



شیمی پیروکسن و زمین دما - فشارسنجی سنگ‌های بازی، شمال شرق قروه (کردستان)

اشرف ترکیان^{*}، نفیسه صالحی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(دریافت مقاله: ۹۲/۴/۱۱، نسخه نهایی: ۹۲/۹/۷)

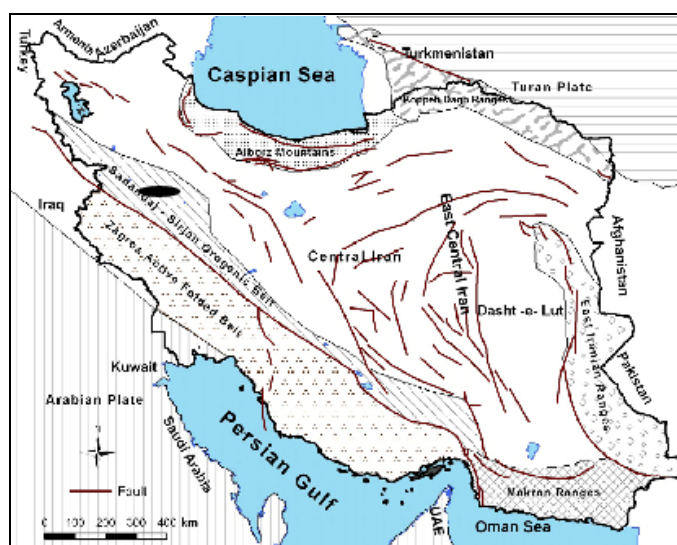
چکیده: آتشفشان‌های پلیو-کواترنر در شمال شرق قروه (کردستان) در کمر بند آتشفشانی قروه-تکاب، در پهنه‌ی همدان-تبریز جایگزین شده‌اند. ترکیب این سنگ‌های آتشفشانی بازالت تا اولوین بازالت است. تجزیه ریز پردازش الکترونی پیروکسن‌ها حضور یک نوع پیروکسن یعنی دیوپسید با ترکیب $[Fs_{21/65}En_{40/44}Wo_{45/97}Si_{14}]$ و با عدد منیزی می ۹۸-۸۴ را نشان می‌دهد. زمین دماسنجی بلورهای پیروکسن دمای ۸۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد را معلوم می‌دارد. توزیع Al در موقعیت چاروچی و هشت وجهی کلینوپیروکسن‌ها حاکی از تبلور این کانی از یک ماگمای آبدار با فشار بخارآبی کمتر از ۱۰ درصد، در فشاری متوسط تا کم و عمقی برابر ۳۰-۱۸ کیلومتری است. محتوای Fe^{3+} کلینوپیروکسن‌ها معرف بالا بودن فشار بخشی (گریزندگی) اکسیژن در محیط تبلورشان است.

واژه‌های کلیدی: پیروکسن؛ بازالت؛ فشارسنجی؛ دماسنجی؛ گریزندگی اکسیژن؛ قروه؛ کردستان.

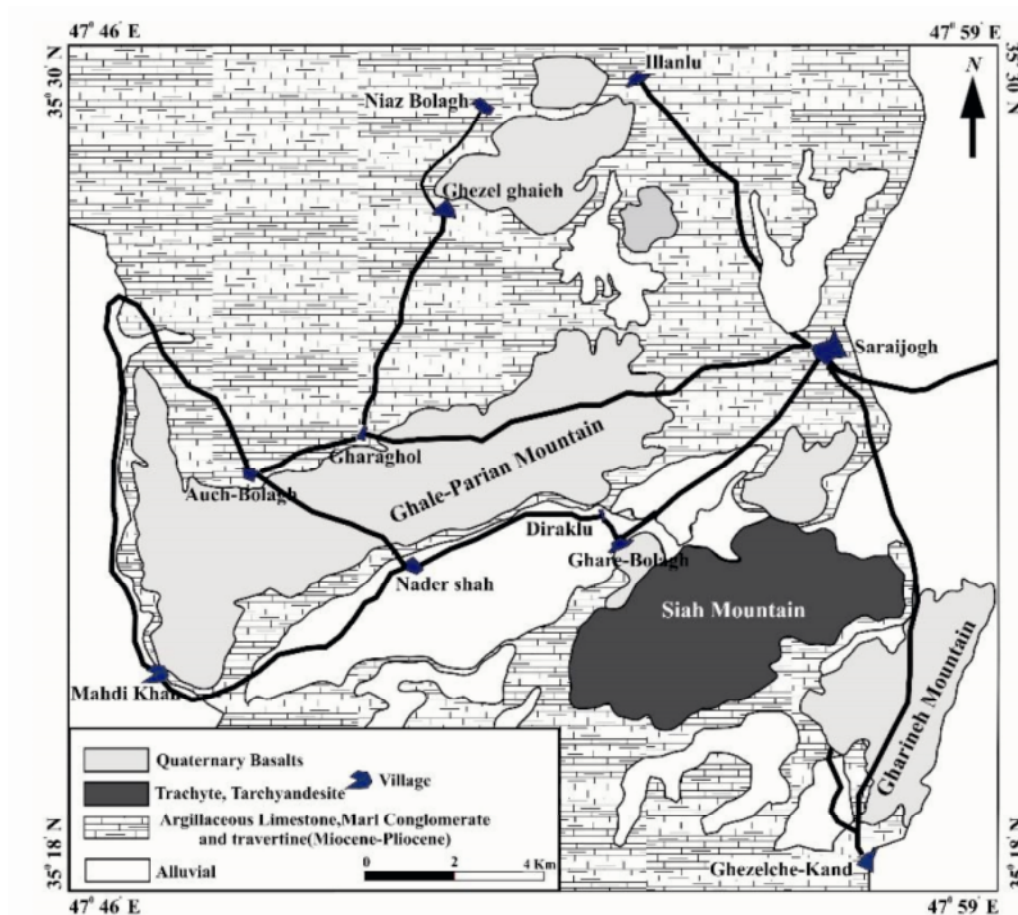
مقدمه

به نام‌هایی چون قزلجه‌کند، کوه قلعه پریان، ایلانلو و قره‌بلاغ خوانده می‌شوند. لازم به یادآوری است که قبلاً این واحدهای آتشفشانی به‌طور کامل یا بخشی، به لحاظ سنگ‌نگاری، تعیین سن، سنگ‌شناختی، وقوع آلاش ماگمایی و تعیین خاستگاه توسط [۸-۱] بررسی شده‌اند. تاکنون اطلاعی از پیروکسن‌های این واحدها و نیز در خصوص شرایط دما و فشار تشکیل آن‌ها ارائه نشده است. در دهه‌های اخیر معلوم شد که کانی‌ها از جمله پیروکسن‌ها در تعیین شرایط تبلور (فشار و دما) [۹]، سرشت ماگمایی و محیط زمین‌ساختی [۱۰] بسیار کارآمد و ارزشمندند. لذا با توجه به اثر مستقیم فشار و دما در بررسی‌های سنگ‌زایی بازالت‌ها، هدف این مقاله ارائه نتایج تجزیه‌ی نقطه‌ای پیروکسن‌ها برای استفاده در تعیین سرشت ماگمایی و شرایط فیزیکوشیمیایی (دما-فشار) تشکیل سنگ‌های آتشفشانی حامل آن‌هاست.

منطقه‌ی مورد بررسی در شمال شرقی قروه از شهرستان‌های استان کردستان، بین طول‌های جغرافیایی $47^{\circ} 47'$ تا $48^{\circ} 00'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 28'$ تا $35^{\circ} 30'$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). در این منطقه چندین مرکز آتشفشانی وجود دارند که از لحاظ سنی جزء آتشفشان‌های کواترنری به حساب می‌آیند. به اعتقاد معین‌وزیری و امین-سبحانی [۱] این مراکز آتشفشانی بخشی از کمر بند آتشفشانی قروه-تکاب-بیجار و در راستای خط NW-SE به موازات راندگی زاگرس، و در ۱۰۰ کیلومتری روراندگی اصلی زاگرس قرار دارند (شکل ۱ الف و ب). به لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی ساختاری، آن‌ها بین دو گسل، با روندی مشابه روند گسترش آتشفشان‌ها، یعنی گسل تبریز در شمال و گسل زاگرس در جنوب شرقی، جای گرفته‌اند. ترکیب کلی این آتشفشان‌ها بازالتی است و به مناسبت نزدیکی به روستاهای منطقه



شکل ۱ (الف) نقشه زمین شناسی ایران [۱۱] که در آن موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی در پهنه‌ی سنندج- سیرجان با بیضی توپر نشان داده شده است.



شکل ۱ (ب) نقشه‌ی ساده شده‌ی منطقه‌ی مورد بررسی (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ ورقه قروه [۱۲]).

راهنما؛ ۱: جاده درجه دو؛ ۲: روستا؛ ۳: زمین‌های زراعتی؛ ۴: آبرفت‌های رودخانه‌ای؛ ۵: تراورتن؛ ۶: پادگانه‌های مرتفع (هولوسن)؛ ۷: پادگانه‌های پست (هولوسن)؛ ۸: تراکیت، تراکی آندزیت و لاتیت- آندزیت (میوسن - پلیوسن)؛ ۹: بازالت و بازانیت (کواترنری)؛ ۱۰: آهک‌های رسی با کمی قطعات آتشفشانی (میوسن - پلیوسن)؛ ۱۱: توف، لاپیلی، پومیس و توف برشی (میوسن - پلیوسن).

زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی

بررسی‌های صحرایی مراکز آتشفشانی منطقه نشان می‌دهد که گدازه از نقاط و یا شکاف‌های مختلفی بیرون ریخته است. آن‌ها گاهی تحت تأثیر گرانیوی کم جریان‌یافته و پهنه‌های بازالتی، با ضخامت تقریباً یکنواختی (حدود ۵۰ متر) را به وجود آورده‌اند. بیشتر آتشفشان‌ها دارای مخروط هستند. در حاشیه‌ی این مخروط‌ها، حجم زیادی از قطعات اسکوری و به مقدار کمتر بمب‌های دوکی و گلابی شکل، به رنگ سیاه، انباشته شده‌اند که سال‌هاست به عنوان پوکه‌ی معدنی برای استفاده در ساخت و سازهای شهری و راه‌سازی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. این منطقه در منابع زمین‌شناسی گاهی وابسته به پهنه‌ی سنندج-سیرجان تلقی شد (برای مثال به [۱] مراجعه شود) و گاهی نیز بخشی از پهنه‌ی آتشفشانی ارومیه-دختر در زیر مجموعه‌ی کمربند آتشفشانی همدان- تبریز [۱۳] در نظر گرفته شده

است. واحدهای آتشفشانی با ترکیب داسیتی و ریوداسیتی نیز مشاهده می‌شوند که جوان‌تر از بازالت‌ها هستند.

روش بررسی

در راستای بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر در ساختار کانی پیروکسن در مراکز آتشفشانی مورد نظر ۲۵ نمونه از پیروکسن-های سنگ‌های مناطق مختلف فورانی انتخاب و مجموعاً ۱۶۵ نقطه، با استفاده از دستگاه ریزپردازشی دانشگاه واشنگتن، مورد تجزیه نقطه‌ای قرار گرفتند. این دستگاه (مدل CAMECA SX50) با ولتاژ شتاب‌دهنده ۱۵ Kv، باریکه جریان ۲۰ nA و با قطر باریکه‌ای برابر ۲ μm بلورهای پیروکسن را تجزیه نموده و نتایج حاصل از این آنالیزها در جدول ۱ ارائه شده‌اند. فرمول ساختاری پیروکسن‌ها بر اساس ۶ اکسیژن محاسبه و در بررسی و پردازش داده‌ها از نرم‌افزارهای زمین‌شناسی 2.1.1 GCDkit و Minpet استفاده شده است.

جدول ۱ نتایج تجزیه نقطه‌ای و محاسبه فرمول ساختاری پیروکسن‌ها (بر حسب ۶ اتم اکسیژن).

محل برداشت	Ghezelche Kand					Kuh-e-Ghaleh parian			Ilanlu		Ghareh
شماره نمونه	40-GH	42-	43-GH	54-NS.1.2	55-NS.1.2	36- M-4	68-M-6	79- M-4	60-IS4	64-	49GHB-1
میانگین تعداد نقاط	۱	۱۵	۴	۴	۶	۱۹	۷	۸	۸	۹	۸
SiO ₂	۵۰٫۲۵	۵۱٫۴۱	۵۰٫۲۴	۴۸٫۶۱	۵۰٫۱۶	۴۹٫۱۳	۴۸٫۱۲	۵۰٫۶۹	۵۱٫۶۳	۵۰٫۷۷	۴۶٫۰۰
TiO ₂	۱٫۳۹	۰٫۷۱	۰٫۹۹	۱٫۶۱	۱٫۵۵	۱٫۶۱	۲٫۰۷	۱٫۲۴	۰٫۹۴	۱٫۲۶	۳٫۰۹
Al ₂ O ₃	۴٫۸۰	۲٫۹۵	۳٫۹۰	۵٫۴۸	۴٫۸۸	۵٫۰۷	۵٫۲۱	۳٫۴۱	۲٫۶۳	۳٫۶۱	۷٫۶۰
FeO	۵٫۹۱	۶٫۶۷	۷٫۷۰	۶٫۷۷	۶٫۱۱	۵٫۹۴	۶٫۴۴	۵٫۸۰	۴٫۷۵	۵٫۱۰	۷٫۹۱
Cr ₂ O ₃	۰٫۱۰	۰٫۰۵	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۲۳	۰٫۱۹	۰٫۱۵	۰٫۴۲	۰٫۵۹	۰
MnO	۰٫۱۰	۰٫۱۵	۰٫۲۰	۰٫۱۲	۰٫۱۰	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۱۰	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۱۱
MgO	۱۵٫۱۶	۱۵٫۱۷	۱۴٫۸۴	۱۴٫۷۹	۱۵٫۱۰	۱۴٫۶۱	۱۴٫۵۷	۱۵٫۸۵	۱۶٫۶۶	۱۶٫۰۲	۱۲٫۴۷
CaO	۲۱٫۷۳	۲۱٫۷۵	۱۹٫۴۹	۲۲٫۲۰	۲۲٫۱۱	۲۲٫۷۰	۲۲٫۴۶	۲۲٫۴۹	۲۲٫۹۶	۲۲٫۹۶	۲۲٫۷۵
Na ₂ O	۰٫۷۴	۰٫۷۹	۱٫۱۴	۰٫۶۵	۰٫۷۲	۰٫۴۵	۰٫۴۵	۰٫۳۹	۰٫۳۶	۰٫۳۹	۰٫۵۸
K ₂ O	۰	۰٫۰۱	۰٫۸۱	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲
Total	۱۰۰٫۱۹	۹۹٫۶۶	۹۹٫۳۰	۱۰۰٫۲۶	۱۰۰٫۷۶	۹۹٫۸۴	۹۹٫۵۹	۱۰۰٫۱۲	۱۰۰٫۴۵	۱۰۰٫۷۹	۱۰۰٫۴۹
Si	۱٫۸۳۷	۱٫۸۹۳	۱٫۸۵۳	۱٫۷۸۰	۱٫۸۲۵	۱٫۸۱۰	۱٫۸۷	۱٫۸۵۷	۱٫۸۷۷	۱٫۸۴۶	۱٫۷۰۱
Ti	۰٫۰۳۸	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۷	۰٫۰۴۴	۰٫۰۴۳	۰٫۰۴۵	۰٫۰۵۸	۰٫۰۳۴	۰٫۰۲۶	۰٫۰۸۶	۰٫۰۸۶
Al ^{IV}	۰٫۱۲۴	۰٫۰۸۷	۰٫۱۱۹	۰٫۱۷۵	۰٫۱۳۲	۰٫۱۴۵	۰٫۱۶۲	۰٫۱۰۹	۰٫۰۹۷	۰٫۲۱۲	۰٫۲۱۲
Al ^{VI}	۰٫۸۰۳	۰٫۰۴۱	۰٫۰۵۰	۰٫۰۶۱	۰٫۰۷۷	۰٫۰۷۶	۰٫۰۶۶	۰٫۰۳۹	۰٫۰۳۲	۰٫۱۱۹	۰٫۱۱۹
Fe ³⁺	۰٫۰۹۲	۰٫۱۰۲	۰٫۱۶۸	۰٫۰۱۶	۰٫۰۶۸	۰٫۰۹۴	۰٫۱۲۳	۰٫۰۹۴	۰٫۰۹۴	۰٫۰۹۴	۰٫۱۳۶
Fe ²⁺	۰٫۰۸۶	۰٫۱۰۴	۰٫۰۷۰	۰٫۰۴۶	۰٫۰۸۰	۰٫۰۸۹	۰٫۰۷۶	۰٫۰۸۴	۰٫۰۵۰	۰٫۱۰۹	۰٫۱۰۹
Mn	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳
Mg	۰٫۸۲۶	۰٫۸۳۱	۰٫۸۱۵	۰٫۸۰۷	۰٫۸۱۸	۰٫۸۰۳	۰٫۸۰۳	۰٫۸۶۵	۰٫۹۰۳	۰٫۶۸۸	۰٫۶۸۸
Ca	۰٫۸۵۱	۰٫۸۵۸	۰٫۷۷	۰٫۸۷۱	۰٫۸۶۲	۰٫۸۹۶	۰٫۸۹۱	۰٫۸۸۳	۰٫۸۹۵	۰٫۹۰۲	۰٫۹۰۲
Na	۰٫۰۳۵	۰٫۰۵۶	۰٫۰۸۱	۰٫۰۴۶	۰٫۰۵۱	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۲	۰٫۰۲۸	۰٫۰۲۵	۰٫۰۴۲	۰٫۰۴۲
K	۰	۰٫۰۰۳	۰٫۰۳۸	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۱
Cr	۰٫۰۹۲	۰٫۰۰۱	۰	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۴	۰٫۰۹۴	۰	۰
Mg [#]	۹۰٫۵۷	۸۸٫۵۰	۹۲٫۰۰	۹۴٫۷۳	۹۰٫۹۸	۸۹٫۹۹	۹۱٫۱۷	۹۱٫۱۳	۹۴٫۷۷	۸۶٫۴۴	۸۶٫۴۴
Wo%	۴۸٫۲	۴۷٫۹۰	۴۶٫۲۸	۵۰٫۵۳	۴۸٫۹۸	۵۰٫۱۵	۵۰٫۳۹	۴۸٫۱۹	۴۸٫۴۷	۵۳٫۱۴	۵۳٫۱۴
En%	۴۶٫۷۹	۴۶٫۱۹	۴۹٫۶۳	۴۶٫۸۲	۴۶٫۳۶	۴۴٫۹۸	۴۵٫۲۸	۴۷٫۲۳	۴۸٫۸۲	۴۰٫۴۴	۴۰٫۴۴
Fs%	۵۰٫۱	۵۰٫۹۱	۴۰٫۹	۲٫۶۵	۴٫۵۶	۴٫۹۷	۴٫۳۳	۴٫۵۸	۲٫۷۱	۶٫۴۲	۶٫۴۲

ادامه جدول ۱

محل برداشت	Kuh-e-Ghaleh parian							
شماره نمونه‌ها	-1-67-D	3-73-D	3-74-D	-2-75-D	48-NS-6	65-NS-4	37-U-5	78-U-6
میانگین تعداد نمونه-	۶	۱۰	۸	۶	۷	۸	۱۴	۷
SiO ₂	۴۷,۵۹	۴۸,۳۲	۴۸,۲۲	۴۸,۹۸	۵۱,۶۰	۵۰,۲۴	۵۰,۷۷	۵۰,۶۰
TiO ₂	۱,۹۴	۲,۰۴	۲,۱۶	۱,۸۸	۰,۸۳	۱,۲۱	۱,۴۲	۱,۵۵
Al ₂ O ₃	۵۶۰	۵۷۱	۵۸۲	۵۰۹	۴,۱۲	۴,۱۵	۳,۶۸	۳,۸۰
FeO	۶,۰۵	۶,۸۸	۶,۵۶	۶,۲۷	۴,۴۶	۵,۶۵	۵,۵۶	۶,۲۳
Cr ₂ O ₃	۰,۴۱	۰,۰۸	۰,۲۱	۰,۲۵	۰,۷۱	۰,۲۹	۰,۲۹	۰,۰۹
MnO	۰,۰۸	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۰۹	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۹	۰,۱۰
MgO	۱۴,۸۷	۱۴,۱۹	۱۴,۱۵	۱۴,۶۳	۱۶,۳۸	۱۵,۴۱	۱۵,۵۶	۱۵,۲۲
CaO	۲۲,۳۸	۲۲,۶۵	۲۲,۷۰	۲۳,۲۵	۲۲,۳۲	۲۳,۱۳	۲۳,۲۱	۲۳,۰۸
Na ₂ O	۰,۴۸	۰,۴۹	۰,۵۱	۰,۴۴	۰,۶۱	۰,۴۱	۰,۳۹	۰,۴۲
K ₂ O	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۵	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰	۰,۰۱
Total	۹۹,۳۹	۱۰۰,۴۵	۱۰۰,۴۷	۱۰۰,۸۳	۱۰۱,۱۳	۱۰۰,۸۸	۱۰۰,۹۸	۱۰۱,۰۹
Si	۱,۷۶۰	۱,۷۷۵	۰,۰۶۱	۱,۷۸۷	۱,۸۶۰	۱,۸۲۹	۱,۸۴۶	۱,۸۴۴
Ti	۰,۰۵۴	۰,۰۵۶	۰,۰۵۲	۰,۰۵۲	۰,۰۲۲	۰,۰۴۲	۰,۰۳۹	۰,۰۴۳
Al ^{IV}	۰,۱۸۶	۰,۱۶۸	۰,۱۷۰	۰,۱۶۱	۰,۱۱۸	۰,۱۲۹	۰,۱۱۵	۰,۱۱۵
Al ^{VI}	۰,۰۵۸	۰,۰۷۹	۰,۰۸۳	۰,۰۵۹	۰,۰۵۷	۰,۰۴۹	۰,۰۴۳	۰,۰۴۸
Fe ³⁺	۰,۱۳۷	۰,۱۲۲	۰,۱۱۹	۰,۱۲۳	۰,۰۶۴	۰,۱۰۱	۰,۰۹۱	۰,۰۹۴
Fe ²⁺	۰,۰۶۹	۰,۰۹۰	۰,۰۸۲	۰,۰۸۱	۰,۰۲۰	۰,۰۷۲	۰,۰۷۸	۰,۰۹۶
Mn	۰,۰۰۲	۰,۰۰۳	۰,۰۰۳	۰,۰۰۳	۰,۰۰۳	۰,۰۰۳	۰,۰۰۳	۰,۰۰۳
Mg	۰,۸۱۹	۰,۷۷۷	۰,۷۸۳	۰,۷۹۶	۰,۸۸۰	۰,۸۳۶	۰,۸۴۵	۰,۸۲۶
Ca	۰,۸۸۷	۰,۸۹۲	۰,۸۹۳	۰,۹۱۱	۰,۸۶۴	۰,۹۰۲	۰,۹۰۵	۰,۹۰۰
Na	۰,۰۳۴	۰,۰۳۵	۰,۰۳۶	۰,۰۳۱	۰,۰۴۳	۰,۰۲۹	۰,۰۲۸	۰,۰۲۹
K	۰,۰۰۵	۰	۰,۰۰۲	۰,۰۰۳	۰,۰۰۴	۰,۰۰۲	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۳
Cr	۰,۰۱۲	۰,۰۰۲	۰,۰۰۶	۰,۰۰۷	۰,۰۲۰	۰,۰۰۸	۰,۰۰۸	۰,۰۰۳
Mg [#]	۹۴,۱۷	۸۹,۶۲	۹۱,۴۱	۹۳,۳۷	۹۷,۷۶	۹۲,۰۷	۹۱,۵۳	۸۹,۵۹
Wo%	۵۰,۴۹	۵۰,۷۴	۵۱,۱۲	۵۱,۴۰	۴۷,۵۶	۴۹,۸۹	۴۹,۵۵	۴۹,۴۳
En%	۴۶,۶۳	۴۴,۱۶	۴۴,۱۵	۴۴,۷۹	۴۸,۵۳	۴۶,۱۷	۴۶,۱۷	۴۵,۳۱
Fs%	۲,۸۸	۲,۸۸	۴,۷۳	۳,۸۱	۳,۹۱	۳,۹۴	۴,۲۸	۵,۲۶

سنگ‌نگاری

ترکیب بیشتر گدازه‌های مشاهده شده بازالت تا اولیوین بازالت است. این سنگ‌ها دارای ساخت حفره‌ای (ویزیکولار) و کانی-های تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها عبارتند از پلاژیوکلاز، پیروکسن، اولیوین و به مقدار کمتر آمفیبول، بیوتیت و اکسیدهای آهن-تیتان. بافت این سنگ‌ها پورفیری با خمیره میکرولیتی و میکرولیتی-شیشه‌ای است (شکل ۲-الف و ب). در برخی موارد وضعیت نیمه جریانی در میکرولیت‌ها و بافت گلومروپورفیری نیز مشهود می‌باشد (شکل ۲-پ و ت). درشت بلورها (پورفیرها) پیروکسن و یا اولیوین‌اند. پیروکسن‌ها بیشتر دارای منطقه‌بندی و بافت غربالی هستند که گاهی حاشیه‌های مضرس و خوردگی‌هایی نیز در آن‌ها مشاهده می‌شود. همه‌ی این ویژگی‌ها ناشی از عدم حاکمیت شرایط تعادل در تبلور این کانی است. در سنگ‌های آتشفشانی قزلجه‌کند، بیگانه‌سنگ‌های

اولترامافیکی (کلینوپیکروکسنیت)، گنیسی و بیگانه بلورهای کوارتزی با خوردگی خلیجی نیز وجود دارند.

شیمی بلور

پیروکسن‌ها از جمله کانی‌های کلیدی و مهمی هستند که ترکیب آن‌ها اطلاعات ارزشمندی را در جهت روشن‌شدن خاستگاه ماگمایی ([۱۰])، تعیین سری ماگمایی و موقعیت زمین ساخت ماگمایی [۱۴] و شرایط فیزیکوشیمیایی شامل دما، فشار و گریزندگی اکسیژن (فشار بخشی اکسیژن) در اختیار می‌گذارند. پیروکسن از خانواده‌ی سیلیکات‌های تک زنجیره‌ای با فرمول عمومی $M_2M_1T_2O_6$ شناسایی می‌شود. در جایگاه T کاتیون‌هایی نظیر Si^{4+} ، Al^{3+} و با امکان کمتر Fe^{3+} (مجموع جایگاه T برابر ۲ است)؛ در جایگاه M_1 (با مجموع ۱)؛ Al^{3+} و مازاد آهن سه ظرفیتی مصرف شده در موقعیت T و نیز

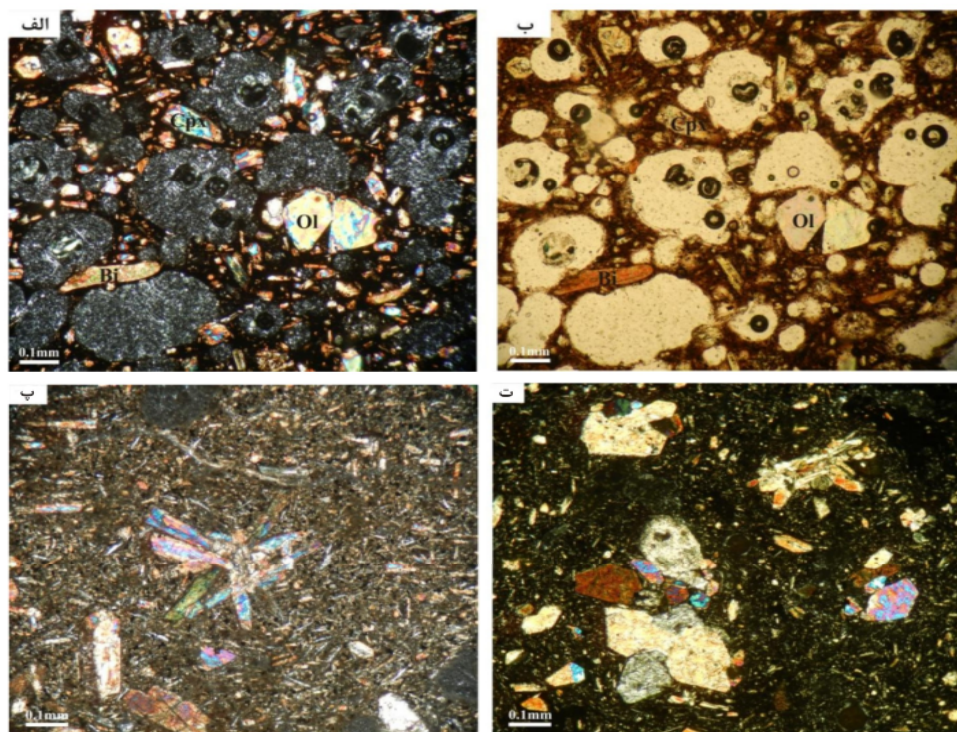
[۱۵]، پیروکسن‌ها در گستره‌ی دیوپسید قرار دارند (شکل ۳ ب).

بر مبنای فرمول کلی ساختاری این کانی، ترکیب پیروکسن‌های موجود در بازالت‌های مناطق قزلجه‌کند، کوه قلعه‌پریان و ایلانلو $Wo_{45/97-51/0} En_{44/15-50/47} Fs_{2/65-2/88}$ با $[Mg^{2+} / (Mg + Fe^{2+})] = 100$ برابر با ۹۸-۸۴ هستند، در حالی که پیروکسن‌های سنگ‌های بازالتی منطقه قره‌بلاغ با اندکی تفاوت، ترکیبشان $Wo_{53/14} En_{40/44} Fs_{6/42}$ و عدد منیزیمی حدود ۸۶/۴۴ دارند که مشابه با نمونه‌های مناطق فوق است.

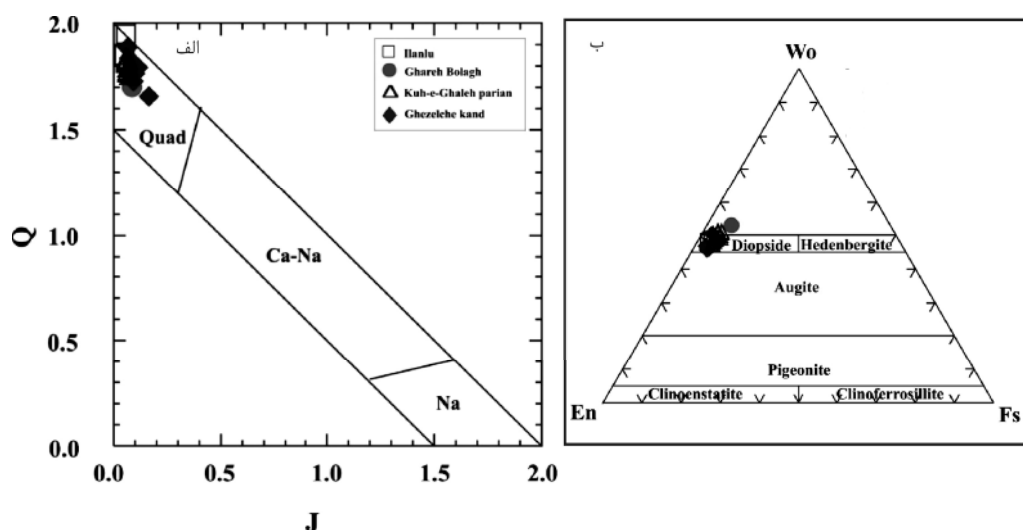
با پیمایش و حرکت از بازالت‌های قره‌بلاغ به سوی بازالت‌های سایر مراکز آتشفشانی، محتوای عناصر اصلی پیروکسن‌ها دستخوش تغییر شده است، به طوری که کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های قره‌بلاغ در مقایسه با کلینوپیروکسن‌های مناطق قزلجه‌کند، کوه قلعه‌پریان و ایلانلو، به موازات کاهش عدد منیزیمی، از TiO_2 ، Al_2O_3 و FeO غنی‌تر، و از Na_2O ، SiO_2 و تا حدی از CaO فقیر می‌شوند.

کاتیون‌هایی مانند Fe^{2+} ، Mg^{2+} ، Zr^{2+} ، Mn^{2+} و گاهی Ti^{4+} ، Cr^{3+} ، V^{3+} ، Ti^{4+} ، Zr^{4+} و Sc^{3+} جایگزین می‌شوند. بالاخره M_2 را عناصری چون Mg^{2+} ، Fe^{2+} ، Mn^{2+} و نیز Li^{1+} ، Ca^{2+} و Na^{1+} اشغال می‌کنند که مجموع آن‌ها در حدود ۱ است.

به منظور بهره‌مندی از ترکیب پیروکسن موجود در سنگ‌های بازالتی شمال شرق قروه، برای دستیابی به زمین دما- فشار سنجی سنگ‌های حامل، نخست به رده‌بندی آن‌ها پرداخته و سپس فرمول ساختاری دقیق آن‌ها بررسی می‌شود. این کانی در چهار گروه الف (پیروکسن‌های $Ca-Mg-Fe$ ، ب) پیروکسن‌های $Na-Ca$ ، ج) پیروکسن‌های Na و بالاخره د) پیروکسن‌های دیگر جای می‌گیرند [۱۵]. پیروکسن‌های مورد بررسی در نمودار $Q-J$ [۱۵] در قلمرو پیروکسن‌های کلسیم- منیزیم- آهن‌دار تصویر شده و از سدیم تهی هستند (شکل ۳-الف). در این نمودار شاخص J و Q به ترتیب شامل $2Na \pm R + (R: Al, Ca + Mg + Fe + 2$ (شکل ۳-الف). در این نمودار شاخص J و Q به ترتیب شامل $2Na \pm R + (R: Al, Ca + Mg + Fe + 2$ است. با توجه به نمودار $Fs-En-Wo$



شکل ۲ الف و ب) تصاویر میکروسکوپی از بافت پورفیریک- حفره‌ای با خمیره‌ای شیشه‌ای در سنگ‌های بازالتی قزلجه‌کند (تصاویر به ترتیب در حالت XPL و PPL گرفته شده‌اند)، پ و ت) تصاویری از انباشت‌های خوشه‌ای پیروکسن‌ها در کنار بلورهای ریزی از پلاژیوکلازها، پیروکسن‌ها و مقادیر قابل توجهی اکسیدهای آهن - تیتان در بازالت‌های منطقه‌ی مورد بررسی (تصاویر پ و ت نیز به ترتیب در حالت XPL و PPL تهیه شده‌اند).



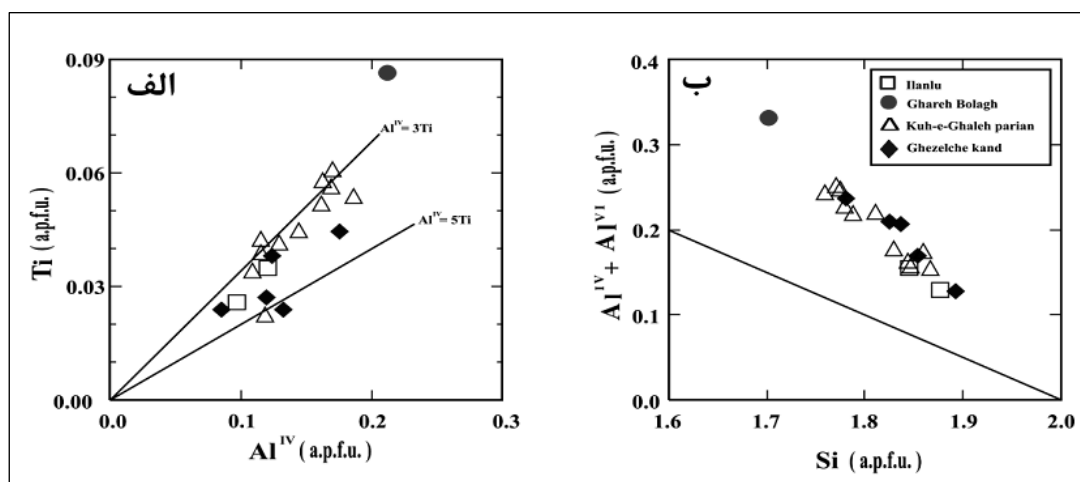
شکل ۳ الف) همه‌ی پیروکسن‌های منطقه‌ی شمال شرق قروه در نمودار Q-J [۱۵]، در قلمرو پیروکسن‌های Ca - Fe - Mg (Quad) قرار می‌گیرند ($Q = Ca + Mg + Fe^{2+}$ و $J = 2Na$). ب) ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های منطقه‌ی شمال شرق قروه روی نمودار مثلی Wo - En - Fs [۱۵] در گستره‌ی دیوپسید قرار دارند.

تعیین سری ماگمایی

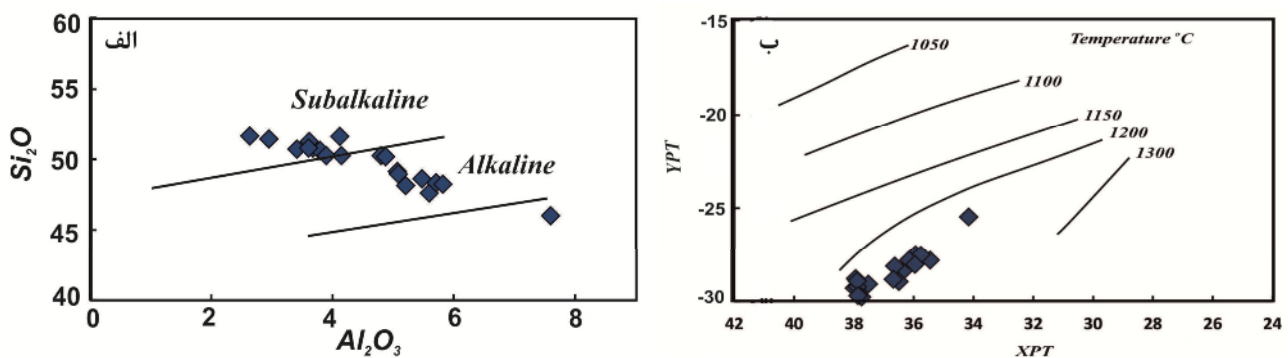
لوباس [۱۶] برای اولین بار متوجه اهمیت و ارتباط ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها و محیط تشکیل ماگمای حامل آن‌ها شد. نامبرده اعتقاد دارد که در ردیابی محیط‌ها عناصری مانند Si، Cr، Ti و Al بسیار با اهمیت هستند. در این خصوص محتوای سیلیسیوم، آلومینیوم و تیتانیوم درون شبکه‌ای تعیین‌کننده سرشت ماگمایی است. بر این اساس ماگمای مورد بررسی با توجه به مقدار میانگین Al_2O_3 و SiO_2 به میزان ۴۷ تا ۵۲ درصد وزنی، در جرگه‌ی ماگماهای قلیایی تا نیمه قلیایی قرار می‌گیرد (شکل ۵-الف)

نمودار Ti نسبت به Al^{IV} نشان می‌دهد که کلیه‌ی نمونه‌ها در حدفاصل خط $Al^{IV}=3Ti$ و $Al^{IV}=5Ti$ تصویر می‌شوند (شکل ۴ الف). به علاوه توزیع Si و Al در پیروکسن‌های مورد بررسی به گونه‌ای است که تمامی نمونه‌ها در نمودار Si در برابر مجموع Al چهار وجهی و هشت وجهی (Al کل ساختمان فرمولی) (شکل ۴ ب و جدول ۱) و در بالای خط اشباع ($Si + Al = 2$) تصویر شده‌اند.

این موضوع معرف آن است که در کلینوپیروکسن‌های مورد نظر موقعیت چهاروجهی ساختار کانی علاوه بر Si با Al چهاروجهی به میزان ۰/۰۸۷ تا ۰/۲۱۲ نیز اشغال می‌شود.



شکل ۴ الف) ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های منطقه‌ی شمال شرق قروه روی نمودار تغییرات Al^{IV} -Ti، ب) ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های منطقه‌ی شمال شرق قروه روی نمودار Al-Si.



شکل ۵ الف) موقعیت نمونه پیروکسن‌های مورد بررسی در بازالت‌های شمال شرق قروه که بیانگر ماهیت قلیایی (Alkaline) تا نیمه قلیایی (Subalkaline) ماگمای آن‌هاست. ب) دمای به دست آمده برای پیروکسن‌های بازالت‌ها به روش [۲۰] بین ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است.

مزیت مهم این روش در دماسنجی این است که اولاً حضور توامان دو پیروکسن الزامی نیست، دوماً برای انواع پیروکسن-های Mg-Ca-Fe دار و Fe-Mg دار قابل استفاده می‌باشد. با وجود آنکه برای تعیین دما به این روش نیازی به شناسایی فشار نیست، ولی به نظر نمی‌رسد توجه صرف به دمای تبلور بدون در نظر گرفتن شرایط فشار در زمان شکل‌گیری کانی‌ها و از جمله پیروکسن‌ها کاملاً منطقی باشد. از طرفی توجه به فراوانی اکسیدها (برای مثال درصد کرم و منیزیم)، که بازتاب آن در میزان فراوانی کاتیون‌های ساختار فرمولی پیروکسن ظاهر می‌شود، دقت محاسبات و ارزیابی‌های دما- فشار سنجی را بالا می‌برد.

با این وصف با توجه به شاخص‌ها و با کمک نمودار ترکیبی ارائه شده از سوی [۲۰] دمای تبلور پیروکسن‌ها در بازالت‌های شمال شرق قروه ۱۲۰۰-۱۳۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد خواهد بود (شکل ۵-ب).

ب) دماسنجی بر اساس روش پیشنهادی [۲۱] از روابط زیر تعیین می‌شود:

$$T_{Cpx} = (33696 + 45.45P) / (17.61 - 8.314 \ln [(1-X)/0.95] - 12.13[X]^2)$$

در این فرمول X مقدار کلسیم در موقعیت M2 است.

$$T(^{\circ}C) = \left[\frac{1000}{0.054 + 0.008X^{Cpx} - 0.004 \ln(1 - 2[Ca]^{Cpx})} \right] - 273$$

$$X^{Cpx} = [Fe^{2+} / (Fe^{2+} + Mg)]^{Cpx}$$

برآورد پارامترهای شدتی (دما و فشار)

ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها را می‌توان در راستای تعیین دما و فشار سنگ‌های حامل آن‌ها بکار برد. با گسترش کاربرد تجزیه-های نقطه‌ای از کانی‌ها در بررسی‌های سنگ‌های آذرین و دگرگون و حتی سنگ‌های رسوبی، این امکان فراهم شد تا ارتباط تغییرات فراوانی کاتیون‌ها با شرایط فشار و دمای تبلور کانی‌ها و به پیروی از آن سنگ‌ها مورد دقت قرار گیرد [۱۷-۱۹].

دماسنجی

برای دماسنجی پیروکسن‌ها روش‌های متعددی وجود دارد: الف) استفاده از رابطه‌ی معرفی شده توسط [۲۰]، ب) رابطه پیشنهادی [۲۱]، ج) استفاده از روش ارائه شده توسط [۲۲] که در آن مقادیر فشار قبلاً نیز بایستی محاسبه شده باشد، و بالاخره روش د) که روش دماسنجی توامان دو پیروکسن ارتو و کلینوپيروکسن است. در این مقاله به سبب عدم حضور ارتوپيروکسن در سنگ‌های بازالتی مورد بررسی، روش د) کاربردی ندارد و لذا دمای برآورد شده از روش‌های دیگر به ترتیب ارائه می‌شود.

- الف) در روش [۲۰] تعیین دو شاخص ضروریست:

$$XpT = 0.446 SiO_2 + 0.187 TiO_2 - 0.404 Al_2O_3 + 0.346 FeO_{(tot)} - 0.052 MnO + 0.309 MgO + 0.431 CaO - 0.446 Na_2O$$

$$YpT = -0.369 SiO_2 + 0.535 TiO_2 - 0.317 Al_2O_3 + 0.323 FeO_{(tot)} + 0.235 MnO - 0.516 MgO - 0.167 CaO - 0.153 Na_2O$$

شمال شرق قروه، در فشار متوسط در گستره‌ی پیروکسن‌های غنی از Mg قرار گرفته‌اند (شکل ۶- ب).

هلز [۲۴] تاثیر توام دو عامل محتوی آب و فشار حاکم در اعماق مختلف را در نظر گرفته و معتقد است توزیع آلومینیوم در موقعیت‌های چهاروجهی و هشت وجهی در کلینوپیروکسن-ها معیار مناسبی برای برآورد مقدار آب ماگمای سازنده و میزان فشار حاکم بر محیط تشکیل سنگ‌های آذرین پیروکسن‌دار است. در همین راستا چنانچه در شکل (۶- پ) دیده می‌شود ماگمای حامل این کانی در منطقه‌ی مورد بررسی توام با مقادیری آب (حداکثر ۱۰ درصد) در قلمرو فشار ۵ کیلو بار متبلور شده است.

چنانکه در نمودار تغییرات Al-Si (شکل ۶ ب) دیده می‌شود، پیروکسن‌های بازالت‌های مناطق قزلجه‌کند، قلعه‌پریان و ایلانلو در مقایسه با سنگ‌های بازالتی قره‌بلاغ از Al کمتری برخوردارند و در عوض Si بیشتری دارند. کاهش مقدار Al پیروکسن‌ها با کاهش مقدار Al هشت‌وجهی آن‌ها همراه است که مربوط به تبلور این پیروکسن‌ها در فشارهای پائین‌تر است [۲۵]. این موضوع نشان می‌دهد که بازالت‌های مناطق قزلجه‌کند، کوه قلعه‌پریان و ایلانلو در مقایسه با بازالت قره‌بلاغ در اعماق کمتری تشکیل شده‌اند.

-فشار بخشی (گریزندگی) اکسیژن

از آنجاکه فشاربخشی اکسیژن در دنباله و نوع کانی‌های متبلور شده در ماگما نقش موثری دارد (برای مثال به [۲۶-۲۹] مراجعه شود). لازم است اثر این عامل نیز در تشکیل پیروکسن‌های مورد بررسی قرار گیرد.

به اعتقاد [۲۹] مقابله $2\text{Ti} + \text{Cr} + \text{Al}^{\text{VI}}$ در برابر $\text{Na} + \text{Al}^{\text{IV}}$ (همه در واحد فرمولی) (شکل ۶- ت) می‌تواند فشار بخشی اکسیژن را تعیین کند. چنانکه در این شکل نشان داده شد، تمامی پیروکسن‌های بازالت‌ها در بالای خط $\text{Fe}^{+3} = 0$ و در ضمن فاصله‌ی قابل ملاحظه‌ای از این خط قرار دارند. بنابراین این چنین استنباط می‌شود که انباشت نمونه‌های مورد بررسی در بالای خط یادشده گویای برخورداری نمونه‌ها از محیطی با فشار بخشی اکسیژن بالاست [۲۹، ۲۴]. این به آن معناست که با ورود آلومینیوم در موقعیت چهاروجهی سایر عناصر از جمله آهن سه ظرفیتی، شانس بیشتری برای ورود به سایت منطقه‌ی هشت‌وجهی پیروکسن را دارند.

ج) نظر به حضور گسترده‌ی این کانی در سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی، از روش پیشنهادی [۲۲] که در آن پیش فرض فشار ۱ تا ۱۰ کیلو بار منظور شده استفاده شد و دمای تشکیل پیروکسن از فرمول زیر برآورد می‌شود.

$$T(k) = \frac{23166 + (39.28P(kbar))}{13.25 + (15.35 \times (Ti + 4/50)) \times (Fe - 1.55)} \times \frac{1}{(Al + Cr - Na - K) + (\ln a_{en}^{Cpx})^2}$$

در رابطه‌ی بالا a_{en}^{Cpx} برابر است با:

$$a_{en}^{Cpx} = (1 - Ca - Na - K) \cdot \left(1 - \frac{1}{2}(Al + Cr + Na + K)\right)$$

نتایج حاصل در جدول ۲ ارائه شده‌اند. در فشارهای مفروض ۱ تا ۱۰ کیلو بار، دما در حدود ۶۵۰ تا ۹۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به دست آمده است. اما باید توجه داشت که بالا بودن مقدار عدد منیزی (به استثنای نمونه‌های 46-GHB-1 و 64-IS-10) که کمی کمتر از سایرین است) و نیز نسبت Al^{VI} به Al^{IV} پیروکسن‌ها (به استثنا) حاکی از آن است که آن‌ها در فشارهای بالا تشکیل شده‌اند؛ و به همین دلیل دمای محاسبه شده در پیش فرض‌های فشار کم می‌بایست در نظر گرفته نشود. بنابر این در مجموع دماهای ۸۰۰-۹۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد منطقی-تر خواهند بود. به علاوه یادآور می‌شود که برغم استفاده از میانگین ترکیب پیروکسن‌ها میزان Mg در حاشیه و مرکز آن‌ها ممکن است حداکثر ۰/۲ تغییر کند.

-فشار سنجی

تعیین فشار حاکم بر تبلور سنگ‌های حاوی پیروکسن همانند دماسنجی آن‌ها از روش‌های بسیاری امکان‌پذیر است:

الف) یکی از این روش‌ها، روش [۲۰] است. بر همین مبنا فشار برآورد شده‌ی تبلور پیروکسن‌های بازالت‌های مورد بررسی بین ۶ تا ۱۰ کیلو بار و معادل عمق تقریبی ۱۸-۳۰ کیلومتری در نظر گرفته شده است. (شکل ۶- الف).

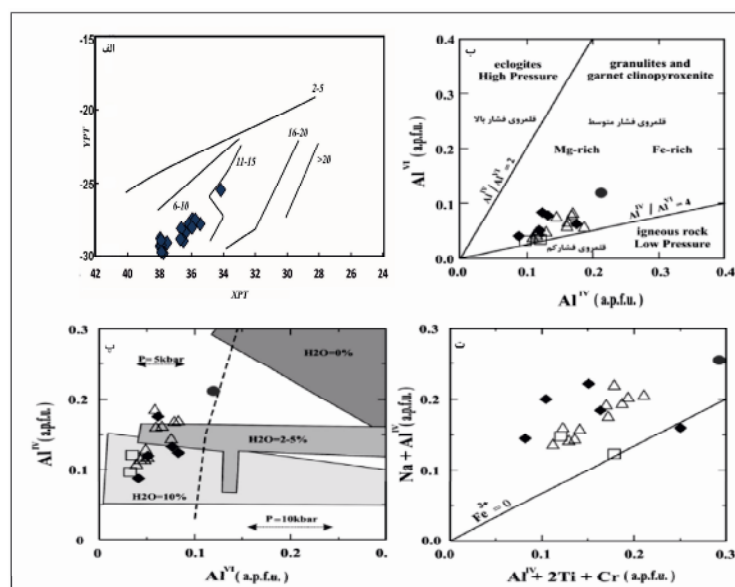
ب) به اعتقاد واس [۲۳] نسبت Al^{VI} به Al^{IV} در پیروکسن‌ها را می‌توان برای تعیین فشار محیط تشکیل سنگ به کار گرفت. پیروکسن‌های با فشار بالا در اکلوتیت‌ها متبلور می‌شوند و انواع فشار پایین آن‌ها در قلمرو سنگ‌های آذرین تشکیل می‌شوند. تمامی نمونه‌های مورد بررسی از مناطق مختلف آتشفشانی

جدول ۲ دماهای محاسبه شده در فشارهای ۱ تا ۱۰ کیلو بار برای کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی شمال شرق قروه- کردستان با استفاده از روش [۲۲].

محل نمونه نمونه‌ها	Ghezelche Kand					Kuh-e-Ghaleh parian			Ilanko	
	40-GH	GH-42	43-GH	54-NS.1.2	55-S.1.2	36- M-4	68- M-6	79- M-4	60-IS-4	64-IS-10
فشار (کیلو بار)	دما (درجه سانتی‌گراد)									
۱	۷۹۹	۸۴۱	۸۷۷	۸۲۰	۹۱۰	۷۶۴	۷۷۶	۹۶۷	۸۱۰	۶۴۴
۲	۸۰۱	۸۴۳	۸۷۹	۸۲۲	۹۱۲	۷۶۶	۷۷۷	۹۶۹	۸۱۲	۶۴۵
۳	۸۰۳	۸۴۵	۸۸۱	۸۲۴	۹۱۴	۷۶۸	۷۷۹	۹۷۱	۸۱۴	۶۴۷
۴	۸۰۵	۸۴۷	۸۸۲	۸۲۵	۹۱۶	۷۷۰	۷۸۱	۹۷۳	۸۱۵	۶۴۸
۵	۸۰۷	۸۴۹	۸۸۴	۸۲۷	۹۱۸	۷۷۱	۷۸۳	۹۷۵	۸۱۸	۶۵۰
۶	۸۰۹	۸۵۱	۸۸۶	۸۲۹	۹۲۰	۷۷۳	۷۸۴	۹۷۷	۸۱۹	۶۵۱
۷	۸۱۰	۸۵۳	۸۸۸	۸۳۱	۹۲۲	۷۷۵	۷۸۶	۹۷۹	۸۲۱	۶۵۳
۸	۸۱۲	۸۵۵	۸۹۰	۸۳۳	۹۲۴	۷۷۷	۷۸۸	۹۸۱	۸۲۳	۶۵۵
۹	۸۱۴	۸۵۶	۸۹۲	۸۳۵	۹۲۶	۷۷۸	۷۹۰	۹۸۳	۸۲۵	۶۵۶
۱۰	۸۱۶	۸۵۸	۸۹۴	۸۳۷	۹۲۸	۷۸۰	۷۹۲	۹۸۶	۸۲۷	۶۵۸

ادامه جدول ۲

محل نمونه نمونه‌ها	Kuh-e-Ghaleh parian								Ghareh Bolagh
	1-1-67-D	3-73-D	3-74-D	1-2-75-D	48-NS-6	65-NS-4	37-U-5	78-U-6	1-49-GHB
فشار (کیلو بار)	دما (درجه سانتی‌گراد)								
۱	۷۷۰	۷۷۲	۷۵۲	۶۷۹	۸۷۴	۷۶۴	۷۸۱	۷۶۵	۶۶۰
۲	۷۷۱	۷۷۴	۷۵۴	۶۸۰	۸۷۶	۷۶۶	۷۸۳	۷۶۷	۶۶۱
۳	۷۷۳	۷۷۶	۷۵۵	۶۸۲	۸۷۸	۷۶۸	۷۸۴	۷۶۹	۶۶۳
۴	۷۷۴	۷۷۷	۷۵۷	۶۸۳	۸۸۰	۷۷۰	۷۸۶	۷۷۱	۶۶۴
۵	۷۷۶	۷۷۸	۷۵۹	۶۸۵	۸۸۲	۷۷۲	۷۸۷	۷۷۵	۶۶۶
۶	۷۷۸	۷۸۱	۷۶۱	۶۸۷	۸۸۴	۷۷۳	۷۹۰	۷۷۴	۶۶۸
۷	۷۸۰	۷۸۳	۷۶۲	۶۸۸	۸۸۶	۷۷۵	۷۹۲	۷۷۶	۶۷۰
۸	۷۸۱	۷۸۴	۷۶۴	۶۹۰	۸۸۸	۷۷۷	۷۹۳	۷۷۷	۶۷۱
۹	۷۸۳	۷۸۶	۷۶۶	۶۹۲	۸۹۰	۷۷۹	۷۹۵	۷۷۹	۶۷۲
۱۰	۷۸۵	۷۸۷	۷۶۸	۶۹۳	۸۹۲	۷۸۰	۷۹۷	۷۸۱	۶۷۴



شکل ۶ الف) گستره‌ی فشار ۶-۱۰ کیلو بار حاصل از روش [۲۰] برای پیروکسن‌های منطقه‌ی مورد بررسی تعیین می‌شود، ب) کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی دارای فشار متوسط و غنی از منیزیم هستند، پ) نمودار Al^{IV} در برابر Al^{VI} نشان می‌دهد که ماگمای بازالتی مورد بررسی در فشار زیر ۱۰ کیلو بار و بین ۲ تا ۱۰ درصد بخار آب پیروکسن‌ها را متبلور کرده است، ت) موقعیت کلینوپیروکسن‌ها در نمودار $Na + Al^{VI}$ در برابر $Al^{IV} + 2Ti + Cr$ ، بیانگر آنست که در کلینوپیروکسن‌های این منطقه موقعیت چاروچی ساختارشان به‌وسیله‌ی Al و Si پر شده است.

برداشت

در شمال شرق شهرستان قروه در استان کردستان، تعداد زیادی مخروط آتشفشانی بازالتی وجود دارد. بررسی‌های سنگ نگاری نشان می‌دهند که در این سنگ‌ها کلینوپیروکسن + اولیوین به صورت فنوکریست و پلاژیوکلاز + پیروکسن + آمفیبول + بیوتیت + کانی‌های فلزی و شیشه زمینه‌ی سنگ را تشکیل می‌دهند. داده‌های شیمی بلورهای پیروکسن نشان می‌دهد که این سنگ‌ها از لحاظ کانی شناسی پیروکسن شباهت‌های بسیاری با یکدیگر دارند و به نظر می‌رسد از نظر ژنتیکی نیز به یکدیگر وابسته‌اند. شباهت‌های شیمیایی این کانی در مناطق مختلف مورد بررسی حاکی از محدود بودن قلمرو ترکیبی آنهاست به طوری که تماماً در قلمرو پیروکسن‌های کلسیم-منیزیم-آهن-دار و از نوع دیوپسید قرار می‌گیرند. از طرفی بررسی ترکیب پیروکسن‌ها بیانگر آنست که برخی عناصر آن از قروه‌بلاغ به سمت قزلجه‌کند، کوه قلعه پریان و ایلانلو، احتمالاً به دلیل افزایش درجه‌ی تفریق ماگما دستخوش تغییراتی شده‌اند، به نحوی که مقدار Al , Ti و Fe فراوان‌تر و از مقدار Ca و Na , Si کاسته می‌شود. از طرف دیگر بررسی عدد منیزیمی در سنگ‌های مافیک، که فاکتوری برای درجه‌ی جدایشی یافتگی ماگمای حامل پیروکسن‌هاست، نیز نشان می‌دهد که ماگمای بازالتی مورد بررسی دستخوش شکل‌گیری ماگمایی شده و فرایند تاثیر گذار مهمی را مانند تبلور جدایشی پشت سر گذاشته است. سیر نزولی $Mg\#$ چنین استنباطی را تائید می‌کند. لازم به یادآوریست که نمودارهای تغییرات عناصر اصلی در در برابر فراوانی منیزیم و نیز عدد منیزیمی سنگ کل بازالت-های حامل، موید رخداد این فرایند مهم ماگمایی هستند [۶].

میزان Al^{VI} در واحد فرمولی (آلومینیم هشت وجهی) در کلینوپیروکسن‌ها کمتر از ۱/۱ است که تبلور آن‌ها در فشارهای متوسط تا حدودی متمایل به کم را تائید می‌نماید. از طرف دیگر مقدار Al^{IV} موجود در ترکیب این کانی به پیروی از افزایش میزان آب موجود در محیط تبلور پیروکسن‌ها، کاهش می‌یابد. بدین ترتیب می‌توان گفت ماگمای بازالتی سازنده سنگ‌های منطقه در حضور آب و در فشار بیش از ۵ کیلو بار

متبلور شده‌اند. حضور کانی‌های آبدار از جمله بیوتیت، آمفیبول و نیز بافت و ساخت حفره‌ای در سنگ‌ها همگی بر آبدار بودن ماگمای بازالتی مورد بررسی دلالت دارند. دمای تشکیل پیروکسن‌های ماگمای بازالتی منطقه بین تقریباً ۸۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد و احتمالاً نقشی را که ترکیب پیروکسن، وجود آب، تغییرات فشار و شاید هم تحولات زیر خط انجماد در ایجاد چنین دامنه‌ی وسیعی در دمای تبلور داشته را نمی‌توان نادیده انگاشت. بالا بودن محتوای Al^{IV} پیروکسن‌ها در برابر Ti و Cr و هم چنین موازنه Al^{VI} با Al^{IV} و Cr در موقعیت هشت وجهی حاکی از بالا بودن فشار بخشی (گریزندگی) اکسیژن در محیط تشکیل آن‌هاست. در مجموع ماگمای بازالتی سازنده مخروط‌های آتشفشانی منطقه‌ی مورد بررسی به لحاظ ژئوشیمی بلورهای پیروکسن شباهت زیادی را نشان می‌دهند که حاکی از شباهت شرایط فیزیکوشیمیایی تبلور پیروکسن‌ها و احتمالاً ماگمای حامل آن‌هاست.

مراجع

- [۱] معین‌وزیری ح.، امین‌سبحانی ا.، "مطالعه آتشفشان‌های جوان منطقه تکاب- قروه"، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، (۱۳۶۷).
- [2] Boccaletti M., Innocenti F., Manetti P., Mazzuoli R., Matamed A., Pasquare G., Radicati Di Brozolo F., Amin Sobhani E., "Neogene and quaternary volcanism of Bijar (Western Iran)", Bulletin of Volcanology, (1976) 40-2.
- [۳] ملکوتیان س.، حق نظر ش.، قربانی م.، امامی م.، "بررسی تحولات ماگمایی در سنگ‌های آتشفشانی بازی کواترنری محور قروه - تکاب"، مجله علوم زمین، ۶۴ (۱۳۸۵) ص ۱۶۶-۱۷۸.
- [۴] عبدی ق.، "بررسی پترولوژیکی سنگ‌های آتشفشانی شمال شرق قروه (کردستان)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۷۵).
- [۵] حق نظر ش.، ملکوتیان س.، "خصوصیات منشا گشته‌ای آلکالی الیوین بازالت‌های منطقه قروه - تکاب"، مجله پترولوژی، شماره ۶ (۱۳۹۰) ص ۱۷-۳۰.

the Portneuf-Mauricie Domain, Grenville Province, Canada: Implications for plutonic complexes in a Proterozoic island arc", *Lithos* 154 (2012) 277-295.

- [۱۸] شاهزیدی م.، موید م.، موذن س.، احمدیان ج.، "کانی-شناسی، دما- فشارسنجی و تعیین زنجیره ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی کوه دم، اردستان"، *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، شماره ۳ (۱۳۸۷) ص ۴۸۵ - ۵۰۴.
- [۱۹] قربانی ق.، "زمین دما- فشارسنجی و شیمی کانی انباشته-های فروپارگازیت گابرویی در سنگ‌های آتشفشانی جنوب شاهرود"، *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، شماره ۲ (۱۳۸۷) ص ۲۹۴-۲۶۵.

[20] Soesoo A., "A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallisation PT-estimations", *Geological Society of Sweden (Geologiska Föreningen)* 119 (1997) 55-60.

[21] Bertrand P., Mercier J. C., "The mutual solubility of coexisting ortho- and clinopyroxene: toward an absolute geothermometer for natural system", *Earth and Planetary Science Letters* 76 (1985) 109-122.

[22] Nimis P., Taylore W. R., "Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites; Part I: Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an Enstatite-in-Cpx thermometer", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 139 (2000) 544-554.

[23] Wass S. Y., "Multiple origins of clinopyroxenes in alkali basaltic rock", *Lithos* 12 (1979) 115-132.

[24] Helze R. T., "Phase reactions of basalts in their melting range at $PH_2O=5kb$ as a function of oxygen fugacity", *Journal of petrology* 17 (1973) 139-193.

[25] Marcelot G., Maury R. C., Lefevre C., "Mineralogy of Erromango lava New Hebrides: Evidence of an early stage of fractionation in island arc basalts", *Lithos* 16, (1983) 135-151.

[26] France L., Ildefonse B., Koepke J., Bech F., "A new method to estimate the oxidation state of basaltic series from microprobe analyses", *Journal*

[۶] صالحی ن.، "مطالعه پترولوژی گدازه‌های بازالتی و بازالتی-پلیو-کواترنر شمال قروه (کردستان)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، (۱۳۹۱).

[۷] کرد م.، "مطالعه پترولوژیکی انکلاوهای گنیسی و الترامافیکی شمال شرق قروه کردستان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی‌سینا، (۱۳۹۱).

[۸] ترکیان ا.، صالحی، ن.، کرد، م.، "استفاده از داده‌های آماری پراکندگی اندازه بلورهای پیروکسن در مطالعه فرآیندهای پترولوژیکی مراکز آتشفشانی شمال شرق قروه - کردستان"، *مجله پترولوژی*، شماره ۱۳، (۱۳۹۲)، ۴۶-۳۳.

[9] Lindsley D.H., "Pyroxene thermometry", *American mineralogist* 68 (1983) 477-493.

[10] Leterrier J., Maury R. C., Thonon P., Girard D., Marchal M., "Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of Paleo-volcanic series", *Earth and Planetary Science Letters* 59 (1982), 139-154.

[10] Berberian M., King G.C.P., "Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran", *Canadian Journal of Science* 18 (1981), 10-265.

[۱۲] حسینی م.، "نقشه $1:100000$ ورقه قروه"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، (۱۳۷۸).

[13] Azizi H., Moinevaziri H., "Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran", *Journal of Geodynamics* 47(2009) 167 – 179.

[14] Beccaluva L., Macciotta G., Piccardo G. B., Zeda O., "Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator", *Chemical Geology* 77 (1989), 165-182.

[15] Morimoto N., Fabrice J., Ferguson A., Ginzburg I. V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., Akoi K., Gottardi G., "Nomenclature of pyroxenes", *American Mineralogist* 173 (1988) 1123-1133.

[16] Le Bas M.J., "The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage", *American journal of science* 260,(1962) 267-288.

[17] Sappin A.A., Constanin M., Clark T., "Petrology of mafic and ultramafic intrusions from

- [28] Bence A. E., Papike J. J., Ayuso R. A., "*Petrology of Atlantic island arcs*", Bulletin of Volcanology 32 (1975) 189-206.
- [29] Schweitzer E. L., Papike J. J., Bence A. E., "*Statistical analysis of clinopyroxenes from deep-sea basalts*", American Mineralogist 64 (1974) 501-13.
- of Volcanology and Geothermal Research 189 (2010) 340-346.
- [27] Ottonello G. Moretti R., Marini L., Zuccolini M. V., "*Oxidation state of iron in silicate glasses and melts: a thermochemical model*", Chemical Geology 174 (2001) 157-179.