

ویژگی های کانی شناسی و ژئوشیمیایی توده های نفوذی کافی آباد و آدر بلندان (جنوب باختری یزد)

نوشته : دکتر صدرالدین امینی* و رضا زارعی سهامیه*

Mineralogical and geochemical characteristics of intrusive bodies of Kaffee Abad and Ader- Bolandan, southwest Yazd, Iran

By : Dr.S.Amini, * and R. Zarei Sahamieh*

Abstract

Intrusive masses of Kaffee Abad and Ader-Bolandan are situated in the southwest Yazd, and are 22 km. away from each other.

These granitoid bodies seem to be at least younger than the surrounding metamorphosed rocks, particularly the Lower Cretaceous Orbitolina bearing limestones, and are probably related to the Oligo-Miocene ages?. The major portion of the igneous bodies are occupied by granodiorite, granite, and to a lesser amount by tonalite, quartz-syenite and syenite.

On the basis of geochemical data, the amount of SiO_2 , Na_2O , K_2O and CaO contents of the intrusive bodies are variable in different localities. In addition, plotting the data on to spider diagrams indicates Ba, K, Rb enrichment, as opposed to Nb, Sr, Ti depletion.

Genetically, the granitic intrusives of Kaffee Abad and Ader-Bolandan are geochemically of the I_1 type granite. From economical potential point of view, mineralization of marbel, skarn, Fe, Cu, Pb, Zn and non-metallic minerals such as Kaolinite are considerable.

Geothermobarometry of the minerals of magmatic rocks, and the metamorphic haloes of these masses indicates thermal conditions of about 600-650 c and a pressure of 1.5-2 kbars for the metamorphism, 850-900 c for the intrusive rocks and 950-1050 c for the extrusive rocks.

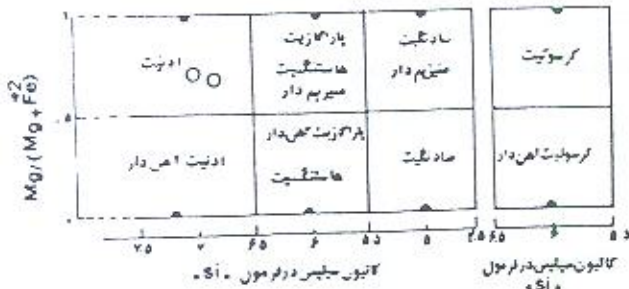
چکیده

توده های نفوذی کافی آباد و آدر بلندان که در جنوب باختری یزد و به فاصله ۲۲ کیلومتر از هم قرار دارند، به دلیل دگرگون کردن آهنک اریتولیندار کرتاسه اطراف خود حداقل از کرتاسه زیرین جوانترند. قسمت اعظم حجم توده ها را گرانودیوریت، گرانیت، و به مقدار کمتر تونالیت، کوارتز سیپنیت و سیپنیت تشکیل داده اند. بر اساس داده های ژئوشیمیایی مقادیر SiO_2 , Na_2O , K_2O و CaO در نقاط مختلف توده های نفوذی متغیر بوده به علاوه نمودارهای عنکبوتی (Spider diagram) حاکی از غنی شدن عناصر K, Ba و Rb و تهی شدن Ti و Sr, Nb است. به لحاظ ژنتیکی گرانیتوئیدهای این دو منطقه از نوع I_1 هستند. از نظر پتانسیل اقتصادی کانی سازی مرمر، اسکارن، آهن، مس، سرب، روی و کانی های غیرفلزی نظیر کائولینیت دیده می شود. ژئوترموبارومتری کانی های سنگ های ماگمایی و هاله دگرگونی این توده ها شرایط حرارتی حدود ۶۰۰-۶۵۰ درجه سانتی گراد و فشار ۱/۵ - ۲ کیلو بار برای دگرگونی، ۸۵۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی گراد برای سنگ های نفوذی و ۹۵۰ تا ۱۰۵۰ درجه سانتی گراد برای سنگ های خروجی را نشان می دهد.

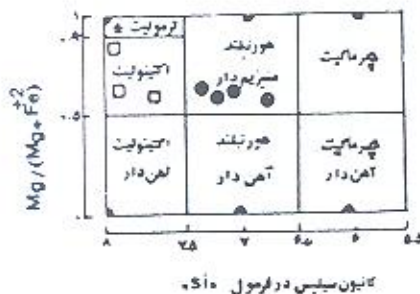
آمفیبول

آمفیبول سنگهای نفوذی از نوع هورنبلند قهوه‌ای متمایل به سبز بوده و از لحاظ شیمیایی غنی از منیزیم می‌باشد. علاوه بر هورنبلند، اکتینولیت و اندیت نیز بر سنگها وجود دارند و نوع ترمولیت آن بر سنگهای دگرگونی هاله مجاورتی به همراه پیروکسن نوع بدو پسید دیده می‌شود. بر اساس نمودارهای ارائه شده توسط کمیته فرعی انجمن بین‌المللی کانی‌شناسی (IMA) و کمپسیون مربوط به کانی‌های جدید و نامهای کانی (Leak 1997) آمفیبولهای منطقه از نوع کلسیک بوده که بر شکل ۳ نشان داده شده است. جدول ۱ نتایج میکروپروب آمفیبولهای توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. چنانچه نسبت $X = Mg/(Mg + Fe)$ در سنگهای دیوریتی و حدواسط تقریباً برابر ۰/۵ باشد. هورنبلند از نوع غنی از منیزیم محسوب می‌شوند (Anderson 1980) در هورنبلندهای مورد نظر نسبت فوق ۰/۵۶ تا ۰/۵۷ است و بنابراین غنی از منیزیم هستند.

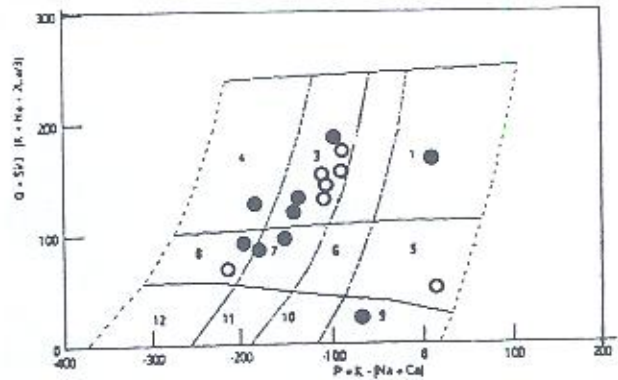
پارامترهای نمودار	$Ca \geq 1.5$	$Na + K \leq 0.5$
	$n \leq 5$	$n \leq 5$



پارامترهای نمودار	$Ca \geq 1.5$	$Na + K \leq 0.5$
	$Ca \leq 0.5$	$Ca \geq 0.5$



شکل ۳- محل ترکیب شیمیایی آمفیبولهای منطقه مورد مطالعه در نمودار طبقه‌بندی آمفیبولهای کلسیک (Leak 1997)
اندیت : هورنبلند غنی از منیزیم : اکتینولیت : ترمولیت



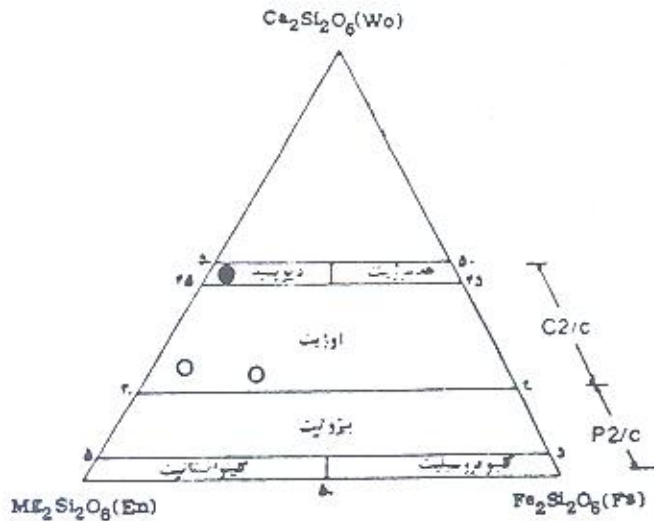
شکل ۲: نمودار Q-P (Debon and Le Fort 1988) سنگها آذرین منطقه بر روی آن ۱-گرانیت ۳-گرانودیوریت ۴-توالیت ۵-کوارتز سینیت ۷-کوارتز مونزودیوریت ۸-کوارتز دیوریت ۹-سینیت
نمونه‌های کافی آباد : نمونه‌های آذربلندان :

بازالتی در همبندی با گرانیتها و در مجاورت گسلها (به خصوص گسل نهشیر- بافت با روند شمال باختری- جنوب خاوری) دیده می‌شود. برپایه طبقه‌بندی مدال و نمودار Q-P (Debon & Lefort 1988) سنگهای منطقه بیشتر از نوع گرانودیوریت، گرانیت و به مقدار کمتر توالیت، کوارتزسینیت و سینیت هستند (شکل ۲).

کانی‌های اصلی گرانیتوئیدها شامل کوارتز - پلاژیوکلاز (آلبیت، الیگوکلاز و آنزین)، ارتوز و میکا (بیوتیت و به مقدار خیلی کم موسکوویت) هستند. پلاژیوکلازها ساخت منطقه‌ای نشان می‌دهند. این پدیده بیانگر افت سریع فشار و تغییرات ترمودینامیکی محیط تبلور است (Shelley 1993 و Barker 1994) در مقاطع نازک سنگها نونسل پلاژیوکلاز و گاهی نیز بیشتر دیده می‌شود.

کانی‌های فرعی موجود در این سنگها آپاتیت، زیرکن (ادخال در بیوتیت)، اسفن، تورمالین، اسپینل (نوع هرسینیت) هماتیت و منیتیت هستند.

در اسکارنهایی که در مجاورت توده‌های نفوذی تشکیل شده اپیدوت، نیوپسید، گرونا (آندراپت)، کلریت (شاموزیت)، سربانتین (لیزاریت)، فلئوگوپیت و زوئیزیت دیده می‌شود. علاوه بر گرونا نوع آندراپت، کروسولر نیز مشاهده می‌شود (زارعی، ۱۳۷۷). کانی‌های فوق در اسکارنها توسط مطالعه مقاطع نازک سنگها و روش آزمایشگاهی X.R.D تعیین شده‌اند. عمده‌ترین بافتهای شناخته شده در سنگهای ماگمایی بافتهای گرانولر، گرانفیک (گرانوفیر)، پرتیت و آنتیپرتیت می‌باشد. تعدادی از کانی‌های سنگهای نفوذی منطقه مورد تجزیه نقطه‌ای (میکروپروب) قرار گرفته که به شرح آنها پرداخته‌ایم.



شکل ۴: محدوده کلیپوپروکسنهای آهن - کلسیم - منیزیم یا نامهای پذیرفته شده (Morimoto). پروکسنهای منطقه پروی نمودار نشان داده شده‌اند. دیوپسید (درهاله دگرگونی) اوزیت (در سنگ‌های ماگمایی) می‌دهد.

ماگما به علت هم‌مجموع سنگ‌های آهنی در برگرفته و با اختلاط ماگما‌های غنی‌تر از کلسیم با ماگمای قبلی افزایش یافته باشد. جدول ۲ نتایج میکروپروب پلاژیوکلازهای توده‌های نفوذی منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

فلسپات‌آلکالین

فلسپات‌آلکالین نیز مانند پلاژیوکلاز، از کانی اصلی سنگ‌های گرانیتوئیدی است. آلکالی فلسپات‌ها از نوع ارتوز، میکروکلین، ارتوز یا میکروکلین پرتیتی است. تعداد ۷ نمونه از این کانی‌ها مورد تجزیه نقطه‌ای قرار گرفته‌اند. جدول ۲ نتایج حاصل از میکروپروب فلسپات‌های آلکالین را نشان می‌دهد.

میکاه‌ها

میکاه‌های موجود در سنگ‌های ماگمایی منطقه از نوع بیوتیت قهوه‌ای رنگ بوده و در سنگ‌های دگرگونی اسکاری از نوع فلوکوپیت می‌باشند. بیوتیت و فلوکوپیت هربو از آلومینیم و منیزیم غنی هستند. از تجزیه نقطه‌ای میکاه‌ها چنین استنباط می‌شود که فلوکوپیت‌ها همگی غنی از منیزیم بوده و در مورد بیوتیت‌ها مقدار آهن بر منیزیم برتری دارد.

اکسیدها

اکسیدهای موجود در سنگ‌های ماگمایی منطقه شامل ایلمنیت، منیت، همتایت، کروندوم، اسپینل و اولوسپینل هستند. تعدادی از اکسیدها به لحاظ ترمومتری منیت - ایلمنیت مورد تجزیه نقطه‌ای قرار گرفته و نشان می‌دهد که همراه با آنها مقداری زایکپلیمت ($MgTiO_3$) به

نام آمبولها شماره نمونه	ادیت		مورتلند غنی از منیزیم		مورتلند غنی از منیزیم		
	gk18(1)		AD14		AD22		
اکسیدها	درصد وزنی	کاتیونها	درصد وزنی	کاتیونها	درصد وزنی	کاتیونها	
SiO ₂	۶۶/۸۲	Si	۶/۴۹	۲۶/۱۳	۶/۳۲	Si	۶/۱۹
TiO ₂	۰/۳۵	Ti ^۴	۱/۳	۰/۴۸	۰/۶۹	Ti ^۴	۰/۷۰۴
Al ₂ O ₃	۱۲/۱۲	Al ^۳	۱/۰۱	۷/۵۲	۰/۴۴	Al ^۳	۰/۸۱
FeO _x	۱۲/۵۳	Ti	۰/۰۳۴	۱۶/۱۸	۰/۲۲	Ti	۰/۲۲
MnO	۰/۰۹	Fe	۱/۵۶	۰/۹۱	۱/۰۹	Fe	۰/۸۹
MgO	۱۲/۱۳	Mg	۲/۳۹	۱۱/۹۱	۲/۷۲	Mg	۱۱/۸۵
CaO	۱۰/۵۸	Mn	۰/۰۰۹	۱۱/۵۵	۰/۱۱	Mn	۰/۱۳
Cr ₂ O ₃	۰	Ca	۱/۴۹	۰/۱	۱/۸۶	Ca	۱/۰۱
Na ₂ O	۱/۵۲	Cr	۰	۱/۳۹	۰/۰۱۲	Cr	۱/۲۱
K ₂ O	۰/۲۹	Na	۰/۶۲	۰/۲۲	۰/۶۰۹	Na	۰/۶۱۹
F	۰/۱۶	K	۰/۰۵۲	۰/۳۱	۰/۰۸۵	K	۰/۱۲
Cl	۰	F	۰/۰۷۲	۰/۰۹	۰/۱۹۹	F	۰/۰۵
Total	۹۸/۲۱	Cl	۰	۹۷/۶۳	۰/۰۲۳	Cl	۰/۰۲۳

جدول ۱: تجزیه میکروپروب آمبولهای سنگ‌های نفوذی. محاسبه کاتیونها بر مبنای ۲۴ اکسیژن صورت گرفته است. (۱) gk18: گرانودیوریت AD14: گرانودیوریت AD22: دیوریت کوارتزار

پیروکسن

پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های ماگمایی از نوع اوزیت هستند. نوع اوزیت ازیرین نیز در سنگ‌های سبک‌تر یافت می‌شود. طبق نامگذاری ارائه شده توسط Morimoto (1988) پیروکسن‌ها از نوع کلسیم می‌باشند (شکل ۴).

پلاژیوکلاز

پلاژیوکلاز، بعد از کوارتز، کانی عمده و اصلی سازنده سنگ‌های ماگمایی منطقه می‌باشد.

تعداد ۱۷ نمونه از این کانی‌ها مورد تجزیه نقطه‌ای قرار گرفته‌اند. تجزیه پلاژیوکلازها از مرکز به حاشیه صورت گرفته است. بعضی از آنها زوینگ نوسانی و بعضی معکوس را نشان می‌دهند که این پدیده ناشی از تغییر شرایط فیزیکی (تغییرات فشار بخشی آب، افت حرارتی) تبلور است. در مواردی نیز میزان آنورتیت پلاژیوکلاز از مرکز به حاشیه کاهش می‌یابد ولی ناگهان در حاشیه دوباره افزایش نشان می‌دهد. این پدیده به احتمال زیاد ناشی از تغییر ترکیب شیمیایی است. ممکن است میزان کلسیم در



نام فلزهای آکسید	شماره نمونه	ارنوز	میکروکلین	آلبیت	ارنوز	ارنوز	ارنوز	سانیدین
اکسیدها	gk1	gk18(1)	gk18(2)	gk18(3)	AD14	AD22	SA2	
SiO ₂	۶۴/۰۲	۶۵/۳۲	۶۷/۳	۶۳/۹	۶۳/۱	۶۳/۲۵	۶۳/۶۶	
TiO ₂	۰/۰۷	۰	۰	۰/۰۹	۰	۰	۰	
Al ₂ O ₃	۱۹/۲۲	۱۹/۱۱	۲۱/۱۱	۱۸/۸۷	۱۸/۱۴	۱۸/۲۷	۱۹/۵۴	
FeO _t	۰/۰۵	۰	۰	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱۱	
MgO	۰	۰	۰	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۶	۰	
CaO	۰/۶۶	۰	۰/۴۹	۰/۶	۰/۵۲	۰/۸۳	۰/۵	
Na ₂ O	۳/۱۱	۱/۵۹	۱۰/۰۱	۳/۴	۲/۵۵	۳/۶۸	۲/۶	
K ₂ O	۱۲/۶۱	۱۴/۳۲	۱/۲۶	۱۲/۷۵	۱۲/۸۱	۱۳/۹۴	۱۲/۷۶	
BaO	۰	۰	۰	۰/۲۸	۰/۵۳	۰/۰۷	۰/۳	
Total	۱۰۰/۱۹	۱۰۰/۳۴	۱۰۰/۱۷	۱۰۰/۰۴	۹۷/۸۵	۹۹/۳	۹۹/۴۷	

دکاتیونها

Si	۱۱/۷۷۹	۱۱/۹۳۷	۱۱/۷۷۴	۱۱/۷۸۷	۱۱/۹۰۲	۱۱/۷۸۵	۱۱/۷۶۵	
Al	۴/۱۵۸	۴/۱۱۸	۴/۳۵۲	۴/۱۰۲	۴/۰۱۲	۴/۰۱	۴/۲۴۴	
Fe	۰/۰۰۷۶	۰	۰	۰/۰۱۱	۰/۰۰۶۲	۰/۰۱۷۹	۰/۰۱۶	
Ti	۰/۰۰۸۸	۰	۰	۰/۰۱۲	۰	۰	۰	
Mg	۰	۰	۰	۰/۰۱۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰	
Na	۱/۱۰۶	۰/۵۶۰	۳/۳۹۶	۱/۱۹۷	۰/۹۲۹	۱/۳۲۱	۰/۹۳۳	
Ca	۰/۱۲۱	۰	۰/۰۹۵	۰/۱۱۰	۰/۱۰۴	۰/۱۶۵	۰/۰۹۸	
K	۲/۹۴۲	۳/۳۲۸	۰/۲۸۴	۲/۹۹۴	۳/۰۶	۳/۰۶۹	۲/۹۹۹	
BaO	۰	۰	۰	۰/۰۱۱	۰/۰۳۸	۰/۰۰۵۰۴	۰/۰۲۱	
درصد مولکولی	Or	۷۰/۵۷	۸۵/۶۳	۷/۵۲	۶۹/۶۱	۷۴/۷۶	۶۷/۳۸	۷۴/۴۲
	Ab	۲۶/۵۳	۱۴/۳۷	۸۹/۹۶	۲۷/۸۳	۲۲/۷۰	۲۹/۰۰	۲۳/۱۵
	An	۲/۹۰	۰	۲/۵۲	۲/۵۶	۲/۵۴	۳/۶۲	۲/۴۳

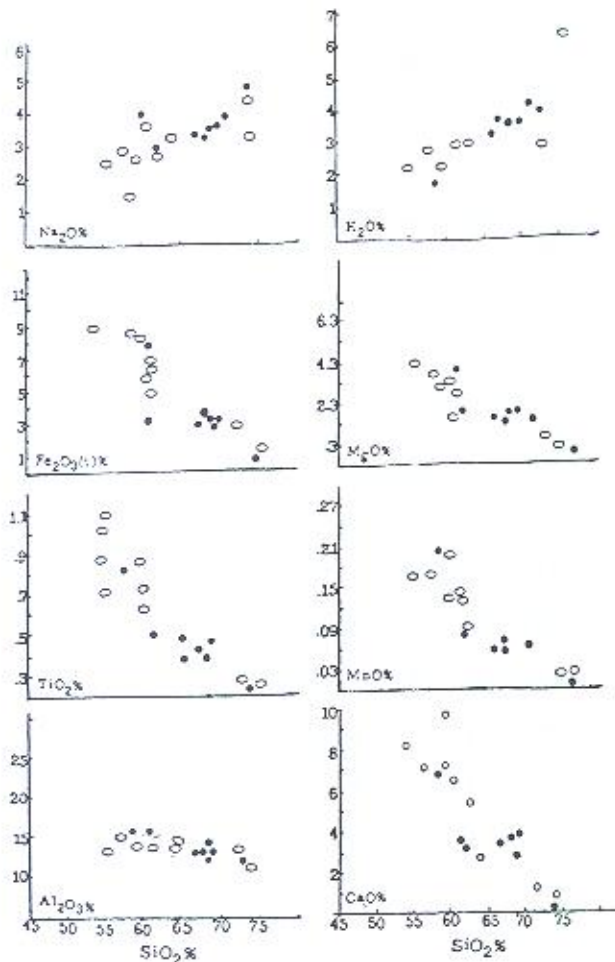
جدول ۳: تجزیه الکترون میکروبراب فلزهای آکسیدهای سنگهای ماگمایی منطقه مورد مطالعه، محاسبه کاتیونها بر مبنای ۳۲ اکسید صورت گرفته است. gk1: گراتیت، gk18: گرانودیوریت، AD14: گرانودیوریت، AD22: گرانودیوریت تا دیوریت کوآرتزدار، SA2: بازالت آندزیتی

ویژگیهای ژئوشیمیایی

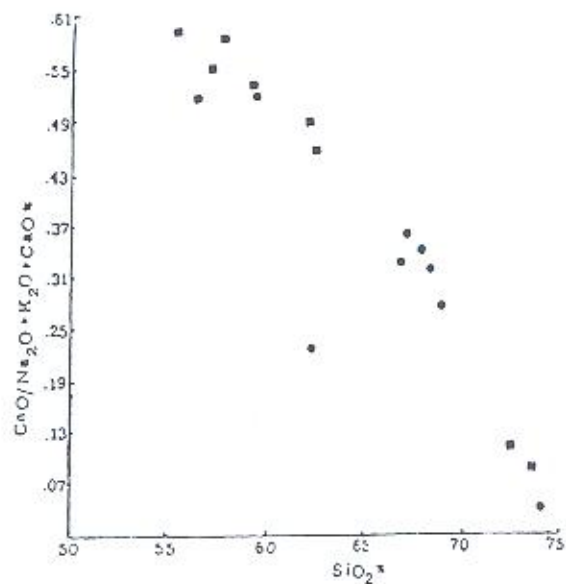
به منظور مطالعه ژئوشیمیایی و تعیین نوع گرانیت توده‌های نفوذی کافی آید و آبریلندان، تعدادی از نمونه‌ها مورد تجزیه شیمی قرار گرفته و اکسیدهای عناصر اصلی و کمپاب آنها تعیین شدند. براین راستا تعداد ۶۷ کانی مورد تجزیه نقطه‌ای (الکترون میکروپروب) قرار گرفت و نوع آنها مشخص گردید (جدول ۴). بر توده‌های نفوذی کافی آید و آبریلندان SiO_2 از ۵۶/۱۰ تا ۷۴/۷۷ درصد، Al_2O_3 از ۱۳/۰۸ تا ۱۵/۹۴ درصد، FeO از ۰/۷۴ تا ۶/۱۳ درصد، Fe_2O_3 از ۰/۸۶ تا ۲/۵۴ درصد، MgO از ۰/۲۲ تا ۴/۱۶ درصد، CaO از ۰/۲۶ تا ۱۰/۱۲ درصد، K_2O از ۱/۹۴ تا ۶/۸۷ درصد (۸/۲۱ درصد بزرگ نمونه شنیداً تجزیه شده) Na_2O از ۱/۱۸ تا ۴/۸۸ درصد، P_2O_5 از ۰/۰۲۷ تا ۰/۲۶۵ درصد، MnO از ۰/۰۰۸ تا ۰/۱۹ درصد و بالاخره TiO_2 از ۰/۰۸ تا ۱/۰۱ درصد تغییر می‌کند (جدول ۴).

برصد کم الومین (۱۳/۰۸ درصد) بر گرانودیوریت (gk22) و مقدار بالای آن (۱۵/۹۴ درصد) در نیوریت کوارتزدار (AD29) و نیز تغییرات شدید MgO (۰/۲۲ تا ۴/۱۶ درصد) بیانگر جدایش کانی‌های فرومنیزین بر بخش‌های نحتانی و پلاژیوکلاز بر بخش‌های فوقانی بوده که نتیجه تفریق ماگمایی است. تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی سنگهای مختلف توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه نسبت به یکدیگر (نمودارهای هارکر، شکل ۵) نشان می‌دهد که تبلور کانی‌های فرومنیزین از قبیل پیروکسن و آمفیبول موجب تنزل $MnO, CaO, FeO, MgO, TiO_2$ و افزایش مقدار Al_2O_3 و عناصر آلکالن (K_2O, Na_2O) در ماگمای باقیمانده شده که متعاقب آن تبلور پلاژیوکلاز باعث شده که مقادیر CaO و Al_2O_3 نسبت به سیلیس در نمودارها کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان دهند. از نمودارهای فوق و مطالعه دقیق پتروگرافی چنین استنباط می‌شود که توده‌های نفوذی مزبور به گمان دچار پدیده تفریق از طریق تبلور بخشی شده‌اند. نمودارهای تغییرات $CaO/(Na_2O + K_2O + CaO)$ در مقابل SiO_2 (شکل ۶) و Sr بر مقابل CaO (شکل ۷) نیز پدیده تفریق بر اثر تبلور بخشی را نشان می‌دهند. پراکنندگی نقاط در نمودارها به احتمال ناشی از نوب سنگهای پوسته قاره‌ای توسط ماگمای دیوریتی یا گرانودیوریتی است. بررسی نمودارهای عنکبوتی (Rollinson 1993, Wilson 1989) نشان می‌دهد که سنگهای منطقه از عناصر Rb, K, Ba غنی شده و در عوض از عناصر Ti و Sr, Nb تهی شده‌اند. تغییرات شدید عناصر فوق‌الذکر بیانگر این است که توده‌های نفوذی مورد بحث احتمالاً مرتبط با مناطق فرورانش هستند.

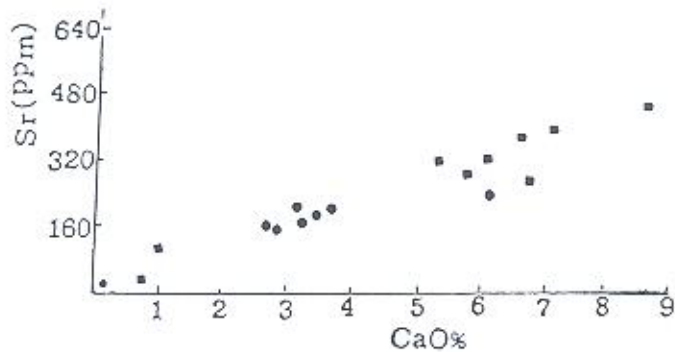
برای تشخیص گرانیت‌های نوع A و S از نمودارهای درصد وزنی Na_2O / K_2O (Chapple & White 1992) و نیز نمودار درصد مولکولی Al_2O_3 به درصد مولکولی ($CaO + Na_2O + K_2O$) استفاده شده است (اشکال ۸ و ۹). طبق این نمودارها گرانیت‌های کافی آید و آبریلندان از نوع A هستند. تعداد کمی از نمونه‌ها گرایش به نوع S نشان می‌دهند این موضوع بر ارتباط با افزایش پخاسیم از طریق نوب سنگهای پوسته قاره‌ای است. بنابراین طبق تقسیم‌بندی ژنتیکی (Castro et al 1991) از نوع Hm می‌باشند. براساس نمودارهای Maniar & Piccoli (1989) که از تغییرات $(K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$ بر مقابل $(CaO + K_2O) + Na_2O / Al_2O_3$ استفاده شده سنگهای منطقه مورد مطالعه در محدوده متألومین قرار می‌گیرند. سه نمونه نیز بر قلمرو پراآلومین واقع شده‌اند (شکل ۱۰).



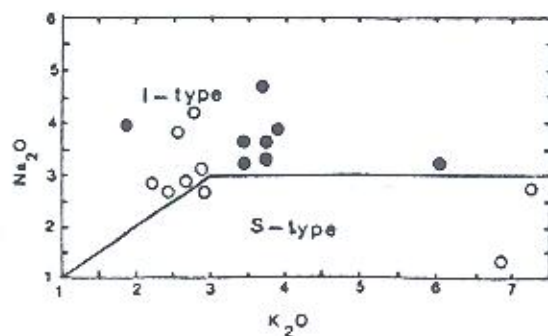
شکل ۵: نمودار تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی در مقابل سیلیس
●: نمونه‌های کافی آید ○: نمونه‌های آبریلندان



شکل ۶: نمودار تغییرات CaO/CKNK در مقابل SiO_2 . در این نمودار تقریب و تحول ماگما در اثر تبلور بخشی کلتوپروکسن نشان داده شده است.
 ●: نمونه‌های کافی‌آباد ■: نمونه‌های آدری‌لندان



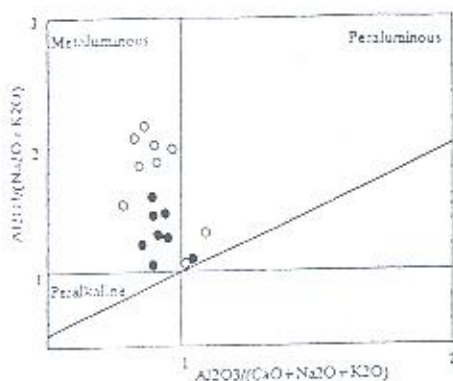
شکل ۷: نمودار تغییرات Sr در مقابل CaO که تقریب ماگما در اثر تبلور پلاژیوکلاز را نشان می‌دهد.
 ●: نمونه‌های کافی‌آباد ■: نمونه‌های آدری‌لندان



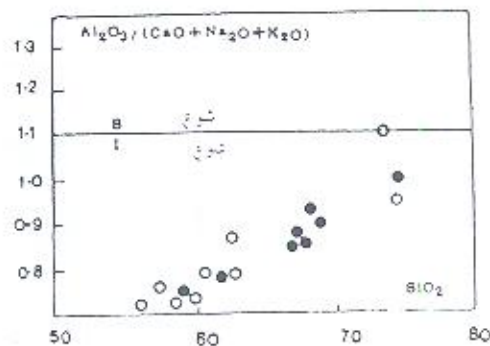
شکل ۸: نمودار تغییرات Na_2O در مقابل K_2O جهت تفکیک گرانیت‌های نوع S و I از (Chappel and White 1992).
 ●: نمونه‌های کافی‌آباد ■: نمونه‌های آدری‌لندان

اکسیدها ش نمونه	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Total
gk1	۶۹/۱۰	۱۳/۸۹	۲/۸۵	۳/۸۷	۱/۸۸	۱/۲۶	۳/۶۱	۱/۳	۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۰۶۴	۹۸/۳۱
gk8	۶۷/۶۵	۱۳/۸۹	۳/۳۸	۳/۵۱	۱/۹	۱/۲	۳/۴۷	۱/۳۸	۰/۴	۰/۱۲۵	۰/۰۶۱	۹۶/۹۶
gk12	۶۸/۵۴	۱۳/۹۷	۳/۵۵	۳/۶۸	۲	۱/۵۲	۳/۴۶	۱/۴۲	۰/۴۵	۰/۱۴۱	۰/۰۷	۹۸/۸
gk14	۵۸/۲۴	۱۵/۱۳	۶/۳۷	۱/۹۴	۲/۴۱	۵/۵۲	۳/۹۸	۳/۶۵	۰/۸۶	۰/۲۶	۰/۱۹	۹۸/۵۵
gk22	۷۴/۷۷	۱۳/۰۸	۰/۲۶	۳/۸۶	۰/۸۶	—	۴/۸۸	۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۱۱۴	۰/۰۰۸	۹۸/۲۹
gk25	۶۲/۳۹	۱۵/۲۵	۳/۳۷	۸/۲۱	۱/۹۹	۱/۱۸	۲/۹۶	۱/۳۹	۰/۴۹	۰/۱۷۲	۰/۰۸۸	۹۷/۴۹
gkc16	۶۸/۶۳	۱۳/۹۶	۳/۵۳	۳/۶۹	۱/۹۹	۱/۵۳	۳/۴۶	۱/۴۲	۰/۴۴	۰/۱۴۳	۰/۰۶۸	۹۸/۸۶
gkc17	۶۹/۱۵	۱۳/۸۷	۲/۸۶	۳/۸۸	۱/۸۹	۱/۲۶	۳/۶۰	۱/۲۹	۰/۳۹	۰/۱۱۴	۰/۰۶۳	۹۸/۳۷
AD6	۵۶/۱۰	۱۳/۷۳	۷/۳۸	۲/۲۶	۲/۴۹	۶/۱۳	۲/۶۷	۴/۱۶	۰/۹۹	۰/۲۶۵	۰/۱۶۹	۹۶/۳۴
AD10	۷۴/۰۶	۱۳/۵۷	۰/۸۴	۶/۱۳	۰/۹۸	—	۳/۲۰	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۰۲۷	۰/۰۱۳	۹۹/۱۲
AD12	۷۳/۲۹	۱۳/۲۸	۰/۸۶	۲/۹۶	۱/۶۹	۰/۷۴	۴/۴۴	۰/۵۷	۰/۱۹	۰/۰۶۴	۰/۰۲۴	۹۸/۱۰
AD15	۶۰/۳۸	۱۵/۸۲	۶/۵	۲/۲۸	۲/۳۶	۴/۲	۳/۴۹	۳/۳۱	۰/۸۱	۰/۲۶	۰/۱۲۸	۹۹/۵۴
AD26	۵۹/۷	۱۳/۹۸	۷/۱۸	۲/۱۱	۲/۳۷	۴/۸۱	۲/۷۱	۳/۰۴	۰/۸۱	۰/۲۱	۰/۱۲۴	۹۷/۰۴
AD27	۶۲/۰۱	۱۴/۵۷	۵/۶۵	۲/۹۱	۲/۲۴	۳/۸۶	۲/۹۳	۲/۹۲	۰/۷	۰/۱۸۵	۰/۱۱۲	۹۸/۰۸
AD29	۶۲/۱۲	۱۵/۹۴	۵/۳۱	۲/۹۰	۲/۰۴	۲/۷۴	۳/۱۶	۲/۰۴	۰/۵۴	۰/۱۶	۰/۰۸۴	۹۷/۰۴
AD37	۵۸/۴۷	۱۳/۷۶	۱۰/۱۲	۶/۸۷	۲/۲۱	۳/۲۶	۱/۱۸	۱/۷۸	۰/۶۷	۰/۱۵۹	۰/۱۸۶	۹۸/۶۶
AD39	۵۷/۶۵	۱۴/۴۶	۶/۱۲	۲/۷۳	۲/۵۴	۵/۷۲	۲/۹۲	۳/۸۶	۱/۰۱	۰/۲۵	۰/۱۶	۹۷/۴۲

جدول ۴: نتایج تجزیه شیمیایی ۱۷ نمونه از سنگهای گرانیتوئیدی توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آدریلتدان و تعیین اکسیدهای عناصر اصلی آنها به روش XRF. ارقام بر حسب درصد وزنی هستند.
gk₁ تا gk₁₇ نمونه‌های کافی‌آباد، AD⁸ تا AD³⁹ نمونه‌های آدریلتدان



شکل ۱۰: نمودار Meniar and Piccoli (1989) که محدوده‌های پرآلومینه، مت‌آلومینه و پرآلکالین را از هم جدا می‌کند. طبق این نمودار سنگهای منطقه مورد مطالعه مت‌آلومینه و کمی پرآلومین هستند.
●: نمونه‌های کافی‌آباد
○: نمونه‌های آدریلتدان

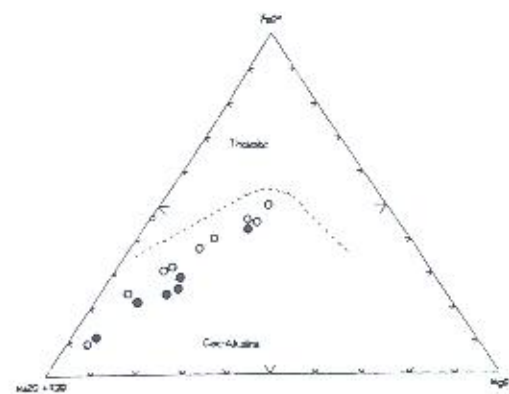
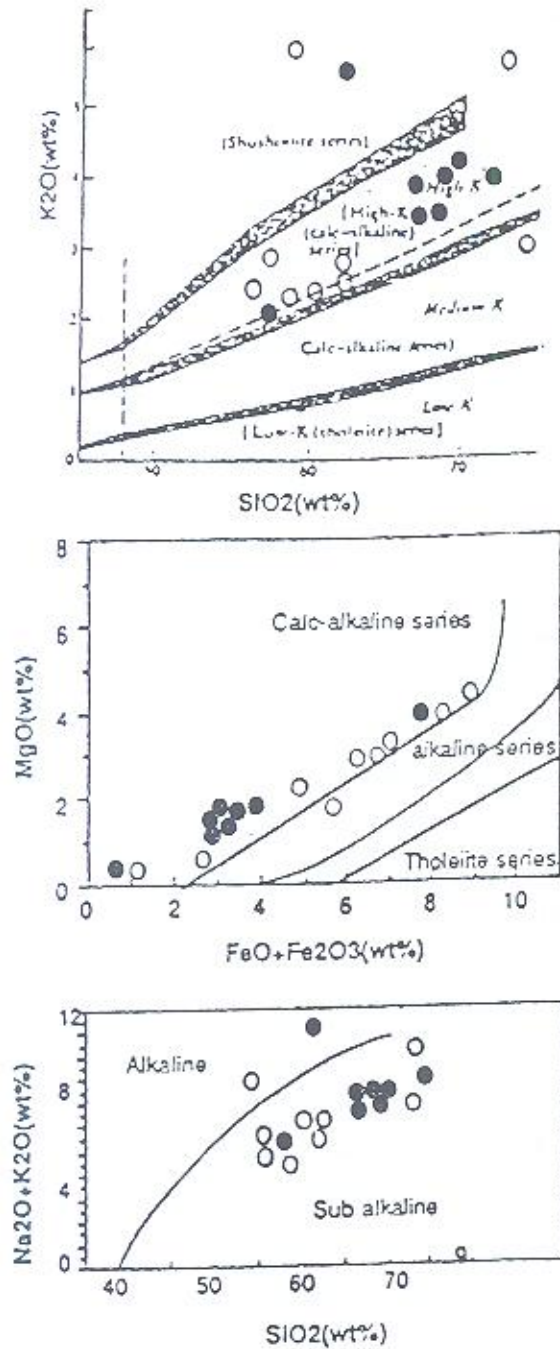


شکل ۹: نمودار درصد مولکولی $Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ در مقابل درصد وزنی SiO_2 که جداکننده گرانیت نوع S است (Taylor and strong 1988).
●: نمونه‌های کافی‌آباد
○: نمونه‌های آدریلتدان

تحولات سنگ‌شناسی

برای تشخیص و تفکیک توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی به طور کلی روش‌های زیر به کار برده می‌شوند: نسبت ایزوتوپی $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ، نمودارهای $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ، $\text{Al}(\text{Na} + \text{K} + \text{Ca}/2)$ ، $\text{K}/(\text{K} + \text{Na})$ (Wilson 1989)، $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})/(\text{FeO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (Silvester 1988)، $(\text{MgO} + \text{FeO} + \text{TiO}_2)/\text{SiO}_2$ (Middlemost 1994)، $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ (AFM) (Irvin & Baragar 1971) و $\text{MgO}/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ (Miashiro 1974 Boden 1982) بر اساس نمودارهای AFM و $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ (Irvin and Baragar 1971) ماکمای سازندی سنگهای گرانیتوئیدی منطقه از نوع کالکوآلکان است (شکل ۱۱ و ۱۲).

ساده‌ترین تقسیم‌بندی ژنتیکی گرانیت‌ها را به دو گروه (منیتی) و گروه S (ایلمنیتی) تقسیم می‌کند (White & Chapple in: Hall 1996). White and Chapple (1979, 1977) و Hine et al (1978) برای تفکیک گرانیتوئیدهای نوع S و S مشخصات جدیدی را عنوان نمودند. به نظر آنها گرانیت‌های نوع S به طور عموم به صورت توده‌های نفوذی کوچک و فاقد سنگهای آتشفشانی مرتبط با آنها بوده و طیف ترکیبی آنها از بیوریت (۲۰٪)، گرانودیوریت (۱۸٪) تا گرانیت (۸۰٪) متغیر است و گرانیتوئیدهای نوع A معمولاً به صورت توده‌های نفوذی بزرگ و همراه با سنگهای آتشفشانی مرتبط با آنها بوده و طیف ترکیبی آنها از بیوریت (۱۵٪)، گرانودیوریت (۵۰٪) تا گرانیت (۳۵٪) متغیر است. در محدوده مورد مطالعه توده‌های نفوذی کافی آباد و آبریلندان بانوع A مطابقت دارند.



شکل ۱۲: نمودار $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ (Lemeyre 1989 اقتباس از Rollinson 1983):

$(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ (Tilley and Muir 1987) و $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ (Irvin and Baragar 1971). طبق این نمودار ماکمای سازنده سنگها از نوع ساب‌آلکان (کالکوآلکان) است.

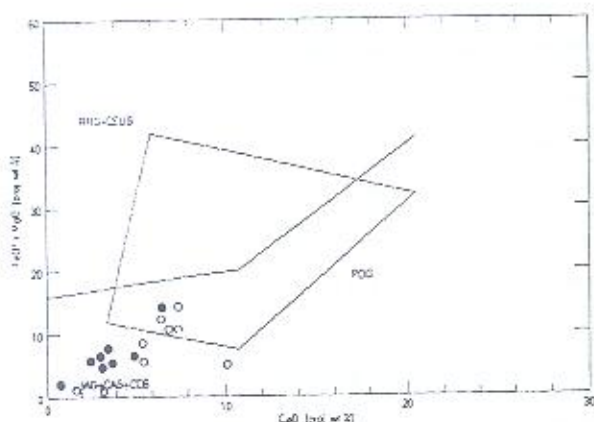
●: نمونه‌های کافی آباد ○: نمونه‌های آبریلندان

شکل ۱۱: نمودار AFM (Irvin and Baragar 1971) که سری‌های کالکوآلکان و تولییت را از هم جدا می‌کند. نمونه‌های منطقه مورد مطالعه خصوصیات کالکوآلکان را نشان می‌دهند.

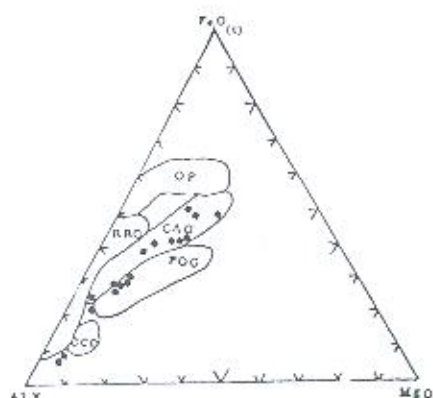
●: نمونه‌های کافی آباد ○: نمونه‌های آبریلندان

کافی‌آباد و آدریلندان از نوع گرانیتوئیدهای کوهزایی (LAG, CAG, CCG) هستند (شکل ۱۳). براساس نمودار نیز گرانیتوئیدهای کافی‌آباد و آدریلندان بیشتر از نوع کوهزایی هستند (شکل ۱۴).

عناصر کمیاب سنگهای ماگمایی جنوب باختری یزد با نمودارهای عنکبوتی مربوط به مناطق ORG, MORB (Pearce et al 1984) و مناطق فرورانش (حاشیه فعال قاره) مقایسه شده‌اند. این نمودارها دارای نقاط بیشینه و کمینه‌ای هستند که اختلاف بین آنها زیاد بوده و نشانگر محیط‌های بر ارتباط با فرورانش می‌باشند زیرا که رسوبات و مایعات همراه با آنها می‌توانند باعث غنی‌شدگی غیرعادی عناصر کمیاب شوند. این نمودارها غنی‌شدگی از عناصر Rb, K, Ba و تهی‌شدگی از Sr, Nb و Ti را نشان می‌دهند. شکل ۱۵ نمودارهای فوق را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: نمودار $FeO + MgO/CaO$ از Maniar and Piccoli (1989). طبق این نمودار گرانیتوئیدهای جنوب خاوری یزد از نوع گرانیتوئیدهای کوهزایی هستند.



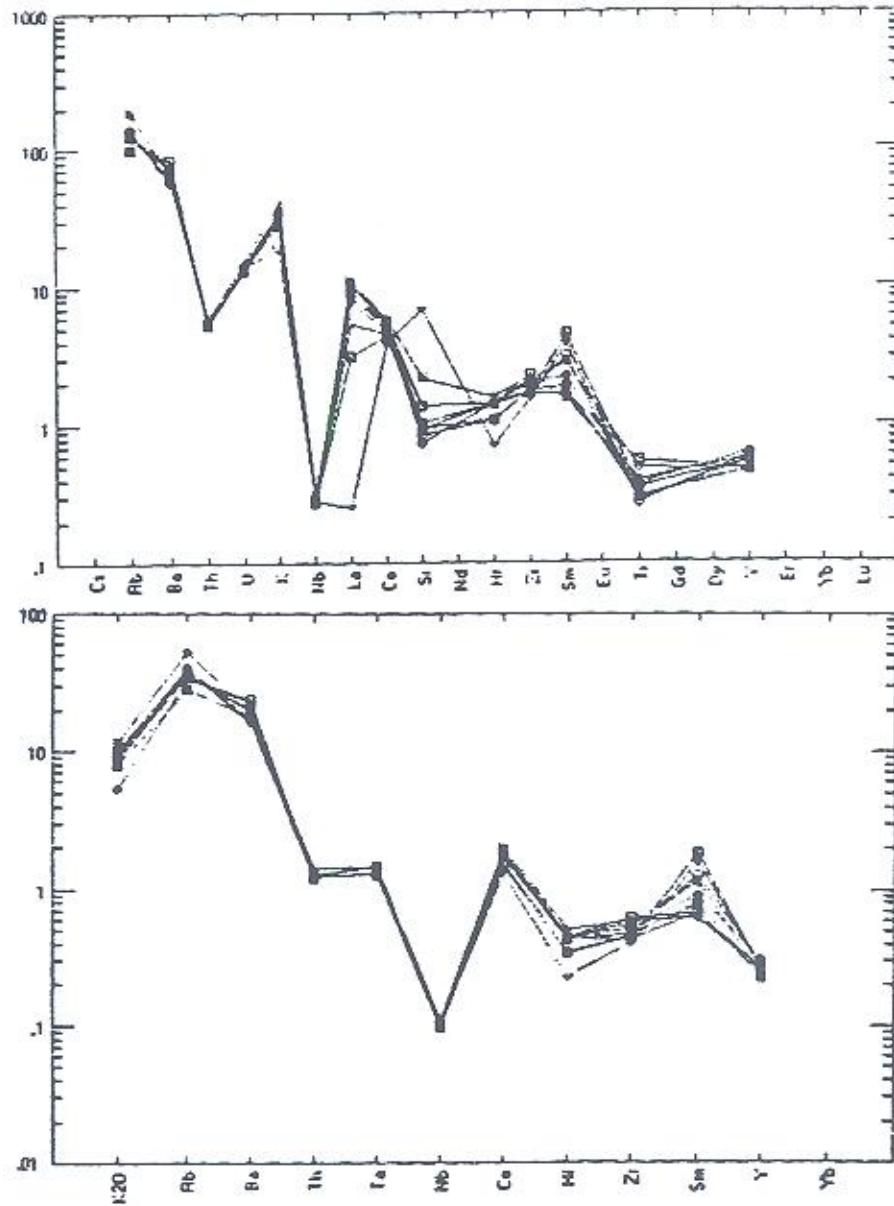
شکل ۱۴: تفکیک انواع گرانیتوئیدها براساس محیط تکتونیکی در نمودار AFM (Boden et al 1984). نمونه‌ها (بجز چند نمونه) در قلمرو CAG قرار می‌گیرند. ●: نمونه‌های کافی‌آباد ■: نمونه‌های آدریلندان

برای بررسی شرایط دما و فشار تشکیل توده‌های نفوذی جنوب باختری یزد از نمودارهای بوتای سیستم آل‌بیت و ارتوز (Tuttle & Bowen 1958) استفاده شده و باتوجه به حضور گسترده پرتیت و آنتی‌پرتیت در توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آدریلندان فشار بخار آب حاکم بر تشکیل توده‌های نفوذی بین ۱-۲ کیلو بار فرض شده است. علاوه بر موارد فوق کانی‌شناسی دقیق سنگها نیز مؤید این مطلب است زیرا که در حالت دگرگونی ایجاد شده در اطراف توده‌های نفوذی بپوسید که حرارت تشکیل بیش از $650 \pm 500 \text{ C}$ و فشار حدود ۲Kb را نشان می‌دهد (زارعی، ۱۳۷۷) وجود دارد. باتوجه به اینکه توده‌های پلوتونیک می‌توانند حداکثر ۶۰ تا ۷۰ درصد حرارت خود را به نزدیکترین سنگهای مجاور منتقل کنند (Aubouin et al 1975) لذا حرارتی در حدود 750 C تا 900 C برای توده‌های گرانوئیدوریتی تخمین زده می‌شود. نمودار مثلثی Ab-An-Or (Fahrman & Lindsley 1988) نیز حرارت 750 C و فشار ۱ کیلو بار برای تبلور فلدسپاتها را نشان می‌دهد. ژئوبارومتری هورنبلند با استفاده از فرمول $P = -3/92 + 5/03 \text{AIT}$ نشان می‌دهد که فشار تشکیل هورنبلند در سنگهای ماگمایی ۲/۶۷ تا ۷/۷۲ کیلو بار بوده است. هورنبلندهای تپهک سنگهای نیوریتی و سایر سنگهای حدواسط و کالکوالکانن دارای نسبت $X = Mg/(Mg + Fe)$ تقریباً ۰/۵ هستند. چنین هورنبلندهایی دارای ۱/۵ واحد آلومینیم بر واحد فرمول می‌باشند (Anderson 1980). این نسبت در هورنبلندهای موجود در سنگهای ماگمایی منطقه مورد مطالعه ۰/۵۶ تا ۰/۵۷ است که خصوصیات کالکوالکانن آنها را تأیید می‌کند.

در بررسی‌های سنگشناسی نوع بافت سنگها نیز می‌تواند به عنوان کلیدی برای شناخت خاستگاه ماگماژنر باشد. در سنگهای منطقه مورد مطالعه بافت‌های پرتیت، آنتی‌پرتیت و گرافیک (گرانوفیر) به فراوانی یافت می‌شود. وجود بافت‌های پرتیتی و آنتی‌پرتیتی نشانه تبلور سنگ تحت فشار بخار آب کم (زیر ۲Kb) در سیستم بوتایی آل‌بیت و ارتوز بوده است. به چنین گرانیت‌هایی، گرانیت هیپرسالووس (Hypersolvus) گفته می‌شود. بافت‌های گرانوفیری موجود حاصل رشد همزمان کوارتز و فلدسپات آلکانن از مایعی که ترکیب مشابه نقطه اوتکتیک یا کوتکتیک را دارد، می‌باشند.

موقعیت تکتونیکی

با استفاده از نمودارهای تشخیص محیط تکتونیکی که توسط Maniar and Piccoli (1989) ارائه شده به طور کلی گرانیتوئیدها در سه گروه ۱- CAG, CCG و ۲- IAG و ۳- POG قرار می‌گیرند. نمودار درصد وزنی $FeO + MgO/CaO$ نشان می‌دهد که گرانیتوئیدهای



شکل ۱۵: نمودار اسپایدر مربوط به سنگهای گرانیتی کافی آباد و آدربلندان. همانطوری که دیده می‌شود از Abi-Ba و K غنی و از Nb, Sr و Ti تهی شده‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

با بردن نظر گرفتن مطالعات صحرایی، پتروگرافی، ژئوشیمی و پترولوژی توده‌های گرانیتوئیدی کافی‌آباد و آبریلندان، موارد زیر را می‌توان نتیجه‌گیری کرد:

- ۱- سنگهای همبندی توده‌های نفوذی، آهکهای کرتاسه بوده که بر اثر جایگزینی توده‌های گرانیتوئیدی به اسکارن تبدیل شده‌اند و عمده‌ترین کانی‌های اسکارن مزبور عبارتند از: نیوپسید، کرونا (آندرابیت)، فلوگوپیت، اسکاپولیت، تالک و سرپانتین.
- ۲- توده‌های نفوذی مورد نظر از نوع گرانودیوریت، گرانیت، کوارتز مونوزیوریت، کوارتز بیوریت، تونالیت و سبینیت هستند. کانی‌های فرعی سنگها، آپاتیت، زیرکن (ادخال در بیوتیت)، اسفن، تورمالین، اسپینل (نوع هرسینیت)، هستند.
- ۳- توده‌های گرانیتوئیدی منطقه بیشتر ماهیت کالکوالکالن دارند.
- ۴- آمفیبولهای سنگهای ماگمایی منطقه مورد مطالعه از نوع هوربلند متیزیم‌دار و انبث بوده و پیروکسنها از نوع اوژیت می‌باشند.
- ۵- از بررسی نمودارهای هارکر مربوط به سنگهای ماگمایی چنین استنباط می‌شود که توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آبریلندان دچار پدیده تفریق از طریق

تبلور بخشی شده‌اند.

۶- دمای یکنواخت‌شدگی نسبتاً پایین کوارتز در سنگهای منطقه می‌تواند حاکی از عملکرد فاز بوتریک باشد. فراوانی میکا و آمفیبول این موضوع را تأیید می‌کند.

۷- حرارت تبلور فلدسپاتها ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد بر فشار یک کیلوپار بوده و فشار تبلور آمفیبولها ۲/۶۷ تا ۷/۷۲ کیلوپار بوده است.

۸- برهمنای مشاهدات صحرایی و کانی‌شناسی اسکارن، دمای توده آنزین ۷۵۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد تخمین‌زده می‌شود.

۹- با توجه به نمودارهای تشخیص محیط تکتونیکی گرانیتها و ویژگیهای شیمیایی و کانی‌شناسی گرانیتوئیدهای کافی‌آباد و آبریلندان می‌توان آنها را جزو گرانیت‌های کوهزایی برخورد قاره‌ای دانست

۱۰- از نظر پتانسیل اقتصادی توده‌های کافی‌آباد و آبریلندان استعداد فوق‌العاده‌ای جهت استفاده سنگهای تزئینی داشته و بخش هوازده آن برای استخراج فلدسپات و سیلیس مناسب است.

پگماتیت‌های در ارتباط با توده‌های نفوذی خیلی کم بوده و فاقد ارزش اقتصادی هستند. ارزش اقتصادی منابع اسکارنی بایستی مورد مطالعه بیشتری قرار گیرد.

کتابنگاری

- زارعی سهامیه، رضا ۱۳۷۷- مطالعه ماگماتیسیم جنوب غرب یزد (منطقه انار - عقدا)، موضوع پایان نامه دکترا (در حال انجام)، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- گزارش ورقه یکصد هزارم ناحیه خضرآباد ۱۳۷۱- سازمان زمین‌شناسی کشور.
- نبوی، محمدحسن ۱۳۵۵- نیماچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور.

References

- Anderson, A.T., JR., 1980- Significance of hornblende in calc-alkaline andesites and basalts, *Am. Min.*, 65, 510-537.
- Aubouin, J., Brousse, R. & Lehman, J.P., 1975- *Precis de Petrologie*, Tome 1, Bordas, Paris.



- Castro, A., Moreno, Ventas and J.D., Delarosa, 1991- H-type (hybrid) Granitoids: A proposed revision of the granite type classification and nomenclature: *Eart. Sci, Rev.* 31, p.237-258.
- Chappell, B.W., & White, A. J.R., 1974- Two contrasting granite types. *Geol*: 173-174.
- Chappell, B. W. & A.J.R white, 1992- I and S type granites in the Lachland fold belt: *Earth Sci. V*, 83P.1.26.
- Debon, F. & Le Fort, P., 1988- A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: Principles, method, applications, *Bull mineral*, 111, 493-510.
- Fuhrman, M. L., & D. H., Lindsley, 1988- Ternary feldspar modeling and thermometry, *Am. Mineral*, 73, 21-15.
- Hall, A., 1996- *Igneous Petrology*, Longman Scientific & Technical.
- Hine, R. I., S.Williams.B.E, Chappell, and A.J.R. White, 1978- Contrasts between I-and S- type granitoids of the Kosciusko Batholith. *J-Geol. of the Soci. of Aus.*, Vol. 25, PP.219-234.
- Irvine, T.N., & Baragar, W.R.A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J.Earth Sci.*, 8:523-548.
- Leake, E.B., 1997- Nomenclature of Amphiboles, department of geology and applied geology, University of Glasgow, U.K., *The Canadian Mineralogist* Vol. 35. PP. 219-46.
- Lemeyre, J., & Bowden, P., in Press, 1982- Plutonic type series discrimination of various granitoid series and related rocks by their modal composition.
- Maniar, P.O.Piccoli, 1989- Tectonic discrimination of granitoids, *geo, Soc, of Am, Bull*, Vol., 1.1 P. 635-43.
- Middlemost, A.K., 1994- Naming materials in the magma, Igneous rock system, Dept. of geology and geophysics, University of Sydney, Australia.
- Miyashiro, A., 1974- Volcanic rock series in Island arcs and active continental margins. *American Journal of Science* 274. 321-355.
- Morimoto, N., 1988- Nomenclature of Pyroxenes, *Min, Mag*, 52, PP. 535-50.
- Pearce, A. J., et al., 1984- Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, dept. of Earth Sciences, The Open University Milton Keynes, England.
- Rollinson, H., 1993, *Using geochemical data evaluation, interpretation*, Longman.
- Shelley D., 1993- *Igneous and metamorphic rocks under the microscope*. Chapman and Hall, London.
- Sylvester, P. J., 1989- Post-Collisional alkaline granites, *J-Geol. Col.97.P.*, 261-280.
- Taylor, R.P. and Strong, D.F. (eds) 1988- *Recent advances in the geology of granite-related mineral deposits*, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, special Volume 39.
- Tilley, C.E., and Muir, I.D., 1967-Tholeitic Series, *Geol. May*, 104, 4, 337- 343.
- Tuttle, O.F. & Bowen, N.L., 1985- Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$. *Geol. Soc. Am. Mem.*, 74:1-153.
- White, A.J.R. & Chapple, B. W., 1977- Ultrametamorphism and granitoid genesis, *Tectonophysics*, 43: 7-22P.
- Wilson, M., 1989- *Igneous Petrogenesis* Uniwin, Hyman, London, PP. 466.