسيد البوتاسيوم فيساوي (1.10، 0.7، 3.46 %)، أما مجموع القلويات فيساوي (2-4%) ($K_2O + Na_2O = 2-4\%$)، وفي الأنواع النيفلينية تكون $\frac{Na_2O}{K_2O} < 1$ ، أما في الأنواع اللوسيتية، فتكون النسبة أقل

من (1).

أ-4- بيكريت قلوي لا بيروكسيني:

صخور بورفيرية رمادية قاتمة، الفينوكريست تكون بشكل بلورات صغيرة من الأوليفين فاسدة إلى سرينتين وكربونات.
البنية: ميكروتاكسيقية.

الفلزمات المشكلة الرئيسية:

1-الأوليفين:

عادة متحول إلى سرينتين، وهو ذو حجم يصل (1.5-2 مم).

2-ملياليت، مونتسلليت: متحول إلى كالسيت.

3-فلوغوبيت أو بيوتيت حيث تصل نسبتها إلى 25 - 50%، وهذا ما يميز هذا النوع عن الأنواع الأخرى من البيكريت.

4-لا يتواجد البيروكسين مطلقاً.

الأرضية:

1-الأوليفين يتواجد أو لا يتواجد في الأرضية.

2-مونتسلليت، ملياليت.

3-فلوغوبيت.

4-نيفلين يكون بشكل محتبسات ضمن الفلوغوبيت.

5-كلوريت.

6-كالسيت.

7-سرينتين.

الفلزمات الثانوية:

تيتانوماغنيتيت، إيلمينيت، كروم سبينيل، بيروفسكيت، أباتيت. ويلاحظ وجود ديوبسيد كرومي، بيروب، الماس.

نسمي الصخر عند الفساد الكامل للأوليفين إلى سرينتين، كالسيت، تريموليت، بنتيجة الاستعاضة وتحول الميليليت إلى كالسيت أو مزيج ناعم من السرينتين والكالسيت بالميتا بيكريت القلوي.

التركيب الكيميائي:

له تركيب مقابل للأنواع الأخرى من البيكريت القلوي، حيث تتميز صخور البيكريت غير البيروكسينية باحتوائها على نسبة عالية من أوكسيد المغنيزيوم أعلى من (19%) ($MgO > 19\%$)، ونسبة عالية من القلويات أعلى من (6.0)، وكثيراً ما تصل إلى أكبر من (1%)، مع ارتفاع أوكسيد الألمينيوم والتيتانيوم والفوسفور مع انخفاض نسبة السيليكا أقل من (34%).

أ-5- الكمبرليت:

تعود تسمية الصخر إلى اسم منطقة كمبرلي في جنوب أفريقيا، وهي صخور ذات لون أخضر قائم إلى أسود، رمادي مزرق فاتح، بني مصفر، واللون يعود إلى درجة فساد هذه الصخور والتحول إلى الكربونات.

تتألف هذه الصخور من الأوليفين، والفلوغوبيت والبيروب والبيكرو ايلمينيت (ايلمينيت ماغنيزي)، يُعد الكمبرليت من حيث التركيب الكيميائي والفلات من صخور البيريدوتيت القلوية، وتكون نسبة فينوكريست الأوليفين الفاسد والمكسر فيه أعلى من (25%) أو أكثر، حيث يمكن أن تصل إلى (30-60%) وحجم هذه الفلات أكبر من (2 مم).

أما الفلوجوبيت قليل الحديدية الطازج أو المتحول إلى كلوريت تصل نسبته إلى (5-10%)، ونادراً إلى (20%)، وما تبقى من الفلات فهو من الإيلمينيت المغنزي والبيروب.

الأرضية:

ناعمة مؤلفة من أوليفين فلوجوبيت، كالسيت و (أو) دولوميت، سرينتين

و(أو) كلوريت، ماغنيتيت، أبانيت، بيروفسكيت.

التركيب الكيميائي:

يكون قريباً بتركيبه الكيميائي من البيكريت القلوي غير البيروكسيني، غير أنه أفقر بأوكسيد التيتانيوم والحديد، وهو أغنى بأوكسيد المغنيزيوم والماء. تتميز صخور الكمبرليت باحتوائها على الألماس ومحتبسات من البيريدوتيت الغراناتي (يمكن أن تتواجد أو لا تتواجد في الكمبرليت).

ب- عائلة ميليليتيت:

وتتميز هذه العائلة بوجود فلز الميليليت، حيث تكون نسبته بحدود (20-50%)، وتصل أحياناً إلى (60%)، ونادراً ما تتخفف حتى (10%) في الأنواع الاندفاعية من هذه الصخور، ويتواجد بالإضافة إلى الفلز السابق فلزات الكالينوبيروكسين، الأوليفين والفلدسباتويدات، أما في الأنواع الداكية من الصخور (الدايكات) فيضاف إلى الفلزات السابقة فلز الميكا (بيوتيت. فلوغوبيت). وتقسم عائلة ميليليتيت إلى أربعة أنواع:

- 1- صخور الميليليتيت الكالينو بيروكسينية.
- 2- صخور الميليليتيت الأوليفينية.
- 3- صخور الميليليتيت غير أوليفينية وغير بيروكسينية.
- 4- صخور الميليليتيت غير بيروكسينية.

ب-1- الميليليتيت:

صخر رمادي قاتم مع ظلال خضراء إفيري وبشكل أوسع ميكروبورفيري أحياناً لوزي مع بنية تراكتية (في الدايكات).

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- الكالينوبيروكسين:

تشكل فينوكريست ناعم (5-15%).

2- الميليلييت:

فينوكويست ناعم نسبته تصل (5-15%).

3- الأوليفين:

يكون بشكل فينوكريست أكبر من الفلزات السابقة، غير أنه يكون بشكل حبات معدودة.

4- نيفلين أو لوسيت:

بشكل انبثاقات صغيرة وذلك في الأنواع الفلدسباتوئيدية.

5- الفلزات الثانوية: أباتيت، بيروفسكيت.

الأرضية:

زجاجية فاسدة إلى كلوريت كربونات، زيوليت، وليكوكسين، محاط ببلورات صغيرة من الميليلييت، الكلينوبيروكسين، التيتانوماغنيتيت والبيروفسكيت في الأنواع الفلدسباتوئيدية تظهر بلورات صغيرة من النيفلين (أو) اللوسيت، وتكون أرضية الأنواع الفلدسباتوئيدية من نثرات الفلوجوبيت.

النسيج:

الأرضية موشورية حبيبية أو نيفلينية.

التركيب الكيميائي:

لم تدرس هذه الصخور كيميائياً بشكل واسع ولكن نسبة السيليكا فيها تكون أكثر من (38%)، وأوكسيد المغيزيوم أقل من (9%) مع ارتفاع في نسبة أوكسيد الكالسيوم أكثر من (20%)، أما القلويات فأعلى من (6%)، ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 6\%$)، والألومينا (أوكسيد الألمينيوم) أكبر من (11%).

ولأنواع الميليلييت المختلفة هذه نسج مختلفة، أوفيتية، بورفيرية، مبلورة بشكل كامل، زجاجية في حال وجود الفلدسباتوئيدات تصبح النسج نيفلينية لوسيتية، أنالسيتية.

ب-2- الميليليتيت الأوليفيني:

كان يسمى سابقاً بالبازلت الميليليتي، يعد هذا الصخر من أكثر أنواع الصخور البورفيرية انتشاراً في القشرة الأرضية. الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-الأوليفين:

يكون بشكل فينوكريست، ويمثل (5-25%) من حجم الصخر.

2- الميليليت:

يكون فاسداً نسبته في الصخر (1-20%)، ونادراً ما تصل حتى 40%.

3-الكالينوبيروكسين:

يمثل (0-20%) من حجم الصخر.

4-ميليليت له شكل أوراق ميكروليتية، يمثل (5-20%).

5-النيفلين أو اللوسيت:

بشكل بلورات وجهية، تمثل (0-5%) من حجم الصخر.

6-فلزات ثانوية:

وجهية تمثل (5-15%) من حجم الصخر.

7-الببوتيت أو الفلوغوبيت:

يكون بشكل نثرات.

8-بلورات صغيرة من البيروفسكيت.

9-تيتانيت وإباتيت.

الأرضية:

بأكملها زجاجية معادة التبلور متحولة إلى كلوريت، زيوليت و كربونات.

التركيب الكيميائي:

يحتوي الميليليتيت والميليليتيت الأوليفيني نسبة مرتفعة من أكسيد المغنيزيوم أكثر من (10%)، كما ترتفع نسبة الميكا في الميليليتيت الأوليفيني النيفليني حيث ($K_2O > Na_2O$) ، ونسبة أكسيد الفوسفور مساوية لـ (4%)، ونسبة السيليكا منخفضة أقل من (30%)، وهذا يفسر حصول تحول إلى الأباتيت والكربونات.

ب-3- ميليليتيت أوليفيني غير بيروكسين (لا يحتوي بيروكسين):

صخر رمادي مخضر قاتم بورفيرى حيث يكون الفينوكريست من الأوليفين والميليليتيت:

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- الميليليت:

(30 – 60%).

3- الفلدسباتثويد:

نيفلين، لوسيت.

4- أرضية زجاجية:

(5-15%) وتصل حتى (50%).

الأنواع تحت السطحية تكون حاوية على البيوتيت (10-15%) وأحياناً

كالسيت.

النسيج:

بورفيرى أما في الأنواع الإندوساسية (الدايكات)، فهو بورفيرى المظهر حيث تكون الفينوكريست من بلورات الأوليفين كبيرة الحجم، وبشكل بلورات مستطيلة وبلورات أنعم من الميليليت والغلدسباتثويد.

ب-4- ميلالييتيت غير بيروكسيني (لا يحوي بيروكسين):

رمادي مخضر قاتم، أوفيري أو ميكروبورفيري ناعم إلى ناعم جداً، وبشكل أندر بورفيري المظهر، عندها يكون الصخر ناعماً إلى متوسطة الحبيبة.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

30 - 60%.

2- ميلالييت:

نيفلين، لوسيت أو الفلزات الثانوية المتشكلة على حساب هذه الفلزات.

3- بيوتيت، فلوغوبيت.

4- الفلزات الثانوية:

أباتيت، بيروفسكيت، تيتانوماغنيتيت.

5- فينوكريست أوليفيني وكلينوبيروكسين، نادران.

النسيج:

بورفيري تكون الأرضية مؤلفة من بلورات متطاوله لوحية من الميلالييت، ومن الفلدسباتويد الوجهي، نثرات بيوتيت.

ح- عائلة الصخور فوق الأساسية الفويديتية:

تعد أكثر الصخور البركانية فوق الأساسية القلوية انتشاراً، يدخل في تركيبها دائماً الفلدسباتويد أو زجاج قلوي فوق أساسي، كلينوبيروكسين (ديوبسيد - أوجيت، أوجيت، تيتانواوجيت، إيجيرين - أوجيت)، وكثيراً ما يتواجد الأوليفين، ميكا (بيوتيت، فلوغوبيت) في الصخور الإندساسية (الدايكية). ويتواجد التيتانوماغنيتيت، الأباتيت، الميلانيت البيروفسكيت، التيتانيت، الكربونات، الزيوليت، الأنالسيم، الكانكرينيت الليكوكسين كفلزات ثانوية في عدد من أنواع هذه الصخور. ويتواجد الزجاج في هذه الصخور بكمية جيدة.

ح-1 ميلانيفليني:

صخر رمادي قاتم ذو مظهر بازلي ونسيج أفيري أو بورفيري وبنية

تراكيتية تكون أحياناً لوزية، الفراغات مملوءة بالزيوليت (ناتروليت) وكالسيت.

الفلزات الرئيسية المشكلة:

كلينوبيروكسين (أوجيت، تيتانوأوجيت، ديوبسيد) بنسبة (50%) حجم الصخر، النفلين (10-40%)، وبنسبة أكبر (20-30%)، والذي كثيراً ما يحل محل النوزيان والغايوبين والتيتانو ماغنيتيت (5-15%)، بيوتيت (فلوغوبيت)، أباتيت، تيتانيت، بيروفسكيت، كالسيت، زيوليت، أنالسيم، كانكرينيت، وسولفيدات الحديد توجد كفلزات درجة ثانية.

التركيب الكيميائي:

إن هذا الصخر قريب في تركيبة الكيميائي من الميلاليتيت، في حين تكون نسبة السيليكا في الميلانيفلينيت (41-44%)، وتكون نسبة الاحتواء على الألومينا وأوكسيد المغنيزيوم وأوكسيد الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم متقاربة بين الصخرين، في حين تكون نسبة الصوديوم (Na_2O) أعلى من نسبة البوتاسيوم (K_2O)، وترتفع نسبة أوكسيد الفوسفور إلى (0.5-1.5%).

ج-2- الميلانيفلينيت الأوليفيني:

البنية تراكيتية حيث تكون الفلزات الأوليفينية أو البيروكسينية متوازية، وتظهر خاصة في أطراف الأجسام الإندساسية (الدايكات)، والسيالات في حال كانت البنية لوزية، تكون الفلزات المائلة للفراغات من الكالسيت، الناتروليت، أو الأنالسيت.

النسيج:

بورفيرى

الأرضية أفانيتية أو ناعمة الحبيبة.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

يمثل الأوليفين بشكل فينوكريست (5-25%) من حجم الصخر، أما

الكالسيوم وروكسين فلا يتواجد في الصخر.

نيفلين وبيوتيت أقل من الميليليت، فلزات الدرجة الثانية والفلات الثانية هي الفلات نفسها الموجودة في الميلانيفلينيت.

ويختلف الميلانيفلينيت الأوليفيني عن الميلانيفلينيت بارتفاع نسبة أكسيد المغنيزيوم أعلى من 8% ($MgO > 8\%$)، مع انخفاض نسبة القلويات (4.5%) ($Na_2O + K_2O < 4.5\%$).

ج-3- نيفلينيت:

الصخور ذات لون رمادي مخضر ونسيج بورفير مع أرضية ناعمة أفانيتية، أو ذات بلورات ناعمة.

الفلات المشكلة الرئيسية:

1- نيفلين:

40-60 %

2- كالسيوم وروكسين:

تمنطقي (إيجيرين - ديوبسيد، إيجيرين - أوجيت)، ويمثل (30-50%) من حجم الصخر.

3- فلزات الدرجة الثانية:

أباتيت، ماغنيتيت، تيتانيت، ميكا (بيوتيت، فلوغوبيت) وبشكل أندر بيروفسكيت، ميلانيت.

وكميات قليلة في الأوليفين، نوزيان، لوسيت، صفاح، ولستانيت، أمفيبول قلوي، زركون، حيث تظهر هذه الفلات صدف وتكون نسبتها أقل من (5%).

4-2-1- صف الصخور العميقة فوق الأساسية القلوية

أ- عائلة الميليليتايت:

بنية مصفرة أو رمادية مخضرة قائمة مع ظلال بنية وبريق دهني خفيف.

البنية: مخططة مع توزع غير منتظم للفلزات مع كمية كبيرة من الأوليفين عديم الوجهية، وعادة تكون هذه الصخور حبيبية ناعمة أو خشنة، حيث تصل حباته في بعض الأماكن إلى حجوم ضخمة (30-50 سم)، وذلك في الأجزاء البغماتيتية. وإن تنوع الفلزات في الصخر تجعلنا نقسمه إلى عدة أنواع:

أ-1- ميلاليتوليت:

ميلاليت (70-95%)، كلينوبيروكسين أوليفين (0-10%)، نيفلين (0-10%).

أ-2- أونكامباغريت:

ميلاليت (50-80%) كلينوبيروكسين (10-35%)، نيفلين أقل من (0-10%)، أوليفين (0-10%).

أ-3- توريانيت:

ميلاليت (40-70%)، كلينوبيروكسين (10-35%)، نيفلين (10-35%)، أوليفين (30%).

أ-4- اوكايت:

ميلاليت (50-70%)، نيفلين (10-45%)، كلينوبيروكسين (0-10%).

أ-5- كوغديت:

ميلاليت (50-70%)، أوليفين (10-45%)، كلينوبيروكسين (10-45%)، أورثوبيروكسين (0-10%)، نيفلين (0-10%).

تمثل فلزات الدرجة الثانية والفلزات الثانوية (5-20%)، وهي: تيتانوماغنيتيت، فلوغوبيت، بيروفسكيت، غرانات (ميلانيت) اندرادييت، غراسوليا مونتي شليت، خوانيت، زيوليت، كالسيت، كانكرينيت، أبانيت، أمفيبول (تريموليت، غاستنغسيت)، ولستانيت، فيزوفيان، بيكتوليت، زيوليت، كلوريت، نادراً صوداليت وغايوين.

النسيج:

هيبيديومورفي متوسط الحبيبية متجانس، حجم الحبات (1-2مم)، وقد تكون ضخمة الحبيبات (1 - 3 سم)، نادراً ما يكون بورفيرى المظهر أو غيرها من أنواع النسيج.

التركيب الكيميائي:

تتميز صخور هذه العائلة بانخفاض واضح في نسبة السيليكا (32-42%)، وارتفاع كبير وواضح في نسبة أكسيد الكالسيوم (25-35%)، في حين يتميز النوع الثالث مقارنة بالنوع الأول و الثاني بارتفاع نسبة أكسيد الألمينيوم (8-11%)، وأكسيد الصوديوم وأكسيد البوتاسيوم (1-25%)، ويُعد الأوكاييت مقارنة بالتوريانيت أغنى بالألومينا (14-17%)، والصوديوم (6-7%)، والبوتاسيوم (2-3%)، وفقيراً بالعناصر القلوية الترابية.

وتتميز عائلة صخور الميليليتوليت عن عائلة الصخور البركانية الميليليتية بشكل رئيسي بالنسبة الأعلى من أكسيد الكالسيوم ($\text{Cao} > 20\%$).

ب- عائلة الفويديت فوق الأساسية:

تحتوي صخور هذه العائلة نسبة عالية من السيليكا مقارنة بالصخور القلوية الأخرى، حيث تصل نسبته (40-44%)، ونسبة متغيرة جداً من أكسيد الألمينيوم.

ب-1- ياكوبيرانغيت:

أُتت التسمية من اسم نهر ياكو بيرانغيت في البرازيل، وهي صخور خضراء قائمة، سوداء أو بنية رمادية، وهي صخور بيروكسينية ناعمة إلى خشنة الحبيبات أو ناعمة.

البنية: كتلية، أو تراكيتية.

الفلزمات المشكلة الرئيسية:

1- كلينوبيروكسين:

ديوبسيد، أوجيت أخضر فاتح.

2- تيتانوماغنيتيت:

نسبته قليلة تصل حتى (20%).

3- نيفلين:

يتميز بصعوبة حيث يملأ الفراغات بين البيروكسين، وتصل نسبته حتى (10%).

4- بيوتيت (فلو فلوغوبيت):

بنسب متفاوتة.

5- ميلونيت، بيروفسكيت، إيلمينيت، أمفيبول، كالسيت، تيتانيت، بيريت، بيروتين.

6- نتائج الفساد:

نيفلين متحول إلى زيوليت، كانكرينيت، صوداليت.

النسيج:

بانثيديومورفي، هيبثيديومورفي (عندما يكون الصخر حاوياً كمية كبيرة من النيفلين)، أو نسيج سيدريتي (في الأنواع الخامية).

ب- 2- ميلتيجيت (ميلتغيت):

أنت التسمية من منطقة ميلتيج في النروج، الصخر رمادي مخضر قائم أو أسود وهو ناعم إلى خش الحبيبة.

البنية: تراكتية.

الفلزمات المشكلة الرئيسية:

1- كلينوبيروكسين:

مواشير طويلة من الأوجيت، التيتانواوجيت، أوجيت، ديوبسيد إيجيرين - ديوبسيد - إيجيرين - إيدنبرجيت.

2- نيفلين:

عديم الشكل.

3- كونكرينيت:

5- فلزات الدرجة الثانية والفلزات الثانوية نسبتها (10 - 20%).

النسيج:

هيبثيديومورفي، عدد بسيط من هذه الصخور يمكن أن يكون له نسيج بويكلي، حيث يكون البيروكسين والتيتانو ماغنيتيت بشكل محتبسات في النيفلين.

التركيب الكيميائي:

يطابق صخر الميلتجيت صخر الميلانيفلينيت ومن ثم تطابق في التركيب الفلزي.

ب-3- إيوليت:

أُتت التسمية من اسم مرتفع إيفارا في فنلندا. الصخر فاتح، ناعم، متوسط إلى خشن الحبيبة.

البنية: تراكيتية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1- النيفلين:

يكون بشكل ألواح سميكة خضراء - رمادية.

2- البيروكسين:

مواشير متطاولة بأشكال غير منتظمة، بلون أسود أو أخضر قاتم، وهو من نوع الإيجيرين ديوبسيد أوجيت - إيجيرين، إيدنبرجيت - إيجيرين، بالإضافة إلى التيتانوماغنيتيت، بيوتيت (فلوغوبيت)، أباتيت، والتيتانيت، وبشكل أندر أمفيبول

(هورنبلا ند، كيرسوتيت)، ميلانيت، بيروفسكيت وولستانيت بشكل أندر.

النسيج:

بانثيديومورفي (حيث يكون النيفلين والبيروكسين لهما درجة الوجهية نفسها)، بورفيرى المظهر، بويكلي، حيث يوجد البيروكسين ضمن النيفلين مع ميلانيت يتواجد داخل الفلزين.

ب-4- أورتيت:

صخر نيفليني فاتح متوسط إلى خشن الحبيبية، يتميز ببلورات سوداء من الكلينوبيروكسين.

البنية: كتلية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

- 1-نيفلين (85%).
- 2- كلينوبيروكسين: إيجيرين (7-16%)
- 3- (2-4 %) تيتانوماغنيتيت.
- 4-اباتيت (0.5-3%).
- 5-تيتانيت (3-5.0%).
- 6-نادر أورتوكلاز (5%) وفي بعض الأنواع يحل الإيجيرين - ديوبسيد، إيجيرين إيدنبرجيت أو فاساييت (10-20%).
- 7-فلزات الدرجة الثانية والفلزات الثانوية: صوداليت، انالسيت، زيوليت، كانكرينيت، كالسيت، البيت، بيوتيت، أمفيبول قلوي.

النسيج:

بانثيديومورفي أو هيبيثيديومورفي.

التركيب الكيميائي:

يكون تركيب الأورثيت قريبة من تركيب الصخور السابقة، في حين تكون نسبة الألومينا كبيرة أكبر ما يمكن من الفويديت (24-30%)، ومجموع القلويات (15-20%)، حيث يكون دور أكسيد الصوديوم هو الأهم (12-16%) ($\text{Na}_2\text{O}=12-16\%$).

ب-5-ميسوريت:

أنت التسمية من جبل ميسوري في الولايات المتحدة الأمريكية. وهو صخر فاتح إلى رمادي قاتم، متجانس الحبيبة حجم الحبة (2 - 5م) وهو منقطع، تظهر فلزات اللوسيت الرمادية المخضرة الفاتحة، الكالينوبيروكسين الأسود (أوجيت)، أوليفين الأخضر، نادراً بيوتيت بشكل نترات. البنية: كتلية.

الفلزات المشكلة الرئيسية:

1-كالينوبيروكسين:

أخضر فاتح من الأوجيت يمثل (50%) من حجم الصخر.

2-لوسيت:

رمادي مخضر فاتح، ويكون بشكل بلورات مدورة، ويمثل (16%) من حجم الصخر.

3-أوليفين:

أصفر يمثل (15%).

4-بيوتيت:

بشكل نترات، لونه بني، وكثيراً ما ينمو على حساب البيروكسين، ويمثل (16%) من حجم الصخر.

5-فلزات خامية: (5%).

6- فلزات ثانوية: أباتيت.

7- فلزات درجة ثانية:

أنالسيت، زيوليت، يمثل (8%) من حجم الصخر.

النسيج:

آلاتريومورفني.

4- حسب التصنيف الكمي الفلزي:

إن الصخور كاملة التبلور تقسم لأنواع مختلفة حسب النسب المئوية الكمية للفلزات المأخوذة من التحاليل الكيميائية للصخور والمحللة مخبرياً. حيث تُحْمَلُ هذه النسب على مثلثات متساوية الأضلاع تسمى بالمثلثات التصنيفية، وتمثل رؤوس المثلث الفلزات الرئيسية المشكلة للمجموعة الصخرية المدروسة، ويمثل رأس من الرؤوس نسبة 100% للفلز الموجود على هذا الرأس. ولتحليل التركيب الفلزي على المثلث تحسب قيمة كل فلز من الفلزات الموجودة في رؤوس المثلث كنسبة مئوية محسوبة من (100).

فإذا كان لدينا صخر مؤلف من ثلاثة فلزات A و B و C، فإن مجموعها يجب أن يساوي الـ 100

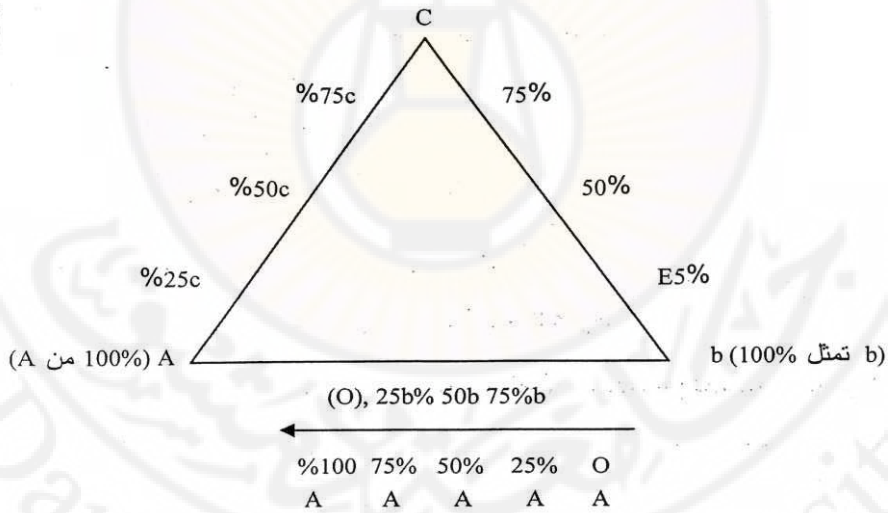
$$A + B + C = 100$$

ومنه تحسب قيمة كل فلز من الفلزات (أي النسبة المئوية الكمية للفلز)، ثم تسقط على المثلث شكل (31).

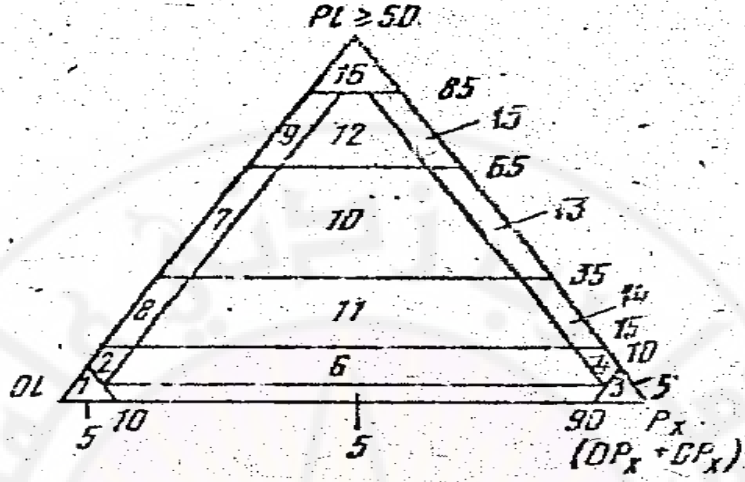
وهذه القيم تحسب للصخور المبلورة بالاعتماد على الفلزات الحقيقية المؤلفة للصخر المدروس.

وهنا نورد تصنيف أكثر الصخور انتشاراً في الطبيعة، وهي الصخور فوق الأساسية المؤلفة من أوليفين وبيروكسين (أورثو وكلينوبيروكسين)، حيث يظهر على المثلث الأنواع المختلفة لهذه الصخور مصنفة بالاعتماد على التصنيف الكمي الفلزي. الشكل (32)، ويمثل هذا الشكل تصنيف الصخور الغابروية وفوق

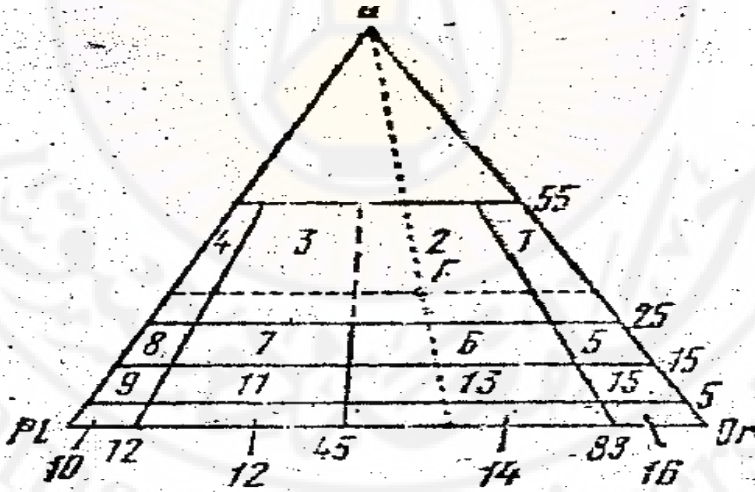
الأساسية معاً، حيث يظهر على الشكل كل من صخري الدونيت والأوليفينيت في الحقل (1)، وفيرليت في الحقل (2)، وليزوليت في الحقل (3)، وهارتزبرجيت في الحقل (4)، أما البيروكسينيت فيتوضع في الحقول (5-10)، حيث يمثل الحقل (6) كلينو كلينوبيروكسينيت، و(8) ويبستريت، و(10) أورثوبيروكسينيت، والتي يقسم بينها أيضاً الأنواع الأوليفينية ضمن الحقول (9، 7، 5)، أما الصخور الحاوية على أوليفين، بيروكسين وبلاجيوكلاز أساسي تظهر على الشكل نفسه، ولكن يكون كل من أورثوبيروكسين وكلينوبيروكسين مجموعين معاً. في هذا المثلث تظهر الصخور فوق الأساسية: الدونيت في الحقل (1)، ودونيت بلاجيوكلازي في الحقل (2)، والحقل الثالث (3) بيروكسينيت، و(4) بيروكسينيت بلاجيوكلازي، والحقل (5) بيريدونيت، والحقل (6) بيريدونيت بلاجيوكلازي.



الشكل (31)



الشكل (32) تصنيف الغابرونيديات والصخور فوق الأساسية



الشكل (33) تصنيف الصخور الغرابيية

والصخور الغابروية القائمة (8-تروكتوليت، 11-غابرونوريت أوليفيتي، 14-غابرونوريت)، والأنواع الغابروية متوسطة اللون (7، 10، 13)، والفاتحة منها في الحقول (3، 12، 15)، وكذلك الصخور وحيدة الفلز الأنورتوزيت

والبلاجيوكلازيت في الحقل (16)، أما الصخور الحامضية والتي تمثل بمثلث يظهر العلاقة بين الكوارتز والصفاح القلوي والصفاح الكلسي - الصودي في الشكل (33)، حيث تظهر النسب الحقيقية لكل من الكوارتز وأنواع الصفاح، مجموعها يساوي (100%)، مثالها: الغرانيت الحاوي على (35%) كوارتز، و(40%) صفاح قلوي (أورتوز)، حيث يظهر على الشكل خط مستقيم يطابق (35%) كوارتز مواز لجهة صفاح كلسي - صودي (Ab) و صفاح قلوي (Or) حيث يمثل (60%)، ومن ثم بالحساب بالنسبة لـ (100%) تكون نسبة الأورتوز تمثل (66.6)، حيث نمرر من رأس الكوارتز خطأ فتكون نقطة التقاطع هي النقطة الدالة على تركيب صخر الغرانيت، والواقعة في الحقل (2) مبينة بحرف (r) ومن ثم بالاعتماد على نسبة الكوارتز يكون لدينا، صخور بلاكوارتز، وصخور حاوية على كوارتز (0-5%)، وفي الصخور الحاوية على كوارتز تكون (نسبة كوارتز 0-10%)، والصخور المارة باتجاه الغرانيت تكون نسبة الكوارتز فيها (10-25%)، حيث يحوي الغرانيت، (أكثر من 25%) كوارتز، في حين أن النسبة (55%) تحدد الحقل العلوي للغرانيت، (أي الصخور الغنية بالكوارتز، وهي لا تتواجد في الطبيعة صخور تحوي نسبة أعلى من 55% كوارتز). كما تظهر في المثلث، وهي الحقول التالية:

الحقل (1) يدل على آلاسكيت، وهو غرانيت فاتح (ليكو) حيث الصفاح فيه هو من الأورتوز، والحقل (2) غرانيت حيث يكون الأورتوز أكثر من البلاجيوكلاز، والحقل (3) غرانيت حيث البلاجيوكلاز أكثر من الأورتوز، وفي الحقل (4) بلاجيوغرانيت حيث نسبة أورتوز أقل من (10%) والبلاجيوكلاز من الألبيت وحتى الأوليغوكلاز، وأما التوناليت فيحوي بلاجيوكلاز من نوع الأنديزين. وعند انخفاض نسبة الكوارتز يتحول كل من البلاجيوغرانيت والتوناليت، ويحل مكانهما الترانديميت (الحقل 8)، ثم ديوريت كوارتزي (حقل 9)، ثم ديوريت والأنواع

الكوارتزية منها (حقل 10)، أما الصخور الحاوية على الأوتوز بشكل رئيسي فتكون فقيرة بالكوارتز وتسمى غرانوسيانيت (حقل 5)، ثم سيانيت كوارتزي (حقل 15)، ثم سيانيت وسيانيت حاوي على الكوارتز (الحقل 16). كل ما ورد سابقاً هو تصنيف فلزي كمي للصخور النارية (الاندفاعية) العميقة، أما في الصخور السطحية فيعتمد هذا التصنيف بشكل رئيسي على التحاليل الكيميائية، وهذا يترافق مع الدراسات التيروغرافية للصخور المحللة، وذلك بالاعتماد على الحسابات النورمية، ثم إسقاطها على المثلثات، ولكن عندما يتواجد الزجاج وفلزات فينوكريست يصعب تصنيف الصخور البركانية بهذه الطريقة، ولكن بكل الأحوال إذا تواجد مثلاً بلورات كبيرة من الكوارتز في تركيب الصخر، فهذا يدل على أنه صخر حامضي، وإذا احتوى أوليفين وبلاجيوكلاز أساسي، هذا يعني بأنه أساسي التركيب، وهنا لا يجب البحث عن التطابق التام بين الصخور السطحية والعميقة من حيث التركيب الفلزي، وذلك بسبب الظروف المختلفة لتبلور هذه الصخور واختلافها عن الصخور العميقة بوجود العناصر الطيارة ونظام انفصال الفلزات، وهذا يؤثر ليس في النسيج وفي تتابع التبلور، وإنما في التركيب الفلزي وتركيب الفلزات.

مثال: الأمفيبول يعد فلزاً رئيسياً في الديوريت الكوارتزي، في حين يخنقي في تركيب الأنديزيت، في حين أن البيوتيت يتواجد دائماً في الغرانيت النظامي، غير أنه نادر في الريوليت وهو المطابق من حيث التركيب الكيميائي للغرانيت، ويمكن لهذا الريوليت ألا يحوي على فينوكريست وميكروليت من الأوتوز (حيث أن كل البوتاسيوم يمكن أن يدخل في تركيب الزجاج)، مع العلم أن تركيب البلاجيوكلاز في الريوليت يكون أكثر أساسية من الغرانيت. في حين لم يتواجد التحليل الكيميائي للصخور البركانية لتشخيص الصخر (لمعرفة الصخر) وإمكانية توصيفه في هذه العائلة من الصخور أو في غيرها يكون هناك صفات غير مباشرة

تشارك في تصنيف هذه الصخور .

مثلاً نسيج هذه الصخور يساعد على تحديد نوعية الصخور وعائلتها فإذا كان لدينا نسيج سفيروليتي لجسم الصخر، يدل على أن هذا الصخر حامضي، النسيج الأوفيتي والأنترسرتالي تدل على أن الصخور أساسية التركيب، أما تركيب الزجاج المتواجد في أرضية الصخر يدل أيضاً على نوعية الصخر وعائلته فإذا احتوى على كوارتز وصفاح، فإن الصخر حامضي، وإذا كان الزجاج حاوياً كلوريت - البيت - إبييدوت، فالصخر متوسط - أساسي التركيب، كذلك في الصخور البركانية الحديثة يكون الزجاج طازجاً، في حين أن البلاجيوكلاز في الصخور البركانية الحديثة يكون شفافاً، أما الفلزات القائمة فتكون ذات لمعان زجاجي واضح.

وفي الصخور الحامضية البركانية يكون الزجاج فاتحاً أصفرًا مخضرًا، زهريًا، وفي الصخور متوسطة التركيب والأساسية يصبح لون الزجاج أخضر نهديًا، ويصبح اللون أكثر وضوحاً كلما كان الصخر أكثر أساسية. وتصاب الفلزات بالتحول والفساد حيث يصبح البلاجيوكلاز فاسداً فيصبح عاتماً بسبب ظهور فلزات الفساد، فمثلاً الصفاح السوداني - البوتاسي يأخذ لوناً أحمرًا قاتماً، والأمفيبول والبيروكسين تخسر لمعانها على سطح الانقسام، ويصبح لونها أخضر أو بنيًا متسخًا، أما الصخور البركانية الفراغية فتتألف بفلزات فساد الدرجة الثانية، وتصبح ذات بنية لوزية.

الفصل السابع

الاستحالة

- 7-1- مفاهيم عامة عن الصخور الاستحالية
- 7-2- عوامل الاستحالة Metamorphic Factors
- 7-3- تصنيف الصخور الاستحالية Classification of metamorphic rocks
- 7-4- التفاضل الاستحالي Metamorphic differentiation
- 7-5- التركيب العنصري للصخور الاستحالية (فلزي وتركيب كيميائي)
- 7-6- السحنات البتروغرافية الاستحالية Metamorphic phase
- 7-7- درجة الاستحالة Metamorphic Grade
- 7-8- الصخور الميتابيليتية الناشئة على حساب الصخور الغضارية Metapilitic rocks
- 7-9- الصخور الميتابازيتية Metabazitic rocks
- 7-10- بنيات الصخور الاستحالية Structures of metamorphic rocks
- 7-11- نسج الصخور الاستحالية Texture of metamorphic rocks
- 7-12- مقارنة الصخور الاستحالية والرسوبية



7-1- مفاهيم عامة عن الصخور الاستحالية

تحصل الاستحالة من خلال إعادة التبلور:

إعادة التبلور:

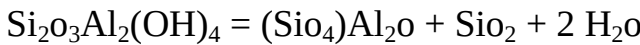
هو عملية ظهور بلورات جديدة في وسط كان مبلوراً من قبل، وقوانين إعادة التبلور لا تكون بالطبع هي القوانين نفسها التي تسود في أحداث التبلور البسيط في وسط سائل، حيث إن البلورات في الوسط السائل تأخذ شكلها الخاص بها، بينما في حالة إعادة التبلور في الصخور الاستحالية فإن البلورات لا تكون حرة في نموها، إذ يحصل التبلور في وسط صلب كان مبلوراً سابقاً، لذلك فإن الفلزات القديمة تعيق نمو الفلزات الجديدة، وتأخذ هذه الفلزات شكل الفراغ بين الفلزات القديمة، في حين عندما تنمو الفلزات في وسط سائل -كما هو الحال في الصخور الاندفاعية- فإنها قادرة على أخذ شكلها الخاص بها، والذي يأخذ شكلاً هندسياً كاملاً.

ولحصول إعادة التبلور في الاستحالة يجب أن يكون هناك:

- 1- انقطاع لحالة توازن قديمة، وذلك بسبب ظهور ظروف جديدة من T, P ، تؤدي إلى تهديم الفلزات القديمة التي توازنت تحت ظروف محددة قديمة.
- 2- السعي لإيجاد حالة توازن جديدة تحت ظروف الحرارة والضغط الجديدين، مما يؤدي إلى ظهور فلزات جديدة متوازنة تحت هذه الظروف.

مثال ذلك:

تشكل صخر تحت حرارة وضغط منخفضين مثل الغضار الكاوليني، فإذا فرضنا أن هذا الصخر قد انتقل إلى وسط تسود فيه حرارة وضغط مرتفعان أعلى من وسط تشكلها، فهذا يؤدي إلى أن الكاولينيت يصبح غير ثابت، ويستعاض عنه بالسيليمانيت، وذلك حسب المعادلة التالية:



كاولينيت

سيليمانيت

ومنه نستطيع أن نصل إلى تعريف الاستحالة.

الاستحالة (الميتامورفيزم) Metamorphic:

أُتت كلمة الاستحالة من الكلمة اليونانية (ميتامورفو)، التي وضعت من قبل العالم اليوناني (غ. أ. بي عام 1820) والتي تعني إعادة التشكل والتحول. ومن ثم الاستحالة بالتعريف: هي إعادة تشكّل أو تحول الصخور الرسوبية والاندفاعات والاستحالية القديمة التي كانت مصابة بالاستحالة سابقاً، إذ يحصل تغيير في التركيب الفلزي، والذي تتحول بنتيجته إلى صخور استحالية، وذلك تحت تأثير عوامل الاستحالة مجتمعة، وهي الحرارة والضغط الليثوستاتيكي والفلوئيدات العميقة (سوائل وغازات).

1- النوع الأول:

الذي يسمى بالنوع الأرضي (الاينداغيني)، أي الصخور الاستحالية الناتجة عن تأثير الفلوئيدات المرتفعة من نواة الأرض والمتعلق بالحركات التكتونية والعمليات الماغمايتية.

ويتعلق هذا النوع بمساحة الاستحالة، لذلك يقسم إلى نوعين:

أ- استحالة إقليمية تمتد لمساحات كبيرة.

ب- استحالة محلية (تماسية، حرارية)، وتمتد على مساحات قليلة أقل من السابقة.

2- النوع الثاني:

وهو الفضائي أو النيزكي (الكوسماغني)، أي الاستحالة التي تحصل بنتيجة صدم النيازك لصخور الأرض، وذلك بنتيجة سقوطها على الأرض. ولكن هناك نوع ثالث من الاستحالة لا يُعد نوعاً من الأنواع الرئيسية للاستحالة، وهي الاستحالة الديناميكية.

وتترافق الاستحالة دوماً مع تغيير في الحجم، وتختلف الصخور الاستحالية الناتجة بالتركيب الكيميائي عن الصخور الأم التي تشكلت على حسابها، ومن ثم

إذا حصل التغيير في الاحتواء على الماء، وثاني أكسيد الكربون، والأوكسجين فتسمى الاستحالة بالإيزوكيميائية. ويكون التركيب الكيميائي للصخر الاستحالي الناتج قريباً من التركيب الكيميائي للصخر الأم.

أما الاستحالة التي يحصل فيها تغير كبير في تركيب الصخور الناتجة، حيث يحصل دخول عناصر MgO , FeO , CaO , SiO_2 , K_2O , Na_2O ، بالإضافة لتغيير كمية العناصر الطيارة، فتسمى بالاستحالة الآلاكييميائية.

وما يميز الصخور الآلاكييميائية المنشأ هو عدم وجود مقابل لها بالتركيب الكيميائي، لا ضمن الصخور الرسوبية ولا الماغماتية.

وأخيراً هناك الاستحالة الميتاسوماتوزية وهي شبيهة بالآلاكييميائية من حيث دخول العناصر وخروجها، ومن حيث العناصر الفاعلة، غير أنها تختلف عنها بأنها تكون ذات حجم ثابت على عكس الاستحالة الآلاكييميائية، وعلى عكس الأنواع الأخرى من الاستحالة. وبشكل عام فإن الاستحالة بكل أنواعها تكون تقدمية ناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة، وكذلك تراجعية عندما يحصل انخفاض بدرجات الحرارة.

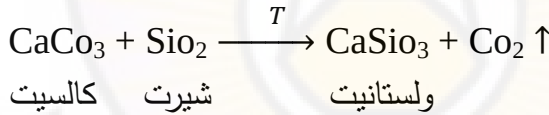
7-2- عوامل الاستحالة

إن العوامل المؤثرة في الاستحالة ثلاثة عوامل هامة، وهي:

7-2-1- الحرارة Temperature:

تُعد الحرارة من أهم العوامل في الاستحالة: حيث:

- 1- تسرع التفاعلات الكيميائية.
 - 2- تساعد في عمليات إعادة التبلور وتسريعها.
 - 3- تزيد مسامية الصخور، ومن ثم قابلية اختراق الفلويديات.
 - 4- التحكم في نوعية المجموعات الفلزية المشكلة حسب الحرارة المسيطرة.
- فعند زيادة درجة الحرارة تزداد قدرة تفكيك المواد وطردها من الماء من الشبكات البلورية للفلزات وتشكل فلزات لامائية، كما هو الحال في تحول الكاولينيت إلى أندالوزيت، وكما في طرد CO_2 من الصخور الكلسية، وتحول الكالسيت بوجود السيليكا إلى ولستانيت وفق المعادلة:



ومن نتائج زيادة الحرارة في العمليات الاستحالية تشكيل فلزات حرارية خالية من الماء، كما ستؤدي إلى تغيرات في النسيج والبنية الاستحالية، حيث يزداد حجم البلورات كلما ازدادت درجة حرارتها، وذلك لحد معين حيث يحدث بعدها الانصهار.

أما المصادر الرئيسية للحرارة فهي، الحرارة الناتجة عن المهل والصخور النارية والمحاليل والغازات الهيدروترمالية، كذلك الحركات التكتونية والتفاعلات الكيميائية إضافة إلى العمليات الإشعاعية الناتجة عن تفكك المواد المشعة.

وتشكل العوامل الحرارية هذه بمجموعها ما يسمى بحرارة الأرض الباطنية والتي تزداد مع ازدياد العمق. وقد تبين بنتيجة الدراسات التجريبية والحقلية أن

أخفض حرارة للاستحالة في القشرة الأرضية تصل 100-300 م°، وأعلى درجة حرارة يمكن أن تصل 700-750 م°، وقد تصل في بعض الأماكن من 900-1000 م°.

ومن ثم ثبات أو عدم ثبات الفلزات في الصخور الاستحالية يتحدد بتغير الظروف المحيطة بها، فبتغير هذه الظروف نجد أن ذرات الفلزات تصبح حرة لفترة وجيزة، وذات حركية قبل أن تستقر في الشبكة البلورية للفلز الجديد، الذي سوف يتشكل تحت الظروف الاستحالية الجديدة، ومنه فالصخور تحوي خلال عملية الاستحالة ثلاث حالات:

- 1- فلزات غير مستقرة، وهي قديمة وفي حالة تهديم.
- 2- وسط يقع بين الفلزات، وهو غير مبلور وذو حركة.
- 3- فلزات جديدة ثابتة، وهي في طور النمو (ثابتة أي متلائمة مع الظروف الجديد الذي تنمو فيه).

ومن هنا فإنه نتيجة إعادة التبلور إما أن نحصل على فلزات لم يتغير فيها التركيب الكيميائي الأصلي للفلزات القديمة، حيث الوسط غير المبلور ذو الحركية بقي مكانه وبقيت العناصر الأصلية المشكلة للفلز القديم نفسها، مما أدى إلى عدم تغير التركيب الكيميائي وظهور فلزات جديدة ذات التركيب الكيميائي السابق نفسه، أو أنه يحصل تغير في التركيب الكيميائي، ومن ثم نحصل على إعادة تبلور استعاضية حيث يتحرك الوسط ذو الحركية غير المبلور من مكانه إلى مكان بعيد، ويحل مكانه عناصر جديدة لم تكن موجودة أصلاً في الصخر، وقد استعويض فيها عن العناصر السابقة، وأدى ذلك إلى تشكيل فلزات استعاضية.

وتترافق الاستحالة دوماً مع تغيير في الحجم ولكن الصخور الاستحالية الناتجة تختلف في التركيب الكيميائي عن الصخر الأم الذي تشكلت على حسابه، ومن ثم إذا حصل التغيير فقط في الاحتواء على O_2 , H_2O , CO_2 ، نحصل على

استحالة تسمى بالاستحالة الإيزوكيميائية، ولكن التركيب الكيميائي للصخر الاستحالي في هذه الحالة يكون قريباً من تركيب الصخر الأم. أما عند دخول عناصر K_2O , SiO_2 , MgO , FeO_2 , CaO , Na_2O مكان السائل ذي الحركية الأصلي بالإضافة إلى تغير كمية العناصر الطيارة، عندها يتشكل صخر يختلف كلياً من حيث التركيب الكيميائي عن الصخر الأم، وتسمى الاستحالة عندها بالاستحالة الآلاكيمايائية، والاختلاف في التركيب الكيميائي يكون جذرياً بشكل لا يمكن تحديد الصخر الأم الذي نشأ على حسابه الصخر الآلاكيمايائي، ولا يكون لهذه الصخور مقابلاً بالتركيب الكيميائي، لا ضمن الصخور الرسوبية، ولا الماغماتية.

وأخيراً هناك استحالة شبيهة بالاستحالة الكيميائية من حيث دخول العناصر وخروجها، غير أنها تختلف عنها بأنها ذات حجم ثابت على عكس الاستحالة الآلاكيمايائية، والأنواع الأخرى من الاستحالة، وهي الاستحالة الميتاسوماتوزية (الاستحافية)، ومنه فالاستحالة عامة إما أن تكون تقدمية وهي ناتجة عن ارتفاع الحرارة، أو تراجعية ناتجة عن عملية انخفاض الحرارة.

7-2-1- الضغط Pressure:

للضغوط المؤثرة في الصخور في الاستحالة ثلاثة أنواع:

- 1- الضغط الليثوستاتيكي، ويرمز له بـ P_s .
- 2- ضغط الفلويديات، ويرمز له بـ P_f .
- 3- الضغط الجانبي أو ما يسمى بالستريس، ويرمز له بـ P دون لاحقة.

1- الضغط الليثوستاتيكي P_s Lithostatic pressure :

وهو الضغط المطبق على الصخر من جميع جوانبه، وهو يساعد على التفاعلات المترافقة مع تغير الحجم، ويعد عاملاً من عوامل الاستحالة. ويرتبط هذا النوع من الضغوط مع عمق الطبقات المؤثرة في الصخور

(أي يزداد بازدياد العمق)، وتجدر الإشارة إلى أن علاقة P_s مع الحرارة هي علاقة غير متناسبة طردياً، أي بازدياد الضغط لا تزداد الحرارة والعكس صحيح، وأن كل الضغوط المؤثرة في القشرة الأرضية تتراوح بين (صفر - 10) كيلوبار، حيث يزداد هذا الضغط واحد كيلوبار كل 3 كم. ومع ازدياد الضغط الليثوستاتيكي نلاحظ ظهور فلزات ذات بنية متراسة مثل (غارنيت، كيانيت، حيث تحل مكان فلزات ذات بنية أقل ترصاً مثل كوردييريت، فلدسباتويدات، صفاح وأنواعه، زيوليت، ويحصل أيضاً توجه الفلزات المشكلة للصخر والتي تكون موزعة بشكل عشوائي قبل تطبيق الضغط).

وحسب رأي العالم كورجنسكي فإن قابلية امتصاص CO_2 تزداد مع ازدياد الضغط - (أي بازدياد العمق أيضاً) - لذلك لا يمكن تواجد فلزات مثل الزيوليت في الأعماق، أي تحت الضغوط العالية.

2- ضغط الفلويديات P_F : Fluid pressure

وهو الضغط الناتج عن مجموع الضغوط لجميع الفلويديات الفاعلة في الاستحالة أي:

$$P_F = P_{H_2O} + P_{CO_2} + P_{CO} + P_{Cl} + P_F + \dots$$

ومن ثم فإن الضغط الفلويدي يكون دائماً أكبر من ضغط أي غاز من

$$P_F > P_{H_2O} \text{ أي أن:}$$

وعندما يكون الضغط الليثوستاتيكي أكبر من ضغط الفلويديات يتم ارتشاح

$$\text{الفلويديات، أي عندما } P_S > P_F.$$

وهنا يكون تأثير الضغط كبيراً في العمليات الاستحالية، إما في حالة

تساوي الضغطين، أي $P_S = P_F$ ، عندها يحصل انتشار محدود الفلويديات مع

عملية هجرة بسيطة لبعض العناصر، وهذه العملية لا تؤدي دوراً هاماً في العمليات الاستحالية.

3-الضغط الجانبي أو الموجه (ستريس) P Stress pressure:

وهو الضغط وحيد الاتجاه والمؤثر في الجزء العلوي من القشرة الأرضية، والذي بنتيجته يحصل تشوه للصخور .

وكان يعتقد سابقاً أن الضغط الجانبي من العوامل الهامة في الاستحالة، ولكن حسب بحوث العالم كورجنسكي وغيره من العلماء ثبت بأن الضغط الجانبي لا يؤدي دوراً هاماً في عملية التوازن الفلزي، أي أن تأثيره لا يؤدي إلى ظهور فلزات معينة أو غياب فلزات أخرى، ومن ثم فهو لا يؤثر في ارتباطات التراكيب الفلزية الذي يحدد هذه الدرجة أو الدرجة الأخرى من الاستحالة. ولكن يؤدي هذا النوع من الضغوط دوراً هاماً كوسيط في العمليات الاستحالية، حيث يؤدي إلى التورق، الصفوفية، التحطم الفلزي، حيث تؤدي هذه العملية إلى زيادة نفوذية الصخر، ومن ثم زيادة قابلية مرور الفلويديات عبر الصخر، والتي تسهل بالنتيجة من ازدياد إعادة تشكل الصخور بالعمليات الاستحالية، وأيضاً يساعد الضغط الموجه إلى تشكيل البنيات والنسج، ومنها البنية الغنيسية والافيبوليتية، وغيرها. كما يتعلق بهذا النوع من الضغط التفاضل الاستحالي الذي يحصل بنتيجة إعادة توزيع العناصر في الصخر وتشكيل البنية المخططة.

7-2-3-الفلويديات (السوائل والعناصر الطيارة) Fluids:

تُعد الفلويديات من أهم العوامل بل عامل رئيسي في كل أنواع الاستحالة، أما تركيبها فمعقد ويتغير بشكل كبير أثناء عملية الاستحالة، والفلويديات مصدران: المصدر الأول من الأعماق وأما المصدر الثاني فهو ناتج تمييع الصخور بتأثير الحرارة، وأما أهم العناصر المشكلة للفلويديات، فهي H_2O , CO_2 , CO , CH_4 , H_2S ، ولحصول الاستحالة لا بد من وجود عاملين معاً، حيث إنه لا تتحقق الاستحالة بتأثير عامل من عوامل الاستحالة منفرداً، فمثلاً لا يمكن أن يؤدي تأثير الحرارة على حدة إلى العملية الاستحالية ولو كانت الحرارة مرتفعة جداً.

نضرب مثلاً على ذلك:

إن الصخور المتوضعة على أعماق قليلة بحيث يأتي فوقها صخور ماغما ذات حرارة عالية وغير حاوية على فلوئيدات لا تصاب هذه الصخور بالاستحالة، حيث لا يظهر أي نطاق من نطاقات الاستحالة، في حين أنه لو احتوت هذه الماغما على الفلوئيدات فإنها تؤثر وبشكل كبير وبشدة عالية في الصخور المجاورة لها.

تعد الفلوئيدات ذات المنشأ العميق تحت السطحي ذات أهمية كبيرة في الاستحالة، حيث تعد هذه الفلوئيدات حاملاً للحرارة من الأعماق، وهي في الوقت نفسه مولدة للحرارة، وتقوم بدور هام في التفاعلات الكيميائية، بالإضافة إلى أن الفلوئيدات الآتية من الأعماق الكبيرة جداً تتأكسد أثناء صعودها للأعلى، ومن ثم تقوم بنشر حرارة بكمية كبيرة، وتعد هذه العمليات من أهم منابع الحرارة في العمليات الاستحالية، غير أنه هناك مصادر أخرى للحرارة، وهي:

الانشطارات الإشعاعية، وحرارة الماغما العميقة المنشأ، كذلك تؤدي الفلوئيدات ذات المنشأ العميق دوراً هاماً في الاستحالة، حيث تدخل الفلوئيدات في الفراغات بين الفلزات نتيجة انحلال العناصر بالماء الذي تحويه الفلوئيدات، ويؤدي ذلك إلى تسهيل مرورها، حيث تزيد المياه من مسامية الصخور، وتقوم بتبلييل البلورات، وهذا يؤدي إلى أن الفلوئيدات الحاوية على الماء تدخل بسهولة في الفراغات بين الفلزات، وكذلك تساعد الأكاسيد والقلويات المنحلة في الماء في عملية التبلييل، غير أنه هناك فلوئيدات غير قادرة على عملية التبلييل، مثل (H_2) ، فإذا كان بشكل جزيء سيكون مشبعاً وليس بحاجة للاتحاد بعناصر أخرى، لذلك لا يبليل الصخر، أما إذا كان بشكل شاردة (H^+) فسوف يتفاعل مع الوسط.

ومن هنا يظهر دور الفلوئيدات كمساعد في عملية إعادة التبلور المترافقة مع عملية الانحلال وإعادة الترسيب، حيث إن الفلوئيدات تتحرك باتجاه انتشار

العناصر الموجودة ضمن الشبكة البلورية، ولهذه العملية دور هام في الاستحالة. وترتبط عملية إعادة التبلور بدرجة أكسدة الفلويديات، إذ يمكن أن تكون الفلويديات:

حامضية وتتألف من F_2 , Cl_2 , Co_2 , H_2S
أو قلوية وتتألف من $K(OH)$, $Na(OH)$, $Ca(OH)_2$
أو حيادية حيث تحصل الاستحالة الإقليمية عادة تحت تأثير الفلويديات الأخيرة. أما الاستحالة التماسية (المحلية) فتنتج عن تأثير الفلويديات القلوية والحامضية، وترتبط الاستحالة دائماً إما بعملية ضم الماء إلى العناصر الموجودة في الماغما والفلويديات المؤثرة في الصخور المجاورة، أو بعملية خروج الماء من الماغما والفلويديات وكذلك بضم الكربونات وخروجها، بالإضافة إلى عملية الأكسدة والإرجاع.

حيث بامتصاص العناصر الطيارة يحصل انخفاض في التفاعلات الاستحالية، وتتشكل فلزات مثل سيرسيت، كلوريت، إبيدوت وغيرها ناتجة عن ما يسمى الاستحالة التراجعية. في حين أنه بارتفاع الحرارة يخرج الماء من الفلزات وتتشكل فلزات لامائية، وهذه العملية هي عكس الاستحالة التراجعية، وتسمى بالاستحالة التقدمية.

وتترافق الاستحالة التراجعية بارتفاع درجة الأكسدة، ومن ثم بانخفاض الحرارة تتشكل فلزات الأكاسيد مثل الهيماتيت.

7-3- تصنيف الصخور الاستحالية

Classification of metamorphic rocks

يعتمد تصنيف الصخور المتحولة (الاستحالية) على طرق عدة:

7-3-1- تصنيف الصخور المتحولة كما الصخور النارية بالاعتماد على نسبة الفلزات المشكلة للصخور، حيث تعد الفلزات رئيسية في حال كانت نسبتها أعلى من (5%)، أما في حال كانت أقل من (5%)، فتعد فلزات درجة ثانية، وينعكس هذا التصنيف على تسمية الصخر، حيث تدخل الفلزات الأقل نسبة أولاً في تسمية الصخر يتبعها الأكثر نسبة فالأكثر.

مثال:

إذا احتوى صخر الشيست المتحول على مجموعة فلزات مختلفة النسب وهي غرينا، سيلليمانيت، هبرستين، بحيث تكون الغرينا أقلها نسبة والهربستين أكثرها نسبة، عندها نسمي الصخر بالشكل التالي: شيست غارنتي، سيلليمانيتي، هبرستيني، وهذا التصنيف ينطبق على جميع الصخور المصابة بالتحول.

7-3-2- تصنيف الصخور بالاعتماد على نسبة الفلزات القائمة، حيث تقسم الصخور المتحولة وفق الجدول التالي إلى صخور فاتحة، قائمة، ومتوسطة اللون.

لون الصخر	نسبة الفلزات القائمة
فاتح (ليكو)	أقل من 5%
متوسط اللون (ميزو)	من 2-25%
قاتم (ميلانو)	25-50%

7-3-3- تصنيف الصخور المتحولة بالاعتماد على شدة التحول:

شدة التحول (درجة التحول)	درجة الحرارة
منخفضة الشدة	200-300 م°
متوسط الشدة	320-500 م°
عالية الشدة	550-650 م°

7-3-4- تصنيف الصخور بالاعتماد على نوعية الصخر الأم الذي تشكل على حسابه الصخر المتحول:

أ- إذا كان الصخر المتحول قد نشأ على حساب صخر أم رسوبي، عندها نضيف سابقة ميتابليت أو بارا للدلالة على المنشأ الرسوبي.

ب- في حال نشأ الصخر المتحول على حساب صخر ناري، عندها نضيف سابقة أورثو، أو يسمى ميتابازيتي للدلالة على المنشأ الناري.

7-3-5- تصنيف الصخور المتحولة بالاعتماد على نوع التحول:

1- صخور التحول الإقليمي.

2- صخور التحول التماسي (المحلي أو الحراري).

3- صخور التحول الديناميكي.

4- صخور التحول النيزكي.

7-3-6- تصنيف الصخور بالاعتماد على بنية الصخر ونسيجه:

حيث يعد هذا التصنيف من أبسط أنواع التصنيف المستخدمة في دراسة الصخور المتحولة.

وعادة ما تكون فلزات معظم الصخور المتحولة التي تشكلت بالتحول الإقليمي على شكل حبات متطاولة، أو مسطحة، مرتبة وفق صفوف متوازية معطية بنية ونسيجاً متورقاً، أما في حال الصخور المتحولة بالحرارة (التماسية) فتكون البنية والنسيج حبيبيّاً ناعماً غير متورق.

ومن ثم يظهر بنتيجة التحول نوعان من الصخور، هما:

1- صخور متورقة:

تظهر صفة التورق، حيث تنكسر بسهولة باتجاه التورق، وتتجم ظاهرة التورق عن عامل الضغط، لذلك تتواجد هذه الصفة في صخور التحول الإقليمي، أو الديناميكي المصحوب بالحرارة.

2- صخور غير متورقة:

وهي صخور صلبة ذات نسيج حبيبي ناعم أو خشن، لا تحوي ظاهرة التورق، وتتشكل بدرجة رئيسية من التحول الحراري. ومن خلال ما ورد سابقاً نستطيع أن نقسم الاستحالة إلى عدة أنواع، هي:

1- الاستحالة الإقليمية regional metamorphism:

وهي الاستحالة الناتجة عن تأثير ثلاثة عوامل هامة، وهي:

أ- الضغط (الموجة، الليثوستاتيكي).

ب- الحرارة.

ج- الفلوئيدات.

وكان هناك رأي بأن الضغط هو الضغط الناتج عن ترسب الرسوبات بسماعات كبيرة، أو ناتج عن امتلاء الأحواض الجيوسينكلينالية بنتيجة عمليات البركنة الشديدة، حيث يحصل بالوقت نفسه عملية تأمين مؤشرين هامين لحصول مثل هذه الاستحالة وهما الحرارة والضغط الليثوستاتيكي (P_s)، (حيث يحصل بنتيجة التجمع بالحوض زيادة في الضغط وإما الحرارة الناتجة عن اللافا والتي تصل إلى 1200 م°، ولكن تبين فيما بعد بأن الاستحالة الإقليمية تقسم إلى أربعة أنواع، وهي:

1- استحالة ذات حرارة مرتفعة وضغط منخفض.

2- استحالة ذات حرارة منخفضة وضغط مرتفع.

3- استحالة ذات حرارة وضغط مرتفعين.

4- استحالة تتشكل على قاع المحيطات.

1- استحالة ذات حرارة مرتفعة وضغط منخفض:

ويتواجد هذا النوع من نطاقات تشكل الجبال على أطراف الصفيحة الليثوسفيرية، ويترافق ليس مع الانحناءات العامة للجبال، وإنما مع الانحناءات

النااتجة عن التشوهات، مثل الطيات المتشكلة في الجبال أي الاستحالة المتعلقة بالتهوض.

إذاً يمكن القول إنه عام 1953 كان أول رأي عن عملية الاستحالة في منطقة القفقاز الكبير، حيث إن عملية الاستحالة التقدمية من الدرجة العليا تتشكل في مرحلة التشوهات الناتجة عن الطيات في الجيوسينكلينال.

وفي حال ظهور استحالة شديدة في درجات عالية من الحرارة وضغوط منخفضة تتشكل أنواع الغرانيتويدات الفقيرة بالبوتاسيوم (K).

أما أنواع الغرانيتويدات (غرانوديوريت، غرانيت وغيرها) المنخفضة الحرارة والغنية بالبوتاسيوم فتتشكل في مرحلة متأخرة من التشوه، وعادة ما يكون ناتجاً عن الميتاسوماتوز - (أي الاستعاضية) - حيث تظهر فلزات مثل الأورتوز، الميكروكلين اللذين يعدان دليلاً على الغنى بالبوتاسيوم.

بعد هذه الاستحالة ذات الحرارة العالية والمسماة بالتقدمية يحصل في الوقت نفسه استحالة تراجعية، يترافق فيها حقن الصخور بالسائل الصاعد من الأعماق الحامضي، وتتشكل فلزات مثل الكوارتز، واليلاجيوكلاز الحامضي، الأورتوز، الميكروكلين ذي تنظيم بلوري داخلي عالٍ جداً.

2- استحالة إقليمية ذات الضغوط العالية والحرارة المنخفضة:

وهي الاستحالة الناتجة عن انغماس القشرة المحيطية تحت القارية على طول نطاق بينوف، مما يؤدي إلى تشكيل صخور الشيست الأزرق، أو ما يسمى أيضاً بالشيست الغلوكوفاني حيث تأتي تسمية هذه الصخور في كلتا الحالتين من لون الامفيبول ونوعه، وهو الغلوكوفان ذو اللون الأزرق، حيث بالانزلاق السريع للقشرة المحيطية يزداد الضغط عند قمة القشرة، في حين أن الاحتكاك يكون بسيطاً فلا ترتفع درجة الحرارة أكثر من 300-400 م°.

3-استحالة ذات حرارة وضغط مرتفعين:

وهذه تتشكل تحت القشرة القارية، ويتشكل بنتيجتها صخر الغنيس الشبيه بالتركيب مع الغرانيت.

4-استحالة تتشكل على قاع المحيطات:

أما ما يتعلق بالاستحالة الإقليمية الموجودة في قاع المحيطات حسب رأي الباحث سبيرنغ فهي تظهر في المناطق المنتشرة تحت الأعراف المحيطية المتوسطة والمنتشرة بعيداً بشكل عرضي عن هذه الأعراف، حيث تتشكل صخور الأمفيبوليت والإيكولوجيت.

وأخيراً يجب الإشارة إلى أن الاستحالة الإقليمية تقسم بجميع أنواعها إلى قسمين:

أ-استحالة إقليمية متجانسة:

حيث تتحول الصخور الأم إلى صخر استحالي من نوع واحد، وليكن الغنيس أو الصخور البلورية المتوقعة، أو غيرها من الصخور الاستحالية الإقليمية.

ب-الاستحالة غير المتجانسة:

حيث في كثير من مناطق المعقدات الاستحالية الإقليمية يلاحظ تمايزاً كبيراً في درجات الاستحالة (ناتج عن اختلاف T, P من مكان لآخر)، الذي يؤدي إلى مفهوم عدم التجانس في الاستحالة الإقليمية، فإذا كان هذا التمايز قانونياً مترافقاً مع التغيير المتتابع لدرجة الاستحالة - (أي يزداد مع ازدياد درجة الاستحالة) - عندها نتكلم عن الاستحالة الإقليمية غير المتجانسة، (أي تشكل نطاقات متتابعة من الصخور الاستحالية المختلفة في درجة الاستحالة).

هذا في حال امتداد التمنطق لمساحات واسعة إقليمية، أما إذا انحصر هذا النوع نفسه من الاستحالة التمنطقية في مناطق قليلة المساحة، عندها نحصل على استحالة محلية غير متجانسة.

2-الاستحالة التماسية (الترمالية، المحلية) Comtact metamorphism:

هي الاستحالة الناتجة عن التماس المباشر للماغما العميقة الحاوية على الفلويديات أو الماغما المتدفقة، مع الصخور المحيطة من رسوبية، نارية، أو استحالية سابقة النشك، وتختلف هذه الاستحالة عن الاستحالة الإقليمية بأنها تظهر في مساحات محدودة من عدة سانتيمترات وحتى عدة كيلو مترات، وأن أهم عوامل تشكّل هذه الاستحالة هو الارتفاع السريع لدرجة الحرارة، ولذلك سميت هذه الاستحالة أيضاً بالترمالية، إذاً تتميز الاستحالة التماسية بالحرارة المرتفعة والتي تصل من عشرات وحتى مئات الدرجات في المتر الواحد.

وإن الصخور الناتجة عن هذه الاستحالة، هي:

1- الصخور القرنية، وهي الصخور الناتجة عن تماس الماغما مع الصخور السيليكاتية.

2- صخور المرمر، وهي الصخور الناتجة عن تماس الماغما مع الصخور الكربوناتية.

3- الصخور الكوارتزيتية وهي ناتجة عن تماس الماغما مع الصخور الرملية أو الصخور الغنية بالكوارتز.

وإن نطاق تشكّل الصخور الاستحالية على طول التماس مع الماغما تسمى الهالة التماسية، والتي يتعلق عرضها بعمق الجسم المغماتي المؤثر وكميته، وشكل الجسم المغماتي وطبيعة، (أي نوع) الجسم المغماتي، وكلما كانت هذه الاستحالة التماسية منتشرة عرضاً، كان ذلك دليلاً على عمق الماغما المؤثرة، وهذا يتعلق بتدرج حرارة الأرض، ومن ثم كلما كانت الحرارة الأولية للصخور بالماغما عالية، كانت عملية تبريد الماغما التي سوف تتبلور أبطأ، وكان تأثير الماغما بطيء على الصخور المحيطة، ومن ثم نستطيع القول: إن عرض الهالة يرتبط ارتباطاً مباشراً مع سماكة (كمية) الماغما المؤثرة، ومن ثم كلما ابتعدنا عن مركز

التماس تصبح الهالة التماسية تمنطقية البنية.

مثال الهالة التماسية:

منطقة تماس الصخور الأرجيلية، (وهي صخور غضارية حجرية قاسية لا تمتص المياه ناتجة عن تصلب الصخور الغضارية بواسطة خروج المياه أثناء عملية الدياجنيز)، مع كتل مغماتية من الغابرو - ديوريت والبلاجيوغرانيت، والتي تصل سماكتها إلى (60-140 م) في منطقة كازاخستان (منطقة جنوب الاتحاد السوفيتي السابق)، وتشكل الهالة التماسية في هذه المنطقة بحدود 50-130 م، وتتألف من أربعة نطاقات:

1- صخور قرنية بيروكسينية بلاجيوكلازية (5-10 م)

2- صخور قرنية بيوتيتية (5-15 م)

3- صخور بيوتيتية عقدية (25-70 م)

4- صخور بيوتيتية منقطة (15-30 م)

ويكون النطاق الأخير (4) على تماس مباشر مع الصخور الأرجيلية، وكلما كانت منطقة التماس شديدة الانحدار، كانت الهالة التماسية ضيقة وذلك لأن الفلوئيدات الناتجة عن المصهور والذي يعد عنصراً هاماً في إعادة التبلور، تتحرك نحو الأعلى، ومن ثم فإن اتساع الهالة يكون في المنطقة الأمامية من المصهور - (أي مقدمة المصهور) - أوسع مما هو عليه في المنطقة الخلفية.

إن إثبات عملية تماس الجسم المغماتي مع الصخور المجاورة يعتمد منذ زمن بعيد على وجود الاستحالية في الصخور الأم (الأولية) أو غيابها. وإن هذه العملية تبين تأثير المصهور المغماتي في التماس، والذي يمر به تيار من الفلوئيدات المارة عبر المصهور، ومن ثم عبر الصخور الأولية الموجودة أصلاً، ومع غياب مثل هذه التيارات، فإن الاستحالة التماسية لا تتم، ومن ثم فإن التماس يسمى بالتماس الجاف، كأنما المصهور المغماتي لم يكن على تماس مع الصخور

الأولية المحيطة ولفترة طويلة من الزمن.

إذاً الاستحالة الجافة هي ناتج تماسي مباشر مع الماغما، ولكن بدون تأثير الفلويديات، أي يحصل تأثير درجات حرارة عالية ينتج عنها انصهار جزئي للصخور الغضارية الألومينية، ويؤدي إلى تشكل صخور بوهيتية، (وهي عبارة عن الصخور القرنية الغنية بالماء والزجاج)، وصخور قرنية (وهي عبارة عن الصخور الناتجة عن الاستحالة بتأثير الماغما الداخلية، وتكون ذات بنية متماسكة وذات تركيب فلزي معقد وهو كوارتز، ميكاً بأنواعها، أورتز، ميكروكلين، غرينا، اندالوزيت، سيليمانيت، كوردبيريت، وبشكل نادر أمفيبول وبيروكسين).

في حين الاستحالية الرطبة هي الاستحالية الناتجة عن تماس الماغما الغنية بالفلويديات المائية وتعد أقوى أنواع الاستحالة، حيث تتشكل أكبر هالة تماسية، والتي تصل لعدة أمتار أو حتى عدة كيلومترات، مثالها الماغما الغرانيتية (وطالما هذه الماغما تشكل المرحلة الأخيرة من التفاضل المهلي، فهي حاوية على نسبة عالية من الفلويديات المائية)، ومن ثم نجد بالقرب من المصهور الغرانيتي أكبر هالة تماسية تصل إلى عدة كيلومترات.

أما إذا كانت الماغما فوق أساسية، فنجد أنها تحوي على فلويديات يغلب فيها H_2 , Co , CH_4 ، والتي تعد فلويديات غير قادرة على تشكيل استحالة تماسية مع الصخور الأولية الموجودة أصلاً، ومن ثم فإن الهالة التماسية الناتجة عن الصخور فوق الأساسية تكون قليلة السماكة، أو لا تتواجد نهائياً.

يمكن للاستحالة التماسية أن تكون إيزوكيميائية (أي المتغير فيها فقط O_2 , H_2O , Co_2)، وآالكيميائية حيث يكون النوع الثاني مترافقاً مع ارتشاح (تسرب) الفلويديات المترافقة مع عملية دخول عناصر مختلفة، مثل CaO , K_2O , Na_2O وغيرها.

مثال الاستحالة التماسية الألاكميائية:

هالة تماسية بيوتيتية مترافقة مع عملية التحول لصخور قرنية حول مصاهير غرانيتية فلوئيديّة، يخرج من الماغما الغرانيتية أولاً البوتاسيوم (في منطقة سيبيريا وتقع شمال الاتحاد السوفيتي السابق).

حيث نجد أن الهالة التماسية تكون أحياناً حاوية على أباتيت وأحياناً أخرى على زركون، وهذا ناتج عن جلب الفوسفور والزركون من المصهور المغماتي ويكون الأباتيت إما بالقرب من المصهور المغماتي فقط، أو يمتد لمسافة بعيدة عن منطقة التماس مع المصهور المغماتي، أما البوتاسيوم فيذهب لتشكيل البيوتيت بالقرب، أو على مسافة بعيدة من الماغما الملامسة للصخور المجاورة.

وأخيراً يمكن القول بأن ما يميز الاستحالة الإقليمية عن التماسية:

1- كون الاستحالة الإقليمية تصيب مساحات واسعة جداً تبلغ آلاف الكيلومترات، في حين أن الاستحالة التماسية تكون محدودة المكان.

2- وجود مرحلة انتقالية بين الصخور الاستحالية وغير الاستحالية.

3- تختلف الاستحالة الإقليمية بظهور عامل الضغط، والذي يعد عاملاً هاماً في الاستحالة الإقليمية، في حين أن المؤثر الرئيسي في الاستحالة التماسية هي الحرارة والفلويدات مع غياب الضغط.

3-الاستحالة الديناميكية (التحطمية): Dynamic metamorphism

إن الاستحالة الديناميكية هي الاستحالة الناتجة عن الضغط الجانبي الموجه، وتتشكل تحت تأثير العمليات التكتونية في الجزء العلوي من القشرة الأرضية، وتؤدي هذه الاستحالة إلى تحطيم الفلزات المشكلة للصخور، بالإضافة إلى تخريب الشبكة البلورية للفلزات، ومن ثم تصبح الفلزات المشوهة عندها ذات تعنيم تموجي، ويتغير شكل الفلز وحجمه، وبالنهاية تلتحم الفلزات مع بعضها وتتسقق، وإن درجة تأثر الفلزات بهذا النوع من الاستحالة يكون مختلفاً من فلز

لآخر، وذلك بسبب اختلاف الصفات الميكانيكية لهذه الفلزات، وإن الفلزات المتأثر بعملية التحطم (الكاتاكلاز)، أي الاستحالة الديناميكية لا يحصل فيها توزيع تفاضلي ضمن الصخر، مما يؤدي إلى الحفاظ على البنية الأصلية للصخر قبل الاستحالة على الرغم من تغير النسيج. وينتمي لصخور الاستحالة الديناميكية مليونيت، فيلونيت، والصخور الميكايوية المتورقة، والصخور ذات المظهر الغنيسي، والكاكيريت، والصخور الزجاجية الحاوية على غطاء خارجي، وتكون هذه الصخور بأشكال وحجوم مختلفة، حيث يبلغ حجمها من 10 مم حتى 1000 مم، والكاتاكلازيت.

مع العلم بأن التتابع التالي هو نوع موجود في مناطق الفوالق، المليونيت، الفيلونيت، الصخور الميكايوية المتورقة، الصخور ذات المظهر الغنيسي. ولكن هنا يجب الإشارة إلى أن هذا النوع من الاستحالة لا يُعد من الأنواع الرئيسية للاستحالة، حيث لا يتحقق فيه شرط العمليات الاستحالية، وهو ظهور فلزات جديدة وغيابها، حيث ما يحصل في هذه الاستحالة فقط تكسر الفلزات الموجودة أصلاً في الصخر الأصلي دون تشكل فلزات جديدة.

4- الاستحالة النيزكية:

لقد تم الكشف في الأعوام الأخيرة عن ظاهرة جديدة في تشكل عناصر الصخور، والتي سميت بجيولوجيا النيازك والمتعلقة بتأثير العناصر النيزكية على الطبقة السطحية للأرض، وذلك بنتيجة سقوط النيازك الضخمة على سطح الأرض، الذي يؤدي إلى تشكل فوهة كبيرة وعميقة، حيث يحصل بنتيجة الصدم انصهار وانفجار الصخور النيزكية المتشكلة من الزجاج السائل، والزجاج الفقاعي، الحاوي على قشور لأنواع مختلفة من الصخور، بحيث تكون فلزات هذه الصخور تحمل إشارة الاستحالة الناتجة عن الصدم، حيث يتشكل نتيجة الصدم صخور الأمباكتيت.

ويتألف الأمباكتيت من حيث التركيب الكيميائي من الحديد والنيكل، وهو يطابق من حيث تركيبه للصخور الأم (الغنيس، الصخور الرملية)، وهو ناتج الاستحالة الأمباكتيتية الناتجة عن صدم النيازك الضخمة للطبقة السطحية من الأرض مشكلة بنية جيولوجية تسمى ستروكتورا، أو بنية الفوهة النيزكية (أوسترايليم). ويكون الأمباكتيت الناتج عن هذا الصدم يشبه الصخور البركانية والزجاجية خاصة من الخارج، غير أنه يحوي كمية كبيرة من الماء تصل إلى 25%، بالإضافة إلى احتوائه على H_2 , Co ، وإن الاستحالة الناتجة عن الصدم ترتبط بعمليات سريعة غير متوازنة، ومن ثم حسب شدة الصدم والوزن يتشكل لدينا فلزات ذات بنية متراصة متنوعة مثل الألماس، الكايسيت وستيشوفيت المتشكّلين على حساب الكوارتز، بالإضافة إلى عمليات تبخر وانصهار العناصر.

وهذا المجال الواسع من إعادة التشكل يمكن تفسيره بأنه أثناء الاستحالة الصدمية تقع العناصر المتواجدة على السطح تحت تأثير ضغط يصل إلى مليون أتموسفير (ضغط جوي)، وتصل الحرارة إلى آلاف الدرجات.

ومن ثم نتيجة الصدم تنتشر الأمواج الصدمية بشكل قطري وذلك بالمناطق القريبة من النيزك، وبعدها تخمد هذه الأمواج تدريجياً، لذلك نجد في المركز منطقة تبخر كامل للعناصر ثم نطاق انصهار، وفي النهاية نطاق تحطم وتهشيم، وهذا يترافق مع عملية تراص العناصر المركبة.

ومع ملاحظة أن الفلزات قد تحافظ على صفاتها وخواصها، ومن ثم عند رفع الضغط يعود الفلز لوضعه الطبيعي، ومثال ذلك فلز الكوارتز، فنجد أن هذا الفلز يحافظ على صفاته وخواصه عندما نطبق 7-8 كيلوبار، ومن ثم عند إزالة هذا الضغط يعود الفلز لوضعه الطبيعي ومع زيادة الضغط أكثر من 7-8 كيلوبار، ويتحول إلى كايسيت وستيشوفيت ذي النظام المكعبي، ومع ازدياد الضغط أكثر من السابق يختفي الكوارتز نهائياً.

ومن ثم فإن زيادة الضغط يؤدي إلى تصلب بعض الأجسام، وتبخر بعضها وانصهار بعضها الآخر، وكذلك في حال كانت الحرارة عالية في نطاق الاستحالة الصدمية يحصل تحطم وانصهار وتبخر الصخور التابعة للقشرة الأرضية والصخور النيزكية.

الفلونيدات في الأمباكتيت:

تختلف الفلونيدات في الأمباكتيت عنها في الصخور الاندفاعية، حيث تكون مؤلفة من 25% ماء ومن H_2 , Co , HCo وعدم وجود O_2 .

درجة حرارة انصهار الأمباكتيت:

لتحديد درجة انصهار الأمباكتيت يجب أن نعتد على درجة انصهار أحد الفلزات المشكلة له، مثل الروتيل والذي يعد دليل الحرارة المرتفعة جداً حيث تصل درجة حرارة انصهاره 1860 م°، وكذلك فساد الزركون وتحوله إلى لباديليت وكوارتز، أو تحول الكوارتز إلى البنية المكعبية التي تصل تحت درجة حرارة 1900 م°، وبالتالي من خلال المشاهدات السابقة نستطيع أن نقول بأن درجة حرارة انصهار الأمباكتيت قبل تبرده قد وصلت 2000-2500 م°، وهذا أعلى بكثير من المصهور البركاني. أما الضغط الذي تبلور فيه المصهور فهو قريب من الضغط الجوي، وذلك لأن المصهور تبرد تقريباً على السطح، وقد حدد ضغط الفلونيدات من خلال المحتسبات الموجودة في الأمباكتيت، والتي حددت بـ 10-40 كيلوبار.

7-4- التفاضل الاستحالي

Metamorphic differentiation

هو إعادة توزيع العناصر ضمن المجموعة الاستحالية ذات الحجم المحدود. غير أنه كما ورد سابقاً فهناك عمليات أخرى غير التفاضل الاستحالي تغير في تركيب الصخور الاستحالية، مثل الاستحالة الألكيميائية والميتاسوماتوز.

7-4-1- الانتثار (الديفوزيا):

وهو عملية تبادل العناصر بين صخرين مختلفي التركيب وفي حالة تماس، حيث تتحرك العناصر باتجاه الوسط ذي التركيز القليل، وذلك يتم تحت تأثير التيارات الحرارية، مما يؤدي إلى تساوي تركيز العناصر بين الصخرين المتلامسين، وإن عملية الانتثار تتم بسرعة ضمن الغازات، وفي السوائل تتم بسرعة أقل، أما في الأجسام الصلبة فتتم ببطء شديد. ويعود الفضل في انتشار الغاز ضمن الجسم الصلب والوسائل لعملية الانتثار نفسها، وسرعة الانتثار مرتبطة بمعامل الانتثار الذي يزيد مع ارتفاع درجة الحرارة وذلك عندما تصبح التيارات الحرارية أكثر سرعة.

إن تبادل العناصر في المناطق التماسية للصخور تحصل بأعلى درجاتها في ظروف الاستحالة الحرارية العالية (الاستحالة التماسية)، وعادة كلما كانت هذه الاستحالة الحرارية قوية، كلما كان لدينا تراكيب متباينة من الصخور الاستحالية، وبنتيجة العملية التفاضلية على طول التماس، يظهر لدينا صخور متوسطة التركيب، وسوف نورد أمثلة على ذلك:

المثال الأول عن الانتثار:

تتمو في منطقة تماس الصخور المرمرية الدولوميتية مع الكوارتز، أو الغنيس في المعقد الغرانوليتي الغنيسي، والمتكشف في مناطق الركيزة القديمة والكتل البلورية (مثالها الركيزة الالمانية) صخور ديوبسيدية وديوبسيدية بلا جيوكلازية.

المثال الثاني:

تماس الصخور الدولوميتية مع الكوارتز في منطقة الهالة التماسية الناتجة عن تأثير الماغما الغرانيتية، حيث يظهر لدينا في هذه الهالة التمنطق التالي:

صخور كوارتز ولستانيتية، يليها صخور ديوبسيدية، ثم صخور فوسفورستيرييتية وفي النهاية المرمر الدولوميتي، ويمكن غياب الصخور الفوسفورستيرييتية، وفي النهاية المرمر الدولوميتي.

إن بداية هذا التماس هو النطاق الديوبسيدي، ويتميز بارتفاع حديدية الديوبسيد، ونجد هنا أن الديوبسيد يحل محل الكوارتز، ويكون هذا الديوبسيد أكثر حديدية من الدولوميت، ومن ثم فإنه ينمو على حساب الكوارتزيت صخر ديوبسيدي أخضر، أما على حساب الصخور الكربوناتية فقد نما صخور ديوبسيدية أفتح من الصخور السابقة، وهي بلون أخضر رمادي.

هذا المثال يعكس عملية التفاضل المتعلق بحركة العناصر وذلك أثناء الاستحالة في منطقة تماس الكوارتز مع المرمر الدولوميتي، حيث يكون Ca أكثر حركية من Mg، ومن ثم يتحرك سابقاً المغنيزيوم، فتخرج من الدولوميت وتتدخل في الكوارتزيت، هذا يؤدي إلى تشكيل نطاق الولستانيت (CaSiO_3)، والتي تفصل الكوارتزيت عن الصخور الديوبسيدية ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$). أما في حال انتشار Mg و Ca في الكوارتز يعوض عن كمية الكوارتز المنتشرة بالاتجاه المعاكس والمنتجة باتجاه الدولوميت، ويؤدي ذلك إلى تشكيل نطاق ديوبسيدي، وأحياناً نطاق فورستيرييتي ضمن الدولوميت.

7-4-2- تشكل فلزات بواسطة جذب عناصر جديدة حول مركز جذب معين، والذي يعتبر بمثابة مجمع لهذا النوع أو ذاك:

هذه العملية تؤدي إلى عدم تجانس محلي في توزيع العناصر الكيميائية

حيث إنه يتشكل الفلز الذي سوف يتركز حوله العناصر الأخرى (مركز جذب)، ويجب أن يترافق مع انخفاض في تركيز هذا العنصر، ويترافق هذا الانخفاض في التركيز مع هجرة العنصر من الوسط المحيط لمكان تبلور الفلز المطلوب.

مثال تشكل فلز الغرينا:

إن نشوء فلز الغرينا في الصخور الاستحالية يؤدي إلى هجرة بلورات الحديد والمنغنيز من المحيط باتجاه مكان نمو الغرينا، وبهذه الحالة يحصل تحطم الفلزات الموجودة أصلاً في الصخر، وذلك فور ظهور حبة الغرينا الحديثة والتي تصبح مركز جذب لعناصر محددة، والتي يكون لها أخفض تركيز (أخفض كمون). وأثناء عملية التفاضل التبلوري الاستحالي هذا، تتشكل الغرينا، حيث يغلب جذب المنغنيز Mn، ومن ثم أثناء نمو حبة الغرينا بأكبر حد لها يبدأ بجذب بلورات الحديد Fe، وبالنهاية عند نمو هذه البلورات من الغرينا تصبح محاطة بوسط مفتقر للمنغنيز والحديد، وتصبح الغرينا مؤلفة من نطاقات متمركزة حول بعضها، بحيث تكون بالمركز مؤلفة من الغرينا المنغنيزية (سبيساريتين)، وأما المحيط فيكون مؤلفاً من الغرينا الحديدية (الماندين). إن هذا التتمطق يبين درجة ألفة العناصر للغرانات وذلك حسب السهم، حيث المنغنيز يعد أكثر ألفة للغرينا، أما أقلها ألفة فهو المغنيزيوم.
$$\xrightarrow{Mn-Fe-Mg} \text{تقل الألفة للغرينا باتجاه السهم.}$$
 والمتعلقة بالهجرة الانتشارية للعناصر باتجاه البلورة أثناء عملية إعادة تشكل الصخور الاستحالية.

ومثل هذا النوع من التمنطق لفلزات الغرينا يحصل بنتيجة عملية الاستحالة التقدمية، ولكن كما هو معروف فإن السبيساريتين هو غرينا تميز الصخور الاستحالية المنخفضة الحرارة ومن ثم بارتفاع الحرارة يحصل حلول الغرينا من نوع الألماندين وبيروب الماندين مكان السبيساريتين، ومن ثم بالاتجاه من المركز باتجاه الأطراف في فلز الغرينا، تقل نسبة المنغنيز في المحيط، والذي

يحل مكانه الحديد والمغنزيوم $(\text{Mg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{12})$.

7-4-3- التوزيع المشوه:

يُعد إعادة التوزيع المشوه للعناصر أثناء عملية الاستحالة هي عملية هامة ومرتبطة بالضغط الجانبي غير المنتظم وهذا الضغط مرتبط بالاستحالة الديناميكية.

وهذا النوع من الاستحالة يؤدي إلى كثير من أنواع التشوه، مثل تكسير الصخور وسحقها، وهاتان العمليتان تسميان بالكاتاكلاس.

ولقد أدخل اسم الاستحالة الديناميكية في الجيولوجيا العالم هاركر عام 1889، والذي بين بأن هذه الاستحالة تتم تحت تأثير درجات حرارة منخفضة وضغط كبير.

وقد سمي أيضاً هذا النوع من الاستحالة باستحالة الضغط والاستحالة الميكانيكية وهنا يجب التمييز بين الضغط الجانبي والضغط الليثوستاتيكي، حيث إن الضغط الليثوستاتيكي ناتج عن وزن الرسوبيات التي تعلو الصخور والتي يرتبط بها ارتباطاً وثيقاً الاستحالة العميقة، ومن ثم كلمة ضغط بشكل مجرد من أي صفة أخرى هو الذي يعد بالجيولوجيا الضغط الجانبي، أي الضغط الموجه باتجاه واحد، ومن ثم فإن كلمة ضغط متعلقة باتجاه الجهد التكوني، والذي يرتبط فيه إنشاء الطيات، الميلان للطبقات، الانزياح الجانبي، تورق، وكثير من حالات التشوه الاستحالية، وهذه التشوهات تميز الضغط الموجه عن الضغط الليثوستاتيكي. ولفهم الاختلاف بين هذين الضغطين نعود إلى عوامل الاستحالة المساعدة لإتمام التفاعلات الكيميائية بين الفلزات مع العلم بأن كل عامل من هذه العوامل له تأثير كيميائي فيزيائي محدد في هذه التفاعلات.

فمثلاً يؤثر في تغير الحجم ΔV الضغط الليثوستاتيكي، في حين أن الحرارة تؤثر في العامل الحراري ΔH ، وأما الصفات الكيميائية فيؤثر فيها

ΔnH_2O , ΔnO_2 , ΔnCo_2 وغيرها، (أي الكمون الكيميائي للعناصر كاملة الحركة، وتتم التفاعلات الاستحالية مع تغيير في حجم الصخر، ومن ثم العامل الرئيسي فيها هو P_s (الضغط الليثوستاتيكي) المحدد لعمق حدوث التفاعلات الاستحالية).

هذه التفاعلات كثيراً ما تحدث حتى في ظروف الضغط الجانبي، ولكن هذا الضغط لا يؤثر في التفاعل حيث لا يؤدي إلى انزياحه بأي اتجاه، أي لا يحصل ظهور أو غياب فلزات معينة، ذلك لأن هذا الضغط لا يترافق مع أي تأثير فيزيائي وكيميائي، ولذلك لا يعد الضغط الجانبي عنصراً من عناصر الاستحالة، وهذا ما توصل له العالم (د. س كورجنسكي عام 1940).

وحتى ظهور هذه النظرية كان يعتقد بأن الضغط الجانبي هو عامل من عوامل الاستحالة، الذي يؤدي إلى تشكل الفلزات الاستحالية (التي كانت تسمى بالفلزات الستريسية)، وتفكك وفساد الفلزات الأخرى، ولكن ما هو مرتبط بهذا الضغط هو تشوه الصخور.

5-7- التركيب العنصري للصخور الاستحالية

(التركيب الفلزي والتركيب الكيميائي)

يتضمن التركيب العنصري للصخور الاستحالية كلاً من التركيب الكيميائي والتركيب الفلزي، حيث يتعلق التركيب الكيميائي للصخور الاستحالية بالتركيب الكيميائي للصخور الأم الأصلية، التي تشكلت على حسابها الصخور الاستحالية ويمكن للصخور الأم أن تكون رسوبية (غضارية، رملية، كربوناتية، مارنية)، أو صخور ماغماتية ذات نسب مختلفة من السيليكا (SiO_2)، اعتباراً من الصخور فوق الأساسية وحتى الحامضية، أما التركيب الفلزي للصخور الاستحالية فيتعلق أيضاً بالتركيب الأصلي للصخور الأم وبالحرارة والضغط.

5-7-1- التركيب الكيميائي:

تحتوي الصخور الاستحالية على الأكاسيد نفسها التي تحويها الصخور المغماتية، ومن ثم فإن التركيب الوسطي للصخور الاستحالية هو التالي:

$\text{CaO} \sim 4\%$, $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \sim 6\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 15\%$, $\text{SiO}_2 \sim 60\%$
و $\text{TiO}_2 \sim 1\%$, $\text{K}_2\text{O} \sim 2\%$, $\text{Na}_2\text{O} \sim 3\%$, $\text{MgO} \sim 3\%$, $\text{H}_2\text{O} \sim 3\%$
 $\text{CO}_2 \sim 1\%$

أما العناصر الأخرى فتتواجد بنسب أقل من 1%.

وتختلف الصخور الاستحالية الناتجة عن الاستحالة الإقليمية والناشئة على حساب الصخور الأولية نفسها (الأم) عن بعضها بعضاً فقط بشدة العمليات الاستحالية المطبقة على الصخور الأم، والتي تتمثل باختلاف الفلزات الموجودة بالصخور الاستحالية، على الرغم من أن الصخور الأم الأولية التي تأثرت بالاستحالة هي واحدة، وأن التركيب الكيميائي لا يختلف كثيراً بين هذه الصخور الاستحالية، وينحصر هذا الاختلاف في احتواء هذه الصخور على H_2 , CO_2 , H_2O . وعند حصول الاستحالة الإقليمية للصخور الماغماتية والرسوبية تعطي صخوراً استحالية لا يمكن تمييزها عن بعضها لأن لها التركيب الكيميائي نفسه،

ولكن هناك بعض الاختلافات في كيميائية الصخور الأولية التي تؤدي إلى تشكل فلزات مختلفة بين صخر وآخر، مع العلم بأن أكبر نسبة من الصخور الرسوبية تكون حاوية على شوائب من الغضاريات، والتي تحتوي على كمية كبيرة من الألومينا (Al_2O_3)، الذي يؤدي لظهور فلزات، مثل الستوروليت، الكورديوريت، الغرينا، الكلوريتويدات، زيادة في نسبة الميكا، أندالوزيت، سيليمانيت، كيانيت (دستن).

وفي الصخور الاستحالية الناتجة على حساب هذه الصخور الرسوبية وبالتحديد الفلزات الثلاثة الأخيرة، أي أندالوزيت، سيليمانيت، كيانيت هي الدليل على أن الاستحالة أصابت صخوراً رسوبية وليس مغماتية المنشأ، لأن هذه الفلزات تتواجد بشكل نادر جداً في الصخور الأخيرة.

وأكثر الصخور الاستحالية انتشاراً تقسم إلى خمس مجموعات أساسية، وذلك بالاعتماد على الصخور الأولية التي نشأت على حسابها الصخور الاستحالية:

- 1- صخور تشكلت على حساب الصخور الرسوبية البيليتية (الصخور الغضارية، الغضار، الشيست الغضاري، أرجيليت).
- 2- صخور تشكلت من كواتز، فلدسباتويدات، صخور كوارتزية، صخور مغماتية حامضية، صخور رملية، صخور سيليسية.
- 3- صخور تشكلت على حساب التوضعات الكربوناتية (الصخور الكلسية والدولوميت)، وتكون حاوية وبشكل غير نادر على فلزات الكواتز، والفلزات الألومينية.
- 4- صخور تشكلت على حساب الصخور المغماتية الأساسية والمتوسطة التركيب ومتضمنة الطف، صخور رسوبية مارجيليتية متسخة حاوية على كمية من Al_2O_3 , CaO مغنيزيوم، حديد.

5- صخور مغنيزية متشكلة على حساب الصخور فوق الأساسية وغيرها من الصخور الغنية بالمغنيزيوم والحديد.

7-5-2- التركيب الفلزي:

إن اختلاف التركيب الكيميائي للصخور الأم التي تتشكل على حسابها الصخور الاستحالية واختلاف الظروف الفيزيائية التي تحصل فيها العمليات الاستحالية تؤدي إلى ظهور الفلزات المختلفة للصخور الاستحالية من ضمن الفلزات، وهناك فلزات موجودة كما في الصخور الاستحالية كذلك في الصخور المغماتية، وهي بلاجيوكلاز، أورثوكلاز، ميكروكلين، كوارتز، ميكا، هورنبلاند، وأكبر قسم من البيروكسينات، أوليفين، ولكن هناك فلزات مميزة للصخور الرسوبية مثل الكالسيت والدولوميت، وإن الفلزات التي تنمو كفلزات رئيسية في الصخور الاستحالية ذات درجة الاستحالة المنخفضة، مثل فلزات الكلوريت السرينتين، الاليدوت، سيرسيت، البيت، أمفيبول بأنواعه وتنمو في الصخور المغماتية كفلزات ثانوية في حين هناك فلزات مميزة للصخور الاستحالية فقط، والتي تتواجد فقط بالصخور الاستحالية، مثل: الكلوريتويدات، ستوروليت، أندالوزيت، سيليمانيت، كيانيت، كورديوريت، وبعض أنواع الغرينا، وولستانيت، غلوكونان وغيرها، وفي الوقت نفسه هناك فلزات تتواجد بالصخور المغماتية، ولا يمكن أن تتواجد بالصخور الاستحالية، مثل: النيفلين، لوسيت، هورنبلاند بازلي، بيروكسينات قلوية. ومن ثم هناك علاقة بين عوامل الاستحالة والتغير الفلزي، وهذا التغير يمكن أن يكون في بنية الفلزات وفي الصفات الكيميائية.

وعليه تقسم الصخور الاستحالية كما في الصخور المغماتية حسب نسب الفلزات الداخلة في التركيب، ومن ثم هناك فلزات رئيسية والتي تكون نسبتها أعلى من 5%، وفلزات الدرجة الثانية أقل من 5%.

وسوف نقوم الآن بدراسة بعض الفلزات المميزة للصخور الاستحالية فقط،

وهذه الفلزات لها التركيب الكيميائي نفسه، ولكن تختلف عن بعضها بالنظام البلوري والصفات الفيزيائية مع العلم أن لهذه الفلزات الصيغة نفسها Al_2SiO_5 ، وهذه الفلزات هي أندالوزيت، سيليمانيت، كيانيت.

1- الأندالوزيت:

ويتبلور في النظام المعيني المستقيم، وتظهر بلوراته بشكل موشوري وأحياناً يعطي شكلاً حبيبياً، لونه رمادي أصفر، زهري، أحمر، بني، بريقه زجاجي، قساوته 7، سطوح الانقسام تامة مع زاوية بين سطوح الانقسام (89°) ، ويفسد معطياً الميكا. ويتشكل هذا الفلز في ظروف الضغط المنخفض والحرارة المنخفضة والضغط والحرارات المتوسطة، ويحوي غالباً محتبسات من الفحم ترسم صليبياً في المقاطع الموازية للقاعدة، عندها يدعى الأندالوزيت بالكياستوليت. يميز الأندالوزيت الصخور الاستحالية الميتابيليتية القرنية والشيبست.

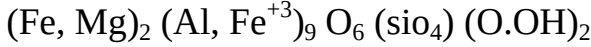
2- السيليمانيت Sillimanite:

ويتبلور أيضاً في النظام المعيني بشكل مواشير متطاولة أو بلورات إبرية، أو باقة من الألياف أو الشعيرات، لونه أبيض بني فاتح، أخضر رمادي، أحياناً بلا لون، بريقه زجاجي، سطوح الانقسام تامة، قساوته 6.5-7.5، ويتشكل في ظروف حرارة أعلى من الأندالوزيت، ويتواجد في صخور الميتابيليت القرنية، والصخور البلورية والغنيس، وهو دليل استحالة من الدرجة العليا.

3- الكيانيت Kyanite:

ويتبلور في النظام ثلاثي الميل، ويظهر بشكل بلورات موشورية مفلطحة متطاولة مقطعة بشكل مستطيلات، لونه أزرق سماوي، أزرق نيلي، أخضر، أصفر، بريقه زجاجي، سطوح انقسام تامة، قساوته 5.5-6.5، ويتشكل هذا الفلز أثناء الاستحالة للصخور الغنية بالألومينا، ويميز ارتفاع الضغط، وهو ذو بنية متماسكة جداً

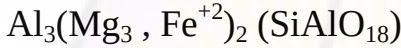
4-الستوروليت Storolite:



ويتبلور في النظام المعيني المستقيم، بشكل بلورات قصيرة موشورية، لونه بني محمر حتى البني المسود كثيراً، وتلتصق بلوراته بشكل صليب أو إشارة ضرب.

سطوح انفصامه غير تامة، يفسد إلى كلوريت، قساوته 7.5، وهو محدد الحرارة والضغط، ويتواجد دائماً مع البيوتيت، والموسكوفيت الأندالوزيت، والكيانيت، وهو يميز الشيبست الميتابللتي، وهو درجة متوسطة من الاستحالة.

5-كورديوريت Cordiorite:

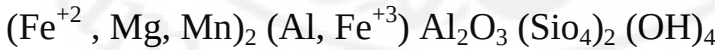


ويتبلور في نظام معيني مستقيم، لونه بنفسجي، أصفر، أو بلا لون، أو له ظلال نيلية، بريقه زجاجي، يظهر بشكل حبات لها توأمية معقدة، كما هو الحال في البلاجيوكلاز.

ويحوي الكورديوريت فلزات حاوية على مواد مشعة وتكون هذه الفلزات محاطة بهالة تماوجية.

ويظهر الكورديوريت في حالة استحالة الصخور الغضارية، الغضارية الرملية، ويعد هذا الفلز قليل التراص، ويتواجد في الصخور القرنية مع الأندالوزيت، والبيوتيت، أما في الغنيس فيتواجد مع السيليمانيت والغرانات.

6-الكلوريتويدات Cloritoids:



ويتبلور في النظام الأحادي أو ثلاثي الميل، ويكون بشكل وريقي أو حبيبي، لونه أخضر قاتم، وهو ذو سطوح انفصام كاملة، قساوته 6.5، ويمثل هذا الفلز الحرارة المنخفضة للاستحالة الإقليمية التي تصيب صخوراً رسوبية غضارية حديدية.

7-الغرينا Garnet:

هو فلز منتشر جداً في الصخور الاستحالية، حتى إنه يمكن أن يتواجد في الصخور الاندفاعية تحت شروط محددة، وهو يمثل محلولاً صلباً يعطي أنواعاً متسلسلة كما هو الحال في البلاجيوكلاز:

أ-السبيسارتين $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$ ، وهو ذو لون أسود، أحمر، برتقالي.

ب-الماندين $Fe_3Al_2Si_3O_{12}$ ، وهو زهري، أحمر، بني إلى أسود.

ج-بيروب $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$ ، وهو ليلكي، أسود، أحمر

د-غراسوليار $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$ ، وهواما عديم اللون أو أخضر مصفر يميز الصخور الكلسية الميتاسوماتوزية، لونه أسود، أحمر، بني، أصفر.

ذ-أندرايت $Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$

وقساوة جميع أنواع الغرينا تتراوح بين 6.5-7.5، وتنبلور جميعها في النظام المكعبي ذي أوجه واضحة ومحددة.

تتواجد الغرينا في الفيليت، والشيست والغنيس، حيث يكون في الصخرين الأخيرين من صف الماندين - سبيسارتين، وكذلك يتواجد في الميتابازيت، (أي الصخور الاستحالية الأساسية التي تشكلت على حساب الغابرو وغيرها من الصخور الأساسية)، ولكن يظهر في هذه الصخور في حالة الضغط الليثوستاتيكي العالي في ظروف السحنة الغرانوليتية والإيكولوجيتية، ويكون في هذه الظروف الغرينا من نوع الماندين - بيروب. ومع ارتفاع الحرارة في الاستحالة الإقليمية تصبح الغرينا من النوع الغني بالمغنسيوم.

وتتشكل الفلزات في الصخور الاستحالية في وسط قاسٍ غير ملائم للتبلور الحر، حيث يكون هناك توازن تفاعلي بين الفلزات الموجودة في الصخور الاستحالية والتي لها منشأ مرتبط ببعضه بعضاً، وإن العامل الأساسي في عملية التوازن الكيميائي في الاستحالة هو الحرارة، فنجد أنه مع حصول الاستحالة

يحصل اختلاف في الظروف الترموديناميكية للتبلور، وهذا التغير يؤدي إلى تشكل فلزات جديدة على حساب الفلزات القديمة التي كانت موجودة أصلاً، ومن ثم فإن فلزات الصخور الاستحالية تقسم لثلاث مجموعات:

1- فلزات متبقية، وهي الفلزات التي سلمت من العملية الاستحالية، والتي تعود

للصخور الأم، من بين هذه الفلزات (أباتيت، زركون، سفين).

2- الفلزات التوازنية، وهي الفلزات التي تشكلت حديثاً، والتي توافق ظروفًا

محددة استحالية، وهي الظروف التي تشكل فيها الصخر المدروس.

3- الفلزات التي تنمو على حساب الفلزات التوازنية، وذلك خلال الاستحالة

التقدمية. مثالها تشكل الكلوريت على حساب البيوتيت، ونمو مجموعة

الأبيدوت والسيريسيت على حساب البلاجيوكلاز.

تحصل عملية تغيير في تركيب فلزات الصخور الاستحالية (مثال حديدية

الفلزات)، وذلك تحت تأثير الضغط والحرارة، كعملية توزيع كل من الحديد

والمغنيزيوم بين الغرينا والكورديوريت، وإن بنية الغرينا متماسكة جداً لذلك من

الصعب تخريبها بسهولة إلا تحت شروط ضغط وحرارة عاليين، في حين أن

الكورديوريت يملك حجماً جزيئياً كبيراً، ومع ازدياد الضغط فإن الكورديوريت

الحديدي (والذي يتواجد بشكل قليل جداً في الطبيعة، في حين أن النوع المغنيزي

هو المنتشر بشكل رئيسي)، يصبح غير ثابت مما يؤدي إلى تشكيل فلزات جديدة،

مثل الغرينا والسيليماتيت وفق المعادلة

+ سيليماتيت أكثر ثباتاً مع الضغط + كوارتز → كورديوريت حديدي

(Fe₃Al₂Si₃O₁₂) غرينا حديدية

وبهذه الطريقة تحل الغرينا المغنيزية مكان الكورديوريت الحديدي، أما

الكورديوريت المغنيزي فهو ثابت حتى ضغوط عالية أعلى من (1000 كيلوبار)،

وبالاقتراب من هذا الضغط تحصل عملية تحول هذا الكورديوريت إلى إنستاتيت،

وسيليماتيت (كيانيت)

أما الغرينا المغنيزية فهي ثابتة تحت ضغوط عالية جداً، وكلما زادت حديدية الغرينا كلما أصبحنا نميل إلى انخفاض الضغط، وتصبح هذه الغرينا هي الثابتة ضمن هذه الظروف الجديدة.

وفي الصخور الاستحالية الحاوية على غرانات وكوردبيريت نجد أن حديدية الفلزات تنخفض مع ازدياد الضغط وذلك يمكن للحديدية أن تشكل مؤشر العمق والحرارة لتشكل مثل هذه الصخور الاستحالية.

مثال ثاني:

الصخور الاستحالية الإكلوجيتية مؤلفة من البيروكسين والگرانات اللذين بالاعتماد عليهما نستطيع أن نحدد درجة حرارة تشكل الصخر، حيث مع انخفاض الحرارة تصبح الغرانات بالمقارنة مع البيروكسين أكثر حديدية، في حين أن البيروكسين مقارنة مع الغرانات يصبح أكثر مغنيزية، وبارتفاع الحرارة نجد الغرينا تصبح مغنيزية إذاً بارتفاع T و P تصبح الغرانات أكثر مغنيزية.

ومع ارتفاع الحرارة والضغط نجد أن البيروكسين والغرينا يغيران تركيبهما الداخلي، ليس من حيث الحديد والمغنيزيوم فقط، وإنما من ناحية العناصر الأخرى، كما تلاحظ العلاقة المتبادلة بين الحديد والمغنيزيوم في مجموعات فلزية أخرى، مثل بيروكسين - بيوتيت، أمفيبول - بيوتيت، (أمفيبول - غارنت) وطالما هذه الفلزات متغيرة التركيب، لذلك تتواجد بشكل واسع بالصخور الاستحالية، فمثلاً الأمفيبولات التي تتشكل في ظروف الحرارة المنخفضة (سحنة الشيست الخضراء) تبقى متواجدة ومنتشرة حتى حرارات مرتفعة (السحنة الأمفيبوليتية والگرانوليتية)، ففي ظروف سحنة الشيست الخضراء يكون الأمفيبول من نوع الأكتينوليت، وهو كلسي، ومع ارتفاع الحرارة يدخل نوع جديد هو الهورنبلاد الأخضر الحاوي على الكلس والصوديوم والألمنيوم، وبهذه الحالة نكون قد أصبحنا في السحنة الأمفيبوليتية، وأما

في السحنة الغرانوليتية فيصبح الأمفيبول (هورنبلاند) بنياً حاوياً على كالسيوم، صوديوم، ألومنيوم وكمية كبيرة من المغنيزيوم والتيتانيوم، ويدخل في حالة توازن مع الأمفيبول فلز البلاجيوكلاز، والذي يكون من نوع الألبيت في الحرارة المنخفضة ومن ثم يظهر الأوليغوكلاز بدرجة أعلى قليلاً، وأخيراً بالوصول إلى الحرارة المرتفعة ندخل في البلاجيوكلاز الكلسية مثل الأنديزين - اللابرادور.

7-6- السحانات التيروغرافية الاستحالية

Metamorphic phase

تعريف السحنة الاستحالية:

تُعرف السحنة الاستحالية حسب العالم إيسكولا بطريقتين:

- 7-6-1- تعريف السحنة الاستحالية: هي الصخور ذات المجموعات الفلزية المتوازنة، وذلك ضمن مجال محدد من الحرارة والضغط، حيث تسمى السحانات بالفلزات المميزة، أو الصخور الأكثر حساسية لتغيرات درجة الحرارة.
- 2- السحنة الاستحالية هي الظروف الفيزيائية من ضغط وحرارة للاستحالة، والتي لا تتعلق بالتركيب.

وقسم العالم إيسكولا السحانات بالاعتماد على ظهور فلز أو غيابه أو عدد من الفلزات المحددة والثابتة تحت ظروف (P , T) محددين، والتي تميز سحنة محددة، وكل سحنة تسمى بتوازن فلزي مميز (أو مجموعة الفلزات المميزة)، أو الصخور الأكثر حساسية لتغيرات الحرارة والضغط، والتي تظهر ضمن سحنة محددة. وبالاعتماد على ما سبق قسمت السحانات إلى تسع سحانات، وذلك ابتداءً من السحانات ذات الحرارة المنخفضة، وانتهاءً بالسحانات ذات الحرارة العالية.

7-6-2- أنواع السحانات الاستحالية:

- 1- السحنة الزيوليتية (سحنة ضغط منخفض وحرارة 200-300 م°): تتميز بظهور فلز الزيوليت.
- 2- السحنة الساندينية (سحنة ضغط منخفض وحرارة مرتفعة 900 م°): وتتميز بظهور الساندين كفلز مميز، سيليماتيت، موليت، تريديميت، كريستوباليت، كوردييريت، سينيل، كورندوم.
- 3- السحنة الشيستية الخضراء (سحنة ضغط معتدل وحرارة منخفضة 200-500 م°):

تتضمن هذه السحنة مجموعة صخور استحالية تشكلت على حساب الصخور

المغماتية الأساسية، وهي:

أ- شيست البيتي إيبيدوتي كلوريتي اكتينوليتي.

ب- شيست البيتي إيبيدوتي كلوريتي كالسيتي.

والصخور السطحية الحامضية وذلك تحت نفس ظروف الضغط والحرارة

الاستحالية:

سحنة شيست كلوريتي سيريسيتي البيتي كوارتزي.

4- السحنة الأمفيبوليتية الإيبيدوتية (سحنة متوسطة وحرارة 450-500 م°):

وتتميز بظهور:

أ- غلوكوفان + كلوريت.

ب- أكتينوليت + إيبيدوت + الماندين + كربونات.

5- + 6- السحنة الأمفيبوليتية البيروكسينية الهورنبلندية (سحنة ضغط متوسط

وحرارة 500-800 م°). وتتميز بالتوازن التالي:

غرانات + ديوبسيد + هبرستين + هورنبلاند + بلاجيوكلاز + ماغنيتيت + كوارتز.

7- السحنة الشيستية الغلوكوفانية (سحنة ضغط عالي وضغط ماء أقل من

الضغط الليثوستاتيكي، ولكنه بالوقت نفسه مرتفع جداً، حرارة 300-400 م°).

ويميز هذه السحنة الفلزات التالية:

أ- غلوكوفان + كلوريت.

ب- أكتينوليت + بومبليت + الماندين + كربونات، وأحياناً كوارتز

وموسكوفيت، وفي بعض الأنواع يتواجد أمفيبول قلوي أو بيروكسين.

8- السحنة الايكولوجيتية (ضغط عالٍ، وهي تتشكل ضمن مجال واسع من الحرارة

ابتداءً من 500-1000 م°:

ما يميز هذه السحنة هو التوازن التالي:

امفاسيت (C.PX) + غارنت من صف الماندين - بيروب (Gr) + روتيل متواجد

دائماً في هذه السحنة.

9-السحنة الغرانوليتية (سحنة ضغط مرتفع وحرارة أعلى من 750-800 م): تتميز بوجود شرائط من الكوارتز يتوضع بينها فلزات متنوعة من الصفاح والكوارتز وفلزات متنوعة أخرى.



7-7- درجة الاستحالة

Metamorphic Grade

نجد أن كل درجة استحالة تطابق توازناً فلزياً معيناً، ومن ثم فالصخور الاستحالية كثيراً ما تحوي على فلزات غير ثابتة، وهي الفلزات المتبقية من فلزات الصخر الأم، ونتاجة عن استحالة سابقة، ومنه نجد أن ظاهرة عدم الثبات تظهر بشكل أوسع في درجة الاستحالة المنخفضة أكثر من درجات الاستحالة المرتفعة.

ومن ثم الصخور الاستحالية التي تشكلت على حساب صخور أم محددة تأثرت بعمليات استحالية إقليمية مختلفة الشدة تتحد تحت صف إيزوكيميائي واحد. فالتى تشكلت منها على حساب الصخور الرسوبية تسمى ميتابيليتية، أما التى تشكلت على حساب الصخور المغماتية فتسمى الميتابازيتية.

ولقد بين العالم (أ. أ. ماراكوشيف) تأثير الضغط والحرارة على السحنة الفلزية حيث قام بوضع مخطط (الضغط والحرارة) شكل (34) يبين فيه السحنة الاستحالية لأكثر الصخور الاستحالية الميتابازيتية والميتابيليتية. وقد قسم بالاعتماد على الضغط السحنات إلى تحت سحنات، فمثلاً الشيست الميكايوي تقسم إلى تحت سحنة، وهي تحت السحنة الشيستية الأندالوزيتية والشيستية والكيانيتية، حسب رأي العالم ماراكوشيف، وحتى يتشكل لدينا هذه السحنة أو تلك هذا يعتمد على:

- 1- التركيب الكيميائي للصخور الأم (خاصة الصخور الغضارية).
- 2- نوعية النظام الفلويدي (فمثلاً تحت P_{CO_2} منخفض يتشكل لدينا في الصخور الاستحالية سيليكات غنية بالكالسيوم، مثل بومبليت، لافسانيت، زيوليت).
- 3- تركيب المصاهير في حالة الاستحالة الألاكيمايائية، (إذا كان المحلول قلوياً صودياً يؤدي ذلك إلى تشكيل غلوكون، البيت، إيجيرين).

إن كثيراً من التوازنات الفلزية تكون ثابتة ضمن مجال ضغط وحرارة واسعين جداً، مثال ذلك البيوتيت، الأمفيبول، الغارنت، البلاجيوكلاز، الكورديوريت. ومنه نستطيع أن نعرف درجة الاستحالة بالشكل التالي:

إن جميع الصخور التي أصابتها إعادة تبلور بالحرارة والضغط نفسيهما والتي خضعت لنفس التشويه الميكانيكي، بوجود المعادن وكميات المياه نفسها قد أصابها بالتعريف استحالة بالدرجة نفسها، ونقول عنها أيضاً إن لها السحنة الاستحالية نفسها.

7-8- الصخور الميتابيليتية الناشئة على حساب الصخور الغضارية

Metapilitic rocks

وتتألف من الفلزات الغضارية الرئيسية التالية: كاولينيت، مونتيموريللونيت، ابلليت، وغيرها من الفلزات الغضارية، وإن ما يميز الصخور البيليتية غناها بالألومينا (Al_2O_3)، وأكسيد البوتاسيوم (K_2O) أكثر من أكسيد الصوديوم (Na_2O)، وفقرها بأوكسيد الكالسيوم (CaO).

وتتشكل جميع فلزات هذه المجموعة في ظروف الحرارة المنخفضة، وتتأثر بسرعة ارتفاع الحرارة والعوامل الاستحالية الأخرى.

مع العلم أن الفلزات الغضارية + الكوارتز تكون ثابتة لهذه المجموعة حتى درجة حرارة 300 م°، ومع ارتفاع الحرارة أكثر يظهر فلز البيروفيليت، وهو سيليكات الومينية مائية كلسية صودية بوتاسية، (له شكل أبري، قساوة 1-2، ملمس دهني)، وغيرها من فلزات الاستحالة المنخفضة الحرارة، ومن ثم بارتفاع الحرارة تظهر فلزات الكلوريت. البيروفيليت، الروتيل، وتحول العناصر العضوية إلى فحم.

7-8-1- الاستحالة الإقليمية للصخور الغضارية

حيث يتشكل في حالة الاستحالة الإقليمية ذات درجة الاستحالة المنخفضة النطاقات التالية:

7-8-1-1- نطاق الشيبست الغضاري:

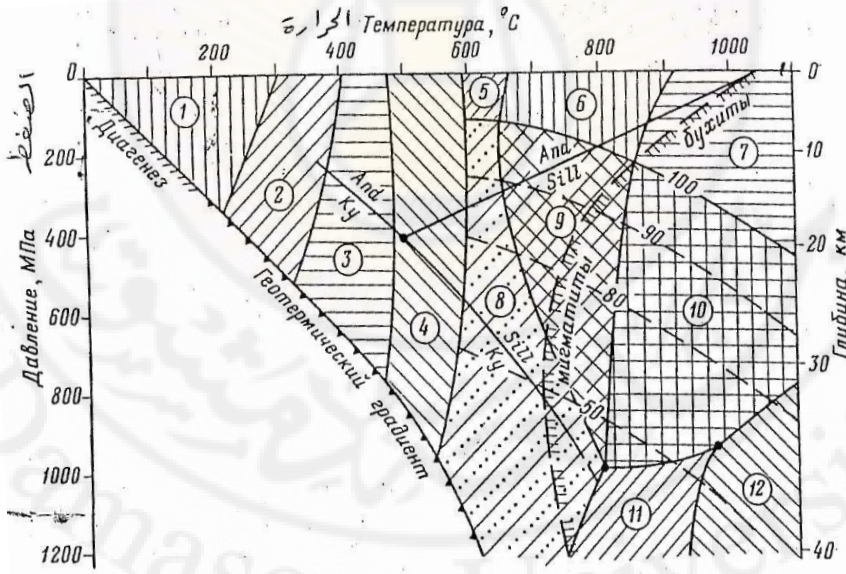
وهو عبارة عن صخر قاتم ذي استحالة منخفضة، ويتكون بشكل رئيسي من الفلزات الغضارية مع الحفاظ على البنية التطبيقية الرسوبية.

7-8-1-2- نطاق السيليت (الاردواز) Slate:

وهو نطاق يتألف من صخر ناعم لا تُرى فلزاته إلا بصعوبة جداً، ويتكون من فلزات غضارية، سيرسيت كوارتز، البيت وغيرها من الفلزات، ويتقطع سطحه بواسطة خطوط إردوازية إلى ألواح إردوازية، ولا يظهر فيه التورق بسبب شدة الاستحالة المنخفضة.

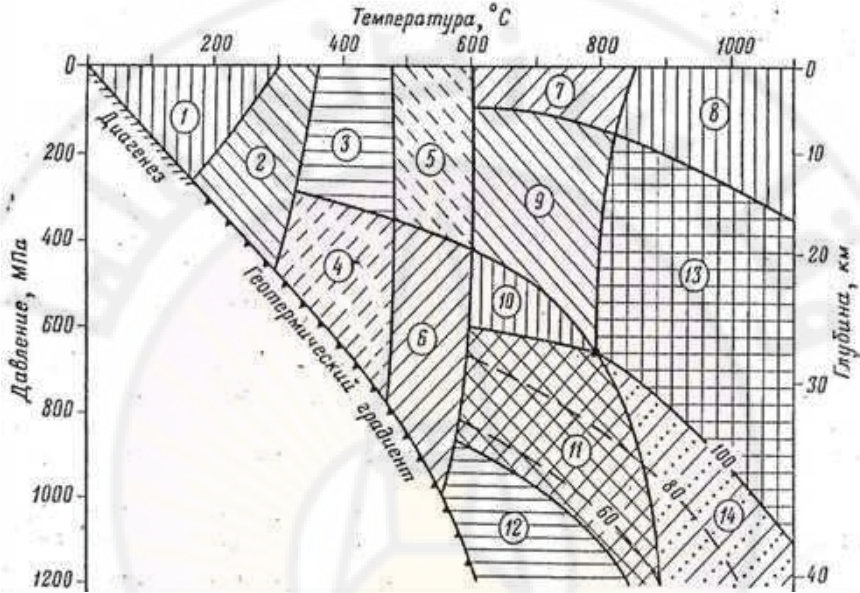
7-8-1-3- نطاق الفيلليت Phyllite:

وهو صخر ناعم، أسود أو أبيض اللون، ذو تورق ضعيف، يتشكل بازدياد درجة الاستحالة. ويتألف هذا الصخر بشكل رئيسي من سيريسيت، كلوريت، كوارتز، البيت، أحياناً غرافيت، تورمالين، حيث يكون تركيب السيلليت نفسه، وعند الوصول إلى درجة الحرارة 400 م يبدأ ظهور فلز الأندالوزيت وبارتفاع الضغط يظهر فلز الكيانيت، وبسبب ازدياد درجة الاستحالة تكبر الفلزات المشكلة لهذا الصخر، وتصبح الفلزات المشكلة له أكثر وضوحاً من الصخور ذات درجة الاستحالة الأقل، حيث نبدأ بملاحظة فلزات الكوارتز، السيريسيت والكلوريت. ومع ارتفاع الحرارة تصبح الفلزات المشكلة للفيلليت غير ثابتة، ويظهر مكانها توازن فلزي جديد: بيوتيت، موسكوفيت، البيت، أوليغوكلاز، ستوروليت.



شكل (34-أ) - السحنة الفلزية للصخور الميتابليتية: 1- غضار متورق، فيليت، 3- صخور متورقة كلوريتية ميكافية، 4- صخور متورقة بيوتيتية موسكوفيتية وغنيس، 5-6-7- صخور قرنية، 8- غنيس سيلمانيتي اندالوزيتي بيوتيتي كيانيتي، 9- غنيس أندالوزيتي غراناتي، 10- غنيس غراناتي كوردويريتي هيرستيني، 11- غنيس سيليمانيتي هيرستيني، 12- غنيس كوارتزي - ياقوتي.

وبالمزور إلى درجة استحالة متوسطة نذل في نطاق الشيست بنوعي الميكا ذي التركيب الفلزي المتنوع.



شكل (34ب)- السحنة الفلزية للـصخور الميتابليتية:

1-بورفيريت وصخور حاوية زيوليت، 2-صخور متورقة كلسية كلوريتية بيريتية بومبليتية، 3-صخور متورقة خضراء كلوريتية إبيدوتية أكتينوليتية، 4-صخور متورقة خضراء وزرقاء الماندينية سيسارتية، 5-أمفيبوليت إبيدوتي 6-أمفيبوليت إبيدوتي غراناتي، 7-8-صخور قرنية، 9-أمفيبوليت، 10-أمفيبوليتي غراناتي، 11-أمفيبوليت غراناتي كلينوبيروكسيني، 12-إكلوجيت، 13-صخور متورقة ثنائية البيروكسين بلاجيوكلازي، 14-صخور متورقة غراناتية ثنائية البيروكسين بلاجيوكلازي.

7-8-4-نطاق الشيست بنوعي الميكا Mica schist:

صخر واضح التبلور، واضح التورق، بلوراته متوسطة إلى كبيرة الحجم تُرى بشكل واضح بالعين المجردة، لونه أبيض، أسود، رمادي مخضر إلى أخضر قاتم، بريق ذهبي.

الفلزات المشكلة كوارتز، موسكوفيت، بيوتيت، بلاجيوكلاز، أندالوزيت أوكيانيت، (وذلك مرتبط بارتفاع أو انخفاض الضغط) غرانات (الماندين)،

ستوروليت، وأحياناً إيبودت.

يشكل توازن موسكوفيت + كوارتز توازناً هاماً لسحنة الشيست بنوعي الميكا، ويكون هذا التوازن ثابتاً حتى درجة حرارة 600 م°، بعدها يتحول هذا التوازن إلى توازن جديد: موسكوفيت + كوارتز $\xleftarrow{T \text{ أعلى من } 600 \text{ م}^\circ}$ أرثوكلاز + سيليمانيت + ماء.

أما في حالة أصبح الضغط عالياً فإن التفاعل السابق يصبح:

موسكوفيت + كوارتز $\xleftarrow{P_s \text{ عالي}}$ أرثوكلاز + كيانيت + ماء
وفي حال الضغط المنخفض فيكون التوازن:

موسكوفيت + كوارتز $\xleftarrow{P_s \text{ منخفض}}$ أرثوكلاز + اندالوزيت + ماء

أما إذا كان الميتابليت بلاكوارتز وغنياً بالألومينا Al_2O_3 ، فإن الموسكوفيت يتحول تحت درجة حرارة (700 م°) وفق المعادلة
موسكوفيت = أورثوكلاز + كوروندوم + ماء

أما بالنسبة لفلز البيوتيت فيظهر تحت درجة حرارة 350 م°، ولا يتحول على حساب الكلوريت والسيرسيت فحسب، وإنما على حساب الكوارتز، الماغنتيت، والروتيل، حسب رأي العالم فينكلر.

وتتنتمي إلى مجموعة الشيست مجموعتان تتشكلان حسب الضغط P_s ،

وهي عبارة عن تحت سحنات:

أ- تحت سحنة الشيست الأندالوزيتي (P_s منخفض)

ب- تحت سحنة الشيست بنوعي الميكا الكيانيتي (P_s عالي)

7-8-1-5- نطاق الغنيس Gneiss:

متوسط إلى كبير الحبيبية، يتميز بالصفوفية المنقطعة، أما الفلزات المشكلة

لهذا النطاق:

بلاجيوكلاز، أورثوكلاز، ميكروكلين، كوارتز، بيوتيت، موسكوفيت،

غرانات، (ستوروليت كيانيت، سيلليمانيت، أندالوزيت)، وهذا يتبع عمق الاستحالة. ويكون الغنيس الميتابيليتي غنياً بالألومينا (Al_2O_3)، مما يؤدي إلى احتوائه بشكل دائم على سيلليمانيت، كيانيت مع ارتفاع نسبة الميكا. ومع ازدياد أوكسيد الكالسيوم والمغنزيوم والحديد يؤدي ذلك إلى تشكيل فلزات نطاق الغنيس البيوتيبي السيلليمانيتي.

7-8-1-6- نطاق غنيس بيوتيبي سيلليمانيتي Biotit syllimanite Grneiss:

حيث تتشكل فلزات غراسوليار، كالسيت، ديوبسيد، أكتينوليت، بيوتيت، الماندين، هورنبلاند، أنورتيت، إبيدوت، سيلليمانيت. وبارتفاع الحرارة ندخل في نطاق الغنيس الأورثوكلازي الكورديوريتي الغراناتي الهبرستيني، ثم ندخل في نطاق الغرانوليت.

7-8-1-7- نطاق الغرانوليت Granolite:

حيث يتواجد الهبرستين والكورديوريت الهبرستيني، وهنا ندخل في مجال الصخور العميقة، ويثبت فيها التوازنات التالية:
أ- غرانات + كورديوريت + هبرستين + كوارتز.
ب- غرانات + كورديوريت + سيلليمانيت + كوارتز.
إن ظهور فلز الأورثوبيروكسين حسب العالم فينكلر هو دليل حرارة تقابل 700-750 م°، وضغط ماء أقل من الضغط الليثوستاتيكي، وهذا حسب إيسكولا يقابل السحنة الغرانوليتية.

كل ما ورد سابقاً هو ناتج الاستحالة الإقليمية.

7-8-2- الاستحالة التماسية للصخور الميتابيليتية (ظروف الضغط المنخفض للصخور البيليتية):

هي ظروف ضغط منخفض وحرارة مرتفعة، تنتج عن تأثير الماغما على الصخور البيليتية حيث يتشكل بنتيجتها الصخور القرنية، وحيث يخسر قابلية

التورق بسرعة ويصبح قاسياً وهو يتألف بشكل رئيسي من الفلزات التالية:
كوارتز، بلاجيوكلاز، أورثوكلاز، وأحياناً عناصر فحمية، تورمالين، أباتيت
وأحياناً بيوتيت، أندالوزيت وبترافق معه غالباً سيليمانيت.
من الصخور القلبية ما يتشكل في ظروف درجات عالية، وتكون عندها
كوردبوتيتية أندالوزيتية هيرستينية غراناتية.
ومنها ما يتشكل في ظروف درجات حرارة أخفض، حيث تكون عندها
بيوتيتية أندالوزيتية، كوردبوتيتية موسكوفيتية أندالوزيتية.

7-9- Metabazitic rocks الصخور الميتابازيتية

الصخور الاستحالية المتشكلة على حساب الصخور الأساسية والمتوسطة التركيب (الميتابازيتية)، وكذلك الصخور المتشكلة على حساب الصخور الرسوبية ذات التركيب الكيميائي القريب من الصخور السابقة.

وهي تضم الصخور الاستحالية المتشكلة على حساب الصخور المغماتية والرسوبية، والصخور الميتابازيتية تتشكل على حساب الصخور البركانية البازلتية، والبازلتية الأنديزيتية، الغابروئيدات، الديوريت، الطف، الطف الرملي، وعلى حساب الصخور الرسوبية، وهي تتميز بظهور بعض العناصر (Cu , V, T, co, Ni) والتي تتواجد بنسب قليلة، أو لا تتواجد نهائياً في الصخور الرسوبية.

ولقد قام العالم إيسكولا بإحداث جزء خاص بالسحنة الاستحالية الميتابازيتية وذلك بسبب التركيب الحساس جداً للتغيرات التي تطرأ على الاستحالة في تركيب الصخور، وهناك فلزات لها تراكيب غير ثابتة، والذي يجعل مجال تقسيم هذه الصخور واسعاً جداً ومتعلقاً بسلسلة عوامل.

وتبين من خلال الدراسات بأن بين السحن حدود حرارية تدل على توازنات فلزية محدودة، وهذه التوازنات تتأثر ليس فقط بالحدود الحرارية، وإنما في الضغوط أيضاً:

1- هناك صخور استحالية ناتجة عن استحالة إقليمية ذات ضغوط متوسطة.

2- صخور تشكلت تحت ضغوط منخفضة.

3- صخور تحت ضغوط عالية.

7-9-1- الاستحالة الإقليمية regenol metamorphism:

7-9-1-أ- صخور استحالية ناتجة عن استحالة إقليمية بضغوط متوسطة:

منها الصخور البركانية التي تتشكل على حسابها الصخور الاستحالية، وتتميز بأنها تحتوي على نسبة قليلة من الماء 0.3-0.5%، حيث يتخلص

الصخر من هذه النسبة من الماء تحت درجات استحالة منخفضة، ومن هذه الصخور:

7-9-1-أ-1-البورفيريتويدات Porphyrotoid:

وهي صخور مثل الصخور البورفيرية، حيث يطلق هذا الاسم على كل الصخور الاندفاعية ذات البنية البورفيرية، وتكون فيها الفلزات الكبيرة من البلاجيوكلاز، بيروكسين (أوجيت) هورنبلاند.

أما تركيب هذا الصخر فهو، البيت، كلوريت، كربونات، كوارتز، وكمية من السيريسيت، وأحياناً إبيدوت (كمية قليلة).

7-9-1-أ-2-الصخور الشيسية الخضراء Green schist:

تظهر مع ارتفاع الحرارة أكثر من 300 م°، وتكون في التوازن الفلزي التالي: البيت، كالسيت، كلوريت، كوارتز، أكتينوليت، إبيدوت، وكمية قليلة من سيريسيت، وأحياناً تالك.

7-9-1-أ-3-الأمفيبوليت الإبيدوتي Epidote amphibolite:

يدخل ضمن هذا النطاق بارتفاع الحرارة 450-500 م°، وتنتقل من صخور الشيسيت الخضراء إلى الأمفيبوليت الإبيدوتي.

تعود اللامفيبوليت الصخور المؤلفة من بلاجيوكلاز وأمفيبول، ويتغير تركيب هذين الفلزين مع ازدياد شدة الاستحالة، ومن ثم يمكن من خلال معرفة تركيب البلاجيوكلاز والأمفيبول أن نحكم على درجة الاستحالة لهذا النوع من الصخور أو ذاك، والتوازن الفلزي المميز لهذه الصخور، هو:

إبيدوت + بلاجيوكلاز (رقم 10-20) + كوارتز + هورنبلاند (أخضر مزرق مع أخضر شاحب).

وفي حال كون هذه الصخور ذات منشأ رسوبي، فإنها تكون حاوية على فلزات بيوتيت، موسكوفيت، وأحياناً ستوروليت، مع مراعاة أن هذه الصخور لا

يمكن أن تحتوي على كلوريت، وذلك لأن هذا الفلز يختفي نهائياً عند الوصول إلى درجة الحرارة (400 م°).

7-9-1-أ-4- أمفيبوليت أخضر Green amphibolite:

يتشكل تحت درجة الحرارة (600 م°)، حيث تحت هذه الدرجة يفسد الإيبيدوت متحولاً إلى أمفيبول وبلاجيوكلاز، ويصبح التوازن الهام هو هورنبلاند مخضر + بلاجيوكلاز متوسط التركيب + سفين و(السفين هو فلز مميز لهذه السحنة حيث يتواجد دائماً في الأمفيبوليت).

وعند تواجد التيتان يدخل في تركيب البيروكسين والإلمينيت والتيتانوماغنيتيت، وفي بعض أنواع الأمفيبوليت الحاوية على نسبة عالية من أكسيد البوتاسيوم يظهر البيوتيت. وزيادة الاستحالة تؤدي إلى ظهور كلينوبيروكسين (ديوبسيد) مع الهورنبلاند، ويمكن أن يظهر أحياناً الأورثوبيروكسين (هيرستين) عندها نكون قد دخلنا في مجال سحنة الأمفيبوليت البيروكسيني.

7-9-1-أ-5- الامفيبوليت البيروكسيني Pyroxen amphibolite:

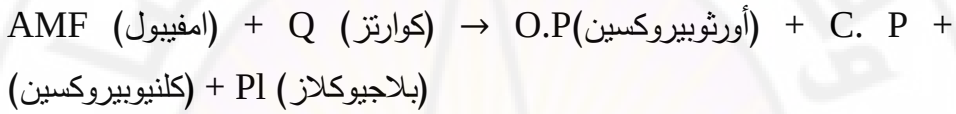
حيث يصبح البلاجيوكلاز في هذه السحنة أكثر أساسية من السحنة السابقة، ويصبح من نوع اللابرادور، ويتغير لون الأمفيبول من نوع الهورنبلاند الذي يصبح بنياً كذلك يتغير تركيبه حيث ترتفع فيه نسبة التيتان وأخيراً يختفي السفين.

ومن ثم عند النظر إلى الأنواع المختلفة من الأمفيبوليت والتطورات التي تطرأ عليها نجد أنها برهان على أنه بازدياد الاستحالة تزداد نسبة الكالسيوم في البلاجيوكلاز، أي يصبح أكثر أساسية، كذلك نسبة الصوديوم في الأمفيبول، ومن ثم مع تغير تركيب الأمفيبول يتغير لونه، فلون الأكتينوليت أخضر شاحب، ويصبح الهورنبلاند أخضر مزرقاً ويتحول بدوره إلى أخضر قاتم، وفي النهاية يصبح ذا لون بني في الاستحالة العالية.

وبالاعتماد على الألوان المختلفة للامفيبول نرسم الخرائط الاستحالية ويعتمد عليه كفلز يرمز لكل طبقة من الطبقات الموجودة في الخرائط، وهذه الطريقة معتمدة في كل أنحاء العالم.

7-9-1-أ-6- الصخور البلورية ذات البيروكسينين البلاجيوكلازية:

مع ازدياد درجة الحرارة أعلى من (750-800 م°)، ومع ازدياد الضغط ندخل في مجال السحنة الغرانوليتية، حيث يفسد الأمفيبول ويتفاعل مع الكوارتز متحولاً وفق المعادلة التالية إلى أورثوبيروكسين وبلاجيوكلاز:



حيث يكون البلاجيوكلاز أساسياً حاوياً على انبثاقات من أنتيبرتيت (انبثاقات أورثوكلاز)، وأما الأورثوبيروكسين فهو هبرستين ألوميني ذو تغير لوني عالٍ جداً من الأخضر وحتى الزهري، بالإضافة إلى احتواء الصخر على ديوبسيد (كلىوبيروكسين).

ويقول العالم فيكلر: إنه أثناء تشكل هذه الصخور يجب أن يكون الضغط الليثوستاتيكي (P_s) أكبر من ضغط الماء (P_{H_2O})، غير أنه أحياناً يتواجد الأمفيبول في بعض الصخور البلورية البيروكسينية البلاجيوكلازية، ويتعلق هذا الظهور بالتغير الكبير في مجال ثبات تركيب الأمفيبول، لذلك يمكن للأمفيبول أن يكون ثابتاً حتى درجات حرارة عالية، ولكن هذا يترافق مع احتواء الأمفيبول على تيتانيوم ومغنزيوم، حيث يكون بهذه الحالة (P_{H_2O}) (ضغط الماء) أقل من الضغط الليثوستاتيكي (P_s) ولو بدرجات قليلة مع العلم بأن ضغط الماء يكون أعلى في الصخور الحاوية على أمفيبول، مما هو عليه في الصخور الحاوية على الهورنبلاند (الأمفيبول)، وتكون الصخور الأم التي تشكلت على حسابها الصخور البلورية غنية بالمغنزيوم والتيتانيوم.

7-9-1-ب- الصخور الاستحالية المتشكلة على حساب الصخور الأساسية
تحت تأثير ارتفاع الضغط الليثوستاتيكي (P_s):

7-9-1-1-ب- الشيست الغلوكوفاني Glaucophane cslist:

تتشكل هذه السحنة نتيجة انغراس القشرة المحيطية تحت القشرة القارية وانزلاقها بسرعة كبيرة، مما يؤدي إلى ارتفاع الضغط الليثوستاتيكي وبقاء درجة الحرارة منخفضة، حيث تصل بين (300-400 م°)، مع العلم بأن ضغط الماء في هذه السحنة يكون مرتفعاً قليلاً، ومن ثم هذا النوع من الصخور يعود لأخفض درجات الاستحالة ذات الضغط المرتفع ذات التوازنات التالية:
أ- غلوكوفان + كلوريت.

ب- أكتينوليت + أيبيدوت + بومبليت + الماندين + كربونات وأحياناً كوارتز وموسكوفيت.

حيث تنمو هذه الصخور على حساب الصخور البركانية الأساسية وبشكل نادر على حساب البيليت، أما من حيث التركيب الكيميائي فهناك اختلاف كبير بين الشيست الغلوكوفاني والصخور البركانية الأساسية (البازلتية)، ذلك لأنه في البازلتويدات تكون نسبة الصوديوم أقل ونسبة الكالسيوم أكثر مما هو عليه في الشيست الغلوكوفاني، ومن ثم فإن الأخير يكون ناتجاً عن الاستحالة الألامفبولية، أي عن جلب الصوديوم وخروج الكالسيوم والبوتاسيوم، ومنه فإن مصدر الصوديوم في الشيست الغلوكوفاني ناتج عن الفلوئيدات الآتية من أعماق كبيرة عبر الفوالق.

7-9-1-2-ب- الصخور الأمفبوليتية الغراناتية، الأمفبوليت الغراناتي البيروكسيني، الشيست الغراناتي ثنائي البيروكسين:

Garnet amphibolite, Garnet pyroxen amphibolite Garnet
tow pypohist

تحتوي الصخور على التوازن الفلزي التالي:

غرانات (الغارنت) + ديوبسيد + هبرستين + هورنبلاند + بلاحيوكلاز + ماغنيتيت + كوارتز.

وتتشكل تحت درجة حرارة (500-800م) وضغط (200-1200) باسكال، حيث بارتفاع الحرارة أعلى من (800 م) تتحول هذه المجموعة من الصخور إلى صخور بلورية بنوعي البيروكسين.

إن ظهور الغرانات في الصخور الميتابازيتية متعلق بالضغط والعمق الكبيرين بالمقارنة مع الصخور البيلليتية حيث يظهر الغرانات تحت ضغط (700) باسكال، ويكون الحديد والكالسيوم فيه أعلى مما هو عليه في الصخور الميتابيلليتية، ومنه فإن ظهور الغرانات لا يتعلق فقط بالضغط المرتفع وإنما بتركيب الصخر الأم، حيث كثيراً ما نجد تحت العمق نفسه أن بعض الصخور في التتابعات الصخرية تحوي الغرانات، في حين أن بعضها الآخر غير حاوٍ عليها. ومن ثم يعد الباحثون أن الظروف الملائمة لظهور الغرانات متعلقة بالنسبة المرتفعة للحديد الثنائي (Fe^{+2})، وبالنسبة للمغنزيوم وارتفاع المغنيز وانخفاض الكالسيوم في الصخور الأم.

كذلك يتغير تركيب الغرانات والفلات القاتمة مع ازدياد الاستحالة حيث تكون حديدية الألماندين في الأمفيبوليت الإييدوتي (90%)، في حين يكون في الشيست الغرانتي ثنائي البيروكسين (80%)، وفي الفلات القاتمة الأخرى مثل الاورثوبيروكسين تصل إلى (40%)، وفي الكلنوبيروكسين (35%).

أما في الصخور التي يصل الضغط المطبق عليها بحدود 1000 باسكال فإن حديدية الغرانات تصل حتى (60%)، وهذا النوع من التشكيلات يتواجد في مناطق السطحية البريكامبرية على عمق (30 كم)، وإن عملية توزيع الحديد والمغنزيوم لا تعتمد فقط على الضغط الليثوستاتيكي وإنما على الحرارة أيضاً.

7-9-1-3 ب- الإيكولوجيت Eclogite:

تتشكل صخور الإيكولوجيت ذات التوازن التالي:

غرانات + كلينوبيروكسين

تحت ظروف أعرق من سحنة الصخور السابقة، وهذا ىنعكس على التركيب الفلزي للغرانات، حيث ىصبح من نوع الماندين - بيروب بلون أحرر وبنى محمر.

أما الكلينوبيروكسين فيتميز بتواجد الصوديوم وىصبح ذا لون أخضر تقاى، وىسمى بالأماغاسيت، مع العلم أن هذه الصخور تحوى بشكل دائم على الروتيل، وىمكن أن تحوى أورثوبيروكسين، ماغنيتيت، أبائيت، وبعض أنواع الایكولوجيت الآتى من المانتل، وىمكن أن تحوى الماس ورافيت.

وكان یعقء سابقاً بأنه لتشكل الإیکولوجيت نحتاج إلى ضغط وحرارة عالیین، ولكن تبین فیما بعد ویشکل مثبت بأن الإیکولوجيت یشکل ضمن مجال واسع من الحرارة (500-1200 م°)، لذلك وبالإعتماد على ما ورد فإن للإیکولوجيت ثلاثة أنواع تختلف عن بعضها بظروف تشكل الفلزات والتركيب الفلزي:

أ-یتواجد الإیکولوجيت كمحتسبات فی الیمبرلیت، البازلت، والصخور فوق الأساسیة حيث تأخذ شكل عدسات طولها 2-2.5 كم فی طبقة المانتل حيث درجة الحرارة (900-1200 م°).

ب-یکون الإیکولوجيت بشكل طبقة وعدسات ضمن المعقدات الغرانولیتیة فی الجزء السفلی من القشرة الأرضیة تحت حرارة (700-800 م°)

ج-یتواجد الإیکولوجيت بشكل طبقات أو عدسات ومحتسبات فی الصخور الاستحالیة الألیبة (الشیست الغلوکوفانی) وعلى عمق قلیل تحت درجة حرارة (500-700 م°)، حيث تزداد حدیة الغرانات من أ إلى ج، وتزداد نسبة العنصر المشکل للجراسولیار والأندرادیت فی النوعین (أ و ب)، ویدخل معه الأولیفین والأورثوبيروكسين.

ویظهر تحت الضغط العالی فی هذه الصخور الکیانیت الذی یشکل على حساب البلاجیوکلاز الأساسی الذی ىصبح غیر ثابت ضمن هذه الظروف، ومن

ثم يذهب الكالسيوم لتشكيل الغرانات، والصوديوم لتشكيل الأمغاسيت، أما الألمنيوم والسيلسيوم فيذهبان لتشكيل الكيانيت، وفي حال كانت السيليكا قليلة غير كافية، فإن الكورندوم يتشكل مكان الكيانيت.

وعند دخول الإيكولوجيت في ظروف فيزيائية وكيميائية جديدة فإن الغرانات المشكل له يتشقق وينمو الغلوكوفان في شقوقه، ويأخذ الأخير بابتلاع الغرانات، وأحياناً تنمو فلزات أخرى مثل الإيبيدوت والكلوريت.

7-9-2- ظروف الضغوط المنخفضة لإعادة تشكّل الميتابازيت (التماسية):

تحصل عملية تشكّل الصخور الميتابازيتية تحت ضغط منخفض وحرارة أعلى من (500 م°)، حيث تكون هذه التغيرات مرتبطة بالاستحالة المحلية التماسية مع تشكّل هالة تماسية حول الكتل العميقة، وذلك تحت تأثير الفلوئيدات والحرارة العالية والضغط المنخفض.

وأهم أنواع الصخور المتشكلة تحت هذه الظروف، هي:

1- الصخور القرنية ذات نوعي البيبروكسين البلاجيوكلازية:

والتي تختلف عن الصخور الشيستية البلورية ذات البيروكسين البلاجيوكلازية والموافقة لها بالحرارة بالبنية القرنية.

2- الصخور القرنية الأمفيبوليتية البلاجوكلازية ذات التوازن:

أمفيبول + بلاجيوكلاز

3- صخور قرنية إيبيدوتية أمفيبوليتية بلاجيوكلازية، وهي صخور لا تتميز

كثيراً عن الصخور الأمفيبوليتية الناتجة عن الاستحالة الإقليمية.

وهنا يجب الإشارة إلى أنه كلما ارتفعت الحرارة كلما كانت الصخور القرنية

أنعم ومتجانسة أكثر وذات تماسك أكبر مع عدم وجود نطاق سحنة الشيست الأخضر إلا بشكل نادر في مناطق الاستحالة التماسية الحاوية على الصخور القرنية.

7-10- بنيات الصخور الاستحالية

Structures of metamorphic rocks

إن التمييز بين البنية والنسيج هو نفسه كما في الصخور النارية، ولكن عامة من الصعب التمييز بين البنية والنسيج في الصخور الاستحالية. إن النسيج في الصخور الاستحالية يعتمد على شكل الفلزات وشكل نموها، في حين أن بنيتها تتعلق بالعلاقة المتبادلة بين البنيات المختلفة داخل الصخر نفسه وكيفية توزيع الفلزات بالنسبة لبعضها بعضاً ضمن الصخر نفسه والشروط المؤثرة فيها، وهذه البنية إما متورقة كما هو الحال في الصخور الاستحالية الإقليمية، والمؤثر الرئيسي فيها هو الضغط الموجه، أو لا متورقة، وهي تتشكل دون تأثير أي نوع من أنواع الضغوط.

7-10-1 شكل الفلزات الاستحالية:

تنمو كثير من الفلزات بشكل متطاوّل أو ورقّي، وتحتوي سطح انقسام أو أكثر موازياً للأوجه، مثل الميكا، الكوريت، التالك، والهورنبلاند، حيث تعد مثل هذه الفلزات المفضلة في الاستحالة. حيث أوضح كل من الباحثين (ليث، وميد) أن هناك توجهاً ملحوظاً في الصخور الغنية بهذه الفلزات لتتطور مع تطور الاستحالة، وذلك مقارنة بالصخور الرسوبية والنارية، وهذا ينتج عن اختلاف التركيب الفلزي، وإن الفلزات الورقية والفلزات المتطاولة الشبيهة بالقضيب هي الأكثر ملائمة للتغيرات الفيزيائية في الاستحالة، ومن النادر تواجد فلزات تمنطقية في الاستحالة. وتسمى البنية في الصخور الاستحالية المعادة التبلور كريستالوبلاست، ولكن مع استمرار تشكل الفلزات الأصلية والبنية مشكلاً الجزء المتكامل من الصخر، وإن الأوجه البلورية في الفلزات الاستحالية عامة نادراً ما تنمو، ونادراً ما تتطور في الفلزات الاستحالية، وتوصف بأنها كزينوكريست، وبعض البلورات لها قدرة تبلورية تشكل شكلها البلوري الخاص حتى في حال مقاومة الوسط الصلب، وهذه البلورات تسمى ايدوبلاست. وهنا نبين ترتيب الفلزات حسب تناقص القدرة

التبلورية لها في الاستحالة، وهي: مجموعة ماغنيت، سفين، غارنت، أندالوزيت، ستوروليت وكيانيت تعطي أشكالاً تامة أيديوبلاستية يليها إيدوت، زويسيت، أمفيبول وبيروكسين، ثم ميكا، كلوريت، وكربونات وأخيراً كوارتز وصفاح، والتي تشكل نادراً شكلاً كاملاً والتي إذا حدثت تعطي أشكال بلورات تامة.

يعتقد الباحثان (ليث وميد) بأن الكزينوكريست هي عبارة عن الفلزات الورقية، أو ذات الأشكال القضبانية، (مثل الهوزرنبلاند) التي تتشكل نتيجة حركة الأطوار أثناء تشكل الصخور الاستحالية، كما هو محدد تحت الضغط غير المتوازن والبلورات الإيديوبلاستية تتشكل في وقت متأخر، حيث إنها غالباً تنمو بشكل مستقل تماماً عن الشيستوية.

ومن ثم هناك نظام في تبلور الصخور الاستحالية، حيث تتبلور أولاً الكزينوكريست، ثم الإيديوبلاست في البنية الناتجة عن إعادة التبلور (كريستالوبلاستية)، حيث تستخدم كلمة بلاست كلاحقة للدلالة على إعادة التبلور، ومن ثم فإن المصطلح بورفيروبلاست يستخدم للصخور الحاوية على بلورات كبيرة متوضعة ضمن وسط ناعم الحبيبات، وهي تشبه البنية البورفيرية في الصخور النارية، في حين أن المصطلحات التالية تشير إلى :

الغرانوبلاستية Granoblastic:

وهي تشير إلى بنية معادة التبلور، تكون فيها الفلزات المشكلة حبيبية أو متساوية الأبعاد.

الباليمبسيستية Palimistic:

للدلالة على بقايا للصخور الأم البورفيرية أو الأوفيتية، والمصطلح بلاستوفيرينك أو بلاستوفيتيك للدلالة على البنية البورفيرية والأوفيتية على التوالي. وأما البلاستوسيفيتية أو بلاستوساميتية فهي للدلالة على بنية تتألف من قطع ملحوظة من صخور متنوعة من الصخور الرسوبية.

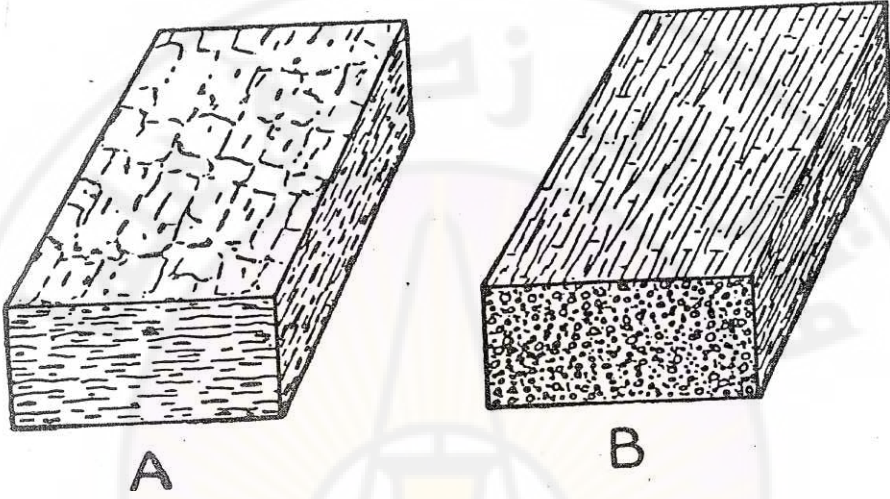
والبلاستيكية تستخدم للدلالة على الصخور الكونغلوميرالية والبريش والصخور الرملية والأرجيلية المصابة بالاستحالة.

ويتطور كل من الميكا والكلوريت والورقيات عامة باتجاهين، (أي تنمو باتجاهين)، حيث تتوضع عامة عمودية على اتجاه الضغط الأعظمي، وأما سطوح الانقسام فتكون موازية لهذا السطح، ووجود كمية كبيرة من الميكا تؤدي إلى بنية متورقة، وظهور سطوح انقسام سهلة الانقسام بالاتجاه نفسه ومنه فإن الميكا والفلات المماثلة تؤدي إلى نمو التورق المخطط، التورق المتوازي أو التورق بشكل مستويات، في حين أن الأمفيبول ذا الشكل الموشوري القضبي أو الفلات المتطاولة والنامية باتجاه واحد، فتتم موازية لاتجاه الضغط الأخفض بشكل حزمة من الأقماع، وتظهر في المقطع العرضي لها بنية حبيبية متساوية، وفي الاتجاه الآخر تظهر مخططة، وهذا يعطي بنية مخططة (الشكل 35)، في حين الفلات الأخرى مثل الكوارتز، الصفاح، الغارنت، البيروكسين، الكالسيت تكون حبيبية متساوية الأبعاد، وتحاول أن تتطاول بين التوضعات الورقية ذات المنشأ الاستحالي النظامي، والتطاول يرجع إلى التدفق المرن، أو إلى إعادة التبلور حسب قاعدة ريكي (Richy)، لذلك في هذه الحالة يحصل في البنية الغنيسية توازي الفلات المسطحة والحبيبية، ومن جهة أخرى تبقى هذه الفلات متساوية الأبعاد في نوعي الاستحالة التماسية والإقليمية، وتنتج بنية حبيبية عن الاستحالة في الصخور التي تتألف منها بشكل رئيسي.

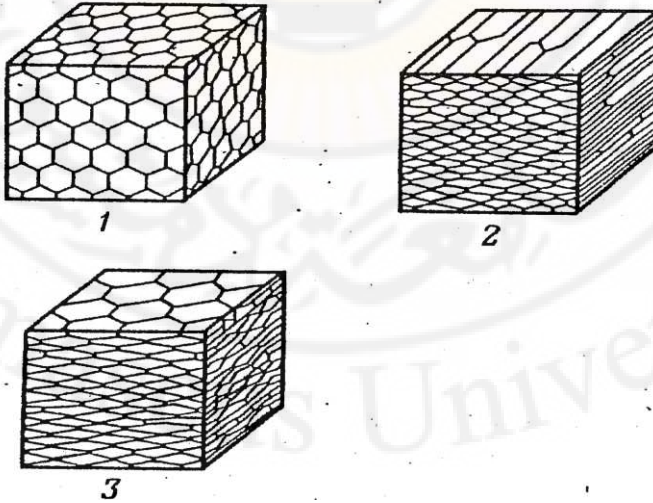
7-10-2- النمو والتفاعلات التبادلية للفلات في الاستحالة:

بما أن الفلات في الاستحالة تنمو في وسط صلب، فإنها من حيث الشكل تختلف عن الفلات التي تنمو بشكل حر، حيث في كثير من الصخور الاستحالية يكون نمو كل الفلات بشكل متزامن، لذلك لا يوجد تتابع في التبلور في هذه الصخور، وبعض الفلات تميل إلى إغلاق بعضها بعضاً بأشكال متشابهة. في

الصخور الاستحالية تضاف كلمة بلاست قبل أو بعد تسمية الاستحالة أو بعدها لتمييزها عن البنيات والنسيج في الصخور النارية.

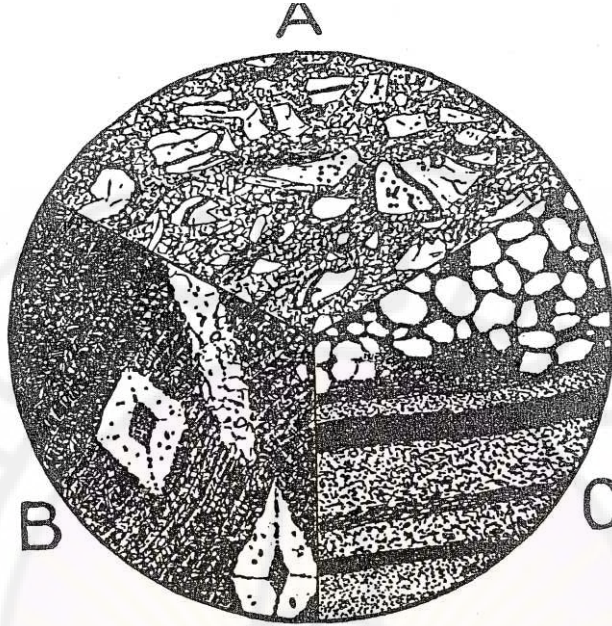


A-تورق مستوي B-بنية مخططة



1-بنية كتلية 2-غنية 3-متورقة

شكل (35)



A-بنية حطامية. B-بنية هورنفلسية. C-بنية بوليمبسيستس (بنية متبقية)

شكل (36)

7-10-3-بنيات الصخور الاستحالية Metmosphastic structur:

تقسم بنيات الصخور الاستحالية إلى عدة أنواع:

7-10-3-1- البنية الكاتاكلاستية (أي الحطامية) Cataclastic structur:

هي عبارة عن الصخور المكسرة حيث ينتج عن تأثير الضغط فلزات هشة وذلك في الجزء العلوي من القشرة الأرضية، وتتحول هذه الصخور المكسرة إلى أجسام ناعمة جداً معطية في مرحلة متأخرة الميلونيت وقطع الفلزات المقاومة، أو الصخور المقاومة تتكسر بشكل أقل من السابقة بحيث تكون هذه الفلزات مميزة واضحة مقارنة بالفلزات الأخرى الناعمة المكسرة في الأرضية معطية بنية بورفيرية كاذبة، وتسمى هذه البنية بوفيروكلاسيك، وتتوضع كثير من الفلزات المكسرة متوازية أو بشكل أحزمة أو أشرطة.

تظهر الفلزات (الكاتاكلاسية) آثار الزحف، فيظهر التعويم التموجي على

الكوارتز وتوأمية ثانوية في الصفاح والكالسيت تحت المجهر . شكل (36)

7-10-3-2- البنية الهورنفلسية (Maculose) أو القرنية (Maculose structur):

أطلقت هذه التسمية على الصخور الاستحالية التماسية، وذلك نسبة إلى قرون الحيوانات والتي تكون قاسية وملساء، مع العلم أن هذه الصخور تتصف ببنيات متنوعة، فهي إما ناعمة مبلورة بشكل كامل، أو غرانوبلاستية أو بورفيروبلاستية مؤلفة عادة من فلزات أندالوزيت، كوردبيريت، غرانات، وذلك تحت درجة استحالة منخفضة وناجمة عن إعادة تبلور الصخر الأم، مما يؤدي إلى تشكيل أرضية ناعمة تتضمن الفلزات السابقة كفلزات بورفيرية الشكل (36)، وهنا تستخدم عدة مصطلحات للدلالة على هذه البنيات، وهي:

(فيلك شيفر) أي البنيات ذات الصخور الحاوية على بقع أو وريقات، و(فروتشيفر) وهي البنيات الحاوية على أثار بقع من حبات شبيهة بالقمح، و(غارين شيفر) وهي بنيات مع بقع تشبه حبات الكراوية، وأخيراً (كنوتن شيفر) حيث تتألف البنيات من فلزات وحيدة تتوضع بشكل عقد أو نثرات بارزة. ومع استمرار الاستحالة تحت درجات أعلى تتحول الصخور الحاوية على بقع إلى صخور ذات فلزات ناعمة من النمط الغرانوبلاستي (هونفلس غرانوبلاستي)، والتي غالباً ما تُظهر تنضداً أولياً أو تورقاً منتقلة باتجاه البنية الجببية، ثم التورق، ثم الغنيسية.

7-10-4- البنية المتورقة (الشيستوية) (Foliaton structur):

تنتج هذه البنية عن سيطرة الفلزات الورقية أو الرقائق أو الفلزات المتطاولة وعن الفلزات ذات سطوح الانفصام الواضحة جداً، مثل الميكا، الكلوريت، التالك والامفيبول وفق مستوى أو موجهة أو عدسية، وتدور هذه الفلزات الورقية حول الفلزات القاسية (البورفيرية)، ويمكن أن تظهر بالعين المجردة كاستمرارية للتورق والتي تغلق حولها.

أو تشكل تورقاً مفتوحاً أو أن تفصل على كامل المستوى الذي تتوضع فيه الفلزات الورقية، والتي تكون فيها سطوح الانقسام متوازية، في هذه الحالات تكون الفلزات المسيطرة كبيرة الحجم غير مجهرية متقطعة. وتكون مستويات التورق في الصخور العالية الميكائولية أو الحاوية على نسبة عالية من الكلوريت مغطاة بفلزات صغيرة رقيقة لامعة من الميكا والكلوريت مع توجه ضعيف أو عدم توجه، وإنما المقطع العمودي على التورق يظهر تطوراً واضحاً للتورق المستوي بشكل مستطيلات الشكل (A 37، و A 35).

وتعطي الصخور الهورنبلندية في المقاطع العمودية على بلورات الأمفيبول المتطاولة بنية حبيبية، وفي حال كان المقطع موازياً تظهر بشكل خطوط من التورق الشكل (37).

7-10-5- البنية الحبيبية Grain structure:

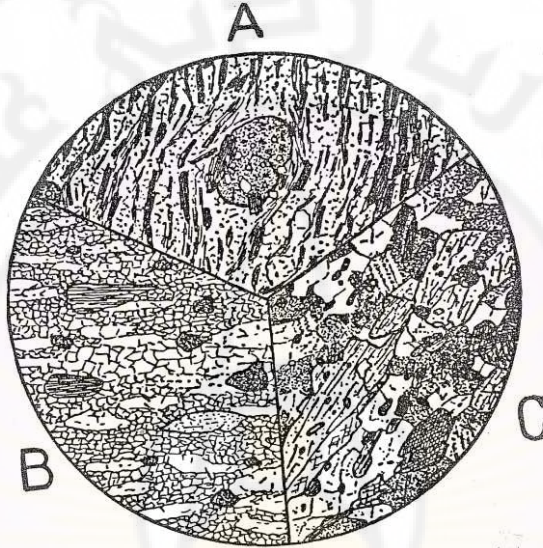
تظهر هذه البنية في حال سيطرة الفلزات متساوية الأبعاد مثل الكوارتز، الصفاح، البيبروكسين، الكالسيت وغيرها، مع العلم بأن الفلزات الورقية في هذه البنية إما غير موجودة أو تتواجد بأقل نسبة لها في الصخور الاستحالية، حيث لا تحوي هذه البنية صفة التورق، وإنما هي بنية حبيبية (گرانويلاستية)، ولكن تنتج البنية المخططة الحبيبية، أو التي تأخذ شكل مستويات متوازية، أو عروفاً أو عدسات من تناوب بقع مختلفة التراكيب الفلزية أو مختلفة أحجام الفلزات.

7-10-6- البنية الغنيسية Gneiss structure:

وهي بنية معقدة مؤلفة من البنية المتورقة والحبيبية النظامية والعدسية. والتورق هنا يكون متقطعاً في حين أن الغنيس يتقطع على طول مستوى التورق، ويمكن للميكا والهورنبلاند أن يتواجدا بشكل متقطع في هذه البنية الشكل (35)، أو يحصل عدم استمرارية للفلزات الورقية والهورنبلاند مع تناوب بينها وبين الفلزات الفاتحة، وتوزع متوازٍ ضمن البنية الحبيبية.

7-10-7- البنية الكتلية:

وتتواجد في الصخور الاستحالية التي لم يصعبها الضغط الجانبي كما هو الحال في الصخور الاستعاضية وصخور الاستحالة العميقة التشكل، وذلك عندما يكون الضغط الليثوستاتيكي أكبر من الضغط الموجه. شكل (35).



A-بنية متورقة، B- بنية غرانوليتية، C-بنية غنيسية

شكل (37)

7-10-8- البنية العدسية:

تحدث هذه البنية عندما يكون لدينا بلورات كبيرة ضمن وسط ناعم التبلور، أو عندما يكون لدينا بلورات من كوارتز، أورتوز، بلاجيوكلاز ذات شكل عدسي.

7-10-9- البنية الصفوفية:

تتميز هذه البنية بتتابع فلزات مختلفة التركيب فاتحة وقاتمة (أو تناوب بين هذه الفلزات)، وتنمو الصفوفية والشيسيتوية وفق التخطيط الأصلي للصخر، أو تكون مائلة عليها.

7-10-10- البنية المنقطعة:

وهي ناتجة عن توزع غير منتظم تجمعي للفلزات ضمن الصخور

الاستحالية، وتتواجد في قشرة الصخور المصابة بالاستحالية، مثل الطف وتظهر أيضاً نتيجة التصلب أثناء وجود فلزات صغيرة مثل الكلوريت، سيرسيت، والتي تظهر بنتيجة التماس مع الجزء الخارجي للصخور النارية أثناء الاستحالة.

7-10-11- البنية المخططة:

وتتميز بظهور خطوط متوازية تختلف عن بعضها بالتركيب الفلزي، ويمكن أن تنتج مثل هذه البنية بسبب التشوهات الاستحالية الناتجة عن إعادة توزيع العناصر أثناء الاستحالة. شكل (35).

7-10-12- البنية التطبيقية:

تميز هذه البنية الصخور الاستحالية المتشكلة في بدايات العمليات الاستحالية بدءاً من الدياجينيز، حيث تحتفظ الصخور الاستحالية في هذه الحالة بالتطبق - (وهي صفة رسوبية) - الدال على المنشأ الرسوبي لهذه الصخور كصخر الشيست الغضاري.

ومنه يجب الإشارة هنا أنه بالإضافة إلى ما ورد سابقاً في تصنيف الصخور الاستحالية هناك تصانيف للصخور الاستحالية تعتمد على البنية، مثل البنية الهورنفلسية والتي تدل على الاستحالة التماسية، والبنية الحبيبية دليل الاستحالة التماسية الحرارية والإقليمية، والبنية الغنيسية والشيستية دليل الاستحالة الديناميكية.

وتعتمد المصطلحات السابقة على نوعية البنية المشكلة، فالهورنفلس يُستخدم للصخور الاستحالية التماسية مع بنية ناعمة الحبيبية، وقد الحق بهذه المصطلحات ما يساعد على تحديد نوعيتها كمؤشر للدلالة على التراكيب الأكثر تواجداً، وعلى الفلزات والبنية، مثل الشيست الهورنبلاندي، الغنيس الكورديورتي، الهورنفلس الأندالوزيتي غنيس كونغلوميراتي، غرانوليت بيروكسيني وهكذا.

إن استخدام مصطلح بسيفيتك (أي رسوبي مع قطع أنعم من الرمل ضمن

اسمنت متنوع)، وبسماमितك (مصطلح عام يعني الصخور الرملية) ويستخدم للدلالة على الاستحالة لصخور رسوبية وغضارية (بيلليت).
كذلك يستخدم مصطلح ميتا بشكل واسع لصخور البنية متعددة الطبقات الفلزية مثل ميتاغابرو وميتابازلت.



7-11- نسيج الصخور الاستحالية

Texture of metamorphic rocks

لا يمكن أن يتواجد الزجاج في أي نوع من أنواع نسيج الصخور الاستحالية، لأن جميع هذه الصخور مبلورة بشكل كامل، وهذه النسيج هي دليل إعادة التبلور للصخر الأم في الحالة الصلبة، وتحمل تسمية النسيج الكريستوبلاستية. وفي حال احتوت هذه النسيج على بقايا من الصخر الأم تأخذ تسمية النسيج المتبقي، أو (الأثر)، أو الباليمبسيست.

كما يميز بين النسيج البورفيروبلاستي والبلاستي بوفيري إذ يدل الأول على أن النسيج نتج عن إعادة التبلور، في حين أن الثاني يدل على أن الصخر الاستحالي تشكل على حساب صخر ناري ذي نسيج بوفيري، ويحفظ عادة النسيج المتبقي في الصخور الاستحالية نتيجة الاستحالة المنخفضة للصخور الأم، حيث يمكن أن تبقى نسيج الصخور الأم - وخاصة النارية منها - مثل النسيج الأوفيتي والسفيروليتي وغيرها، وفي بعض الحالات تحفظ هذه النسيج حتى في درجات الاستحالة المتوسطة، وفي هذه الحالة تكون ذات حجوم أكبر، كما تحفظ أحياناً الأجزاء المركزية من هذه النسيج في نسيج الحرارة الأخفض، في حين تختفي في الأجزاء المحيطية منها.

أما في الصخور ذات المنشأ الرسوبي فتتواجد نسيج بلاستيساميتية وبلاستي اليفرية، وذلك غالباً في الصخور التي أصيبت باستحالة منخفضة الشدة. وتتواجد النسيج الحطامية في الصخور التي تحطمت ثم حصل لها إعادة تبلور، فأصبحت صخوراً استحالية حقيقية.

7-11-1- النسيج المعاد التبلور:

هو النسيج الذي يدل على الاستحالة ويشبه النسيج المغماتية المعادة التبلور، حيث تقسم هذه النسيج إلى خشنة التبلور، وناعمة، ومتوسطة التبلور. ويوجد نوعان من النسيج في الصخور المتجانسة، النسيج المتجانسة،

والنسيج غير المتجانسة حيث تتميز النسيج المتجانسة بأن جميع فلزاتها متساوية، في حين أن النسيج غير المتجانسة تكون فلزاتها مختلفة الحجم غير متجانسة ومع ظهور فلزات كبيرة في النسيج الأخيرة ضمن وسط أكثر نعومة تسمى النسيج بالنسيج البورفيروبلاستية، والتي تختلف عن النارية بأن الصخر في هذه الحالة يأخذ اسم النسيج نفسه. أما من حيث الشكل البلوري فهناك تشابه بين الصخور المغماتية والاستحالية من حيث تسمية الفلزات، وبالاكتفاء على الشكل فهناك فلزات وجهية وتحت وجهية، ولكن هذا التشابه ظاهري، وذلك لأن الفلزات في الصخور الاستحالية تتبلور جميعها في آن واحد وهذا يؤدي إلى ندرة وجود الفلزات الوجهية، حيث إن وجود الفلزات الوجهية أو تحت الوجهية تعتمد على القدرة التبلورية للفلزات، وهذا ما قد أوردناه سابقاً من خلال دراستنا للصخور الاستحالية الشكل (38).

ولكن مع ازدياد شدة الاستحالة يزداد حجم الفلزات، مثالها صخر الفيليت ذي الاستحالة الشديدة المنخفضة والفلزات الناعمة، والذي يختلف عن الغنيس ذي الاستحالة المتوسطة إلى العالية.

غير أن هذه القاعدة لا تنطبق على الصخور القرنية (الهورنفلس) ذات الاستحالة العالية، حيث إن نسيجها وفلزاتها ناعمة مقارنة بالصخور ذات الاستحالة الشديدة المنخفضة، والمتوسطة، والعالية.

ومنه سوف نورد الآن بعض أنواع النسيج وصفاتها:

7-11-1-1-النسيج المتجانس:

يعود إلى هذه النسيج:

7-11-1-1-أ-النسيج الغرانوبلاستي Gramoblastic texture:

ويتميز هذا النسيج بأن فلزاته تأخذ أشكالاً متساوية الأبعاد، وهذا يميز الصخور القرنية (الهورنفلس) والمؤلفة من فلزات ناعمة متساوية الأبعاد، ويطلق

أيضاً على هذا النسيج اسم النسيج الدرزي بسبب تساوي أبعاد الفلزات. الشكل (38).

7-11-1-ب- النسيج المتورق (الليبيدوبلاستي) **Lipidoblastic texture**:

ويتميز الصخور الحاوية على الفلزات الورقية مثل الميكا والكلوريت وغيرها بكميات كبيرة، وهذا ما يعطي مظهر التورق لهذه النسيج.

7-11-1-ج- النسيج النيماتوبلاستي **Nimatoplastic texture**:

ويتميز بوجود فلزات موشورية متطاولة أو ذات أشكال عمدانية وموجهة عادة باتجاه واحد. مثل الهورنبلاند، الأكتينوليت وغيرها (غالباً الأمفيبولات).

7-11-1-د- النسيج الليفي (الفيتروبلستي) **Vitroblastic texture**:

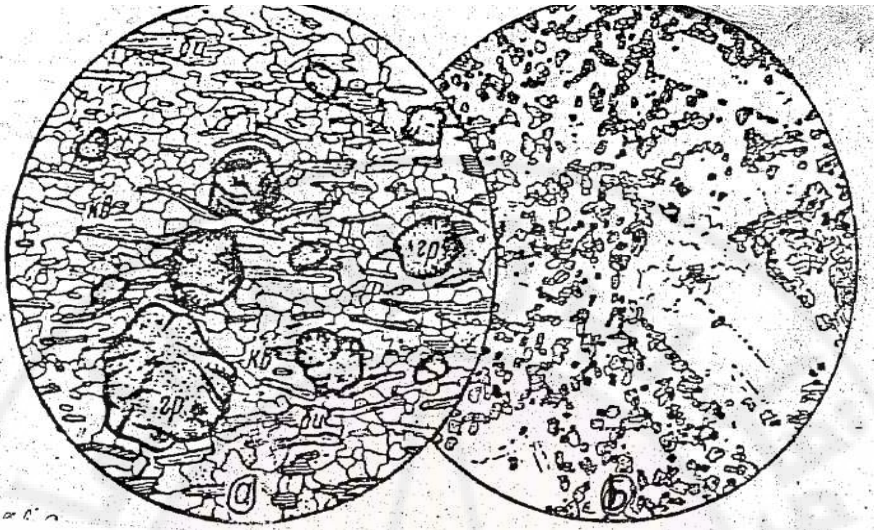
حيث تكون الفلزات في هذا النسيج شديدة التطاول، ذات أشكال ليفية مثل السيلليمانيت والفيلروليت الشكل (39).

7-11-2- النسيج غير المتجانس:

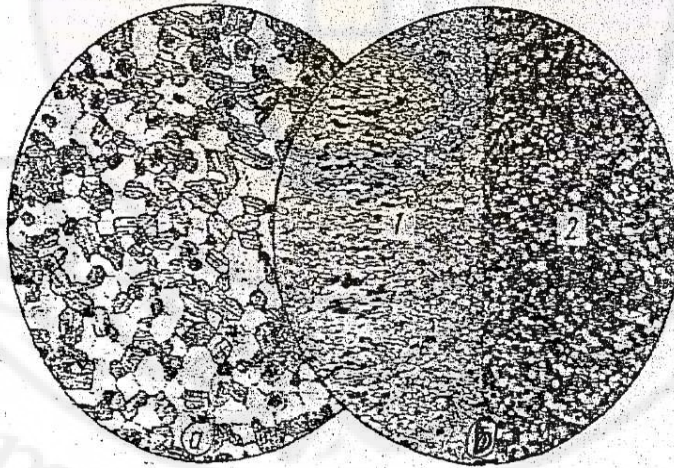
ينتمي إلى هذا النوع أيضاً عدد من النسيج، وهي:

7-11-2- النسيج البويكيلوبلاستي **Poikiloblastic texture**:

تنتج هذه النسيج عندما يظهر فلزات بوفيروبلاستية حاوية على فلزات ناعمة ومتوضعة ضمن النسيج الأصلي للصخر الشكل (39). وهذا النمط من النسيج كثيراً ما يتواجد في الصخور القرنية، حيث يظهر في أرضية الصخر الأصلية بلورات بوفيرية من الأتدالوزيت، الكورديوريت الحاوية على فلزات الكوارتز والبيوتيت الموزعة بشكل غير منظم ضمنها.



نسيج بوفيرويلستي في صخور متورقة كوارتزية ميكايوية a + b بنية بلاستورفيرية في الأمفيبوليت
البيروكسيني



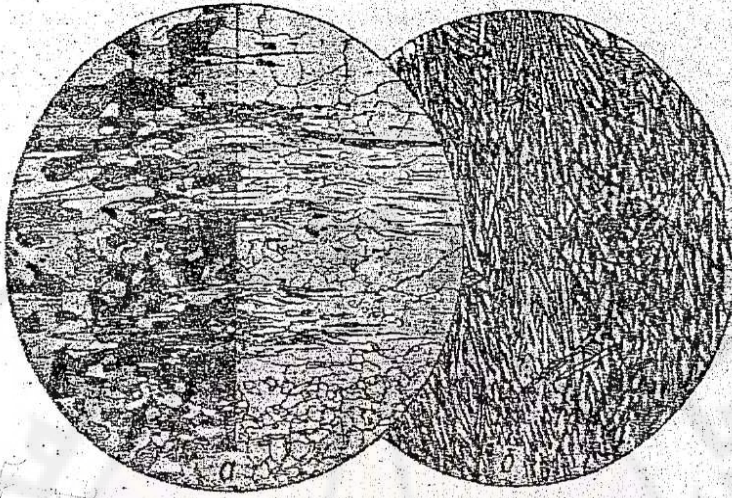
نسيج غرانويلستي متنوع أحجام الفلزات:

a- صخور قرنية بيوتيتية بلاجيوكلازية

b- نسيج الصخور القرنية ذات البنية المتوازية (شبيهة بالمتورقة) بسبب وجود البيوتيت

(1) دون محلل. (2) مع محلل.

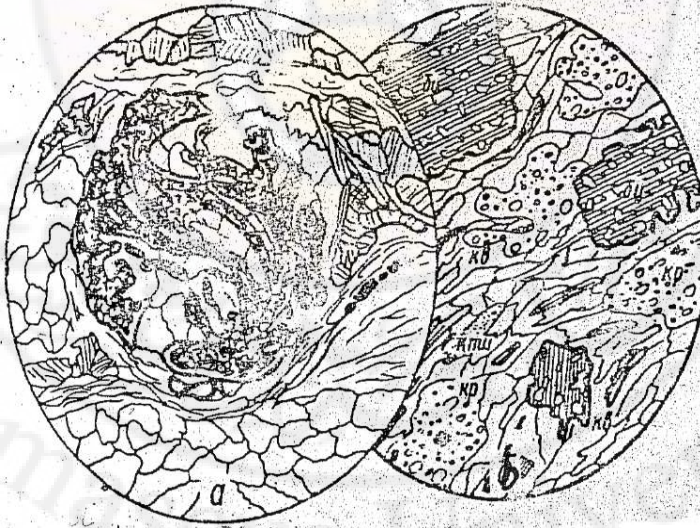
شكل (38)



نسيج صخر متورق سيليمانيتي - كوديبوريتي

a- نسيج بويكيلويلاستي مع نسيج ليفي لصخور متورقة اكينوليتية - كلوريتية 1- دون محلل 2- مع محلل.

b- نسيج فيبرويلاستي (ليفلي)

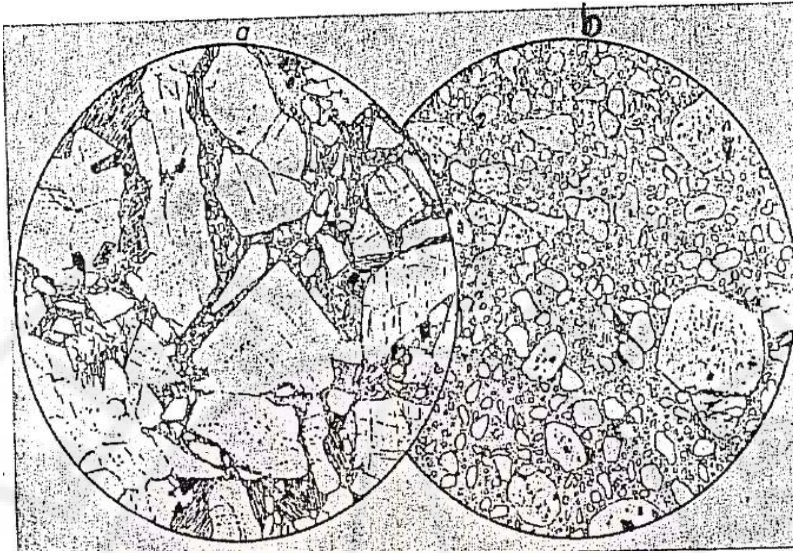


نسيج صخر الغنيس الكورديبوريتي الميكاوي

a- نسيج غلبسيتي بوفيرويلاستي كلينوزويسيت

b- نسيج بويكلي

الشكل (39)

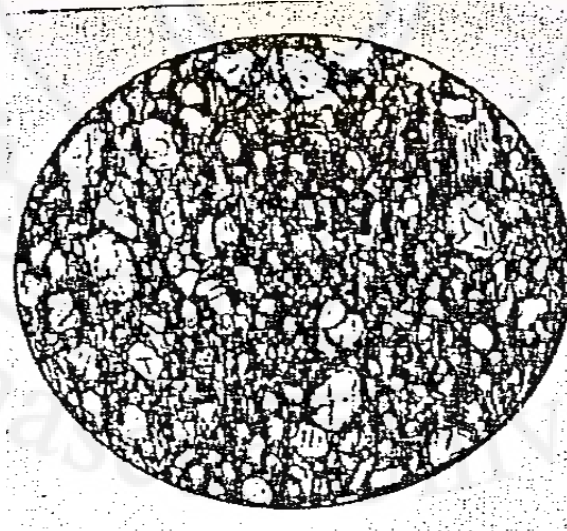


نسيج حطامي في صخور عميقة التشكل

a-دون محلل.

b-غرانيت غرانوفيري ذي تحطم عالٍ مع تشكل نسيج اسمنتي.

شكل (40)



غنيص عدسية، يظهر نسيج بوفيروكلاستي أورتوزي وكوارتزي مع جسم تورقي إسمنتي.

شكل (41)

7-11-2-أ- النسيج الغليسيطي Glisitic texture:

وينتج عن تأثير الضغط على الفلزات البوفيرية أثناء نموها وتحت تأثير التشوهات التكتونية، حيث يحصل توجه للفلزات الورقية داخل الفلزات البوفيرية وخارجها بشكل دوامة حلزونية مع توجه للفلزات.

7-11-2-ب- النسيج التاجي (الديابلاستي) Diablastic texture:

حيث تنمو فلزات تشبه ظاهرياً الفلزات الغرانوفيرية، (أي فلزات كوارتزو أوتوز، وتنمو ضمن صخور حامضية بوفيرية). ويحصل نمو تاجي حول الفلزات البوفيروبلاستية، أو ضمن مجموعة من الفلزات الناعمة حول الفلزات البوفيروبلاستية، وهذا يسمى بالسيمبليكتيت.

كثيراً ما تصاب الصخور بأكثر من استحالة حيث ينعكس هذا على نسيجها مشكلاً نسيجاً خاصة، مثل النسيج الناتجة عن الاستحالة التراجعية، وهي النسيج المتحول الفاسد، حيث يحصل فيه تحول الأوليفين إلى سربنتين الشكل (42)، والنسيج الكيفيوتي والذي ينتج من خلال نمو فلزات الدرجة الثانية على حساب الفلزات الرئيسية، وتتوضع أيضاً على الحدود الفاصلة بين هذه الفلزات معطية نسيجاً معادة التشكل سيمبليكتيتية.

في الاستحالة الآلاكيمائية أي عند دخول عناصر من التركيب الأصلي للصخر وخروجها وتعطي النسيج الأنتي بيريتي المؤلف من بلورات البلاجيوكلاز الحاوية على انبثاقات من الأورتوز، حيث تنمو هذه الانبثاقات داخل سطوح الانفصام.

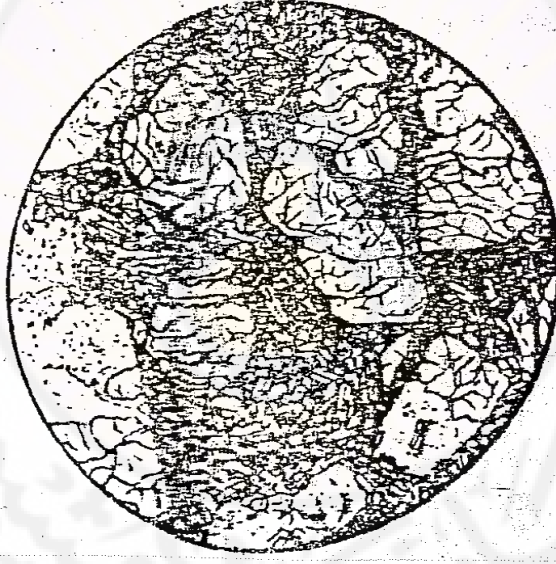
7-11-2-ج- النسيج الحطامي (الكاتاكلاز) Cataclastic texture:

وهو النسيج الناتج عن تحطم الصخور وتكسرها دون إعادة التبلور والناتج عن تأثير الضغط، وتسمى الفلزات الكبيرة المحكمة المتوضع ضمن حطام أنعم بالبوفيروبلاستية.

7-11-1-2-د- النسيج الزاوي amgular texcture:

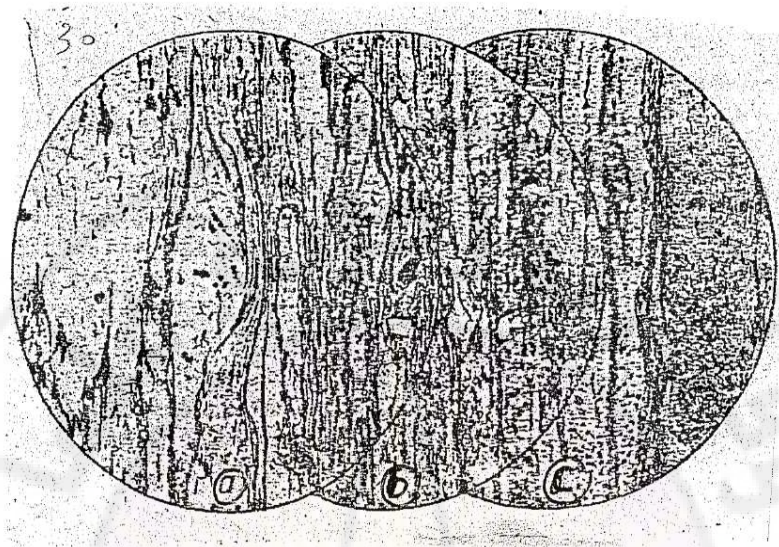
وهو الذي يحصل في بداية التحطم مشكلاً قشور زاوية كبيرة ضمن وسط من فلزات أكثر تحطماً (أنعم)، أو أحياناً ناعمة التحطم (الشكل 40)، وفي حال التحطم الشديد وازدياد نسبة الحطام الناعم يسمى النسيج بالإسمنتي شكل (41 - 43).

ويسمى النسيج ميلانيني عندما ينتج عن التحطم الشديد لكل ما سبق حيث يحصل إعادة زحن (طحن) للفلزات المحطمة.



نسيج بوفيري لصخر الميمشكيت في أرضية من الأوليفين فاسد جزئياً إلى سرينتين، الجزء الأكبر من الصخر مؤلف من البيروكسين، وتيتانوماغنيتيت وكمية قليلة من الزجاج.

شكل (42)



يبين درجات نعومية الصخور الغنيسية الحطامية

a- آثار تحطيم لكن لا تصل لدرجة النعومة.

b- صخور أنعم من السابقة (a)

c- صخور ناعمة جداً (طحنت جميع فلزاتها)

شكل (43)

7-12- مقارنة الصخور الاستحالية والرسوبية

تأتي مقارنة الصخور الاستحالية مع الرسوبية من كون عملية الدياجينيز في الصخور الرسوبية تعد بدايات تشكل العمليات الاستحالية. فالصخور الرسوبية تتشكل من تأثير عاملين سطحيين، وهما الضغط والحرارة اللذان يزدادان بازدياد سماكة التطبقات الرسوبية المتوضعة فوقها. وتسمى العملية لتشكل الرسوبات بالدياجينيز، ومع ازدياد شدة الدياجينيز، أي مع ظهور الإسمنت وحصول إعادة التبلور للرسوبات وظهور فلزات جديدة يحصل ما يسمى الكاتاجينيز، مع العلم أن الدياجينيز غير مترافق مع العمليات التكتونية والاندفاعات البركانية المترافقة مع كمية كبيرة من الفلويديات ومع شذوذات الحرارة، ومن ثم فإن اختلاف الاستحالة والدياجينيز واضح، حيث إن نطاق الدياجينيز يظهر عند الحد الأدنى للتغيرات الحرارية الأرضية (الحد الطبيعي للتغيرات الحرارية)، غير أنه في حالة الاستحالة نجد دوماً هناك تأثيراً للفلويديات العميقة التشكل مع العلم بأن كل من الدياجينيز والاستحالة تتم تحت درجة الحرارة نفسها، أو حتى يمكن أن يحصل تحت درجة حرارة أعلى - (وذلك تحت تأثير السماكات الكبيرة) - وهذا يفسر ظهور التوازن الفلزي نفسه في الصخور الرسوبية العميقة التشكل، والصخور ذات درجة الاستحالة المنخفضة حيث يكون التوازن التالي:

سيرسيت + كلوريت.

البيت + كلوريت.

موسكوفيت + كلوريت.

البيت + أيبيدوت.

غير أن التوازن الأكثر تواجداً في الصخور الاستحالية هو كلوريت + سيرسيت وموسكوفيت + كلوريت. وهذا التوازن يتواجد نفسه في التوضعات الرسوبية الكاتاجينيزية مع أنه يمكن تمييز الصخور الاستحالية عن الرسوبية بعدة

مظاهر:

1- تتميز الصخور الرسوبية والاستحالية عن بعضها أفضل تمييز بواسطة البنية وظروف التوضع الجيولوجي، حيث إن الصخور الرسوبية لا تحتوي عادة على التورق.

2- تتميز الصخور الاستحالية عن الرسوبية بكونها دائماً مرتبطة بالتماس مع الماغما أو بالفوالق العميقة والوضع النموذجي لتوضع هذه الصخور يكون في منطقة الجيوسينكلينال والطيات، حيث يتشكل في هذه المناطق معقد استحالي متمنطق له التوازن الفلزي نفسه المتواجد في الصخور الرسوبية وهذا يطابق أخفض درجة استحالة في المعقد.

مثال على ما سبق منطقة غرب أوكرانيا، حيث تظهر منطقة استحالية ضيقة شمال شرق فالق، يقطع رمية الفالق بزاوية حادة صخور ذات أعمار مختلفة، حيث نجد في المركز صخوراً تعود للسحنة الأمفيبوليتية، وبالابتعاد عنها تدريجياً تأخذ درجة الاستحالة بالانخفاض لدرجة يطابق فيها التوازن الفلزي الموجود في الصخور الرسوبية التي تحيط بمنطقة الاستحالة والمصابة بالدياجينيز، أو ما يسمى حسب تعبير أحد العلماء بالميتاجينيز، وهي مرحلة خاصة للتغيرات التي تصيب الصخور الرسوبية، والتي تعد أخفض درجات الاستحالة. وهنا لن نقوم باستخدام المصطلح الأخير، وإنما سوف نعد الصخور الرسوبية هي صخور استحالة بدرجة حرارة منخفضة.

ويُظن أن الجزء الخارجي من هذه الاستحالة هي استحالة إقليمية ناتجة عن الضغط الليثوستاتيكي الناتج عن الترسبات وانغماس السماكات التطبيقية، ولكن هذا لا يعني استثناء وجود استحالة أكثر تأخراً من السابقة، والتي تكون أيضاً ناتجة عن استحالة درجات منخفضة وعن تشوهات أصابت الصخور الموجودة في منطقة الهالة السابقة، أي إصابة الصخور السابقة باستحالة أخرى تكون إقليمية

بشكل عام.

إن وضع حد بين الاستحالة والعمليات الرسوبية ضمن توضعات الصخور المنتشرة بأماكن مختلفة أو المرتبطة بالتشوهات صعبة، وإمكانية إيضاح هذا الحد يعتمد فقط على الدراسات والقياسات التيرموبارمتيرية ولكن مع هذا فإن الدراسات في هذا المجال ما زالت قائمة ومفتوحة.

3- أثناء تطور الجيوسينكاليات يعد الدياجينيز من المراحل الأولية لعمليات إعادة تشكل (أي بناء) الرسوبات والمتراكمة الوقت نفسه مع عملية ترسب هذه الرسوبات وانغماسها للأعماق.

4- تمثل الاستحالة مرحلة مبكرة للتشوهات ولاحقة لعمليات تشكل الجبال ومتراكمة مع ارتفاع نسبة الفلويديات، ومن ثم فإن عمق إعادة التشكل الدياجينيزي يتعلق بشكل كامل بالوضع الستراتيغرافي (بالعمق) للرسوبات. أما عمق الاستحالة فلا يتعلق بسماكة المجموعة الستراتيغرافية، بل بالحوادث الجيولوجية الأخرى مثل تشكل الطيات، حيث تؤدي الحركات التكتونية المؤثرة في الصخور الرسوبية والاندفاعية إلى انغماس الطيات إلى الأعماق، حيث يصل أكبر عمق لهذه التوضعات الرسوبية في الجيوكسنكلينال والمتأثرة بالاستحالة من 35-40 كم، أما عمق التوضعات التي يصيبها إعادة تشكيل بسبب الدياجينيز عادة لا يزيد عن 20 كم، وعلى الرغم من أن الدراسات الجيوفيزيائية تدل أحياناً على عمق يصل من 25-30 كم.

5- يختلف الدياجينيز عن الاستحالة بظروف التطور الفيزيائية الكيميائية.

إن عملية انغماس الرسوبات باتجاه الأعماق غير المتراكمة مع تشوهات تكتونية، حيث ضغط الرسوبات العلوية يؤثر في المجموعة الرسوبية متكاملة وليس على أجزاء منها، وبالنتيجة فإن السوائل المائية الموجودة بين الحبات تكون واقعة تحت ضغط الماء المتساوي مع الضغط الليثوستاتيكي، ومنه فإن:

$$P_S = P_{H_2O} \text{ أو } P_S > P_{H_2O}$$

في هذه الظروف التي تحدث نسبياً في ظروف مجموعة مغلقة حسب معطيات التجارب من الصعب أن يحصل عملية خروج المياه من الفلزات، حيث تخرج كميات قليلة منه، ويؤدي ذلك إلى تشكل طور مائي وغير مائي بالوقت نفسه، ونمو الميكا التي لا تتواجد مطلقاً في الصخور الاستحالية ذات المنشأ الرسوبي.

ومع ظهور التشوه وتأثير الفلوئيدات ذات التركيب المعقد، والذي يكون فيه الماء مترافقاً مع عناصر أخرى متعددة مثل H_2 , Co , CH_4 , N_2 تشكل نظاماً استحالياً خاصاً لإعادة تشكل الرسوبات، وملائمة أكثر لعملية خروج المياه من الفلزات والتي تميز بالعلاقة التالية:

$$P_S > P_F > P_{H_2O}$$

6- تظهر الصخور الاستحالية والمغماتية تحت تأثير العوامل العميقة وهذا يميزها عن الصخور الرسوبية، والتي تنعكس من خلال هجرة عامة للعناصر أثناء نمو بنية القشرة الأرضية.

ويعود التأثير الكيميائي للفلوئيدات إلى العوامل العميقة من ضغط وحرارة التي لها صفة التغير المستمر، وهذا يؤدي إلى تشكل الصخور الاستحالية. والتي تسمى بالبلاست، ومن ثم يسمى نسيج الصخور الاستحالية بالبلاستية، حيث تلحق كلمة بلاست باسم الصخر، والنسيج الحبيبي نطلق عليه اسم النسيج الغرانوبلاستي، أما إذا كان النسيج بوفيرياً أي يحوي فلزات كبيرة ضمن وسط ناعم التبلور وتطلق عليها كلمة بوفيروبلاستية، وإذا كانت الفلزات ورقية يسمى نسيج ليبيدوبلاستي، وإذا كان الصخر حاوياً على بقايا فلزات كانت موجودة سابقاً عندها يسبق بكلمة بلاست مثالها البلاست بوفيرية.

أما بالنسبة للبنية فإن ما يميز الصخور الاستحالية هو البنية الموجهة المتوازنة، مثل البنية المتورقة المتواجدة في الصخور الغنية بالميكا، والصخور

البلورية المتورقة، والبنية الغنيسية الغنية بالأورتوز والميكروكلين، والتي تكون موجهة. والبنية الأمفيبوليتية والمؤلفة من خطوط متوازية وموجهة، مثل الصخور الأمفيبوليتية البلاجيوكلازية، وجميع أنواع هذه البنيات تظهر تحت تأثير الضغط الموجه، أو بغياب الضغط تصبح البنية كتلية.

إن سرعة ارتفاع الحرارة ينعكس على حبيبية الصخور الاستحالية، ففي حال التماس مع الصخور المغماتية واللافا والمتراق مع تأثير الفلوئيدات غير العميقة كثيراً ولفترة صغيرة، تظهر صخور ناعمة الحبيبية ذات النسيج القرني.

وفي حال تواجد فلزات كورديويريت، أندالوزيت، بيروكسين الكبيرة يصبح النسيج بورفيروبلاستياً حيث تكون هذه الفلزات سريعة النمو، ونجد أنه في الكتلة الرئيسية لهذه الصخور لابد من وجود بعض الفلزات كبيرة الحجم.

أما بالنسبة للصخور الاستحالية العميقة التوضع مثل الغنيس، الأمفيبوليت، الصخور البلورية المتورقة فتتميز عن الصخور القرنية بأن النسيج فيها أكبر حبيبية، والبنيات في الصخور الاستحالية المخططة غالباً تكون ناتجة من الدرجة الثانية (أي تشكلت فيما بعد)، لكن هذا التخطيط يظهر أيضاً أثناء العملية الاستحالية بتأثير التفاضل الاستحالي المترافق مع تأثير الضغط الجانبي، الذي يؤدي إلى عدم تجانس في التوزيع في الصخر، كما يحصل إعادة توزيع الفلوئيد في الفلز، حيث تتم عملية انحلال في مكان للعناصر، ومن ثم مرور هذه العناصر المنحلة وتوضعها في مكان آخر، وبالنتيجة يحصل استحالة تمايزية تؤدي إلى تشكل طبقات.

وهناك أيضاً أنواع من التشوهات الاستحالية المؤثرة في العناصر المحدودة أكثر من السابقة، والتي تظهر في مرحلة تطور النسيج البورفيروبلاستي، حيث تتركز العناصر المشكلة للبورفيروبلاست في الفلوئيد أثناء نموها بنتيجة الانتشار، وعندها تحاط فلزات البورفيروبلاست بهالات فقيرة بعنصر كيميائي محدد كعملية

تشكل بلورات الغرانات الكبيرة المتواجدة في الصخور الاستحالية، والتي تقوم بجذب الحديد والمنغنيز أثناء تشكلها، مما يؤدي إلى أن الهالة المحيطة بها تصبح فقيرة بهذه العناصر، فتتشكل مناطق فاتحة اللون مع ظهور نسيج جديد.



الخاتمة

أرجو أن يكون هذا الكتاب قد حقق الغاية منه، وقدّم تصوراً واضحاً وشاملاً في وصف بيئروغرافيا الصخور النارية والمتحولة، وأن يكون قد أسهم في وضع الأسس الدقيقة للمادة العلمية في الجانب النظري لجيولوجيا الصخور النارية والمتحولة.





المراجع

1-المراجع الروسية:

- 1- بتروغرافيا الصخور النارية والمتحولة، الجزء الأول (I)، ماركوشيف 1975.
- 2- بتروغرافيا الصخور النارية والمتحولة، الجزء الثاني (II)، ماركوشيف 1981.
- 3- بتروغرافيا الصخور النارية والمتحولة، الجزء الثالث (III)، ماركوشيف 1976.
- 4- بتروغرافيا الصخور النارية والمتحولة، (ب. ف.) ايميليا نوف، (ي. ب.) ياكوفلاف، 1985.
- 5- البركانيات، (ي. ف.) مالبيف، موسكو (ندرا)، 1980.
- 6- بتروغرافيا، أ. أ. ماكراكوشيف، إصدار جامعة موسكو، 1993.

2-المراجع الإنكليزية:

- 1- مبادئ البتروولوجيا (مدخل إلى علم الصخور). 1978 Tyrell. G. W.
- 1- The principles of petrology (An introduction to the science of Rocks), G. W. TYRRELL 1978.
- 2- petrology walter T. Huang 1962.
- 3- Igneous petrology IANS. Carmichel, Francis. J. TURNER, JOHN VERHOOGEN, 1974.
- 4- Metamorphic petrology, Frane is J. Turner 1980
- 5- Principles of igneous and Metamorphic petrology (second Edition, John D. Winter (2016).
- 6- Mckenzie, D. J. Jackson and K. priestly (2005). Thermal structure of oceanic and continental lithosphere, Earth planet sci.
- 7- Maitre, R.W., A. streckeisen, B. zanettin, M. J. Le Bas, B. Bonin, p. Bateman, G. Bellieni, A. Dudek (2002). igneous Rocks, A classification and Glossary of terms.

Cambridge University Press. Cambridge, U. K.
8- Vernon, R.H and G. L. Clarke principles of
Metamorphic petrology Cambridge university (2008).

3-المراجع العربية:

1- علم الصخور النارية والاستحالية (الجزء الثاني)، 1976-1985، د.
يوسف خوري.

2- تيروغرافيا الصخور النارية والمتحولة، إصدار جامعة دمشق، 2007-
2008، د. فيروز المهنا.

اللجنة العلمية

أ. د. ميخائيل معطي

أ. د. غالب سيدا

أ. م. د. جريس شاهين

المدقق اللغوي

أ. د. خليل غريري

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات