IRANIAN SOCIETY of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Vol. 13, No. 1, 1384/2005 Spring & Summer

IRANIAN JOURNAL of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Chemical composition of amphiboles in metamorphic rocks of ophiolitic complex of Eastern Birjand: confirming of pressure-temperature evolution of these rocks

S. Amini[1], G. Fotoohi-Rad[2]

1- Department of Geology, Faculty of Sciences,Tehran Teacher Training University, Tehran, Iran.
2- Department of Mining Exploration, Faculty of Engineering, Birjand University, Birjand, Iran
E- mail: gfotohi@yahoo.com

(Received: 29/4/2004, received in revised form: 9/1/2005)

Abstract: Eastern Birjand ophiolitic complex consist of different rock types of a complete ophiolitic sequence. Three groups of amphiboles which exist in metabasites of this ophiolitic complex are of: calcic amphiboles, such as actinolite-tremolite and magnesio-hornblende; calcic-sodic amphiboles, e.g. vinchite and barroisite; and sodic-amphiboles, e.g., glaucophane, magnesio-riebeckite and ferro-glaucophane. Petrographic studies, geothermobarometry results and composition of minerals, especially amphiboles in mineral assemblage of different metamorphic rocks clearly indicate pressure-temperature variations of metabasites within different evolutionary stages. This indicates that subduction and subsequent thrusting are occurred in the studied area.

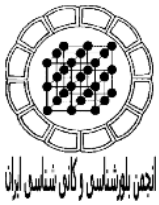
Keywords: *Ophiolitic complex, Metabasite, Subduction and Obduction, Amphibole, Geothermobarometry, Birjand.*

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال سیزدهم، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۸۴، از صفحهٔ ۳ تا ۱۸



ترکیب شیمیایی آمفیبولها در سنگ‌های دگرگون مجموعهٔ افیولیتی شرق بیرجند و تأیید سیر تکاملی فشار و دمای این سنگها

صدرالدین امینی[۱]، غلامرضا فتوحی راد[۲]

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران،
۲- گروه مهندسی اکتشاف معدن، دانشکدهٔ مهندسی تکنولوژی، دانشگاه بیرجند
پست الکترونیکی: gfotohi@yahoo.com

(دریافت مقاله ۸۳/۲/۹ ، دریافت نسخه نهایی ۸۳/۱۰/۱۹)

چکیده: مجموعهٔ افیولیتی شرق بیرجند شامل سنگ‌های مختلف یک توالی افیولیتی کامل است. سه گروه از آمفیبولها در متابازیت‌های این مجموعهٔ افیولیتی وجود دارند که عبارتند از: آمفیبولهای کلسیک مانند اکتینولیت ـ ترمولیت و منیزیوهورنبلند، آمفیبولهای کلسیک ـ سدیک مانند وینچیت و باروئیزیت، و نیز آمفیبولهای سدیک مانند گلوکوفان، منیزیو ریبکیت و فروگلوکوفان. مطالعات سنگ‌شناختی، نتایج ژئوترموبارومتری و ترکیب کانیها مخصوصاً آمفیبولها و به ویژه تغییرات ترکیب شیمیایی آمفیبولهای مذکور در مجموعهٔ کانیایی رخساره-های مختلف دگرگونی در متابازیت‌های مختلف و گاه در یک متابازیت، و یا به عبارت بهتر تغییرات ترکیب آمفیبول در هر تک نمونه از متابازیت‌ها از مرکز به حاشیه یا بر عکس، به روشنی حاکی از تغییرات فشار ـ دمای متابازیت‌ها در مراحل تکاملی مختلف و نشان‌دهندهٔ فرایند فرورانش و راندگی اعمال شده در منطقهٔ مورد مطالعه در شرق ایران است.

واژه‌های کلیدی: *مجموعهٔ افیولیتی، متابازیت، فرورانش و راندگی، آمفیبول، ژئوترموبارومتری، بیرجند.*

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

مقدمه و زمین شناسی منطقه

مجموعهٔ افیولیتی مورد نظر، در فاصلهٔ ۱۲۰ تا ۱۳۰ کیلومتری شرق بیرجند در چهارگوش گزیک و شاهرخت [۱ و ۲] واقع شده است. افیولیت مذکور در حقیقت شرقی‌ترین بخش افیولیتهای شرق ایران است که در زون ساختاری جوش خوردهٔ سیستان واقع شده است (شکل ۱). این زون ساختاری، یک حوضهٔ فلیشی ـ ملانژی شدیداً چین‌خورده و گسلیده است که در حقیقت بین دو بلوک قاره‌ای هلمند (افغان) و لوت واقع شده و آنها را به هم پیوند داده است [۴]. بر اساس تعیین سن مطلق به روش ^{39}Ar-^{40}Ar که روی سنگ‌های دگرگونی انجام شده است [۵]، سن وقوع فرایندهای دگرگونی در سنگ‌های دربردارندهٔ آمفیبولها از والانژینین تا بارمین در کرتاسهٔ زیرین متغیر است. این سن در حقیقت زمان فرورانش و آغاز جایگیری افیولیت منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس سن میکروفسیلهای موجود در سنگهای کربناته همراه و سنگهای کربناته روی این افیولیت، سن جایگیری نهایی این مجموعهٔ افیولیتی که طی برخورد دوصفحهٔ بلوک لوت و هلمند صورت گرفته است، کرتاسه پسین (کامپانین ـ ماستریشتین تا پالئوژن) بوده و روند کلی این راندگی شمال شرق جنوب‌غرب است. با عنایت به سن فرایندهای دگرگونی که در بالا عنوان شد، سن تبلور و تشکیل سنگهای آذرین اولیهٔ مجموعهٔ افیولیتی ژوراسیک پسین- کرتاسه زیرین بوده است [۵]. شکل ۲ نقشهٔ زمین شناسی ساده شده‌ای از منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

روش مطالعه

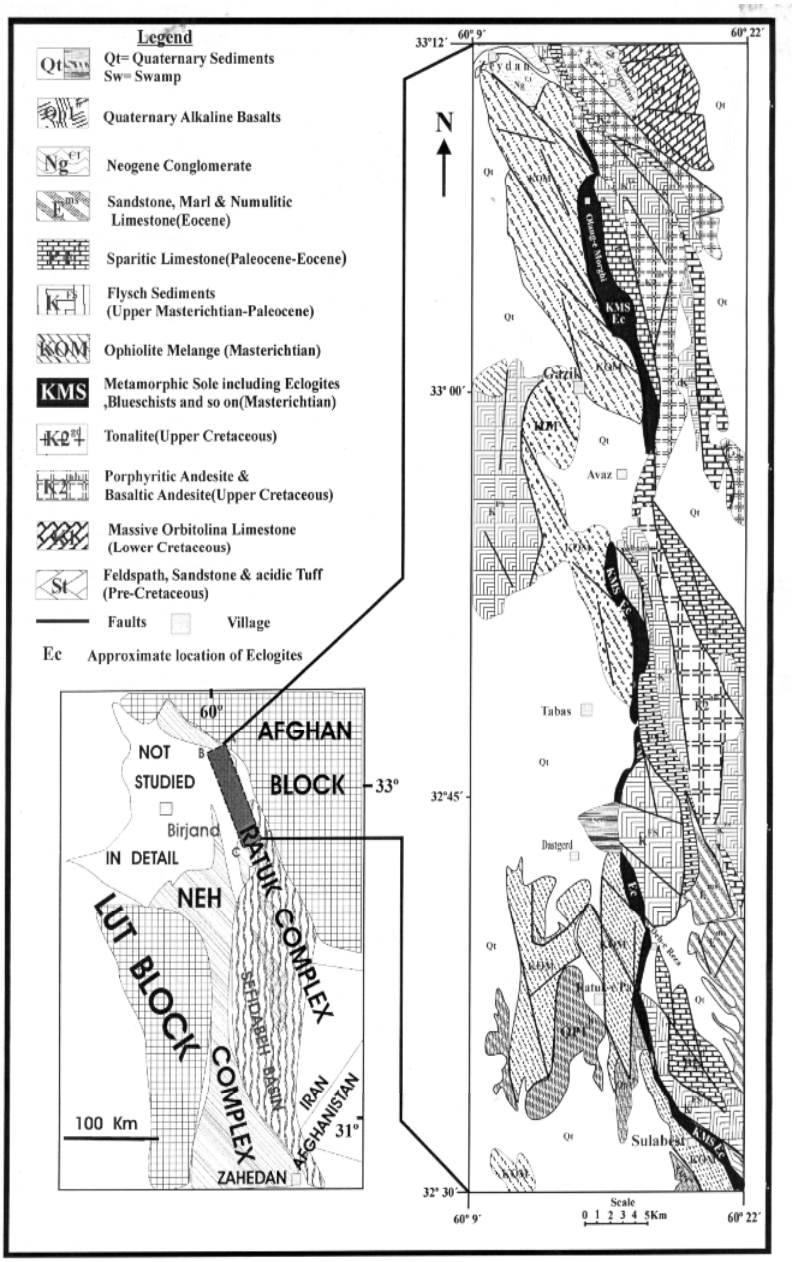
در این بررسی، پس از مطالعات و نمونه‌برداریهای صحرایی، آمفیبولهای نمونه‌های متابازیت در گروه علوم زمین دانشگاه منچستر انگلستان مورد آنالیز میکروپروب قرار گرفتند. آنالیزها با دستگاه الکترون پروب میکروآنالیزور (EPMA) انجام شده است. دستگاه الکترون میکروپروب مورد استفاده در این تحقیق یک دستگاه ژئواسکن ساخت کمبریج بوده که متصل به دستگاه QX-2000 ساخت آکسفورد است و آنالیزها به روش انرژی دیسپرسیو اسپکترومتری (EDS) پرتو X انجام شده است. پروب با یک ولتاژ شتاب دهندهٔ ۱۵ kV با زمان ۴۰ ثانیه برای هر آنالیز انجام شده که پیش از آن تصحیح خودکار ZAF با استفاده از نرم افزار اتصالی ZAF4/FLS انجام شده است. ژئواسکن نتایج دقیقی با گستره‌ای در حدود ۰٫۲ درصد وزنی می‌دهد. برای تصحیح Fe^{3+} از معادلهٔ دروپ [۶] استفاده شده است.

سنگ‌شناسی متابازیت‌ها

متابازیت‌های حاوی آمفیبول در منطقهٔ مورد مطالعه بسیار متنوع‌اند و از انواع مختلفی تشکیل شده‌اند که پرهنیت ـ اکتینولیت شیست ها (متادیابازها)، شیست‌های سبز، اپیدوت آمفیبولیت‌ها، بلوشیست‌ها و گارنت بلوشیست‌ها، اکلوژیت‌های اپیدوت آمفیبولیتی شده و اکلوژیت‌ها از

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

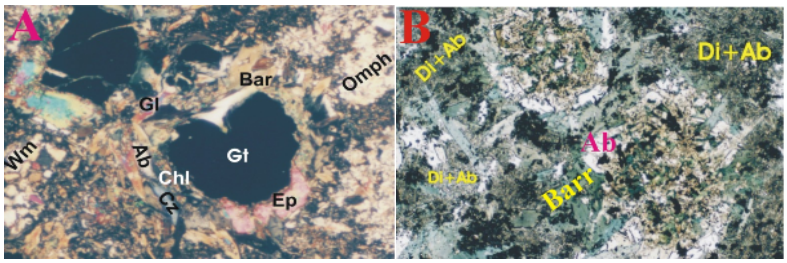
مهمترین آنها هستند. در این مقاله تنها سنگ‌شناسی اکلوژیت ها و اپیدوت آمفیبولیت‌ها مـورد بحث قرار گرفته است.



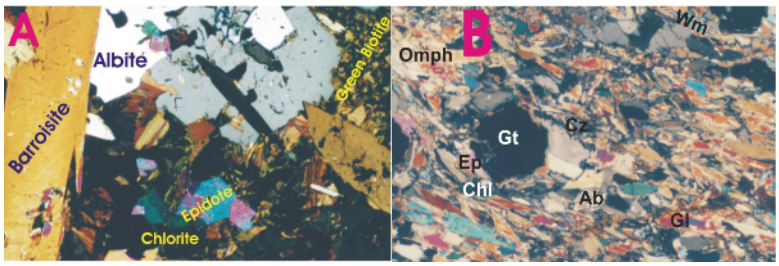
شکل ۱ نقشهٔ زمین‌شناسی ساده شده‌ای از منطقهٔ مورد مطالعه و موقعیت منطقهٔ مورد مطالعـه در زون جوش خوردهٔ سیستان که با چهارضلعی ABCD مشخص شده است (زون جـوش خـوردهٔ سیسـتان: اقتباس از تیرول و همکاران [۳] که مجدداً رسم شده است).

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

در مقطع نازک یکی از اپیدوت آمفیبولیت‌ها، مجموعهٔ کانیایی آلبیت + اپیدوت + باروئیزیت - وینچیت + زوئیزیت + بیوتیت + آپاتیت، اکسیدهای آهن و سایرکانیهای اوپک به عنوان کانیهای فرعی مشاهده می‌شود که نشان‌دهندهٔ رخسارهٔ اپیدوت آمفیبولیت متابازیتهاست (شکل ۳- A). در مقاطع نازک اکلوژیت‌های توده‌ای، کانیهای پیروپ + امفاسیت + گلوکوفان- کروسیت + باروئیزیت + میکای سفید (پاراگونیت ـ فنژیت ـ مسکویت) + روتیل ± کوارتز + کلریت + اپیدوت + کلینوزوئیزیت + زوئیزیت + آلبیت ± دیوپسید + اسفن، کانیهای اوپک (پیریت وکالکوپیریت) و اکسیدهای آهن به عنوان کانیهای فرعی وجود دارد (شکل ۲- A). در حاشیهٔ تعدادی از گارنت‌ها آمفیبول، کلریت، اپیدوت، آلبیت و بیوتیت به‌صورت محصولات دگرگونی پسرونده مشاهده می‌شوند که یک بافت کرونا ایجاد کرده‌اند (شکل ۲ – A). رشد درهمی از آلبیت و دیوپسید در این نوع سنگ‌ها شاهدی بر واکنش امفاسیت + کوارتز پیش از دگرگونی پسروندهٔ فوق‌الذکر در این سنگ‌هاست (شکل ۲- B). این واکنش نشانهٔ کاهش فشار بی‌دررو این سنگ‌ها پیش از دگرگونی پسروندهٔ مذکور است [۳، ۷ و ۸].



شکل ۲ (**A**) گارنت و امفاسیت (مجموعهٔ کانیایی اولیهٔ رخسارهٔ اکلوژیت) و نیز آمفیبول، کلریت، آلبیت و اپیدوت در حاشیهٔ گارنت‌ها که نشانهٔ دگرگونی پسروندهٔ اکلوژیت توده ای سولابست به رخسارهٔ آمفیبولیت است (XPL, 80X). (B) رشد درهم دیوپسید و آلبیت در نقاط به رنگ سبز خاکستری (NPL, 40X).



شکل ۳ (**A**) بیوتیت سبز، آلبیت، اپیدوت و بلور کشیدهٔ زیبای باروئیزیت در تصویر میکروسکوپی اپیدوت آمفیبولیت سولابست (XPL, 25X). (**B**) بافت پورفیروبلاستیکی و حضور گارنت و امفاسیت در اکلوژیت دارای شیستوزیهٔ دمدمه (XPL, 20X).

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

در مقاطع میکروسکوپیکی اکلوژیت های دارای شیستوزیته، کانیهای امفاسیت + گارنت + باروئیزیت ـ وینچیت + باروئیزیت + گلوکوفان ـ منیزیوریبکیت + کوارتز + مسکویت + پاراگونیت + فنجیت + روتیل + اپیدوت + کلینوزوئیزیت ± زوئیزیت + آپاتیت، اسفن، اکسیدهای آهن و سایر کانیهای اوپک مشاهده می شود . دگرگونی پسرونده به رخسارهٔ اپیدوت آمفیبولیت مشابه سنگ موجود در این نمونه نیز مشاهده می شود (شکل ۳- B). این سنگها در مواردی به رخسارهٔ شیست آبی تحول یافته‌اند. وجود گلوکوفان ـ منیزیوریبکیت و آلبیت خالص ثانویه می‌تواند دلیلی بر این رخداد باشد.

ترکیب شیمیایی آمفیبولها و بحث و بررسی

به دلیل فراوانی آنالیزهای آمفیبولها و در نتیجه جلوگیری از حجیم شدن این نوشته، نتایج آنالیزهای الکترون میکروپروب آمفیبولها در سنگ های منطقهٔ مورد مطالعه تنها به‌صورت میانگین آنالیزها در هر مورد در جداول ۱، ۲ و ۳ ارائه شده‌اند. نتایج کامل آنالیزهای الکترون میکروپروب آمفیبولهایی که در این تحقیق بررسی شده‌اند در مرجع [۵] آمده است.

جدول ۱ میانگین نتایج تجزیهٔ الکترون میکروپروب آمفیبولهای کلسیک ـ سدیک و سدیک در اکلوژیتها و اکلوژیتهای اپیدوت آمفیبولیتی شدهٔ منطقهٔ مورد مطالعه.

Sample No Oxides/Min.	D3a am-ave	D3a gl-ave	F3(Mg-Core) gl-ave	F3(Fe-rim) gl-ave	FGE3 am-	F2 am-ave	F2a am--ave
SiO_2	۴۹٫۷۴	۵۸٫۶۹	۵۹٫۴۰	۵۷٫۷۱	۵۳٫۵۰	۵۱٫۶۷	۵۱٫۳۴
TiO_2	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۳
Al_2O_3	۸٫۰۴	۱۱٫۱۸	۱۱٫۳۹	۱۰٫۷۸	۶٫۱۱	۶٫۵۱	۷٫۸۲
Cr_2O_3	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۱
Fe_2O_3	۳٫۴۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۰	۲٫۶۲	۱٫۱۶
FeO	۱۰٫۰۵	۶٫۲۱	۵٫۲۶	۹٫۱۵	۹٫۶۹	۹٫۲۲	۱۲٫۰۵
MnO	۰٫۰۹	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲
MgO	۱۲٫۴۸	۱۱/۵۶	۱۲٫۶۰	۱۰٫۱۹	۱۴٫۱۹	۱۳٫۷۳	۱۲٫۱۸
CaO	۹٫۱۳	۰٫۵۵	۰٫۴۶	۰٫۷۰	۹٫۹۷	۹٫۴۳	۸٫۶۶
Na_2O	۲٫۸۵	۶٫۹۷	۷٫۴۴	۶٫۸۹	۲٫۰۰	۲٫۳۲	۳٫۲۱
K_2O	۰٫۰۸	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۸
Total	۹۵٫۹۱	۹۵٫۲۱	۹۶٫۶۱	۹۵٫۴۵	۹۵٫۶۷	۹۵٫۵۸	۹۶٫۵۶
Formula	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)
Si	۷٫۲۷	۸٫۰۸	۸٫۰۴	۸٫۰۶	۷٫۷۲	۷٫۵۰	۷٫۴۹
Ti	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al	۱٫۳۹	۱٫۸۲	۱٫۸۲	۱٫۷۷	۱٫۰۴	۱٫۱۲	۱٫۳۵
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe^{3+}	۰٫۳۸	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۲۹	۰٫۰۴
Fe^{2+}	۱٫۲۳	۰٫۷۲	۰٫۶۰	۱٫۰۷	۱٫۱۷	۱٫۱۲	۱٫۴۸
Mn	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Mg	۲٫۷۲	۲٫۳۷	۲٫۵۴	۲٫۱۲	۳٫۰۵	۲٫۹۷	۲٫۶۴
Ca	۱٫۴۳	۰٫۰۸	۰٫۰۷	۰٫۱۱	۱٫۵۴	۱٫۴۷	۱٫۳۵
Na	۰٫۸۱	۱٫۸۶	۱٫۹۵	۱٫۸۶	۱٫۵۶	۰٫۶۵	۰٫۹۱
K	۰٫۰۲	۰/۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲
Total	۱۵٫۲۶	۱۴٫۹۴	۱۵٫۰۲	۱۴٫۹۹	۱۵٫۱۱	۱۵٫۱۲	۱۵٫۲۸

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

جدول ۲ میانگین نتـایج تجزیـهٔ الکتـرون میکروپـروب آمفیبولهـای کلـسیک ـ سـدیک و کلـسیک در اکلوژیت ها و سایر متابازیت های منطقهٔ مورد مطالعه.

Sample No Oxides/Min	SF3 am-ave	TDF26 am-ave	E6 act-ave	FJ11 tre-ave	NSF4 act-ave	SF22 am-ave	F3 am-ave
SiO_2	۵۳٫۰۴	۴۷٫۲۱	۵۴٫۴۲	۵۵٫۷۶	۵۳٫۳۳	۴۶٫۲۵	۵۰٫۱۰
TiO_2	۰٫۰۱	۰٫۱۵	۰٫۰۰	۰٫۱۶	۰٫۲۸	۰٫۱۰	۰٫۰۳
Al_2O_3	۵٫۱۱	۹٫۴۲	۱٫۸۶	۲٫۰۲	۲٫۷۳	۱۱٫۶۳	۹٫۱۲
Cr_2O_3	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۶	۰٫۱۲	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰
Fe_2O_3	۵٫۴۷	۵٫۷۹	۰٫۰۰	۲٫۳۳	۰٫۰۰	۳٫۸۴	۳٫۲۰
FeO	۷٫۶۱	۱۰٫۶۴	۱۱٫۹۰	۴٫۰۰	۱۶٫۱۰	۱۱/۱۲	۹٫۴۲
MnO	۰٫۱۹	۰٫۱۱	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۳۴	۰٫۱۱	۰٫۰۲
MgO	۱۳٫۷۸	۱۰٫۴۷	۱۵٫۶۲	۱۹٫۷۶	۱۰٫۷۸	۱۰٫۲۷	۱۱٫۹۸
CaO	۸٫۲۷	۸٫۲۳	۱۰٫۷۶	۱۲٫۵۷	۱۰٫۷۳	۸٫۵۵	۷٫۷۷
Na_2O	۲٫۵۱	۳٫۳۲	۰٫۸۷	۰/۰۲	۱٫۰۳	۳٫۶۱	۳٫۵۴
K_2O	۰٫۰۲	۰٫۲۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۹	۰٫۰۴
Total	۹۶٫۰۳	۹۵٫۵۵	۹۵٫۵۴	۹۶٫۷۴	۹۵٫۳۱	۹۵٫۶۹	۹۵٫۲۲
Formula	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)
Si	۷٫۶۴	۷٫۰۲	۷٫۹۳	۷٫۸۰	۷٫۹۵	۶٫۸۶	۷٫۳۱
Ti	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۰
Al	۰٫۸۷	۱٫۶۵	۰٫۳۲	۰٫۳۳	۰٫۴۸	۲٫۰۴	۱٫۵۷
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe^{3+}	۰٫۵۹	۰٫۶۵	۰٫۰۰	۰٫۲۵	۰٫۰۰	۰٫۴۳	۰٫۳۵
Fe^{2+}	۰٫۹۲	۱٫۳۲	۱٫۴۵	٫۴۷	۲٫۰۱	۱٫۳۸	۱٫۱۵
Mn	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۰
Mg	۲٫۹۶	۲٫۳۲	۳٫۳۹	۴٫۱۲	۲٫۴۰	۲٫۲۷	۲٫۶۱
Ca	۲٫۲۸	۱٫۳۱	۱٫۶۸	۱٫۸۸	۱٫۷۲	۱٫۳۶	۱٫۲۲
Na	۰٫۷۰	۰٫۹۶	۰٫۲۵	۰٫۰۰	۲٫۲۹	۱٫۰۴	۱٫۰۰
K	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۱٫۰۴	۰٫۰۱
Total	۱۴٫۹۸	۱۵٫۳۱	۱۵٫۰۳	۱۴٫۸۹	۱۴٫۹۲	۱۵٫۴۴	۱۵٫۲۳

آمفیبولها در متابازیت‌های مختلف افیولیت منطقهٔ مـورد مطالعـه بنـا بـر رده‌بنـدی لیـک و دیگران [۹]، در سه گروه آمفیبولهای کلسیک، کلـسیک ـ سـدیک و سـدیک قـرار مـی‌گیرنـد. اکتینولیـت، فرواکتینولیـت، ترمولیـت و منیزیوهورنبلنـد از آمفیبولهـای کلـسیک، باروئیزیـت، فروباروئیزیـت، وینچیـت و فـرو وینچیـت از آمفیبولهـای کلـسیک - سـدیک و گلوکوفـان، منیزیوریبکیت و فروگلوکوفان از آمفیبولهای سدیک با رده‌بنـدی فـوق الـذکر همخـوانی دارنـد. آمفیبولهای نوع اول (کلسیک) غالبا حاصل دگرگونی پیشرونده و تشکیل متابازیت‌های رخـسارهٔ شیست سبز، اپیدوت آمفیبولیت و گاه آمفیبولیـت هـستند. آمفیبولهـای نـوع دوم (کلـسیک ـ سدیک) حاصل دگرگونی پسروندهٔ اکلوژیت ها به بخش فشار بالاتر رخسارهٔ اپیدوت آمفیبولیـت تعلق دارند. در حقیقت این آمفیبولها در شرایط میانی رخسارهٔ با فشار بالای اکلوژیت و رخسارهٔ با فشار متوسط تا پایین اپیدوت آمفیبولیت تشکیل می شوند و گـاه شـاخص رخـسارهٔ اپیـدوت بلوشیست هستند.

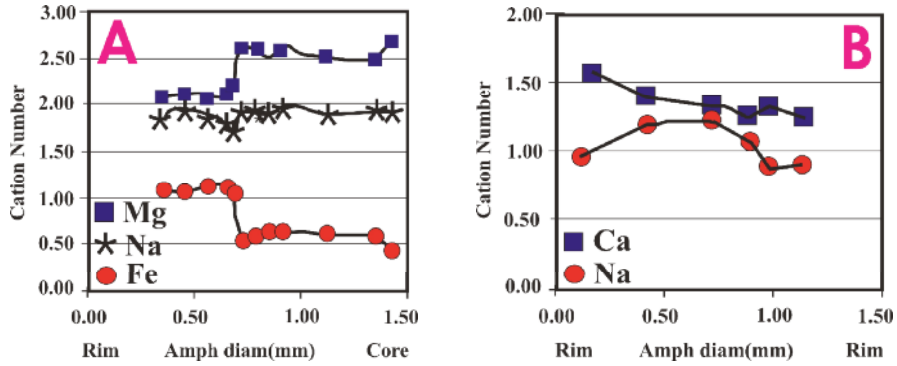
[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

جدول ۳ میانگین نتایج تجزیهٔ الکترون میکروپروب آمفیبولهای سدیک در شیست های آبی منطقهٔ مورد مطالعه

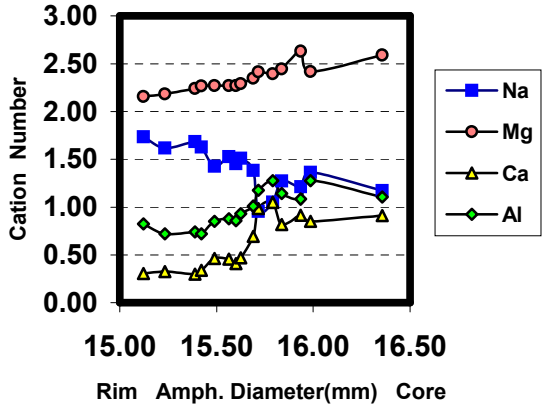
Sample No Oxides/Min	E7 gl-ave	FSD8a am-ave	FSD8a gl-ave	GOF5(rim) am-ave	GOF5(med) am-ave	G0F5(Core) am-ave
SiO_2	۵۶٫۵۷	۵۱٫۴۹	۵۷٫۸۲	۵۵٫۳۳	۵۴٫۲۶	۵۱٫۱۱
TiO_2	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۰
Al_2O_3	۲٫۱۲	۷٫۴۵	۱۱٫۳۵	۴٫۴۰	۵٫۱۷	۷٫۲۵
Cr_2O_3	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱
Fe_2O_3	۸٫۶۵	۳٫۱۲	۰٫۰۰	۸٫۵۸	۹٫۳۷	۷٫۳۵
FeO	۱۱٫۱۴	۹٫۰۹	۸٫۸۵	۸٫۷۳	۷٫۶۰	۸٫۲۴
MnO	۰٫۱۴	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۳۲	۰٫۳۴	۰٫۳۸
MgO	۹/۷۰	۱۳٫۲۰	۹٫۹۱	۱۰٫۲۶	۱۰٫۵۵	۱۱٫۳۷
CaO	۲٫۲۳	۹٫۴۷	۰٫۶۴	۲٫۰۴	۲٫۹۰	۶٫۰۱
Na_2O	۵٫۲۹	۲٫۰۲	۶٫۷۹	۵٫۹۴	۵٫۲۷	۴٫۲۶
K_2O	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Total	۹۶٫۸۷	۹۵٫۸۸	۹۵٫۴۵	۹۵٫۶۳	۹۵٫۵۲	۵۹٫۹۹
Formula	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)	۲۳(O)
Si	۸٫۲۷	۷٫۴۴	۸٫۰۵	۸٫۰۱	۷٫۸۵	۷٫۴۴
Ti	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰
Al	۰٫۳۶	۱٫۲۷	۱٫۸۶	۰٫۷۵	۰٫۸۸	۱٫۲۵
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰/۰۰	۰٫۰۰
Fe^{3+}	۰٫۹۴	۰٫۳۴	۰٫۰۰	۰/۹۳	۱٫۰۲	۰٫۸۱
Fe^{2+}	۱٫۳۴	۱٫۱۰	۱/۰۳	۱٫۰۶	۰٫۹۲	۱٫۰۰
Mn	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵
Mg	۲٫۰۸	۲٫۸۴	۲٫۰۶	۲٫۲۱	۲٫۲۸	۲٫۴۶
Ca	۰٫۳۴	۱٫۴۷	۰٫۱۰	۰٫۳۲	۰٫۴۵	۰٫۹۴
Na	۱٫۴۸	۱٫۵۷	۱٫۸۳	۱٫۶۷	۱٫۴۸	۱٫۲۰
K	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Total	۱۴٫۸۲	۱۵٫۰۳	۱۴٫۹۴	۱۴٫۹۹	۱۴٫۹۳	۱۵٫۱۴

بعضی از انواع این آمفیبولها منطقه‌بندی مشخصی را نشان می‌دهند که معمولاً در مرکز غنی از منیزیم و در حاشیه غنی‌تر از آهن هستند (شکل ۴- A). همچنین این آمفیبولها در مرکز غنی‌تر از سدیم و در حاشیه‌ها از سدیم فقیرترند (شکل ۴- B). این منطقه‌بندی می‌تواند نشان‌دهندهٔ تبلورشان حین بالاآمدن سنگ دربرگیرندهٔ آنها باشد. آمفیبولهای نوع سوم (سدیک) محصولات دگرگونی پیشرونده به رخسارهٔ بلوشیست (گلوکوفان شیست) و یا حاصل دگرگونی پسروندهٔ اکلوژیت ها به رخسارهٔ شیست آبی هستند. آمفیبولهای سدیک منطقه‌بندی شیمیایی مشخصی نشان می‌دهند که در مرکز غنی‌تر از آلومینیوم، کلسیم و منیزیم و در حاشیه غنی‌تر از سدیم هستند (شکل ۵). این وضعیت می‌تواند مؤید افزایش تدریجی فشار ضمن بلوری‌شدن و رشد آنها طی مرحلهٔ فرورانش باشد. در چند مورد این آمفیبولها با کانیهای اوج دگرگونی رخسارهٔ اکلوژیت در تعادلند که در این صورت همزمان با بلوری‌شدن کانیهای تعادلی رخسارهٔ اکلوژیت تشکیل شده‌اند. مجموعهٔ کانیهای در حال تعادل در اوج دگرگونی اکلوژیت های مذکور عبارتند از: امفاسیت+ گارنت+گلوکوفان+ میکای سفید.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]



شکل ۴ (**A**) رده‌بندی آمفیبولهای کلسیک ـ سدیک در اکلوژیت توده‌ای سولابست (SF22). (**B**) تغییرات کاتیونهای آهن و منیزیم در آمفیبولهای کلسیک ـ سدیک نمونهٔ اکلوژیت توده‌ای گزیک (F3).



شکل ۵ نمودار تغییرات کاتیونها در آمفیبولهای سدیک نمونهٔ گارنت گلوکوفان شیست گزیک (GOF5).

همراهی گلوکوفان با امفاسیت در حال تعادل را پژوهشگران مختلفی از نقاط گوناکون جهان نیز در اوج رخسارهٔ اکلوژیت گزارش کرده‌اند (به عنوان مثال [۵، ۱۰ تا ۱۲]). هلند [۱۳] معتقد است که فشار آب بالا در محیط تبلور اکلوژیت‌های Tauern Window باعث شده است که مجموعهٔ کانیایی گارنت+ امفاسیت+ کیانیت+ کوارتز+ گلوکوفان+ تالک + پاراگونیت+ دولومیت + روتیل + پیریت در این اکلوژیت‌ها به‌صورت تعادلی تشکیل شود. همراهی سالیت سدیک به‌صورت تعادلی با مجموعهٔ کانیایی آلبیت+ اپیدوت+ بیوتیت + هورنبلند در سنگهای دگرگون Tauern Window توسط دروپ [۱۴] نیز گزارش شده است. بنابراین، در شرایط فشار آب بالا، امکان حضور گلوکوفان و امفاسیت به‌صورت تعادلی با سایر کانیهای مجموعهٔ کانیایی رخسارهٔ اکلوژیت وجود دارد.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

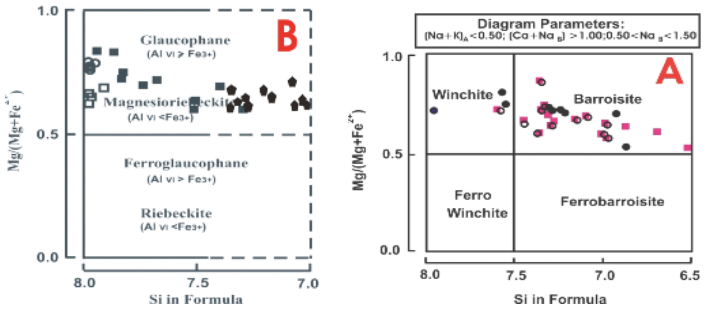
شکل ۴ نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی بلورهای آمفیبول کلسیک ـ سدیک موجود در اکلوژیت توده ای سولابست (SF22) و گزیک (F3) منطقه‌بندی مشخصی دارد که در مرکز غنی از سدیم و یا حتی در بعضی بلورها کاملا سدیک و در حاشیه از کلسیم غنی‌تر است. این منطقه‌بندی شاهدی بر کاهش تدریجی فشار ضمن رشد بلور آمفیبول و در نتیجه دلیلی مطمئن بر بالا آمدن متابازیت همراه است.

بنابر شکل ۶-A آمفیبولهای کلسیک ـ سدیک در اکلوژیت‌های منطقهٔ مورد مطالعه، باروئیزیت تا وینچیت است و نسبت منیزیم به آهن و منیزیم در این کانیها متفاوت است. ترکیبات غنی‌تر از منیزیم در مرکز دانه‌های آمفیبول و ترکیبات غنی‌تر از آهن در حاشیهٔ بلورهای آمفیبول قرار دارند. این وضعیت نشانهٔ رشد این کانیها طی فرایند بالا آمدن سنگهای در بردارنده در مرحلهٔ راندگی و جایگیری افیولیت منطقه است. همچنین معمولاً میزان سیلیس در آمفیبولها به موازات افزایش فشار، افزایش می‌یابد (دروپ، گفتگوی شخصی) که این حالت نیز در نمودارهای مذکور مشخص است. پس آمفیبولهای غنی‌تر از منیزیم و سیلیس معمولاً شاخص فشار تبلور بالاتری هستند. طبق شکل ۶- B ترکیب آمفیبولهای سدیک در اکلوژیت دارای شیستوزیته دمدمه (D3a)، گلوکوفان و منیزیو ریبکیت هستند که در این مورد نیز روند افزایش منیزیم و سیلیس در نمودار مشخص است و این روند به موازات افزایش فشار است. در شکل ۶ - B، مرکزهای غنی‌تر از منیزیم آمفیبولهای سدیک در نمونهٔ اکلوژیت گزیک نیز نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می‌شود، این کانیها معرف گلوکوفان با بیشترین مقدار سیلیس در فرمول واحد آمفیبول هستند که یک بار دیگر تطابق افزایش منیزیم با افزایش سیلیس را طی افزایش فشار تأیید می‌کند. شکل ۶- B، حاشیه‌های غنی ازآهن آمفیبولهای سدیک که در حد منیزیو ریبکیت و حاشیه های غنی از آهن و مرکزهای غنی از منیزیم آمفیبول های سدیک در اکلوژیت دیگری از گزیک (F3) را نشان می‌دهد.

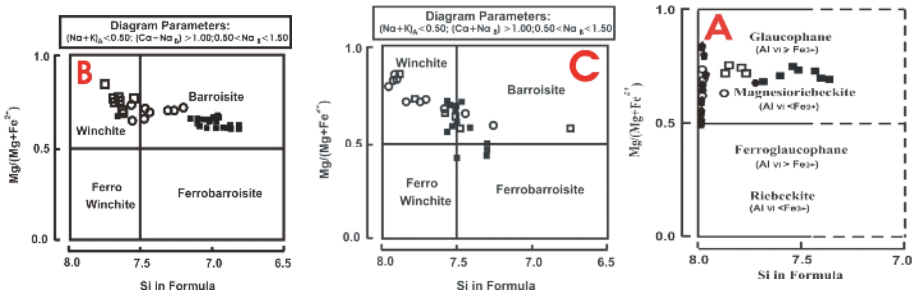
شکل ۷ – C رده‌بندی آمفیبولهای کلسیک ـ سدیک بر اساس کارهای لیک و همکاران [۹] در اکلوژیت شمال گزیک (FGE3) را نشان می‌دهد. این شکل نیز تعبیر و تفسیر شکل ۶- A را تأیید می‌کند. بنابر شکل ۷ - A ترکیب شیمیایی آمفیبولهای سدیک در نمونهٔ گلوکوفان شیست طبس مسینا (E7) فروگلوکوفان، منیزیو ریبکیت و گلوکوفان است و به دلیل فشار بالای تشکیل این کانیها مقدار سیلیس در فرمول واحد آنها بیشینه است. ترکیب آمفیبولهای کلسیک- سدیک در سایر نمونه‌های متابازیت‌ها در شکل ۷ - B از باروئیزیت تا وینچیت متغیر است و تغییرات منیزیم آنها نسبت به افزایش سیلیس در فرمول واحد کم است. این وضعیت می‌تواند به دلیل تبدیل آمفیبولهای سدیک طی یک دگرگونی پسرونده به آمفیبولهای کلسیک - سدیک مذکور ضمن بالا آمدن سنگهای دربردارنده حین کاهش فشار باشد که بدون کاهش محسوس دما انجام گرفته است. به عبارت دیگر، بالا آمدن در طول یک فرایند گسلش تراستی (راندگی) با سرعت بالا برای این تغییرات در ترکیب آمفیبول پیشنهاد می شود، کما این که

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

اثرهای چنین بالا آمدنی در بعضی اکلوژیتها با انجام واکنش امفاسیت با کوارتز و تولید دیوپسید و آلبیت بوضوح در مقاطع نازک آنها قابل مشاهده است. ترکیب شیمیایی بعضی از آمفیبولهای سدیک در شکل ۷ - A نشان می‌دهد که این کانیها منیزیو ریبکیت تا گلوکوفان هستند و به دلیل فشار بالای تشکیل سنگهای در بردارنده، مقدار سیلیس در اغلب نمونه‌ها در بالاترین حد ممکن در فرمول واحد آمفیبول است.



شکل ۶ طبقه‌بندی آمفیبولهای کلسیک - سدیک طبق لیک و همکاران [۹]. (A) نمونهٔ D3a (دوایر توخالی)، اکلوژیت توده‌ای سولابست (SF22) (مربع های توپر) و اکلوژیت گزیک(F3) (دوایر توپر). (**B**) آمفیبول‌های سدیک در نمونهٔ اکلوژیت دارای شیستوزیته دمدمه (D3a)(چند ضلعی‌ها)، (حاشیه‌های غنی از آهن و مراکز غنی از منیزیم آمفیبولهای سدیک) در نمونهٔ اکلوژیت گزیک (FGE3) (مربعهای توپر) ، (مراکز غنی از منیزیم آمفیبولهای سدیک) در نمونهٔ اکلوژیت گزیک (F3) (دوایر) و (حاشیه‌های غنی از آهن آمفیبولهای سدیک) در نمونهٔ اکلوژیت گزیک (F3) (مربع‌های توخالی).



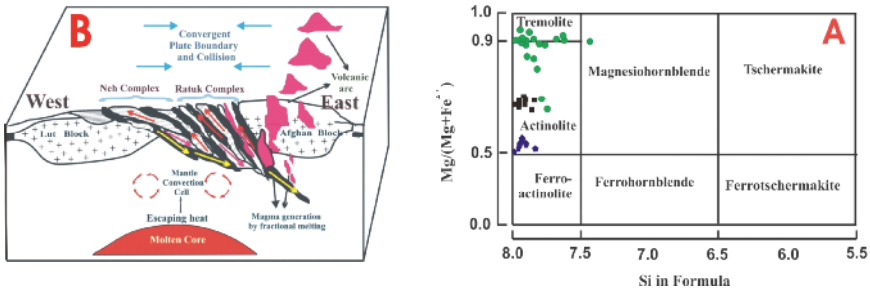
شکل ۷ (A) نمودار طبقه‌بندی حاشیهٔ آمفیبولهای سدیک (دوایر)، بخش بین حاشیه و مرکز آمفیبولهای سدیک (مربع های توخالی) و مرکز آمفیبولهای سدیک (مربع‌های توپر) در نمونهٔ گارنت بلوشیست گزیک (GOF5)، آمفیبولهای سدیک در نمونهٔ بلوشیست شمال گزیک (E7) (چند ضلعی‌ها) و گارنت بلوشیست سولابست (FSD8a) (دوایر توپر). (**B**) (آمفیبولهای کلسیک- سدیک) در نمونهٔ گارنت بلوشیست سولابست (FSD8a) (دوایر) ، اپیدوت آمفیبولیت سولابست (SF3) (مربع های توخالی) و اپیدوت آمفیبولیت دمدمه (TDF26) (مربع های توپر). (**C**) (آمفیبولهای کلسیک ـ سدیک) در نمونهٔ اکلوژیت اپیدوت آمفیبولیتی شدهٔ شمال گزیک (FGE3) (دوایر)، نمونهٔ اکلوژیت گزیک (F2) (مربع های توخالی) و اکلوژیت اپیدوت آمفیبولیتی شدهٔ گزیک (F2a) (مربع های توپر). [۹].

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

سایر آمفیبولهای سدیک شکل ۷-A از منیزیو ریبکیت تا گلوکوفان متغیر هستند. همچنین طبق شکل مذکور، از مرکز به سمت حاشیه مقدار سیلیس در فرمول واحد آمفیبول سدیک افزایش می‌یابد که شاهدی بر تبلور آنها ضمن مرحلهٔ فرورانش منطقه است. شکل مذکور همچنین نشان‌دهندهٔ تغییرات ترکیب شیمیایی آمفیبولهای سدیک در گارنت گلوکوفان شیست گزیک است و به‌طوری که دیده می‌شود، در حاشیه غنی از سدیم و فقیر از کلسیم و در مرکز هر بلور غنی از کلسیم و فقیر تر از سدیم و در بخشهای میانی مرکز و حاشیه بلور به طور بسیار واضحی تغییر ترکیب تدریجی است. این منطقه‌بندی به وضوح دلیل بر افزایش کاملاً تدریجی فشار ضمن تبلور بلورهای آمفیبول و در نتیجه نشانهٔ تشکیل متابازیت دربردارندهٔ آمفیبول طی مرحلهٔ فرورانش است.

بنابر شکل ۸ - A آمفیبولهای کلسیک در نمونهٔ شیست سبز شمال گزیک (E6) از نوع اکتینولیت است. این نوع سنگها طی فرایند فرورانش اعمال شده بر منطقه دستخوش دگرگونی در حد رخسارهٔ شیست سبز شده‌اند. بعلاوه طبق شکل ۸ - A آمفیبولهای کلسیک در نمونهٔ پرهنیت ـ اکتینولیت شیست شمال غرب سولابست (FJ11) اکتینولیت، ترمولیت و یک نمونه منیزیو هورنبلند است. بعضی از این سنگها طی فرایند فرورانش اعمال شده بر منطقه در حد زیر رخسارهٔ شیست سبز (رخسارهٔ پرهنیت ـ اکتینولیت) دگرگون شده‌اند.

همچنین بر اساس شکل ۸ – A آمفیبولهای کلسیک در نمونهٔ اژرین ـ اوژیت اکتینولیت شیست سولابست (NSF4) فرواکتینولیت تا اکتینولیت است. وجود اژرین ـ اوژیت در این سنگ شاهدی بر این مدعاست که این سنگ در فشاری حد واسط رخسارهٔ شیست سبز درجهٔ پایین و رخسارهٔ شیست آبی تشکیل شده است. به عبارت دیگر فشار تبلور این نوع سنگها بالاتر از سنگهای معمول و متداول‌تر رخسارهٔ شیست سبز بوده است.



شکل ۸ نمودار طبقه بندی آمفیبولهای کلسیک طبق لیک و همکاران [۹]. (A) در نمونهٔ پرهنیت ـ اکتینولیت شیست جنوب دستگرد (FJ11) (دوایر). ، در اژیرین- اوژیت اکتینولیت شیست سولابست (NSF4) (چند ضلعی ها) و گرین شیست شمال گزیک (E6) (مربع ها). (B) حرکت همگرای دو بلوک لوت و افغان (هلمند)، فرورانش پوستهٔ اقیانوسی متصل به بلوک لوت به زیر بلوک افغان و برخورد این دو بلوک تحت تأثیر فشارش صفحهٔ عربی از غرب و فشارش کمتر صفحهٔ هند از جنوب شرق (طی بارمین در کرتاسهٔ زیرین تا کامپانین در کرتاسهٔ فوقانی و احتمالا اوائل پالئوژن Neh = Nehbandan).

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

برای تأیید صحت نتایج بدست آمده به‌وسیلهٔ آمفیبولها از محاسبات ژئوترموبارومتری نیز استفاده شده است. در محاسبات ژئوترموبارومتری نخست با استفاده از نتایج آنالیز الکترون میکروپروب کلیهٔ کانیهای در حال تعادل در رخساره های دگرگونی مورد نظر [۶]، اکتیویتهٔ کانیها با نرم افزار Active.exe محاسبه شده است. سپس با استفاده از نرم افزار Thermocalc هلند و پاول[۱۲ و ۱۷] محاسبات مذکور انجام شده است. لازم به ذکر است که برای تخمین میزان درصد Fe^{+3} بعضی از کانیها از معادلهٔ دروپ [۱۸] استفاده شده است.

بر اساس جدول ۴ که نتایج ژئوترموبارومتری متابازیت ها را بر اساس محاسبات نرم افزار ترموکالک هلند و پاول و یا با استفاده از ترمومتر هلند و بلاندی [۱۳] نشان می‌دهد، اکلوژیت‌ها ضمن بالا آمدن تحت تأثیر کاهش فشار به متابازیت‌های رخسارهٔ اپیدوت آمفیبولیت تبدیل شده‌اند که طی این فرایند آمفیبولهای کلسیک ـ سدیک مذکور تشکیل شده‌اند. بنابراین، نتایج حاصله از تغییرات ترکیب شیمیایی آمفیبولها، با نتایج ژئوترموبارومتری نیز کاملاً تأیید می‌شود.

جدول ۴ نتایج ژئوترموبارومتری متابازیت‌های افیولیت شرق بیرجند در اوج دگرگونی و در رخسارهٔ دگرگونی پسرونده اپیدت آمفیبولیت.

شمارهٔ نمونه	نام سنگ	رخسارهٔ دگرگونی	Thermocalc T(°C) & P(Kb)	n	cor	Fit
Sb1	اکلوژیت	اکلوژیت	T= ۵۷۴±۴۵ P=۲۲٫۷±۲٫۲	۳	- ۰٫۶	۰٫۰۳
SF22	اکلوژیت	اکلوژیت	T= ۵۶۸± ۴۵ P=۲۲٫۳±۲٫۷	۴	- ۰٫۵۹۹	۰٫۱
D3a	اکلوژیت	اکلوژیت	T= ۴۹۶± ۳۶ P=۲۶٫۴± ۱٫۷	۵	- ۰٫۳۴۸	۱٫۰۸
F3	اکلوژیت	اکلوژیت	T= ۶۲۵± ۴۹ P=۱۸٫۴± ۲٫۸	۶	- ۰٫۷۴۵	۱٫۱۵
GOF5	شیست آبی گارنت دار	شیست آبی	T= ۵۰۹± ۵۷ P=۱۸٫۱±۵٫۳	۷	- ۰٫۸۷۵	۱٫۵
FSD8a	شیست آبی گارنت دار	شیست آبی	T= ۵۲۵± ۷۴ در P=۱۳	-	-	۱٫۶۸
Sb1	اکلوژیت	اپیدوت آمفیبولیت	T= ۶۷۳± ۶۸ P= ۱۱٫۸±۱٫۶	۴	۰٫۸۹۵	۰٫۷۹
SF22	اکلوژیت	اپیدوت آمفیبولیت	T= ۵۹۲±۸۶ P=۷٫۴± ۲٫۶	۴	۰٫۷۹۹	۱٫۵۹
D3a	اکلوژیت	اپیدوت آمفیبولیت	T= ۵۴۹±۵۵ P=۶٫۷± ۲٫۱	۱۰	۰٫۷۵۸	۱٫۵۶
FSD8a	شیست آبی گارنت دار	اپیدوت آمفیبولیت	T= ۵۱۷±۲۵ P=۷٫۲± ۰٫۹	۵	۰٫۵۷۲	۰٫۴۳

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

متابازیت‌های مذکور حاصل فرورانش پوستهٔ اقیانوسی تشکیل شده در اواخرژوراسیک - اوائل کرتاسهٔ زیرین در بین دو بلوک لوت و افغان هستند. دراین عمل (شکل ۸- B) بخشی از پوستهٔ اقیانوسی که نتوانسته است به فرورانش خود ادامه دهد، به همراه بخشی که در محل تماس دو ورقه و تحت فشار زمین‌ساختی و سایر عوامل به طرف بالا رانده شده است و نیز رسوبهای نوع فلیش که در کنارهٔ ریفت در حال تشکیل بوده‌اند، در محل برخورد ظاهر شده و ضمن تحمل دگرگونی ناحیه‌ای دیناموترمال که در دو مرحله پیشرونده (تشکیل متابازیت‌های مختلف رخساره‌های شیست سبز تا اکلوژیت ضمن فرورانش) و پسرونده (ضمن بالا آمدن این سنگ‌ها و طی مراحل راندگی و برخورد بلوک ها) رخ داده است، در بین دو بلوک لوت و هلمند جایگیری کرده است [۵]. وجود اکلوژیتهای دمای پایین تا دمای متوسط و نیز همراهی آنها با شیست‌های آبی و رسوبهای فلیش دگرگون شده و دگرگون نشده و نیز وجود راندگیهای بسیار واضح با شیب به سمت شمال شرق و در جهت جنوب غرب دلیل بسیار محکمی بر این مدعاست. بنابراین آمفیبولهای مختلف، نشان‌دهندهٔ تحولات این سنگ‌ها، طی فرورانش و راندگی خواهند بود.

خلاصه و برداشت

بنابر رده‌بندی لیک و دیگران [۹]، سه نوع آمفیبول کلسیک، کلسیک ــ سدیک و سدیک در متابازیتهای افیولیت شرق بیرجند وجود دارند. آمفیبولهای کلسیک شامل اکتینولیت، فرواکتینولیت، ترمولیت و منیزیوهورنبلند هستند. آمفیبولهای کلسیک ـ سدیک شامل وینچیت، باروئیزیت و فروباروئیزیت و آمفیبولهای سدیک شامل فروگلوکوفان، منیزیوریبکیت و گلوکوفان هستند.

آمفیبولهای کلسیک شاهدی بر افزایش دما و فشار طی فرایند فرورانش در منطقهٔ مورد مطالعه و در نتیجه در شرق ایران هستند. آمفیبولهای کلسیک ـ سدیک و رده‌بندی آنها دلیل بالا آمدن متابازیت‌ها با فرایند راندگی طی برخورد دو صفحهٔ بلوک لوت و هلمند در شرق ایران هستند. آمفیبولهای سدیک نشانهٔ افزایش تدریجی فشار و دما طی فرایند فرورانش و یا کاهش تدریجی فشار طی فرایند راندگی در منطقهٔ مورد مطالعه و در نتیجه در شرق ایران هستند.

وجود سه نوع آمفیبول مذکور شاهدی بر فرایند افزایش تدریجی فشار و دما در متابازیت‌ها و سپس کاهش تدریجی فشار و دما در محیط تشکیل و تبلور آمفیبولها و در نتیجه متابازیت-های دربردارنده است.

با توجه به این کار پژوهشی می‌توان به این نتیجه رسید که آمفیبولها شاهدی بر وقوع فرایند فرورانش و متعاقب آن فرایند راندگی در منطقهٔ مورد مطالعه و در نتیجه در شرق ایران هستند. خلاصهٔ نتایج ژئوترموبارومتری متابازیت ها نیز این نتیجه گیری را کاملا تأیید می‌کنند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

مراجع

[1] Maorizot P., Guillou Y., Vaslet D., Dellavillen H., *"Geology of Shahrakht Quadrangle, 1:250000 Scale"*, Report Submitted to the Geological and Mineralogical Survey of Iran (1980) 141.

[2] Maorizot P., Guillou Y., Vaslet D., Dellavillen H., *"Geology of Gazik Quadrangle, 1:250000 Scale"*, Report Submitted to the Geological and Mineralogical Survey of Iran (1980) 172.

[3] Mysen B.O., Griffin W.L., *"Pyroxene stoichiometry and breakdown of omphacite"*, Am. Mineral 58 (1973) 60-63.

[4] Tirrul R., Bell I. R., Griffis R. J., Camp V.E., *"The Sistan Suture Zone of eastern Ira,* Geological Society of America Bulletin 94 (1983) 134-150.

[۵] فتوحی راد غلامرضا، *"پترولوژی و ژئوشیمی افیولیت های دگرگون شدهٔ شرق بیرجند"*، رسالهٔ دکتری پترولوژی در مرحلهٔ داوری، دانشگاه تربیت معلم تهران (۱۳۸۳)، صفحهٔ ۳۴۰.

[6] Droop G. T. R., *"A general equation for estimating Fe^{3+} concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria"*, Mineralogical Magazine 51(1987) 431-435.

[7] Velde B., Herve F., Kornprobst J., *"The eclogite-amphibolite transition at 650°C and 6.5kbar pressure, as exemplified by basic rocks of the Uzerche area, central France"*, Am. Mineral 55 (1970) 953-974.

[8] Vogel D.E., *"Nature and chemistry of the formation of clinopyroxene-plagioclase symplectite from omphacite"*, Neues Jahrbuch der Mineralogie, Monatshefte (1966) 185-189.

[9] Holland T. J. B., Powell R., *"An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interes"*, Journal of Metamorphic Geology. 16 (1998) 309-343.

[10] Giaramita M. J., Sorensen S. S., *"Primary fluids in low-temperature eclogites: evidence from two subduction complex"*, (Dominican Republic, and California, USA), Contributions to Mineralogy and Petrology, 117 (1994) 279-292.

[11] Holland T. J. B., *"High water activities in the generation of high pressure kyanite eclogites of the Tauren Window"*, Austria. J. Geol. 87 (1979) 1-27.

[12] Holland T. J. B., Blundy J., *"Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 116 (1994) 433-447.

[13] Holland T. J. B., *"Preliminary phase relations involving glaucophane and applications to high pressure petrology: new heat capacity and*

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

thermodynamic data", Contributions to Mineralogy and Petrology 99 (1988) 134-142.

[14] Chalot-Part F., Ganne J., Lombard A., *"No significant element transfer from the oceanic plate to the mantle wedge during subduction and exhumation of the Tethys lithosphere(Western Alps)"*, Lithos 69 (2003) 69-103.

[15] Leake B. E., et al., *"Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommitee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names"*, American Mineralogist, 82 (1997) 1019-1037.

[16] Fotoohi Rad G. R., Droop G. T. R., Amini S., Moazzen M., *"Eclogites and blueschists of the Sistan Suture Zone, eastern Iran: contrasting P-T histories within a subduction mélange"*, (has sent to Lithos, July 2004).

[17] Holland T. J. B., Powell R., *"An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: The system* Na_2O- K_2O- CaO- MgO- MnO- FeO- Fe_2O_3- Al_2O_3- SiO_2- TiO_2- C-H_2- O_2*"*, Journal of Metamorphic Geology 8 (1990) 89-124.

[18] Droop G. T. R., *"A clinopyroxene paragenesis of albite-epidote-amphibolite facies in meta-syenites from the South-East Tauren Window"*, Austria. Journal of Petrology 23 Part2 (1982) 163-185.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]