

ذوب بخشی سنگهای رسی - نیمه رسی در هاله دگرگونی کلبیر - شمال باختری ایران

نوشته: محسن مؤذن* و رباب حاجی علی اوغلی*

*گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

Partial Melting of Pelites and Semi-Pelites in the Kalaybar Thermal Aureole, NW Iran

By: M. Moazzen* & R. Hajialioghli*

*Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Iran.

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۵/۰۶/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۸۳/۰۹/۲۰

چکیده

نفوذ نفلین سینیت و نفلین گابروی کلبیر به سن ائوسن - الیگوسن در سنگهای رسی و آهکی کرتاسه باعث تشکیل هاله گرمایی به سترای بیش از ۱ کیلومتر در اطراف آن شده است. دگرگون شدن سنگهای رسی و آهکی در حاشیه شمالی و خاوری هاله و سنگهای مافیک در حاشیه جنوبی هاله، باعث تشکیل انواع هورنفلسهای دگرگونی در منطقه شده است. پدیده میگماتیته شدن و ذوب بخشی در درجه دگرگونیهای بالا و نزدیک همبری به علت گرمای حاصل از توده در سنگهای با ترکیب شیمیایی مناسب، دیده می شوند. مقیاس ذوب بخشی بسیار کوچک و حجم ماگمای آناتکسی تشکیل شده کم است. بخشهای روشن (لوکوسومها) به صورت رگهای و قطره ای در مقیاس میلی متری مشاهده می شود. کانیهای اصلی در بخش روشن رنگ میگماتیته شامل کوارتز و فلدسپار پتاسیم بافت آذرین، بویژه فلدسپارهای پتاسیم شکل دار تا نیمه شکل دار، بافت گرانوفیری و بافت بین بلوری (interstitial) در کانیهای کوارتز است. تفاوت های بافتی بین بخش روشن و تیره (لوکوسوم و مزوسوم)، ترکیب کانی شناسی لوکوسوم، ساخت آذرین در بخش لوکوسوم و محدود بودن تشکیل لوکوسوم به سنگهای رسی، همگی شواهدی از رخداد پدیده آناتکسی در هاله کلبیر است. واکنشهای مؤثر در تشکیل مذاب و بخش روشن میگماتیت شامل واکنشهای ذوب در حضور فاز سیال آزاد (fluid-present) و واکنشهای در نبود فاز سیال آزاد (fluid-absent) می باشد. مجموعه کانیهای دگرگونی درجه بالا (مانند مجموعه های دارای ارتوپیروکسن) احتمالاً در اثر از بین رفتن کانیهای آبدار (مانند بیوتیت) توسط واکنشهای بدون حضور سیال آزاد تشکیل شده اند. ترکیب کانی شناسی لوکوسومها مشابه لوکوگرانیت تا گرانیت حاصل از ذوب بخشی است و با منشأ تبلور از مذاب مطابقت دارد.

کلید واژه ها: کلبیر، هاله دگرگونی، سنگهای رسی، ذوب بخشی، میگماتیت.

Abstract

Intrusion of the Kalaybar nepheline syenite and nepheline gabbro into the Cretaceous pelitic and calcareous rocks during Eocene-Oligocene has caused the development of a thermal aureole up to 1 km thick. The contact between igneous and country rocks is sharp. The protholite rocks in the study area had not been metamorphosed prior to contact metamorphism. Pelitic and calcareous rocks in the northern and eastern parts of the aureole and basic rocks in the southern part of the aureole were thermally metamorphosed and formed different types of hornfels. High-grade metamorphic rocks with chemically suitable compositions were melted adjacent to the contact (within 100m from the contact) due to the heat from the pluton. Migmatites with small-scale leucosomes are produced. Scale of partial melting and volume of produced melt are very small. Main minerals in the light coloured parts of the migmatites (leucosomes) include quartz and K-feldspar with an igneous texture specially euhedral to subhedral

texture of K-feldspar, graphic texture of quartz-K-feldspar and interstitial texture of quartz. Textural differences between light leucosomes and dark mesosomes, mineralogical composition of the leucosomes, existence of igneous textures within the leucosomes and restriction of the leucosome formation to the pelitic rocks all are distinct evidence for occurrence of partial melting in the Kalaybar aureole. The liable reactions for melting include fluid-present reactions and fluid-absent reactions. High-grade metamorphic assemblages such as orthopyroxene-bearing assemblages have been accomplished by dehydration of hydrous minerals such as biotite via fluid-absent melting reactions. Mineralogical compositions of leucosomes resemble leucogranites to granites. This indicates crystallisation of the leucosomes from a silicate melt.

Keywords: Kalaybar, Thermal aureole, Pelitic rocks, Partial melting, Migmatites.

مقدمه

آنانتکسی به ترکیب شیمیایی سنگهای دگرگون شونده بسیار وابسته است و در دگرگونیهای درجه بالای سنگهای کوارتز - فلدسپاتی و رسی - نیمه رسی (یا در حالت کلی، سنگهای غنی از کانیهای کوارتز و فلدسپار با دماهای ذوب پایین) رخ می دهد. ژرفای جایگیری توده نفوذی در حجم مذاب حاصل از آنانتکسی مؤثر است. میگماتیتهای بزرگ مقیاس و ماکروسکوپی اغلب در جایگیری کم ژرفای توده ها و میگماتیتهای کوچک مقیاس و میکروسکوپی در جایگیریهای ژرف توده ها تشکیل می شوند. مقیاس میگماتیتهای تشکیل شده همچنین به ترکیب شیمیایی توده نفوذی، حجم توده نفوذی، شکستگی سنگها و مقدار حضور سیال در طی فرایند آنانتکسی نیز بستگی دارد (Kerrick, 1991). حضور سیال، بویژه آب، در فرایند آنانتکسی نقش مهمی دارد و نبود آن یکی از دلایل ذوب نشدن سنگهای با ترکیب شیمیایی مناسب در دماهای بالاست (Tuttle and Bowen, 1958). در نوشتار حاضر، پدیده ذوب بخشی در هاله دگرگونی همبری کلیبر در شمال باختری ایران مورد بررسی قرار گرفته است. عمده مطالب مورد بحث شامل ویژگیهای لوکوسومها، شواهد ذوب بخشی و واکنشهای احتمالی ذوب است.

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

بر اساس تقسیم بندی نبوی (۱۳۵۵)، منطقه کلیبر در زون البرز باختری - آذربایجان واقع شده است. قدیمی ترین سنگهای منطقه مورد مطالعه سنگهای دگرگونی ناحیه ای پیش از کرتاسه با ترکیب سنگ شناسی فیلیت و کلریت شست است. سنگهای رسی و آهکی کرتاسه همراه با سنگهای مافیک در حاشیه خاوری و شمالی هاله برونزد دارند و رسوبات کواترنر جوان ترین سنگهای منطقه را تشکیل می دهد (مهر پرتو، ۱۹۹۹). فعالیتهای ماگمایی در منطقه کلیبر را می توان بر اساس روابط زمانی از قدیم به جدید در پنج گروه اصلی تقسیم بندی کرد، نفوذ توده پیروکسنیت، فوران سنگهای

میگماتیتها سنگهایی هستند که از بخشهای روشن رنگ کوارتز - فلدسپاتی و بخشهای تیره رنگ دارای کانیهای تیره Fe, Mg دار تشکیل شده اند (Sederholm, 1967). میگماتیتها از نظر منشأ تشکیل انواع متفاوتی دارند: میگماتیتهای تزریقی که در اثر تزریق ماگمای گرانیتهی در سنگهای دگرگونی تشکیل می شوند، میگماتیتهای متاسوماتیسمی که در نتیجه ورود عناصر قلیایی در طی فرایند متاسوماتیسم تشکیل می شوند، میگماتیتهای تفریقی که در نتیجه تفریق عناصر روشن و تیره سنگ در حالت جامد تشکیل می شوند و میگماتیتهای آنانتکسی که در نتیجه ذوب بخشی سنگهای دگرگونی در دماهای بالا تشکیل می شوند. نتایج حاصل از مطالعات تجربی میگماتیتهای آنانتکسی در نواحی دگرگونی ناحیه ای، مانند واکنشهای ذوب و شرایط ترمودینامیکی ذوب، در مورد میگماتیتهای آنانتکسی دگرگونی همبری نیز صدق می کند (Kerrick, 1991). آنانتکسی در هاله های دگرگونی توسط تعدادی از محققان مطرح شده است. برای مثال آنانتکسی هاله Etive در اسکاتلند (Moazzen, 1999; Moazzen et al., 2001)، هاله Ballachulish در اسکاتلند (Harte et al., 1991)، هاله Laramie در Morton Pass ایالات متحده آمریکا (Grant Frost, 1990) و هاله های دگرگونی اطراف توده های نفوذی در Appin اسکاتلند (Platten, 1982, 1983).

آنانتکسی نقش مهمی در تحولات شیمیایی و فیزیکی هاله های دگرگونی همبری دارد. مذاب حاصل از ذوب بخشی همه سیالهای آبدار موجود در محل ذوب را مصرف کرده و در نتیجه باعث کاهش فعالیت آب و تغییر شرایط تعادل فازی سنگ جامد باقیمانده می شود (Moazzen et al., 2001). از تحولات فیزیکی حاصل از آنانتکسی می توان به تغییر شکل جریان (rheology) سنگهای ذوب شده اشاره کرد که تأثیر زیادی در جایگیری توده دارد.

فشار هاله دگرگونی کلیبر با استفاده از نمودار سنگ‌زایی سنگهای رسی حدود 1 ± 3 Kbar محاسبه شده است (حاجی علی اوغلی، ۱۳۸۰؛ Moazzen & Haji Alioghli, 2002). این فشار معادل با ژرفای 3 ± 9 Km می‌باشد. بیشینه دمای دگرگونی هاله مذکور حدود 750°C - 700°C به دست آمده است (حاجی علی اوغلی، ۱۳۸۰؛ Haji Alioghli, 2002). به دلیل این که گرادیان دمای دگرگونی همبری دارای شیب تند است لذا بیشینه دمای به دست آمده برای هاله مذکور اهمیت موضعی دارد در صورتی که فشار محاسبه شده برای آن اهمیت ناحیه‌ای داشته و در یک مقیاس وسیع برای سنگهای منطقه صدق می‌کند. فشار محاسبه شده 3 Kbar برای هاله نشان می‌دهد که احتمالاً در زمان جایگیری توده ستبرای پوسته قاره‌ای حدود 9 Km بوده است. با توجه به این که محاسبه فشار از قسمتهای مختلف توده (به علت عدم وجود پاراژنز مناسب) در دست نیست، لذا نمی‌توان احتمال کج شدگی (tilting) توده در هنگام نفوذ را بررسی کرد. مطالعه کالک-سیلیکات‌ها در هاله کلیبر نشان می‌دهد که مجموعه کانی این سنگها فاقد گرافیت و دیگر کانیهای کلردار و فلئوئردار است. لذا احتمالاً ترکیب سیالها در طی فرایندهای دگرگونی $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ بوده است (حاجی علی اوغلی، ۱۳۸۰؛ Haji Alioghli, 2002). با استفاده از واکنشهای تعادلی چندگانه (multiple equilibrium) X_{CO_2} در هاله کلیبر در حدود 0.2 محاسبه شده است (Moazzen & Haji Alioghli, 2002). مشخص کردن ترکیب واقعی سیال ($\text{X}_{\text{CO}_2} \sim 0.2$) در هاله کلیبر کاربرد مهمی در مطالعه واکنشهای دگرگونی با حضور فاز سیال (fluid-present) و فرایندهای ذوب بخشی هاله دارد. لازم به ذکر است که سیستم دگرگونی همبری در سنگهای رسی و نیمه رسی هاله دگرگونی کلیبر به صورت بسته در نظر گرفته شده است. توده نفوذی، تنها اثر گرمایی بر سنگهای هاله داشته است و سیالهای حاصل از توده اثری بر تعادل کانی‌شناسی سنگهای دگرگونی نداشته‌اند. بدین ترتیب، ترکیب سیال بحث شده در فوق تنها مربوط به سیالهای سیستم بسته سنگهای هاله می‌باشند نه ترکیب سیالهای منتشر شده از توده. همچنین باید اضافه کرد از آنجا که ترکیب سیال محاسبه شده برای سنگهای اوج دگرگونی همبری و نزدیک به توده می‌باشد (جایی که ذوب بخشی سنگهای دگرگونی اتفاق افتاده است) احتمال می‌رود که در نقاط دیگر هاله ترکیب سیال کمی متفاوت باشد.

آنانکسی در هاله دگرگونی کلیبر

میگماتیتهای کلیبر در همبری هورنفلسهای رسی با سنگهای نفیلین سینیتی و نفیلین گابرویی در بخش شمالی و جنوب خاوری هاله تشکیل در مقیاس میلی‌متری تشکیل شده‌اند. ستبرای هاله‌ای که متحمل ذوب بخشی

آتشفشانی بازی کراتاسه، فوران سنگهای آتشفشانی تفریتی آنالسیم‌دار، نفوذ توده نفیلین سینیت و فوران سنگهای آتشفشانی بازی کواترنری (باباخانی و همکاران، ۱۳۶۹، باباخانی، ۱۳۶۰، حاجی علی اوغلی، ۱۳۸۰؛ ضرغامی و شهبازی، ۱۳۷۲؛ Lescuyer & Riou, 1976). توده نفوذی نفیلین سینیت کلیبر با وسعت 70 km^2 بزرگ‌ترین توده نفوذی فلدسپاتوئیددار در شمال آذربایجان و احتمالاً ایران است. این توده از نظر ترکیب کانی‌شناسی ناهمگن بوده و از انواع سنگهای آذرین شامل نفیلین سینیت، نفیلین گابرو، سینیت و به‌طور پراکنده میکرودیوریت، دیوریت و مونزودیوریت تشکیل شده است. ترکیب بیشتر سنگها نفیلین سینیتی بوده و برونزد نفیلین گابرو به صورت نواری با پهنای حدود 3 km فقط در حاشیه جنوبی توده نفوذی مشاهده شده است (باباخانی و همکاران، ۱۳۶۹). با نفوذ توده نفیلین سینیت در ائوسن پسین - الیگوسن سنگهای رسوبی - آتشفشانی کراتاسه دگرگون شده و هاله دگرگونی با پهنای بیش از یک کیلومتر در اطراف آن ایجاد شده است. پروتولیت سنگهای دگرگونی همبری، از قبل به صورت ناحیه‌ای دگرگون نشده‌اند و یا دگرگونی ناحیه‌ای بسیار ضعیفی را تحمل کرده‌اند (حاجی علی اوغلی، ۱۳۸۰). در محل همبری نفیلین سینیت با سنگهای دگرگونی رسی - نیمه رسی پدیده ذوب بخشی در مقیاس کوچک اتفاق افتاده است. مطالعات سیستماتیک سنگهای دگرگونی هاله کلیبر طی چندین پیمایش در حاشیه خاوری، جنوب خاوری، شمال و شمال باختری آن انجام شد (حاجی علی اوغلی، ۱۳۸۰). شکل ۱ توده نفوذی نفیلین سینیت کلیبر و هاله دگرگونی آن را نشان می‌دهد.

شرایط دگرگونی همبری در هاله کلیبر

همان‌گونه که ذکر شد، سنگهای رسی، کالک سیلیکات، آهکی و مافیک در هاله دگرگونی همبری کلیبر به ستبرای تقریبی 1 کیلومتر دگرگون شده‌اند. به علت این که این سنگها به‌صورت متناوب قرار دارند، امکان دنبال کردن یک واحد رسی از بیرون هاله (قسمت دگرگون نشده) تا همبری آذرین و در نتیجه امکان تعیین توالی بدون وقفه زونهای کانی‌شناسی و واکنشهای دگرگونی در هاله وجود ندارد. برای مثال در شرایط ترمودینامیکی تشکیل آندالوزیت، قبل از زون سیلیمانیت در هاله کلیبر سنگ رسی وجود ندارد و اغلب سنگها ماسه‌ای (psammitic) هستند. به علت این کنترل شیمیایی، در سنگ آندالوزیت مشاهده نمی‌شود هر چند از نظر شرایط دما و فشار امکان تشکیل آن وجود داشته است. همین امر سبب گردیده است که سنگهای رسی با درجه کمتر از زون بیوتیت - کوردیریت نیز در هاله یافت نگردند (Moazzen & Haji Alioghli, 2002).

این کانیها معمولاً نسبت به کانیهای فرومیزین بخش مزوسوم درشت تر و شکل دارتر تشکیل شده اند (حاجی علی اوغلی، ۱۳۸۰) که علت آن فضای بیشتر برای رشد ارتوپروکسن آذرین در محیط ماگمای آناتکسی است. مقدار بیوتیت در سنگهای دارای ارتوپروکسن کمتر است و یا وجود ندارد زیرا ارتوپروکسن حاصل شکست بیوتیت است. (به قسمت واکنشهای دگرگونی مراجعه کنید).

- قسمتهای ذوب شده بافت گرانوفیری نشان می دهند (شکل ۲-d).

بر اساس مقایسه بافتی فوق، تشکیل لوکوسومهای هاله کلیپر به تبلور از مذاب نسبت داده می شود که این خود با ویژگیهای بافتی بسیاری از لوکوسومهای حاصل از ذوب بخشی مطابقت دارد (Moazzen, 1999; Powell & Downes, 1990; Waters & Whales, 1984).

ج) شواهد کانی شناسی ذوب بخشی

- کوارتز و فلدسپار پتاسیم، عمده ترین کانیهای تشکیل دهنده لوکوسومها هستند و کانیهای فرومیزین بیوتیت، کلدیریت، ارتوپروکسن و کانیهای تیره (اپک) یا وجود ندارند و یا بسیار کم دیده می شوند.

- بیوتیت های نیمه شکل دار و به نسبت درشت به همراه کوارتز و فلدسپار پتاسیم در بخش لوکوسوم حاصل تبلور از مذاب است. بلورهای کوچک مسکوویت و کلریت در لوکوسوم احتمالاً از دگرگونی پسروده بیوتیت تشکیل شده اند (شکل ۲-b).

- مطالعات سنگ نگاری لوکوسومها در هاله کلیپر نشان می دهد که ترکیب سنگ شناسی لوکوسومها به احتمال مشابه لوکوگرانیت (هاپلوگرانیت) تا گرانیت حاصل از ذوب بخشی است و با منشأ تبلور از مذاب مطابقت دارد. مطالعات تجربی نشان داده است که ترکیب شیمیایی مذابهای حاصل از آناتکسی سنگهای رسی، معمولاً گرانیتی است

(Clemens & Wall, 1981; Clemens & Vielzeuf, 1987; Patino Douce & Johnstone, 1991; Stevens et al., 1997; Vielzeuf & Holloway, 1988).

د) شواهد توزیعی ذوب بخشی در سنگها

لوکوسومها تنها در سنگهای رسی - نیمه رسی دیده می شوند و در سنگهای مافیک و آهکی مجاور یافت نمی شوند. این مطلب احتمال تشکیل لوکوسوم را به علت نفوذ رگه های تأخیری در سنگها رد کرده و کنترل شیمیایی سنگ اولیه در وقوع ذوب بخشی را تأیید می کند و نشان می دهد که در هاله کلیپر، تنها سنگهای رسی - نیمه رسی که دمای ذوب پایین تری نسبت به سنگهای

و میگماتیته شدن گردیده، حدود ۵۰ تا ۱۰۰ متر است. بدین معنی که لوکوسومهای حاصل از ذوب تا فاصله حداکثر ۱۰۰ متری همبری آذرین دیده می شوند. این میگماتیته دارای بخش روشن به صورت رگه ای و قطره ای با کانیهای دانه درشت کوارتز و فلدسپار پتاسیم (لوکوسوم) و بخش تیره با بافت گرانوبلاستیک هورنفلسی و کانیهای تیره Fe و Mg دار (مزوسوم) هستند. لوکوسومهای هاله کلیپر در اثر ذوب بخشی سنگهای رسی - نیمه رسی تشکیل شده اند. شواهد دال بر ذوب بخشی این سنگها به قرار زیر است.

الف) شواهد ماکروسکوپی ذوب بخشی

قسمتهای ذوب شده به شکل رگه و قطره است. این رگه ها و قطره ها به توده های آذرین کلیپر مرتبط نبوده بلکه به صورت منقطع و منفصل تشکیل شده اند. این امر امکان تریق رگه ها از توده های آذرین منطقه را رد می کند. رگه ها ترکیب گرانیتی دارند در حالی که در پرونده های سنگهای آذرین منطقه کلیپر سنگهای گرانیتی مشاهده نمی شوند. همچنین با توجه به ویژگیهای ساختی لوکوسومها، امکان تشکیل آنها از منشأ تفریق دگرگونی در حالت جامد منتفی می شود. زیرا لوکوسومها با مزوسومها به صورت متناوب و متوالی دیده نمی شوند.

ب) شواهد میکروسکوپی ذوب بخشی

- بافت لوکوسومها با تبلور از مذاب مطابقت دارد در صورتی که مزوسومها بافت تبلور در حالت جامد را نشان می دهند.

- بافت لوکوسومها آذرین دانه درشت است ولی بافت مزوسومها گرانوبلاستیک هورنفلسی دانه ریز تا دانه متوسط بوده و متمایز از بافت آذرین لوکوسومها است (شکل ۲-a).

- شکل دانه ها و اندازه آنها در لوکوسوم و مزوسوم متفاوت است. در لوکوسوم، فلدسپار پتاسیم شکل دار تا نیمه شکل دار بوده و گاهی حالت ابری نشان می دهد (شکل ۲-b). ظهور فلدسپار پتاسیم ابری که به علت دگرسانی آن توسط سیالهای ماگمای آناتکسی تشکیل شده، شاهدی بر تبلور آن از منشأ مذاب است (Pattison & Harte, 1988). کوارتز بی شکل بوده و با بافت بین دانه ای (interstitial) فضای بین فلدسپارهای پتاسیم را پر کرده است. خاموشی پیوسته دانه های کوارتز بی شکل، تبلور آن از مذاب در طی مراحل نهایی تبلور را نشان می دهد (پس از تبلور تعداد زیادی از فلدسپارهای پتاسیم) به طوری که بلورهای کوارتز شکل حوضچه های مذاب را به خود گرفته اند. - در لوکوسومهای دارای کانیهای فرومیزین بیوتیت و ارتوپروکسن (شکل ۲-c)،

آهکی و بازی داشته‌اند، به صورت بخشی ذوب شده‌اند.

سنگ‌نگاری لوکوسومها در هاله کلیبر

پاراژنهای دگرگونی سنگهای رسی - نیمه رسی در هاله کلیبر عبارتند از پاراژنهای بدون کردیریت و بیوتیت (سنگهای دگرگون نشده)، پاراژنهای با بیوتیت و کردیریت، پاراژنهای با سیلیمانیت، پاراژنهای با کوندوم و اسپینل (در سنگهای فاقد کوارتز)، پاراژنهای با ارتوپیروکسن و مجموعه کانیهای دیگر با مذاب (حاجی علی اوغلی، ۱۳۸۰؛ Moazzen & Haji Alioghli, 2002). جدول ۱، مجموعه کانیهای دگرگونی رسی - نیمه رسی در هاله کلیبر را نشان می‌دهد. علائم اختصاری استفاده شده برای کانیها از Kretz (1983) است. سنگهای رسی در درجه دگرگونیهای بالا و در نزدیکی همبری به علت گرمای حاصل از توده به صورت بخشی ذوب شده‌اند. بر اساس ترکیب کانی‌شناسی قسمتهای ذوب شده، لوکوسومهای هاله کلیبر در سه گروه تقسیم بندی شده‌اند:

۱- لوکوسومهای دارای کوارتز + فلدسپار پتاسیم: در این لوکوسومها فلدسپار قلیایی به صورت شکل دار تا نیمه شکل دار بوده و کوارتز نازک لایه فیلمی شکل (film) فضای بین فلدسپارهای پتاسیم را پر کرده است. این گروه از لوکوسومها احتمالاً حاصل ذوب بخشی سنگهای سامیتی (psammitic) هستند.

۲- لوکوسومهای دارای کوارتز + فلدسپار پتاسیم + بیوتیت ± مسکوویت: فلدسپار پتاسیم شکل دار با بافت پرتیتی در لوکوسوم مشاهده می‌شود. فلدسپار پتاسیم مقداری به مسکوویت دگرسان شده است. کوارتز بی شکل یا آمیبی شکل با بافت بین بلوری (interstitial) فواصل بین کانیهای فلدسپار پتاسیم را پر کرده است.

۳- لوکوسومهای دارای کوارتز + فلدسپار پتاسیم + بیوتیت + ارتوپیروکسن: در این لوکوسومها کوارتز و فلدسپار پتاسیم بافت گرانوفیری نشان می‌دهند. ارتوپیروکسنهای حاصل از ذوب بخشی در بخش لوکوسوم، دانه درشت تر از ارتوپیروکسنهای تشکیل شده در بخش مزوسوم هستند (حاجی علی اوغلی، ۱۳۸۰).

جدول ۲ ترکیب کانی‌شناسی لوکوسومهای حاصل از آناتکسی هاله کلیبر را نشان می‌دهد.

واکنشهای ذوب در هاله کلیبر

بر اساس پاراژنهای دگرگونی سنگهای رسی - نیمه رسی هاله کلیبر، می‌توان ۶ زون کانی‌شناسی را برای سنگهای این منطقه در نظر گرفت:

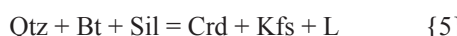
(I) زون بیوتیت - کردیریت، (II) زون آندالوزیت - فلدسپار پتاسیم، (III) زون سیلیمانیت، (IV) زون اسپینل - کوندوم (در سنگهای فاقد کوارتز)، (V) زون مذاب و (VI) زون ارتوپیروکسن. روابط فازی کانیهای KFMASH نمونه‌های مطالعه شده از زونهای مختلف هاله کلیبر، در نمودارهای AFM و SFM شکل ۳ نشان داده شده است (حاجی علی اوغلی، ۱۳۸۰؛ Moazzen & Haji Alioghli, 2002). جدول ۳ نیز واکنشهای دگرگونی در سنگهای رسی - نیمه رسی هاله کلیبر را نشان می‌دهد (حاجی علی اوغلی، ۱۳۸۰؛ Moazzen & Haji Alioghli, 2002).

واکنشهای احتمالی ذوب در هاله کلیبر با توجه به کانی‌شناسی لوکوسومها به صورت زیر است (برای سادگی ضرایب تعداد مول هر فاز نوشته نشده است).

۱) واکنشهای ذوب با حضور سیال آزاد (fluid - present)



۲) واکنشهای ذوب بدون حضور سیال آزاد (fluid-absent)



در هاله کلیبر واکنشهای ذوب بدون حضور سیال آزاد (fluid-absent) مهم‌ترین واکنشهای ذوب در دگرگونیهای درجه بالا را تشکیل می‌دهند. مجموعه کانیهای درجه بالا در بخش لوکوسوم مانند مجموعه کانیهای دارای ارتوپیروکسن احتمالاً از شکست بیوتیت توسط واکنشهای ذوب بدون حضور سیال آزاد (fluid-absent) (واکنش ۴) تشکیل شده‌اند. حضور مجموعه کانیهای درجه بالا در سنگهای دگرگونی رسی عمدتاً با تشکیل مذاب همراه هستند (Kerrick, 1991).

ذوب بخشی در هاله کلیبر در مقیاس وسیع انجام نشده است، عوامل احتمالی محدود کننده ذوب بخشی در هاله کلیبر عبارتند از:

- کمبود آب - برای ادامه واکنشهای ذوب با حضور فاز سیال آزاد (fluid-present) در زونهای فلدسپار پتاسیم، سیلیمانیت و ارتوپیروکسن (واکنشهای ذوب ۱، ۲، ۳). در این حالت مذاب به همراه کانیهای سمت چپ واکنش (کانیهای واکنشگر) در لوکوسوم مشاهده می‌شود که به گمان نشانگر تمام شدن واکنشگر آب است.

- مصرف شدن تمامی سیلیمانیت توسط واکنشهای ذوب در زون سیلیمانیت

منطقه قبلاً به صورت ناحیه‌ای دگرگون نشده‌اند و همبری بین آنها و سنگهای آذرین مشخص است.

- سنگهای رسی با ترکیب شیمیایی مناسب در نزدیکی همبری دچار ذوب بخشی شده‌اند. مقیاس ذوب بخشی وسیع نبوده و در حد مزوسکوپی تا میکروسکوپی است. بخش روشن لوکوسومها بیشتر از کانیهای کوارتز و فلدسپار پتاسیم تشکیل شده و دارای بافت آذرین با کانیهای فلدسپار پتاسیم شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و کوارتز بی شکل در بین آنهاست. تفاوت‌های بافتی بین بخش روشن و تیره (بخش روشن بافت آذرین و بخش تیره بافت هورنفلسی دارد)، ترکیب کانی‌شناسی بخش روشن (به‌طور عمده کوارتز و فلدسپار پتاسیم) و توزیع مذاب در سنگهایی با ترکیب شیمیایی مناسب (سنگهای با نقطه ذوب پایین یا سنگهای رسی و نیمه رسی) همگی منشأ آتانتکسی بخشهای روشن لوکوسومها را تأیید می‌کنند.

- واکنشهای ذوب در حضور فاز سیال آزاد احتمالاً با شروع ذوب، تمامی سیال آزاد در هاله را مصرف کرده و در نتیجه ادامه ذوب بخشی توسط واکنشهای ذوب بدون حضور فاز سیال آزاد انجام شده است. به‌احتمال مجموعه کانیهای درجه بالا مانند مجموعه کانیهای دارای ارتوپروکسن در هاله در اثر از بین رفتن بیوتیت توسط واکنشهای بدون حضور فاز سیال آزاد تشکیل شده‌اند. حضور بخشهای ذوب شده در این سنگها این نکته را تأیید می‌کند.

- لوکوسومهای هاله کلیبر از لحاظ ساختی به شکل رگه‌ای و قطره‌ای هستند. لوکوسومهای رگه‌ای حاصل شکستگی مزوسومهای هورنفلسی و نفوذ مذاب در آنها در نتیجه ΔV مثبت واکنشهای ذوب بدون حضور فاز سیال آزاد می‌باشند، در صورتیکه لوکوسومهای قطره‌ای شکل در اثر واکنشهای ذوب در حضور فاز سیال آزاد و بدون افزایش حجم و در نتیجه بدون ایجاد شکستگی تشکیل شده‌اند.

تشکر و قدردانی

این تحقیق توسط دانشگاه تبریز حمایت شده است. نظرات بسیار سازنده دکتر مسیب سبزه‌ئی که متن اولیه این مقاله را مطالعه فرمودند باعث ارتقای علمی آن شد. بدین وسیله کمال تشکر خود را از ایشان ابراز می‌داریم.

(واکنشهای ذوب ۵، ۲). در این حالت در بخش لوکوسوم سیلیمانیت مشاهده نمی‌شود که احتمالاً نشان می‌دهد ادامه ذوب بخشی به علت مصرف شدن تمامی سیلیمانیت متوقف شده است.

- کمبود کوارتز برای ادامه واکنشهای ذوب در درجه دگرگونیهای خیلی بالا در زون ارتوپروکسن (واکنش ۵). در این حالت تمامی کوارتز مصرف شده و بیوتیت مازاد بر نیاز واکنشهای ذوب بدون حضور فاز سیال آزاد به همراه ارتوپروکسن در لوکوسوم مشاهده می‌شوند. به‌دلیل این که گرمای لازم برای ذوب سنگهای فاقد کوارتز بالاتر است، این امر می‌تواند عامل توقف ذوب بوده باشد.

بررسی ساخت لوکوسومها در هاله کلیبر

ساخت لوکوسومهای هاله کلیبر به دو صورت رگه‌ای و قطره‌ای می‌باشد که نوع آن بستگی به عوامل کنترل کننده تشکیل آنها دارد. در واکنشهای ذوب بدون حضور فاز سیال آزاد، تمام فازها در سمت چپ واکنش (واکنشگرها) جامد هستند در حالی که در قسمت راست واکنش (محصولات) فازهای جامد و مذاب (ذوب نامتجانس) و یا تنها فاز مذاب (ذوب متجانس) وجود دارد. به دلیل این که حجم مولی مذاب حاصل، از حجم مولی مواد جامد اولیه بیشتر است لذا ΔV (اختلاف حجم) واکنشهای ذوب بدون حضور فاز سیال آزاد مثبت است (Clemens & Droop, 1998). این امر باعث ایجاد فشار به علت ذوب شده و می‌تواند منجر به ایجاد شکستگی در سنگ و نفوذ مذاب تشکیل شده در امتداد این شکستگیها به صورت رگه شود. در چنین حالتی لوکوسومهای رگه‌ای تشکیل می‌شود. پایین بودن نفوذ پذیری هورنفلسهای درجه بالا به این امر کمک می‌کند. این نوع شکستگیها مشابه شکستگی سنگهاست که در نتیجه افزایش فشار سیال آبدار در اثر نیروی فشار آب یا hydrofracturing ایجاد می‌شود (Nicolas & Jackson, 1982). در صورتی که در واکنشهای ذوب در حضور فاز سیال آزاد به علت وجود آب در بین واکنشگرها ΔV واکنش منفی است. به دلیل این که حجم مولی بخار آب بسیار زیاد است در نتیجه حجم مولی مواد سمت چپ واکنش (واکنشگرها) بیشتر از حجم مولی مواد سمت راست واکنش (مذاب) بوده و لذا چنین واکنشهایی نمی‌توانند باعث ایجاد فشار به علت ذوب شوند. بنابراین لوکوسوم نوع قطره‌ای تشکیل می‌شود.

نتیجه گیری

- توده نفوذی نفیلین سینیت و نفیلین گابروی کلیبر عامل اصلی و منبع گرمایی دگرگونی همبری و ذوب بخشی سنگهای هاله است. سنگهای دگرگونی

جدول ۱ - مجموعه کانیهای دگرگونی در سنگهای رسی - نیمه رسی هاله دگرگونی همبری کلیبر،

O=Minor Phase ، *=XRD ، L=Partial melting, X=Major phase

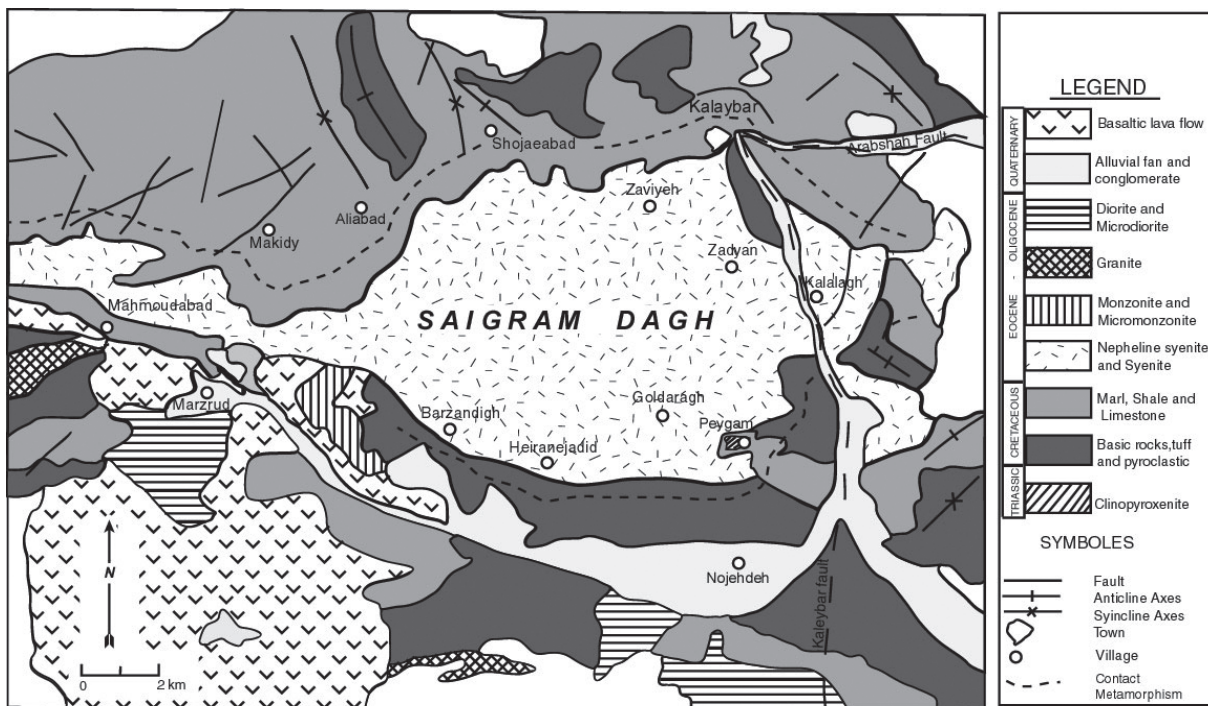
Sample No.	G.R.	Chl	Bt	Ms	Qtz	Crd	Kfs	Sil	Crn	Spl	Opx	L	Pl	Zrc	Tur	Ore	Gr	Apa
RH36	47003851	X			X								O			O	O	
RH26	47033846	X		X	X													
RH69A	46563849	X	X	X	X	X							O	O		O		
RH35	47003851		X	X	X	X								O				
RH67Ab	46563849		X	X	X	X								O		O	O	
RH67Bb	46563849	O	X	X	X	X							O		O	O	O	
RH44A	46573851		X	X	X	X	X						O			O	O	
RH19*	47033846		X		X	X	X						O	O	O	O	O	O
RH65C*	46563849		X		X	X?	X											
RH20B	47033846		X		X	X?	X								O	O		
RH34	47003851		X		X	X	X							O	O		O	
RH18B	47033846		X		X	X	X					L	O	O	O	O		O
RH29*	46583851		X		X	X	X	X?					O			O	O	
RH31A	46593851		X		X	X	X	X					O	O	O	O	O	O
RH31B	46593851		X		X	X	X	X					O	O	O	O	O	O
RH32	46593851		X		X	X	X	X				L	O	O	O	O	O	O
RH41*	46573851		X			X	X		X	X			O	O		O	O	O
RH22B	47033846				X	X	X				X?	L		O	O	O		O
RH53*	46583851		X		X?	X	X				X	L		O		O		

جدول ۲ - کانی شناسی لوکسومها در هاله دگرگونی همبری کلیبر. X کانی اصلی و O کانی فرعی.

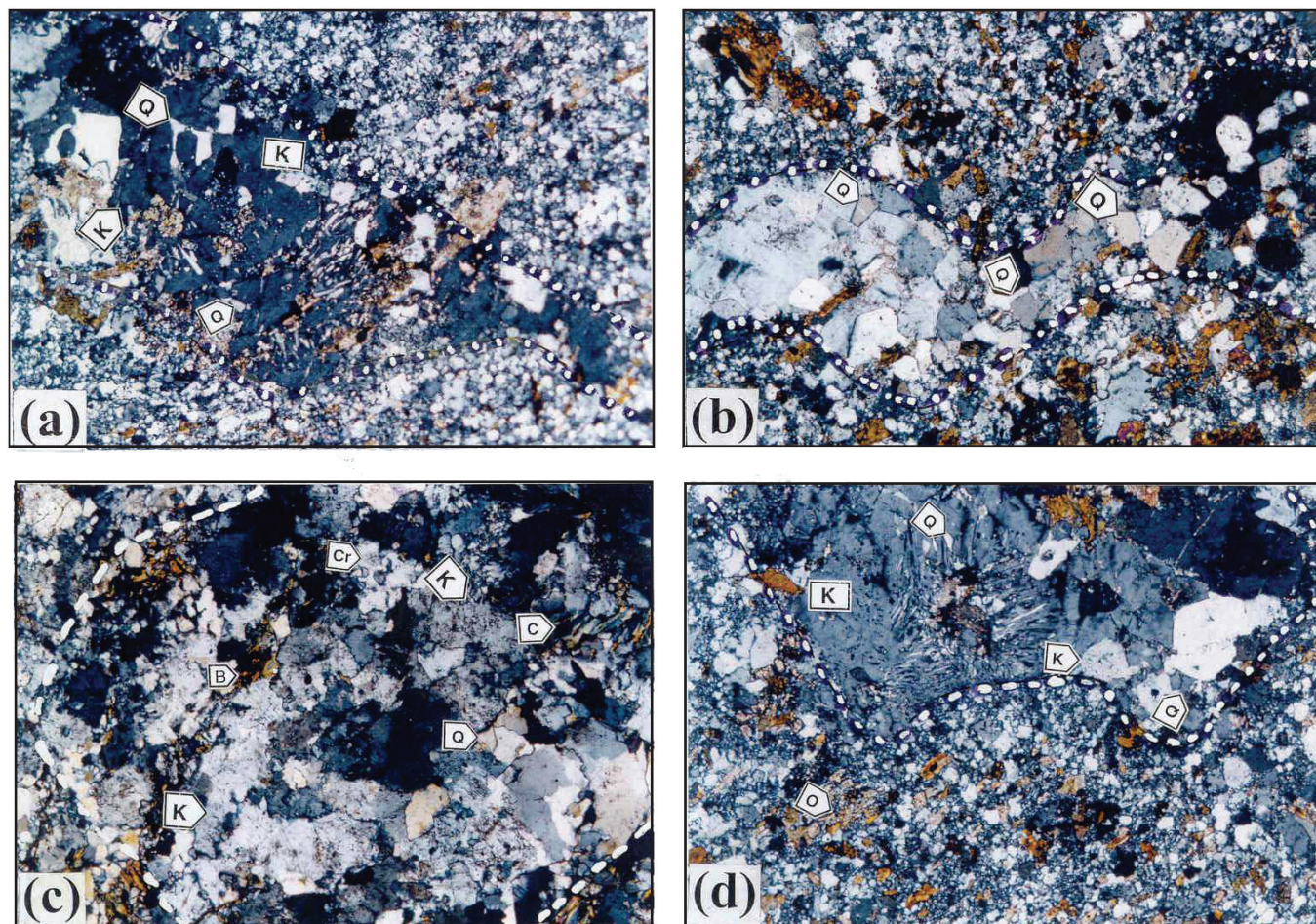
Sample No.	G.R.	Qtz	Kfs	Bt	Opx	Ab	Crd	Chl	Ms	Ore	Texture
RH18B	47033846	X	X			X		O	O	O	Interstitial-Perthitic
RH53	46583851	X	X	X	X	X	X?			O	Interstitial-granophyric
RH20	47033846	X	X								Interstitial
RH18F	47033846	X	X								Interstitial
RH22B	47033846	X	X	X				O		O	Interstitial
RH32	46593851	X	X								Interstitial

جدول ۳ - مجموعه کانیها و واکنشهای دگرگونی در سنگهای رسی - نیمه رسی دارای کوارتز و فاقد کوارتز

تیپ سنگ	واکنشها و اسمبلاژهای دگرگونی	زون کانی شناسی
سنگهای رسی کوارتز دار در تمامی درجات دگرگونی	$Qtz+Chl+Ms+Pl$	زون موسکویت
	$Qtz+Chl+Ms+Bt+Crd$ $Qtz+Ms+Bt+Crd$	زون بیوتیت - کردیریت
	$Ms+Chl+Qtz=Crd+Bt+H_2O$	
	$Qtz+Bt+Kfs+Crd$ $Ms+Bt+Qtz=Kfs+Crd+H_2O$ $Qtz+Bt+Kfs+Crd+L$ $Crd+Kfs+Qtz+Pl+H_2O=L$ (ذوب متجانس)	زون فلدسپارتاسیم
	$Qtz+Bt+Crd+Kfs+Sil$ $Ms+Qtz=Kfs+Als+H_2O$ $Sil=And$ $Bt+sil+Qtz=Crd+Kfs+L$ (ذوب نامتجانس) $Qtz+Kfs+Crd+Sil+H_2O=L$ (ذوب متجانس)	زون سیلیمانیت
	$Qtz+Crd+Kfs+Opx+L$ $Qtz+Bt+H_2O=Opx+L$ (ذوب نامتجانس) $Qtz+Bt=Opx+Kfs+Crd+L$ (ذوب نامتجانس)	زون ارتوپیروکسن
	$Crd+Bt+Kfs+Crn+Spl$	زون اسپینل - کروندوم
	$Bt+Sil=Spl+Crn+Crd+Kfs+H_2O$	
سنگهای رسی فاقد کوارتز در درجه دگرگونی بالا		



شکل ۱ - هاله دگرگونی همبری در سنگهای رسی، آهکی و مافیک منطقه کلیبر.

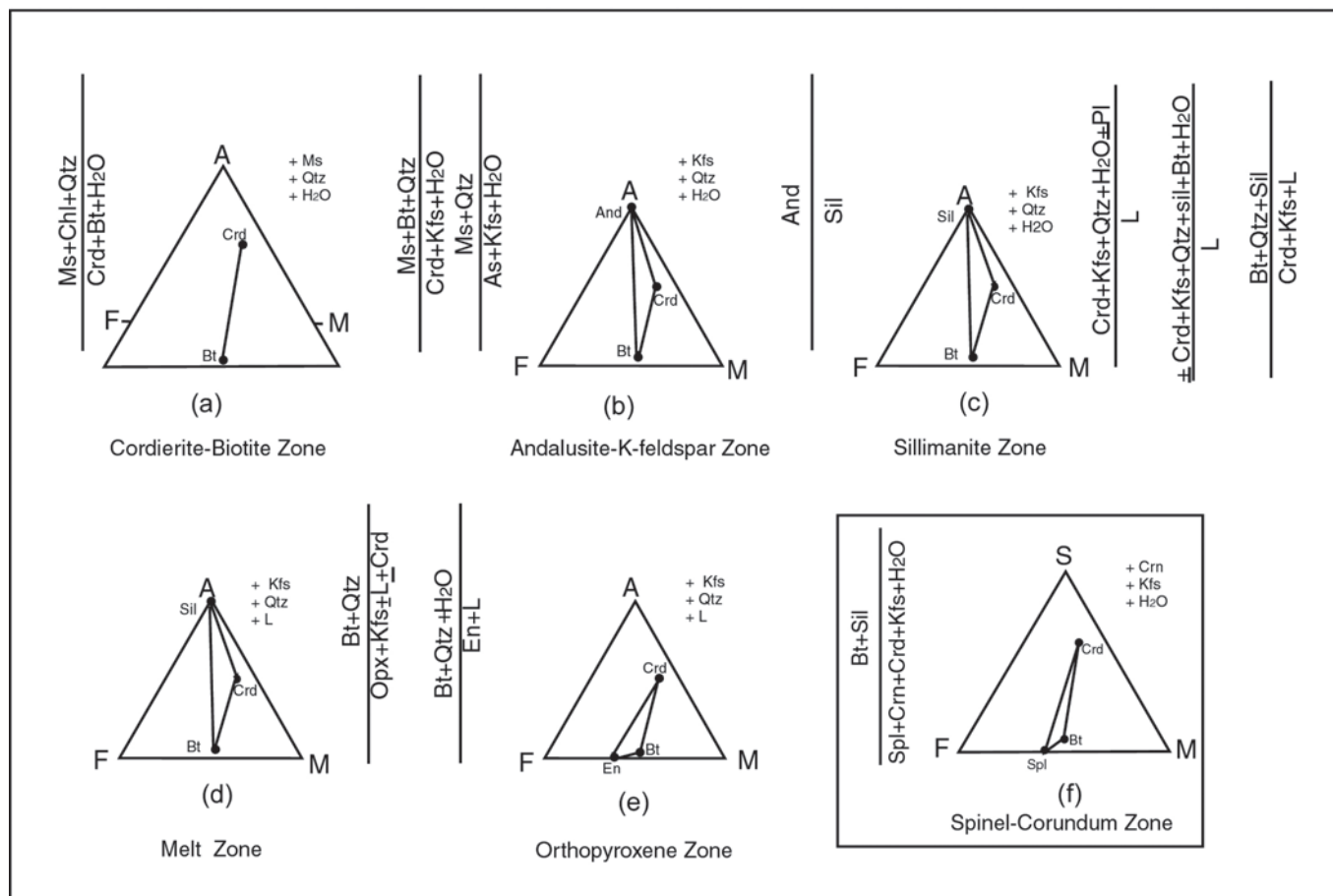


شکل ۲-ا) تفاوت بافتی بین لوکوسوم (آذرین) و مزوسوم (دگرگونی). در لوکوسوم بافت گرانوفیری و بافت بین بلوری در کوارتز مشاهده می شود. کوارتز (Q)، فلدسپارپتاسیم (K). نمونه RH53، حالت XPL، طول میدان دید ۵ میلی متر.

شکل ۲-ب) لوکوسوم رگه ای شکل با بافت آذرین و متشکل از کانیه های درشت فلدسپارپتاسیم شکل دار تا نیمه شکلدار (K) و کوارتز بیشکل (Q). نمونه RH53، حالت XPL، طول میدان دید ۵ میلی متر.

شکل ۲-ج) لوکوسوم قطره ای شکل با بافت آذرین. کوارتز (Q) به صورت بی شکل فضای بین فلدسپارهای پتاسیم (K) را پر کرده است. بیوتیت (B) در بخش لوکوسوم مقداری به کلریت (C) تجزیه شده است. نمونه RH18B، حالت XPL، طول میدان دید ۵ میلی متر.

شکل ۲-د) تفاوت بافتی لوکوسوم (بافت آذرین) با مزوسوم (بافت هورنفلسی). لوکوسوم دارای بافت گرانوفیری بوده و از کانیه های کوارتز (Q)، فلدسپارپتاسیم (K) و بیوتیت (B) تشکیل شده است ولی مزوسوم دارای بافت هورنفلسی بوده و از کانیه های دانه ریز کردیریت (Cr)، بیوتیت (B) و ارتوپیروکسن (O) تشکیل شده است. نمونه RH53، حالت XPL، طول میدان دید ۵ میلی متر.



شکل ۳ - روابط فازی و واکنشهای دگرگونی در سنگهای رسی - نیمه رسی هاله دگرگونی همبری کلیبر.

کتابنگاری

- باباخانی، ع.، لسکویه، ج. ل. و ریو، ر.، ۱۳۶۹ - شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش اهر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ۱۲۳ صفحه.
- باباخانی، ع.، ۱۳۶۰ - پتروگرافی و ژئوشیمی نفلین سینیتها و فنولیت‌های آذربایجان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- حاجی علی اوغلی، ر.، ۱۳۸۰ - بررسی دگرگونی مجاورتی سنگهای رسی و آهکی در هاله دگرگونی نفلین سینیت کلیبر و کاربرد نتایج در تفسیر تکامل پوسته منطقه مورد مطالعه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۶۰ صفحه.
- ضرغامی، م. و شهبازی، ش.، ۱۳۷۲ - ورمیکولیت (پیجویی و اکتشاف در کلیبر)، پایان نامه کارشناسی، دانشگاه تبریز، ۱۴۷ صفحه.
- مهرپرتو، م.، ۱۹۹۹ - نقشه زمین‌شناسی کلیبر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵ - دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۹ صفحه.

References

- Alcock, J. and Muller, P., 2000- Anatexis at 700 to 1000 MPa in the aureole of the Marcy anorthosite, Adirondack Highlands, New York. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 139, 43-654.
- Clemens, J. D. & Wall, V. J., 1981- Crystallisation and origin of some peraluminous (S-type) granitic magmas. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 14, 111-132.
- Clemens, J. D. & Vielzeuf, D., 1987- Constraints on melting and magma production in the crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 86, 287-306.
- Clemens, J. D. & Droop, G. T. R., 1998- Fluid, P-T paths and the fates of anatectic melts in the Earth's crust. *Lithos*, 44, 21-36.
- Grant, J. A. and Frost, B. R., 1990- Contact metamorphism and partial melting of pelitic rocks in the aureole of the Laramie anorthosite complex, Morton Pass, Wyoming. *American Journal of Science*, 290, 425-427.
- Harte, B., Pattison, D. R. M. and Linklater, C. M., 1991- Field relations and petrography of partially melted pelitic and semi-pelitic rocks: Equilibrium and kinetics in contact metamorphism: The Ballachulish igneous complex and its aureole. (eds. Voll, G., Topel, J., Pattison, D. R. M. and Seifert, F.). Springer-Verlag: Heidelberg.
- Kerrick, D. M., 1991- Overview of contact metamorphism. In: *Contact Metamorphism*, Kerrick, D. M. (ed.). *Reviews in Mineralogy*, 26, Mineralogical Society of America.
- Kretz, R., 1983- Symbols for rock forming minerals. *American Mineralogist*, 68, 277-279.
- Lescuyer, J. L. & Riou, R., 1976- *Geologie de la region de Mianeh (Azarbaijan). Contribution a l'etude du volcanisme tertiaire de l'Iran. These de 3eme cycle. Grenoble. 233P.*
- Moazzen, M., Droop, G. T. R. & Harte, B., 2001- Abrupt transition in H_2O activity in the melt – present zone of a thermal aureole: Evidence from H_2O contents of cordierites. *Geology*, 29, (4), 311-314.
- Moazzen, M., 1999- *Contact metamorphic Processes in the Etive aureole, Scotland Unpublished Ph. D. thesis, University of Manchester, 392 p.*
- Moazzen, M. & Hajialioghli, R., 2002- Pressure, temperature and fluid composition in the Kalaybar aureole, NW Iran; Mineral equilibria in metapelitic and calc-silicate rocks. *Journal of Crystallography and Mineralogy of Iran*, 10, 2, 179-195.
- Nicolas, A. & Jackson, M., 1982- High temperature dikes in peridotites: Origin by hydraulic fracturing. *Journal of Petrology*, 23, 568-582.
- Patiño Douce, A. E. & Johnstone, A. D., 1991- Phase equilibria and melt productivity in the pelitic system: implications for the origin of peraluminous granitoids and aluminous granites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 107, 202-218.
- Pattison, D. R. M. & Harte, B., 1988- Evolution of structurally contrasting anatectic migmatites in the 3-kbar Ballachulish aureole, Scotland. *Journal of Metamorphic Geology*, 6, 475-494.
- Pattison, D. R. M. & Harte, B., 1991- Petrography and mineral chemistry of pelites. In *Equilibrium and kinetics in contact metamorphism: The Ballachulish Igneous Complex and its aureole*. (eds. Voll, G., Topel, J., Pattison, D. R. M. and Seifert, F.). Springer-Verlag: Heidelberg.
- Platten, I. M., 1982- Partial melting of feldspathic quartzite around Late Caledonian minor intrusions in Appin, Scotland. *Geological Magazine*, 119, 413-419.

- Platten, I. M., 1983- Partial melting of semipelite and the development of marginal breccias around a late Caledonian minor intrusions in the Grampian Highlands of Scotland. *Geological Magazine*, 120, 37-49.
- Powell, R. & Downes, J., 1990- Garnet porphyroblasts-bearing leucosomes in metapelites: mechanisms, phase diagrams, and an example from Broken Hill, Australia. In: *High- temperature Metamorphism and Crustal Anatexis* (eds. Ashworth, J. R. & Brown, M.), pp.105-123, Unwin Hyman, UK.
- Sederholm, J. J., 1967- *Selected Works: Granites and migmatites*. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Stevens, G., Clemens, J. D. & Droop, G. T. R., 1997- Melt production during granulite-facies anatexis: experimental data from “primitive” metasedimentary protoliths. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 28, 352-370.
- Tuttle, O. F. & Bowen, N. L., 1958- Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 - H_2O . Geological Society of America, Memoir, 74.
- Vielzeuf, D. & Holloway, J. R., 1988- Experimental determination of the fluid- absent melting reactions in the elitic system: consequences for crusta differentiation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 98, 257-276.
- Waters, D. J. & Whales, C. J., 1984- Dehydration melting and the granulite transition in metapelites from southern Namaqualand, S. Africa. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 88, 269-275.