شروط حادثة التحول الأقليمية المرافقة لتشكل الصخور المتحولة والمتكشفة في منطقة الباير ـ البسيط شمال غرب سورية

عبدالرحمن بن محي الدين السفرجلاني – إبراهيم بن عبدالرحمن الحواس

قسم الأراضي والمياه – كلية العلوم الزراعية والأغذية

جامعة الملك فيصل - الأحساء

المملكة العربية السعودية

الملخص :

تتكشف الصخور المتحولة الأمفيبوليتية في منطقة الباير - البسيط شمال غرب سورية بتماس مباشر أسفل الصخور فوق القاعدية والقاعدية بشكل رئيس في عدة مواقع هي: جبل الغنغرية، وجبل عيوران، وجبل كوباترا دوشانة، كما تتكشف في منطقة الكبير وأخيراً بيت بلدور.

حددت الشروط الجيوحرارية والجيوضغطية لحادثة التحول الاقليمية وحيدة الطور من خلال اختبار النتائج الجديدة للتراكيب الكيميائية الممثلة لفلزي الهورنبلند والبلاجيوكلاز وكيفية توزع العناصر الكيميائية في تراكيبهم البنائية البلورية واسقاطها على مخططات توازن سحنية، وعليه وجد أن درجة حرارة حادثة التحول الاقليمية تتراوح في المجال بين ٤٥٠ - ٦٧٠ م^{o}، كما تتراوح درجة جيوضغط حادثة التحول الاقليمية في المجال بين ٢ - ٥ كيلوبار.

تتميز جميع العينات الصخرية الأمفيبوليتية المدروسة من منطقة "الكبير، بيت بلدور وعيوران" بتشكلها في الجزء العلوي من سحنة الشيست الأخضر و بتجمع فلزي يتألف من " هورنبلند + بلاجيوكلاز+ كوارتز ± إيبيدوت ± بيوتيت ± كلوريت ± فلزات كربوناتية (كالسيت) ± فلزات معدنية "، بينما تتميز الصخور الأمفيبوليتية المدروسة من منطقة الغنغرية وكوباترادوشانة بتشكلها غالبا في الجزء السفلي من سحنة الأمفيبوليت و بتجمع فلزي يتألف من " هورنبلند + بلاجيوكلاز + كوارتز ± إيبيدوت ± غارنت(غروسولار) ± بيروكسين مائل(ديوبسيد) ± بيوتيت ± كلوريت ± فلزات كربوناتية (كالسيت) " و كلا من السحنتين المحددتين تتوافقان مع المجال الحراري و المجال الضغطي المحدد لدينا.

المقدمة و هدف الدراسة :

ينتمى المعقد الأوفيوليتي (Ophiolitic complex) المتكشف في منطقة الباير - البسيط شمال غرب سورية حسب تقسيم (Dilek and Moores , 1990) لتكشفات الصخور الأوفيوليتية المنتشرة شرقي حوض المتوسط إلى نطاق بتليس - زاغروس المهشم المتواجد في الجزء الجنوبي لحافة السطيحة الكربوناتية الطوروسية.

يعيد (Parrot,1977) و (Juteau ,1980) الصخور الأوفيوليتية المتكشفة في هذه المنطقة إلى أجزاء من قشرة محيطية (Oceanic crust) تشكلت في مقعر التيتيس (Tethys geosyncline)، انجرفت لاحقا من الشمال – شمال غرب إلى الجنوب – جنوب شرق وتراكبت على الطرف الشمالي الغربي للصفيحة العربية (Arabian platform) وذلك أثناء الحركات الأوروجينية الألبية النهائية في عصر المايسترختيان (Maastrichtean) وعلى شكل مجموعة من الطيات تقدر سماكتها من السطح التماسي التكتوني السفلي حتى سطح التعرية العلوي بحوالي ٥كم تعرضت لاحقاً في العصر السينوزوي (Cenozoic) لمجموعة من الحوادث التكتونيه أعطتها شكلها الجيومورفولوجي الحالي.

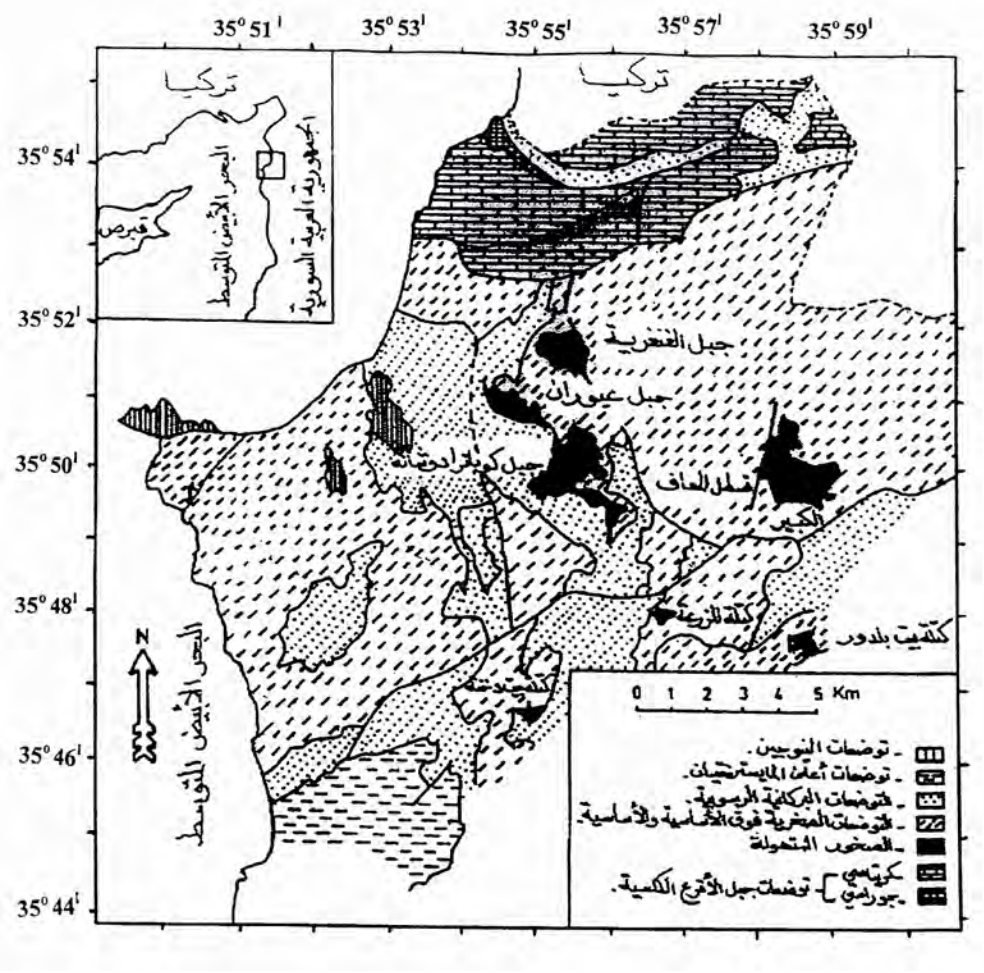
رغم تميز منطقة الباير - البسيط من الناحية الجيولوجية بتعقيدها البنيوي وبالتنوع الكبير لزمرها الصخرية، فقد استطاع كل من (Kazmin and Kulakov,1968) و (Parrot,1977, 1980) من تقسيم هذه المنطقة إلى ثلاثة وحدات جيولوجية تكتونية وليثولوجية رئيسة هي: صخور الركيزة والتي تمثل جزء من صخور االسطيحة العربية التي يرتكز عليها المعقد الأوفيوليتي، صخور المعقد الأوفيوليتي و تقسم بدورها أيضا إلى " مجموعة الصخور الرسوبية البركانية، مجموعة الصخور المهلية (قشرة محيطية وأجزاء من المعطف)، مجموعة الصخور المتحولة "و صخور الغطاء الرسوبي (شكل – ١).

تتوضع الصخور المتحولة (Metamorphic rocks) في منطقة الباير - البسيط بتماس مباشر أسفل الصخور فوق القاعدية والقاعدية وباتجاه عام شمال غرب – جنوب شرق (Dubertret,1953) وتتكشف بشكل رئيس في ثلاثة مواقع هي: جبل الغنغرية (٣٥,٥٢ ° شمالاً و ٣٥,٥٥° شرقا) وجبل عيوران (٣٥,٥١° شمالاً و٣٥,٥٥° شرقاً) وجبل كوباترا دوشانة (٣٥,٥٠° شمالاً و ٣٥,٥٥° شرقاً)، كما تتكشف في الجزء الجنوبي من المعقد الأوفيوليتي على امتداد منطقة فالقية باتجاه غرب - شرق من بيت دخنه إلى المزرعة وأخيراً بيت بلدور.

أعاد(Parrot ,1980) زمرة الصخور المتحولة بأصولها إلى مجموعة الصخور الرسوبية – البركانية والتي تمتد بعمرها دون انقطاع من بداية عصر الترياسي وحتى نهاية عصر الجوراسي (Lower Triassic period /Upper Jurassic period) ، في حين أن نتائج العمر المطلق المحددة من قبل (Delaloye et al.,1980) وفق طريقة K– Ar تحدد عمر حادثة التحول بـ ٩٠ مليون سنة أي إلى الحد الفاصل بين عصري الجوراسي/كريتاسي (Jurassic period/Cretaceous period) .

تضم الصخور المتحولة المتكشفة في منطقة الباير - البسيط عدة أنواع صخرية متحولة هي: الشيست الميكاوي، الشيست الكلوريتي، الرخام، الكوارتزيت والأمفيبوليت مع تميز الصخور الأمفيبوليتية بسيادتها من حيث الانتشار والوفرة على كافة الأنواع الصخرية المتحولة الاخرى، و التي يمكن تقسيمها حسب الدراسة الوصفية للصخر (Petrographical study) البنية والنسيج إلى صخور ناعمة –متوسطة وخشنة الحبيبية ذات بنية – نيماتوبلاستية (Nematoblastice) وأحياناً غرانوبلاستية (Granoblastice) مع نسيج ناعم التطبق كتلي المظهر، وتكون تسمية هذه الأنواع الصخرية الأمفيبوليتية أكثر دقة إذا تم الأخذ بعين الاعتبار المحتوى الحقيقي لتركيبها الفلزي (Safarjalani,1996). لقد أظهرت الدراسات الجيوكيميائية التفصيلية للصخور الأمفيبوليتية المتكشفة في منطقة الباير - البسيط أنها تعود

بأصولها لمادة مهلية الطبيعة(Orthogenetic nature) غير مشبعة بالقلويات محدودة التفاضل وذات طبيعة بازلتية طازجة ثولوئيتية(Tholeiites basalt) الخصائص (Safarjalani and Eidam,1997).



شكل (١) :خارطة جيولوجية توضح التقسيمات التكتونية والليتولوجية لمنطقة البابر - البسيط، من (Kosters,1991)

يهدف هذا البحث بشكل رئيس إلى ربط نتائج دراسة الصخور الأمفيبوليتية البتروغرافية السابقة (Safarjalani,1996, 2000) خاصة فيما يتعلق بالتجمعات الفلزية (Mineralogical paragensis)الممثلة لمواقع تكشف هذه الصخور مع النتائج الجديدة لتحاليل فلزي الهورنبلند (Hornblende) والبلاجيوكلاز (Plagioclase) بهدف تحديد الشروط الجيوحرارية (Geothermometr) و الجيوضغطية (Geobarometr) المرافقة لعملية التحول الاقليمية (Regional metamorphism) وذلك من خلال اختبار مجموعة من المخططات الجيوحرارية والجيوضغطية المخصصة لذلك، كما تهدف أيضا إلى التحقق من درجة شدة التحول(Metamorphism grad) فيما إذا كانت متساوية الشدة (Isograd Metamorphism) في كل أجزاء منطقة الدراسة.

المواد و طرائق البحث:

اخذت العينات الصخرية الأمفيبوليتية غير المتحللة (الطازجة) من منطقة الباير – البسيط من المواقع الرئيسة التي تتكشف فيها الصخور المتحولة (جدول – ١و٢) و قد تم تحليل فلزي الأمفيبول والبلاجيوكلاز "في معهد علوم الجيولوجيا الاقتصادية والخامات المعدنية التابع لجامعة إرنست - موريتس – أرندت – ألمانيا" بالطريقة النقطية باستخدام مجهر المسح الالكتروني (الميكروبروب) من نوع (JXA-480A) والموصول مباشرة بالمحلل من نوع (KEUX–EDS)، مستخدمين شرائح صخرية مجهرية خاصة ذات أبعاد (٢ مم x ٢ مم) ملصقة بمادة (Epoxi-Hart) ومغلفة بطبقة رقيقة من الفحم الناقل، بلغ زمن التحليل النقطي الواحد ١٥ثانية مع استعمال تيار كهربائي توتره ١٨ كيلوفولط وشدته ١٠ نانوأمبير، لقد قورنت نتائج تحليل فلز الهورنبلند بعينة عيارية فلزية من نوع (كيرسوتيت-Fa Astemex) بينما قورنت نتائج تحليل البلاجيوكلاز بعينة عيارية مصنعة.

النتائج والمناقشة:

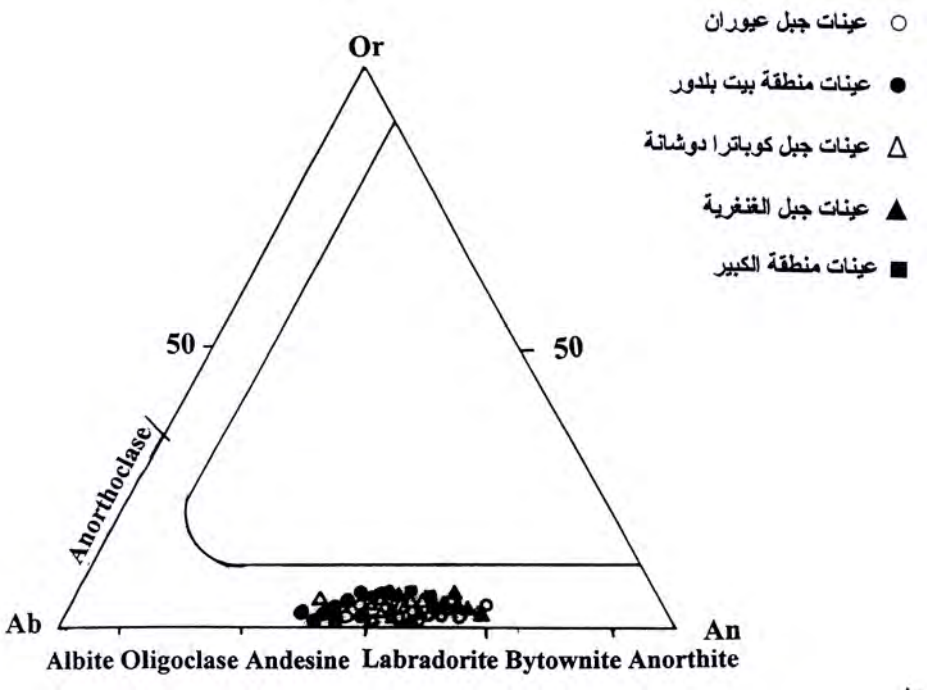
التركيب الكيميائي للفلزات المدروسة :

بشكل آلي تم تحويل القياسات النقطية لفلزي البلاجيوكلاز و الهورنبلند إلى قيم أوكسيدية مقدرة بالنسبة المئوية باستخدام برنامج حاسوب مخصص لهذا الغرض من اصدار معهد علوم الجيولوجيا الاقتصادية والخامات المعدنية التابع لجامعة غلاوستال – ألمانيا عام ١٩٩٦، كما تم تحويل هذه القيم الأوكسيدية إلى مقادير كاتيونية تتوزع على الصيغة الكيميائية للبنية البلورية لفلز البلاجيوكلاز على أساس ثمانية ذرات من الأوكسجين و على أساس ثلاثة وعشرون ذرة أوكسجين بالنسبة للبنية البلورية لفلز الهورنبلند.

التركيب الكيميائي لفلز البلاجيوكلاز :

يبين (الجدول - ١) نتائج تحليل فلز البلاجيوكلاز للعينات المدروسة، تم وبشكل آلي حساب التوزع الكاتيوني في البنية البلورية للبلاجيوكلاز($M_1T_4O_8$)، حيث تراوحت قيم التحليل لمجموع (Si+Al+ Fe) للموقع T بين (٣,٧٦ إلى ٣,٩٣) في حين تراوحت قيم التحليل لمجموع (Ca+Na+K) للموقع M بين (١,١٣ – ١,٢٧).

تعتبر مشاركة فلز الآورثوكلاز في العينات المدروسة محدودة ولا تزيد في جميع الآحوال عن الـ ٥٪ وتبلغ أعلى قيمة لها في العينة G-9 حيث تقدر بـ ٤,٧٪، يتباين محتوى البلاجيوكلاز الكلسي (Anorthite) وبالتالي البلاجيوكلاز الصودي (Albite) في عينات كل موقع ولكنها اجمالا تنحصر كما هو مبين في الشكل - ٢ بين البلاجيوكلاز من نوع الآنديزين (Andesine) والبلاجيوكلاز من نوع اللابرادوريت (Labradorite).



شكل (٢) : مخطط ثلاثي الرؤوس Or-Ab-An لتصنيف بلاجيوكلاز العينات المدروسة
(تستخدم رموز مواقع الدراسة قي جميع الأشكال التالية)

التركيب الكيميائي لفلز الهورنبلند :

يظهر(الجدول - ٢) نتائج تحليل فلز الهورنبلند للعينات المدروسة، ولتحديد القيم الكاتيونية اعتمدت الصيغة الكيميائية التالية المميزة لفلز الهورنبلند:

$$A_{0-1}\ B_2\ C_5\ T_8\ O_{22}\ (OH, F, Cl)_2$$

تم توزيع العناصر الكيميائية في الشبكة البلورية للهورنبلند ونسبة كل من Fe^{+3} و Fe^{+2} حسب (Hawithorne,1983) حيث يتم التوزيع على أساس وجود ١٣ شاردة موجبة هي: (Si+Al+ Ti+Fe+Mn+Mg=13) و شحنة اجمالية مقدارها ٤٦ وعلى أساس ٢٣ ذرة أوكسجين، تتم تعبئة المواقع البلورية بالكاتيونات وفق الترتيب التالي:

- يتم أولا تعبئة الموقع البلوري T.

$$T=Sum.Z=8= (Si)_T+ (Al)_T$$

- تتم تعبئة الموقع البلوري C بداية بالألمنيوم الفائض ثم المغنيزيوم فالحديدوز فالمنغنيز ثم التيتانيوم وأخيرا الحديد.

$$C = Sum.Y=5=(Al)\ c +Mg+ Fe^2+Mn+Ti+Fe^3$$

- تتم تعبئة الموقع البلوري B بداية بالحديدوز الفائض ثم الصوديوم فالليثيوم فالكالسيوم.

$$B = Sum.X=2 = Fe^2 +N\,a+ Li+ Ca$$

- تتم تعبئة الموقع البلوري A بداية بالصوديوم الفائض ثم البوتاسيوم.

$$A = Sum.\ A= 0 – 1= Na + K$$

لدى مقارنة التركيب الكيميائي لفلز الهورنبلند مع تصنيف الباحث (Leake, 1978)، وجد أن جميع العينات المدروسة تحتوي على هورنبلند كلسي الطبيعة وذلك لتحقيقه العلاقة :

$$(Na + Ca)_B > 1.34\ ;\ (Na)_B < 0.67$$

عند متابعة تصنيف الهورنبلند الكلسي، وجد أنه يحقق كل من العلاقات التالية:

جميع العينات المدروسة تحتوي على هورنبلند فيه محتوى $(Ti)\ c > 0.50$.

جميع العينات المدروسة باستثناء العينة KE4 تحتوي على هورنبلند يحقق العلاقة

$$(Al^6)\ c > (Fe^3)\ c$$

أي أنه يحقق العلاقة :

$$1 > (Fe^3)\ c\ /\ Al^6$$

أيضا تحتوي جميع العينات المدروسة عدا العينتين BB5 وBB6 تحتوي على هورنبلند يحقق العلاقة :

$$Mg/(Mg+ Fe^2) >0.5$$

جدول (١)

نتائج تحليل فلز البلاجيوكلاز للصخور الأمفيبوليتية المدروسة في منطقة الباير - البسيط

Location	عينات موقع جبل عيوران											عينات موقع بيت بلدور						
Sample No.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	BB1	BB2	BB3	BB4	BB5	BB6	BB7
SiO2	59.15	57.89	55.08	55.03	56.32	54.44	55.66	56.42	53.83	54.55	56.33	58.83	58.24	56.89	56.32	58.31	59.86	58.12
Al2O3	20.65	21.34	24.61	23.43	22.74	22.6	23.17	23.23	24.65	24.16	22.12	22.54	22.68	24.21	22.87	22.82	20.33	23.06
Fe2O3	0.71	0.69	1.25	1.61	0.94	1.34	0.38	0.69	0.69	0.31	0.57	0.54	0.66	1.64	2.01	0.83	0.32	0.25
CaO	11.83	13.45	12.83	13.6	12.92	15.23	14.23	12.67	15.73	14.74	15.9	10.73	11.21	10.32	11.24	10.23	11.12	10.62
Na2O	7.23	6.12	6.22	5.87	6.19	5.18	6.1	6.63	4.69	5.42	5.02	6.76	6.91	7.14	7.14	8.06	7.58	7.33
K2O	0.22	0.32	0.38	0.44	0.65	0.38	0.41	0.41	0.21	0.39	0.46	0.27	0.36	0.24	0.08	0.11	0.43	0.83
Sum.	99.8	99.8	100.4	100	99.8	99.2	100	100.1	99.8	99.6	100.4	99.7	100.1	100.4	99.7	100.4	99.6	100.2
Cation=8(O)																		
Si	2.7	2.65	2.52	2.53	2.59	2.53	2.56	2.58	2.48	2.52	2.58	2.67	2.64	2.58	2.58	2.64	2.73	2.64
Al	1.11	1.15	1.33	1.27	1.23	1.24	1.25	1.25	1.34	1.31	1.19	1.21	1.21	1.29	1.24	1.22	1.09	1.23
Fe3	0.02	0.02	0.04	0.06	0.03	0.05	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.06	0.07	0.03	0.01	0.01
Ca	0.58	0.66	0.63	0.67	0.64	0.76	0.7	0.62	0.78	0.73	0.78	0.52	0.55	0.5	0.55	0.5	0.54	0.52
Na	0.64	0.54	0.55	0.52	0.55	0.47	0.54	0.59	0.42	0.48	0.45	0.59	0.61	0.63	0.64	0.71	0.67	0.64
K	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0	0.01	0.03	0.05
Sum.	5.06	5.04	5.09	5.08	5.08	5.07	5.09	5.09	5.05	5.08	5.05	5.02	5.05	5.07	5.08	5.1	5.07	5.09
An (%)	46.9	54.1	52.2	54.9	51.8	60.7	55.2	50.3	64.2	58.9	62.4	46.1	46.4	43.8	46.3	41.2	43.8	42.6
Ab (%)	51.9	44.4	45.8	42.9	44.9	37.5	42.8	47.6	34.7	39.2	35.5	52.5	51.7	54.9	53.2	58.4	54.2	53.3
Or (%)	1.2	1.5	2	2.2	3.3	1.8	2	2.1	1.1	1.9	2.1	1.4	1.9	1.3	0.5	0.4	2	4.1

يتبع جدول (١)

نتائج تحليل فلز البلاجيوكلاز للصخور الأمفيبوليتية المدروسة في منطقة الباير - البسيط

Location	عينات موقع جبل كوباترا دوشانة									عينات موقع الكبير								
Sample No.	QD1	QD2	QD3	QD4	QD5	QD6	QD7	QD8	QD9	KE1	KE2	KE3	KE4	KE5	KE6	KE7	KE8	KE9
SiO2	55.13	55.93	56.97	56.23	57.02	56.37	58.32	57.31	59.76	52.87	54.05	56.34	55.78	54.71	54.91	54.23	54.59	55.18
Al2O3	22.9	22.23	22.18	23.09	22.96	22.38	21.61	23.4	20.54	24.13	25.17	23.27	22.73	23.56	22.91	23.86	23.86	24.86
Fe2O3	1.9	2.21	2.18	0.87	0.62	1.46	0.82	0.41	0.98	2.92	1.42	1.42	1.42	1.91	2.63	2.93	1.87	1.67
CaO	13	13.49	11.25	13.55	12.32	12.45	13.02	12.14	11.93	13.02	13.1	12.16	12.62	12.35	13.05	12.18	12.29	11.19
Na2O	5.86	5.89	6.64	6.04	6.51	6.41	5.89	6.43	6.31	5.43	5.52	5.87	5.74	6.36	5.89	6.15	6.35	6.26
K2O	0.89	0.62	0.65	0.46	0.25	0.49	0.52	0.73	0.22	0.98	0.84	0.83	0.88	0.67	0.43	0.56	0.47	0.32
Sum.	99.7	100.4	99.9	100.2	99.7	99.6	100.2	100.4	99.7	99.4	100.1	99.9	99.2	99.6	99.8	99.9	99.4	99.5
Cation=8(O)																		
Si	2.55	2.57	2.61	2.57	2.61	2.59	2.65	2.6	2.72	2.47	2.48	2.58	2.57	2.53	2.54	2.51	2.52	2.53
Al	1.25	1.2	1.2	1.24	1.24	1.21	1.16	1.25	1.1	1.33	1.36	1.26	1.24	1.28	1.25	1.3	1.3	1.34
Fe3	0.07	0.08	0.08	0.03	0.02	0.05	0.03	0.01	0.03	0.1	0.05	0.05	0.05	0.07	0.09	0.1	0.07	0.06
Ca	0.64	0.66	0.55	0.66	0.6	0.61	0.64	0.59	0.58	0.65	0.64	0.6	0.62	0.61	0.65	0.6	0.6	0.55
Na	0.53	0.52	0.59	0.54	0.58	0.57	0.52	0.57	0.56	0.49	0.49	0.52	0.51	0.57	0.53	0.55	0.57	0.56
K	0.05	0.04	0.04	0.03	0.01	0.03	0.03	0.04	0.01	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02
Sum.	5.08	5.07	5.06	5.07	5.06	5.07	5.03	5.07	5	5.09	5.08	5.05	5.05	5.1	5.07	5.09	5.09	5.06
An (%)	52.7	54.2	46.8	54.2	50.4	50.5	53.5	49.2	50.5	54.2	54.5	51.1	52.4	50.1	53.8	50.5	50.2	49.4
Ab (%)	42.9	42.8	50.1	43.6	48.4	47.1	43.8	47.4	48.3	40.9	41.4	44.6	43.1	46.6	44.1	46.7	47.4	48.8
Or (%)	4.4	3	3.1	2.2	1.2	2.4	2.7	3.4	1.2	4.9	4.1	4.3	4.5	3.3	2.1	2.8	2.4	1.8

يتبع جدول (١)

نتائج تحليل فلز البلاجيوكلاز للصخور الأمفيبوليتية المدروسة في منطقة الباير - البسيط

Location	عينات موقع جبل الغنغرية										
Sample No.	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11
SiO2	55.03	55.47	55.52	54.45	54.41	56.29	56.9	55.93	54.73	53.87	60.68
Al2O3	22.45	24.03	24.36	23.09	23.19	21.94	21.53	20.25	23.67	26.13	20.92
Fe2O3	0.57	0	0	0	2.46	1.08	0.97	2.75	1.32	0.92	0
CaO	16.9	13.43	14.63	15.66	14.46	15.65	12.92	13.46	12.86	12.26	12.57
Na2O	5.32	5.61	5.68	5.49	5.23	4.98	6.75	5.99	6.09	5.88	5.82
K2O	0.12	0.18	0.23	0.4	0.69	0.98	0.65	0.83	0.67	0.69	0
Sum.	100.4	98.7	100.4	99.1	100.4	100.9	99.7	99.2	99.3	99.8	100
Cation=8(O)											
Si	2.53	2.52	2.55	2.53	2.51	2.58	2.62	2.61	2.53	2.47	2.74
Al	1.22	1.28	1.31	1.27	1.26	1.18	1.17	1.11	1.29	1.41	1.11
Fe3	0.02	0	0	0	0.09	0.04	0.03	0.1	0.05	0.03	0
Ca	0.83	0.7	0.71	0.78	0.71	0.77	0.64	0.67	0.64	0.6	0.61
Na	0.48	0.49	0.5	0.49	0.47	0.44	0.6	0.54	0.55	0.52	0.51
K	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06	0.04	0.05	0.04	0.04	0
Sum.	5.09	5	5.07	5.1	5.07	5.06	5.1	5.08	5.09	5.09	4.96
An (%)	63.3	58.1	58.3	60.1	58.4	60.5	49.8	53.2	52.1	51.7	54.4
Ab (%)	36.2	41.1	41.2	38.1	38.2	34.8	47.3	42.8	44.6	44.9	45.6
Or (%)	0.5	0.8	0.5	1.8	3.4	4.7	2.9	4	3.3	3.4	0

جدول (٢)

نتائج تحليل فلز الهورنبلند للصخور الأمفيبوليتية المدروسة في منطقة الباير - البسيط

Location	عينات موقع جبل عيوران											عينات موقع بيت بلدور						
Sample No.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	BB1	BB2	BB3	BB4	BB5	BB6	BB7
SiO2	48.7	47.77	47.07	49.95	49.69	49.02	42.72	43.08	43.6	43.3	42.82	49.17	47.54	48.64	48.21	43.22	50.9	49.17
TiO2	1.35	1.25	2.83	1.15	1.17	1.35	2.04	2.09	2.22	2.25	2.13	0.78	0.47	0.51	0,56	1.12	1.63	0.78
Al2O3	11.67	11.27	11.65	11.92	11.87	11.64	13.39	13.22	12.84	13.11	13.24	9.78	11.95	10.19	10.58	13.23	12.91	9.78
MgO	13.72	13.43	12.43	14.56	14.1	14.07	10.77	11.17	11.33	11.04	11.04	13.18	12.26	13.41	12.79	8.64	8.3	13.18
CaO	11.68	11.66	11.58	11.47	11.75	11.96	12.1	12.31	12.51	12.38	12.35	12.63	12.25	12.26	12.44	11.91	10.52	12.62
FeO	10.49	11.93	11.95	8.98	9.8	9.83	14.81	14.22	13.84	12.95	14.12	12.37	12.66	12.66	12.55	17.77	8.23	13.37
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	1.05	1.01	0.9	2.19	1.32	0.72	0.74	0.74	0.97	1.04	4.05	0.72
Na2O	1.32	1.12	1.44	1.42	1.12	1.51	1.89	1.81	1.65	1.72	1.85	1.11	1.54	1.3	1.29	1.49	3	1.11
K2O	0.67	0.57	1.05	0.69	0.51	0.62	1.32	1.24	1.2	1.3	1.3	0.33	0.39	0.35	0.37	1.94	0.95	0.33
Sum.	99.6	99	100	100.1	100.0	100	100.1	100.2	100.1	100.2	100.2	100.1	99.8	100.1	99.8	100.4	100.5	101.1
Cation=23 (O)																		
Si	6.84	6.81	6.68	5.92	6.91	6.85	6.24	6.26	6.33	6.28	6.24	6.95	6.77	6.9	6.85	6.38	7.01	6.95
AL(4)	1.16	1.19	1.32	2.08	1.09	1.15	1.76	1.74	1.67	1.72	1.76	1.05	1.23	1.1	1.15	1.62	0.99	1.05
Sum. (Z)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al(6)	0.77	0.71	0.63	0.87	0.86	0.77	0.55	0.53	0.52	0.52	0.51	0.6	0.78	0.61	0.64	0.68	0.68	0.6
Fe3	0	0	0	0	0	0	0.12	0.11	0.1	0.24	0.14	0.08	0.03	0.08	0.09	0.12	0.42	0.08
Ti	0.16	0.13	0.3	0.12	0.12	0.14	0.22	0.23	0.24	0.25	0.23	0.08	0.05	0.05	0.07	0.12	0.17	0.08
Mg	2.87	2.86	2.63	3.01	2.92	2.93	2.35	2.42	2.45	2.39	2.4	2.78	2.6	2.84	2.71	1.9	1.82	2.78
Fe2	1.19	1.31	1.43	1	1.1	1.15	1.77	1.71	1.68	1.6	1.71	1.45	1.49	1.48	1.48	2.18	1.95	1.46
Sum. (Y)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Fe2	0.04	0.12	0	0.04	0.05	0	0.04	.0.08	0	0	0.02	0	0.02	0.08	0.08	0.01	0	0
Ca	1.76	1.78	1.76	1.7	1.75	1.79	1.89	1.95	1.94	1.92	1.92	1.92	1.87	1.86	1.84	1.88	1.57	1.92
Na	0.2	0.1	0.24	0.26	0.2	0.21	0.07	0.05	0.06	0.08	0.06	0.08	0.11	0.06	0.08	0.11	0.43	0.08
Sum. (X)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Na	0.16	0.21	0.16	0.12	0.1	0.2	0.47	0.46	0.41	0.41	0.47	0.22	0.31	0.3	0.28	0.32	0.36	0.27
K	0.12	0.1	0.19	0.11	0.09	0.11	0.25	0.23	0.22	0.24	0.24	0.05	0.07	0.06	0.07	0.37	0.17	0.06
Sum. (A)	0.28	0.31	0.35	0.23	0.19	0.31	0.72	0.56	0.63	0.65	0.71	0.28	0.38	0.36	0.34	0.69	0.54	0.33

يتبع جدول (٢)

نتائج تحليل فلز الهورنبلند للصخور الأمفيبوليتية المدروسة في منطقة الباير - البسيط

Location	عينات موقع جبل كوباترا دوشانة									عينات موقع الكبير								
Sample No.	QD1	QD2	QD3	QD4	QD5	QD6	QD7	QD8	QD9	KE1	KE2	KE3	KE4	KE5	KE6	KE7	KE8	KE9
SiO2	45.5	45.7	45.3	42.96	43.82	43.19	46.14	45.73	45.8	46.26	45.44	42.65	41.97	42.49	48.28	48.25	48.48	47.85
TiO2	1.33	1.25	1.35	0.65	1.44	1.33	1.6	1.5	1.51	1.65	1.77	1.91	1.98	2.06	1.76	1.87	1.89	0.77
Al2O3	12.12	12.28	12.34	12.6	13.4	12.56	11.38	11.7	11.57	9.85	10.61	12.93	13.19	12.87	11.85	12.49	10.87	10.75
MgO	14.58	14.62	14.67	13.67	10.92	12.23	13.88	14	14.1	13.28	12.43	10.5	10.64	10.62	15.4	15.72	16.29	12.56
CaO	12.14	12.16	12.27	11.58	11.83	11.98	12.48	12.35	12.34	12.26	12.2	12.42	12.17	12.3	11.58	11.91	11.84	12.53
FeO	10.63	10.68	10.43	13.61	12.36	14.3	10.88	10.06	11.06	13.74	12.44	14.47	13.91	13.76	7.04	6.64	7.77	12.72
Fe2O3	0.89	0.95	1.15	1.38	1.97	1.46	1.35	1.36	1.37	0.39	0.63	2.86	3.87	3.6	1.96	0.4	0.96	1.33
Na2O	1.9	1.95	2.05	2.57	1.91	1.68	2.08	1.99	2.05	1.38	1.54	1.32	1.46	1.44	1.92	2	1.99	1.26
K2O	0.55	0.43	0.47	0.36	0.31	0.3	0.37	0.42	0.41	0.97	1.02	1.17	1.15	1.21	0.37	0.47	0.26	0.4
Sum.	99.6	100.0	100.0	99.4	98.0	99.0	100. 2	99.1	100.2	99. 8	98. 1	100.2	100.3	100. 4	100. .2	99. 8	100. 4	100.2
Cation=23 (O)																		
Si	6.49	6.49	6.44	6.41	6.33	6.45	6.57	6.52	6.53	6.7	6.58	6.24	6.14	6.2	6.7	6.79	6.76	6.81
AL(4)	1.51	1.51	1.56	1.59	1.77	1.55	1.43	1.48	1.47	1.3	1.42	1.76	1.86	1.8	1.3	1.21	1.25	1.19
Sum. (Z)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al(6)	0.5	0.54	0.51	0.62	0.67	0.65	0.47	0.47	0.47	0.37	0.39	0.47	0.41	0.42	0.65	0.51	0.54	0.65
Fe3	0.1	0.11	0.13	0.39	0.48	0.16	0.15	0.15	0.15	0.03	0.07	0.22	0.43	0.4	0.33	0.04	0.07	0.1
Ti	0.19	0.13	0.14	0.07	0.11	0.15	0.17	0.17	0.2	0.18	0.2	0.21	0.22	0.22	0.2	0.2	0.2	0.09
Mg	3.1	3.1	3.11	2.39	2.28	2.34	2.93	2.97	2.98	2.85	2.68	2.29	2.32	2.32	3.18	2.23	3.29	2.66
Fe2	1.11	1.12	1.2	1.53	1.41	1.72	1.28	1.24	1.2	1.57	1.66	1.81	1.62	1.64	0.74	1.02	0.9	1.5
Sum. (Y)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Fe2	0.13	0.14	0.13	0.16	0	0.02	0.07	0.07	0.06	0.06	0.08	0.03	0.06	0.03	0.03	0.04	0.05	0.01
Ca	1.87	1.85	1.87	1.71	1.87	1.91	1.88	1.88	1.88	1.84	1.84	1.9	1.85	1.89	1.73	1.79	1.76	1.9
Na	0	0.01	0	0.13	0.13	0.07	0.05	0.05	0.06	0.1	0.08	0.07	0.09	0.08	0.24	0.17	0.19	0.09
Sum. (X)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Na	0.52	0.54	0.58	0.61	0.42	0.45	0.53	0.5	0.52	0.37	0.4	0.36	0.41	0.36	0.28	0.38	0.36	0.27
K	0.1	0.08	0.09	0.07	0.06	0.04	0.08	0.08	0.08	0.19	0.19	0.22	0.22	0.22	0.07	0.08	0.05	0.07
Sum. (A)	0.62	0.62	0.67	0.68	0.48	0.49	0.61	0.58	0.6	0.56	0.59	0.58	0.61	0.58	0.35	0.46	0.41	0.34

يتبع جدول (٢)

نتائج تحليل فلز الهورنبلند للصخور الأمفيبوليتية المدروسة في منطقة الباير - البسيط

Location	عينات موقع جبل الغنغرية										
Sample No.	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11
SiO2	46.53	45.4	45.73	45.52	45.51	45.5	45.55	45.66	46.4	44.85	45.52
TiO2	1.55	1.5	1.47	1.19	1.26	1.45	1.52	1.39	1.04	0.66	0.68
Al2O3	11.77	12.1	11.97	12.81	11.44	11.97	10.01	11.65	12.92	13.56	12.36
MgO	13.51	13.9	16.65	12.44	13.35	18.79	12.6	13.2	13.7	14.58	14.23
CaO	11.97	12.24	12.22	13.1	12.21	12.17	12.38	12.6	11.55	11.51	12.32
FeO	10.4	10.57	11.46	12.64	13.14	11.98	13.92	12.87	9.66	9.47	8.87
Fe2O3	2.04	2.08	1.1	0	0	0.7	0	0	2.26	3.51	3.28
Na2O	1.95	1.69	1.73	1.84	2.13	1.72	1.77	1.82	1.76	1.61	1.52
K2O	0.72	0.68	0.78	0.52	0.95	0.79	1.02	0.96	0.91	0.62	0.45
Sum.	100.4	100. 2	103.1	100. 1	100	105.1	98. 8	100. 2	100.2	100. 4	99.2
Cation=23 (O)											
Si	6.59	6.47	6.52	6.54	6.56	6.5	6.58	6.55	6.55	6.35	6.66
AL(4)	1.41	1.53	1.48	1.46	1.44	1.5	1.42	1.45	1.45	1.65	1.44
Sum. (Z)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al(6)	0.56	0.5	0.53	0.6	0.49	0.52	0.49	0.52	0.73	0.61	0.61
Fe3	0.22	0.22	0.12	0	0	0.08	0	0	0.24	0.37	0.35
Ti	0.16	0.17	0.16	0.15	0.14	0.16	0.17	0.15	0.11	0.07	0.06
Mg	2.85	2.95	2.93	2.66	2.86	2.94	2.71	2.82	2.88	3.08	2.99
Fe2	1.22	1.16	1.26	1.59	1.51	1.31	1.72	1.51	1.04	0.87	0.99
Sum. (Y)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Fe2	0.01	0.08	0.1	0.02	0.07	0.06	0.07	0.04	0.1	0.2	0.06
Ca	1.81	1.8	1.8	1.87	1.84	1.86	1.83	1.9	1.75	1.62	1.84
Na	0.18	0.12	0.1	0.11	0.09	0.08	0.1	0.06	0.15	0.18	0.1
Sum. (X)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Na	0.36	0.41	0.43	0.51	0.55	0.46	0.47	0.48	0.33	0.43	0.36
K	0.14	0.13	0.14	0.18	0.18	0.14	0.19	0.18	0.16	0.11	0.08
Sum. (A)	0.5	0.54	0.57	0.69	0.73	0.6	0.66	0.66	0.49	0.54	0.46

كما وجد أن قسم منه يحقق العلاقة $(Na+K)_a > 0.5$ (الشكل - a٣) والقسم الآخر يحقق العلاقة

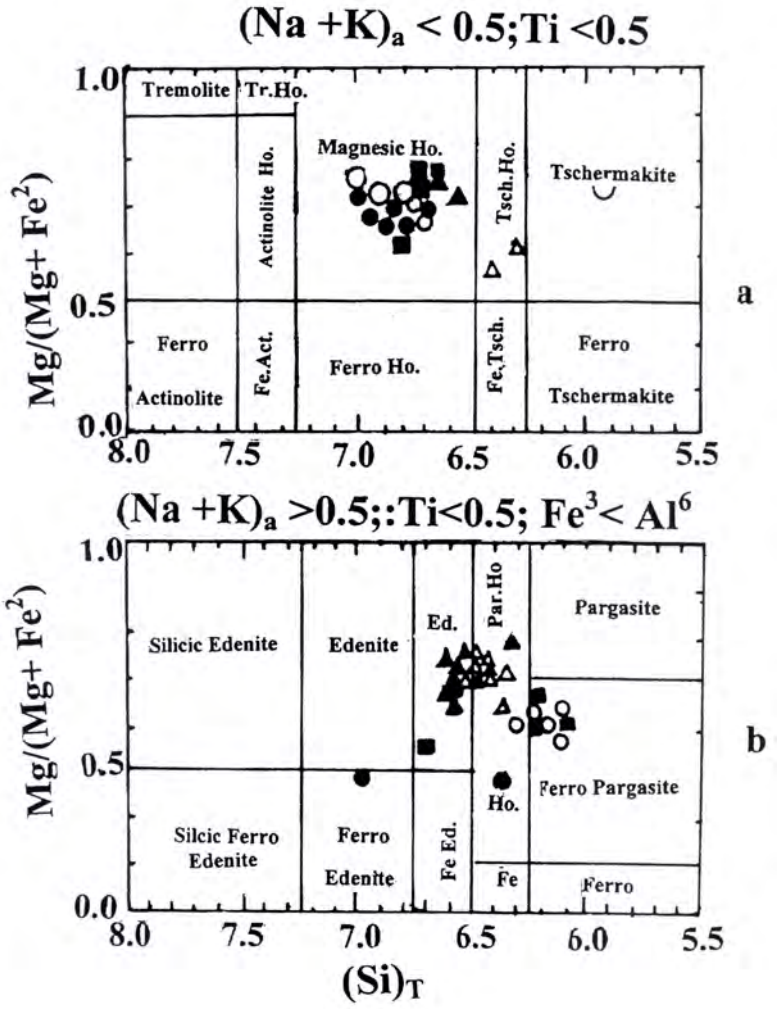
$(Na+K)a < 0.5$ (الشكل - b٣).

تتراوح قيم $(Si)_T$ في هورنبلند عينات موقع عيوران في المجال (٥,٩٢ -٦,٩١) بينما تتراوح قيم $(Al)_T$ بين (١,٠٩ -٢,٠٨) وقيم c (Al) في المجال (٠,٥١ - ٠,٨٧) وبشكل واضح يتم تميز نوعيين رئيسين من الهورنبلند في عينات موقع عيوران. النوع الأول فيه قيم $(Na)_B$ تتراوح بين(٠,١٠ - ٠,٢٦) و قيم $Mg/(Mg+ Fe^2)$ تتراوح بين (٠,٦٥ - ٠,٧٥) و قيم $(Na+K)_a$ في المجال (٠,١٩ -٠,٣٥) ويقع في المجال المخصص للهورنبلند المغنيزية (الشكل - a٣)، في حين يتميز النوع الثاني من الهورنبلند بقيم منخفضة من $(Na)_B$ تتراوح بين(٠,٠٥ -٠,٠٨) و قيم $Mg/(Mg+ Fe^2)$ تتراوح بين (٠,٥٧ - ٠,٦٠) و قيم $(Na +K)_a$ تتباين في المجال (٠,٥٦ -٠,٧٢) و تقع في المجال المحدد للهورنبلند من نوع بارغازيت حديدي هورنبلند وبارغازيت هورنبلند(شكل - b٣).

يقسم هورنبلند عينات موقع بيت بلدور أيضا إلى نوعين، الأول يتميز باحتوائه على نسب منخفضة من $Mg/(Mg+ Fe^2)$ تتراوح في المجال (٠,٤٧ -٠,٤٨) و قيم مرتفعة من $(Na +K)_a$ تتراوح ما بين(٠,٥٤ -٠,٦٩) و يقع في المجال المخصص للهورنبلند من نوع إيدينيت حديدي و البارغازيت هورنبلند(شكل -b٣)، أما النوع الثاني فيتميز بقيم منخفضة من $(Na +K)_a$ تتراوح ما بين (٠,٢٨ -٠,٣٨) ونسب عالية من $Mg/(Mg+ Fe^2)$ تتراوح في المجال (٠,٦٤ -٠,٦٦) وتقع في المجال المخصص للهورنبلند المغنيزي (الشكل - a٣).

كذلك يبدي هورنبلند عينات موقع كوباترادوشانة تنوعا مماثلاً، فالنوع الأول يظهر قيما منخفضة من $(Na +K)_a$ تتراوح ما بين(٠,٤٨ -٠,٤٩) أما النوع الثاني فيتميز

بقيم مرتفعة من $(Na+K)_a$ تتراوح بين (٠,٥٨ -٠,٦٢) و يقع في المجال المحدد للهورنبلند من نوع تشارماكيت (الشكل - a٣).



شكل (٣) : مخطط تصنيف فلز الهورنبلند للعينات الأمفيبوليتية المدروسة، الباحث (Leake, 1978).

أيضا يبدي هورنبلند عينات موقع الغنغرية انقساما وتنوعا واضحا، حيث يبدي النوع الأول قيما منخفضة من $(Na+K)_a$ تتراوح بين (٠,٤٦ -٠,٤٩) و يقع في المجال المحدد للهورنبلند من نوع الهورنبلند المغنيزي (الشكل - a٣)، في حين يتميز النوع الثاني من الهورنبلند بقيم أعلى من $(Na +K)_a$ تتراوح بين(٠,٥٠ -٠,٧٣) و يقع في المجال المحدد للهورنبلند من نوع إيدينيت هورنبلند وبشكل جزئي من نوع بارغازيت هورنبلند(شكل - b٣).

يقسم هورنبلند عينات موقع الكبير أيضا إلى نوعين، يحتوى الأول على قيما منخفضة من $(Na +K)_a$ تتراوح بين (٠,٣٥ -٠,٤٦) و قيم مرتفعة من $Mg/(Mg+ Fe^2)$ تتراوح بين (٠,٦٤ -٠,٨١) و يقع في المجال المحدد للهورنبلند من نوع الهورنبلند المغنيزي (شكل - a٣)، أما النوع الثاني فيتميز بقيم مرتفعة من $(Na +K)_a$ تتراوح بين (٠,٥٦ -٠,٦١) و قيم منخفضة من $Mg/(Mg+ Fe^2)$ تتراوح بين (٠,٥٦ - ٠,٦٤) و يقع في المجال المحدد للهورنبلند من نوع البارغازيت هورنبلند و البارغازيت الحديدي وبشكل جزئيى للهورنبلند من نوع إيدينيت هورنبلند(شكل - b٣).

وتجدر الاشارة هنا أنه لم يلاحظ أي ارتباط بين اختلاف التركيب الكيميائي لفلز الهورنبلند وبالتالي نوعه وتسميته مع التجمع الفلزي الممثل لعينات الموقع الواحد أو لعينات المواقع المختلفة.

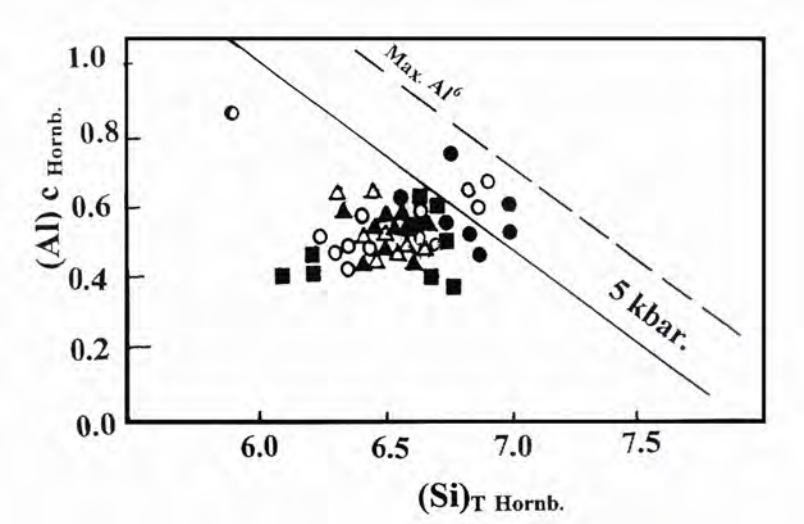
تحديد ضغط التحول وحرارة التحول:

يتوفر في المراجع العلمية المختصة عدد كبير من مخططات التوازن السحنية المقترحة من أجل تحديد الشروط الترموديناميكية خاصة ما يتعلق بالضغط (Geobarometer) والحرارة (Geothermometer) لحادثة التحول.

تستند جميع هذه المخططات على ربط التغيرات في التراكيب الكيميائية للفلزات المشاركة بتركيب التجمعات الفلزية (Mineralogical paragensis) و تعتمد وبشكل

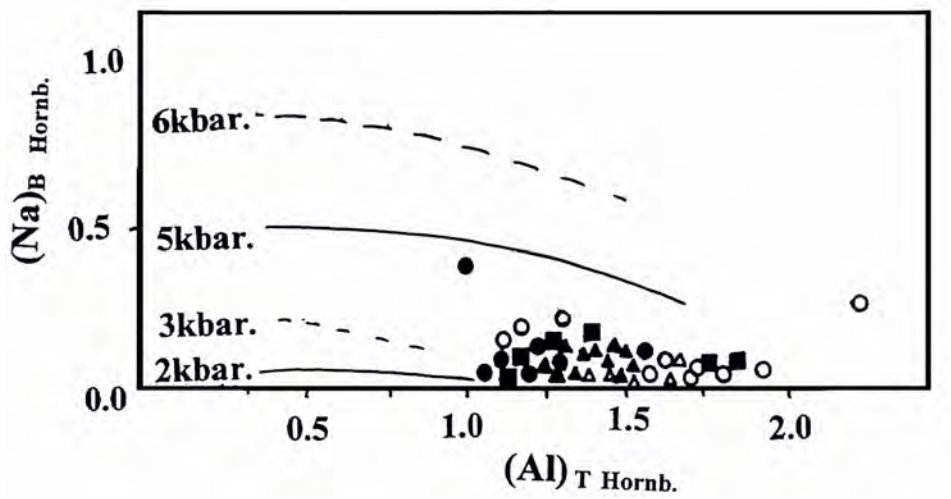
رئيس على علاقة التبادل الكيميائي بين فلزين أو أكثر فبعض هذه المخططات البترولوجية يعتمد على العلاقة التبادلية بين فلزي الغارنت والبيروكسين المائل-Garnet) (Clinopyroxene وبعضها يعتمد على التغيرات المتبادلة بين فلزي الغارنت والبيوتيت (Garnet-Biotite) وبعضها يعتمد على التبادلات المشتركة بين فلزات الغارنت - بلاجيوكلاز وكوارتز(Garnet-Plagioclase-Quartz). في بحثنا هذا سيتم تقدير شروط حادثة التحول من خلال اسقاط نتائج تحليل فلزي البلاجيوكلاز و الهورنبلند المتوفرة لدينا على مخططات التوازن السحنية المعدة لهذا الغرض وهي تنقسم لمخططات مخصصة إما لتقدير قيمة ضغط التحول (Geobarometer) مثل المخطط $(Al)_{T\ Hornb.}$ مقابل $(Na)_{B\ Hornb.}$ للباحث (Brown,1977) و المخطط $(Al)_{c\ Hornb.}$ مقابل قيم $(Si)_{T\ Hornb.}$ للباحث (Rasse,1974)، أو مخططات مخصصة لتقدير قيمة حرارة التحول(Geothermometer) مثل مخطط $ln(An/Ab)_{Plag.}$ مقابل $ln(Ca/Na)_{B\ Hornb.}$ للباحث (Spear,1980)، ومخططات مخصصة لتقدير قيمة حرارة و ضغط التحول(Geothermobarometer) مثل مخطط $Ca/(Ca+Na+K)_{Plag.}$ مقابل $\sum Al_{Hornb.}$ للباحثة (Plyusnina,1982) ومخطط $100Na/(Ca+Na)_{Hornb.}$ مقابل $100Al/(Si+Al)_{Hornb.}$ للباحثان (Laird and Albee,1981b).

لقد أوضح الباحث (Rasse,1974) في مخططه $(Al)_{c\ Hornb.}$ مقابل قيم $(Si)_{T\ Hornb.}$ وجود علاقة طردية ما بين تزايد شدة ودرجة ضغط حادثة التحول مع محتوى عنصر الألمنيوم في الموقع (C) للبناء البلوري لفلز الهورنبلند. و باسقاط قيم عيناتنا المدروسة على مخطط الباحث (Rasse,1974) الشكل -٤ نجد أن معظمها يقع أسفل الحد المميز لمقدار شدة ضغط التحول ٥ كيلوبار، بعض العينات تقع على الجانب العلوى لهذا الحد، إلا أن جميع العينات المدروسة تتمركز تحت الحد النظري والأعظمي لتوزع عنصر الألمنيوم ^{6}Al. Max في الموقع (C) و المقترح من قبل الباحث (Leake,1964) (الشكل ٤) .



شكل (٤) : مخطط تحديد درجة ضغط حادثة التحول $(Al)_{c\ Hornb.}$ مقابل قيم $(Si)_{T\ Hornb.}$ الباحث (Rasse,1974).

حدد الباحث (Brown,1977) على مخططه $(Na)_{B\ Hornb.}$ مقابل $(Al)_{T\ Hornb.}$ لفلز الهورنبلند و المخصص لتقدير شدة و درجة ضغط حادثة التحول عدة مجالات لضغط التحول تمتد حتى الجزء العلوي لسحنة الأمفيبوليت و حسب Brown فإن ازدياد شدة ودرجة ضغط حادثة التحول يرتبط ايجابيا مع تزايد نسبة عنصر الصوديوم في الموقع البلوري(B) في فلز الهورنبلند ، هذا ويتضح لدى اسقاط قيم عيناتنا المدروسة على مخطط (Brown,1977) أنها تقع في المجال الممتد من ٢كيلوبار وحتى ٥ كيلوبار(شكل ٥) وهذه النتيجة تؤكد ما توصلنا إليه لدى اختبار مخطط (Rasse,1974).

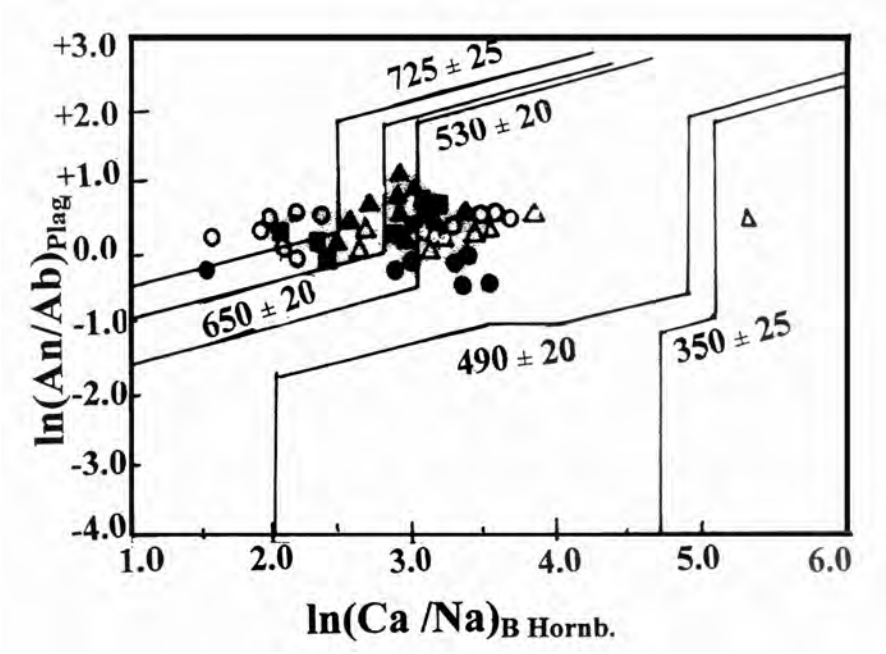


شكل (٥) : مخطط تحديد درجة ضغط حادثة التحول $(Na)_{B\ Hornb.}$ مقابل $(Al)_{T\ Hornb.}$ الباحث (Brown,1977).

يكون التبادل المشترك لفلزي البلاجيوكلاز والهورنبلند في الصخور المتحولة حسب الباحث (Spear,1980) مرتبطا ارتباطا وثيقا بمقدار درجة حرارة حادثة التحول بحيث يكون التفاعل التبادلي التالي محققا.

(ألبيت + تشارماكيت) ⇔ (أنورتيت + غلوكوفان)

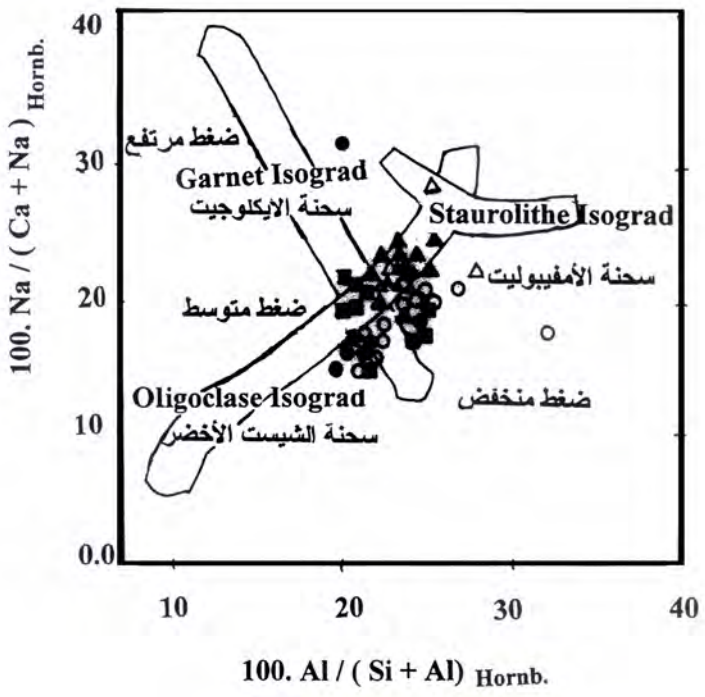
يدل اسقاط قيم عيناتنا على مخطط الباحث (Spear,1980) $\ln(An/Ab)_{Plag.}$ مقابل $\ln(Ca/Na)_{B\ Hornb.}$ أنها تقع في المجال الحراري الممتد من ٤٩٠ ± ٢٠ م^{o} إلى المجال الحراري ٧٢٥±٢٥ م^{o} (شكل -٦).



شكل (٦) : مخطط تحديد درجة حرارة حادثة التحول $\ln(An/Ab)_{Plag.}$ مقابل $\ln(Ca/Na)_{B\ Hornb.}$، الباحث (Spear,1980).

أشار الباحثان (Laird and Albee,1981b) إلى تواجد علاقة ارتباط لشكل توزع العناصر الكيميائية في البنية البلورية لفلز الهورنبلند مع تغيرات درجات ضغط وحرارة درجة حادثة التحول. فزيادة قيم العناصر الكاتيونية $(Na)_B$، $(Al)^c_T$، $(Al)^c$، $(Ti)^c$ مع تناقص قيم العناصر الكاتيونية $(Si)_T$ و $(Mg)^c$ ترتبط مع سحنة تحول عالية الدرجة و تكافئ سحنة الأمفيبوليت (Amphibolite facies) بشروطها، وعلى العكس فإن تناقص قيم العناصر الكاتيونية $(Na)_B$، $(Al)^c_T$، $(Al)^c$، $(Ti)^c$ مع تزايد قيم العناصر الكاتيونية $(Si)_T$ و $(Mg)^c$ تكون مرتبطة مع سحنات تحول منخفضة الدرجة و تكافئ سحنة الشيست الأخضر (Greenschist facies) بشروطها.

يشير اسقاط قيم عيناتنا المدروسة على المخطط $100Na/(Ca+Na)_{Hornb.}$ مقابل $100Al/(Si+Al)_{Hornb.}$ للباحثان (Laird and Albee,1981b) إلى شروط تحول منخفضة درجة ضغط التحول ومتوسطة درجة حرارة التحول و تكافئ غالبا الجزء العلوي لسحنة الشيست الأخضر وتمتد إلى الجزء الأسفل لسحنة الأمفيبوليت (شكل٧).

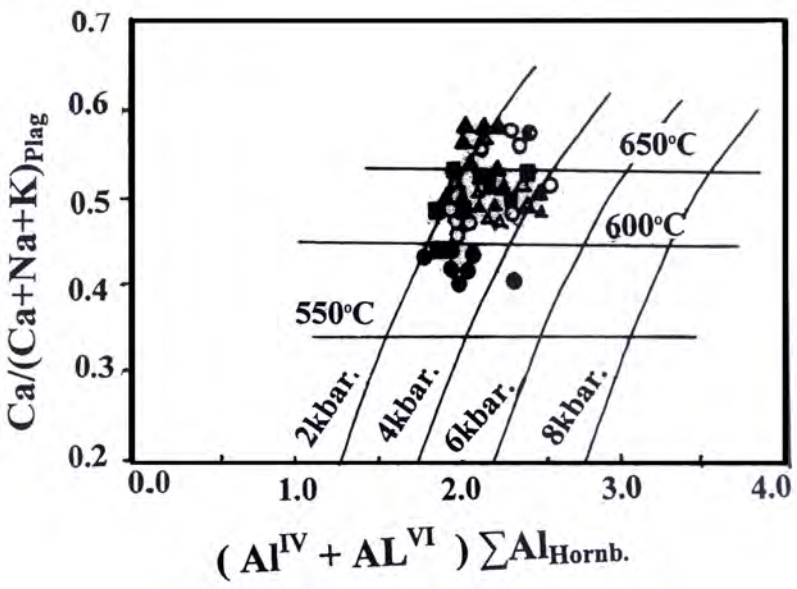


شكل (٧) : مخطط تحديد درجة حرارة وضغط حادثة التحول $100Na/(Ca+Na)_{Hornb.}$ مقابل $100Al/(Si+Al)_{Hornb.}$ للباحثان (Laird and Albee,1981b).

أوضحت (Plysnina,1982) في مخططها $Ca/(Ca+Na+K)_{Plag.}$ مقابل $\sum Al_{Hornb.}$ العلاقة الايجابية والطردية بين ازدياد عنصر الكالسيوم بالموقع (M) في فلز البلاجيوكلاز وبالتالي ازدياد نسبة الأنورتيت مع تزايد درجة حرارة حادثة التحول،

كما أثبتت وجود العلاقة الايجابية والطردية بين ازدياد كمية عنصر الألمنيوم الكلي في البناء البلوري ($Al^{IV} + AL^{VI}$) لفلز الهورنبلند مع تزايد درجة وشدة درجة ضغط التحول.

يشير اسقاط عيناتنا المدروسة على مخطط (Plyusnina,1982) $Ca/(Ca+Na+K)_{Plag.}$ مقابل $\sum Al_{Hornb.}$ (شكل ٨) إلى أنها تشكلت في شروط ضغط لحادثة التحول تتراوح في المجال ٢ - ٥ كيلوبار وتثبت ما توصلنا إليه لدى اختبار مخطط الباحث (Brown,1977) ومخطط (Rasse,1974) كما تشير إلى حرارة تحول لغالبية العينات المدروسة تتراوح بين ٥٥٠ -٦٥٠ م° مما يثبت ما تم التوصل إليه عند اختبار مخطط (Spear,1980).



شكل (٨) : مخطط تحديد درجة حرارة وضغط حادثة التحول $Ca/(Ca+Na+K)_{Plag.}$ مقابل $\sum Al_{Hornb.}$، الباحثة (Plyusnina,1982).

حادثة التحول :

ألغت المعطيات الجيولوجية الحديثة للصخور المتحولة المرافقة للمعقدات الأوفيوليتية المنتشرة في منطقة شرقي الحوض المتوسطي افتراض (Dubertret,1953) و (Chenevoy,1959) حول تشكل الصخور المتحولة المتكشفة في منطقة الباير - البسيط نتيجة حادثة تحول تماسية ديناميكية ذات ضغوط عالية ، كما ألغت افتراض (Piro,1967) بتشكل هذه الصخور نتيجة لتماس مجموعة الصخور البركانية الرسوبية مع الصخور القاعدية وفوق القاعدية، مع الاشارة هنا إلى أن الباحث (Piro,1967) كان أول من أشار إلى تواجد تفاوت في سحنات التحول حددها بثلاثة سحن تتزايد من الجنوب إلى الشمال وفق الشكل التالي "سحنة الشيست الأخضر، سحنة الأمفيبوليت و سحنة الايكلوجيت".

يقترح (Robertson and Dixon, 1984) أن تشكل الصخور المتحولة المرافقة للمعقدات الأوفيوليتية المنتشرة في منطقة شرقي الحوض المتوسطي نتيجة تحول مجموعة الصخور البركانية الرسوبية بفعل الاجهادات و القوى المرافقة لعملية الانجراف أثناء عمليات النقل والطي. بينما يفترض (Withechurch et al. 1984) بأن تشكل هذه الصخور كان نتيجة انزلاق جزء من مجموعة الصخور البركانية الرسوبية المرافقة لمجموعة الصخور الآوفيوليتية في نطاق سطح "بنيوف" الانغراسي أثناء حادثة تضيق حوض التيتس(Tethys basin) ، وأن حادثة التحول تتطلب شروط مكافئة لسحنة الشيست الأخضر تمتد إلى سحنة الأمفيبوليت، وحسب (Parrot and Withechurch,1978) فإن حادثة التحول هذه كانت وحيدة الطور و تمت في الجزء الداخلي المحيطي لنطاق سطح بنيوف الانغراسي وقبل تراكب هذا الجزء علي الجانب الشمالي الغربي للسطيحة العربية، وبالتالي تم تحديد سحنة تحول تتراوح بدرجتها من سحنة الشيست الأخضر تمتد إلى سحنة الأمفيبوليت.

لقد أدت الدراسة البتروغرافية التفصيلية للصخور الأمفيبوليتية المتحولة والمتكشفة في منطقة الباير– البسيط (Safarjalani 2000) إلى تحديد التجمعات الفلزية التالية (Mineralogical paragensis) لكل موقع :

- منطقة "عيوران، منطقة بيت بلدور و الكبير" : هورنبلند + بلاجيوكلاز+ كوارتز ± إيبيدوت ± بيوتيت ± كلوريت ± فلزات كربوناتية(كالسيت) ± فلزات معدنية.
- منطقة " الغنغرية و كوباترادوشانة " هورنبلند + بلاجيوكلاز + كوارتز ± إيبيدوت ± غارنت (غروسولار) ± بيروكسين مائل (ديوبسيد) ± بيوتيت ± كلوريت ± فلزات كربوناتية(كالسيت) .

تعتبر مشاركة فلز الكلوريت مع التجمع الفلزي" كوارتز + كالسيت + فلزات معدنية مثل الهيماتيت "في العديد من العينات الصخرية الأمفيبوليتية المدروسة ثانوية وتتواجد بنسب محدودة <١٪ من التركيب الفلزي الاجمالي وتعتبر في أغلب الحالات نتاجا مباشرا لتحلل بعض الفلزات المرافقة و هذا التحلل يتم غالبا في سحنة تحول تراجعية (Retrograde) وفق التفاعل التالي والمقترح من (Franz,1992) :

$$2.07\,Hornb. + 0.18\,Ep. + 1.81\,Ilm. + 5.75\,H_2O + 2.4\,CO_2 \Leftrightarrow$$
$$1\,Chl. + 1.18\,Alb + 0.59\,Hem. + 1.99\,Tit. + 2.4\,Cc + 2.89\,Qz.$$

لم تحدد دراسة (Parrot,1977) للصخور المتحولة المتكشفة في منطقة الباير – البسيط أي تجمع فلزي حرج، إلا أنها أشارت إلى اعتبار أي تواجد لفلز الكلوريت ضمن التجمع الفلزي المحدد في الصخور المتحولة مؤشرا إلى سحنة تحول منخفضة الدرجة تكافئ سحنة الشيست الأخضر بشروطها، هذا ويقترح (Kenkmann and Dresen,1996a) لتشكل فلز الكلوريت سحنات تحول تراجعية و ذلك على حساب تحول فلز البيروكسين إلى فلز الهورنبلند في مجال تحول حراري يتراوح بين ٥٠٠ - ٥٥٠ م^{o} ومجال ضغط تحول يقدر بـ٣ كيلوبار.

وبشكل عام نجد أن التجمع الفلزي المحدد للعينات الصخرية الأمفيبوليتية المدروسة من منطقة "الكبير، بيت بلدور،عيوران" يتوافق مع التجمع الفلزي التالي:" بلاجيوكلاز+ هورنبلند + كوارتز± إيبيدوت ± بيوتيت ± كلوريت ± فلزات كربوناتية، و المقترح من (Bucher and Frey,1994) , (Mathe,1985) (Wimmenauer,1985) و الممثل لسحنة الشيست الأخضر(Greenschist facies) ، إن استقرار التجمع الفلزي هذا يتطلب شروط حرارة تشكل تتراوح في المجال ٤٧٥ -٥٤٠ م° وفق تقديرات Apted and Liou,1983) وضغط تشكل يتراوح ما بين ١,٥ - ٢,٨ كيلوبار حسب تقديرات (Spear,1984a;b) .

إن ظهور فلز البيروكسين المائل(Clinopyroxene) من نوع ديوبسيد (Diopside) مرافقاً لفلز الغارنت (Garnet) من نوع غروسولار (Grossular) في بعض العينات الصخرية الأمفيبوليتية المدروسة من منطقة الغنغرية وكوباترادوشانة يشير غالبا إلى انتقالنا لدرجة تحول تزايدية (Progressive metamorphism grad) تقع في سحنة الأمفيبوليت (Amphibolit facies) والتي تتوافق غالبا مع التجمع الفلزي التالي" بلاجيوكلاز+ هورنبلند + كوارتز± غرينا ± بيروكسين مائل (ديوبسيد) ± بيوتيت" والمقترح من . (Wimmenauer, 1985) (Mathe,1985).

إن مثل هذا الانتقال لسحنة الأمفيبوليت يتطلب حالة توازن سحنية واستقرارية لتواجد فلز الهورنبلند مع فلز البلاجيوكلاز وهذا يتحقق عموما في شروط حرارية تتراوح ما بين ٤٨٠ -٥٧٠ م° وضغوط مقدرة على الأقل بـ٢كيلوبار (Broeker,1985) (Dilek and Whitney, 1999).

يكون فلز البيروكسين المائل (Clinopyroxene) من نوع ديوبسيد المرافق للفلزات الكربوناتية أو الكربوناتية السيليكاتية ثابتا في شروط سحنة التحول من نوع إيبيدوت - أمفيبوليت(Chalokwu and Harley,1990), , (Schuhmacher,1991)

(Droop,198) في حين أن الانتقال لسحنة تحول افتراضية أعلى مثل سحنة الغرانوليت (Granulite facies) تستلزم تشكل واستقرار لفلز البيروكسين المستقيم (Orthopyroxene) حسب نتائج الباحث (Spear,199) وهذا غير متوفر ضمن التجمع الفلزي لكافة العينات الصخرية الأمفيبوليتية المدروسة في منطقة الباير – البسيط.

كنتيجة لما سبق يمكن القول أن جميع العينات الصخرية الأمفيبوليتية المدروسة من منطقة "الكبير، بيت بلدور وعيوران" كانت قد تشكلت في الجزء العلوي من سحنة الشيست الأخضر و التي تتميز بتجمع فلزي يتألف من " هورنبلند + بلاجيوكلاز+ كوارتز ± إبيدوت ± بيوتيت ± كلوريت ± فلزات كربوناتية (كالسيت) ± فلزات معدنية"، بينما تم تشكل الصخور الأمفيبوليتية المدروسة من منطقة الغنغرية وكوباترادوشانة غالبا في الجزء الأسفل من سحنة الأمفيبوليت وبتجمع فلزي يتألف من :" هورنبلند + بلاجيوكلاز + كوارتز ± إبيدوت ± غارنت ± بيروكسين مائل ± بيوتيت ± كلوريت ± فلزات كربوناتية (كالسيت) ".

هذه النتيجة تتوافق مع الشروط الجيوحرارية والجيوضغطية لحادثة التحول الإقليمية وحيدة الطور (Monophase deformation) والتي تم الحصول عليها من خلال اختبار مخططات توازن سحنية مرتبطة كلياً مع التراكيب الكيميائية للبنيات البلورية لفلزي البلاجيوكلاز والهورنبلند، لذلك نجد أن درجة حرارة حادثة التحول الإقليمية تتراوح في المجال بين ٤٥٠ - ٦٧٠ م^{o}، كما تتراوح درجة جيوضغط حادثة التحول الإقليمية في المجال بين ٢ - ٥ كيلوبار.

References :

1. Apted ,M. J and, J.G, Liou. , (1983) :Phase relations among greenschist , epidoteamphibolite and amphibolite in basaltic system.-In : Studies in metamorphism and metasomatism.-Amer.J.Sci.283A: p328- 354.
2. Broeker,M.(1988):Die metamorphe vulkanosedimetaere Abfolge der Insel Tinos_Ergebnisse geologischer,petrologischer und geochemischer Untersuchungen.-Dissertation Univ.Wuerzburg, 305S. , Wuerzburg.
3. Brown. E.H., (1977) : The crossite content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism. - J .Petrol ..18 : p 53- 72.
4. Bucher.K. and M.Frey., (1994): Petrogenesis of Metamorphic Rocks.,Springer Verlag.318S .
5. Chalokwu ,C.I and T.B, Harley.,(1990): Geochemistry , petrogenesis and tectonic setting of amphibolites from the southernmost exposure of Appalachian Piedmont.J 98,p725- 738.
6. Chenevoy.M.,(1959) : le substratum metamorphiquie des roches vertes dans le Baer et le Bassit. NOtes et Memoires sur le Moyen-Orient ,T.7.p 1-18
7. Delaloye, M.; De H. Souza; J .Hedley (1980): Isotopic ages on ophiolites from the eastern Mediterranean. In: A.Panayiotou (Ed.), Ophiolites. Proc.Intern .Ophiolite Symp ., Cyprus 1979 , p292- 295
8. Dilek,Y.and E.M, Moores , (1990): Regional tectoniics of the eastern Mediterranean ophiolites.In : J.Malpas.E.M.Moores ,A.Panayiotou ;and nophontos(Editors), Ophiolites ,Oceanic Crustal Analogues. Proc. Symp.Troodos 1987 The Geological Survey Department ,Nicosia ,p.295-309
9. Dilek.Y. ,and D.L, Whitney. (1999): Counterclockwise P-T-t trajectory from the metamorphic of a Neo-Tethyan ophiolite(Turkey).Tectonophysics 280: p.295- 310
10 Droop ,G.T.R.,(1981):A Clinopyroxene Paragenesis of Albite - Epidote-Amphibolite Facies in Meta-Syenites from the South-East Tauern Window,Austria.Journal of Petrology, 23,p163- 185
11 Dubertret , L., (1953): Geologie des roches vertes du nordouest de la Syria et du Hatay (Turquie). Notes Mem. Moyen-Orient. 6.227p.
12 Franz ,L.,(1992):Die Polymetamorphe Entwicklung des Altkristallins auf Kreta und Dodekanes(Griechenland),F.Enke Verlag Stuttgart,389p.
13 Hawthorne,F.C.,(1983): The crystal chemistry of the amphiboles.-Canad.Mineral.,21,173-480
14 Juteau, T ., (1980): Ophiolites of Turkey. - Ofioliti (Spec.Issue) 2:199-238.

15 Kazmin , V.G , and V.V Kulakov , (1968): Geological Map of Syria sheet Bassit 1/50,000 explanatory notes: 124p. Mini. of petrol. and Mineral Resources ,Syria.

16 Kenkmann ,T. , and G., Dresen ., (1996): Deformationsmechanismen in basischen amphibolthfaziellen Ultramylonitenin G. Amann ,R.Handler , W. Kurz & H. P. Steyrer (rds.) 6. Symposium Tektonik ,Stukturgeologie ,Kristallingeologie , Salzburg ,p.215- 219

17 Kosters,B., (1991): Geochemie und Petrogenese des Peridotit und der-Chromiterzvorkommen des Ophiolith - Komplexes im Bassit Gebiet (NW-Syrien). Diss.Naturwiss . Munster, 125S .

18 Laird.J . and A.L, Albee.,(1981b): Pressure ,temperature ,and time indicators in mafic schists :Their application to reconstructing the polymetamophic history of Vermont.-Am.J.Sci.,281: p.127- 175

19 Leake , B.E., (1964):The chemical distinction between Ortho-and Paraamphibolites.-In :J. Petrol.- Oxford 5.p.238- 254.

20 Leake , B.E., (1978):Nomenclature of amphiboles.-Am.Mineral.,63 p.1023-1053

21 Mathe.G., (1985): Metamorphite.In : Pfeiffer ,L ;Kurze, M;Mathe, G: Einfuhrung in die Petrologie.-Berlin.442- 565.

22 Parrot, J.F., (1977): Assemblage ophiolitique du Baer-Bassit et termes effusifs du volcano - sedimentaire Tra.et Doc .de 1 O.R.S.T.M. (these) 333p.

23 Parrot, J.F., (1980): The Baer-Bassit (Northwestern; Syria) ophiolitic area-Ofioliti (Spec.Issue) 2, p279 -296,Bologna .

24 Parrot, J.F. and H. Whitechurch (1978): Subductions anterieures au charriage nord-sud de la croute tethysaenne: Facteure de metamorphisme du volcano-sedimentaire oceanique en schistes verts et amphibolites lies aux assemblages ophiolitiques syro-turcs.Rev .Geogr .Phys .Geol .dyn .,2: p.153-170

25 Piro. Y., (1967) : Conribution al etude des Roches verts du Nord-Ouest de la Syrie thesis 3eme cycle Montpellier 142p. (Multigr).

26 Plyusnina. L.B., (1982) : Geothermometry and Geobarometry of Plagioclas - Hornblende earing assemblages. - Contrib. Mineral. Petrol.. 80: p. 140- 146 Berlin- Heidelberg 1982

27 Rasse ,P.,(1974):Al and Ti contents of hornblende ,indicators of pressure and temperature of regional metamorphism.-contrib.Mineral.Petrol.,45: p.231- 236

28 Robertson , A.H.F., and J.E, Dixon.,(1984):Introduction :aspects of the geological evolution of the eastern Mediterranean.In :Dixon ,J.E. ,Robertson

,A.H.F.(eds.)The Geological Evolution of the eastern Mediterranean. Geol. Soc . London Spec.Publ.17 p.1- 75

29 Safarjalani.A.,(1996): Petrographical and Geochemical Study of Metabasitic and Amphibolitic Metamorphic Rocks in the Ophiolithe complex in the Baer and Bassit (N.W.Syria) Report on Scientific Study Department of Geology and Nuclear Ores(AECS) 110p .

30 Safarjalani. A., and J. Eidam , (1997) : Geochemistry and initial geotectonic setting of amphibolitic rocks outcropped in the Baer-Bassit area (Northwest Syria). Z.Geol.Wess.,Band 25,Hef t 5 - 6,541 – 554S .

31 Safarjalani., A.,(2000) :Petrography and Geochemistry of the metamorphic amphibolitic rocks associating the Baer-Bassit ophiolithe (Northwest Syria).Scientific Journal of King Faisal University,Vol.1,-No.1,1-44p.

32 Schumacher ., R.,(1991): Compositions and phase relations of calcic amphiboles in epidote-and clinopyroxene-bearing rocks of the amphibolite and lower granulite facies , central Massachusetts ,USA.Contributions to Mineralogy and Petrology,108,p196 211

33 Spear. F.S., (1980) : NaSi - CaSi exchange equiliberium between plgioclase and amphibole. Contr. Mineral. Petrol..72 33- 41

34 Spear. F., (1981a) : An experimental study of hornblende stability and compositional variability in amphibolite.. - Amer. - J.S.Sci..281 : p.697 734

35 Spear. F., (1981b) : Amphibole-plagioclase equilibria: An emprical model for the relation albite - tremolite=edenite+4quartz. -Contrib. Mineral. Petrol. 77p. 355-364

36 Spear. F., (1993): Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature Time Paths. Mineralogical Society of America ,Washington D.C.799.

37 Withechurch.H.T. , Juteau and R.Montigny.,(1984):Role of the Eastern Mediterranean ophiolites (Turkey , Syria.Syprus)in the history of the Neo-Tethys0In:Dixon,J.E.&A.H.F. Robertson(Eds.):The geological evolution of the Eastern Mediterranean;p.301-318,Oxford (Blackwell).

38 Wimmenauer. W., (1985) : Petrographie der magmatischen und metamorphen Gesteine. Enke Verlag. - Stutt - gart.382.

The conditions required for appearance of the locally metamorphic process correspond to the formation of metamorphic rocks in Bear-Bassit area northwest Syria

A. M. Al -Safarjalani & I. A. Al- Hawas
College of Agricultural and Food Sciences, King Faisal University
Al Hassa, Kingdom of Saudi Arabia

Abstract:

The metamorphic rocks of the Bear-Bassit area northwest Syria are being below and in direct contact to the ultrabasic and basic rocks, mainly appear in several localities which are: Al-Gungerian, Ayorann, Quobatra Dauschane, Al Kabeer and Beit Baldeur.

The geothermometric and geobarometric conditions were applied for the locally mono metamorphic process , through testing the new results of the chemical composition for hornblende and plagioclase minerals, their elemental distribution in their mineral crystal structure and their position in the calibrated faces. Hence, the locally metamorphic process temperature ranges between 450 to 670°C, whereas the geobarometric reading ranges between 2 and 5 kilobar.

All studied collected samples of amphibolite from Al-Kabeer, Beit Baldeur and Ayorann are characterized by its formation in the upper part of the green shiest faces and the accumulation of: hornblende + plgioclase + quartze ± epidote ± biotite ± chlorite ± and carbonate mineral ± metallic minerals.Whereas amphibolite rocks from AL-Gungerian Quobatra Dauschane contain hornblende + plgioclase + quartze ± epidote ± garnete ± biotite ± chlorite ± carbonate minerals. In addition ,both types determined faces corresponded to the geothermometric and geobarometeric conditions applied.