



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

ashraf.torkian*, negarish-e salahi

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

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

چکیده: آتشفشن‌های پلیو-کواترنر در شمال شرق قروه (کردستان) در کمربند آتشفشنی قروه- تکاب، در پهنه‌ی همدان- تبریز جایگزین شده‌اند. ترکیب این سنگ‌های آتشفشنی بازالت تا اولیوین بازالت است. تجزیه ریز پردازش الکترونی پیروکسن‌ها حضور یک نوع پیروکسن یعنی دیوپسید با ترکیب $[En_{40/44-50/47} Wo_{45/97-53/14} Fe_{2/65-6/42}]$ و با عدد منیزیمی ۸۴-۹۸ را نشان می‌دهد. زمین دماسنگی بلورهای پیروکسن دمای ۸۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد را معلوم می‌دارد. توزیع Al در موقعیت چارچهی و هشت وجهی کلینوپیروکسن‌ها حاکی از تبلور این کانی از یک مagma‌ای آبدار با فشار بخار‌آبی کمتر از ۱۰ درصد، در فشاری متوسط تا کم و عمقی برابر ۱۸-۳۰ کیلومتری است. محتوای ^{3+}Fe کلینوپیروکسن‌ها معرف بالا بودن فشار بخشی (گریزندگی) اکسیژن در محیط تبلورشان است.

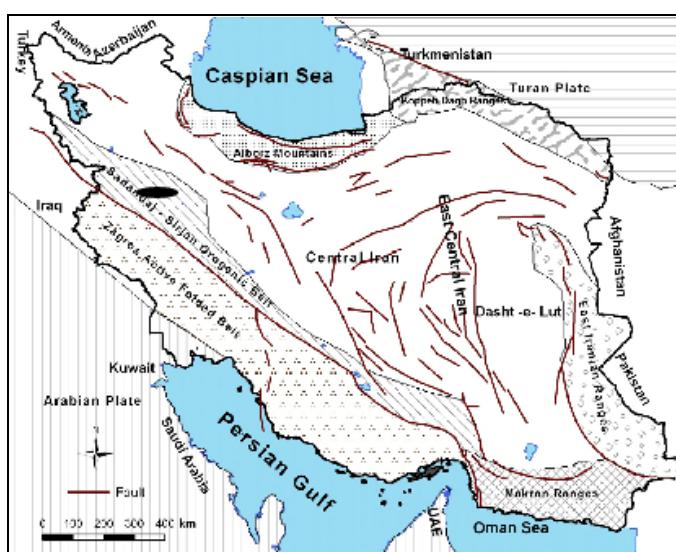
واژه‌های کلیدی: پیروکسن؛ بازالت؛ فشارسنگی؛ دماسنگی؛ گریزندگی؛ اکسیژن؛ قروه؛ کردستان.

به نامهایی چون قزلجه‌کند، کوه قلعه پریان، ایلانلو و قره‌بلاغ خوانده می‌شوند. لازم به یادآوری است که قبلاً این واحدهای آتشفشنی به طور کامل یا بخشی، به لحاظ سنگنگاری، تعیین سن، سنگ‌شناختی، وقوع آلایش magma‌ای و تعیین خاستگاه توسط [۸-۱۱] بررسی شده‌اند. تاکنون اطلاعی از پیروکسن‌های این واحدهای 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 magma‌ای و محیط زمین ساختی [۱۰] بسیار کارآمد و ارزشمندند. لذا با توجه به اثر مستقیم فشار و دما در بررسی- های سنگ زایی بازالت‌ها، هدف این مقاله ارائه نتایج تجزیه‌ی نقطه‌ای پیروکسن‌ها برای استفاده در تعیین سرشت magma‌ای و شرایط فیزیکو-شیمیایی (دما- فشار) تشکیل سنگ‌های آتشفشنی حامل آن‌هاست.

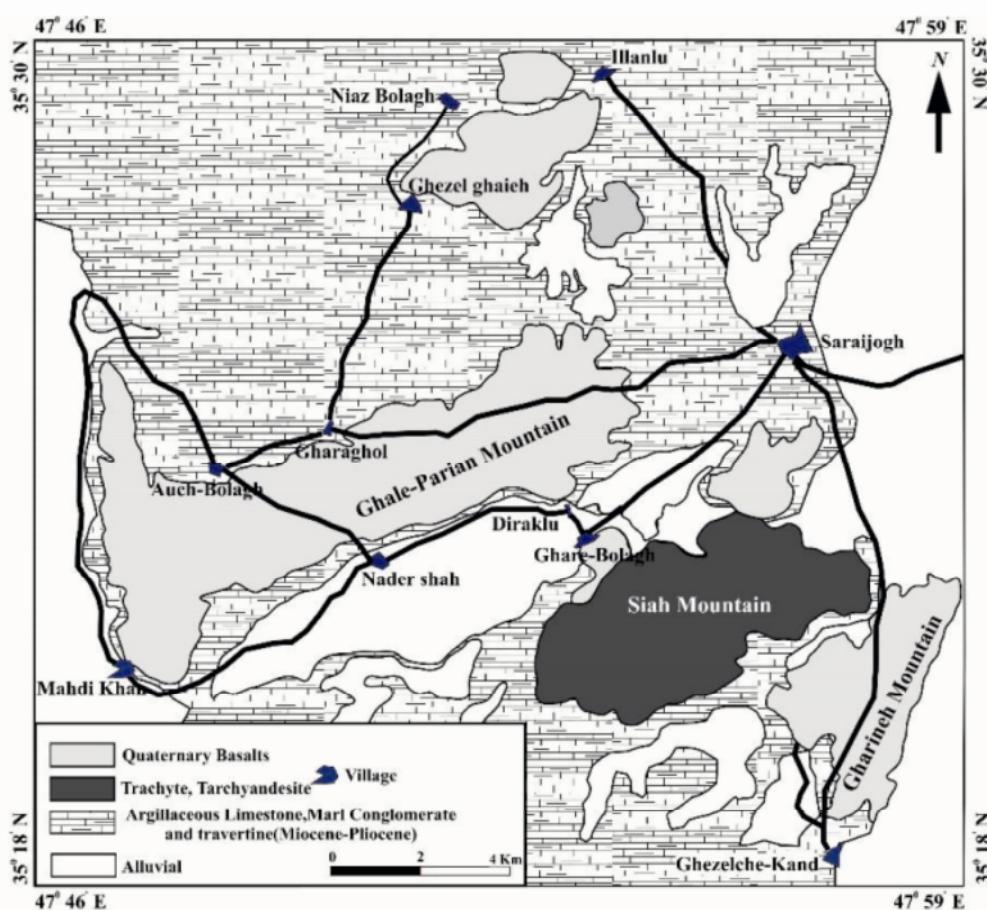
مقدمه

منطقه‌ی مورد بررسی در شمال شرقی قروه از شهرستان‌های استان کردستان، بین طول‌های جغرافیایی $48^{\circ}0' - 47^{\circ}8'$ تا $35^{\circ}30' - 35^{\circ}28'$ شمالی و عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ}0' - 35^{\circ}30'$ تا $40^{\circ}0' - 40^{\circ}8'$ شرقی قرار دارد (شکل ۱). در این منطقه چندین مرکز آتشفشنی وجود دارند که از لحاظ سنی جزء آتشفشن‌های کواترنری به حساب می‌آیند. به اعتقاد معین‌وزیری و امین- سبحانی [۱] این مراکز آتشفشنی بخشی از کمربند آتشفشنی 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 آتشفشن‌ها، یعنی گسل تبریز در شمال و گسل زاگرس در جنوب شرقی، جای گرفته‌اند. ترکیب کلی این آتشفشن‌ها بازالتی است و به مناسبت نزدیکی به روستاهای منطقه

* نویسنده مسئول، تلفن- نمبر: ۰۸۱۴۶۰۸۳۸۱۱۱، پست الکترونیکی: a-torkian@basu.ac.ir



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



شکل ۱ (ب) نقشه‌ی ساده شده منطقه‌ی مورد بررسی (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ ورقه قروه [۱۲]). راهنمای: ۱: جاده درجه دو؛ ۲: روستا؛ ۳: زمین‌های زراعتی؛ ۴: آبرفت‌های رودخانه‌ای؛ ۵: تراوترن؛ ۶: پادگانه‌های مرتفع (هولوسن)؛ ۷: پادگانه‌های پست (هولوسن)؛ ۸: تراکیت، تراکی آندزیت و لاتیت-آندزیت (میوسن - پلیوسن)؛ ۹: بازلات و بازانیت (کواترنری)؛ ۱۰: آهک‌های رسی با کمی قطعات آتشفسانی (میوسن - پلیوسن)؛ ۱۱: توف، لاپیلی، پومیس و توف برشی (میوسن - پلیوسن).

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

روش بررسی

در راستای بررسی رفتار ژئوشیمیائی عناصر در ساختار کانی پیروکسن در مراکز آتشفشاری مورد نظر ۲۵ نمونه از پیروکسن‌های 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 $2\mu\text{m}$ 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 و Minpet و GCDkit استفاده شده است.

زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی

بررسی‌های صحرایی مراکز آتشفشاری منطقه نشان می‌دهد که گذازه از نقاط و یا شکاف‌های مختلفی بیرون ریخته است. آن‌ها گاهی تحت تأثیر گرانوی (حدود ۵۰ متر) را به وجود آورده‌اند. بیشتر آتشفشارها دارای مخروط هستند. در حاشیه‌ی این مخروط‌ها، حجم زیادی از قطعات اسکوری و به مقدار کمتر بمبهای دوکی و گلابی شکل، به رنگ سیاه، انباسته شده‌اند که سال‌هast 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 سندج-سیرجان تلقی شد (برای مثال به [۱] مراجعه شود) و گاهی نیز بخشی از پهنه‌ی آتشفشاری ارومیه-دختر در زیر مجموعه‌ی کمربند آتشفشاری همدان-تبریز [۱۳] در نظر گرفته شده

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	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	۱,۰۵	۱,۶۱	۲,۰۷	۱,۲۴	۰,۹۴	۱,۲۶	۳,۰۹	
Al_2O_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_2O_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_2O	۰,۷۴	۰,۷۹	۱,۱۴	۰,۶۵	۰,۷۲	۰,۴۵	۰,۴۵	۰,۳۹	۰,۳۶	۰,۳۹	۰,۵۸	
K_2O	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	۰,۸۹	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	۰,۸۶۵	۰,۹۰۳	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	۰,۰۲۸	۰,۰۲۵	۰,۰۴۲	۰,۰۴۲		
K	۰	۰,۰۰۳	۰,۰۰۳۸	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	
$\text{Mg}^{\#}$	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	۵۰,۵۲	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%	۵,۰۱	۵,۹۱	۴,۰۹	۲,۶۵	۴,۰۶	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_2O_3	۵۶۰	۵۷۱	۵۸۲	۵,۰۹	۴,۱۲	۴,۱۵	۳۶۸	۳,۸۰
FeO	۶,۰۵	۶,۸۸	۶,۵۶	۶,۲۷	۴,۴۶	۵,۶۵	۵,۵۶	۶,۲۳
Cr_2O_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	۲۲,۲۵	۲۲,۲۲	۲۳,۱۳	۲۳,۲۱	۲۲,۰۸
Na_2O	۰,۴۸	۰,۴۹	۰,۵۱	۰,۴۴	۰,۶۱	۰,۴۱	۰,۳۹	۰,۴۲
K_2O	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	۰,۱۸۱	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	۰,۰۰۱	۰,۰۰۳
Cr	۰,۰۱۲	۰,۰۰۲	۰,۰۰۶	۰,۰۰۷	۰,۰۲۰	۰,۰۰۸	۰,۰۰۸	۰,۰۰۳
$\text{Mg}^{\#}$	۹۶,۱۷	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

اولترامافیکی (کلینوپیروکسنتیت)، گنیسی و بیگانه بلورهای کوارتزی با خودگی خلیجی نیز وجود دارند.

شیمی بلور

پیروکسن‌ها از جمله کانی‌های کلیدی و مهمی هستند که ترکیب آن‌ها اطلاعات ارزشمندی را در جهت روشن شدن خاستگاه ماقمایی [۱۰]، تعیین سری ماقمایی و موقعیت زمین ساخت ماقمایی [۱۴] و شرایط فیزیکوشیمیایی شامل دما، فشار و گریزندگی اکسیژن (فشار بخشی اکسیژن) در اختیار می‌گذارند. پیروکسن از خانواده سیلیکات‌های تک زنجیره‌ای با فرمول عمومی $\text{M}_2\text{M}_1\text{T}_2\text{O}_6$ شناسایی می‌شود. در جایگاه T کاتیون‌هایی نظیر Al^{3+} , Si^{4+} و با امکان کمتر Fe^{3+} (مجموع جایگاه T برابر ۲ است)؛ در جایگاه M₁ (با مجموع ۱): Al^{3+} و مازاد آهن سه ظرفیتی مصرف شده در موقعیت T و نیز

سنگنگاری ترکیب بیشتر گدازهای مشاهده شده بازالت تا اولیوین بازالت است. این سنگ‌ها دارای ساخت حفره‌ای (وبیزیکولا) و کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها عبارتند از پلازیوکلاز، 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 گلومرپورفیری 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 خودگی‌هایی نیز در آن‌ها مشاهده می‌شود. همه‌ی این ویژگی‌ها ناشی از عدم حاکمیت شرایط تعادل در تبلور این کانی است. در سنگ‌های آتشفسنای قزلجه کند، بیگانه‌سنگ‌های

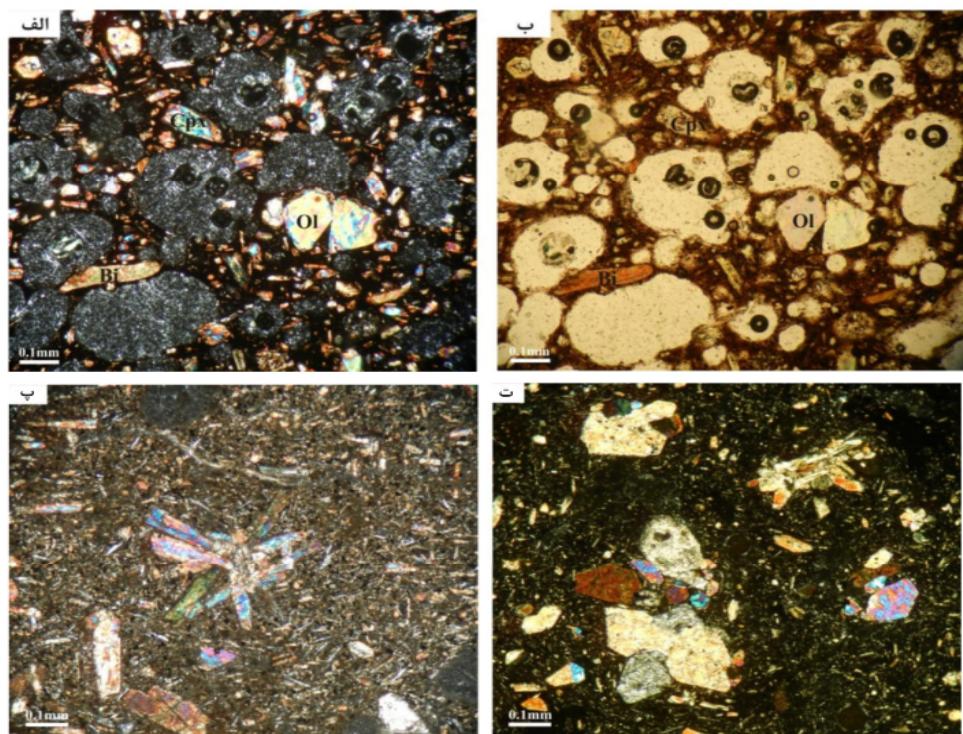
[۱۵]، پیروکسن‌ها در گستره‌ی دیوپسید قرار دارند (شکل ۳ ب).

بر مبنای فرمول کلی ساختاری این کانی، ترکیب پیروکسن‌های موجود در بازالت‌های مناطق قزلجه‌کند، کوه قلعه‌پریان و ایلانلو، En_{۴۴/۱۵-۵۰/۴۷} Wo_{۴۵/۹۷-۵۱/۰} Fs_{۲/۶۵-۲/۸۸} با قلعه‌پریان و ایلانلو. En_{۴۴/۱۵-۵۰/۴۷} Wo_{۴۵/۹۷-۵۱/۰} Fs_{۲/۶۵-۲/۸۸} برابر با ۸۴-۹۸ هستند، [Mg[#] = (Mg / (Mg + Fe))^{۲+}] = [100 Mg[#] / (Mg + Fe)^{۲+}] در حالی که پیروکسن‌های سنگ‌های بازالتی منطقه قربلاع با اندکی تفاوت، ترکیب‌شان En_{۴۰/۴۴} Wo_{۵۳/۱۴} Fs_{۶/۴۲} و عدد منیزیمی حدود ۸۶/۴۴ دارند که مشابه با نمونه‌های مناطق فوق است.

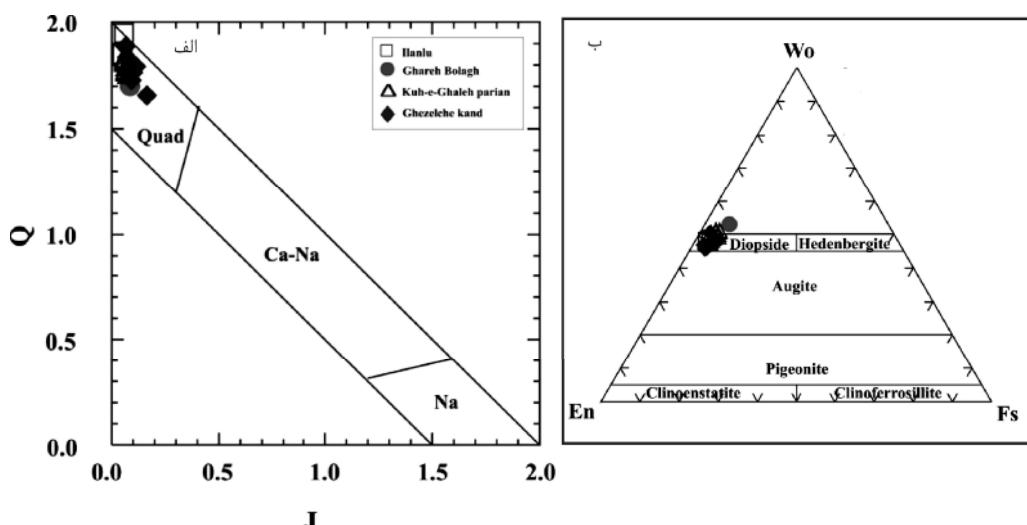
با پیمایش و حرکت از بازالت‌های قربلاع به سوی بازالت‌های سایر مراکز آتش‌شناختی، محتوای عناصر اصلی پیروکسن‌ها دستخوش تغییر شده است، به طوری که کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های قربلاع در مقایسه با کلینوپیروکسن‌های مناطق قزلجه‌کند، کوه قلعه‌پریان و ایلانلو، به موازات کاهش عدد منیزیمی، از TiO₂، Al₂O₃، FeO غنی‌تر، و از Na₂O و Ta حدی از CaO فقیر می‌شوند.

کاتیون‌هایی مانند Mn^{2+} , Zr^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Ti^{4+} , Sc^{3+} , Zr^{4+} , Cr^{3+} , V^{3+} و گاهی Li^{1+} بالاخره M₂ را عناصری چون Mn²⁺, Fe²⁺, Mg²⁺ و نیز Ca²⁺ و Na¹⁺ اشغال می‌کنند که مجموع آن‌ها در حدود ۱ است.

به منظور بهره‌مندی از ترکیب پیروکسن موجود در سنگ‌های بازالتی شمال شرق قزوون، برای دستیابی به زمین دما- فشار سنگی 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 (د) پیروکسن‌های دیگر جای می‌گیرند [۱۵]. پیروکسن‌های مورد بررسی در نمودار J-Q [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 $2\text{Na} \pm \text{R}$ (R: Al, Ca + Mg + Fe + 2) و Fs-En-Wo است. با توجه به نمودار Fe⁺³, Cr⁺³, Sc⁺³)



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 انباسته‌های خوش‌های پیروکسن‌ها در کنار بلورهای ریزی از پلازیوکلازها، 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).

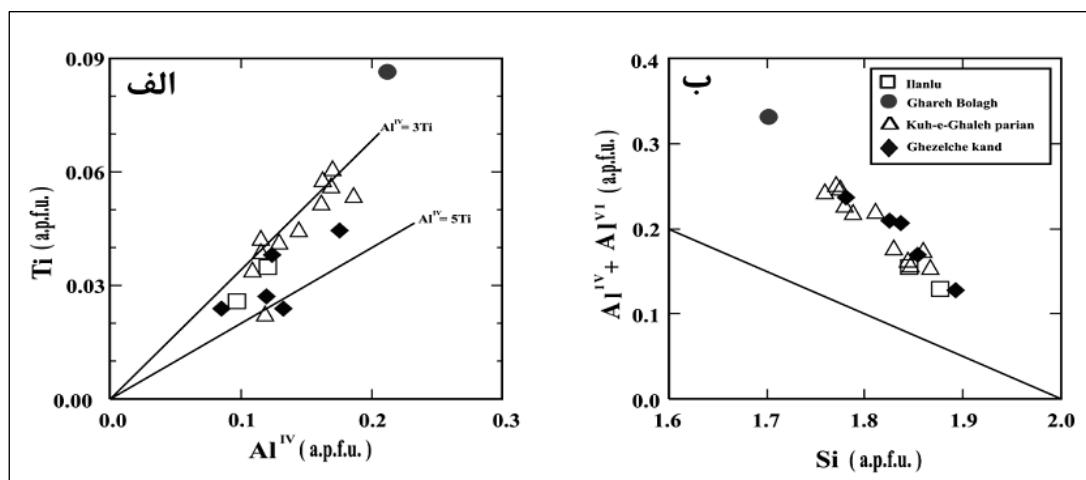


شکل ۳ (الف) همه پیروکسن‌های منطقه‌ی شمال شرق قزوین در نمودار $Mg - Fe - Ca$ (Quad) قرار می‌گیرند ($Q = Ca + Mg + Fe^{2+}$ و $J = 2Na$). (ب) ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های منطقه‌ی شمال شرق قزوین روی نمودار مثلثی $Wo - En - Fs$ [۱۵] در گستره‌ی دیوبسید قرار دارد.

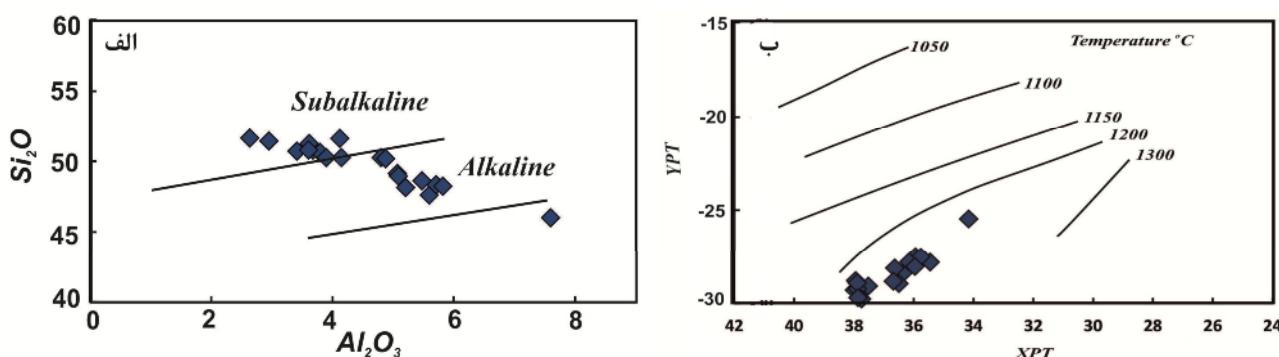
تعیین سری ماقمایی
لوباس [۱۶] برای اولین بار متوجه اهمیت و ارتباط ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها و محیط تشکیل ماقمای حامل آن‌ها شد. نامبرده اعتقاد دارد که در ردیابی محیط‌ها عناصری مانند Si، Al، Ti، Cr، Al₂O₃ و تیتانیوم درون شبکه‌ای تعیین‌کننده سیلیسیوم، آلومینیوم و تیتانیوم درون شبکه‌ای تعیین‌کننده سرنشیت ماقمایی است. بر این اساس ماقمای مورد بررسی با توجه به مقدار میانگین Al_2O_3 و SiO_2 به میزان ۴۷ تا ۵۲ درصد وزنی، در جرگه‌ی ماقماهای 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 $Si + Al = 2$) (شکل ۴ ب و جدول ۱) و در بالای خط اشباع (شکل ۴ ب) 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 ۰/۱۲ نیز اشغال می‌شود.



شکل ۴ (الف) ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های منطقه‌ی شمال شرق قزوین روی نمودار تغییرات $Al^{IV}-Ti$, (ب) ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های منطقه‌ی شمال شرق قزوین 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) ماقمای آن‌هاست. (ب) دمای به دست آمده برای پیروکسن‌های بازالت‌ها به روش [۲۰] بین ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است.

مزیت مهم این روش در دماسنگی این است که اولاً حضور توامان دو پیروکسن الزامی نیست، دوماً برای انواع پیروکسن‌های 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 شرایطن 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 سنگی 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) دماسنگی بر اساس روش پیشنهادی [۲۱] از روابط زیر تعیین می‌شود:

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

در این فرمول X مقدار کلسیم در موقعیت M2 است.

$$T^{(°C)} = \left[\frac{1000}{0.054 + 0.068 X^{Cpx} - 0.034 \ln(1 - 2[Ca]^{Cpx})} \right] - 273$$

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

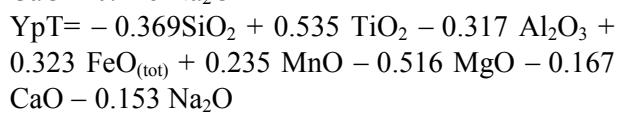
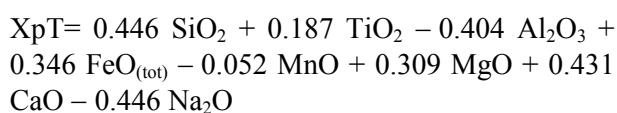
برآورد پارامترهای شدتی (دما و فشار)

ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها را می‌توان در راستای تعیین دما و فشار سنگ‌های حامل آن‌ها بکار برد. با گسترش کاربرد تجزیه‌های نقطه‌ای از کانی‌ها در بررسی‌های سنگ‌های آذرین و دگرگون و حتی سنگ‌های رسوی، 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].

- دماسنگی

برای دماسنگی 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 باقیتی محاسبه شده باشد، و بالاخره روش (د) که روش دماسنگی توامان دو پیروکسن ارتو و کلینوپیروکسن است. در این مقاله به سبب عدم حضور ارتوپیروکسن 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:



شمال شرق قروه، در فشار متوسط در گستره‌ی پیروکسن‌های غنی از Mg قرار گرفته‌اند (شکل ۶-ب). هلز [۲۴] تاثیر توام دو عامل محتوى 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 ماقمای سازنده و میزان فشار حاکم بر محیط تشکیل سنگ‌های آذرین پیروکسن‌دار است. در همین راستا چنانچه در شکل (۶-پ) دیده می‌شود ماقمای حامل این کانی در منطقه‌ی مورد بررسی توام با مقادیری آب (حداکثر ۱۰ درصد) در قلمرو فشار ۵ کیلوبار 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 قربلاع از Al کمتری Al 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 متبلورشده در ماقما 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 $Ti + Cr + Al^{VI} = 2$ در برابر $Na + Al^{IV}$ (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 $Fe^{+3} = 0$ در ضمن فاصله‌ی قابل ملاحظه‌ای از این خط قرار دارند. بنابر این چنین استنباط می‌شود که انباست 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 گستره‌های اتشفسانی مورد بررسی، از روش پیشنهادی [۲۲] که در آن پیش فرض فشار ۱ تا ۱۰ کیلوبار منظور شده استفاده شد و دمای تشکیل پیروکسن از فرمول زیر برآورد می‌شود.

$$T(k) = \frac{23166 + (39/28P(kbar))}{13/25 + (15/35 \times (Ti + 4.50)) \times (Fe - 1.55)} \times \frac{1}{(Al + Cr - Na - K) + (\ln a_{en}^{Cpx})^2}$$

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

نتایج حاصل در جدول ۲ ارائه شده‌اند. در فشارهای مفروض ۱ تا ۱۰ کیلوبار، دما در حدود ۶۵۰ تا ۹۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به دست آمده است. اما باید توجه داشت که بالا بودن مقدار عدد منیزیمی (به استثنای نمونه‌های 64-IS-10 و 46-GHB-1) که کمتر از سایرین است) و نیز نسبت Al^{IV}/Al^{VI} به پیروکسن‌ها (به استثنای) حاکی از آن است که آن‌ها در فشارهای بالا تشکیل شده‌اند؛ و به همین دلیل دمای محاسبه شده در پیش فرض‌های فشار کم می‌باشد در نظر گرفته نشود. بنابر این در مجموع دمای ۹۹۰-۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد منطقی تر خواهد بود. به علاوه یادآور می‌شود که برغم استفاده از میانگین ترکیب پیروکسن‌ها میزان Mg در حاشیه و مرکز آن‌ها ممکن است حداکثر ۲۰٪ 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 مبنای فشار برآورد شده‌ی تبلور پیروکسن‌های بازالت‌های مورد بررسی بین ۶ تا ۱۰ کیلوبار و معادل عمق تقریبی ۱۸-۳۰ کیلومتری در نظر گرفته شده است. (شکل ۶-الف).

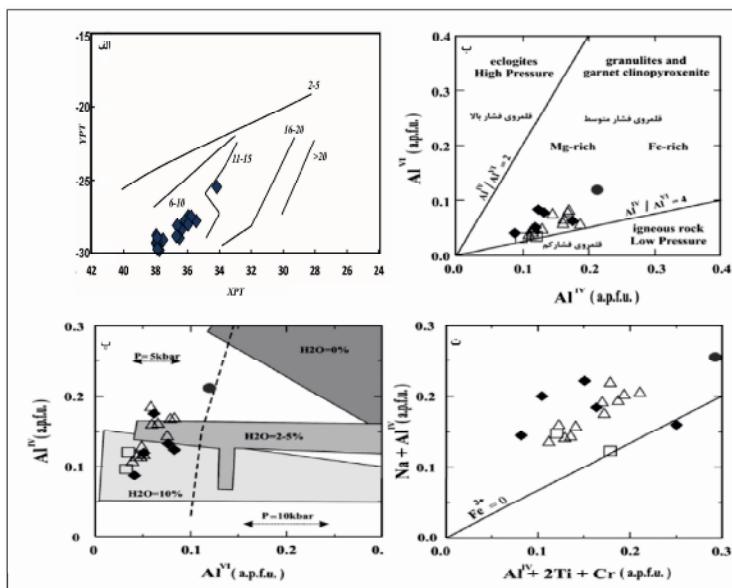
(ب) به اعتقاد واس [۲۳] نسبت Al^{IV}/Al^{VI} در پیروکسن‌ها را می‌توان برای تعیین فشار محیط تشکیل سنگ به کار گرفت. پیروکسن‌های با فشار بالا در اکلوژیت‌ها متبلور می‌شوند و انواع فشار پایین آن‌ها در قلمرو سنگ‌های آذرین تشکیل می‌شوند. تمامی نمونه‌های مورد بررسی از مناطق مختلف آتشفسانی

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

محل نمونه نمونه‌ها	Ghezelche Kand					Kuh-e-Ghaleh parian			Ilanlo	
	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 (کیلوبار)	(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

دادمه 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 (کیلوبار)	(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	۶۶۲	
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) گسترهای فشار ۶-۱۰ کیلوبار حاصل از روش [۲۰] برای پیروکسن‌های مورد بررسی تعیین می‌شود، ب) کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی دارای فشار متوسط و غنی از منیزیم هستند، پ) نمودار Al^{VI} در برابر Al^{IV} نشان می‌دهد که ماغمای بازالتی مورد بررسی در فشار ۱۰ کیلوبار و بین ۲ تا ۱۰ درصد بخار آب پیروکسن‌ها را متبلور کرده است، ت) موقعیت کلینوپیروکسن‌ها در نمودار $\text{Na} + \text{Al}^{\text{VI}}$ در برابر $\text{Al}^{\text{VI}} + 2\text{Ti} + \text{Cr}$ بیانگر آنست که در کلینوپیروکسن‌های این منطقه موقعیت چاروچهی ساختارشان به وسیله‌ی $\text{Si} + \text{Al}^{\text{VI}} + 2\text{Ti} + \text{Cr}$ پر شده است.

متبلور شده‌اند. حضور کانی‌های آبدار از جمله بیوتیت، آمفیبول و نیز بافت و ساخت حفره‌ای در سنگ‌ها همگی بر آبدار بودن ماقمای بازالتی مورد بررسی دلالت دارند. دمای تشکیل پیروکسن‌های ماقمای 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 انجاماد در ایجاد چنین دامنه‌ی وسیعی در دمای تبلور Al^{IV} داشته را نمی‌توان نادیده انگاشت. بالا بودن محتوای Al^{VI} پیروکسن‌ها در برابر Ti و Cr و هم چنین موازنی Al^{IV} با Al^{VI} در موقعیت هشت وجهی حاکی از بالا بودن فشار بخشی ($گریزندگی$) اکسیژن در محیط تشکیل آن‌هاست. در مجموع ماقمای بازالتی سازنده مخروطهای آتشفشنای منطقه‌ی مورد بررسی به لحاظ ژئوشیمی بلورهای پیروکسن مشابهت زیادی را نشان می‌دهند که حاکی از مشابهت شرایط فیزیکوشیمیایی تبلور پیروکسن‌ها و احتمالاً ماقمای حامل آن‌هاست.

مراجع

- [۱] معین‌وزیری ح، امین‌ سبحانی ا، "مطالعه آتشفشنای جوان منطقه تکاب- قروه، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، (۱۳۶۷).
- [۲] 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 ماقمایی در سنگ‌های آتشفشنای بازی کواترنری محور قروه - تکاب"، مجله علوم زمین، ۶۴ (۱۳۸۵) ص ۱۶۶ - ۱۷۸.
- [۴] عبدالی ق، "بررسی پترولوجیکی سنگ‌های آتشفشنای شمال شرق قروه (کردستان)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۷۵).
- [۵] حق نظر ش، ملکوتیان س، "خصوصیات منشا گوشه ای آکالی‌الیوین بازالت‌های منطقه قروه - تکاب"، مجله پترولوجی، شماره ۶ (۱۳۹۰) ص ۱۷ - ۳۰.

برداشت

در شمال شرق شهرستان قروه در استان کردستان، تعداد زیادی مخروط آتشفشنای بازالتی وجود دارد. بررسی‌های سنگ نگاری نشان می‌دهند که در این سنگ‌ها کلینوپیروکسن + اولیوین به صورت فنوکریست و پلازیوکلاز + 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 محدود 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 قرمه‌بلاغ به سمت قزل‌جه کند، کوه قلعه پریان و ایلانلو، احتمالاً به دلیل افزایش درجه‌ی تفرقی ماقما دستخوش تغییراتی شده‌اند، به نحوی که مقدار Al , Ti و Fe فراوان‌تر و از مقدار Si , Na و Ca کاسته می‌شود. از طرف دیگر بررسی عدد منیزیمی در سنگ‌های مافیک، که فاکتوری برای درجه‌ی جدایشی یافتگی ماقمای حامل پیروکسن‌هاست، نیز نشان می‌دهد که ماقمای بازالتی مورد بررسی دستخوش شکل‌گیری ماقمایی شده و فرایند تاثیر گذار مهمی را مانند تبلور جدایشی پشت سر گذاشته است. سیر نزولی $Mg/\#$ چنین استنباطی را تأیید می‌کند. لازم به یادآوریست که نمودارهای تغییرات عناصر اصلی در در برابر فراوانی منیزیم و نیز عدد منیزیمی سنگ کل بازالت‌های حامل، موید رخداد این فرایند مهم ماقمایی هستند [۶]. میزان Al^{VI} در واحد فرمولی (آلومینیم هشت وجهی) در کلینوپیروکسن‌ها کمتر از ۱، است که تبلور آن‌ها در فشارهای متوسط تا حدودی متمایل به کم را تأیید 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 ماقمای بازالتی سازنده سنگ‌های منطقه در حضور آب و در فشار بیش از ۵ کیلوبار

- 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، مودن س، احمدیان ج، ”کانی-شناسی، دما- فشارسنگی و تعیین زنجیره مagmaی سنگ‌های آتشفسانی کوه دم، اردستان”， مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۳ (۱۳۸۷) ص ۴۸۵ - ۵۰۴.
- [۱۹] قربانی ق، ”زمین دما- فشارسنگی و شیمی کانی انباسته- های فروپارگازیت گاپرویی در سنگ‌های آتشفسانی جنوب شاهروود”， 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 $\text{PH}_2\text{O}=5\text{kb}$ 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 پترولوزی گدازه‌های باالتی و بازانیتی پلیو-کواترنر شمال قزوین (کردستان)”， پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعینی سینا همدان، (۱۳۹۱).
- [۷] کرد م، ”مطالعه پترولوزیکی انکلاوهای گنیسی و الترامافیکی شمال شرق قزوین کردستان”， پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعینی سینا، (۱۳۹۱).
- [۸] ترکیان ا، صالحی ن، کرد م، ”استفاده از داده‌های آماری پراکندگی اندازه بلورهای پیروکسن در مطالعه فرآیندهای پترولوزیکی مرکز آتشفسانی شمال شرق قزوین - کردستان، مجله پترولوزی، شماره ۱۳، (۱۳۹۲)، ۴۶-۳۳.
- [۹] Lindsley D.H., “Pyroxene thermometry”, American mineralogist 68 (1983) 477-493.
- [۱۰] 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.
- [۱۰] 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 ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه قزوین”， سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران، (۱۳۷۸).
- [۱۳] Azizi H., Moinevaziri H., “Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran”, Journal of Geodynamics 47(2009) 167 – 179.
- [۱۴] Beccaluva L., Macciotta G., Piccardo G. B., Zeda O., “Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator”, Chemical Geology 77 (1989), 165-182.
- [۱۵] Morimoto N., Fabrise 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.
- [۱۶] Le Bas M.J., “The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage”, American journal of science 260,(1962) 267-288.
- [۱۷] 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.