



شیمی کانی و زمین دماسنجی الیوین بازالت‌های کواترنری سیریز، شمال غرب زرنند

علی امیری^{*}، تورج سلطانی نژاد^۲، مهدی کیانیان^۱، علیرضا شاکر اردکانی^۳

۱- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند، کرمان، ایران

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند، کرمان، ایران

۳- استادیار پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: aliamiri731@yahoo.com

دریافت مقاله: ۹۱/۱/۲، پذیرش مقاله: ۹۱/۵/۲

چکیده

سنگ‌های بازالتی کواترنری شمال سیریز، در شمال غربی زرنند، بخشی از سنگ‌های آتشفشانی زون ساختاری ایران مرکزی هستند. از نظر کانیایی، این سنگ‌ها از درشت بلورهای الیوین، کلینوپروکسن و پلاژیوکلاز تشکیل شده‌اند و بافت اصلی آن‌ها پورفیری است. افزون بر این، بافت‌های میکروولیتی پورفیری، گلوپورفیری، جریان‌ی، بین‌دانه-ای، اینترستال و بادامکی نیز در آن‌ها مشاهده می‌شود. براساس تجزیه نقطه‌ای با دستگاه ریزکاوا الکترونی (EPMA)، درشت بلورهای الیوین، کلینوپروکسن و پلاژیوکلاز به ترتیب دارای ترکیب کریزولیت، اوژیت و آنورتیت هستند. همچنین تغییرات ترکیب شیمیایی ماگما در حین تبلور این درشت بلورها ناچیز بوده است؛ به گونه‌ای که محتوای MgO درشت بلورهای الیوین به میزان اندکی از سمت مرکز به حاشیه کاهش یافته است؛ اما در درشت بلورهای کلینوپروکسن به سمت حاشیه، میزان MgO و SiO₂ کاهش و مقدار TiO₂ افزایش نشان می‌دهد. براساس مطالعات دماسنجی، دماهای بین ۱۲۱۲ تا ۱۲۸۳ درجه سانتیگراد برای تشکیل بلورهای کلینوپروکسن تخمین زده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الیوین بازالت، شیمی کانی، تجزیه نقطه‌ای الکترونی، زمین دماسنجی، سیریز، ایران مرکزی

ورقه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سیریز (بساب) و گزارش مربوطه (سهندي، ۱۳۸۳) به علت وسعت گم محدوده سنگ‌های بازالتی کواترنری در این منطقه، این سنگ‌ها مورد توجه و مطالعه قرار نگرفته و حتی بر روی نقشه یادشده نیز مشخص و تفکیک نشده‌اند.

با توجه به این که سنگ‌های بازالتی از ذوب‌بخشی سنگ‌های فرابازی گوشته بالایی شکل می‌گیرند (Kushiro, 2001)، بنابراین مطالعه بر روی این سنگ‌ها در تعیین منشأ و شرایط تشکیل آن‌ها، از اهمیت بسیاری دارد؛ به همین دلیل، پژوهش حاضر برای نخستین بار به بررسی ترکیب شیمیایی درشت بلورهای سنگ‌های بازالتی منطقه سیریز پرداخته و سعی دارد با توجه به ترکیب شیمیایی درشت بلورهای موجود، به بررسی شرایط تشکیل و تعیین دمای تشکیل سنگ‌های بازالتی منطقه سیریز بپردازد.

۲- جایگاه زمین‌شناختی منطقه

با توجه به تقسیمات حوضه‌های زمین‌ساختی - رسوبی ایران (نبوی، ۱۳۵۵)، این منطقه جزئی از ایران مرکزی است و در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی سیریز (بساب) (سهندي، ۱۳۸۳) قرار دارد. هر چند در ناحیه سیریز رخنمون‌هایی از سنگ‌های کهن تا عهد حاضر (سازند مراد تا آبرفت-های جوان کواترنری) مشاهده می‌شود، اما سنگ‌های بازالتی مورد بررسی،

بازالت‌های کواترنری یکی از آخرین نشانه‌های ماگماتیسیم در ایران بوده و برخی از آن‌ها مرتبط با شکستگی‌های ژرف و گسل‌های فعال در طی دوران کواترنری هستند، منشأ این بازالت‌ها لایه بارور گوشته است (امامی، ۱۳۷۹). در پهنه ایران مرکزی رخدادهای متعددی از این سنگ‌های بازالتی به چشم می‌خورد که اغلب به دلیل روان بودن گدازه، تپه ماهورهای کم ارتفاع و پستی را تشکیل می‌دهند. با توجه به اینکه این بازالت‌ها از لحاظ سنی، جوان و در نتیجه تقریباً بدون دگرسانی و هوازدگی هستند، می‌توان ترکیب اولیه ماگمای تشکیل‌دهنده آن‌ها را به طور دقیق تعیین کرد و در مورد مسائل زمین‌ساختی - ماگمایی آن‌ها اظهار نظر کرد. همچنین می‌توان از ترکیب شیمیایی کانی‌های سنگ‌های بازالتی، مسائلی را در مورد تکوین آن‌ها تشخیص داد.

بازالت‌های کواترنری در شمال سیریز (شمال غربی زرنند) گسترش زیادی ندارند؛ اما به هر حال فوران آن‌ها بر روی رسوبات آبرفتی سخت نشده عهد حاضر، نشانگر تکاپوی زمین‌ساختی بسیار جوان در این منطقه از ایران مرکزی است و بررسی آن‌ها می‌تواند در روشن شدن تحولات زمین‌شناختی این پهنه پیچیده، با اهمیت باشد. لازم به یادآوری است که در هنگام تهیه

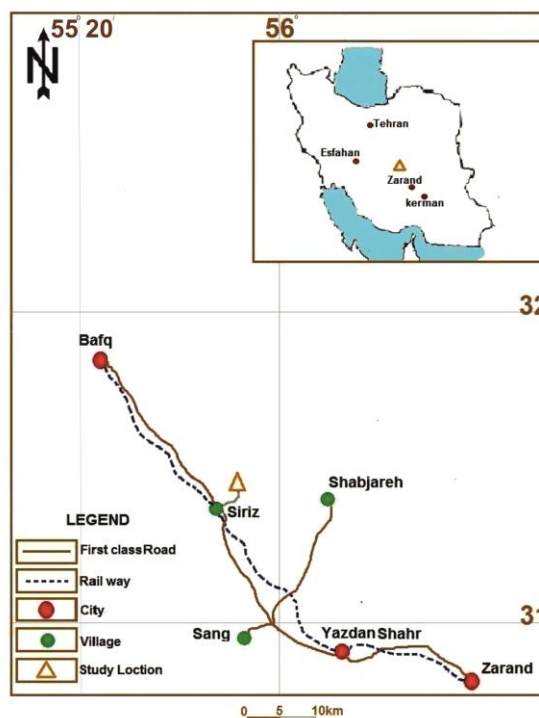
سنگ‌های بازالتی نسبتاً سالم منطقه سیریز برداشت شد. در حین نمونه- برداری سعی شد تا حد ممکن به تغییرات ظاهری سنگ‌ها از نظر رنگ، بافت و سایر ویژگی‌های صحرایی مورد توجه شده و نمونه‌های معرف تهیه شود. از نمونه‌های یادشده مقاطع نازک تهیه، و این مقاطع ابتدا با میکروسکوپ پلاریزان مدل Olympus، مطالعه سنگ‌نگاری شدند. سپس به منظور تعیین ترکیب شیمیایی درشت‌بلورهای الیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز، بهترین نمونه‌های حاوی این کانی‌ها انتخاب و از آن‌ها مقاطع نازک صیقلی تهیه شد. مقاطع یادشده در آزمایشگاه مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی کرج، با استفاده از دستگاه ریزکاو الکترونی Cameca SX100 با ولتاژ شتاب دهنده ۱۵KV و شدت جریان ۲۰ nA، مورد تجزیه الکترون میکروپروب (EPMA) قرار گرفتند. همچنین، به منظور بررسی تغییرات شیمیایی ماگما در حین تبلور، از مرکز به حاشیه درشت- بلورها نیز پیمایش‌هایی انجام شد و در این مسیر نقاطی مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. برای شناسایی ترکیب شیمیایی کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده سنگ‌های بازالتی سیریز از جمله الیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز، ۲۶ نقطه در ۲ نمونه با ریزکاو الکترونی تجزیه شدند (جدول ۱، ۲ و ۳). از این تعداد، ۱۶ نقطه برای تعیین نوع کانی‌ها (الیوین، پیروکسن، پلاژیوکلاز) و ۱۰ نقطه به صورت پیمایش از مرکز به حاشیه کانی‌های الیوین و پیروکسن (هر کانی ۵ نقطه) تجزیه شد. لازم به یادآوری است که انتخاب مسیر پیمایش بر مبنای مطالعات سنگ‌نگاری صورت گرفت و درشت‌بلورهایی با کمترین تجزیه و میانبار برای این منظور انتخاب شدند. همچنین تصاویر پس‌پراکنش (BSE) برای هر نمونه نیز تهیه شد.

۴- یافته‌های پژوهش

۴-۱- سنگ‌نگاری درشت بلورها

مطالعات سنگ‌نگاری مقاطع نازک میکروسکوپی نشان می‌دهد که سنگ‌های یادشده دارای بافت عمده پورفیری بوده و حاوی درشت‌بلورهای الیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز هستند. درشت‌بلورهای الیوین از نظر فراوانی در سنگ‌های مورد مطالعه در حدود ۶ تا ۲۰ درصد حجمی سنگ را تشکیل می‌دهند. این درشت‌بلورها نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل هستند و به‌ندرت به صورت بلورهای خود شکل (یوهدرال) دیده می‌شوند (شکل ۲- B). اندازه‌ی این بلورها از کمتر از ۱ میلی‌متر تا به ۲/۵ میلی‌متر متغیر است و در بعضی از موارد، در این کانی، خوردگی خلیجی دیده می‌شود. در بسیاری از موارد نیز رنگ تداخلی کانی در حاشیه‌های آن، سری‌های بالاتر طیف رنگی میشل‌لوی را نشان می‌دهد که این ناشی از افزایش دوشکستی (بیرفرنزاس) بوده و Nicholls, (2008) بر این باور است این مسئله می‌تواند حاکی از افزایش محتوای آهن در حاشیه‌های بلور باشد. وجود شکستگی زیاد در درشت‌بلورهای الیوین سبب توسعه دگرسانی ایدینگستی با شدت‌های متفاوت شده است؛ به گونه‌ای که کانی سالم الیوین که فاقد شکستگی و دگرسانی باشد کمتر یافت می‌شود. گاهی تجمع درشت‌بلورهای الیوین باعث توسعه بافت گلوبوپورفیری شده است (شکل ۲- C).

تنها با آبرفت‌های جوان، دارای همبری هستند. رخنمون سنگ‌های بازالتی سیریز در شمال‌غربی زرند، محدوده‌ای کوچک با مساحت تقریبی ۱/۵ کیلومتر مربع را پوشانده است. فاصله محدوده یادشده از شهر زرند نزدیک به ۷۰ کیلومتر بوده و دسترسی به آن از جاده زرند- یزدان شهر- سیریز ممکن است (شکل ۱).



شکل ۱- راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه

به طور کلی سنگ‌های بازالتی این منطقه به صورت تپه ماهورهای کم ارتفاع هستند (شکل ۲- A) و منظره‌ای بلوکی و قطعه قطعه دارند و اغلب دگرسانی ناچیزی تحمل کرده‌اند. مشاهده صحرایی وجود درشت بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن را در یک خمیره نابلورین تأیید می‌کند. این سنگ‌ها اغلب سیاه‌رنگ، بسیار سخت، متراکم و محکم هستند. بافت آن‌ها در نمونه‌های دستی به طور عمده ریز دانه بوده و در مواردی (برای نمونه‌های اسکوری) بافت حفره‌ای مشاهده می‌شود. ابعاد حفره‌ها حداکثر به ۴۰ تا ۵۰ میلی‌متر می‌رسد. تجزیه کانی‌شناختی محتوای این حفره‌ها با روش پراش اشعه ایکس (XRD)، وجود کانی‌های نوزاد ژئیس، کلسیت و زئولیت را تأیید کرده است (سلطانی‌نژاد، ۱۳۹۰). لازم به یادآوری است گسل باغین- بافق با راستای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی از غرب محدوده‌ی مورد نظر عبور کرده است و وجود چشمه‌های آب گرم و سرد و همچنین جایجایی رسوبات کواترنری و مسیر آبراهه‌ها، نشان‌دهنده فعالیت این گسل در کواترنری است.

۳- مواد و روش‌ها

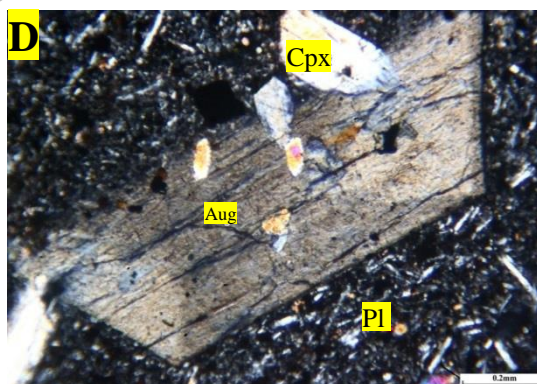
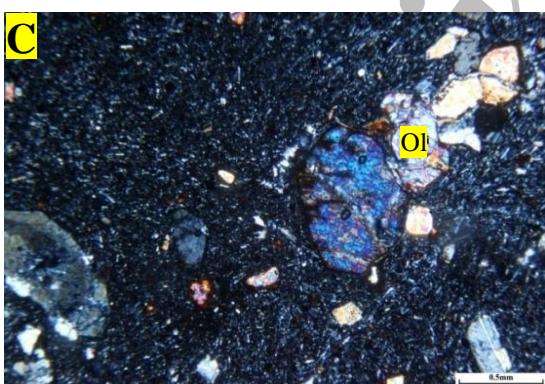
پس از بازدید از منطقه و جمع‌آوری اطلاعات موجود، ۶۰ نمونه از

درشت‌بلورها اغلب شکل دار تا نیمه‌شکل دار هستند. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز اغلب فاقد دگرسانی بوده و دارای دوقلوبی پلی‌سینتتیک هستند. این کانی در برخی از سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، به مقدار بسیار اندک و بسیار ریز وجود دارند؛ به گونه‌ای که وثوفی عابدینی و هاشم امامی (۱۳۸۵) این مسئله را ناشی از تفریق پایین بلورین کانی در ماگما برای تشکیل این کانی در عمق می‌دانند.

حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد سنگ را خمیره تشکیل می‌دهد که حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن و به مقدار اندک کانی کدر و گاهی الیوین است. بافت‌های میکرولیتی، شیشه‌ای، جریان‌ی، بین‌دانه‌ای، اینترسرتال و بادامکی از دیگر بافت‌های قابل مشاهده در بازالت‌های منطقه مورد مطالعه است. اندازه حفره‌ها ۰/۴ تا ۰/۷ میلی‌متر بوده و اغلب توسط کانی‌های ثانویه کلریت، کلسیت و زئولیت پر شده‌اند.

درشت‌بلورهای پیروکسن از نظر فراوانی در سنگ‌های مورد مطالعه، در حدود ۶ تا ۱۵ درصد حجمی سنگ را تشکیل می‌دهند. این درشت‌بلورها به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل مشاهده می‌شوند. اندازه این کانی از ۰/۷ تا ۱/۵ میلی‌متر در مقاطع نازک در تغییر است و بنابراین از نظر اندازه از الیوین کوچکتر هستند. رنگ پیروکسن‌ها مایل به بنفش روشن است که حاکی از وجود مقداری عنصر تیتانیوم در ساختار آن‌ها است (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به دوقلوبی ساعت شنی (شکل ۲-D) در برخی از درشت‌بلورهای پیروکسن و همچنین سایر ویژگی‌های نوری در زیر میکروسکوپ، نوع پیروکسن اوزیت تعیین شده است.

درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز از نظر فراوانی در سنگ‌های مورد مطالعه بسیار اندک بوده و در حدود ۱ درصد حجمی سنگ را تشکیل می‌دهند. این



شکل ۲- تصاویری از بازالت‌های منطقه سیریز. A- رخنمون بازالت به صورت تپه مهور کم ارتفاع؛ B- درشت‌بلور شکل‌دار الیوین با حاشیه ایدنگسیتی در یک متن ریزبلورین حاوی پلاژیوکلاز و ریزبلورهای الیوین و پیروکسن، به افزایش دوشکستی در حاشیه‌های بلور توجه شود؛ C- تجمع درشت‌بلورهای الیوین در قالب توسعه بافت گلوموپورفیری؛ و D- بلور پیروکسن (اوزیت) با بافت ساعت شنی در یک زمینه ریزبلورین از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز؛ نشانه‌ها: Ol=الیوین؛ Px= پیروکسن؛ Aug= اوزیت؛ Pl= پلاژیوکلاز

و فایالیت قرار می‌گیرند. براساس نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ درشت‌بلورهای الیوین (جدول ۱) و بهره‌گیری از نمودار یادشده، درشت‌بلورهای الیوین سنگ‌های بازالتی کواترنری شمال سیریز در محدوده کریزولیت غنی از منیزیم قرار گرفتند (شکل ۳) و دارای ترکیب شیمیایی $Fo_{80.82-88.47}Fa_{11.34-19.02}$ هستند (جدول ۱).

پیروکسن‌های موجود در سنگ‌ها را از نظر شیمیایی به ۴ گروه عمده شامل: Mg-Fe پیروکسن (Quad)، Na-Ca پیروکسن (Na-Ca)، Na پیروکسن (Na) و سایر پیروکسن‌ها (Others) رده‌بندی کرده‌اند

۴-۲- شیمی کانی‌ها

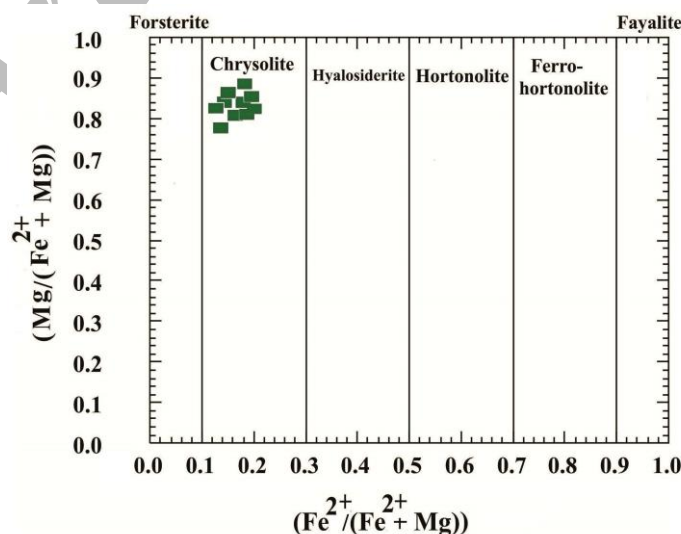
برای طبقه‌بندی گروه‌های الیوین از نمودار سرد شدن سری‌های فورستریت و فایالیت بر مبنای پیشنهاد Wager and Deer, (1939) استفاده می‌شود. در این روش از نسبت $[Fe^{+2}/(Fe^{+2}+Mg)]$ در برابر $[Mg/(Fe^{+2}+Mg)]$ استفاده شده و کل الیوین‌ها در ۶ دسته با ترکیب تدریجی فورستریت، کریزولیت، هیالوسیدریت، هور تونولیت، فروهور تونولیت

پيروكسن‌ها استفاده شد (Morimoto, 1989). در این نمودار براساس سه عضو انتهایی ولاستونیت (CaSiO_3)، انستاتیت (MgSiO_3) و فروسیلیت (FeSiO_3) انواع پيروكسن‌ها از هم متمایز می‌شوند. همان‌گونه که در شکل ۵ دیده می‌شود، درشت‌بلورهای پيروكسن موجود در بازالت‌های سیریز از نوع کلینوپيروكسن اوزیت بوده و ترکیب شیمیایی آن‌ها $\text{En}_{44.34-48.42}-\text{Fs}_{4.07-15.47}-\text{Wo}_{38.92-49.26}$ است (جدول ۲).

(Morimoto and Kitamura, 1983). همچنین این کانی‌ها را براساس ترکیب شیمیایی به ۲۰ گونه مختلف تقسیم‌بندی کرده‌اند (Morimoto, 1989). با توجه به داده‌های ریزتجزیه درشت‌بلورهای پيروكسن سنگ‌های بازالتی منطقه سیریز، این کانی‌ها در محدوده پيروكسن‌های Mg-Fe دار (Quad) قرار گرفتند (شکل ۴). همچنین برای تعیین دقیق‌تر نوع درشت بلورهای پيروكسن از نمودار سه‌تایی Wo-En-Fs متمایز کننده انواع

جدول ۱- نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی درشت‌بلورهای پيروكسن موجود در سنگ‌های بازالتی سیریز (کاتیون‌ها براساس فرمول ساختاری ۶ تا اکسیژن محاسبه شده است)

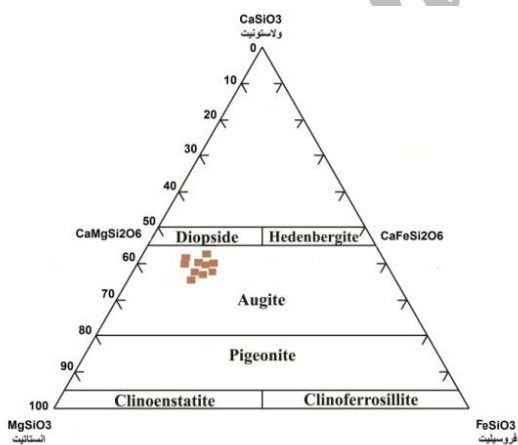
Sample	Core						Rim				
	S7/1.	S8/1.	S9/1.	S10/1.	S11/1.	S12/1.	S13/1-5				
SiO_2	39.71	38.04	36.48	37.98	38.21	39.14	36.61	38.42	37.11	38.94	37.77
TiO_2	0.00	0.56	0.14	0.36	0.18	0.06	0.04	0.00	0.00	0.00	0.06
Al_2O_3	0.31	0.22	0.09	0.08	0.02	0.91	0.24	0.16	0.24	0.09	0.35
Cr_2O_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	10.98	15.84	14.49	18.20	16.03	15.85	14.87	14.41	14.92	14.69	14.64
MnO	0.18	0.01	0.07	0.15	0.15	0.19	1.35	0.00	2.12	0.00	1.15
MgO	48.04	44.22	47.84	43.37	46.08	41.06	45.83	47.82	44.66	44.35	43.63
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.19	0.22	0.20	0.19	0.21	0.42	0.27	0.15	0.50	0.24	0.37
Total	99.41	99.11	99.31	100.33	100.88	97.63	99.21	100.96	99.55	98.31	97.97
Si	0.99	0.97	0.93	0.97	0.96	1.01	0.94	0.96	0.95	1.00	0.98
Ti	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe⁽ⁱⁱ⁾	0.23	0.34	0.31	0.39	0.34	0.34	0.32	0.30	0.32	0.31	0.32
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.05	0.00	0.03
Mg	1.78	1.69	1.82	1.65	1.73	1.58	1.76	1.78	1.71	1.69	1.68
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Total	3.01	3.02	3.07	3.03	3.04	2.98	3.06	3.04	3.06	3.01	3.03
Fo	88.47	83.26	85.42	80.82	83.54	82.02	83.42	85.54	82.35	84.33	83.11
Fa	11.34	16.73	14.51	19.02	16.30	17.76	15.18	14.46	15.43	15.67	15.64



شکل ۳- موقعیت درشت‌بلورهای الیون سنگ‌های بازالتی منطقه سیریز در نمودار $[\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg})]$ در مقابل $[\text{Mg}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg})]$ (به نقل از Wager and Deer, 1939)

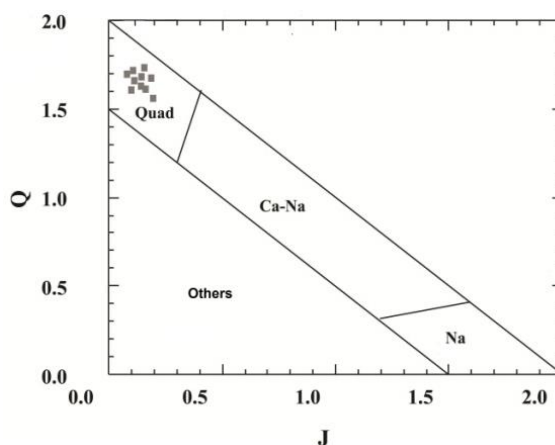
جدول ۲- نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی درشت‌بلورهای پیروکسن موجود در سنگ‌های بازالتی سیریز
(کاتیون‌ها براساس فرمول ساختاری ۶ تا اکسیژن محاسبه شده است)

Sample	Core					Rim				
	S1/1.	S2/1.	S3/1.	S4/1.	S5/1.	S6/1-5	S6/1-5	S6/1-5	S6/1-5	S6/1-5
SiO ₂	51.03	51.26	46.33	46.18	49.09	49.06	48.60	48.31	47.83	46.39
TiO ₂	1.34	1.05	1.45	1.25	1.01	0.60	0.76	0.83	1.28	1.32
Al ₂ O ₃	3.12	3.52	2.81	3.17	2.25	2.94	3.56	4.02	3.35	2.92
FeO ^{Total}	8.69	9.81	13.38	15.35	12.04	10.10	10.32	10.10	9.92	10.18
MnO	0.07	0.08	0.10	0.08	0.10	0.00	0.00	0.36	0.79	0.59
MgO	15.77	16.23	14.41	14.26	16.07	15.76	16.02	15.70	14.89	14.33
CaO	20.05	19.27	21.05	20.02	19.78	20.98	20.77	20.80	20.49	20.87
Na ₂ O	0.72	0.63	0.51	0.57	0.61	0.70	0.76	0.84	0.42	0.41
K ₂ O	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.08	0.03
Total	100.82	101.87	100.06	100.88	100.95	100.16	100.79	100.97	99.05	97.04
Si	1.88	1.87	1.79	1.78	1.85	1.88	1.86	1.85	1.86	1.85
Ti	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04
Al	0.14	0.15	0.13	0.14	0.10	0.06	0.07	0.08	0.07	0.06
Fe ²⁺	0.27	0.30	0.43	0.49	0.38	0.32	0.33	0.32	0.32	0.34
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02
Mg	0.87	0.88	0.83	0.82	0.90	0.90	0.91	0.90	0.87	0.85
Ca	0.79	0.76	0.87	0.82	0.80	0.86	0.85	0.86	0.86	0.89
Na	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.03	0.03
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.04	4.04	4.13	4.14	4.10	4.10	4.11	4.11	4.07	4.09
Wo%	44.24	38.92	46.96	44.75	42.54	48.06	49.26	49.14	46.88	45.98
En%	48.42	45.61	44.73	44.34	48.09	45.99	45.91	46.79	46.37	48.13
Fs%	7.34	15.47	8.31	10.91	9.36	5.96	4.83	4.07	6.76	5.89



شکل ۵- موقعیت نمونه‌های درشت‌بلورهای پیروکسن سنگ‌های بازالتی منطقه سیریز در نمودار سه‌تایی Wo-En-Fs (به نقل از Morimoto, 1989)

و ترکیب شیمیایی آن‌ها نیز $Ab_{3.03-10.17}Or_{0.00-6.79}-An_{86.81-96.97}$ است (جدول ۳).



شکل ۴- موقعیت درشت‌بلورهای پیروکسن سنگ‌های بازالتی منطقه سیریز در نمودار Q-J (به نقل از Morimoto and Kitamura, 1983)

از دیگر کانی‌های موجود در سنگ‌های بازالتی سیریز، پلاژیوکلاز است. به منظور بررسی ترکیب شیمیایی و تعیین نوع پلاژیوکلازهای موجود ۶ نقطه مورد تجزیه ریزکاو الکترونی قرار گرفت (جدول ۳). همانگونه که در شکل ۶ دیده می‌شود، پلاژیوکلازهای مورد مطالعه در نمودار آلبیت، ارتوز و آنورتیت (Deer et al., 1963, 2002) در محدوده آنورتیت قرار گرفته‌اند

کاهشی مشخصی نشان می‌دهد (شکل ۸- A). تغییرات SiO_2 نیز با نظم کمتر، از مرکز به حاشیه روندی کاهشی نشان می‌دهد. شایان توجه است که به دلیل تعداد کم داده‌ها نمی‌توان در این زمینه تحلیل قاطعی ارائه کرد، اما با این حال، با توجه به داده‌های اندک موجود، به نظر می‌رسد که در حین تشکیل درشت‌بلورهای الیوین، ترکیب شیمیایی ماگما تغییرات چندانی را متحمل نشده است.

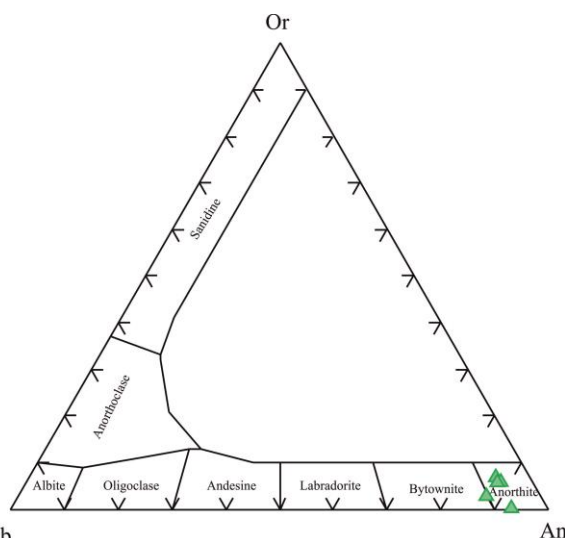
تعداد ۵ ریزتجزیه نقطه‌ای نیز به روش یاد شده از مرکز به حاشیه کانی پیروکسن انجام شد (شکل ۷- B). تحلیل داده‌های مربوط به درشت‌بلورهای پیروکسن نیز نشان داد که تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی در این کانی از مرکز به حاشیه، در مجموع در مقایسه با کانی الیوین، از نظم بهتری پیروی می‌کند. در بین ترکیب‌های مورد بررسی، تغییرات کاهشی MgO از مرکز به حاشیه، شباهت خوبی با تغییرات این اکسید در کانی الیوین دارد (شکل ۸- B) و SiO_2 با تغییر کاهشی شاخص از مرکز به حاشیه منظم‌ترین وضعیت را نشان داده است (شکل ۸- C). همچنین میزان TiO_2 نیز از مرکز به حاشیه روند افزایشی مشخصی را نشان می‌دهد (شکل ۸- D). با توجه به تحلیل حاضر به نظر می‌رسد در حین تشکیل درشت‌بلورهای پیروکسن، ماگمای سازنده این درشت‌بلور، تغییراتی را در جهت منطبق با تبلور تفکیکی تحمل کرده است.

۴-۴- دماسنجی

محققان متعددی از شیمی کانی‌های سنگ‌های آذرین استفاده کرده‌اند و دمای تشکیل آن‌ها را محاسبه کرده‌اند (برای مثال: Moazzen & Droop, 2004). لذا برای ارزیابی دمای تشکیل سنگ‌های یک منطقه همواره از دماسنجی کانی‌های همزیست و یا تک کانی استفاده می‌شود (مانند دماسنجی پیروکسن-الیوین، آمفیبول-کلینوپیروکسن و دماسنجی پیروکسن، فلدسپارها و غیره). براساس نرم‌افزارهای دماسنجی ارائه شده توسط Nimis & Taylor, (2000) محدوده دمایی ۱۲۱۲ تا ۱۲۸۳ درجه سانتیگراد برای تشکیل کلینوپیروکسن‌های موجود بازالت‌های سیریز به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۴- دمای تشکیل درشت‌بلورهای کلینوپیروکسن براساس برنامه نرم‌افزاری دماسنجی پیروکسن (Nimis & Taylor, 2000)

نمونه	دما برحسب C^0
S1/1	1219 C^0
S2/1	1212 C^0
S3/1	1271 C^0
S4/1	1251 C^0
S5/1	1254 C^0
S6/1	1283 C^0
MAX	1283 C^0
MIN	1212 C^0
\bar{X}	1248 C^0



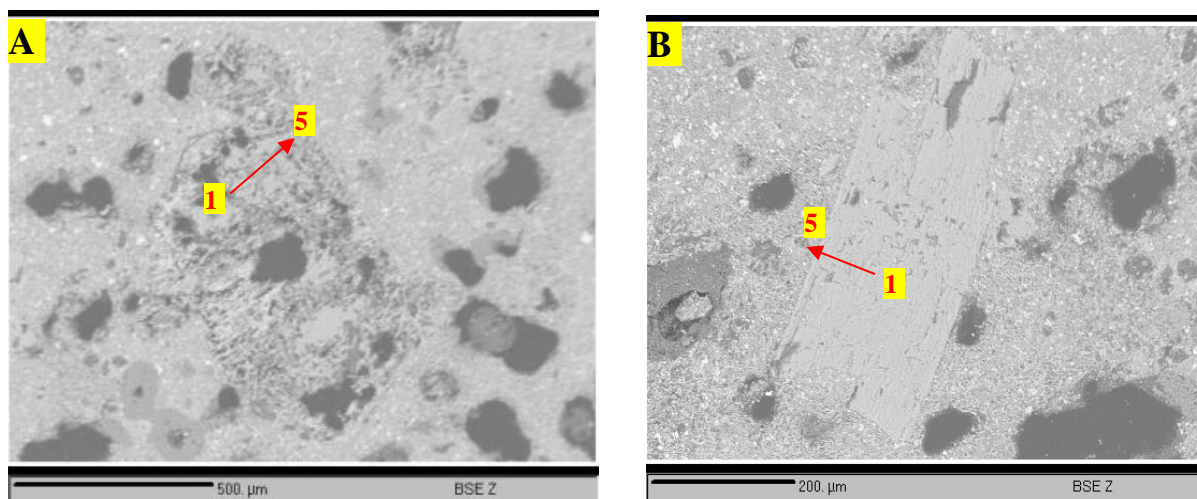
شکل ۶- موقعیت نمونه‌های بلورهای پلاژیوکلاز سنگ‌های بازالتی منطقه سیریز در نمودار سه تایی Or-Ab-An (Deer et al., 1963, 2002)

جدول ۳- نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی پلاژیوکلازهای موجود در سنگ‌های بازالتی سیریز (کاتیون‌ها براساس فرمول ساختاری ۳۲ تا اکسیژن محاسبه شده است)

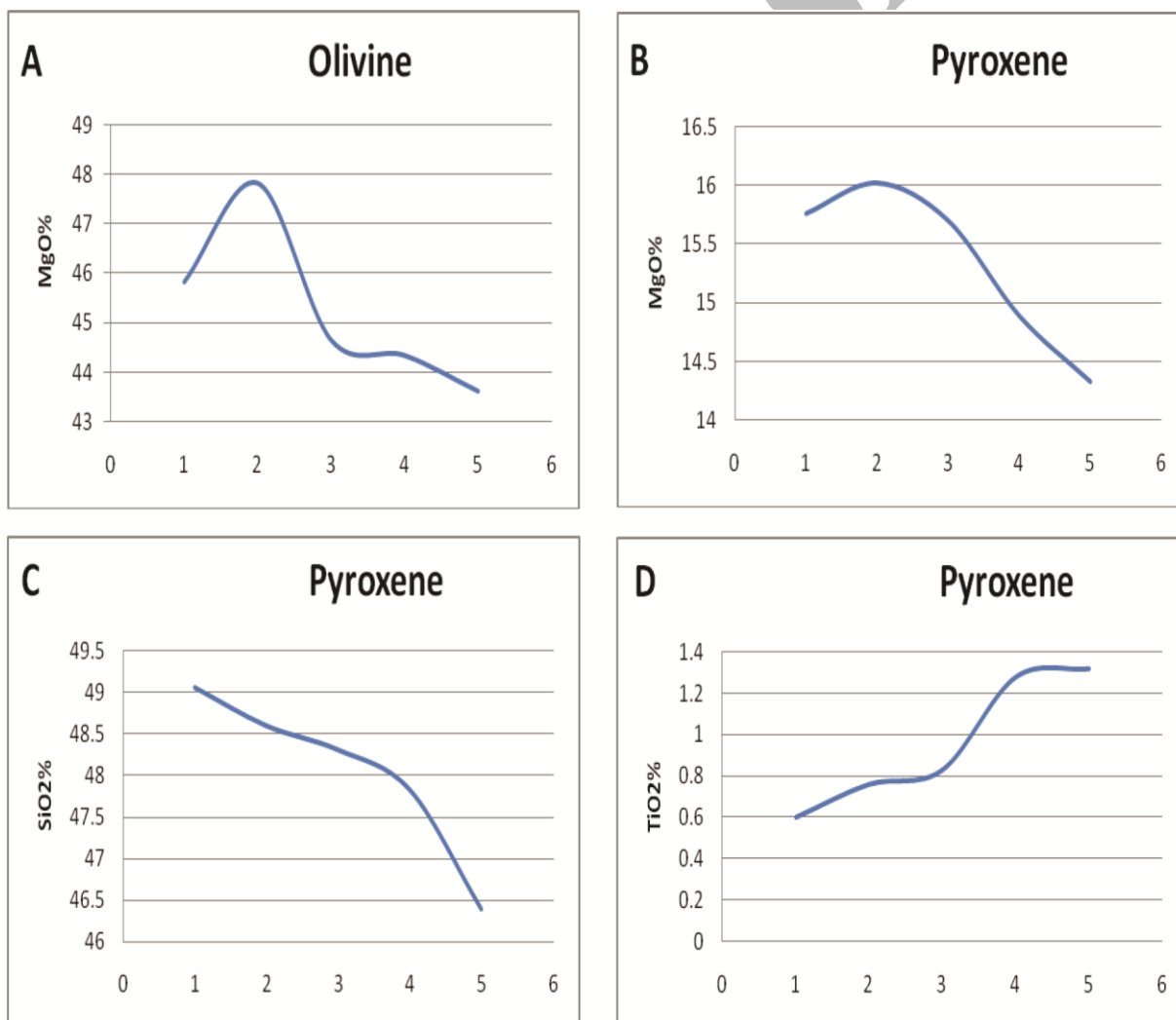
Sample	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
SiO_2	47.41	48.56	52.29	50.65	51.33	51.89
TiO_2	0.98	0.58	1.25	0.00	0.55	0.72
Al_2O_3	30.76	29.16	28.98	30.69	29.12	29.61
FeO	0.00	0.49	0.83	0.86	0.82	0.54
MnO	0.16	0.00	0.05	0.00	0.04	0.12
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	20.47	20.27	13.47	14.47	15.57	15.21
Na_2O	0.83	0.35	0.87	0.59	0.58	0.64
K_2O	0.03	0.00	0.36	0.95	0.86	0.83
Cr_2O_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.64	99.41	98.10	98.21	98.87	99.56
Si^{4+}	8.77	9.15	9.99	9.61	9.71	9.75
Ti^{4+}	0.14	0.08	0.18	0.00	0.08	0.10
Al^{3+}	5.03	4.86	4.89	5.15	4.87	4.92
Fe^{2+}	0.00	0.04	0.07	0.07	0.06	0.04
Mn^{2+}	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Mg^{2+}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca^{2+}	2.03	2.05	1.38	1.47	1.58	1.53
Na^{1+}	0.07	0.03	0.08	0.05	0.05	0.06
K^{1+}	0.00	0.00	0.02	0.06	0.05	0.05
Cr^{3+}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	16.05	16.20	16.61	16.41	16.41	16.45
Ab	6.82	3.03	10.17	6.40	5.95	6.67
Or	0.16	0.00	2.77	6.79	5.80	5.69
An	93.01	96.97	87.06	86.81	88.25	87.63

۴-۳- تغییرات ترکیب شیمیایی کانی‌ها در حین تبلور

به منظور بررسی تغییرات شیمیایی درشت‌بلورها در حین تبلور ماگما، تعداد محدودی تجزیه نقطه‌ای از این کانی‌ها به صورت پیمایش از مرکز کانی به مرزها صورت گرفت (جداول ۱ و ۲). براساس ریزتجزیه ۵ نقطه از مرکز به حاشیه کانی الیوین (شکل ۷- A)، مشخص شد که تغییرات عناصر اصلی از مرکز به حاشیه این کانی در مجموع از نظم خوبی پیروی نمی‌کند. در بین ۹ اکسید عناصر اصلی، تنها مقدار MgO از مرکز به حاشیه روند



شکل ۷- تصویر BSE از کانی الیوین (A) و پیروکسن (B) که تجزیه EPMA از مرکز کانی به حاشیه کانی صورت گرفته است (پیکان جهت پیمایش را نشان می‌دهد)



شکل ۸- تغییرات عناصر در حین تشکیل درشت‌بلورهای الیوین و پیروکسن در سنگ‌های بازالتی سیریز. A و B تغییرات MgO را در بلورهای الیوین و پیروکسن نشان می‌دهد. C و D به ترتیب تغییرات SiO₂ و TiO₂ را در پیروکسن به نمایش گذاشته است. محور افقی محل تقریبی نمونه‌ها را در پیمایش از هسته بلور (عدد ۱) تا حاشیه آن (عدد ۵) نشان می‌دهد.

۵- نتیجه گیری

بنابر آنچه پیش از این آمد، مشخص شد که سنگ‌های بازالتی کواترنری سیریز با توجه به مطالعات سنگ‌نگاری و شیمی کانی دارای ترکیب سنگ-شناسی الیوین بازالتی بوده و تا ۲۰ درصد درشت‌بلور الیوین (کریزولیت) و کلینوپیروکسن (اوژیت) و پلاژیوکلاز (آنورتیت) هستند. وثوقی عابدینی و امامی (۱۳۸۵) معتقدند که حضور الیوین‌های حاوی منیزیم بالا بیانگر منشأ گوشته‌های ماگما و تفریق اندک و صعود سریع‌تر ماگما است. از سوی دیگر مطالعات ژئوشیمیایی و سنگ‌شناختی سلطانی‌نژاد (۱۳۹۰) بر روی همین سنگ‌ها مشخص کرده است که بازالت‌های کواترنری سیریز جزو بازالت‌های درون صفحه‌ای قاره‌ای هستند؛ بنابراین می‌توان بازالت‌های کواترنری سیریز را که بخشی از مناطق آتشفشانی زون ایران مرکزی هستند و در مجاورت گسل بزرگ باغین- بافق در دوران کواترنری بر روی نهشته‌های آبرفتی عهد حاضر فوران کرده‌اند را به عملکرد کشتی و فعالیت گسل بزرگ باغین- بافق و یا وجود گسل بزرگ و فعال کوهبنان و شاخه‌های فرعی آن در دوران کواترنری ارتباط داد. همچنین با توجه به دماسنجی انجام شده بر روی درشت‌بلورهای پیروکسن موجود در بازالت‌های سیریز، به نظر می‌رسد بایستی دمای اولیه ماگمای بازالتی را بیش از ۱۲۸۳ درجه سانتیگراد و دمای فوران ماگما به سطح زمین را کمتر از ۱۲۱۲ درجه سانتیگراد در نظر گرفت.

مراجع

- امامی، م. ه.، ۱۳۷۹، "ماگماتیسم در ایران" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۲۲ صفحه.
- سلطانی‌نژاد، ت.، ۱۳۹۰، "مطالعه پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آذرین کواترنر شمال سیریز" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند، ۱۶۰ صفحه.
- سهندي، م. ر.، ۱۳۸۳، "ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سیریز (بساب)" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵، "دبیاچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۹ صفحه.
- وثوقی عابدینی، م.، هاشم امامی، م.، ۱۳۸۵، "سنگ‌شناسی بازالت‌های کواترنری طیس (خاور ایران)" دانشگاه شهید بهشتی تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۵ صفحه.
- هاشمی، م.، امامی، م. ه.، وثوقی عابدینی، م.، پورمعافی، م.، قربانی، م.، ۱۳۸۷، "سنگ‌شناسی بازالت‌های کواترنری طیس (خاور ایران)" فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۶۸، صفحه ۲۶-۳۹.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Wise, W.S., Zussman, J., 1963, "Rock-Forming Minerals", Vol. 4, *Framework Silicates: London*, P.435.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Wise, W.S., Zussman, J., 2002, "Rock-Forming Minerals", Volume 4B. *Second Edition. Framework Silicates: London (The Geological Society)*, P.982.
- Kushiro, I., 2001, "Partial melting experiments on peridotite and origin of midocean ridge basalt", *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 29, P.71-107.
- Moazzen, M., Droop, G.T.R., 2004, "Application of mineral thermometers and barometers to granitoid igneous rocks: the Etive Complex, W Scotland, Mineral", *Petrol.* 83: P.27-53.
- Morimoto, N., Kitamura, M., 1983, "Q-J diagram for classification of pyroxenes", *Journal of the Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists*, 78, P.141.
- Morimoto, N., 1988, "Nomenclature of Pyroxenes, Bulletin of Mineralogy", 111: P.535-550.
- Nicholls, J., 2008, "Theoretical Petrology, Advanced Optical Mineralogy", *Open access eBook, last visit at November 14, 2012: <http://www.gtwest.ca/Petrology/pdf/files/Optics/OpticsBook.pdf>*.
- Nimis P., Taylor W.R., 2000, "Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites", *Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer, Contrib. Mineral. Petrol.*, 139: P.541-554.
- Wager, L.R., Deer, W.A., 1939, "Geological investigations in East Greenland", *Part III. The petrology of the Skaergaard intrusion, Kangerrdlugssuaq, East Greenland. Meddelelserom Gronland*, 105(4): P.335.