

Heterogeneous garnets in the alkaline feldspathoid-bearing rocks from the Kaleybar pluton, northern Azerbaijan (NW Iran)

R. Hajialioghli, M. Moazzen

*Department of Geology, Faculty of Natural Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Email: hajialioghli@tabrizu.ac.ir*

(Received: 17/9/2008, in revised form: 20/12/2008)

Abstract: The Kaleybar intrusion with an area of 750 km² is located in the north east Azerbaijan, NW Iran. Based on structural subdivisions of Iran, it is located in the West Alborz-Azerbaijan Zone which is intruded into the Azerbaijan continental crust during Eocene to Oligocene following the Pyrenean Orogeny. It consists of various rock types including nepheline syenite, syenite, nepheline diorite together with minor diorite and microgranite. The rock forming minerals of the investigated nepheline syenites are plagioclase, orthoclase, nepheline, biotite and amphibole. Clinopyroxene, plagioclase, amphibole and nepheline are dominant minerals in nepheline diorite. Titanian garnet is uncommon accessory phase of the both rock types. Chemically, garnet from the nepheline syenite has TiO₂ contents ranging from 1 wt% to 5.0 wt%. Its composition is consistent with Ti-Adr₆₇ to 78 mole % Grs₂₁ to 33 mole %. Ti-garnet from the nepheline syenite is euhedral to subhedral with reddish to deep brown colours which is different from light brown anhedral and fine grain garnet from the nepheline diorite. Magmatic origin of the Ti-garnet from nepheline syenite is suggested on the basis of petrographic studies, mineralogical criteria and chemical properties whereas the secondary garnet in the nepheline diorite seems to originate from metasomatic source.

Keywords: *alkaline feldspathoid-bearing rocks, Ti-garnet, garnet and clinopyroxene mineral chemistry, Kaleybar intrusion, NW Iran.*



بررسی خاستگاه گارنت‌های ناهمگن در سنگ‌های قلیایی فلدسپاتوئیددار توده نفوذی کلیبر در شمال آذربایجان (شمال باختری ایران)

رباب حاجی علی اوغلی، محسن مؤذن

گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز

پست الکترونیکی: hajialioghli@tabrizu.ac.ir

(دریافت مقاله: ۸۷/۶/۲۷، نسخه نهایی: ۸۷/۹/۳۰)

چکیده: توده نفوذی کلیبر به وسعت 750 km^2 در شمال آذربایجان خاوری، در شمال باختری ایران واقع شده است. این توده بخشی از نوار ماگمایی البرز باختری-آذربایجان است که در ارتباط با فاز زمین‌ساختی پیرنه از زمان ائوسن فوقانی تا الیگو-میوسن در پوسته قاره‌ای آذربایجان نفوذ کرده است. سنگ‌های تشکیل دهنده باتولیت کلیبر شامل مجموعه‌ای از نفلین سینیت، سینیت، نفلین دیوریت و به طور پراکنده دیوریت و میکروگرانیت است. کانی‌های اصلی نفلین سینیت‌ها شامل ارتوکلاز، پلاژیوکلاز، آمفیبول، بیوتیت و نفلین است. کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز، آمفیبول و نفلین کانی‌های تشکیل دهنده نفلین دیوریت‌ها هستند. گارنت تیتانیوم‌دار کانی فرعی مهم در پاراژنز نفلین سینیت‌ها و نفلین دیوریت‌های مورد بررسی است. مقدار TiO_2 در ترکیب گارنت‌های تیتانیوم‌دار تجزیه شده در نفلین سینیت در حدود $5 \text{ wt\%}$ - $1.5 \text{ wt\%}$ است. ترکیب اعضای نهایی کانی‌ها به صورت $0.1 \text{ mole\% Uva}$ - $33 \text{ mole\% Grs}$ - $78 \text{ mole\% Adr}$ است. گارنت در نفلین سینیت به صورت بلورهای مجزا، شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و به رنگ قهوه‌ای سرخ تا قهوه‌ای تیره است که از لحاظ ویژگی‌های کانی‌شناسی متفاوت از گارنت بی‌شکل، اسکلتی، ریز دانه با رنگ قهوه‌ای روشن در نفلین دیوریت است. بررسی ترکیب شیمیایی، روابط بافتی و ویژگی‌های کانی‌شناسی نشان داد که گارنت تیتانیوم‌دار در نفلین سینیت‌های کلیبر خاستگاه ماگمایی داشته، در صورتی که تشکیل گارنت دگرنهاد محدود به سنگ‌های نفلین دیوریت است.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌های قلیایی فلدسپاتوئیددار، گارنت تیتانیوم‌دار، ترکیب شیمی گارنت و کلینوپیروکسن، توده نفوذی کلیبر، شمال باختری ایران.

مقدمه

سنگ‌های آذرین قلیایی با وجود اینکه از لحاظ حجمی درصد بسیار کمی از سنگ‌های پوسته زمین را تشکیل داده‌اند ($<1\%$)، ولی بررسی سنگ‌شناسی این سنگ‌ها به لحاظ دارا بودن ترکیب ژئوشیمیایی خاص و کانی‌شناسی کمیاب، همواره مورد توجه بسیاری از پژوهشگران بوده است. گارنت تیتانیوم‌دار از سرشت‌های مهم سنگ‌های آذرین قلیایی است (برای مثال

گارنت تیتانیوم‌دار نفلین سینیت [۱]، سینیت [۲-۵]، آنکارامیت [۶]، ایژولیت-ملتیت [۷، ۸]، ولی این سنگ‌ها در پاراژنز سنگ‌های دگر نهاد، اسکارن و به ندرت در سنگ‌های دگرگون درجه پائین تا درجه بالا نیز یافت شده‌اند [۹، ۱۰]. سنگ‌های مهم تشکیل دهنده باتولیت کلیبر در شمال آذربایجان عبارتند از نفلین سینیت، سینیت و نفلین دیوریت. در این کار پژوهشی سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی انواع سنگ-

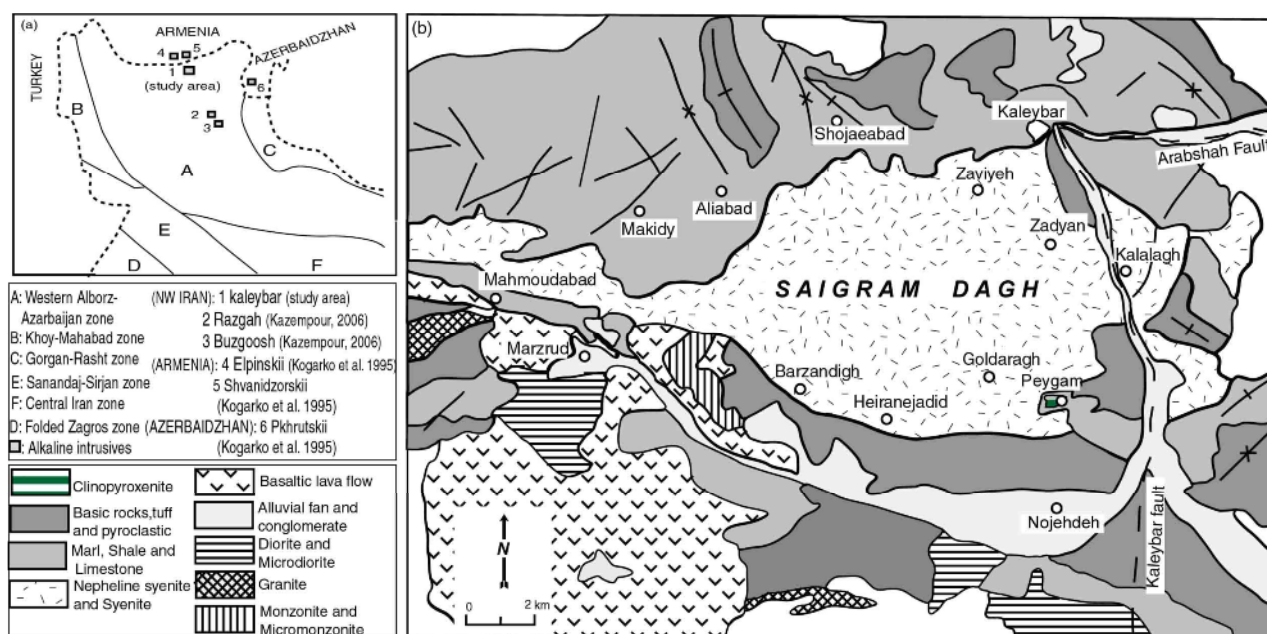
شدن سنگ‌های آهکی، رسی و آذر آواری و بازیک در هاله باعث تشکیل انواع سنگ‌های دگرگون شامل هورنفلس‌های رسی، آهکی-سیلیکاتی و متابازیک در منطقه شده است. همچنین در درجهٔ دگرگونی‌های بالا به علت گرمای حاصل از توده سنگ‌های رسی ذوب شده، میگماتیت‌های حاصل از آناتکسی در مقیاس بسیار کوچک در این سنگ‌ها تشکیل شده است [۱۳]. برخورد تودهٔ نفیلین سینیت با سنگ‌های دگرگون شده به خوبی دیده می‌شود (شکل ۲-a). تودهٔ نفوذی کلیبر با مساحت 750 km^2 بزرگترین تودهٔ آذرین قلیایی فلدسپاتوئیددار در شمال باختری ایران است (شکل ۱-a). [۱۷] Riou، تشکیل سنگ‌های قلیایی فلدسپاتوئیددار شمال باختری ایران (توده‌های نفوذی کلیبر، بزقوش و رزگاه) را به سنگ‌های فلدسپاتوئیددار آذربایجان و ارمنستان وابسته به کوهزایی آلپی قفقاز در نظر گرفته است. سن نفوذ باتولیت کلیبر بر اساس روابط چینه‌شناسی، داده‌های سن نسبی و ایزوتوپی سنگ‌های مشابه با مناطق مجاور در آذربایجان (۴۰-۳۵ میلیون سال، K-Ar و Rb-Sr: [۱۴، ۱۵، ۱۶] و ارمنستان (۴۰-۳۷ میلیون سال، سن یابی K-Ar و Rb-Sr: [۱۳] (شکل ۱-a)، انوسن تا الیگو-میوسن تعیین شده است.

های قلیایی فلدسپاتوئید دار تودهٔ نفوذی کلیبر بررسی، و ماهیت ماگمای تشکیل دهندهٔ سنگ‌ها با استفاده از شیمی کانی‌های کلینوپروکسن تعیین شدند.

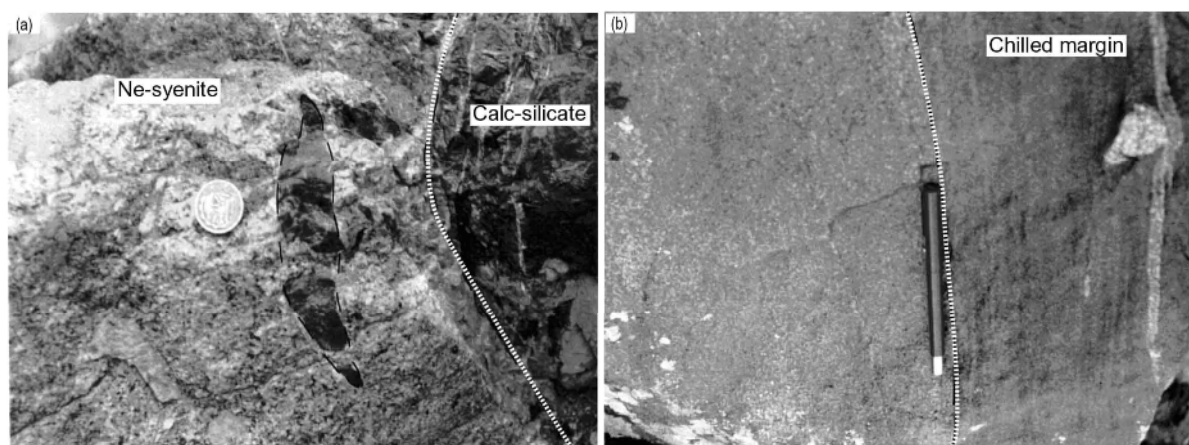
گارنت کانی فرعی مهم در پاراژنز سنگ‌های قلیایی فلدسپاتوئیددار کلیبر است. بر اساس ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافتی گارنت تیتانیوم‌دار در سنگ‌های نفیلین سینیت و نفیلین دیوریت کلیبر، خاستگاه گارنت چندگن در این سنگ‌ها پیشنهاد می‌شود.

زمین‌شناسی منطقه

منطقهٔ مورد بررسی در شمال آذربایجان و در ۱۷۰ کیلومتری شمال خاوری شهرستان تبریز در گسترده‌ای بین طول جغرافیایی $38^{\circ} 32'$ و $46^{\circ} 50'$ و عرض جغرافیایی $38^{\circ} 43'$ و $38^{\circ} 43'$ شمالی واقع شده است. از لحاظ تقسیم‌بندی ساختاری این منطقه در زون البرز باختری-آذربایجان [۱۱] واقع شده و بخش‌هایی از رشته کوه‌های قره داغ را شامل می‌شود. قدیمی‌ترین سنگ‌ها در منطقهٔ مورد بررسی شامل تناوب سنگ‌های رسی و آهکی با میان لایه‌های بازیک به سن کرتاسه فوقانی است که با نفوذ تودهٔ نفیلین سینیت دگرگون شده و هالهٔ دگرگونی مجاورتی با پهنایی در حدود یک کیلومتر پیرامون تودهٔ نفوذی تشکیل شده است (شکل ۱-b، [۱۲]). دگرگون



شکل ۱ (a) موقعیت منطقهٔ مورد بررسی در نقشهٔ تقسیم‌بندی ساختاری ایران [۱۱]. (b) نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ کلیبر (اقتباس از [۱۸] با تغییرات).



شکل ۲ (a) مرز مشخص بین سنگ‌های کالک-سیلیکات (سمت راست) و سنگ‌های نفلین سینیت (سمت چپ). قطعاتی از سنگ‌های آهکی به صورت زینولیت درون سنگ‌های نفلین سینیت مشاهده می‌شوند. (b) حاشیه بازیگ و چائیدگی (chilled margin) در محل مرز نفلین دیوریت با سنگ‌های ته نشستی دربرگیرنده.

سنگ‌های کلینوپیروکسنیت به صورت محدود در جنوب خاوری منطقه برونزد دارند (روستای پیغام، شکل b-۱، [۱۲]). کلینوپیروکسنیت در نمونه‌های دستی سیاه رنگ بوده و کانی‌های کلینوپیروکسن (تا اندازه یک میلی متر) با بافت درشت دانه بیشتر از ۹۰ درصد سنگ را تشکیل داده است. از این منطقه سنگ‌های کلینوپیروکسنیت قبلاً گزارش نشده بود و [۲۰] تشکیل کلینوپیروکسنیت‌های الهیارلو در شمال آن را در ارتباط با سنگ‌های افیولیتی به بقایایی از پوسته اقیانوسی پالئوتتیس دوم نسبت داده‌اند. با توجه به برونزد کلینوپیروکسنیت‌های کلیبر همراه با سنگ‌های فلدسپاتوئید قلیایی در منطقه، به نظر می‌رسد تشکیل این سنگ‌ها احتمالاً به تبلور ماگمای قلیایی اشباع از سیلیس وابسته باشند [۲۱].

سنگ‌شناختی سنگ‌های فلدسپاتوئید قلیایی توده نفوذی کلیبر

علائم اختصاری کانی‌ها از [۲۲] Kretz است (به استثنای amp برای آمفیبول).

سنگ‌های نفلین سینیت: فلدسپار قلیایی (۳۵-۳۰ درصد حجمی)، پلاژیوکلاز (۳۰-۲۰ درصد حجمی)، نفلین (تا ۲۵ درصد حجمی) و آمفیبول (۲۰-۱۵ درصد حجمی) کانی‌های اصلی سنگ‌های نفلین سینیت کلیبر را تشکیل می‌دهند. ارتوز پرتیتی درشت دانه تا اندازه ۸ میلی متر در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود که به طور جزئی به سرسیت تجزیه شده است (شکل a-۳). میکروکلین با بافت مشبک در برخی از نمونه‌ها تشکیل شده است. نفلین (تا اندازه یک میلی متر) با بافت میان روزنه‌ای (interstitial) فضای بین کانی‌های درشت دانه

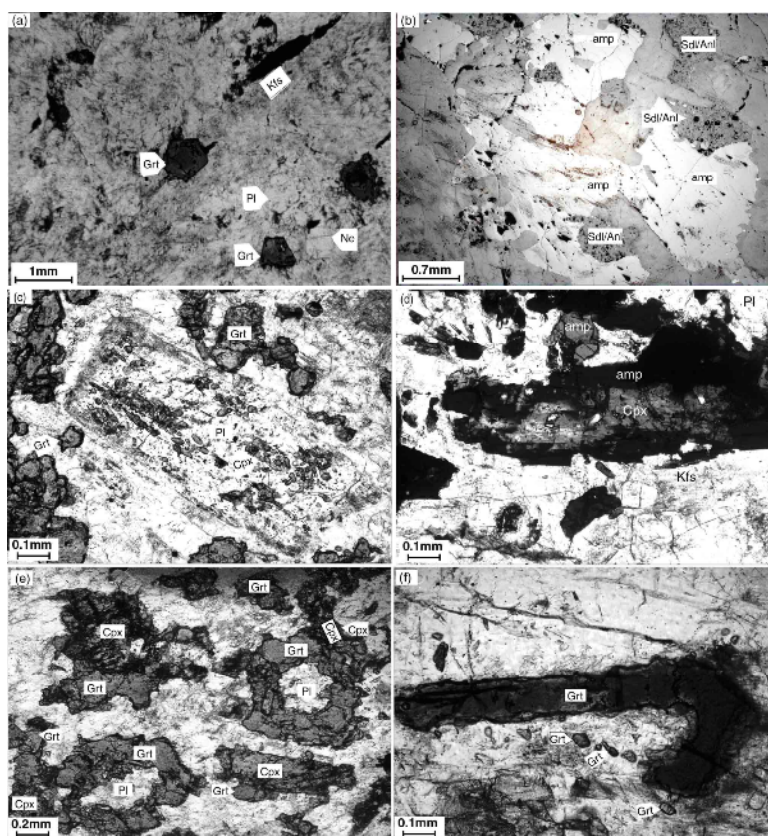
بررسی‌های صحرایی سنگ‌ها

توده نفوذی کلیبر از لحاظ ترکیبی ناهمگن بوده و از انواع سنگ‌های آذرین شامل نفلین سینیت، سینیت، نفلین دیوریت و به طور پراکنده دیوریت، مونزونیت و میکروگرانیت تشکیل شده‌اند. سنگ‌های نفلین سینیت در این مجموعه گستردگی فراوان داشته و سنگ‌های بازی نفلین دیوریت و دیوریت به صورت نواری با پهنای ۳ کیلومتر در کرانه جنوبی توده نفوذی برونزد نشان می‌دهد [۱۹]. نفلین سینیت در نمونه‌های دستی به رنگ خاکستری بوده و بلورهای فلدسپار قلیایی و آمفیبول به خوبی در آن قابل مشاهده است. نفلین به رنگ صورتی و با جلای شیشه‌ای در سطح سنگ مشخص است. ضریب رنگی نفلین سینیت کلیبر لوکوکرات (۴۰-۱۰ درصد کانی‌های تیره) تعیین می‌شود. قطعاتی از سنگ‌های آهکی و بازالتی دگرگون گاه به صورت زینولیت درون توده نفلین سینیت مشاهده می‌شود (شکل a-۲). سنگ‌های نفلین دیوریت دارای بافت بلوری درشت دانه و از لحاظ ضریب رنگی مزوکرات (۶۰-۴۰ درصد کانی‌های تیره) هستند. کرانه بازی یا چائیده به ضخامتی در حدود یک متر در برخوردگاه نفلین دیوریت با سنگ‌های آهکی دربرگیرنده تشکیل شده است (شکل b-۲). در کرانه چائیده منطقه‌بندی تدریجی از کانی‌های تیره کلینوپیروکسن و آمفیبول (نزدیک برخوردگاه) با کانی‌های روشن نفلین، فلدسپار قلیایی و پلاژیوکلاز (به سمت بخش مرکزی توده) مشاهده می‌شود (شکل b-۲). نفوذ توده گرم به درون سنگ‌های نهشتی سرد، در برگیرنده همرفت موضعی در کرانه توده به دلیل افت سریع دما را می‌توان از دلایل تشکیل آن در نظر گرفت.

بسیار کم بوده و برخی نمونه‌ها فاقد آن هستند. کانی پلاژیوکلاز (در اندازه ۱ میلی متر) دارای میانبرهای فراوان از کانی‌های کلینوپیروکسن است (شکل ۳-۲). نفیلین به صورت آنالسیم/سودالیت آبدار در آمده است. کلینوپیروکسن به رنگ سبز کم رنگ و درشت دانه بوده (تا اندازه ۳ میلی متر) و گاه بافت کومولایی نشان می‌دهد. برخی از کانی‌های کلینوپیروکسن در حاشیه به آمفیبول ثانویه به رنگ سبز تیره نیز تبدیل شده است (شکل ۳-۴). گارنت فاز فرعی مهم نفیلین دیوریت‌هاست. گارنت در این سنگ‌ها به رنگ قهوه‌ای روشن تا قهوه‌ای زرد بوده و به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار تا کاملاً بی شکل و ریز دانه (تا اندازه ۰/۳ میلی متر) در متن سنگ پراکنده است (شکل ۳-۵، ۳-۶). گارنت بافت اسکلتی را نشان می‌دهد که جانشین کانی‌های اولیه کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز شده است. در برخی از نمونه‌ها کلینوپیروکسن اولیه به صورت کامل به وسیله گارنت با بافت غربالی (sieve structure) جانشین شده است.

فلدسپات را پر کرده است. کانی‌های نفیلین در این سنگ‌ها اغلب آبدار شده و به کانی‌های ثانویه آنالسیم و سودالیت تجزیه شده‌اند. شکل ۳-۲ تصویر SEM درون ریخت نفیلین را نشان می‌دهد که به طور کامل به مجموعه‌ای از کانی‌های ثانویه هیدرونفلین و آنالسیم/سودالیت تبدیل شده است. کانی‌های آنالسیم/سودالیت با خاموشی همسانگرد قابل تشخیص از نفیلین‌اند. کانی‌های گارنت، تیتانیت و بیوتیت در مقادیر فرعی در پاراژنز سنگ حضور دارند. گارنت شکل‌دار تا نیمه شکل بوده و به رنگ‌های قهوه‌ای تیره تا سرخ قهوه‌ای مشاهده می‌شود (شکل ۳-۸). کلینوپیروکسن در مقادیر بسیار کم در برخی از نمونه‌ها تشکیل شده است. کانی‌های تیره، آپاتیت و زیرکن از فازهای کمیابند.

سنگ‌های نفیلین دیوریت: کانی‌های اصلی این سنگ‌ها عبارتند از پلاژیوکلاز (۶۰-۵۰ درصد حجمی)، کلینوپیروکسن (۲۵-۲۰ درصد حجمی)، آمفیبول (۱۵-۱۰ درصد حجمی) و نفیلین (۱۰-۵ درصد حجمی). مقادیر مودال فلدسپار قلیایی



شکل ۳ (a) ارتوکلاز و گارنت در نفیلین سینیت. PPL. تصویر SEM سودومورف نفیلین که به مجموعه‌ای از کانی‌های ثانویه آنالسیم/سودالیت و هیدرونفلین تبدیل شده است. (c) کانی پلاژیوکلاز با اینکلوزن‌های فراوان از کلینوپیروکسن در نفیلین دیوریت. گارنت بی شکل به صورت پراکنده در متن سنگ تشکیل شده است. PPL. (d) آمفیبول ثانویه پیرامون کلینوپیروکسن در نفیلین دیوریت. PPL. (e) گارنت ثانویه در حاشیه کلینوپیروکسن در نفیلین دیوریت، و نیز گارنت اسکلتی پیرامون کانی‌های پلاژیوکلاز اولیه مشاهده می‌شود. PPL. (f) گارنت بی شکل در نفیلین دیوریت. PPL.

ترکیب شیمی کانی‌ها

ترکیب عناصر اصلی کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن در سنگ‌های نفلین سینیت کلیبر با استفاده از ریزپردازنده JXA-8200 در دانشکده علوم زمین دانشگاه برلین-آلمان به روش EDS تجزیه شد (شرایط ولتاژ و شدت جریان به ترتیب ۱۵ kv و ۲۰ nA بود). استانداردهای استفاده شده برای همسنجی دستگاه عبارت بودند از ژادیت (Na, Al)، هورنبلند (K, Ti)، پلاژیوکلاز (Ca)، پیروپ (Mg, Si)، کرومیت (Cr)، آلماندین (Fe)، رودونیت (Mn) و ZnO مصنوعی (Zn). برنامه ZAF برای تصحیح داده‌های اکسیدی عناصر تجزیه شده استفاده شد. گارنت: تعیین فرمول عنصرسنجی و توزیع کاتیون‌های Fe, Al و Ti از دیدگاه‌های بلورشناسی از موارد پیچیده بررسی کانی-های گارنت تیتانیوم‌دار است که پژوهشگران مختلف نظرهای متفاوتی ارائه داده‌اند [۱۰، ۲۳-۳۰]. فرمول ساختاری گارنت-های تیتانیوم‌دار کلیبر با روش [۳۰] و با فرض ۸ کاتیون و ۱۲ اکسیژن محاسبه شده است (جدول ۱). در این روش با در نظر گرفتن Ti در موقعیت، جانشینی کاتیونی به صورت Si-Ti چاروجهی در نظر گرفته می‌شود. گارنت در نفلین سینیت‌های کلیبر دارای مقادیر متغیر TiO_2 (۱/۵ تا ۷ درصد وزنی) است. ویژگی مشابه برای گارنت‌های تیتانیوم‌دار از سنگ‌های نفلین

سینیت را [۱] گزارش کرده است. ترکیب اصلی اعضای نهایی گارنت‌های کلیبر به صورت $\text{And}_{67-78}\text{Grs}_{21-33}\text{Uva}_{0.1}$ است. مقادیر پیروپ و اسپسارتین کمتر بوده و مجموعاً ۴/۴-۲/۷ درصد مولی ترکیب گارنت را تشکیل می‌دهد. ترکیب گارنت-های کلیبر بر اساس نمودار [۱۰] در گستره آندرادیت تیتانیوم-دار تا ملانیت قرار می‌گیرند. کانی‌های گارنت تجزیه شده دارای مقادیر کم MgO (تا ۰/۲۶ درصد وزنی) هستند. [۳۱] Green این ویژگی گارنت را به تبلور در شرایط دمایی کمتر از ۹۵۰ °C نسبت داده است.

کلینوپیروکسن: ترکیب عناصر اصلی کانی‌های کلینوپیروکسن در سنگ‌های نفلین سینیت کلیبر در جدول ۱ آورده شده است. مقادیر TiO_2 در ترکیب کانی‌های کلینوپیروکسن تجزیه شده ۰/۵۴-۰/۵۰ درصد وزنی است. مقدار منیزیم ($\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$) بسیار بالا و برابر با ۹۲-۸۹ است. ترکیب اعضای نهایی کلینوپیروکسن به صورت $\text{Di}_{82.90-84.00}\text{Hd}_{7.50-10.40}\text{Jd}_{1.30-1.80}\text{Ae}_{5.10-7.00}$ است. بر اساس نمودار طبقه-بندی Fe^{3+} نسبت به Al [۳۲] ترکیب کانی‌های تجزیه شده دیوپسید غنی از آلومنیوم و آهن تعیین می‌شود (شکل ۴). در نمودار $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6\text{-Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6\text{-Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ [۳۳] ترکیب کلینوپیروکسن‌های تجزیه شده در گستره سالیست قرار می‌گیرند.

جدول ۱ داده‌هایی از ترکیب شیمی کانی‌های ماگمایی گارنت و کلینوپیروکسن.

	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Cpx	Cpx	Cpx
SiO ₂	۳۵.۱۶	۳۵.۷۲	۳۴.۸۵	۳۵.۲۶	۳۴.۸۰	۳۴.۴۴	۳۴.۷۷	۵۰.۰۰	۴۹.۸۲	۵۰.۶۰
TiO ₂	۲.۳۸	۱.۷۰	۲.۹۴	۲.۶۰	۲.۹۸	۴.۳۴	۳.۲۶	۰.۵۱	۰.۵۳	۰.۵۱
Al ₂ O ₃	۵.۱۳	۵.۴۲	۴.۹۴	۵.۰۱	۴.۸۱	۵.۱۶	۶.۹۵	۴.۴۶	۴.۱۷	۳.۷۱
FeO	۲۳.۰۳	۲۳.۷۰	۲۲.۸۷	۲۳.۰۴	۲۳.۵۵	۲۱.۹۷	۱۸.۵۸	۷.۱۴	۷.۱۶	۶.۷۸
MnO	۱.۲۴	۱.۱۰	۱.۱۹	۱.۲۰	۱.۲۵	۱.۵۰	۰.۹۷	۰.۳۴	۰.۲۹	۰.۳۲
MgO	۰.۱۴	۰.۱۷	۰.۲۳	۰.۱۸	۰.۱۸	۰.۲۶	۰.۱۴	۱۲.۰۱	۱۱.۹۷	۱۲.۴۱
CaO	۳۴.۱۸	۳۴.۰۵	۳۳.۷۲	۳۳.۸۶	۳۳.۵۵	۳۳.۵	۳۵.۳۰	۲۴.۵۷	۲۴.۶۲	۲۴.۷۳
Na ₂ O	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۶	۰.۰۵	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۰۱	۱.۱۰	۱.۰۶	۰.۸۷
K ₂ O	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
Sum	۱۰۱.۳۰	۱۰۱.۹۰	۱۰۰.۸۰	۱۰۱.۲۰	۱۰۱.۲۰	۱۰۱.۲۵	۹۹.۹۸	۱۰۰.۱۸	۹۹.۶۵	۹۹.۴۴
Oxygen	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۶	۶	۶
Si	۲.۸۶	۲.۸۹	۲.۸۶	۲.۸۸	۲.۸۵	۲.۸۲	۲.۸۳	۱.۸۷	۱.۸۸	۱.۸۹
Ti	۰.۱۵	۰.۱۰	۰.۱۸	۰.۱۶	۰.۱۸	۰.۲۷	۰.۲۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
Al	۰.۴۹	۰.۵۲	۰.۴۸	۰.۴۸	۰.۴۶	۰.۵۰	۰.۶۶	۰.۲۰	۰.۱۹	۰.۱۶
Fe	۱.۴۱	۱.۴۵	۱.۴۱	۱.۴۲	۱.۴۶	۱.۳۴	۱.۱۴	۰.۲۲	۰.۲۳	۰.۲۱
Mn	۰.۰۹	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۰۹	۰.۱۰	۰.۰۷	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
Mg	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۶۷	۰.۶۷	۰.۶۹
Ca	۲.۹۸	۲.۹۵	۲.۹۶	۲.۹۶	۲.۹۴	۲.۹۳	۳.۰۸	۰.۹۹	۰.۹۹	۰.۹۹
Na	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۰۶
K	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
Sum	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۴.۰۵	۴.۰۷	۴.۰۲
Grs (%)	۲۴	۲۵.۱	۲۳.۱	۲۳.۴	۲۳.۱	۲۲.۸	۲۲.۷			
Adr (%)	۷۶	۷۴.۹	۷۶.۹	۷۶.۶	۷۷.۸	۷۷.۲	۶۷.۳			
Uva (%)	۰	۰	۰	۰	۰.۱	۰	۰			
H ₄ Si _۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰			
Jd%								۱.۷۵	۱.۳۹	۱.۴۹
Di%								۸۳.۸۸	۸۴.۲۲	۸۲.۹۷
Hd%								۷.۶۱	۷.۵۱	۱۰.۴۰
Ae%								۶.۷۶	۶.۸۷	۵.۱۴

گارنت دگرنهاد در نفلین دیوریت است. گارنت بی‌شکل و ریز دانه پراکنده در متن سنگ و یا گارنت با بافت اسکلتی پیرامون کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز از ویژگی‌های بارز گارنت با خاستگاه دگرنهادی است که تشکیل آن را می‌توان به واکنش کانی‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز اولیه با آب‌گون‌های مراحل نهایی تبلور ماگمایی در نظر گرفت. ویژگی‌های بافتی مشابه توسط [۴۰] از سنگ‌های قلیایی Shonkin، [۴۱] از سنگ‌های Iron Hill، [۴۲] از سنگ‌های Loch Borralan و [۴۳] از سنگ‌های آذرین ایالت Decan گزارش شده است.

ب) مقادیر بالای TiO_2 (۵ تا ۱/۵ درصد وزنی) از دیگر سرشتی‌هایی است که خاستگاه ماگمایی گارنت‌های تیتانیوم‌دار به رنگ قهوه‌ای سرخ تا قهوه‌ای تیره [۲۷، ۳۶] در نفلین سینیت‌های کلیبر را تایید می‌کند.

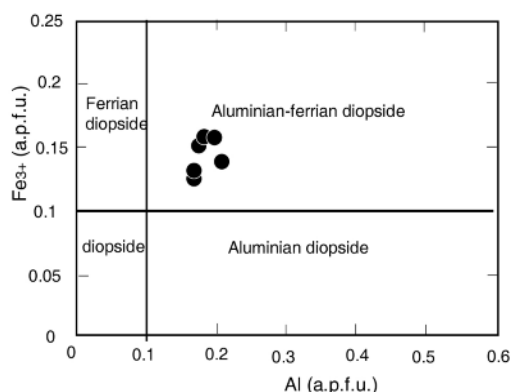
پ) مقادیر H_2Si در فرمول ساختاری محاسبه شده برای کانی‌های گارنت تیتانیوم‌دار در سنگ‌های نفلین سینیت کلیبر صفر است (جدول ۱)، در صورتیکه مقداری جزئی جانشینی H_2Si از سرشتی‌های گارنت تیتانیوم‌دار با خاستگاه ثانویه است [۳۰].

ت) حضور گارنت ماگمایی در پاراژنز سنگ‌های نفلین سینیت را می‌توان به تحول ماگماهای قلیایی با ترکیب اشباع از سیلیس در منطقه در نظر گرفت، در صورتیکه گارنت دگرنهاد محدود به سنگ‌های نفلین دیوریت با ترکیب مافیک است.

همه این شواهد خاستگاه گارنت چنگدن در سنگ‌های قلیایی فلدسپاتوئیددار توده نفوذی کلیبر را تایید می‌کنند. با این حال برای تعیین دقیق خاستگاه گارنت‌های چنگدن در سنگ‌های مورد بررسی نیاز به بررسی‌های ایزوتوپی و ژئوشیمیایی بیشتر است.

ترکیب ماگما در سنگ‌های آذرین فلدسپاتوئیددار توده نفوذی کلیبر

ترکیب عناصر اصلی در شیمی کانی‌های کلینوپیروکسن به منظور تعیین ویژگی‌های شیمیایی ماگمایی که کلینوپیروکسن از آن متبلور شده است استفاده شد. در نمودار $\text{Ti-Ca} + \text{Na}$ ، ترکیب کانی‌های کلینوپیروکسن تجزیه شده در سنگ‌های نفلین سینیت کلیبر در گستره قلیایی قرار می‌گیرند (شکل a-۵). بر اساس نمودار $\text{Ti} + \text{Cr}$ نسبت به Ca [۴۴]، محیط زمین‌ساختی ماگمایی که کلینوپیروکسن از آن متبلور شده است ویژگی‌های وابسته به کوهزایی را نشان می‌دهند (شکل b-۵). همچنین حضور گارنت تیتانیوم‌دار با خاستگاه ماگمایی در سنگ‌های قلیایی تحت اشباع سیلیس توده نفوذی کلیبر، ترکیب غنی از Ti ماگمای اولیه و تبلور کانی‌ها در شرایط نسبتاً خشک را پیشنهاد می‌کند [۴۳].



شکل ۴ ترکیب کلینوپیروکسن‌های تجزیه شده در نمودار [۳۲] Fe^{3+} (a.p.f.u.) نسبت به Al (a.p.f.u.)

بحث و برداشت

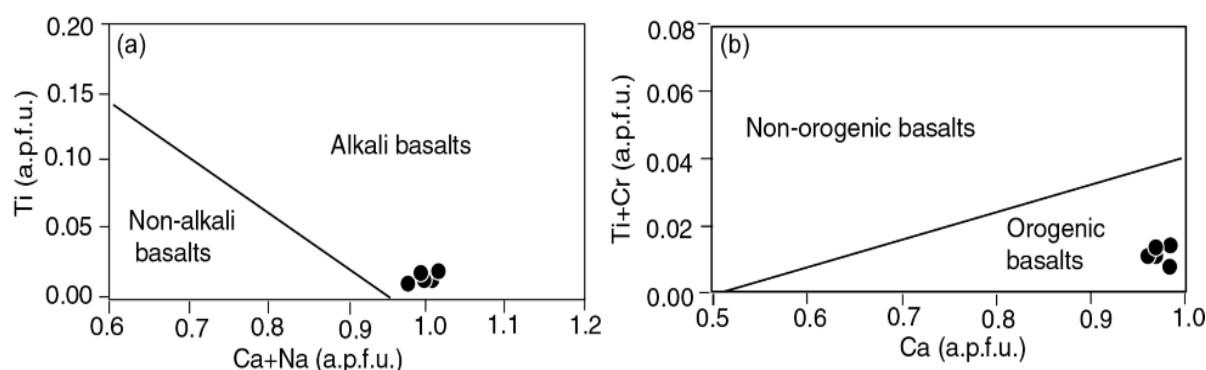
خاستگاه گارنت تیتانیوم‌دار در سنگ‌های قلیایی فلدسپاتوئیددار توده نفوذی کلیبر

گارنت تیتانیوم‌دار در پاراژنز انواع مختلف سنگ‌های دگرگون، دگرنهاد، آذرین و اسکارن یافت می‌شود [۹، ۱۰، ۳۴]. بر خلاف گارنت دگرگون، بررسی‌های انجام شده برای تشخیص گارنت با خاستگاه اسکارن، گرمابی و ماگمایی بسیار محدود است. [۳۰، ۳۵-۳۸] گارنت‌های تیتانیوم‌دار با خاستگاه ماگمایی و گرمابی را بر اساس معیارهای ریخت‌شناختی، رنگ، نوع منطقه‌بندی و ترکیب عناصر اصلی تعیین کرده‌اند. [۳۹] در بررسی‌های اخیر نشان داد که خاستگاه ماگمایی گارنت را می‌توان بر اساس عناصر کمیاب در شیمی گارنت تشخیص داد.

گارنت تیتانیوم‌دار در سنگ‌های آذرین قلیایی به صورت قهوه‌ای سرخ و قهوه‌ای تیره مشخص می‌شود [۱، ۳، ۴]. این ویژگی گارنت در ارتباط با مقادیر بالای تیتانیوم در گارنت‌های تیتانیوم‌دار با خاستگاه ماگمایی ($\text{TiO}_2 > 1 \text{ wt}\%$) است در صورتی که گارنت در سنگ‌های دگرنهادی، گرمابی، دگرگونی و اسکارن‌ها به دلیل دارا بودن مقادیر TiO_2 کم، به رنگ‌های قهوه‌ای زرد و قهوه‌ای روشن مشاهده می‌شوند [۳۰، ۳۹].

کانی‌های گارنت تیتانیوم‌دار در سنگ‌های قلیایی فلدسپاتوئیددار توده نفوذی کلیبر دارای خاستگاه چنگدن هستند (خاستگاه ماگمایی در سنگ‌های نفلین سینیت و خاستگاه دگرنهادی در نفلین دیوریت). برخی از شواهد سنگ-شناختی و شیمیایی آنها عبارتند از:

الف) کانی‌های گارنت در سنگ‌های فلدسپاتوئیددار کلیبر از لحاظ اندازه بلور، ریخت‌شناختی و رنگ، تفاوت‌های مشخصی دارند. گارنت در نفلین سینیت به صورت بلورهای مجزا، درشت دانه، شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار به رنگ قهوه‌ای سرخ تا قهوه‌ای تیره بوده که با ریخت‌شناختی بی‌شکل، ریز دانه قهوه‌ای روشن



شکل ۵ (a) ترکیب ماگمای قلیایی تشکیل دهنده کلینوپیروکسن بر اساس نمودار Ti نسبت به Ca + Na [۴۴]. در نمودار Ti + Cr نسبت به Ca [۴۴] ترکیب ماگمای سازنده کانی‌های کلینوپیروکسن ویژگی‌های وابسته به کوهزایی را نشان می‌دهد.

- [1] Gomes C.B., "Electron microprobe analysis of zoned melanites", *American Mineralogist* 54 (1969) 1654-1661.
- [2] Ramasamy R., "Titanium-bearing garnets from alkaline rocks of carbonatite complex of Tiruppattur, Tamil Nadu", *Current Science* 55 (1986) 1026-1029.
- [3] Turbeville, B.N., "Petrology and petrogenesis of the Lateral Caldera central Italy", *Journal of Petrology* 34 (1993) 77-124.
- [4] Lang J.R., Lueck B., Mortensen J.K., Russell J.K., Stanley C.R. & Thompson J.F.H., "Triassic-Jurassic silica-undersaturated and silica-saturated intrusions in the Cordillera of British Columbia: implications for arc magmatism", *Geology* 23 (1995) 451-454.
- [5] Jiang N., Sun S., Chu X., Mizuta T. & Ishiyama D., "Mobilization and enrichment of high-field strength elements during late- and post-magmatic processes in the Shuiquangou syenitic complex, Northern China", *Chemical Geology* 200 (2003) 117-128.
- [6] Segalstad T.V., "Petrology of the Skien basaltic rocks, southwestern Oslo Region, Norway", *Lithos* 12 (1979) 221-239.
- [7] Larsen, E.S., "Alkaline rocks of Iron Hill, Gunnison County, Colorado" US Geological Survey Professional Paper (1942) 197-A.
- [8] Mitchell, R.H. & Platt, R.G., "Nepheline-bearing rocks from the Poohbah Lake alkaline complex, Ontario; Malignites and malignites", *Contribution to Mineralogy and Petrology* 69 (1979) 255-264.
- [9] Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., "Orthosilicates. In *Rock-Forming Minerals*", (1982) 1A. 2nd ed. Longman, London, UK.

ماگماتیسم ائوسن تا الیگو-میوسن در ایران به فرورانش اقیانوس نتوتیس و بسته شدن آن وابسته است و تا به حال نظرهای بسیار متعددی توسط پژوهشگران مختلف در این خصوص ارائه شده است. [۴۵، ۴۶] زمان کرتاسه پایانی را به عنوان برخورد قاره‌ای در نظر گرفته‌اند. برخی دیگر از پژوهشگران عقیده دارند که برخورد قاره‌ای نتوتیس در زمان سنوزوئیک رخ داده است (برای مثال زمان ائوسن [۴۷-۵۲]، زمان الیگوسن [۵۳] و زمان میوسن [۵۴]).

داده‌های سنی به دست آمده از سال سنجی U/Pb زیرکن (حدود ۲۶ میلیون سال [۵۵]) در میگماتیت‌های مافیک مختلط تخت سلیمان در باختر ایران، زمان برخورد قاره‌ای نتوتیس و ضخیم شدگی پوسته‌ای را الیگوسن پیشنهاد می‌کند [۵۵]. چنانکه سن بسته شدن نتوتیس را الیگوسن در نظر بگیریم ([۵۳، ۵۵]) در این صورت احتمالاً می‌توان تشکیل ماگمای سازنده سنگ‌های قلیایی فلدسپاتوئیددار توده نفوذی کلیبر به سن الیگو-میوسن را به فعالیت‌های کششی پس از برخورد قاره‌ای در نظر گرفت. با این حال برای تایید آن نیاز به بررسی‌های دقیق ژئوشیمی و ایزوتوپی است.

سپاسگزاری

از دکتر Ralf Milke از دانشکده علوم زمین دانشگاه برلین به خاطر کمک در ریزپردازش کانی‌ها سپاسگزاری می‌شود. از نظرهای سازنده داورهای محترم مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران برای ارتقای سطح علمی مقاله تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- [22] Kretz, R., "Symbols for rock-forming minerals", American Mineralogist 68 (1983) 277-279.
- [23] Kunitz, W., "Die rolle des titans und zirkoniums in den gesteinsbildenden silikaten", Neues Jahrbuch für Geologie und Paleontologie 70 (A) (1936) 385-466.
- [24] Huggins, F.E., Virgo, D. & Huckenholz, H.G., "Titanium-containing silicate garnets. I. The distribution of Al, Fe³⁺, and Ti⁴⁺ between octahedral and tetrahedral sites", American Mineralogist 62 (1977a) 475-490.
- [25] Huggins, F.E., Virgo, D. & Huckenholz, H.G., "Titanium-containing silicate garnets. II. The crystal chemistry of melanites and schorlomite", American Mineralogist 62 (1977b) 646-665.
- [26] Howie, R.A. & Woolley, A., "The role of titanium and the effect of TiO₂ on the cell-size, refractive index and specific gravity in the andradite-melanite-schorlomite series", Mineralogical Magazine 36 (1968) 775-970.
- [27] Tarte, P., "Recherches sur le spectre infrarouge des silicates: II. Determination du role structural du titane dans certains silicates", Silicates Industriels Brussels 25 (1960a) 171-175.
- [28] Tarte, P., "Infrared spectra of garnets", Nature 186 (1960b) 234.
- [29] Mc Cammon, C., "Mantle oxidation state and oxygen fugacity: Constraints on mantle chemistry, structure and dynamics. In: R.D.v.d. Hilst, J. Bass, J. Matas and J. Trampert (Editors), Earth's Deep Mantle: Structure, Composition, and Evolution. American Geophysical Union, Washington D.C. ", (2005) 221-242.
- [30] Russell, J.K., Dipple, G.M., Lang, J.R. & Lueck B., "Major-element discrimination of titanium andradite from magmatic and hydrothermal environments; an example from the Canadian Cordillera", European Journal of Mineralogy 11 (6) (1999) 919-935.
- [31] Green, T.H., "Garnet in silicic liquids and its possible use as a P-T indicator", Contribution to Mineralogy and Petrology 65 (1977) 59-67.
- [32] Morimoto, N., "Nomenclature of pyroxenes", Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 68 (1988) 95-111.
- [33] Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Aoki, K. & Gottardi, G., "Nomenclature of pyroxenes. Subcommittee on Pyroxenes", American Mineralogist 73 (1989) 1123-1133.
- [10] Dingwell, D.B., Brearley, M., "Mineral chemistry of igneous melanite garnets from analcite-bearing volcanic rocks, Alberta, Canada", Contribution to Mineralogy and Petrology 90 (1985) 29-35.
- [۱۱] نبوی م.ح، "دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۵۵) ۱۰۹ ص.
- [۱۲] حاجی علی اوغلی ر، "بررسی دگرگونی مجاورتی سنگ‌های رسی و آهکی در هاله دگرگونی نفیلین سینیت کلیبر و کاربرد نتایج در تفسیر تکامل پوسته منطقه مورد مطالعه"، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز (۱۳۸۰) ۱۷۰ ص.
- [۱۳] مؤذن م. حاجی علی اوغلی ر، "دوب بخشی سنگ‌های رسی-نیمه رسی در هاله دگرگونی کلیبر-شمال غرب ایران"، فصلنامه علوم زمین ۶۴ (۱۳۸۶) ۱۳-۲.
- [14] Bagdasaryan, G.P., "Intrusive rocks of the Basumo-Pambaksky region. Geology of the Armenian SSR. Petrography. Intrusive rocks", Armenian Academy of Sciences, Erevan 3 (1966) 256-308.
- [15] Bagdasaryan, G.P. & Gukasyan, P.X., "The results of the absolute age determination of the separate magmatic complexes of the Armyanskaya SSR", Nauka, Moscow and Leningrad. (1962) 283-303.
- [16] Gukasyan, R.X., "Determination of the absolute age by the Rb-Sr method on a sample from the Megrinsky pluton Armenian SSR. Doklady Akademii Nauk Armyanskoi SSR", Seriya Geologiya. Erevan, 36 (3) (1963) 173-178.
- [17] Riou, R., "Petrography and geochemistry of the Eocene alkaline lavas of the northern Azerbaijan (Iran)", Neues Jahrbuch für Geologie und Paleontologie, Monatshefte 9 (1979) 532-559.
- [۱۸] باباخانی ع. لسکویه ج.ل. ریو ر، "شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش اهر"، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۶۹) ۱۲۳ ص.
- [۱۹] مهرپرتو م، "نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کلیبر"، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۸).
- [۲۰] ضرغامی م، شهبازی ش، "ورمیکولیت (پی جویی و اکتشاف در کلیبر)"، رساله کارشناسی دانشگاه تبریز (۱۳۷۲) ۱۴۷ ص.
- [21] Hode Vuorinen J., "The Alnö alkaline and carbonatitic complex, east central Sweden – a petrogenetic study", Ph.D. thesis, Stockholm University, Sweden.

method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series", Earth and Planetary Science Letters 59 (1982) 139–154.

[45] Berberian M., King G.C.P., "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", Canadian Journal of Earth Science 18 (1981) 210–265.

[46] Alavi M., "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations", Tectonophysics 229 (1994) 211–238.

[47] Berberian F., Muir ID, Pankhurst RJ, "Berberian M (1982) Late Cretaceous and early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and Central Iran", Geol Soc Lond 139: 605–614.

[48] Braud J., "La suture du Zagros au niveau de Kermanshah (Kurdistan iranien): Reconstitution paléogéographique, évolution géodynamique, magmatique et structurale", Unpublished Ph.D. thesis, Université de Paris-Sud, (1987) 489 p.

[49] Şengör A.M.C., Altiner D., Cin A., Ustaomer T., Hsu K.J., "Origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expense of Gondwana Land", Geological Society of London Special Publication 37 (1988) 119–181.

[50] Şengör A.M.C., Natalin B.A., "Paleotectonics of Asia: Fragments of a synthesis, In: Yin A, Harrison M (eds.), The Tectonic Evolution of Asia", Cambridge University Press (1996) 486–640.

[51] Mohajjel M., Fergusson C.L., Sahandi M.R., "Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran" Journal of Asian Earth Science 21 (2003) 397–412.

[52] Ghasemi A., Talbot C.J., "A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran)", Journal of Asian Earth Science 26 (2006) 683–693.

[53] Agard P., Omrani J., Jolivet L., Mouthereau F., "Convergence history across Zagros (Iran): Constraints from collisional and earlier deformation", International Journal of Earth Science 94 (2005) 401–419.

[54] Jackson D.D., Aki K., Cornell C.A., Dieterich J.H., Henyey T.L., Mahdyar M., Schwartz D., Ward S.N., "Seismic hazards in southern California: Probable earthquakes, 1994–2024", Bulletin of the Seismological Society of America 85 (1995) 379–439.

[۵۵] حاجی علی اوغلی، ر، "بررسی پترولوژی سنگ‌های دگرگونی کالک-سیلیکات و متابازیک مجموعه تخت سلیمان در شمالشرق تکاب (غرب ایران)", پایاننامه دکتری، دانشگاه تبریز، (۱۳۸۶) ۱۷۰ ص.

[34] Manning, P. G. & Harris D. C., "Optical absorption and electron-microprobe studies of some high-Ti andradites", Canadian Mineralogist 10 (1970) 260–271.

[35] Cioni, R., Civetta, L., Marianelli, P., Metrich, N., Santacroce R. & Sbrana, A., "Compositional layering and syn-eruptive mixing of a periodically refilled shallow magma chamber, the AD 79 plinian eruption of Vesuvius", Journal of Petrology 36 (1995) 739–776.

[36] Naimo, D., Balassone, G., Beran, A., Amalfitano, C., Imperato, M. & Stanzione, D., "Garnets in volcanic breccias of the Phlegraean Fields (southern Italy): mineralogical, geochemical and genetic features", Mineralogy and Petrology 77 (2003) 259–270.

[37] Smith, M.P. Henderson, P. Jeffries, T.E.R. Long J. & Williams, C. "The rare earth elements and uranium in garnets from the Beinn and Dubhaich Aureole, Skye, Scotland, UK; constraints on processes in a dynamic hydrothermal system", Journal of Petrology 45 (3) (2004) 57–484.

[38] Fulignati, P., Marianelli, P., Santacroce, R. & Sbrana, A., "Probing the Vesuvius magma chamber-host rock interface through xenoliths", Geological Magazine 141 (2004) 417–428.

[39] Scheibner, B., Wörner, G., Civetta, L., Stosch, H. G. Simon, K.; Kronz, A., "Rare earth element fractionation in magmatic Ca-rich garnets", Contribution to Mineralogy and Petrology 154 (2007) 55–74.

[40] Nash, W.P. & Wilkinson, J.F.G. "Shonkin Sag Laccolith, Montana. I. Mafic minerals and estimates of temperature, pressure, oxygen fugacity and silica activity", Contribution to Mineralogy and Petrology 25 (1970) 241–269.

[41] Nash, W.P., "Mineralogy and petrology of the Iron Hill carbonatite complex, Colorado", Geological Society of America Bull. 83 (1972) 1361–1382.

[42] Woolley, A. R., "The pseudo-leucite Borolanites and associated rocks of the south-eastern tract of the Borralan complex, Scotland. Bulletin of the British Museum (Natural History)", Mineralogy 2 (1973) 285–333.

[43] Gwalania L.G., Rockb, N.M.S., Ramasamyc, R., Griffin, B.J. & Mulaia, B.P., "Complexly zoned Ti-rich melanite-schorlomite garnets from Ambadungar carbonatite-alkalic complex, Deccan Igneous Province, Gujarat State, Western India", Journal of Asian Earth Science 18 (2000) 163–176.

[44] Leterrier J., Maury R.C., Thonon P., Girard D., Marchal M., "Clinopyroxene composition as a

