



## بررسی کلینوپیروکسن‌های موجود در توده‌های نفوذی محور کرج-طالقان (البرز مرکزی)

اسماعیل کشت‌کار<sup>\*</sup>، منصور قربانی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران ایران  
(دریافت مقاله: ۹۴/۹/۲۱، نسخه نهایی: ۹۴/۷/۱۷)

**چکیده:** توده‌های البرز مرکزی با ترکیب سنگ‌شناسی الیوین گابریو، الیوین مونزودیوریت، الیوین مونزونیت و پیروکسن مونزونیت به شکل سیل، لوپولیت، فاکولیت، استوک و پلاگ در درون سنگ‌های آدرآواری سازند کرج و معادل آن جای گرفته‌اند. مجموعه‌ی کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها عبارتند از پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، پیروکسن، الیوین و بیوتیت. بررسی‌های شیمی کانی انجام شده روی پیروکسن‌های موجود در توده‌های نفوذی بیان گر حضور دو نوع کلینوپیروکسن با ترکیب دیوپسید و اوژیت است. ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها بیان گر شکل گیری آن‌ها در محیط وابسته به فروزانش است. میانگین دمای تبلور کلینوپیروکسن‌ها حدود ۱۰۸۰ تا ۱۲۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ارزیابی شده و به نظر می‌رسد که کلینوپیروکسن‌ها در دمای پایین‌تری نسبت به ارتوپیروکسن‌ها شکل گرفته باشند. همچنین فشار محاسبه شده کمتر از ۹ کیلوبار است و میزان آب ماقمای تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها بالا بوده است. بالا بودن فشار بخشی اکسیژن و نیز میزان آب ماقمای طی تکامل ماقمایی می‌تواند بیانگر تبلور کلینوپیروکسن‌ها طی صعود ماقما و در فشارهای متفاوت باشد. مشابه بودن ویژگی‌های صحرایی، سنگ نگاری، شیمی کانی، نزدیکی مکانی و زمانی سنگ‌های مناطق مورد بررسی نشان از رابطه‌ی ژئوتکنیکی و خویشاوندی نزدیک و احتمالاً خاستگاه یکسان دارد.

**واژه‌های کلیدی:** کلینوپیروکسن؛ کرج-طالقان؛ البرز مرکزی؛ سیل؛ سازند کرج؛ دمای تبلور.

### مقدمه

بررسی هستند که در البرز مرکزی قرار گرفته‌اند. از آنجاکه تاکنون هیچ بررسی جامعی در مورد شیمی کانی‌های منطقه انجام نشده است، لذا در این پژوهش سعی شده تا حدودی شکل‌گیری‌های ماقمایی توده‌های نفوذی براساس شیمی کانی کلینوپیروکسن بررسی شود و نیز برآورده نسبی از فشار و دما روی سنگ‌های مورد بحث صورت گیرد.

زمین‌شناسی و سنگ‌نگاری مجموعه نفوذی محور کرج-طالقان مجموعه‌ی گرانیت‌وئیدی محور کرج-طالقان به صورت نفوذی‌های نه چندان بزرگ مانند سیل، لوپولیت، فاکولیت، استوک و پلاگ [۷].

درون لایه‌های رسوی-آتشفشاری سازند کرج (شامل توف سبز، توف قطعه‌دار بلورین، توف ماسه‌ای، توف آهکی، مارن،

ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های آذرین بازتاب دهنده‌ی ماهیت سنگ‌های میزان آن‌هاست [۱] به طوری که تنوع ترکیبی کلینوپیروکسن‌ها غالباً به تغییرات شیمی ماقما وابسته است. فرآیند جدایش ماقمایی و شرایط فیزیکی تبلور روی ترکیب ماقما تاثیر می‌گذارد. بنابراین ترکیب کلینوپیروکسن‌ها به شدت در اثر جدایش کاتیون‌ها و ساختار گدازه‌ای که از آن تبلوری یابد، کنترل می‌شود [۲]. پژوهشگران نشان داده‌اند که تغییرات ترکیبی کلینوپیروکسن‌ها می‌تواند به عنوان شاخصی برای سنگ‌زایی در نظر گرفته شود [۳، ۴]. پژوهندگان زیادی نیز به تاثیر فشار تبلور کلینوپیروکسن در سیستم ماقمایی پرداخته و فشار تبلور نمونه‌های حاوی کلینوپیروکسن را برآورد کرده‌اند [۵، ۶]. توده‌ی شمال پراچان، توده‌ی شمال کردان، توده‌ی شمال زیاران و توده‌ی شمال شکرناپ توده‌های مورد

\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۶۷۹۹۶۲۳۹، پست الکترونیکی: keshtkaresmail@gmail.com

الیوین، بیوتیت، اندکی آپاتیت، اسفن و آلانیت بعلاوه کانی‌های کدر است.

#### توده‌های نفوذی شمال پراچان

این توده‌ها با ماهیت سنگ‌شناسی موزنزیت، مونزوگابرو الیوین-پیروکسن‌دار و دایک‌های سینیتی در شمال رسته‌ای پراچان (شمال طالقان علیا) بین توفه‌های سازند کرج به حالت سیل، لوپولیت، فاکولیت و استوک دیده می‌شوند و علاوه بر طبقات پیروکلاستیک سازند کرج، آتشفشارهای ائوسن بالایی-الیگوسن را قطع کرده‌اند و به همین دلیل سنی پس از الیگوسن به آن‌ها نسبت داده شد. کانی‌های تشکیل دهنده‌ی سنگ‌های این توده شامل پلاژیوکلاز، پتاسیم‌فلدیپار، پیروکسن، الیوین، بیوتیت، کلریت و اندکی آپاتیت، اسفن، زیرکن به‌علاوه کانی‌های کدر و سرسیت است. مونزوگابروه از مهم‌ترین سنگ‌های توده‌ی نفوذی پراچان است که به وسیله گسل وارون کندوان در کنار سازندهای پالئوزوئیک و در لایه‌های سازند کرج با روند شمال باختنی-جنوب خاوری و با دگرگونی‌هایی دیده می‌شوند [۸]. بافت‌های غالب در این توده شامل بافت‌های دانه‌ای (شکل ۲ الف و ب)، پورفیری، میان دانه‌ای، ساب افتیک و پوئی کلیتیک هستند.

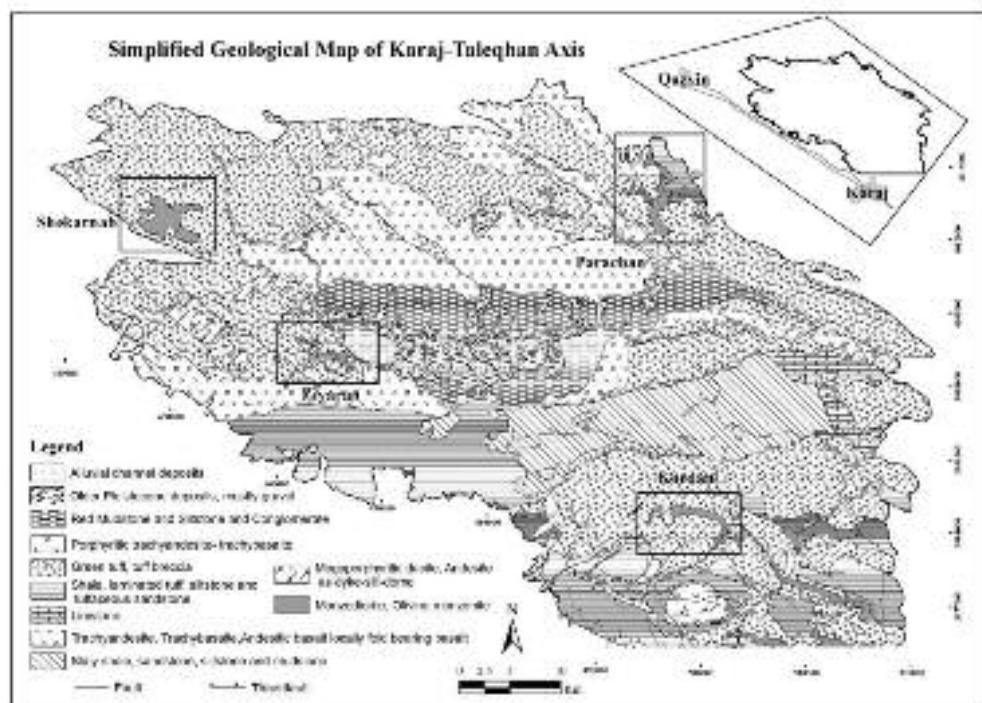
شیل و گدازه‌های آتشفشاری) نفوذ کرده است (شکل ۱).

فرسایش توده‌های محور کرج طالقان، فرسایش پوست پیازی است، که این فرسایش، نوع خاصی از فرسایش در گرانیتوئیدها (آذرین درونی) است که به دو صورت فیزیکی و شیمیایی و در اثر اختلاف دمای شب و روز و ورود آب‌های جوی به درز و شکاف سنگ‌ها ایجاد می‌شود.

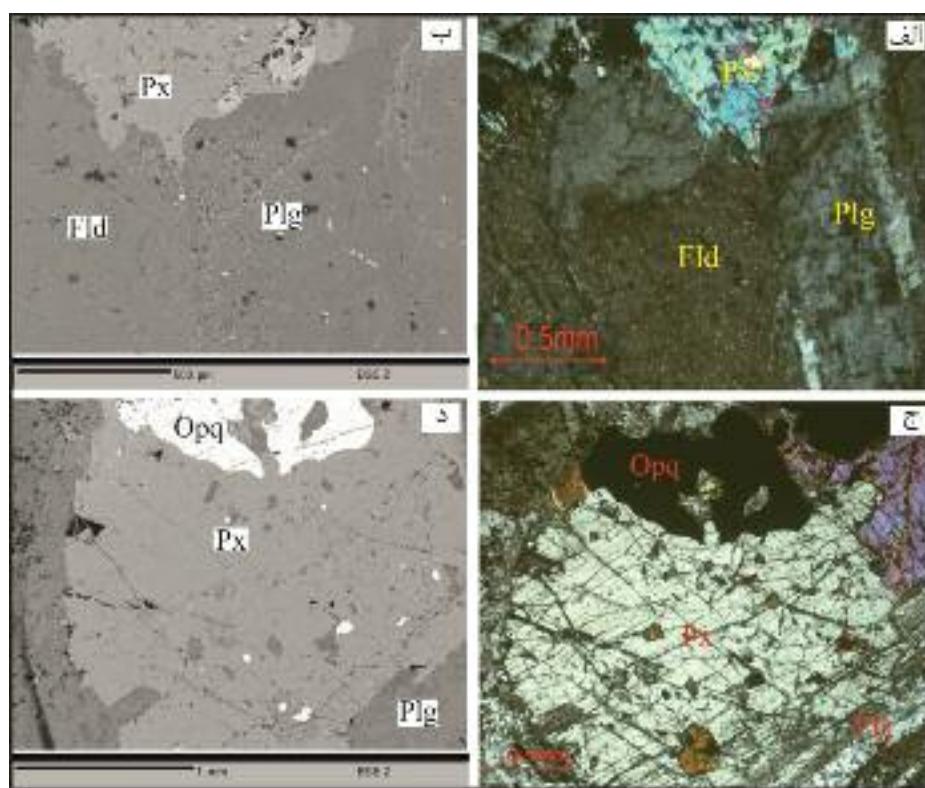
توده‌های نفوذی منطقه شامل چهار توده به شرح زیرند:

#### توده‌ی نفوذی شمال زیاران

توده نفوذی شمال زیاران به صورت نفوذی‌هایی مانند عدسی و سیل، درون لایه‌های رسوبی-آتشفشاری سازند کرج نفوذ کرده است. توده‌ی اصلی دارای ترکیب الیوین گابرو تا مونزونیت است. سنگ‌های با ترکیب الیوین گابرو بیش‌ترین حجم توده را تشکیل می‌دهند و دارای بلورهای درشت‌تری نسبت به بخش با ترکیب مونزونیتی هستند. تغییر ترکیب الیوین گابروها به مونزونیت تدریجی و ناشی از پدیده‌ی جدایش ماقما به دلیل جدایش بلورهای سنت‌گهای این توده در نمونه دستی به صورت مزوکرات با بلورهای قابل تشخیص پلاژیوکلاز و پیروکسن است. بافت‌های غالب این توده‌ی نفوذی شامل بافت‌های دانه‌ای، پورفیری و میان دانه ای هستند و ترکیب کانی-شناسی توده شامل پلاژیوکلاز، پتاسیم‌فلدیپار، پیروکسن،



شکل ۱ موقعیت مجموعه‌ی نفوذی محور کرج-طالقان در نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده شده.



شکل ۲ (الف) تصویر میکروسکوپی از کانی‌های کلینوپیروکسن (CPX)، پلاژیوکلاز (Plg)، پتاسیم‌فلدسبار (Fld) و بافت دانه‌ای هم بعد (نور XPL); (ب) تصویر میکروسکوپ الکترونی (BSI) کانی‌های موجود در تصویر (الف؛ ج) بلور پیروکسن حاوی نفوذی‌های فراوان با بافت ریزبلوری بی نظم (نور XPL)؛ (د) تصویر میکروسکوپ الکترونی (BSE) کانی‌های موجود در تصویر (ج).

های دلریتی و سینیتی نیز این لایه مذکور را قطع کرده است. حاشیه‌ی زیرین و زبرین این توده‌ی نفوذی دارای نشانه‌هایی از حاشیه‌ی انجامد سریع با بافت پورفیری است و از حاشیه به درون توده تغییرات تدریجی آن از حالت پورفیری به دانه‌ای و نیز دنباله‌ای تقریباً نامتقارنی از گابرو به دیوریت و سپس مونزونیت مشاهده می‌شود [۹]. سنگ‌های حاشیه‌ای توده و سنگ‌های دلریتی منطقه، در گستره‌ی گابرو قرار گرفته‌اند و به‌علت حضور کانی کدر و کانی‌های فرومیزین، و بالا بودن مقدار آنورتیت پلاژیوکلاز در گستره‌ی سنگ‌های بازی قرار می‌گیرند. این توده، بافت‌های دانه‌ای و گاهی ریزبلوری را به نمایش گذاشته و در حاشیه توده به حالت پورفیری دیده می‌شود و از نظر سرنشی‌های ماکروسکوپی دارای دانه‌های قبل مشاهده پلاژیوکلاز و پیروکسن هستند. ترکیب کانی‌شناسی این توده بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی شامل پلاژیوکلاز، پتاسیم‌فلدسبار، پیروکسن، الیوین و بیوتیت است. همچنین براساس بررسی‌های ژئوشیمیایی و ماقمایی مجموعه نفوذی محور کرج طالقان، سرشت متالومین داشته و از لحاظ سری

توده‌ی نفوذی شکرنااب این گونه‌ها اغلب به شکل فاکولیت، گاه سیل و پلاگ بین توف‌های بلورین سازند کرج رخمنون دارند. واحدهای سنگ-شناختی این توده شامل مونزوگابرو الیوین‌دار، مونزوودیوریت، مونزونیت پیروکسن‌دار و دایک‌های سینیتی هستند. از نظر مشخصات ماکروسکوپی دانه‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن در نمونه دستی قابل مشاهده‌اند. بافت غالب توده‌ی شکرنااب دانه‌ای، بی نظم (شکل ۲ ج و د)، و ساب‌افتیک است. ترکیب کانی-شناسی سنگ‌های این توده شامل پلاژیوکلاز، پتاسیم‌فلدسبار، پیروکسن، الیوین، بیوتیت و کمی اسفن، آپاتیت به علاوه‌ی کانی‌های کدر هستند. حضور کانی‌های ثانوی نظیر سرسیت، کلریت، اپیدوت کلسیت و کائولن نشان از دگرسانی پروپیلیتی دارند که این نوع دگرسانی در رخساره‌ی شیست سبز رخ می‌دهد.

**توده‌ی نفوذی شمال کردان**  
توده‌ی نفوذی شمال کردان شکل سهمی در بین لایه‌های رسوی-آتشفسانی سازند کرج رخمنون داشته است و دایک-

برداشت شدند (تقریباً ۴۰ نمونه از هر توده)، و در مرحله‌ی بعد مقاطع نازکی از آنها (۱۰ مقطع از ۱۵۶ مقطع کانی شیمی). سپس برای تعیین ترکیب شیمیابی کانی پیروکسن با ELECTRON PROBE ساخت شرکت Cameca فرانسه، در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران مورد بررسی‌های لازم قرار گرفتند (جدول ۱). این دستگاه با ولتاژ شتاب دهنده‌ی ۱۵ KV و جریان ۲۰ nA کار می‌کند و آنالیز کمی دقیق نقطه‌ای با جداسازی ۱۰۰ میکرون در هر نقطه دلخواه از عنصر برليوم تا اورانيوم (U-Be) ارائه می‌دهد.

ماگمایی از نوع آهکی- قلیابی با پتاسیم بالا و شوشونیتی هستند. بررسی‌های صحرایی، سنگ نگاری و ژئوشیمیابی نشان می‌دهند که سنگ‌های مورد بررسی از نوع گرانیتوئیدهای نوع I و دارای ماهیت قلیابی- کلسیک تا قلیابی هستند. از نظر جایگاه زمین ساختی، توده‌های مورد بررسی، جزء گرانیتوئیدهای کمان‌های آتشفشاری (VAG) و حاشیه‌ی فعال قاره‌ای به شمار می‌آیند.

### روش بررسی

به منظور دستیابی به هدف‌های این پژوهش، پس از بررسی شواهد صحرایی و بازدید از رخنمون‌های مختلف، ۱۵ نمونه‌ی سنگی از واحدهای مجموعه‌ی گرانیتوئیدی مورد بررسی

جدول ۱ نتایج تجزیه‌ی ریزپردازشی الکترونی کانی‌های پیروکسن (w/%) (فرمول ساختاری بر اساس ۶ اتم اکسیژن محاسبه شده است).

Location	Ziyaran															Prachan						
	ZRB۱۰	ZRB۱۱	ZRB۱۲	ZRB۱۳	ZRB۱۴	ZRB۱۵	ZRB۱۶	ZRB۱۷	ZRB۲۷	ZRB۲۸	ZRB۲۹	ZRB۳۰	ZRB۳۱	ZRB۲۲	PR۹	PR۱۰	PR۱۱	PR۱۸	PR۱۹	PR۲۰		
SiO <sub>۴</sub>	۴۸,۲۲	۴۹,۰۱	۴۷,۹۱	۴۷,۴۰	۴۷,۶۹	۴۹,۲۹	۴۸,۵۸	۴۸,۱۴	۵۰,۱۷	۵۰,۱۶	۵۱,۴۶	۴۹,۰۵	۵۰,۰۸	۵۰,۷۹	۵۲,۰۱	۵۱,۱۶	۵۲,۰۷	۵۲,۰۴	۵۲,۰۸	۵۲,۹۲		
TiO <sub>۴</sub>	۱,۲۵	۱,۱۶	۱,۲۷	۱,۳۱	۱,۳۲	۱,۱۴	۱,۱۰	۱,۴۷	۰,۹۷	۱,۰۲	۰,۳۴	۱,۰۴	۱,۰۱	۱,۰۲	۰,۳۸	۱,۰۴	۰,۱۲	۰,۲۱	۰,۲۱	۰,۱۷		
Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۵,۱۳	۵,۷۵	۵,۴۷	۵,۰۷	۶,۴۵	۴,۷۹	۴,۲۱	۵,۴۰	۲,۹۹	۴,۴۲	۲,۸۸	۴,۵۵	۴,۳۸	۳,۷۱	۰,۸۹	۲,۸۶	۰,۶۹	۰,۶۸	۰,۵۲	۰,۴۵		
Cr <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰		
FeO	۸,۴۱	۹,۵۳	۸,۳۰	۸,۳۳	۸,۸۷	۸,۳۵	۸,۱۲	۸,۶۰	۷,۹۲	۵,۷۱	۹,۰۸	۸,۴۸	۸,۲۱	۸,۳۷	۱۰,۰۷	۹,۱۹	۱۰,۰۰	۲۳,۰۲	۲۳,۱۶	۲۲,۴۰		
MnO	۰,۱۹	۰,۲۷	۰,۲۳	۰,۱۸	۰,۲۲	۰,۲۱	۰,۲۲	۰,۲۶	۰,۲۱	۰,۲۲	۰,۴۱	۰,۲۲	۰,۲۳	۰,۳۱	۰,۳۷	۰,۲۷	۰,۳۸	۰,۸۱	۰,۸۳	۰,۸۲		
MgO	۱۳,۴۹	۱۳,۱۷	۱۳,۱۱	۱۳,۷۹	۱۲,۸۱	۱۳,۶۹	۱۴,۰۴	۱۳,۲۲	۱۴,۶۵	۱۳,۹۷	۱۲,۶۰	۱۳,۸۱	۱۴,۴۷	۱۳,۶۸	۱۴,۰۶	۱۴,۲۷	۱۴,۲۵	۲۱,۹۸	۲۱,۷۷	۲۲,۰۰		
CaO	۲۲,۸۱	۲۲,۰۶	۲۲,۸۲	۲۲,۵۹	۲۲,۵۴	۲۲,۶۵	۲۲,۳۷	۲۲,۳۲	۲۲,۷۱	۲۳,۱۱	۲۳,۱۱	۲۲,۶۲	۲۲,۰۴	۲۲,۰۵	۲۱,۱۳	۲۱,۵۵	۲۲,۰۴	۱,۰۰	۰,۹۹	۱,۱۳		
Na <sub>۲</sub> O	۱,۴۲	۰,۷۴	۰,۵۳	۰,۴۹	۰,۴۰	۰,۷۰	۲,۲۱	۰,۴۸	۰,۴۶	۰,۴۴	۰,۹۸	۰,۵۰	۰,۵۰	۰,۵۹	۰,۴۵	۰,۴۰	۰,۲۳	۰,۱۱	۰,۳۷	۰,۰۵		
K <sub>۲</sub> O	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۲		
Si	۱,۷۶	۱,۸۱	۱,۷۸	۱,۷۷	۱,۷۷	۱,۸۱	۱,۷۶	۱,۷۷	۱,۸۳	۱,۸۶	۱,۹۱	۱,۸۲	۱,۸۳	۱,۸۷	۱,۹۷	۱,۸۸	۱,۹۵	۱,۹۵	۱,۹۵	۱,۹۶		
Ti	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰		
Al	۰,۲۲	۰,۲۵	۰,۲۴	۰,۲۵	۰,۲۸	۰,۲۱	۰,۱۸	۰,۲۳	۰,۱۷	۰,۱۹	۰,۱۰	۰,۲۰	۰,۱۹	۰,۱۶	۰,۰۴	۰,۱۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۲		
Al <sup>IV</sup>	۰,۲۱	۰,۱۶	۰,۱۸	۰,۱۹	۰,۲۰	۰,۱۶	۰,۱۸	۰,۱۹	۰,۱۴	۰,۱۱	۰,۰۸	۰,۱۵	۰,۱۴	۰,۱۰	۰,۰۲	۰,۰۹	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲		
Al <sup>VI</sup>	۰,۰۱	۰,۰۹	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۹	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۰۹	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰		
Cr <sup>r+</sup>	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰		
Fe <sup>r+</sup>	۰,۲۶	۰,۱۳	۰,۱۶	۰,۱۷	۰,۱۴	۰,۱۶	۰,۲۵	۰,۱۷	۰,۱۴	۰,۰۵	۰,۱۳	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۰۸	۰,۰۴	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۵		
Fe <sup>r+</sup>	۰,۰۰	۰,۱۷	۰,۱۰	۰,۰۸	۰,۱۴	۰,۰۹	۰,۰۰	۰,۰۹	۰,۱۰	۰,۱۲	۰,۱۵	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۱۸	۰,۲۸	۰,۲۱	۰,۲۲	۰,۶۵	۰,۶۳	۰,۶۷		
Mn	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳		
Mg	۰,۷۳	۰,۷۲	۰,۷۳	۰,۷۴	۰,۷۱	۰,۷۵	۰,۷۶	۰,۷۳	۰,۷۰	۰,۷۷	۰,۷۰	۰,۷۶	۰,۷۵	۰,۷۸	۰,۷۹	۰,۷۹	۱,۲۱	۱,۲۱	۱,۲۲			
Ca	۰,۸۹	۰,۸۳	۰,۹۱	۰,۹۰	۰,۹۰	۰,۸۹	۰,۸۷	۰,۹۲	۰,۸۹	۰,۹۲	۰,۸۹	۰,۹۲	۰,۸۹	۰,۸۶	۰,۸۸	۰,۸۴	۰,۸۵	۰,۸۹	۰,۰۴	۰,۰۴		
Na	۰,۱۰	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۱۶	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰		
Wo	۴۵,۸۶	۴۶,۱۸	۵۲,۴۸	۵۲,۱۰	۵۱,۴۷	۵۱,۴۴	۵۳,۳۸	۵۳,۰۱	۴۹,۷۵	۵۰,۸۰	۵۲,۱۱	۵۰,۴۱	۴۸,۵۱	۴۸,۶۵	۴۴,۰۲	۴۶,۰۸	۴۶,۹۴	۲,۱۰	۲,۱۰	۲,۳۲		
En	۴۵,۱۴	۴۲,۰۱	۴۱,۹۵	۴۲,۰۱	۴۰,۷۰	۴۳,۲۶	۴۶,۶۲	۴۱,۸۱	۴۴,۶۵	۴۲,۰۶	۳۹,۵۳	۴۲,۸۲	۴۴,۳۱	۴۱,۸۱	۴۰,۹۲	۴۲,۷۵	۴۱,۲۹	۶۳,۷۱	۶۴,۱۷	۶۲,۹۴		
Fs	۰,۰۰	۹,۷۰	۵,۵۷	۴,۸۹	۷,۸۳	۵,۳۰	۰,۰۰	۵,۱۹	۵,۶۰	۶,۸۴	۸,۳۶	۶,۷۸	۷,۱۸	۹,۷۴	۱۴,۸۹	۱۱,۱۷	۱۱,۷۶	۳۴,۲۱	۳۳,۷۳	۳۴,۷۴		

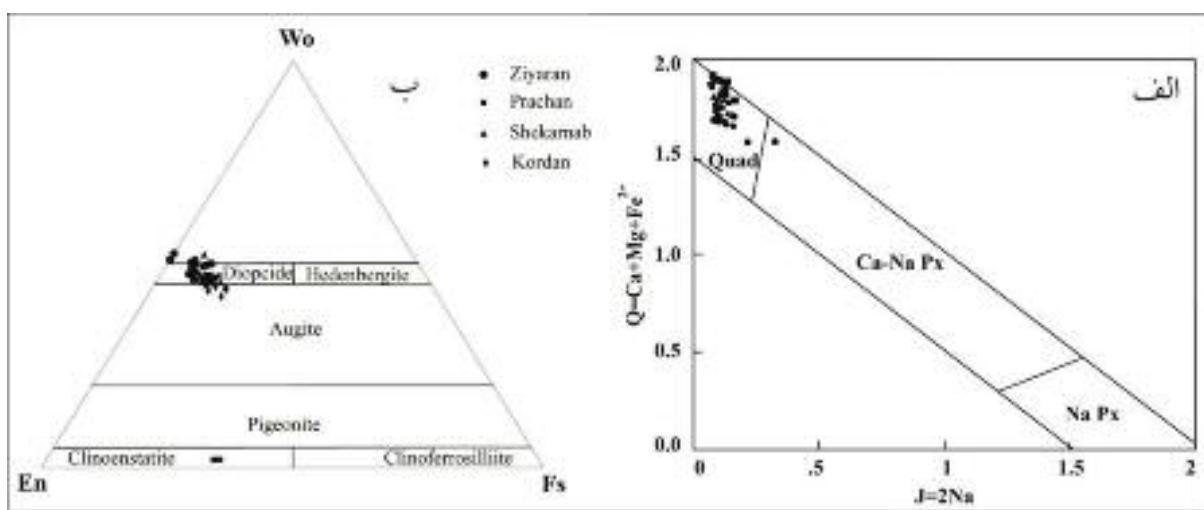
## ادامه جدول ۱

Location	Prachan						Shekarnab						Kordan								
Rock Type	PR۲۱	PR۲۲	PR۲۳	PR۳۹	PR۴۰	PR۴۱	CH۱	CH۲	CH۳	CH۴	CH۵	CH۶	CH۷	S۱	S۲	S۳	S۴	S۵	S۶	S۷	S۸
SiO <sub>4</sub>	۵۱/۳۳	۵۰/۰۵۵	۵۰/۰۳۹	۵۲/۶۹	۵۱/۰۵۳	۵۰/۰۸۰	۵۰/۰۲۷	۵۰/۰۷۵	۵۰/۰۹۶	۵۱/۰۳۲	۵۰/۰۴۲	۵۰/۰۱۵	۵۰/۰۰۷	۵۰/۰۳۱	۵۰/۰۳۶	۵۱/۰۰۴	۵۰/۰۷۴	۵۰/۰۹۱	۵۰/۰۶۳	۵۰/۰۹۳	۵۰/۰۵۰
TiO <sub>4</sub>	۰/۰۸	۱/۰۵	۱/۰۴	۰/۰۲۸	۰/۰۸۴	۰/۰۹۶	۱/۰۱	۰/۰۸۹	۰/۰۸۷	۰/۰۸۴	۱/۰۱	۱/۰۰۶	۱/۰۱۰	۰/۰۹۱	۰/۰۸۳	۰/۰۸۹	۱/۰۰۷	۰/۰۸۴	۰/۰۸۸	۰/۰۸۲	۰/۰۹۵
Al <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	۲/۱۶	۲/۹۱	۲/۸۸	۱/۰۱	۲/۰۹	۲/۴۷	۲/۲۲	۲/۵۷	۲/۲۷	۲/۳۸	۳/۰۴	۳/۵۲	۳/۱۱	۲/۸۶	۳/۲۰	۲/۹۴	۲/۰۸	۳/۱۴	۲/۷۱	۲/۴۳	۲/۳۷
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
FeO	۸/۰۳	۹/۱۱	۹/۳۸	۹/۳۵	۹/۶۵	۹/۲۳	۹/۰۲	۹/۷۹	۹/۶۹	۹/۰۹	۹/۰۳	۹/۰۷	۹/۶۱	۱/۰۰۴	۹/۴۱	۱/۰۳۰	۱/۰۴۷	۱/۰۰۰	۹/۷۳	۹/۸۶	۹/۸۶
MnO	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۲۵	۰/۰۲۸	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۳۱	۰/۰۳۵	۰/۰۲۳	۰/۰۳۴	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸
MgO	۱۴/۰۹	۱۴/۲۸	۱۴/۰۰	۱۴/۰۵	۱۴/۷۵	۱۴/۴۹	۱۴/۰۵	۱۴/۰۳	۱۳/۹۶	۱۳/۹۳	۱۴/۴۱	۱۴/۰۷	۱۴/۲۵	۱۴/۶۰	۱۴/۸۴	۱۴/۸۹	۱۵/۰۶	۱۴/۹۲	۱۴/۳۲	۱۴/۸۴	۱۴/۲۹
CaO	۲۱/۶۱	۲۱/۰۷	۲۱/۶۸	۲۱/۰۹	۲۰/۰۶	۲۱/۰۸	۲۱/۰۰	۲۱/۰۴	۲۱/۰۳	۲۱/۰۶	۲۱/۰۵	۲۱/۰۴	۲۲/۰۱	۲۰/۰۷۹	۱۹/۹۵	۲۱/۰۱	۲۰/۰۴۷	۲۰/۰۱	۲۰/۰۷۸	۲۰/۰۷۶	۲۰/۰۷۶
Na <sub>2</sub> O	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۰	۰/۰۳۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
K <sub>2</sub> O	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
Si	۱/۹۲	۱/۸۷	۱/۸۷	۱/۹۵	۱/۸۹	۱/۸۸	۱/۸۵	۱/۸۸	۱/۹۰	۱/۹۰	۱/۸۷	۱/۸۴	۱/۸۵	۱/۸۵	۱/۸۸	۱/۸۸	۱/۸۷	۱/۸۸	۱/۹۰	۱/۸۹	۱/۹۰
Ti	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
Al	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱
Al <sup>IV</sup>	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷
Al <sup>VI</sup>	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
Cr <sup>۳+</sup>	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Fe <sup>۳+</sup>	۰/۰۰۶	۰/۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۲۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳
Fe <sup>۲+</sup>	۰/۰۲	۰/۰۱۸	۰/۰۲۰	۰/۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۰	۰/۰۱۹	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۱۸	۰/۰۱۲	۰/۰۱۶	۰/۰۰۹	۰/۰۲۷	۰/۰۲۰	۰/۰۲۱	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۲۱	۰/۰۲۸
Mn	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
Mg	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۸۰	۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰
Ca	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۸۵	۰/۰۸۴	۰/۰۸۴	۰/۰۸۸	۰/۰۸۲	۰/۰۸۰	۰/۰۸۳	۰/۰۸۰	۰/۰۸۲	۰/۰۸۴
Na	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Wo	۴۶/۲۷	۴۷/۱۸	۴۷/۲	۴۵/۰۸	۴۵/۸۲	۴۷/۱۷	۴۸/۱۱	۴۶/۶۸	۴۶/۱۳	۴۶/۰	۴۶/۲۹	۴۸/۱۶	۴۷/۹۹	۴۷/۸۲	۴۲/۱۶	۴۴/۹۸	۴۳/۸۵	۴۲/۰۳	۴۳/۶۷	۴۴/۳۶	۴۳/۷۳
En	۴۱/۹۸	۴۲/۸۶	۴۲/۲۴	۴۲/۴۷	۴۴/۸۸	۴۳/۵۵	۴۵/۹۷	۴۲/۹۰	۴۲/۲۱	۴۲/۱۰	۴۳/۸۸	۴۵/۱۲	۴۳/۰۵	۴۶/۷۷	۴۳/۶۴	۴۴/۱۷	۴۴/۸۸	۴۳/۴۱	۴۱/۱۷	۴۴/۲۳	۴۱/۱۸
Fs	۱۱/۷۵	۹/۹۶	۱۰/۰۷۴	۱۱/۶۹	۹/۵۰	۹/۲۸	۵/۹۲	۱۰/۰۴۲	۱۱/۶۶	۱۱/۵۰	۹/۸۳	۶/۷۲	۸/۹۶	۵/۴۶	۱۴/۲۰	۱۰/۰۸۵	۱۱/۲۷	۱۴/۰۶	۱۱/۴۱	۱۴/۳۹	۱۴/۳۹

می‌کنند که مجموع آن‌ها در حدود ۱ است.

به منظور بهره‌مندی از ترکیب پیروکسن موجود در سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی، برای دستیابی به زمین دما-فشارسنجی سنگ‌های حامل، نخست به رده‌بندی آن‌ها پرداخته و سپس فرمول ساختاری آن‌ها بررسی شد. این کانی با توجه به قرارگیری کاتیون‌ها به ۴ گروه: ۱-پیروکسن‌های Ca-Mg-Fe (Quad)، ۲-پیروکسن‌های Ca-Na (Quad)، ۳-پیروکسن‌های Na و ۴-دیگر پیروکسن‌ها (Other) تقسیم می‌شوند [۱۱]. پیروکسن‌های مورد بررسی در نمودار J-Q در گسترده آهن-پیروکسن‌های متوسط تصویر شده و از سدیم تهی هستند (شکل ۳). در این نمودار شاخص‌های J و Q بنابر رابطه‌ی Z = ۲Na ± Q = Ca + Mg + Fe<sup>2+</sup> محاسبه می‌شوند: R: Al, Fe<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Sc<sup>3+</sup>) برای جایش پیروکسن‌های Ca-Mg-Fe گروه از نمودار شکل ۳ ب استفاده شد [۱۱].

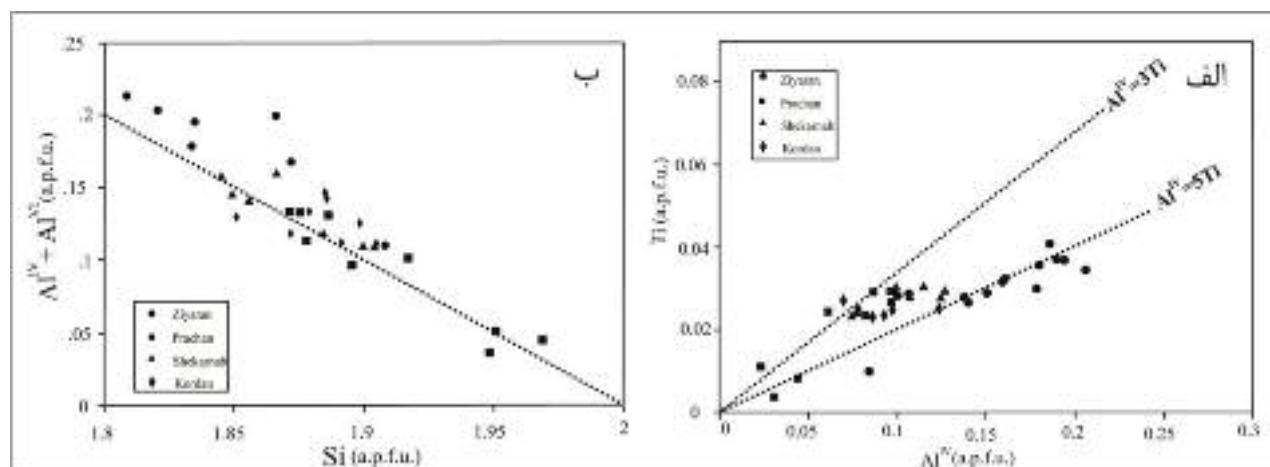
پیروکسن‌ها از جمله کانی‌های کلیدی و مهمی هستند که ترکیب آن‌ها اطلاعات ارزشمندی در جهت روشن شدن خاستگاه ماقمایی، تعیین سری ماقمایی، موقعیت زمین‌ساخت ماقمایی [۱۰]، شرایط فیزیکوشیمیایی شامل دما، فشار و گریزندگی اکسیژن (فسار بخشی اکسیژن) در اختیار می‌گذارند. پیروکسن از خانواده سیلیکات‌های زنجیره‌ای، با فرمول عمومی M<sub>2</sub>M<sub>1</sub>T<sub>2</sub>O<sub>6</sub> هستند. در جایگاه T کاتیون‌هایی نظری Fe<sup>3+</sup> و Al<sup>3+</sup>, Si<sup>4+</sup> با امکان کمتر T مجموع جایگاه T با مازاد آهن سه است، در جایگاه M<sub>1</sub> (با مجموع M<sub>1</sub><sup>3+</sup>) و نیز کاتیون‌هایی مانند ظرفیت مصرف شده در موقعیت T و گاهی مانند Ti<sup>4+</sup>, V<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Ti<sup>4+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Zr<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> چون جایگزین M<sub>1</sub> می‌شوند. بالاخره M<sub>2</sub> را عنصری اچون Sc<sup>3+</sup>, Zr<sup>4+</sup> و Ti<sup>3+</sup> جایگزین می‌شوند. این اتفاقات باعث می‌شوند. www.SID.ir



شکل ۳ (الف) ردهبندی پیروکسن‌های مورد بررسی در نمودار J-[۱۱] (ب) En-Fs-Wo [۱۱].

ای که از آن متبلور شده و به نسبت این عناصر در انواع ماغماهای توله‌ایتی، قلیایی و پرآلکالن (که به ترتیب افزایش Ti می‌یابد) بستگی دارد [۱۲، ۱۳] با توجه به نمودار تغییرات  $\text{Al}^{IV}$  [۱۴]، میزان پایین تیتانیم در کلینوپیروکسن‌ها بیانگر وجود کانی‌های تیتانیم‌دار (تیتانومگنتیت) در سنگ است (شکل ۴ الف). به علاوه توزیع Al و Si در پیروکسن‌های مورد بررسی، به گونه‌ای است که نمونه‌ها در نمودار Si در برابر مجموع Al چهاروجهی و هشتوجهی [۱۵] (Al کل ساختار فرمولی) در روی و بالای خط اشباع قرار می‌گیرند (شکل ۴ ب). بنابراین موقعیت کلینوپیروکسن‌های چهاروجهی به طور کامل با Si و به طور بخشی با  $(\text{Al}^{IV})/\text{Al}^{IV}$  پر می‌شود.

چنانکه در نمودار دیده می‌شود، پیروکسن‌های توده‌ی نفوذی زیلان و شکرناپ در گستره‌ی دیوپسید، پیروکسن‌های توده‌ی نفوذی کردان و پراچان در گستره‌ی اوژیت و دیوپسید و ارتپیروکسن‌های پراچان در گستره‌ی کلینوانستاتیت قرار گرفته‌اند. بر مبنای فرمول ساختاری این کانی، ترکیب کلینوپیروکسن‌های موجود در توده‌ی زیلان ۴۸/۲۸-۴۶/۶۲، WO ۴۸/۲۸، En ۳۹/۵۳-۴۶/۶۲، Si ۹/۷۴ در توده‌ی پراچان ۴۴/۲۰-۴۷/۱۸، WO ۴۴/۲۰-۴۷/۱۸، En ۴۰/۹۲-۴۴/۸۸، Si ۹/۲۸ در توده‌ی شکرناپ ۴۶/۱۳-۴۸/۱۶، WO ۴۵/۹۷، En ۴۲/۱۰-۴۷/۸۲ و در توده کردان ۵/۹۲-۱۱/۶۶، Si ۵/۴۶-۱۴/۵۶ در توده‌ی فس ۵/۴۶-۱۴/۵۶، WO ۴۲/۰۳، En ۴۱/۸۷-۴۶/۷۲، Si ۹/۷۴ در توده‌ی فس ۴۲/۰۳ هستند. محتوای Ti و Al کلینوپیروکسن‌ها به فعالیت سیلیس گدازه



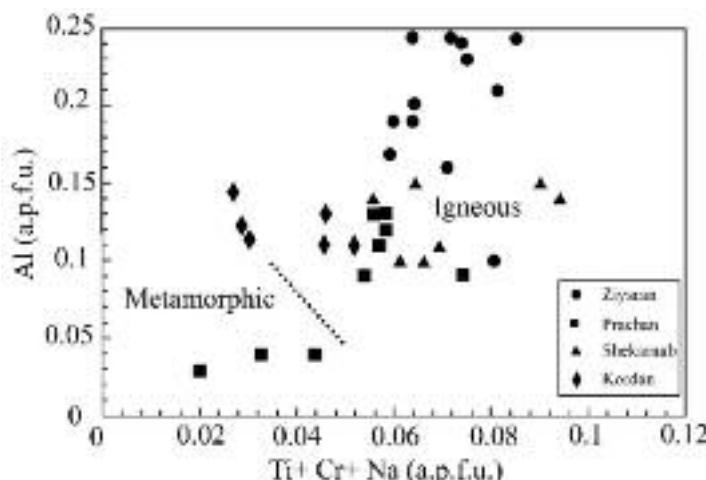
شکل ۴ (الف) کلینوپیروکسن‌های منطقه‌ی مورد بررسی روی نمودار تغییرات  $\text{Al}^{IV}-\text{Ti}$  [۱۴] (ب) روی نمودار جایگاه چهاروجهی قرار می‌گیرند [۱۵].

اساس با توجه به مقدار  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{SiO}_2$  ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن مورد بررسی از  $\text{Si}$  غنی‌تر هستند و ماغماتیسم شبه قلیایی و قلیایی (نمونه‌های زیاران در گستره قلیایی و نمونه‌های دیگر در گستره شبه قلیایی قرار دارند) را نشان می‌دهند. در نمودار  $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (شکل ۶ ب) بیشتر نمونه‌ها به دلیل کمبود  $\text{TiO}_2$  از قلمرو سنگ‌های قلیایی دور شده و بیشتر در گستره قلیایی، سنگ‌های تولیتی و آهکی-قلیایی قرار گرفته‌اند.

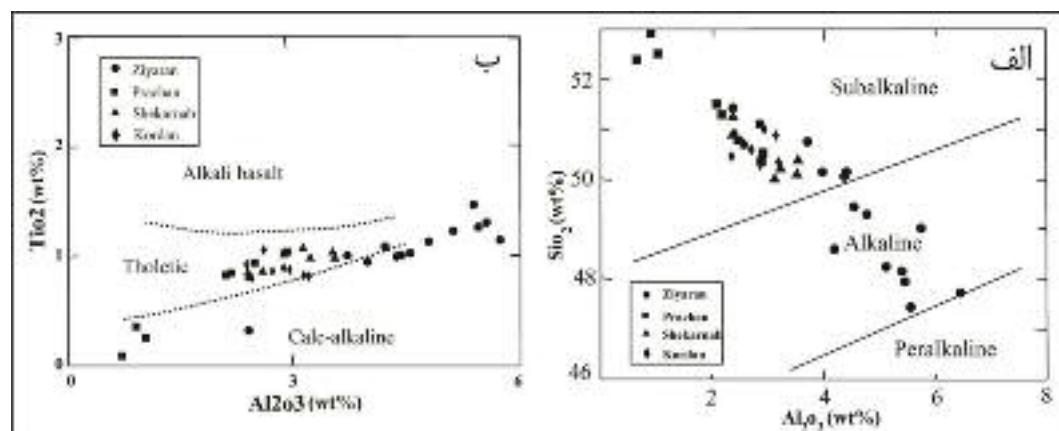
موقعیت قرارگیری پیروکسن‌ها در نمودار تفکیکی  $\text{Ca}$  در مقابل  $\text{Ti} + \text{Cr} + \text{Na}$  در مقابل  $\text{Ti}$  [۱۸] خاستگاه تمامی کلینوپیروکسن‌ها در میدان کوهزایی قرار می‌گیرند (شکل ۷).

تعیین سری ماغماهی و محیط ژئوتکتونیکی از شیمی پیروکسن می‌توان برای شناسایی محیط پالئوتکتونیکی ماغما و تشخیص نوع ماغمای مادر بهره برد. بررسی‌های [۱۶] بر وابستگی ترکیب کلینوپیروکسن به ترکیب شیمیایی ماغمای سازنده‌ی آن‌ها تاکید دارد. بر اساس نمودار تعییرات  $\text{Al} + \text{Cr} + \text{Na}$  در برابر  $\text{Ti}$  [۱۷] کلینوپیروکسن‌ها ماهیت آذرین دارند که تاییدی بر اطلاعات صحرایی و سنگ نگاری است (شکل ۵).

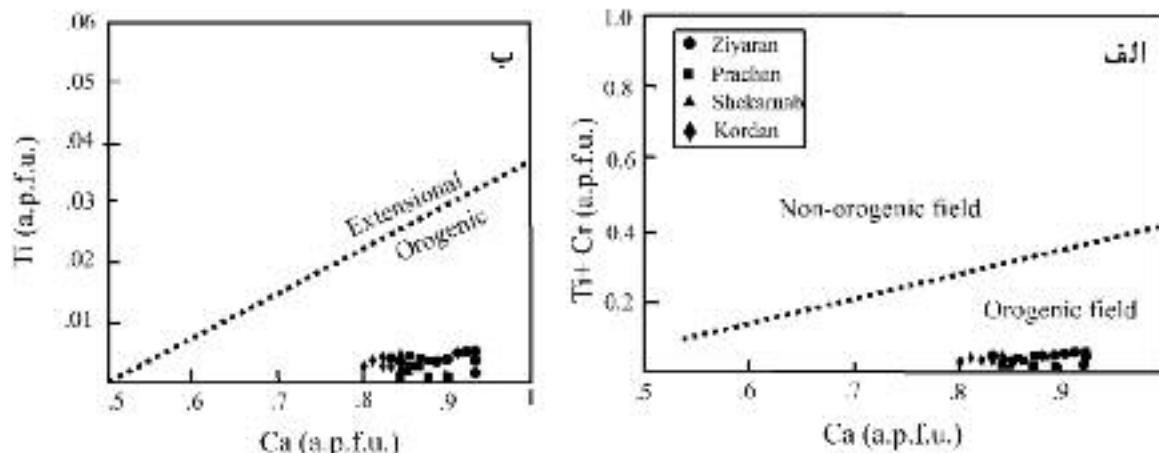
لی باس [۱۳] عقیده دارد که مقادیر  $\text{Si}$  و  $\text{Al}$  درون شبکه ساختاری پیروکسن به درجه قلیایی بستگی داشته و با استفاده از این سرشتی، سری‌های ماغماهی از هم قابل تفکیک هستند. وی با استفاده از مقادیر  $\text{SiO}_2$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها، سری‌های ماغماهی شبه قلیایی، قلیایی و نیمه قلیایی را از هم متمایز نموده است (شکل ۶ الف) بر این



شکل ۵ نمودار تعییرات  $\text{Al} + \text{Cr} + \text{Na}$  نسبت به  $\text{Ti}$  [۱۷]. اکثر نمونه‌ها ماهیت آذرین دارند.



شکل ۶ تعیین سری ماغماهی نمونه‌ها با استفاده از ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها (الف) نمودار تعییرات  $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$  [۱۳] ب) نمودار تعییرات  $\text{TiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$  [۱۳]



شکل ۷ الف) موقعیت قرارگیری کلینوپیروکسن‌ها در نمودار  $\text{Ti} + \text{Cr}$  نسبت به  $\text{Ca}$  در نمودار  $\text{Ca}$  نسبت به  $\text{Ti}$  [۱۸] محیط تشکیل کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی کوهزایی است.

گراد (میانگین دمای تشکیل پیروکسن‌ها در توده‌ی زیاران در حدود ۱۰۰۵، در توده پراچان در حدود ۱۰۵۴، در توده شکرناپ در حدود ۱۱۴۳ و در توده‌ی کردان در حدود ۱۲۱۳ درجه‌ی سانتیگراد) ارزیابی شده‌اند.

ب) دماستنجی بر اساس رابطه‌ی پیشنهادی [۲۱]، برپایه‌ی طبق رابطه زیر

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

در این فرمول  $X$  مقدار کلسیم در موقعیت  $M_2$  است.

در این رابطه از میانگین فشار تشکیل پیروکسن (در مبحث فشارسنجی) بر حسب کیلوبار استفاده شد. بنابر این معادله دمای به دست آمده از دماستنجی پیروکسن‌ها، ۱۲۵۱ درجه‌ی سانتی‌گراد (میانگین دمای تشکیل پیروکسن‌ها در توده زیاران در حدود ۱۱۷۹ درجه سانتی‌گراد در توده پراچان در حدود ۱۲۵۹، در توده شکرناپ در حدود ۱۲۸۶ و در توده‌ی کردان در حدود ۱۳۳۷ درجه‌ی سانتی‌گراد) است.

ج) دماستنجی با استفاده از نمودار دمای تبلور پیروکسن [۲۲] برای فشار ۵ کیلوبار، ترکیب کلینوپیروکسن‌ها گستره‌ای از ۶۵۰ تا ۱۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد (دمای ۱۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد مربوط به ارتوپیروکسن‌های پراچان است و به نظر می‌رسد که کلینوپیروکسن‌ها در دمای پایین‌تری نسبت به ارتوپیروکسن‌ها شکل گرفته باشند) را به نمایش می‌گذارد (شکل ۸ الف).

**تعیین شاخص‌های فیزیکوشیمیایی**  
ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها را می‌توان در راستای تعیین دما و فشار سنگ‌های حامل آن‌ها به کار برد. تحقیقات تجربی انجام شده نشان می‌دهد که میزان  $\text{Al}^{\text{VI}}$  در کلینوپیروکسن به فشار وابسته است [۱۹]. بنابراین با استفاده از ترکیب شیمیایی پیروکسن، می‌توان به ارزیابی شرایط فیزیکوشیمیایی حاکم بر نمونه‌ها نظیر فشار، دما و فشار بخشی (گریزندگی) اکسیژن ماگما پرداخت.

#### دماستنجی

ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها وسیله‌ی مهمی برای سنجش دما در سنگ‌های آذرین محسوب می‌شود. برای بررسی دمای تشکیل پیروکسن‌ها از دماستنجی‌های زیر استفاده می‌شود:

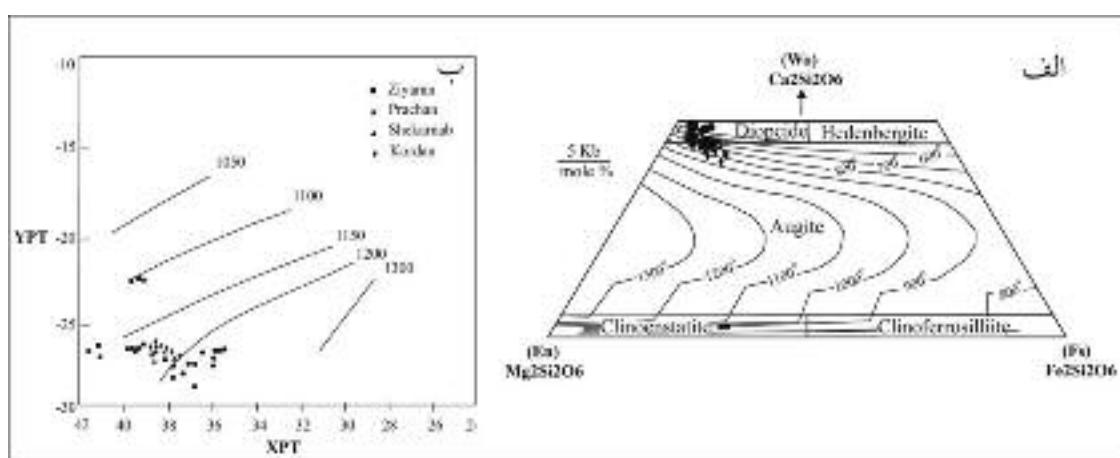
(الف) دماستنجی با استفاده از روش پیشنهادی [۲۰]، از روی فراوانی کاتیون‌های دوظرفیتی  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}$  و  $\text{Ca}$  می‌توان به ارزیابی دمای تبلور پیروکسن‌ها اقدام کرد. رابطه‌ی زیر بر اساس این دماستنجی پیشنهاد شده است.

$$T(\text{°C}) = \{1000/(0.054 + 0.608X^{\text{Cpx}} - 0.304 \ln (1 - 2[\text{Ca}]^{\text{Cpx}}))\} - 273$$

در رابطه‌ی بالا  $X^{\text{Cpx}}$  برابر است با:

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

این دماستنجی برای کلینوپیروکسن‌هایی که با ارتوپیروکسن‌ها همزیست نباشند، نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. با استفاده از این روش میانگین دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌ها حدود ۱۰۸۶ درجه‌ی سانتی-



شکل ۸(الف) موقعیت پیروکسن‌های مورد بررسی روی نمودار ترسیمی دمای تبلور کلینوپیروکسن‌ها برای فشار گستره ۵ کیلوبار [۲۲] ب) تعیین دمای تبلور پیروکسن‌ها با نمودار Soesoo [۲۳].

### فشار بخشی (گریزندگی) اکسیژن

فشار بخشی اکسیژن تاثیر ویژه‌ای در تغییر دمای آبگونی و ترکیب گدازه داشته [۲۴] و عامل موثری در کنترل فرایندهای ماگمایی و نیز دنباله‌ی تبلور و نوع کانی‌های تبلور یافته است [۲۵، ۲۶]. به اعتقاد [۱۵] مقابله‌ی  $Ti + Cr + Al^{VI}$  باز ۲ باز  $Na+Al^{IV}$  (همه در واحد فرمولی) (شکل ۹ ب)، می‌تواند فشار بخشی اکسیژن را تعیین کند. این نمودار بر اساس موازنیه  $Al$  موجود در موقعیت چهاروجهی و  $Al$  و  $Cr$  در موقعیت هشت‌وجهی تنظیم شده است. در ترکیب پیروکسن‌ها عنصر  $Fe$  می‌تواند جانشین عناصر سه ظرفیتی  $Al$ ،  $Cr$  و  $Ti$  در موقعیت هشت وجهی شود. بنابراین، فراوانی  $Fe$  در پیروکسن‌ها بستگی به میزان  $Al$  دارد. به عبارت دیگر، تابع موازنی  $Al$  آلومینیوم در موقعیت چهاروجهی و هشتوجهی است. هر چه  $Al^{IV}$  بیشتر باشد امکان ورود عناصر سه ظرفیتی دیگر جز آلومینیوم، مانند  $Fe$  به موقعیت هشتوجهی فراهم‌تر می‌شود. بنابراین، نمونه‌هایی که در بالای خط  $Fe = 0$  قرار گرفته‌اند، پیروکسن‌هایی هستند که در فشار بخشی اکسیژن بالا متبلور شده‌اند و نمونه‌هایی که در پایین این خط قرار گرفته‌اند در فشار بخشی اکسیژن کمتری تشکیل شده‌اند.

[۲۷] با توجه به فاصله نمونه‌ها از خط  $Fe = 0$ ، به عقیده‌ی [۲۷] هر چه فاصله نمونه‌ها از این خط بیشتر باشد مقدار فشار بخشی اکسیژن در محیط تشکیل آن‌ها بیشتر بوده است. چنان‌که در شکل ۹ ب ملاحظه می‌شود کلینوپیروکسن‌های منطقه‌ی مورد بررسی در بالای خط  $Fe^{3+} = 0$  قرار گرفته که گویای برخورداری نمونه‌ها از محیطی با فشار بخشی (گریزندگی) اکسیژن بالاست.

۵) دمای تشکیل پیروکسن‌ها بر اساس شاخص‌های XPT و YPT که بر اساس روابط زیر محاسبه می‌شوند [۲۳]  
رابطه‌ی ۱:

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

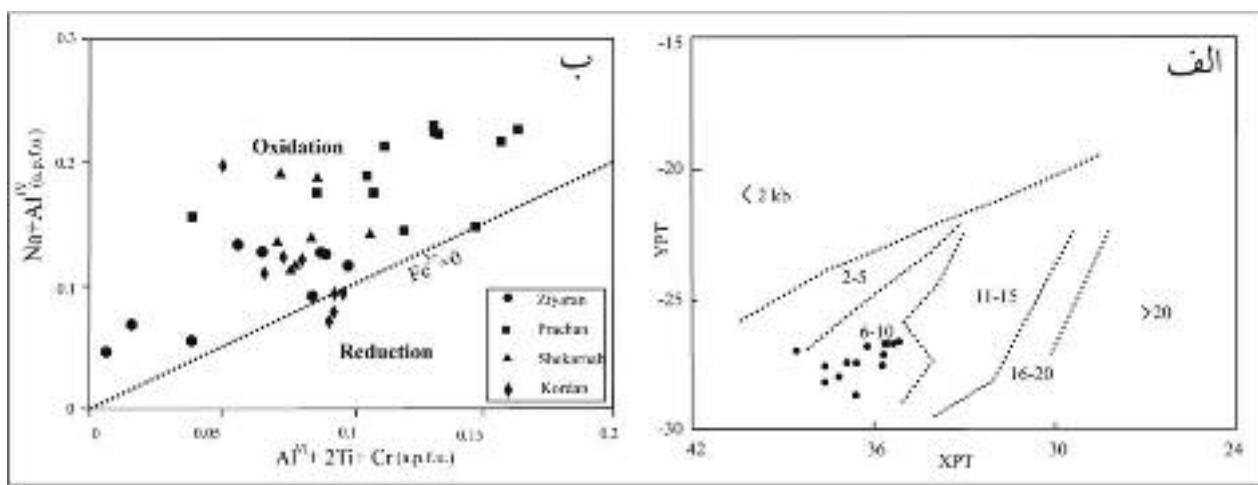
رابطه‌ی ۲:

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

برتری چشمگیر این روش در دماسنگی این است که اولاً حضور توامان دو پیروکسن الزامی نیست، ثانیاً برای انواع پیروکسن‌های Mg-Ca-Fe دار و Fe-Mg دار قابل استفاده است. بنابر این روش دمای تشکیل پیروکسن‌ها در توده‌های محور کرج-طالقان حدوداً ۱۲۵۰ تا ۱۲۶۰ درجه سانتی‌گراد (دمای تشکیل پیروکسن‌ها در توده زیاران در حدود ۱۱۸۰ تا ۱۲۵۰، در توده‌ی پراچان در حدود ۱۱۶۰ تا ۱۱۷۰، در توده‌ی کردان در حدود ۱۲۰۰ تا ۱۲۷۵ و در توده‌ی کردان در حدود ۱۱۹۰ تا ۱۱۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) بدست می‌آید (شکل ۸ ب).

### فشارسنگی

به منظور تعیین فشار، با استفاده از نمودار [۲۳] و نیز از مقادیر XPT و YPT بنابر شکل ۹-الف، میزان فشار تبلور کلینوپیروکسن‌های توده‌ی نفوذی زیاران در حدود ۶ تا ۹ کیلوبار، میزان فشار تبلور کلینوپیروکسن‌های توده‌ی نفوذی شکربان و کردان حدود ۴ تا ۷ کیلوبار و میزان فشار تبلور کلینوپیروکسن‌های توده‌ی نفوذی پراچان حدود ۲ تا ۶ کیلوبار برآورد می‌شود.



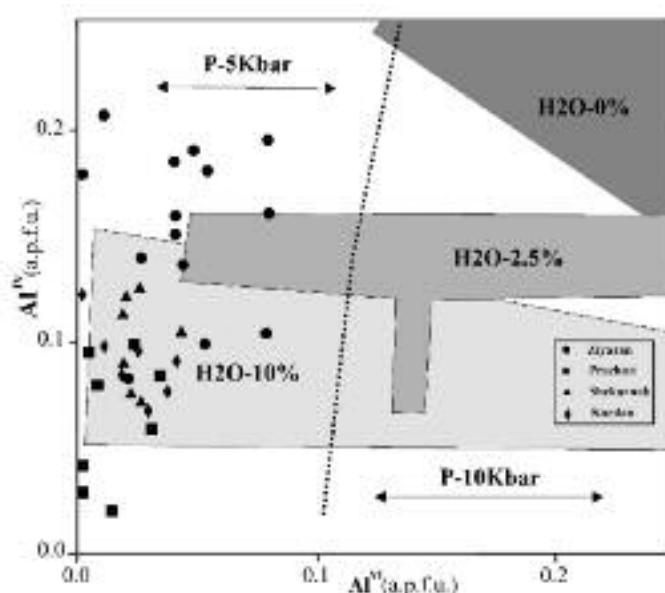
شکل ۹. (الف) تعیین فشار تبلور پیروکسن‌ها با استفاده نمودار  $\text{Al}^{IV}/(\text{Al}^{IV} + 2\text{Ti} + \text{Cr})$  (x-axیس) و  $\text{Na}^+/\text{Al}^{IV}$  (y-axیس) [۲۳]. (ب) تعیین فشاربخشی اکسیژن ماقمای اولیه سنگ‌های منطقه براساس ترکیب شیمی کانی‌های کلینوپیروکسن [۱۵].

هستند. بیشتر سنگ‌ها در نمونه دستی به صورت مزوکرات با بلورهای قابل تشخیص پلازیوکلاز و پیروکسن هستند. مجموعه کانی‌های تشکیل دهنده‌ی هر چهار گستره شامل پلازیوکلاز، پتاسیم‌فلدسبار، پیروکسن، الیوین و بیوتیت است که تفاوت چشمگیر در میزان کانی‌های آن‌هاست. بررسی‌های شیمی کانی انجام شده روی پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های توده‌های نفوذی، بیانگر حضور دو نوع کلینوپیروکسن با ترکیب دیوپسید و اوژیت و ارتوپیروکسن با ترکیب کلینوانستاتیت است. میانگین دمای تبلور پیروکسن‌ها حدود ۱۰۸۰ تا ۱۲۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ارزیابی شده و به نظر می‌رسد که کلینوپیروکسن‌ها در دمای پایین‌تری نسبت به ارتوپیروکسن‌ها شکل گرفته باشند. همچنین فشار محاسبه شده کمتر از ۹ کیلوبار است و میزان آب ماقمای تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها بالا بوده است. بالا بودن فشار بخشی اکسیژن و نیز میزان آب ماقما طی تکامل ماقمایی، می‌تواند بیانگر تبلور کلینوپیروکسن‌ها طی صعود ماقما و در فشارهای متفاوت باشد. خاستگاه و محیط تشکیل کلینوپیروکسن‌ها کوهزایی است. مشابه بودن ویژگی‌های صحرایی، سنگ نگاری، شیمی کانی، نزدیکی مکانی و زمانی سنگ‌های مناطق مورد بررسی نشان از رابطه‌ی ژئوتکنیکی و خویشاوندی نزدیک و احتمالاً خاستگاه یکسان دارد.

تعیین میزان آب ماقما با کلینوپیروکسن‌های موجود هلز [۲۸] تاثیر توازن دو عامل محتوى آب و فشار حاکم در اعماق مختلف را در نظر گرفته و معتقد است توزیع آلومینیوم در موقعیت‌های چهاروجهی و هشتوجهی در کلینوپیروکسن‌ها معیار مناسبی برای برآورد مقدار آب ماقمای سازنده و میزان فشار حاکم بر محیط تشکیل سنگ‌های آذرین پیروکسن‌دار است. بنابراین میزان  $\text{Al}^{IV}$  به پیروی از افزایش میزان آب موجود در محیط تبلور پیروکسن‌ها کاهش می‌یابد. در همین راستا چنانکه در شکل ۱۰ دیده می‌شود ماقمای حامل این کانی در منطقه‌ی مورد بررسی توازن با مقداری آب (بین ۲/۵ تا ۱۰ درصد) در قلمرو فشار ۵ کیلوبار متبلور شده است. بنابراین میزان آب ماقمای تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها بالا بوده که با توجه به حضور کانی‌های آب‌دار منطقی به نظر می‌رسد.

#### برداشت

توده‌های نفوذی البرز مرکزی با پراکندگی‌های خاص، به شکل سیل، لوپولیت، فاکولیت، استوک و پلاگ در درون سنگ‌های آذرآواری سازند کرج و معادل آن جای گرفته‌اند. با توجه به این که این سیل‌ها در توفهای انومن تزریق شده‌اند، لذا سن اونسن بالایی و احتمالاً الیگوسن را دارند. بر پایه‌ی بررسی‌های میکروسکوپی، ترکیب سنگ‌شناسی این توده‌ها مشابه بوده و شامل الیوین گابرو، الیوین مونزودیوریت، الیوین مونزونیت و پیروکسن مونزونیت به همراه دایک‌های فلزیک از نوع سینیت



شکل ۱۰ نمودار توزیع Al در موقعیت‌های چهاروجهی و هشتوجهی در کلینوپیروکسن‌ها به تناسب مقدار درصد آب ماسه [۲۸].

[6] Malgarotto C., Molin G., Zanazzi F., "Crystal chemistry of clinopyroxenes from Filicudi and Salina (Aeolian Islands, Italy): geothermometry and barometry", European Journal of Mineralogy 5 (1993) 915–923.

[7] Annells R.N., Arthurton R.S., Bazley R.A.B., Davies R.G., Hamed M.A.R., Rahimzadeh F., "Geological map of Iran, Shakran sheet 6162", scale 1:100,000, Geological Survey of Iran (1977).

[۸] نوری خانکهدانی ک.، "بررسی پترولوجیکی توده‌های موزونیتی شمال دیزان (منطقه طالقان)"، رساله کارشناسی- ارشد، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۷۵) ۱۷۲ ص.

[۹] نوراللهی ز.، "پترولوجی و ژئوشیمی توده نفوذی بنیان سد کرج"، رساله کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه تهران (۱۳۸۳)، ۱۳۰ ص.

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

[11] Morimoto N., "Nomenclature of pyroxenes", Fortschr mineral 66 (1988) 237-252.

[12] Kushiro I., "Si-Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks", American Journal of Science 258 (1960) 548-554.

#### مراجع

- [1] Nisbet E. G., Pearce J. A., "Clinopyroxene composition of mafic lavas from different tectonic settings", Contributions to Mineralogy and Petrology 63 (1977) 161-173.
- [2] Beccaluva L., Macciotta G., Piccardo G. B., Zeda O., "Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator", Chemical Geology 77 (1989) 165-182.
- [3] Princivalle F., Tirone M., Comin-Chiaromonti P., "Clinopyroxenes from spinel-peridotite mantle xenoliths from Nemby (Paraguay): crystal chemistry and petrological implications" Mineralogy and Petrology 70 (2000) 25-35.
- [4] Zhu Y.F., Ogsasawara Y., "Clinopyroxene phenocrysts (with green salite cores) in trachybasalts: implications for two magma chambers under the Kokche NAPV UHP massif, North Kazakhstan", Journal of Asian Earth Sciences 22 (2004) 517-527.
- [5] Dal Negro, A., Manoli S., Secco L., Piccirillo E.M., "Megacrystic clinopyroxenes from Victoria (Australia): crystal chemical comparisons of pyroxenes from high and low pressure regimes", European Journal of Mineralogy 1 (1989) 105-121.

- [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] Lindsley I., "Pyroxene thermometry", *American Mineralogist* 68 (1983) 477-493.
- [23] Soesoo A., "A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallisation PTestimations", *Geological Society of Sweden (Geologiska Föreningen)* 119 (1997) 55-60.
- [24] France L., Ildefonse B., Koepke J., Bech F., "A new method to estimate the oxidation state of basaltic series from microprobe analyses", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 189 (2010) 340-346.
- [25] Kress V. C., Carmichael I. S. E., "The compressibility of silicate liquids containing Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and the effect of composition, temperature, oxygen fugacity and pressure on their redox states", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 108 (1991) 82-92.
- [26] Botcharnikov R. E., Koepke J., Holtz F., McCammon C., Wilke M., "The effect of water activity on the oxidation and structural state of Fe in a ferro-basaltic melt", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 69 (2005) 5071-5085.
- [27] Cameron M., Papike J. J., "Structural and chemical variations", *American Mineralogist* 66 (1981) 1-50.
- [28] Helz R.T., "Phase relationships of basalts in their melting range at pH<sub>2</sub>O = 5 kb as a function of oxygen fugacity", *Journal of Petrology* 14 (1973) 249-302.
- [13] Le Bas M. J., "The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage", *American Journal of Science* 260 (1962) 267-288.
- [14] Gamble R. P., Taylor L. A., "Crystal/liquid partitioning augite: effects of cooling rate", *Earth and Planetary Science Letters* 47 (1980) 21-33.
- [15] Schweitzer E. L., Papike J. J., Bence A. E., "Statistical analysis of clinopyroxenes from deepsea basalts", *American Mineralogist* 64 (1979) 501-13.
- [16] Leterrie J., Maury C.R., 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 Letter*, 59 (1982) 139-154.
- [17] Berger J., Femenias O., Mercier J.C.C., Demaiffe D., "Ocean-floor hydrothermal metamorphism in the Limousin ophiolites (western French Massif Central): evidence of a rare preserved Variscan oceanic marker", *Journal of Metamorphic Geology* 23 (2005) 795–812.
- [18] Letterrier 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) 139–54.
- [19] Thompson R. N., "Some high pressure pyroxenes", *Mineralogical Magazine* 39 (1974) 768-787.
- [20] Kretz R., "Metamorphic Crystallization". John Wiley and Sons, Chichester and New York (1994).