

ژئوشیمی توده نفوذی آیرکان، دایک‌های آپلیتی و آنکلاوهای موجود در آن (شمال شرق استان اصفهان)

حمیده بهارزاده*، قدرت ترابی*، جمشید احمدیان** و زهره ابراهیمیان*

* گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

** گروه زمین شناسی دانشگاه پیام نور اصفهان

چکیده

توده نفوذی آیرکان در شمال شهر خور و شمال شرق عروسان کوره گز قرار دارد و در تقسیمات زمین‌شناسی ایران جزئی از ایران مرکزی است. توده نفوذی، دایک‌های آپلیتی و آنکلاوها دارای ترکیب آلکالی گرانیت می‌باشند. در آلکالی گرانیتهای فوق، فلدسپار پتاسیم از نوع ارتوکلاز و میکروکلین، پلاژیوکلاز از نوع آلبیت و الیگوکلاز، کوارتز با خاموشی موجی، بیوتیت، مسکویت، زیرکن و آپاتیت وجود دارد. کلریت نیز از دگرسانی بیوتیت‌ها به وجود آمده است. توده نفوذی در بسیاری از بخش‌ها دارای برگوارگی و خرد شدگی است که در نگاه اول شبیه گنایس‌های چشمی است. اما بررسی‌ها نشان می‌دهد که بخش‌هایی از این توده نفوذی میلونیتی شده است. بررسی‌های ژئوشیمیایی نشانگر ماهیت کالک آلکالن و طبیعت پرآلومین و S-Type بودن گرانیتهای مورد مطالعه است. همچنین نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده همزمان با برخورد قرار گرفته‌اند. در بررسی‌های ژئوترموتری دماهایی که با استفاده از ترکیب فلدسپارها به دست آمده بسیار کمتر از دماهایی است که بیانگر محیط‌های آذرین می‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب فلدسپارها تحت تأثیر فرآیندهای ساب سولیدوس تغییر کرده است. بررسی بیوتیت‌های موجود در منطقه مورد بررسی دمای °C ۶۶۱-۶۳۲ را ارایه نموده است که بیانگر محیط آذرین می‌باشد. دماهای به دست آمده از ترمومتری کلریت‌ها در حدود °C ۱۸۸ می‌باشد که بیانگر دمای آلتراسیون بیوتیت‌ها است.

واژه‌های کلیدی: توده نفوذی آیرکان، دایک آپلیتی، آنکلاو، ژوراسیک میانی، عروسان کوره گز.

Geochemistry of Ayrakan Intrusion, Aplitic Dike and Enclaves (NE of Isfahan Province)

*H. Baharzadeh, *Gh. Torabi , ** J. Ahmadian, * Z. Ebrahimiyan
* Geology Department, the University of Isfahan
** Geology Department, the University of Payam-e-Nour, Isfahan

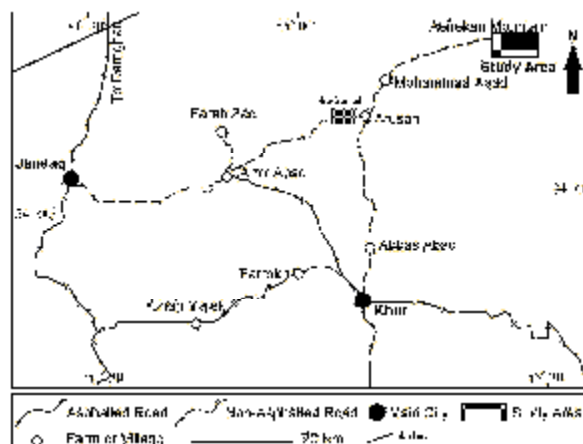
Abstract

The area of study is in the North of khur and North-East of Arusan-e-kur-e-Gaz, which in geology divisions is in Central Iran. In petrographic study intrusive body, aplitic dikes and enclaves are alkali granite. Minerals of alkali granites are K-feldspar (orthoclase and microcline), plagioclase (albite and oligoclase), quartz with undoluse straight extinction, biotite, muscovite, zircon and apatite. Chlorite is created by biotite alteration. Intrusive body has foliation in many parts that look like auegen gneiss in the first view. But investigations show that this intrusive mass is mylonitized. Geochemical investigation shows the nature of calc alkaline, peraluminous and S-type nature of understudy granitoids. Thus samples of studying area located in syncollision region. The temperature given by two feldspars thermometry, that is lower than temperature of igneous environment, present the sub-solidus changes of feldspars composition. Ti in biotite thermometry result 632-661°C for biotites of intrusive body, aplitic dikes and enclaves. The obtained temperatures reveal the igneous temperatures of biotite crystallization. In addition, chlorites of alkali granites display a temperature around 188°C. This temperature indicates the biotite alteration temperature.

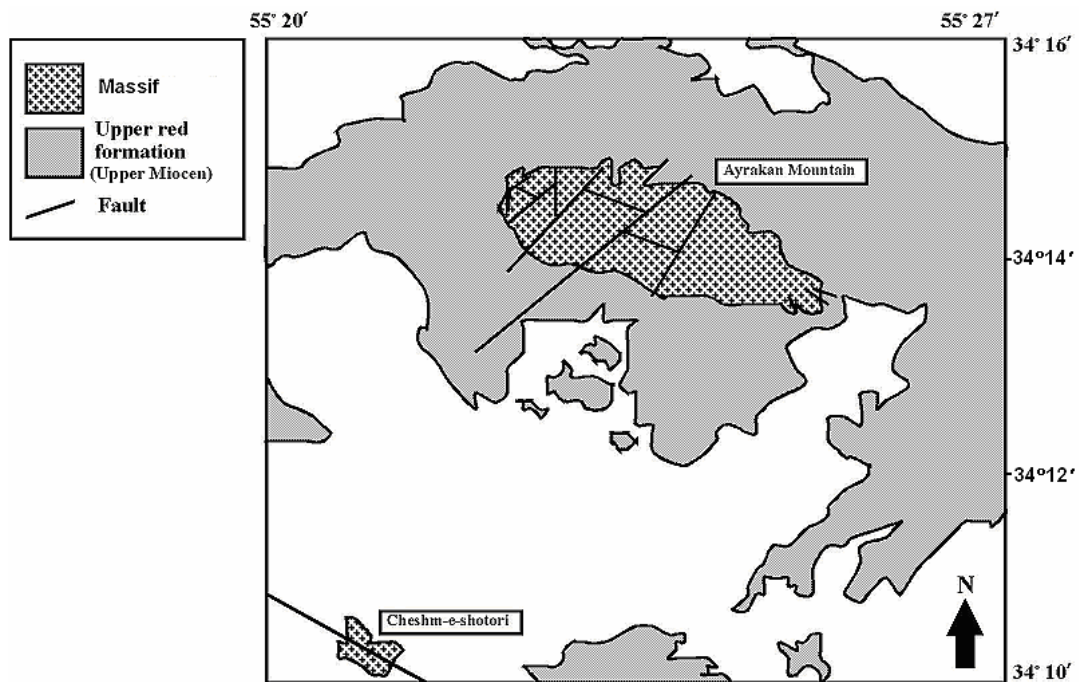
Keywords: Ayrakan intrusive, Aplitic dike, Enclave, Middle Jurassic, Arusan kur-e-Gaz.

مهمترین توده‌های نفوذی ژوراسیک میانی ایران مرکزی، شامل گرانیت شاه کوه، گرانیت آیرکان، گرانودیوریت کلاه قاضی و گرانیت اسماعیل آباد می‌باشد [۱ و ۲]. منطقه مورد بررسی در شمال شهر خور و شمال شرق عروسان کوره گز قرار دارد (شکل ۱ و ۲).

در پاره‌ای نواحی ایران، به ویژه البرز، ایران مرکزی، لوت و زون سنندج - سیرجان، توده‌های نفوذی کوچک و بزرگی شناسایی شده که در واحدهای رسوبی ژوراسیک تزریق شده و توسط رسوبات پیشرونده کرتاسه پایین با دگرشیبی آذرین پی پوشیده شده‌اند.



شکل ۱: نقشه راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه.

راقطع نموده است (شکل ۴). آنکلاوهایی نیز در توده نفوذی وجود دارد که تیره‌تر و ریز دانه‌تر از سنگ در بر گیرنده‌شان هستند و دارای حاشیه گرد شده می‌باشند (شکل ۵).

این ناحیه در تقسیمات زمین‌شناسی ایران در ایران مرکزی قرار دارد. در این منطقه توده نفوذی به سن ژوراسیک میانی، سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک را قطع کرده است (شکل ۳). دایک‌های آپلیتی نیز توده نفوذی



شکل ۳: نمای کلی از کوه آیرکان (نگاه به شمال).

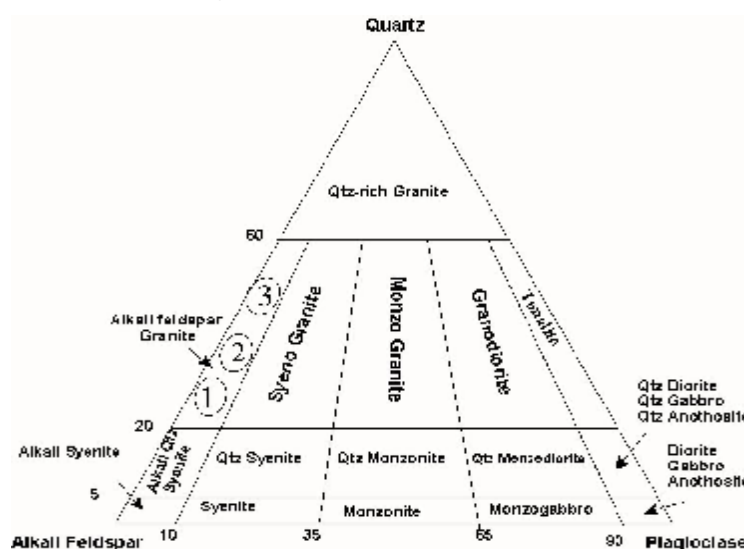


شکل ۵: وجود آنکلاوها در توده نفوذی که دارای

مرز مشخص و حاشیه های انحنادار می باشند.



شکل ۴: نفوذ دایک آپلیتی به درون توده نفوذی.



شکل ۶ موقعیت پتروگرافی آنکلاوها با شماره ۱، آلکالی گرانیت با شماره ۲ و دایک های آپلیتی با شماره ۳

در دیاگرام QAPF [۷] نمایش داده شده اند.

حاضر نشان می‌دهد که این توده نفوذی یک گرانیت گنایس نبوده و یک گرانیت میلوئیتی است و از آنجایی که این توده نفوذی سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک را قطع نموده است و قطعاتی از آن نیز در سازند چاه پلنگ با سن ژوراسیک بالایی دیده می‌شود، بنابراین سن آن‌ها می‌بایست پس از پالئوزوئیک و قبل از ژوراسیک بالایی باشد.

در این نوشته به مطالعه پترولوژی توده نفوذی، دایک‌های آپلیتی و آنکلاوهای موجود در آن پرداخته می‌شود.

در نوشتارهای مربوط به زمین‌شناسی ایران از این توده گرانیتی به عنوان گرانیت آیرکان نام برده می‌شود. سن این گرانیت با استفاده از روش $Rb-Sr$ ، 168 ± 8 میلیون سال یعنی ژوراسیک میانی تعیین شده است [۲]. اما تعیین سن بیوتیت و فلدسپارهای موجود در آن به روش $K-Ar$ 113 ± 9 میلیون سال یعنی کرتاسه زیرین می‌باشد [۲]، که احتمالاً نشان دهنده زمان دگرشکلی است. زمین‌شناسان روس [۵ و ۴ و ۳] در پروژه تکنواکسپورت، گرانیت آیرکان را یک گرانیت گنایس با سن پروتروزوئیک بالایی معرفی نمودند. اما بررسی

زمین‌شناسی عمومی منطقه

در ناحیه آیرکان توده نفوذی به سن ژوراسیک میانی، سنگ‌های دگرگونه پالئوزوئیک - پرکامبرین را قطع نموده است. دایک‌های آپلیتی نیز توده نفوذی را قطع نموده‌اند. در توده نفوذی دو سیستم گسل طولی و عرضی وجود دارد که تقریباً عمود بر هم می‌باشند. گسل‌های عرضی، بزرگ، عمیق و محدود ترند و روند آنها شمال شرق - جنوب غرب است. گسل‌های طولی، روند شمال غرب - جنوب شرق دارند و کوچک ترند و در امتداد طول توده نفوذی آیرکان قرار دارند. ارتباط تنگاتنگ سیستم‌های گسله مذکور با توده نفوذی می‌تواند مبین استقرار توده نفوذی از طریق این سیستم و تحمیل فرایند میلوئیتی شدن توسط آن باشد. امتداد گسل‌های طولی به گسل درونه می‌رسد و توده نفوذی آیرکان در جنوب گسل درونه قرار دارد. بخش‌هایی از توده نفوذی توسط سازند قرمز فوقانی با سن میوسن فوقانی پوشیده شده است. در داخل توده نفوذی آنکلاوهایی نیز وجود دارد که دارای مرز روشن با سنگ در برگیرنده هستند که ریز دانه و تیره‌تر از سنگ در برگیرنده‌شان هستند. دگرگونی‌های منطقه شامل شیست و مرمر می‌باشد.

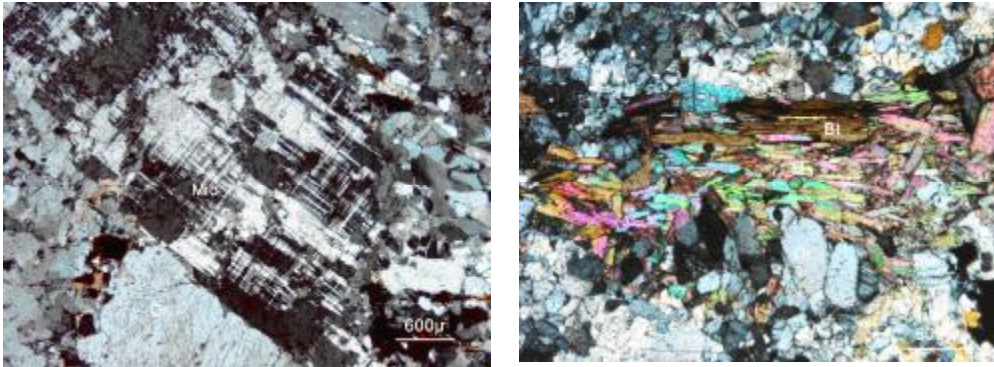
روش انجام کار

به منظور مطالعه توده نفوذی، دایک‌ها و آنکلاوها، بررسی صحرایی انجام گرفته و پس از نمونه‌برداری و تهیه مقاطع نازک صیقلی، نمونه‌های مناسب با استفاده از الکترون مایکروپروب Jeol مدل (JXA - WDS) 8800R در دانشگاه Naruto ژاپن با ولتاژ شتاب دهنده 15KV و زمان شمارش 40 ثانیه و در دانشگاه هانور آلمان با الکترون مایکروپروب SX-100 Cameca با

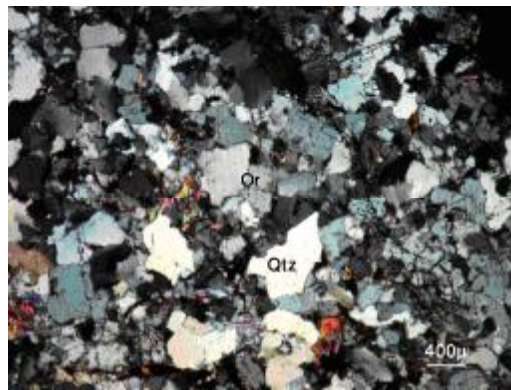
ولتاژ شتاب دهنده 15KV و جریان 15NA مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آنالیز ماکروپروب فلدسپار، کلریت و بیوتیت در پیوست ۱، ۲ و ۳ آورده شده است. در محاسبه مقدار Fe^{+3} جهت دسترسی به فرمول ساختاری کانی‌ها نیز از روش ارایه شده توسط [۶] که بر اساس استوکیومتری کانی‌ها است، استفاده گردید. نتایج آنالیزهای شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب نمونه‌هایی از توده نفوذی، دایک‌های آپلیتی و آنکلاوها که توسط روش فعال‌سازی نوترونی (NAA) انجام گردیده در پیوست ۴ و ۵ آورده شده است.

پetroگرافی و شیمی کانی‌ها

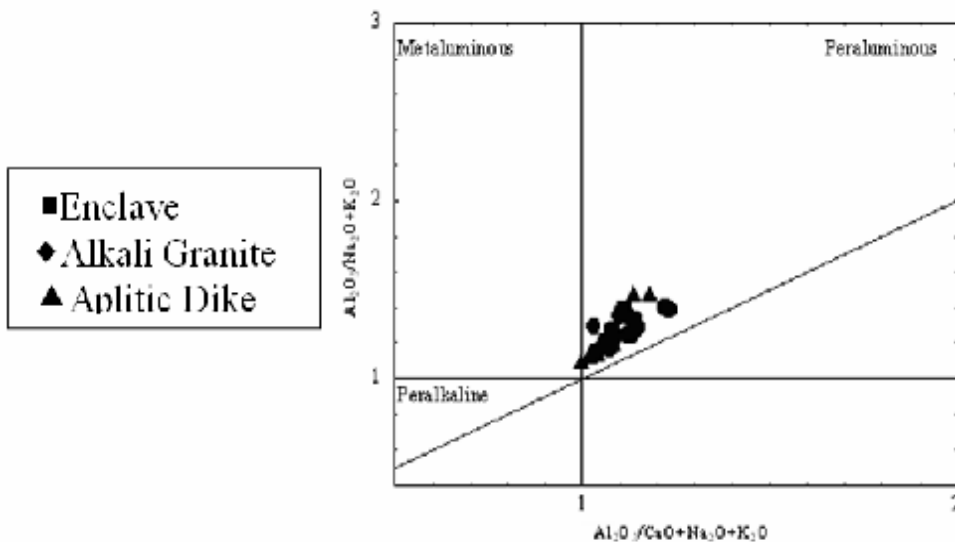
نتیجه بررسی مودال این سنگ‌ها در دیاگرام QAP نشان می‌دهد که توده نفوذی، دایک‌های آپلیتی و آنکلاوها دارای ترکیب آلکالی گرانیت هستند (شکل ۶)، [۷]. سنگ‌های نفوذی دانه درشت بوده و در نمونه دستی با رنگ صورتی دیده می‌شوند. این توده نفوذی در بسیاری از بخش‌ها دارای برگوارگی و خرد شدگی است که در نگاه اول شبیه گنایس‌های چشمی است. اما بررسی‌ها نشان می‌دهد که این توده نفوذی میلوئیتی شده است (شکل ۷). کانی‌های تشکیل دهنده توده نفوذی شامل فلدسپارهای پتاسیم از نوع میکروکلین و ارتوکلاز، کوارتز، پلاژیوکلاز از نوع الیگوکلاز، بیوتیت، مسکویت، زیرکن و آپاتیت می‌باشند. فلدسپارها به عنوان فراوانترین کانی حضور دارند (شکل ۸). دایک‌های آپلیتی در نمونه دستی ریز بلور بوده و به رنگ روشن دیده می‌شوند. ضخامت این دایک‌ها به ۵۰ سانتیمتر نیز می‌رسد. از نظر کانی‌شناسی آپلیت‌ها دارای کوارتز، فلدسپار پتاسیم از نوع ارتوکلاز، پلاژیوکلاز از نوع آلبیت، مسکویت و بیوتیت می‌باشند (شکل ۹).



شکل ۷: بافت جهت یافته در بیوتیت ها و مسکویت های موجود در گرانیت میلونیتی (نور XPL).
 شکل ۸: نمایی از یک درشت بلور میکروکلین در آلکالی گرانیت آیرکان (نور XPL).



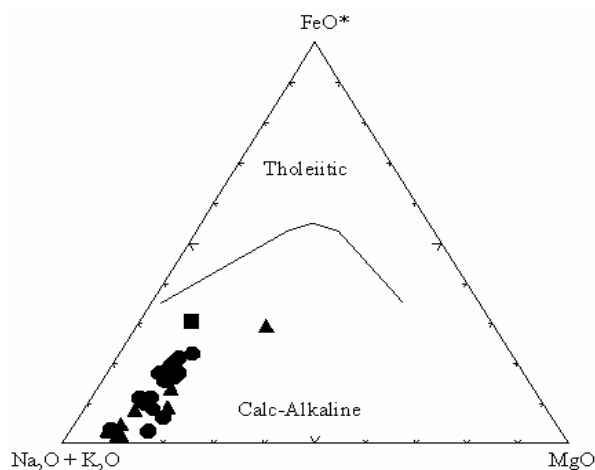
شکل ۹: تصویری از بافت گزنومورفیک میکروگرانولار در دایک آپلیتی (نور XPL).



شکل ۱۰: موقعیت نمونه‌های منطقه مورد نظر در دیاگرام A/CNK در مقابل A/NK [۸ و ۹].

عناصر اصلی

بررسی نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی سنگ کل که در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است نشان می‌دهد که مقدار SiO_2 در آلکالی گرانیت‌ها ۶۵ تا ۷۷ درصد می‌باشد. مقدار SiO_2 در دایک‌های آپلیتی زیاده‌تر و ۶۶ تا ۷۹ درصد می‌باشد. محتوای SiO_2 در آنکلاوها نیز در حدود ۶۸ درصد می‌باشد. نمونه‌ها جهت تعیین درجه اشباع از آلومینیم در نمودار A/CNK در برابر A/NK تصویر شده‌اند [۸ و ۹] و به خوبی مشخص است که نمونه‌ها در قسمت پرآلومینه قرار می‌گیرند (شکل ۱۰). درجه اشباعیت از آلومینیم نمونه‌های مورد بررسی بیشتر از ۱/۱ می‌باشد که مشخصه گرانیت‌های نوع S می‌باشد. نمونه‌ها در نمودار مجموع آلکالی در برابر سیلیس، جهت تفکیک محدوده‌های آلکالن و ساب آلکالن و در نمودار AFM جهت تفکیک محدوده‌های کالک آلکالن و تولییتی تصویر شده‌اند [۱۰]. نمونه‌های منطقه مورد بررسی در محدوده ساب آلکالن و کالک آلکالن قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۱۲ و ۱۱).

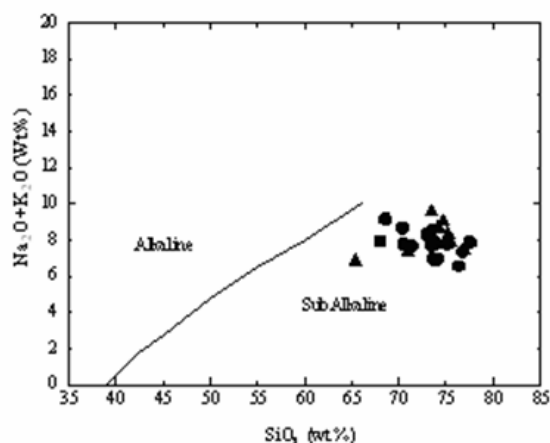


شکل ۱۲: تعیین ماهیت ماگمای سازنده مجموعه نفوذی آبرکان، کلیه نمونه‌ها در محدوده ساب آلکالن [۱۰] قرار گرفته‌اند. نمادها نظیر شکل ۱۰ است.

آنکلاوها در صحرا بیضوی شکل و ندرتا کروی می‌باشند. کانی‌های تشکیل دهنده آنکلاوها شامل ارتوکلاز، کوارتز، بیوتیت، مسکویت، پلاژیوکلاز می‌باشد. فراوانی حجمی کوارتز نسبت به سنگ در برگیرنده و دایک‌ها کمتر می‌باشد. همچنین فراوانی بیوتیت‌ها نسبت به سنگ در برگیرنده و دایک‌ها بیشتر می‌باشد.

نوع بیوتیت در دایک‌های آپلیتی و توده نفوذی آنیت و سیدروفیلیت می‌باشد. بیوتیت‌ها در دایک‌های آپلیتی، توده نفوذی و آنکلاوها غنی از آهن $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) \sim 65$ و فقیر از تیتان می‌باشند و درجه اشباعیت از آلومینیم در آن‌ها از ۱/۴ تا ۱/۸ در نوسان است که نشان دهنده اکتیویته نسبتاً بالای آلومینیم در ماگمای سازنده بیوتیت‌ها است و با ماهیت پرآلومین توده نفوذی مطابقت دارد. ترکیب شیمیایی مسکویت‌های منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که میزان آلومینیم از آهن و منیزیم بیشتر بوده و خصوصیت پرآلومینه آنها را ثابت می‌کند.

ژئوشیمی

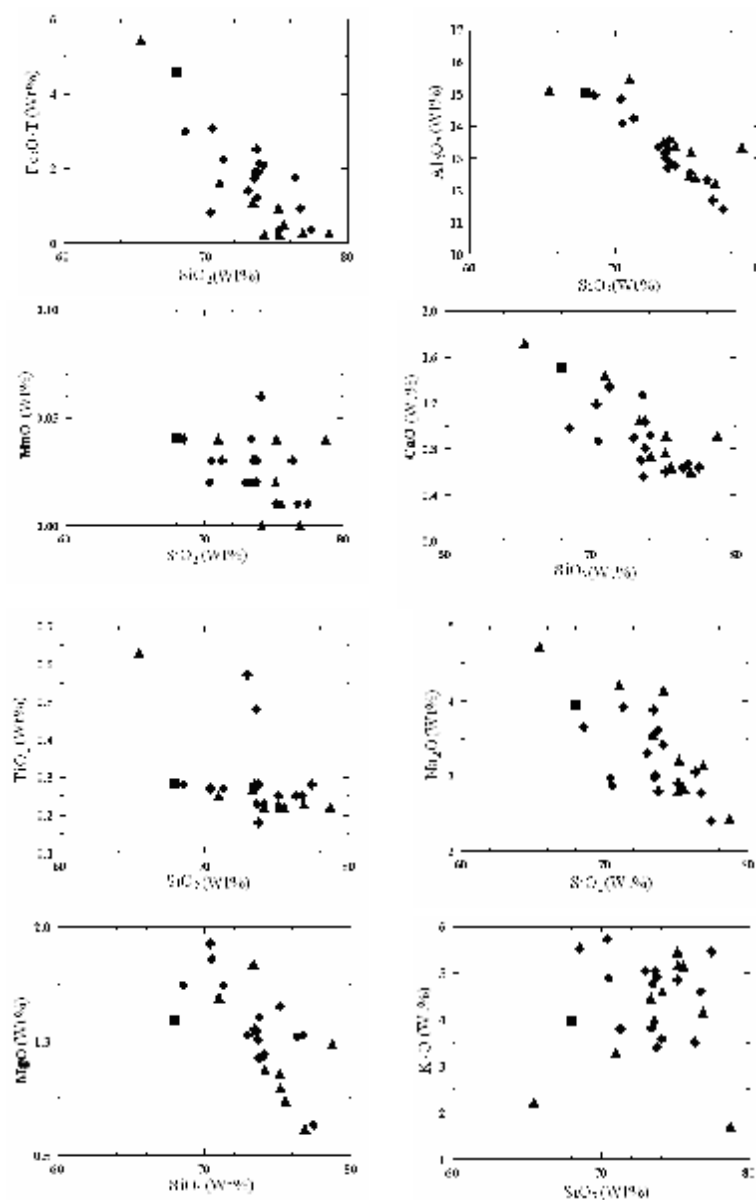


شکل ۱۱: در دیاگرام AFM [۱۰] موقعیت نمونه‌های منطقه نشان داده شده است. نمادها نظیر شکل ۱۰ می‌باشد.

افزایش پتاسیم در مقابل افزایش سیلیس و روند تفریق ماگما است. کاهش اکسیدهای Al_2O_3 و CaO بیانگر تبلور کانی پلاژیوکلاز و تبلور کانی‌های اسفن و ایلمنیت باعث کاهش اکسیدهای Fe_2O_3 و TiO_2 در برابر سیلیس می‌باشد.

روند ژئوشیمیایی عناصر در نمودارهای هارکر [۱۱] ، بیانگر وجود همخوانی بین توده نفوذی، دایک‌های آپلیتی و انکلاوها می‌باشد که حاکی از ارتباط ژنز آنها با یکدیگر است.

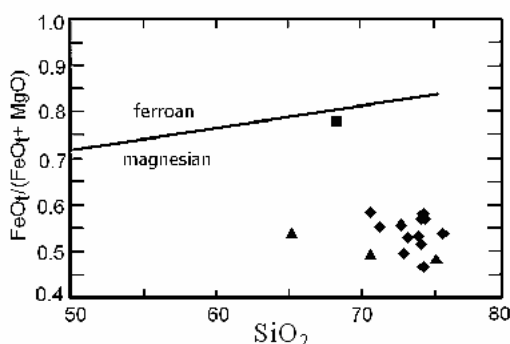
رسم دیاگرام‌های هارکر (شکل ۱۳) نشان دهنده کاهش اکسیدهای آلومینیم، آهن، کلسیم، منگنز، منیزیم و



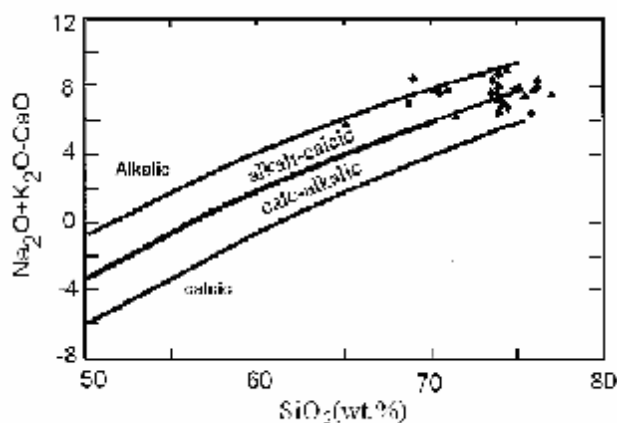
شکل ۱۳: نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی در مقابل سیلیس [۱۱]. نمادها نظیر شکل ۱۰ می‌باشد.

بر اساس طبقه‌بندی‌های [۱۳ و ۱۴] محدوده ترکیبی این سنگ‌ها آلکالی گرانیته، می‌باشد (شکل‌های ۱۶ و ۱۷). در دیاگرام نسبت مولکولی A/CNK [۱۵] در برابر SiO_2 (شکل ۱۸) نمونه‌ها در موقعیت پرآلومینه ضعیف تا شدید قرار گرفته‌اند. ترکیب شیمیایی دایک‌ها و آنکلاوها نزدیک به ترکیب شیمیایی توده نفوذی است. طبق نمودار R1-R2 [۱۶] نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده همزمان با برخورد قرار گرفته‌اند (شکل ۱۹).

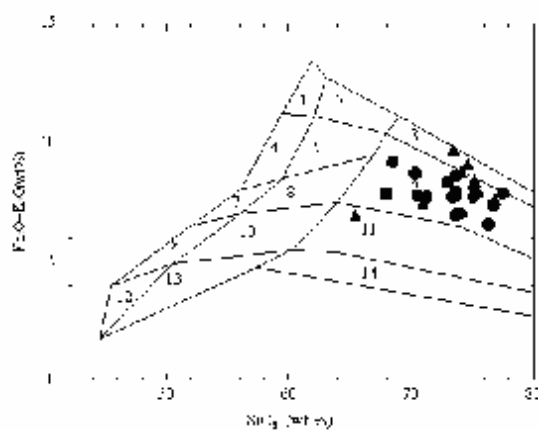
بر خلاف انتظار، Na_2O با افزایش مقدار سیلیس روند نزولی را نشان می‌دهد. مطابق با رده بندی که توسط [۱۲] پیشنهاد شده است، گرانیته‌ی آیرکان در محدوده مگنیزین دار واقع شده است (شکل ۱۴). همان‌طور که مشخص است $Fe\#$ در سنگ‌های منطقه مورد بررسی کمتر از ۰/۶ می‌باشد و تمامی نمونه‌ها در قسمت مگنیزین قرار گرفته‌اند. در رده بندی بازنگری شده پیکاک (MALI: Modified Alkali-lime index)، نمونه‌ها در طیفی از کالک آلکالی تا آلکالی کلسیک قرار می‌گیرند (شکل ۱۵).



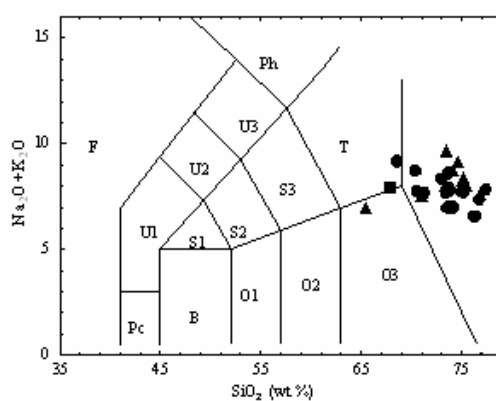
شکل ۱۴: نمودار تغییرات $FeOt/(FeOt+MgO)$ در مقابل SiO_2 [۱۲]. نمونه‌ها در محدوده ماینزین تصویر شده‌اند. نمادها نظیر شکل ۱۰ می‌باشد.



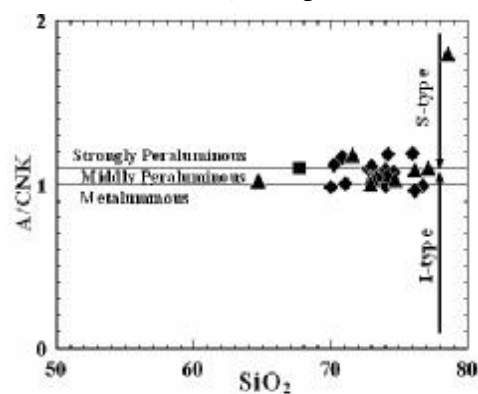
شکل ۱۵: نمودار MALI (تغییر یافته پیکاک) [۱۲] نشانگر آن است که توده نفوذی آیرکان در طیفی از کالک آلکالی تا آلکالی کلسیک قرار گرفته‌اند. نمادها نظیر شکل ۱۰ می‌باشد.



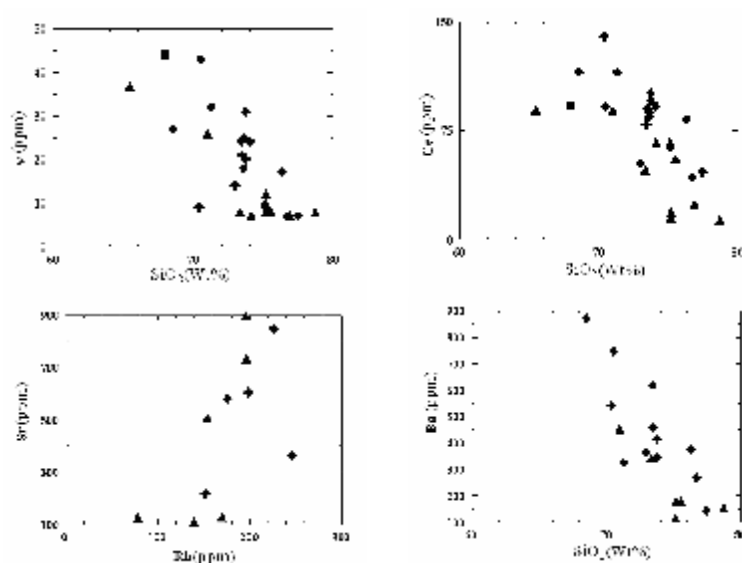
شکل ۱۶: دیاگرام SiO_2 در برابر $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ [۱۳] و موقعیت قرارگیری نمونه‌های منطقه. نمادها نظیر شکل ۱۰ می‌باشد.



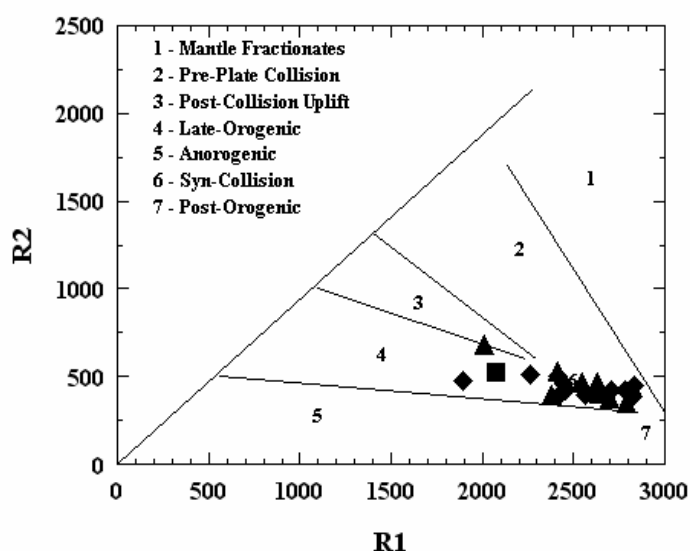
شکل ۱۷: در نمودار $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ نسبت به SiO_2 [۱۴]. موقعیت قرارگیری نمونه‌های منطقه مشخص شده است. نمادها نظیر شکل ۱۰ می‌باشد.



شکل ۱۸: موقعیت نمونه‌های منطقه مورد نظر در دیاگرام A/CNK در مقابل SiO_2 [۱۵].



شکل ۱۹: نمودارهای تغییرات عناصر فرعی در مقابل سیلیس [۱۱]. نمادها نظیر شکل ۱۰ می‌باشد.



شکل ۲۰: نمودار R1-R2 [۱۶] و موقعیت قرارگیری نمونه‌ها بر روی آن. نمادها نظیر شکل ۱۰ می‌باشد.

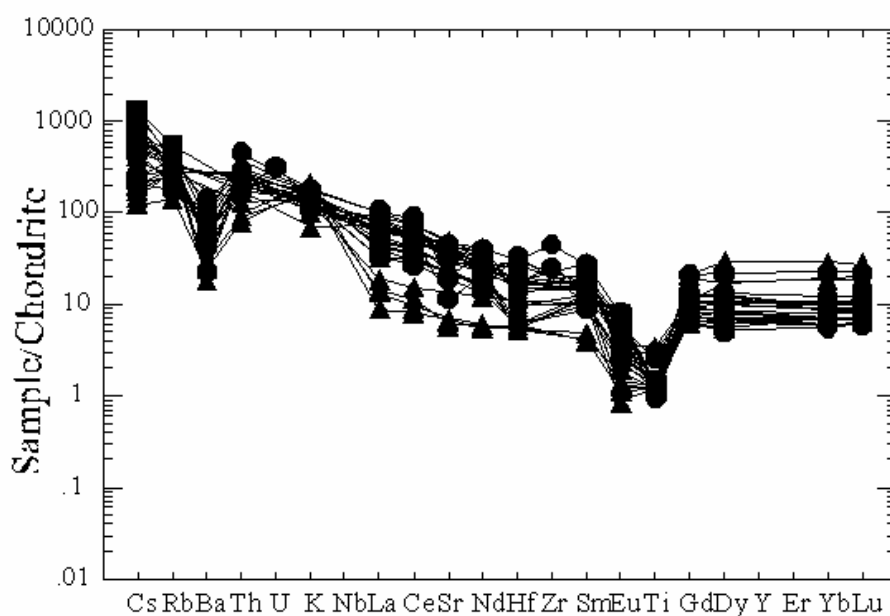
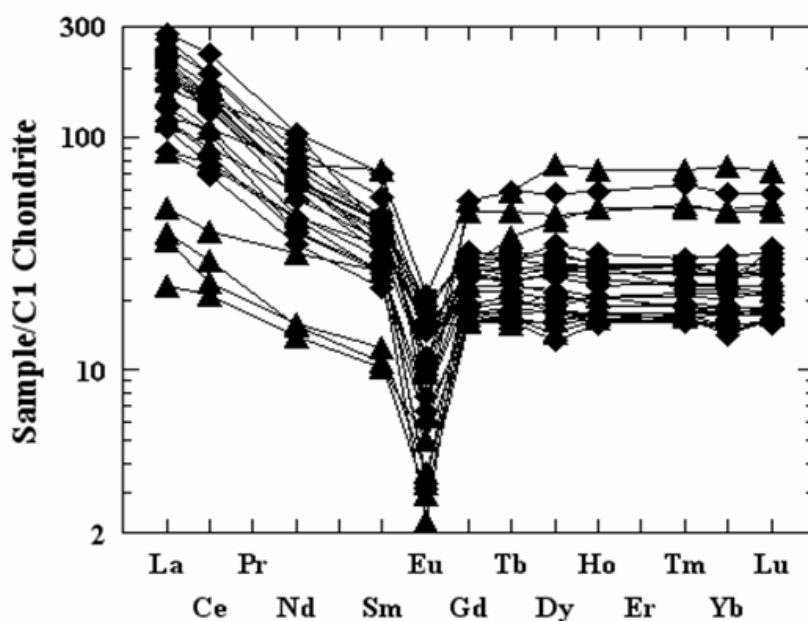
عناصر فرعی

با توجه به جدول شماره ۲، Rb، Sr، Ba در بین عناصر کمیاب، بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. بالا بودن مقادیر Sr، Ba و Rb با توجه به نحوه جانمایی این عناصر در کانی‌های مختلف قابل توجیه است. Sr می‌تواند جانشین Ca در شبکه پلاژیوکلازها شوند. Ba و Rb می‌توانند به طور گسترده‌ای در

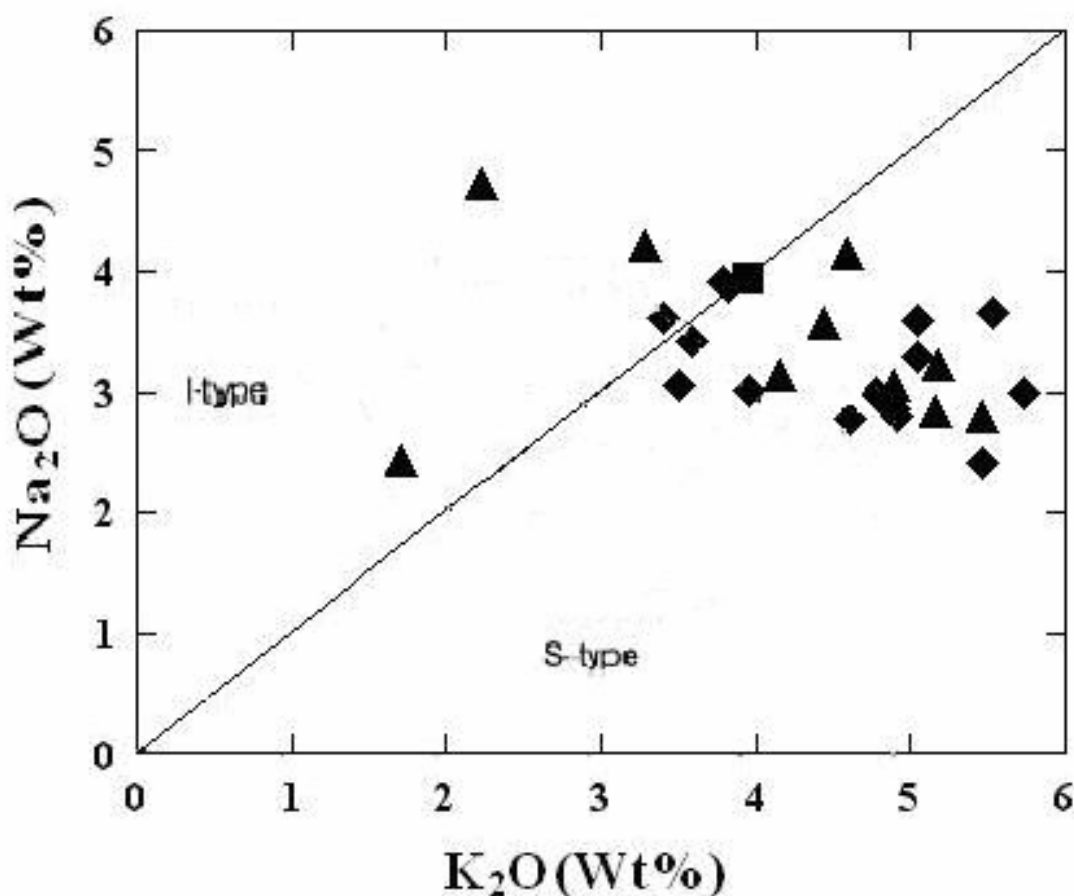
ساختمان بیوتیت متمرکز شوند. Rb نیز می‌تواند جانشین K در شبکه فلدسپارهای پتاسیم شود. در شکل ۲۰ تغییرات عناصر کمیاب V، Ce و Ba بر حسب SiO₂ تصویر شده است که میزان این عناصر با افزایش SiO₂ کاهش می‌یابد. تغییرات نسبت Rb/Sr یک نمودار کم و بیش خطی را به نمایش می‌گذارد که در آن با افزایش Rb، Sr نیز افزایش می‌یابد. جهت

عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین برخوردار است و همگی آنومالی منفی مشخصی از Eu نشان می دهند که بیانگر حضور پلاژیوکلاز در تفالیه می باشد. در این دیاگرام ها آنومالی منفی Ba, Ti و Eu به خوبی قابل مشاهده است. K و Rb آنومالی مثبت نشان می دهد.

بررسی تحولات ماگمایی، از میانگین مقادیر عناصر کمیاب در نمودارهای عنکبوتی (Spider Diagram) [۱۷ و ۱۸] که نسبت به کندریت نرمالیزه شده است استفاده گردید (شکل ۲۱ و ۲۲).
الگوی عناصر نادر خاکی (شکل ۲۱) نشانگر آن است که ماگمای سازنده مجموعه نفوذی آیرکان از غنی شدگی



شکل ۲۱ و ۲۲: دیاگرام چند عنصری و موقعیت مقادیر عنصر کمیاب نمونه‌های منطقه که نسبت به کندریت نرمالیزه شده‌اند [۱۸] و [۱۷]. نمادها نظیر شکل ۱۰ می‌باشد.



شکل ۲۳: نمودار $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ [۲۷] و تعیین نوع ماگما. نمادها نظیر شکل ۱۰ می باشد.

ژئوترمومتری

ترکیب فلدسپارهای منطقه مورد بررسی در ساب سولیدوس تغییر کرده است.

بر طبق انواع مدل‌های مربوط به ترمومتری فلدسپارها دماهای به دست آمده بیانگر محیط آذرین نمی باشد و بیانگر تعادل در ساب سولیدوس است.

ژئوترمومتری فلدسپات‌ها

جهت انجام بررسی‌های ژئوترمومتری با استفاده از ترکیب فلدسپات‌ها از کالیبراسیون‌های مختلفی که تاکنون ارائه شده است همچون [۲۳، ۲۲، ۲۱، ۲۰، ۱۹] استفاده گردید. بررسی فلدسپارهای موجود در منطقه مورد بررسی محدوده دمایی 272°C تا 424°C را برای آلکالی گرانیت‌ها و محدوده دمایی 219°C تا 385°C را برای دایک‌های آپلیتی ارائه نموده است.

در ترمومتری فلدسپات‌های پتاسیم که توسط [۲۲] ارائه شده است، نسبت $\text{K}/(\text{K}+\text{Na})$ برابر با ۰/۹۲ تا ۰/۹۶ می‌باشد و منحنی دما را قطع نمی‌کند و نشان می‌دهد که

ژئوترمومتری بیوتیت‌ها

با استفاده از ژئوترمومتری بیوتیت‌ها می‌توان دمای تبلور بیوتیت موجود در سنگ‌های آذرین و دگرگونی را به دست آورد [۲۵ و ۲۴]. بررسی بیوتیت‌های موجود در منطقه مورد بررسی دمای 634°C برای آلکالی گرانیت‌ها و 632°C برای دایک‌های آپلیتی و دمای 661°C برای آنکلاوها ارائه نموده است که بیانگر محیط آذرین

پیوست ۲: نتایج آنالیز مایکروپروب کلریت-
پیوست ۳: نتایج آنالیز مایکروپروب بیوتیت‌ها همراه با محاسبه فرمول ساختاری. ها.

Sample	A-10	A-10	A-11	A-11	A-7	A-7	A-29	A-29	A-29
Analysis	476	477	490	491	513	514	94.1	95.1	100.1
Rock name	Alkali Granite				Aplitic Dike		Enclave		
Mineral	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt
SiO ₂	35.78	35.38	35.99	36.09	34.74	37.31	35.72	35.78	35.63
TiO ₂	2.04	2.60	2.95	3.02	2.54	2.63	2.93	2.82	2.75
Al ₂ O ₃	16.84	16.00	16.28	15.64	16.37	18.78	16.05	16.38	16.07
Cr ₂ O ₃	0.04	0.00	0.00	0.06	0.03	0.00	0.01	0.02	0.05
FeO*	24.63	25.05	24.25	23.73	23.35	22.38	22.47	22.69	23.76
MnO	0.31	0.27	0.26	0.25	0.25	0.23	0.11	0.15	0.23
MgO	7.04	6.63	6.05	6.05	6.52	5.74	7.08	7.16	6.69
CaO	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00
Na ₂ O	0.15	0.18	0.08	0.13	0.11	0.06	0.05	0.07	0.09
K ₂ O	10.09	10.18	10.31	10.01	9.94	9.47	9.86	9.93	9.74
Total%	96.97	96.32	96.15	94.97	93.86	96.63	94.28	95.01	95.01
Ox#	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Si	5.53	5.53	5.60	5.67	5.53	5.65	5.61	5.58	5.59
Ti	0.24	0.31	0.35	0.36	0.31	0.30	0.35	0.33	0.33
AlIV	2.47	2.47	2.40	2.33	2.47	2.36	2.39	2.42	2.41
AlVI	0.59	0.48	0.59	0.56	0.60	0.99	0.58	0.59	0.56
Fe ⁺³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ⁺²	3.18	3.28	3.16	3.12	3.11	2.83	2.95	2.96	3.12
Cr	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Mn	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03
Mg	1.62	1.54	1.40	1.42	1.55	1.29	1.66	1.67	1.57
Ca	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Na	0.04	0.05	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03
K	1.99	2.03	2.05	2.01	2.02	1.83	1.98	1.98	1.95
Cations	15.72	15.73	15.59	15.54	15.65	15.30	15.55	15.57	15.58
Fe_FeMg	0.66	0.68	0.69	0.69	0.67	0.69	0.64	0.64	0.67
Mg_FeMg	0.34	0.32	0.31	0.31	0.33	0.31	0.36	0.36	0.33

Sample	A-10	A-10
Analysis	485	486
Rock name	Alkali Granite	
Mineral	Chl	Chl
SiO ₂	28.09	28.57
TiO ₂	1.91	1.55
Al ₂ O ₃	11.55	12.64
FeO*	14.85	15.75
MnO	0.22	0.42
MgO	0.90	0.42
CaO	9.55	10.95
Na ₂ O	0.00	0.02
Total%	33.74	33.93
Si	7.35	7.21
Ti	0.38	0.29
AlIV	0.65	0.79
Al VI	3.03	3.09
Al total	3.68	3.87
Fe ⁺³	1.75	1.61
Fe ⁺²	1.50	1.71
Mn	0.05	0.09
Mg	0.35	0.16
Ca	2.68	2.96
Na	0.00	0.02
K	0.01	0.00
OH*	16	16
Fe/Fe+Mg	0.9	0.96
Variety	No name	No name

پیوست ۵: مقادیر عناصر جزئی و کمیاب در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه (ppm).

Sample	A1	A10	A11	A12	A2	A20	A21	A23	A24	A26	A27	A3	A4	A6	A5	A30	A28	A14	A15	A15-1	A16	A17	A19	A22	A25	A7	A8	A29
Rock Type	Alkali Granite														Aplitic Dike											Enclave		
Ba	520	872	415	620	-	-	747	266	143	365	-	458	348	376	541	-	325	316	-	182	151	-	-	114	452	178	-	-
Rb	197	202	56	111	155	-	226	211	314	210	185	174	198	152	246	176	180	142	170	140	79	157	162	156	171	162	154	295
Sr	-	-	-	-	-	-	849	-	-	-	-	-	606	217	764	533	-	135	112	137	733	-	856	-	-	506	-	
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	247	437	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Th	23.52	26.36	18.42	20.75	24.02	2.03	33.10	14.02	50.58	14.62	50.50	25.57	33.43	23.39	70.53	12.39	32.11	17.40	8.43	8.10	6.68	15.26	22.47	32.12	25.23	25.21	11.51	17.15
Co	-	56.00	-	-	19.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63.00	-	-	-	-	36.00	61.00	-	-	-	-	-	56.00
V	18.20	27.00	20.30	24.02	24.02	9.00	43.02	7.00	7.02	14.00	18.20	21.00	31.20	17.00	9.00	25.00	32.20	8.00	8.00	12.00	8.00	37.00	7.00	10.00	26.00	8.00	7.00	44.02
Hf	1.89	4.64	3.28	1.65	0.02	9.50	5.69	1.71	1.69	2.76	4.62	4.28	4.52	4.72	8.42	7.42	4.75	2.70	1.52	1.49	1.68	8.22	2.93	1.46	4.22	1.49	5.05	8.23
Ce	4.32	4.47	1.45	3.05	3.77	-	1.75	1.67	1.71	3.48	4.57	4.83	4.93	4.48	5.05	6.23	4.72	2.46	1.40	1.47	0.26	8.44	1.04	2.95	4.77	1.78	1.19	8.56
Sc	5.00	7.00	5.00	7.00	6.00	-	8.00	3.00	3.00	6.00	7.00	5.00	7.00	4.00	8.00	8.00	7.00	4.00	2.00	2.00	3.00	11.00	3.00	3.00	5.00	3.00	3.00	10.00
Yb	1.23	1.12	0.95	1.26	1.84	-	1.95	1.61	1.18	1.20	1.47	1.29	1.21	1.38	2.63	1.21	1.35	3.67	2.39	1.92	4.00	1.40	3.00	-	1.27	1.89	16.45	1.53
Ce	2.00	5.00	4.00	4.00	3.00	-	5.00	1.00	1.00	2.00	4.00	3.00	4.00	2.00	3.00	3.00	4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00	1.00	1.00	3.00	1.00	1.00	7.00
La	40.26	62.07	32.41	44.49	42.78	31.78	48.42	28.62	26.24	27.86	42.54	42.82	42.44	38.47	45.64	61.57	57.64	28.56	8.47	0.17	5.45	42.12	11.85	36.25	41.56	27.26	28.70	81.34
Ce	89.02	115.10	102.55	79.02	92.17	63.07	81.44	42.46	46.35	52.23	84.54	82.72	85.16	82.85	139.61	87.07	115.12	47.70	14.64	18.19	12.84	82.31	24.35	66.71	88.49	55.52	66.81	91.75
Nd	42.38	36.11	32.85	30.35	37.45	18.37	39.10	18.11	20.52	18.17	29.57	28.85	34.00	23.68	48.31	27.27	40.53	21.18	7.32	7.26	0.30	33.26	14.77	28.76	48.92	27.35	36.87	29.84
Sm	5.97	7.09	5.23	5.19	6.31	4.11	6.16	3.48	4.02	3.98	5.85	6.09	6.73	5.73	10.66	6.00	8.45	5.20	1.91	1.65	1.58	6.70	4.08	4.56	6.19	4.84	11.19	6.77
Eu	0.72	0.95	0.94	0.88	0.55	0.45	1.09	0.35	0.39	0.45	0.82	0.86	0.80	0.86	1.21	0.64	1.02	0.58	0.21	0.17	0.29	0.56	0.13	0.20	0.65	0.19	0.37	1.16
Gd	0.64	3.42	3.64	3.30	6.22	6.45	6.50	5.67	1.30	5.34	5.42	5.83	3.75	5.48	11.69	5.10	6.61	0.94	3.34	3.31	3.34	5.82	5.68	3.52	4.77	5.42	11.04	5.70
Tb	1.19	0.77	0.66	0.60	1.11	0.81	1.20	0.68	0.61	0.87	1.03	1.32	0.73	0.91	2.26	0.92	1.12	1.81	0.62	0.66	0.60	1.02	1.41	0.59	0.86	0.56	2.20	1.12
Dy	8.12	4.48	4.56	3.43	8.86	5.02	7.61	5.53	4.12	5.49	4.88	7.26	4.70	6.80	14.56	6.45	8.10	11.69	3.62	4.57	4.48	7.30	11.19	4.15	5.60	6.29	10.52	7.10
Ho	1.48	0.91	0.99	0.89	1.79	1.18	1.61	1.07	0.93	1.87	1.47	1.56	1.17	1.39	2.34	1.31	1.62	-	0.95	0.94	0.98	1.59	2.81	0.78	1.16	1.48	4.10	1.54
Tm	0.69	0.42	0.45	0.43	0.77	0.35	0.57	0.49	0.41	0.48	0.68	0.71	0.47	0.59	1.06	0.61	0.73	1.38	0.44	0.43	0.42	0.72	1.27	0.43	0.53	0.47	1.65	0.73
Yb	4.15	2.54	2.60	2.43	5.28	3.62	5.80	3.21	3.65	2.96	4.37	4.82	3.16	3.91	9.75	3.94	4.41	8.23	3.04	2.95	3.10	4.87	8.38	2.58	3.44	4.32	12.77	4.39
La	0.62	0.41	0.42	0.42	0.81	0.53	0.55	0.46	0.40	0.47	0.72	0.72	0.48	0.55	1.46	0.59	0.66	1.23	0.45	0.44	0.45	0.73	1.31	0.48	0.55	0.65	1.81	0.70

پیوست ۶: محاسبه نورم نمونه های منطقه مورد مطالعه

Rock name	Quartz	Corundum	Zircon	Orthoclase	Albite	Anorthite	
A1	32.43	0.36	0	28.98	25.89	7.33	
A2	36.7	1.57	0	21.28	28.94	4.56	
A3	34.29	1.6	0	28.26	25.21	3.6	
A4	34.27	0.82	0	29.57	23.69	5.48	
A5	25.56	1.59	0.09	33.96	25.21	6.19	
A6	41.7	2.26	0.05	20.8	25.89	3.31	
A10	21.5	1.12	0	32.76	30.88	5.1	
A11	35.86	2.44	0	20.13	30.54	4.13	
A12	32.65	1.35	0	22.62	32.83	3.64	
A21	30.35	2.34	0	28.99	24.28	4.84	
A22	34.56	0.45	0	32.35	23.69	4.18	
A23	39.49	0.87	0	27.33	23.52	3.4	
A24	40.08	0.35	0	32.41	20.31	3.21	
A26	30.52	0.77	0	29.93	27.92	4.56	
A27	36.25	1.13	0	23.42	25.47	6.3	
A28	28.69	1.25	0	22.47	33.08	6.74	
A30	30.27	0.81	0	29.86	30.37	3	
A19	38.56	0.93	0.00	24.65	29.19	2.98	
A8	29.16	0.16	0.00	27.25	35.11	3.86	
A14	30.69	0.87	0.00	26.36	30.12	5.30	
A15	27.32	0.00	0.00	39.96	24.71	3.28	
A20	36.20	1.44	0.00	28.67	24.54	2.98	
A16	30.96	0.52	0.00	35.43	26.57	3.21	
A7	36.54	0.94	0.00	30.56	24.03	3.22	
A15-1	33.20	0.58	0.00	30.67	27.24	4.66	
A25	28.44	2.31	0.00	19.45	35.70	7.27	
A17	19.68	1.71	0.00	13.20	40.02	8.81	
A29	Enclave	24.55	1.49	0.00	23.52	33.34	7.49

بحث

بررسی‌های صحرایی توده نفوذی آیرکان نشان داده است که این توده نفوذی سنگ‌های دگرگونی منطقه را قطع نموده و دایک‌های آپلیتی نیز توده نفوذی را قطع نموده است. آنکلاوهایی نیز در توده نفوذی وجود دارد که تیره‌تر و ریز دانه‌تر از سنگ در برگیرنده شان هستند. نوع کانی‌ها در توده نفوذی، دایک‌های آپلیتی و آنکلاوها شبیه هم اما نسبت‌های متفاوتی دارند. شیمی کانی‌های موجود در این سنگ‌ها نیز شبیه به یکدیگر است.

بررسی نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی و فرعی نمونه‌های سنگ کل وجود ارتباط ژنتیکی بین توده نفوذی، دایک‌های آپلیتی و آنکلاوهایشان را تایید می‌کند. نحوه قرار گیری نمونه‌ها در دیاگرام‌های مختلف ژئوشیمیایی نیز تایید کننده همین موضوع می‌باشد. برای تشخیص گرانیتهای نوع I و S از نمودار درصد وزنی $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ استفاده شد. بر اساس این نمودار مشخص می‌شود که محتوای پتاسیم نمونه‌های منطقه مورد مطالعه نسبت به سدیم بالا بوده و از نوع S هستند (شکل ۲۳)، [۲۷]. معیارهای دیگری از جمله عدم نبود هورنبلند، عدم وجود اسفن اولیه، نسبت مولی $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ بیشتر از ۱/۱ در تمامی نمونه‌ها، ساخته شدن بیش از ۱% کروندوم در نورم بیشتر نمونه‌ها (پیوست ۶)، محدود بودن دامنه تغییرات سیلیس (۶۵-۷۹%)، بیان کننده این است که گرانیتهای منطقه مورد بررسی از نوع S می‌باشد. در دیاگرام هارکر روندهای نزولی Al_2O_3 و CaO را به تبلور پلاژیوکلاز نسبت می‌دهند. روند نزولی $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ تبلور اسفن و یا ایلمنیت را نشان می‌دهد. روند نزولی V به دلیل تبلور ایلمنیت است. روند نزولی Ba معمولاً به تبلور پلاژیوکلاز نسبت داده می‌شود. روند نزولی عناصر

نادر خاکی نظیر Ce در ازای افزایش سیلیس معمولاً به تبلور کانی‌های دارای ضریب توزیع بالا از عناصر نادر خاکی (نظیر اسفن) نسبت داده می‌شود. در نمودارهای عناصر خاکی که به کندریت نرمالیز شده است نمونه‌های سنگی همه روند مشابهی را نشان می‌دهد. همه آن‌ها در مورد Eu ، Ti و Ba آنومالی منفی از خود نشان می‌دهند. با توجه به این که عنصر Eu در ساختار پلاژیوکلاز وارد می‌شود. بنابراین، جدایش فلدسپات‌ها چه به علت پدید آمدن تفریق و چه به علت ذوب بخشی که در آن پلاژیوکلاز در تفاله حاصل از ذوب باقی می‌ماند باعث پیدایش آنومالی منفی در Eu می‌شود. آنومالی منفی Ba تبلور فلدسپات‌ها را نشان می‌دهد. آنومالی منفی Ti نشانه تبلور کانی‌های تیتان دار مثل ایلمنیت می‌باشد.

این سنگ‌ها از نظر عناصر نادر خاکی سبک غنی تر از عناصر نادر خاکی سنگین هستند.

به دلیل نبودن زوج کانی مناسب به منظور انجام بارومتري، تراز رخمون برای سنگ‌های منطقه تعیین نشد.

نتیجه‌گیری

بررسی‌های صحرایی توده نفوذی منطقه آیرکان نشان می‌دهد که توده نفوذی آلکالی گرانیتهای توسط دایک‌های آپلیتی آلکالی گرانیتهای قطع شده است. این توده نفوذی به سن ژوراسیک میانی می‌باشد و سنگ‌های دگرگون پالئوزوئیک منطقه را قطع نموده است.

بخش‌هایی از توده نفوذی که در محل گسل‌ها قرار دارد میلونیتی شده و کانی‌های آن نیز جهت دار و شکسته هستند که نشان می‌دهد تحت تأثیر حرکت برشی قرار گرفته است. دیاگرام‌های ژئوشیمیایی و پترولوژی، وجود هم‌خوانی بین سنگ‌های مختلف این توده،

V/O Technoexport, Report TE/No 19(1984) 136 P.

5- Technoexport., "Outline of metallogeny of Anarak area(Central Iran)", Geological Survey of Iran, V/O Technoexport, Report TE/No 21(1984) 132 P.

6- G.T.R., Droop "A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria", Mineralogical Magazine 51(1987) 431-435.

7- A. L., Streckeisen and La Maitre., "A chemical approximation to the modal QAPE classification of the igneous rocks", (1979).

8- P. D., Maniar, and P. M., Piccoli, "Tectonic discrimination of granites" Bulletin of the Geological Society of America 101(1989) 635-643.

9- S. J., Shand, "Eruptive rocks, they genesis, composition, classification and their relation to ore deposits, with a chapter on meteorites(revised second edition)" Hafner Publishing Company New york(1943) 44p.

10- T. N., Irvine, W. R. A., Barager, "A guide to the chemical classification of the common Volcanic rocks" Canadian. Journal of. Earth Sciences 8(1971) 523- 548.

11- "The natural history of igneous rocks" Methuen. London(1909) 348P.

12- A., Harker, [12] R., Frost, C. G., Barnes, W. J., Collins, R. J., Arculus, D. J., Ellis, C. D., Frost, "A Geochemical classification for granitic rocks" Journal Of Petrology 42(2001) 2003- 2048.

13- E. A. K., Middlemost, "Towards a comprehensive classification of igneous rocks and magmas" Earth Sciences Reviews 31(1991) 73-87.

14- M. J., Le bas, R. W., Le maitre, A., Streckeisin, B. A., Zanettin, "A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali- silica diagram" Journal Of Petrology 27(1986) 745-750.

15- B. W., Chappel, and A. J. R., White, "Two contrasting granite types" Pacific Geology 8(1974) 173- 174.

16- R. A., Batchelor and P., Bowden "Petrogenetic interpretation of granitoid rock

ماگمای نوع کالک آلکان و طبیعت پرآلومینه را برای این سنگ‌ها پیشنهاد می‌کنند.

دماهای به دست آمده از ژئوترموتری فلدسپارها کمتر از دماهای به دست آمده از ژئوترموتری بیوتیت‌ها می‌باشد. زیرا ترکیب پلاژیوکلازها و فلدسپات‌های پتاسیم موجود در گرانیت‌ها بعد از تبلور ماگما و تشکیل سنگ یعنی در ساب سولیدوس ثابت باقی نمانده و در اثر پدیده‌هایی همچون میلونیتی شدن تغییر یافته است.

به همین دلیل دماهای به دست آمده بسیار کمتر از محیط‌های آذرین می‌باشد و دمای به دست آمده از ترمومتری بیوتیت‌ها را می‌توان دمای آذرین و دمای تبلور بیوتیت‌ها دانست. سنگ‌های توده نفوذی از نظر مشخصات ماگمایی کالک آلکان، پرآلومین می‌باشند. بررسی‌های ژئوشیمیایی محیط تکنونیک همزمان با برخورد را نشان می‌دهد. در نظر گرفتن شاخص‌های مهمی از جمله وجود مسکویت، طبیعت پرآلومینه، وجود بیش از ۱٪ کروندوم نورماتیو بر خاستگاه رسوبی و S-Type بودن این توده دلالت دارد.

منابع

۱- امامی م.ح، ماگماتیسیم در ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی (۱۳۷۸) ۶۲۲ ص.

۲- آقا نباتی ع، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳) ۶۱۹ ص.

3- Technoexport., "Geological maps of Jandaq (1/250,000), Mesr(1/100,000), Arusan(1/100,000), Khur(1/250,000), Sheet: H6; Sheet: 6958; Sheet: 7058; Sheet: H7, respectively", Geological Survey of Iran(1984).

4- Technoexport., "Geology of Anarak area(Central Iran)", Geological Survey of Iran,

- 22- R., Kretz "Metamorphic crystallization", John Wiley & sons Ltd, England(1994) 507 P.
- 23- A., Benisek, H., Kroll and L., Cemi. "New developments in two-feldspar thermometry", American Mineralogist 89(10)(2004) 1496-1504.
- 24- D. J., Henry, C. V., Guidotti and J. A., Thomson "The Ti-saturation surface for low- to- medium pressure metapelitic biotite: Implications for geothermometry and Ti- substitution mechanisms", American Mineralogist 90(2005) 316-328.
- 25- D. A. E., Patino "Titanium substitution in biotite: an empirical model with applications to thermometry, O₂ and H₂O barometries, and consequences for biotite stability", Chemical Geology 108(1993) 133-162.
- 26- M., Cathelineau and D., Nieva "A chlorite solution geothermometer, The los Azufres(Mexico) geothermal system", Contributions to Mineralogy and Petrology 91(1985) 235-244.
- 27 P. D., Maniar and P. M., Piccoli "Tectonic discrimination of granitoids", Bullitin of American Geological Society 101(1989) 635- 643.
- series using multicationic para chemical Geology", 48,(1985) 43- 55.
- 17- R. N., Thampson, M. A., Morrison. G. L., Hendry. & S. J., Parry, "An assessment of the relative roles of crust and mantle elemental approach" Philosophical. Transactions. Royal Society Of London A 310(1984) 549- 90.
- 18- S. S., Sun, "Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle" Geochimica Cosmochimica Acta 46(1982) 179- 192.
- 19- D. H., Lindsley and H. A., Nekvasil "Ternary feldspar model for all reasons", Eos 70(1989) 506 P.
- 20- M. L., Fuhrman and D. H., Lindsley "Ternary-feldspar modeling and thermometry", American Mineralogist 73(1988) 201- 215.
- 21- J. R. U. S., Haselton, G. L., Hovis "Calorimetric investigation of the excess entropy of mixing in analbite-sanidine solid solution: lack of evidence for Na, K short-range order and implications for two-feldspar thermometry", American Mineralogist 68(1983) 398-413.