

پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های نفوذی جنوب غرب یزد

زارعی سهامیه، رضا - گروه زمین‌شناسی دانشگاه لرستان
امینی، صدرالدین - گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت معلم

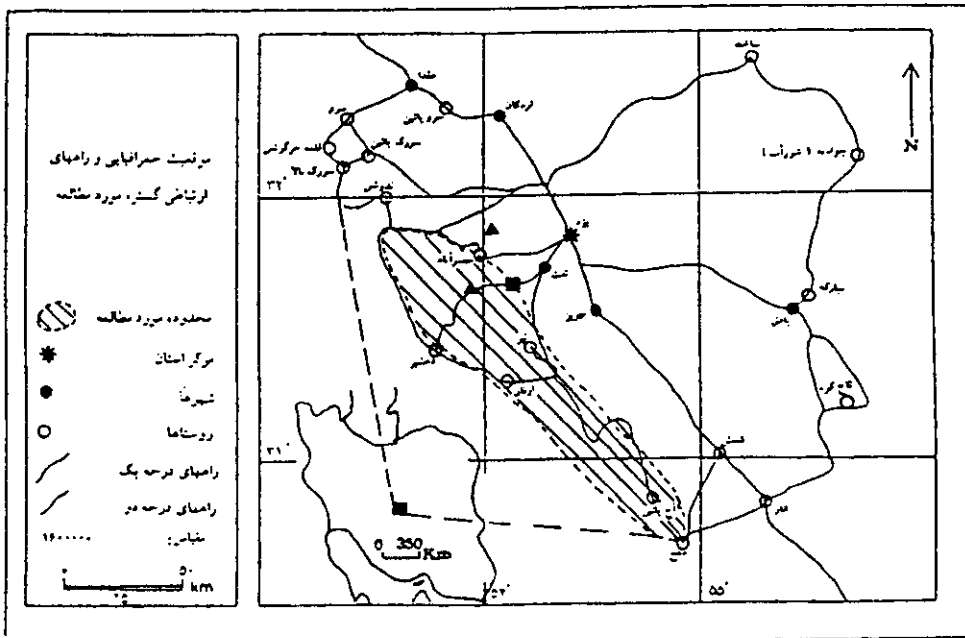
چکیده:

در جنوب غرب یزد سه توده گرانیتوئیدی به اسامی باتولیت شیرکوه، کافی آباد و آدربلندان رخنمون دارند. سن باتولیت شیرکوه، با توجه به اینکه سازند نایبند (تریاس فوقانی) را قطع کرده و سازندهای کرتاسه بر روی آن قرار گرفته، به احتمال زیاد ژوراسیک است به نظر می‌رسد اولین و مهمترین مرحله ماگماتیسم باشد که در ژوراسیک میانی (سیمری پسین) اتفاق افتاده است. از طرفی دگرگونی سنگهای آهکی کرتاسه در اطراف توده‌های نفوذی کافی آباد و آدربلندان در اثر نفوذ گرانیت‌ها، دایکهای دیوریتی و نیز تشکیل اسکارنهای متعدد در آنها نشان می‌دهد که توده‌های نفوذی کافی آباد و آدربلندان طی فازهای کوه‌زایی بعدی جایگزین شده‌اند. بنابراین باید گفت که باتولیت گرانیتوئیدی شیرکوه دارای محدوده وسیع پلوتونیزم طی زمان ژوراسیک است و مهمترین مرحله آن در ژوراسیک میانی اتفاق افتاده است. به علاوه به احتمال دو توده نفوذی کافی آباد و آدربلندان به دلیل دگرگونی آهکهای کرتاسه اطراف حداقل از کرتاسه زیرین جوانتر بوده و شاید هم دارای سن الیگو-میوسن باشند. در این سنگها کانی‌های کوارتز، آپاتیت، زیرکن، کوردیریت، آندالوزیت منیتیت و هماتیت از کانی‌های فرعی عمده‌اند و مقادیر SiO_2 ، Na_2O ، CaO ، K_2O در نقاط مختلف توده‌های نفوذی متغیرند و غنی‌شدگی از عناصر Ba ، K ، Rb و تهی‌شدگی از Sr ، Nb ، Ti کاملاً مشاهده می‌شود. نمودارهای عنکبوتی این موضوع را نشان می‌دهد.

از نظر ژئوشیمیایی دو نوع گرانیت I و S در منطقه قابل شناسایی است که نوع S از فراوانی بیشتری برخوردار است. از نظر پتانسیل اقتصادی کانی‌سازی مرمر، اسکارن آهن-مس-سرب-روی و کانی‌های غیرفلزی نظیر کائولینیت نیز مشاهده می‌گردد.

۱- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی:

توده‌های نفوذی شیرکوه، کافی‌آباد و آدربلندان در جنوب غرب یزد و در محدوده جغرافیایی $30^{\circ} 53'$ تا $20^{\circ} 54'$ طول شرقی و $30^{\circ} 31'$ تا $52^{\circ} 31'$ عرض شمالی قرار گرفته‌اند (شکل ۱). در شرق شیرکوه بیش از ۱۰۰۰ متر سنگ آهک و دولومیت بر روی گرانیت‌ها دیده می‌شود که پرتگاههای گسلی و غیرگسلی فراوانی را به وجود آورده‌اند. در جنوب غرب تفت رسوبات آواری سازند سنگستان به سن ژوراسیک فوقانی [۲] و به رنگ قرمز ارغوانی دیده می‌شود و در بخش جنوبی تفت سنگهای آهکی خاکستری رنگ سازند تفت به چشم می‌خورد. قتل مرتفع منطقه از سنگهای آهکی اربیتولین دار سازند تفت پوشیده شده که گسترش زیادی دارند. از پدیده‌های مهم فرسایش در گرانیت‌های مورد بحث پدیده تافونی است. گرانیت شیرکوه سازند نایبند را قطع کرده و آهکهای کرتاسه همراه با یک واحد ماسه سنگی و کنگلومرایبی (کرتاسه تحتانی) به طور دگرشیب بر روی آن قرار گرفته است. گرانیت شیرکوه از نظر سنی از سازند نایبند جوانتر و از سازندهای کرتاسه قدیمتر است. سن مطلق که بر اساس داده‌های رادیومتریکی برای آن پیشنهاد شده $13/5 \pm 175$ میلیون سال [۲۶] به روش K-Ar و 10 ± 176 میلیون سال [۱۵] با استفاده از روش Rb-Sr بوده است. سن توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آدربلندان با توجه به دگرگونی آهکهای کرتاسه و اسکارن‌سازی در آنها بعد از کرتاسه زیرین (شاید هم الیگو-میوسن) است. بنابراین می‌توان تشکیل گرانیت شیرکوه را به سیمین پسین نسبت داد و توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آدربلندان را به فازهای کوه‌زایی بعدی مربوط دانست.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی توده‌های گرانیتوئیدی جنوب غرب یزد

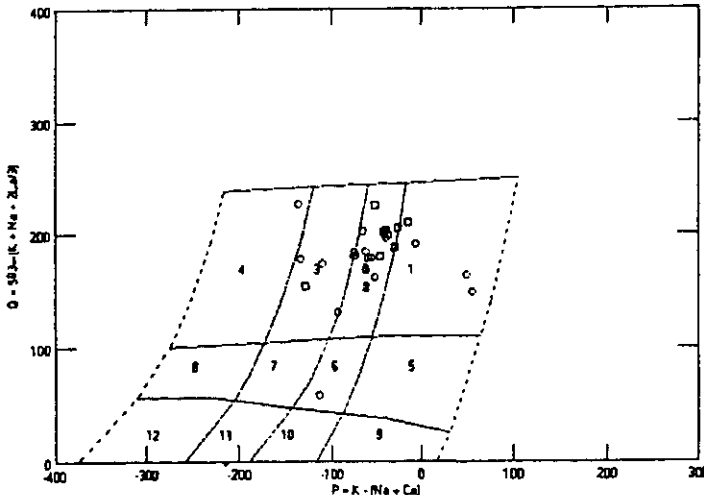
■: شیرکوه Δ: کافی‌آباد ▲: آدر بلندان

آنچه مسلم است تا کنون سن‌های متفاوتی برای باتولیت کرائیتوئیدی شیرکوه عنوان شده است که بیانگر جایگزینی گرانیت در زمان‌های مختلف است. تعیین دقیق این موضوع مستلزم مطالعات دقیق سن‌سنجی ایزوتوپی بر روی اجزای مختلف گرانیت شیرکوه است.

حد تماس توده گرائیتوئیدی شیرکوه با سنگهای آهکی جمال به صورت میلیونیتی است و در بسیاری از نقاط نیز کانی‌سازی مرمرو و اسکارن صورت گرفته است. به لحاظ تکتونیکی و براساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی - رسوبی ایران [۶] باتولیت شیرکوه، کافی آباد و آدربلندان در زون ایران مرکزی قرار گرفته‌اند؛ ولی زمان جایگزینی و نوع رخداد تکتونیکی مربوط به آنها متفاوت بوده است، بدین‌گونه که باتولیت شیرکوه طی فاز کوه‌زایی سیمری پسین (ژوراسیک میانی) و توده‌های نفوذی کافی آباد و آدربلندان بعد از کرتاسه زیرین جایگزین شده‌اند. به طور کلی سنگهای گرانیتی بر اساس ترکیب شیمیایی کانی‌شناسی و خاستگاه تکتونیکی به انواع I، A، M، S تقسیم می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه گرانیت‌ها را به دو نوع S و I و یا سری‌های ایلمنیت و منیتیت می‌توان تقسیم نمود که سری ایلمنیت معادل نوع S و سری منیتیت معادل نوع I است. گرانیت‌های نوع S (دومیکایی) که به گرانیت‌های رسوبی معروف‌اند حاصل ذوب بخشی از مواد پوسته قاره‌ای است که نسبت ایزوتوپی $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ آنها بیشتر از ۰/۷۱۰ بوده و نیز دارای کانی‌های بیوتیت، گارنت، کوردیریت، مونازیت و کانی‌های اوپاک (ایلمنیت و کانی‌های سولفید) می‌باشند. گرانیت‌های نوع I دارای منشأ ماگمایی‌اند که علاوه بر کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز کانی‌های هورنبلند، تورمالین و کانی‌های اوپاک (ایلمنیت و کانی‌های سولفید) نیز دارند. این نوع گرانیت بیشتر باتونالیت‌های هورنبلند - بیوتیت‌دار دیده می‌شود. نسبت ایزوتوپی $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ آنها از ۰/۷۰۸ کمتر است و عمدتاً با کانی‌زایی مس، مولیبدن، سرب، روی، طلا و نقره همراهند.

۲- پتروگرافی و کانی‌شناسی:

در گستره پلوتونیسیم جنوب غرب یزد به گرانیت‌هایی برمی‌خوریم که دانه ریز تا دانه درشتند و در آنها هوازدگی شدید سطحی و تغییر رنگ ناشی از هوازدگی پیداست. حضور بیگانه سنگهای بیضوی و گرد به صورت لکه‌های تیره رنگ در این گرانیت‌ها به وفور دیده می‌شود. چنانکه دایک‌های اسیدی و دولریتی در درون گرانیت‌ها و رگه‌هایی از نوع آپلیت پگماتیت حاوی تورمالین هم می‌توان مشاهده کرد. توده‌های کوچک ولکانیکی به صورت گنبد‌های داسیتی و ریولیتی، گدازه‌ها و توفهای تراکیتی و آندزیتی، و ندرتاً آندزیت بازالتی در همبری با گرانیت‌ها و در مجاورت گسل‌ها (بخصوص گسل دهشیر - بافت با روند شمال غرب - جنوب شرق) دیده می‌شود. [۳] بر اساس طبقه‌بندی مودال و نمودار Q-P [۱۳] سنگهای منطقه از نوع گرانیت، آداملیت، گرانودیوریت، تونالیت، کوارتز سینیت و کوارتز مونزونیت‌اند. (شکل ۲)



شکل ۲: نمودار O-P دیون و لفورت (۱۹۸۸) و سنگهای آذرین منطقه بر روی آن ۱-گرانیت ۲-آدامسیت (گرانیت کائینوالکان) ۳-گرانودیوریت ۴-تونالیت ۵-کوارتز سینیت ۶-کوارتز مونزونیت
□: نمونه‌های شیرکوه O: نمونه‌های کالی‌آباد و آدر بلندان

کانی‌های اصلی سنگها شامل کوارتز، پلاژیوکلاز (آلیت، الیگوکلاز و آندزین)، ارتوز و میکا (بیوتیت و به مقدار خیلی کم موسکویت) هستند. پلاژیوکلازها ساختی منطقه‌ای نشان می‌دهند، که بیانگر افت سریع فشار و تغییرات ترمودینامیکی محیط تبلور است [۲۸]، [۱۰]. تغییرات مذکور احتمالاً موجب تغییر در ترکیب شیمیایی زونهای مختلف پلاژیوکلاز شده است؛ زیرا که زونینگ معکوس در بعضی از پلاژیوکلازها دیده می‌شود (نمونه ۱۸^{OK}). در مقاطع نازک دو نسل پلاژیوکلاز و گاهی نیز بیشتر دیده می‌شود. کانی‌های فرعی موجود در سنگها آپاتیت، زیرکن (ادخال در بیوتیت)، اسفن، تورمالین، اسپینل (نوع هر سینیت)، گارنت [۴]، هماتیت و منیتیت هستند. در گرانیتوئید شیرکوه کوردیریت، آندالوزیت و سیلیمانیت نیز وجود دارد در حالی که توده‌های نفوذی کافی آباد و آدر بلندان فاقد آنها هستند. در اسکارن‌هایی که در مجاورت دو توده مورد اشاره تشکیل شده اپیدوت، دیوپسید، گرونا (آندرادیت)، کلریت (شاموزیت)، سرپانتین (لیزاردیت)، فلوگوپیت و زونیزیت دیده می‌شود. کانی‌های مذکور در اسکارن‌ها توسط مطالعه مقاطع نازک و روش آزمایشگاهی X.R.D تعیین شده‌اند. عمده‌ترین بافت‌های شناخته شده در سنگهای فوق بافت‌های گرانولر، گرافیک (گرانوفیر) اریکولار، پرتیت، آنتی پرتیت و پورفیروئیدند. آلتراسیونهای عمده در رابطه با گرانیت‌ها عبارتند از: سرسیتیزاسیون، سوسوریتیزاسیون، کلریتیزاسیون و سرپانتینیزاسیون که در هاله دگرگونی مجاورتی قابل رؤیت است. بررسی مقاطع نازک انکلاوهای موجود در گرانیت‌ها، نشان می‌دهد نقاطی که در درون گرانیت به صورت لکه‌های سیاه‌رنگ دیده می‌شوند عمدتاً تجمعی از بیوتیت‌های دانه ریز همراه با

کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپات آلکالن است که همبری آنها با گرانیت حالت انتقالی را تأیید می‌کند. این حالت می‌تواند احتمالاً حاکی از همزاد بودن انکلاوهای مذکور با گرانیت‌ها باشد [۱]. علاوه بر اینها، انکلاوهایی دیده می‌شود که بافت هورنفلسی دارند و ترکیب بازیکی را نشان می‌دهند [۵]. البته انکلاوها می‌توانند رستیت‌های باقیمانده از سنگ اولیه طی تحولات فرامتامورفیزم باشند.

۳- خصوصیات ژئوشیمیایی:

به منظور مطالع ژئوشیمیایی و تعیین نوع گرانیت باتولیتی شیرکوه و سایر توده‌های نفوذی، از میان نمونه‌های برداشت شده از ناحیه، ۴۰ نمونه مناسب انتخاب و بعد از آماده‌سازی، اکسیدهای عناصر اصلی (جدول ۱) و کمیاب آنها (جدول ۲) به روش X.R.D تعیین شده‌اند. ۱۴ نمونه نیز به منظور شناخت دقیق هاله دگرگونی مجاورتی و تشخیص دقیق نوع کانی‌های آن مورد تجزیه X.R.D قرار گرفته‌اند (جدول ۳). برای تعیین ترکیب شیمیایی دقیق کانی‌ها در هاله دگرگونی مجاورتی و تغییرات ترکیب شیمیایی آنها، سه نمونه سنگ اسکارنی به کانادا ارسال شد و مورد تجزیه نقطه‌ای (میکروپراب) قرار گرفت (جدول ۴). درصد تغییرات در باتولیت گرانیتوئیدی شیرکوه عبارتست از:

SiO₂ از ۵۲/۲۵ تا ۵۴/۱۲، Al₂O₃ از ۱۲/۰۳ تا ۲۴/۵۸، FeO از ۰/۲۳ تا ۴/۱۴، Fe₂O₃ از ۱/۰۷ تا ۳/۵۱، MgO از ۰/۰۵ تا ۶/۴۳، CaO از ۰/۴۱ تا ۷/۸۷، K₂O از ۲/۱۵ تا ۵/۸۵، Na₂O از ۱/۷۱ تا ۴/۹، P₂O₅ از ۰/۱۵ تا ۰/۱۶، MnO از ۰/۰۲ تا ۰/۱۲، TiO₂ از ۰/۱۱ تا ۱/۱۸ درصد تغییر می‌کند (جدول ۱ الف). درصد کم آلومین (۱۲/۰۳ درصد) در دیوریت کوارتزدار (نمونه G₁) و مقدار بالای این اکسید (۲۴/۵۸ درصد) در دیوریت (نمونه B₇) و نیز تغییرات شدید MgO (۰/۰۵ تا ۶/۴۳) بیانگر جدایش کانی‌های فرومینزین در بخش‌های تحتانی و پلاژیوکلاز در بخش‌های فوقانی بوده که نتیجه تفریق ماگمایی است. درصد تغییرات در توده نفوذی کافی آباد به این ترتیب است: SiO₂ از ۵۸/۲۴ تا ۷۴/۷۷، Al₂O₃ از ۱۳/۰۸ تا ۱۵/۲۵، FeO از ۱/۲ تا ۵/۵، Fe₂O₃ از ۰/۸۶ تا ۲/۴۱، MgO از ۰/۲۸ تا ۳/۶۵، CaO از ۰/۲۶ تا ۶/۳۷، K₂O از ۱/۹۴ تا ۸/۲۱، Na₂O از ۲/۹۶ تا ۴/۸۸، P₂O₅ از ۰/۱۱ تا ۰/۲۶، MnO از ۰/۰۸ تا ۰/۱۹، و سرانجام TiO₂ از ۰/۱۸ تا ۰/۸۶ (جدول ۱ ب) و درصد تغییرات در توده گرانیتوئیدی آدربلندان SiO₂ از ۵۶/۱۰ تا ۷۴/۰۶، Al₂O₃ از ۱۳/۲۸ تا ۱۵/۹۴، FeO از ۰/۷۴ تا ۶/۱۳، Fe₂O₃ از ۰/۹۸ تا ۲/۵۴، MgO از ۰/۲۲ تا ۴/۱۶، CaO از ۰/۸۴ تا ۱۰/۱۲، K₂O از ۲/۱۱ تا ۶/۸۷، Na₂O از ۱/۱۸ تا ۴/۴۴، P₂O₅ از ۰/۲۷ تا ۰/۲۶۵، MnO از ۰/۱۳ تا ۰/۱۸۶، و سرانجام TiO₂ از ۰/۰۸ تا ۱/۰۱ می‌باشد. (جدول ۱ ج).

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
B ₁	۷۲/۱۲	۱۳/۳۱	۰/۶۲	۵/۱۹	۱/۰۷	۰/۸۷	۳/۲۵	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۲	۹۸/۸۸
B ₂	۷۰/۹۲	۱۳/۶۷	۲/۸۲	۳/۷۲	۱/۷۳	۱/۶۶	۳/۱۳	۰/۲۲	۰/۲	۰/۱۳	۰/۰۶	۹۸/۴۶
B ₃	۷۱/۳۷	۱۳/۹۲	۲/۴۱	۲/۱۲	۲/۲۱	۲/۰۲	۲/۵۹	۰/۷۷	۰/۵۵	۰/۱۲	۰/۰۶	۱۰۰/۱۶
B ₄	۷۰/۷۸	۱۳/۱۱	۲/۸۲	۲/۰۲	۲/۲۹	۲/۳۰	۲/۸۵	۰/۸۲	۰/۶۹	۰/۱۵	۰/۰۶	۱۰۰/۹۷
B ₅	۶۵/۹۱	۱۶/۱۵	۲/۲۵	۳/۹۲	۲/۷	۲/۵۹	۲/۹۹	۰/۹۶	۰/۸۲	۰/۱۶	۰/۰۸	۱۰۰/۷۳
B ₇	۵۲/۲۵	۲۳/۵۸	۷/۸۷	۲/۳۸	۲/۹۷	۲/۱۲	۳/۹	-	۱/۱۸	۰/۲	۰/۱۲	۱۰۰/۵۹
B ₁₀	۶۷/۹	۱۶/۲۴	۲/۱۸	۲/۱۵	۲/۳۱	۲/۶۱	۳/۲۳	۰/۰۸	۰/۷۲	۰/۱۵	۰/۰۸	۹۸/۴۷
B ₁₂	۶۰/۱۷	۱۳/۸۳	۰/۸۳	۵/۸۵	۳/۲۳	۳/۳۰	۱/۷۶	۵/۲۵	۰/۹۹	۰/۱	۰/۱۱	۹۵/۸۲
B ₁₈	۵۸/۲۷	۱۳/۶	۰/۲۱	۵/۱۲	۳/۵۱	۳/۶۴	۱/۷۱	۶/۲۳	۱/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۲	۹۴/۱
A ₄	۷۲/۲	۱۲/۳	۱/۱۳	۳/۲۴	۱/۵۷	۰/۲۳	۳/۲۱	۱/۵۴	۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۰۴	۱۰۰/۲
G ₁	۶۷/۷	۱۲/۰۳	۲/۲	۲/۹	۲/۰۷	۲/۹۱	۳/۳۹	۱/۳۶	۰/۵۲	۰/۱۳	۰/۰۹	۹۸/۵
G ₄	۷۱/۶	۱۲/۰۶	۱/۲۵	۳/۸۵	۱/۹۳	۲/۷۱	۲/۹۷	۱/۹۱	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۰۷	۹۹/۱۰

(الف)

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
Gk ₁	۶۹/۱۰	۱۳/۸۹	۲/۸۵	۳/۸۷	۱/۸۸	۱/۲۶	۳/۶۱	۱/۳	۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۰۶۲	۹۸/۳۱
Gk ₈	۶۷/۶۵	۱۳/۸۹	۳/۳۸	۳/۵۱	۱/۹	۱/۲	۳/۲۷	۱/۳۸	۰/۲	۰/۱۲۵	۰/۰۶۱	۹۶/۹۶
Gk ₁₂	۶۶/۵۲	۱۳/۹۷	۳/۵۵	۳/۶۸	۲	۱/۵۲	۳/۴۶	۱/۲۲	۰/۲۵	۰/۱۴۱	۰/۰۷	۹۸/۸
Gk ₁₄	۵۸/۲۴	۱۵/۱۳	۶/۳۷	۱/۹۲	۲/۴۱	۵/۵۲	۳/۹۸	۳/۶۵	۰/۸۶	۰/۲۶	۰/۱۹	۹۸/۵۵
Gk ₂₂	۷۴/۷۷	۱۳/۰۸	۰/۲۶	۳/۸۶	۰/۸۶	-	۲/۸۸	۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۱۱۲	۰/۰۰۸	۹۸/۲۹
Gk ₂₅	۶۲/۳۹	۱۵/۲۵	۳/۳۷	۸/۲۱	۱/۹۹	۱/۱۸	۲/۹۶	۱/۳۹	۰/۴۹	۰/۱۷۲	۰/۰۸۸	۹۷/۲۹
Gkc ₁₆	۶۸/۶۳	۱۳/۹۶	۳/۵۳	۳/۶۹	۱/۹۹	۱/۵۳	۳/۴۶	۱/۲۲	۰/۲۲	۰/۱۴۳	۰/۰۸۶	۹۸/۸۶
Gkc ₁₇	۶۹/۱۵	۱۳/۸۷	۲/۸۶	۳/۸۸	۱/۸۹	۱/۲۶	۳/۶۰	۱/۲۹	۰/۳۹	۰/۱۱۲	۰/۰۶۳	۹۸/۳۷

(ب)

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
AD ₆	۵۶/۱۰	۱۳/۷۳	۷/۳۸	۲/۲۶	۲/۲۹	۶/۱۳	۲/۶۷	۲/۱۶	۰/۹۹	۰/۲۶۵	۰/۱۶۹	۹۶/۳۴
AD ₁₀	۷۲/۰۶	۱۳/۵۷	۰/۸۲	۶/۱۳	۰/۹۸	-	۳/۲۰	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۰۲۷	۰/۰۱۳	۹۹/۱۲
AD ₁₂	۷۳/۲۹	۱۳/۲۸	۰/۸۶	۲/۹۶	۱/۶۹	۰/۷۲	۲/۲۴	۰/۵۷	۰/۱۹	۰/۰۶۲	۰/۰۲۲	۹۸/۱۰
AD ₁₅	۶۰/۳۸	۱۵/۸۲	۶/۵	۲/۲۸	۲/۳۶	۲/۲	۳/۲۹	۳/۳۱	۰/۸۱	۰/۲۶	۰/۱۲۸	۹۹/۵۲
AD ₂₆	۵۹/۷	۱۳/۹۸	۷/۱۸	۲/۱۱	۲/۳۷	۲/۸۱	۲/۷۱	۳/۰۴	۰/۸۱	۰/۲۱	۰/۱۲۴	۹۷/۰۲
AD ₂₇	۶۲/۰۱	۱۴/۵۷	۵/۶۵	۲/۹۱	۲/۲۴	۳/۸۶	۲/۹۳	۲/۹۲	۰/۷	۰/۱۸۵	۰/۱۱۲	۹۸/۰۸
AD ₂₉	۶۲/۱۲	۱۵/۹۲	۵/۳۱	۲/۹۰	۲/۰۴	۲/۷۲	۳/۱۶	۲/۰۴	۰/۵۲	۰/۱۶	۰/۰۸۲	۹۷/۰۲
AD ₃₇	۵۸/۲۷	۱۳/۷۶	۱۰/۱۲	۶/۸۷	۲/۲۱	۳/۲۶	۱/۱۸	۱/۷۸	۰/۶۷	۰/۱۵۹	۰/۱۸۶	۹۸/۶۶
AD ₃₉	۵۷/۶۵	۱۲/۲۶	۶/۱۲	۲/۷۳	۲/۵۲	۵/۷۲	۲/۹۲	۳/۸۶	۱/۰۱	۰/۲۵	۰/۱۶	۹۷/۲۲

(ج)

جدول ۱: نتایج تجزیه شیمیایی چند نمونه از سنگهای مختلف توده‌های نفوذی جنوب غرب یزد (شیرکوه، کانی‌آباد و آدربلندان)

الف: شیرکوه ب: کانی‌آباد ج: آدربلندان

به روش X.R.F. ارقام بر حسب درصد وزنی هستند.

شماره کیمیا ش. نمونه	Sr	Rb	Ba	Zn	Ce	La	Zr	Cu	V	Ni
B ₁	۶	۲۵۰	۲۸۹	۶۴	۴۹	۱۰	۴۴	۱۸	۱۲	۲
B ₂	۱۰۰	۱۶۰	۸۷۲	۲۰	۵۴	۲۱	۱۵۲	۱۵	۳۸	۱۰
B ₃	۸۹	۱۶۱	۸۲۵	۷۸	۶۱	۳۴	۱۷۵	۲۶	۴۸	۱۳
B ₄	۱۴۲	۱۳۳	۱۰۶۹	۲	۷۱	۵۱	۱۹۶	۲۱	۷۹	۱۸
B ₅	۱۶۲	۱۴۱	۱۲۰۷	۲	۶۷	۴۱	۲۰۸	۲۰	۱۰۵	۱۹
B ₇	۱۷۵	۱۱۹	۳۳۳۷	۵	۶۲	۳۳	۵۳	۱۵۹	۲۸۲	۲۲۹
B ₁₀	۱۶۲	۱۳۴	۱۱۵۱	۲	۵۸	۳۰	۱۸۷	۲۷	۹۱	۲۰
B ₁₅	۱۲۷	۶۳	۴۲۵	۲	۶۰	۴۳	۲۵۰	۴۶	۶۵	۵۷
B ₁₆	۱۲۴	۱۶۸	۱۰۰۰	۱۸	۶۷	۲۵	۱۸۲	۱۷	۵۵	۱۳
B ₁₇	۸۲	۱۲۵	۱۰۹۲	۲	۹۹	۸۲	۲۰۰	۳۳	۱۵۶	۵۰
B ₁₈	۷۶	۱۰۵	۸۲۸	۵	۷۰	۴۹	۱۸۸	۲۵	۷۷	۵۱
A ₄	۸	۲۲۰	۳۶۰	۵۴	۵۲	۱۸	۴۸	۲۲	۲۵	۵
G ₁	۳۰۵	۲۱۳	۷۱۴	۱۲۲	۴۲	۱۸	۱۶۸	۲۵	۸۲	۲۲
G ₄	۱۲۳	۲۹۶	۹۷۹	۱۱۸	۵۵	۲۸	۱۸۲	۲۵	۳۸	۱۲

(الف)

شماره کیمیا ش. نمونه	Zr	Sr	U	Rb	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Ce	Y	Nd	Nb	Hf	Cl	Ga	Ag	La	Th	W	F	V	Cr	S	Ba
gk ₁	۱۳۷	۱۷۵	۳	۱۶۶	۱۸	۳۲	۸	۱۰	۵	۲۵	۲۸	۳۱	۳۸	۲	۳۸۸	۱۶	۰	۵۰	۱۷	۰	۱۱۳	۵۵	۱۰۳	۱۲۰	۲۹۹
gk ₈	۱۳۶	۱۸۳	۲	۱۶۸	۱۴	۳۶	۰	۰	۸	۵۰	۳۷	۱۷	۳۶	۲	۳۵۱	۱۷	۰	۳۶	۱۱	۰	۲۴	۵۹	۶۱	۷۳	۲۶۰
gk ₁₂	۱۴۲	۱۹۹	۲	۱۳۲	۱۸	۴۱	۸	۱۰	۵	۲۴	۳۶	۹	۳۷	۲	۳۷۱	۱۹	۰	۳۶	۱۳	۱	۲۰۵	۵۸	۳۸	۷۷	۵۲۵
gk ₁₄	۱۷۵	۲۰۰	۳	۱۲۵	۱۵	۳۳	۱۹	۱۰	۳۸	۸۳	۸۶	۳۲	۷۱	۵	۳۶۱	۳۱	۰	۲۵	۷	۸	۳۵۰	۱۳۳	۲۱	۸۳	۲۹۹
gk ₂₂	۱۰۵	۲۵	۲	۱۱۰	۹	۱۰	۱	۰	۰	۱۲	۲۷	۳۸	۲۲	۲	۳۶۱	۲۰	۰	۲۲	۲۲	۳	۳۶۰	۱۲	۰	۲۴	۳۶۱
gk ₂₅	۱۵۷	۱۸۰	۲	۱۹۳	۱۶	۳۰	۱۵	۲	۲	۱۱	۲۵	۸	۳۲	۵	۳۶۳	۱۶	۰	۱۹	۵	۰	۱۳۱	۵۸	۸	۵۰	۹۰۰
gk ₁₆	۱۲۵	۱۹۵	۲	۱۶۱	۱۸	۳۲	۹	۱۱	۲	۲۴	۳۷	۸	۳۸	۳	۳۷۵	۲۰	۰	۳۷	۱۴	۰	۳۹۵	۵۹	۶۶	۷۶	۵۲۳
gk ₁₇	۱۳۶	۱۷۳	۲	۱۵۰	۱۶	۳۱	۷	۱۰	۵	۲۶	۳۹	۲۹	۳۸	۲	۳۶۰	۱۶	۱	۵۲	۱۶	۰	۱۱۹	۵۶	۱۰۳	۱۲۲	۵۰۳

(ب)

شماره کیمیا ش. نمونه	Zr	Sr	U	Rb	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Ce	Y	Nd	Nb	Hf	Cl	Ga	Ag	La	Th	W	F	V	Cr	S	Ba
AD ₆	۱۲۱	۲۹۶	۳	۹۲	۲۰	۱۰۸	۲۰	۹	۳۷	۴۹	۳۸	۳۸	۵۶	۵	۳۱۸	۱۷	۷	۳۱	۷	۰	۳۹۰	۱۷۵	۳۳	۲۲۵	۳۲۱
AD ₁₀	۵۶	۲۸	۱۳	۱۸۸	۲۱	۱۴	۲	۲	۰	۳۸	۳۷	۲۰	۳۹	۲	۱۶۲	۱۷	۰	۵۷	۲۱	۲	۰	۱۶	۸۱	۳۹	۶۰
AD ₁₂	۶۵	۱۰۶	۹	۱۳۰	۷	۳۲	۶	۳	۲	۸۲	۷۱	۲۷	۳۸	۳	۱۶۴	۲۰	۰	۲۴	۲۳	۱	۱۸۳	۲۹	۶	۳۰	۱۵۵
AD ₁₅	۱۶۷	۳۲۸	۲	۸۷	۳۳	۸۱	۱۲	۱۲	۲۰	۵۷	۳۱	۱۶	۵۵	۷	۵۱۵	۱۸	۰	۳۶	۱۰	۲	۳۵۰	۱۳۲	۵۹	۹۶	۳۹۷
AD ₂₆	۱۴۲	۳۲۱	۰	۶۶	۲۲	۷۳	۳۷	۹	۳۵	۲۲	۳۳	۲۱	۵۲	۵	۸۶۲	۲۲	۰	۳۳	۷	۶	۳۷۱	۱۶۰	۲۱	۱۰۳	۲۰۶
AD ₂₇	۱۵۰	۳۷۸	۱	۹۴	۱۹	۷۱	۳۶	۹	۳۸	۶۱	۳۸	۱۷	۳۵	۲	۷۵۵	۱۹	۱	۱۸	۹	۰	۳۷۷	۱۳۲	۳۷	۱۵۲	۲۰۸
AD ₂₉	۱۵۲	۲۹۰	۸	۱۰۳	۱۱	۵۸	۳۳	۵	۱۴	۲۰	۳۳	۳۳	۵۱	۵	۱۶۵	۲۲	۱	۱۹	۸	۰	۱۱۲	۹۱	۷۰	۱۶۳	۳۶۱
AD ₃₇	۱۷۵	۲۵۵	۲	۱۷۷	۱۰۰	۹۶	۳۷	۳	۱۶	۸۲	۳۸	۳۳	۲۹	۲	۳۱۰	۱۹	۱	۱۵	۱۱	۰	۳۸۵	۱۳۲	۱۸	۲۱۶	۳۶۳
AD ₃₉	۱۲۳	۳۱۵	۰	۱۱۶	۱۴	۸۲	۹	۷	۳۰	۳۷	۳۳	۲۷	۶۰	۶	۵۶۰	۳۳	۲	۳۳	۱۱	۰	۳۲۱	۱۲۱	۱۷	۷۸	۳۵۲
NS ₄	۳۲۹	۶۹۳	۱	۶۰	۱۶	۷۰	۴۱	۱۲۰	۳۵	۱۲۰	۲۱	۳۳	۷۳	۶	۱۴۰	۲۰	۲	۵۷	۱۲	۰	۱۲۹۰	۱۳۷	۳۳	۹۳	۳۹۸
NS ₅	۳۳۷	۶۲۰	۶	۸۵	۱۸	۷۲	۳۸	۳۸	۳۳	۹۹	۳۳	۲۹	۷۳	۸	۱۱۹	۳۱	۰	۷۶	۱۷	۰	۵۸۱	۱۲۵	۸۸	۲۰۱	۳۳۷
AB ₁₀	۱۵۲	۳۷۱	۲	۷۱	۲۱	۲۹	۷	۰	۰	۸۲	۶	۰	۳۰	۵	۱۶۰	۱۹	۰	۳۳	۱۱	۵	۳۸۷	۳۳	۷	۹۶	۵۰۳

(ج)

جدول ۲: نتایج تجزیه شیمیایی عناصر کیمیا سنگهای ماکمای الف: شبرکوه، ب: کانی آباد، ج: آدریلندان

به روش X.R.F. ارقام بر حسب پی. پی. ام هستند.

ردیف	نام نمونه	کانی
۱	gk ₁₂	شاموزیت - منیتیت - ایلیت
۲	gk ₁₃	بروسیت - کلسیت - دولومیت
۳	gk ₁₅	کلسیت - گانولینیت - دولومیت - لیزاردیت
۴	gk ₁₆	کلسیت - لیزاردیت - ژپس
۵	gk ₁₉	اوزیت - فلوگوپیت - ایلیت - اپیدوت
۶	gk ₁₅	کوارتز - آلپیت - گانولینیت - موسکویت - فرواکتیولیت
۷	gk ₂₃	کلسیت - دولومیت - لیزاردیت
۸	gk ₂₄	تالک - فلوگوپیت - فورستریت - آندرادیت
۹	gk ₂₆	اسکاپولیت - زنونیت - سرپانتین - منیتیت - کلسیت
۱۰	AD ₁₂	کوارتز - آلپیت - تورمالین - کلریت - کلسیت
۱۱	AD ₃₅	آندرادیت - کلسیت - منیتیت
۱۲	AD ₃₆	کلسیت - آندرادیت - کوارتز

جدول ۳: کانی‌های سنگهای اسکارنی هاله دگرگونی مجاورتی به روش X. R. D

ش. نمونه	کانی	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO _t	Na ₂ O	K ₂ O	F	Cl	Total
gk ₁₇	ترمولیت	۵۷/۷۳	۰/۱۱	۱/۷۱	۲۳/۲۲	۱۳/۵۸	۰/۰۶	۰/۱۴	۱/۸۸	۰/۲۴	۰/۱۴	n.a	n.a	۹۸/۳۳
	آکتینولیت	۵۵/۷۳	۰/۰۸	۱/۹	۲۲/۷	۱۳/۶۷	۰/۰۴	۰	۲/۷۲	۰/۳۸	۰/۱۲	n.a	n.a	۹۹/۳۶
	زمین	۱۰۰/۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۸	۰	۰	۰	۰	n.a	n.a	۱۰۰/۱
	اوزیت	۵۶/۳۵	۰/۰۷	۲/۵	۲۲/۶	۱۳/۳۸	۰/۰۸	۰/۰۶	۳/۷۷	۰/۷	۰	n.a	n.a	۹۹/۶۱
AD ₃₄	آندرادیت	۳۶/۹۲	۱/۶۷	۱۶/۲۲	۳/۳	۳۶/۴۱	۰/۱۳	۰	۲/۲۶	۰	۰	۰	۰	۹۸/۹۱
	دیوپسید	۵۳/۴۶	۰/۱۲	۰/۰۹	۱۹/۲۱	۲۵/۵۸	۰	۰/۱۸	۱/۲۸	۰	۰	n.a	n.a	۹۹/۹۲
	زمین	۰	۰/۰۴	۰	۱۷/۹۹	۳۸/۶۳	۰/۱۱	۰	۲/۲۲	۰/۰۲	۰/۰۳	n.a	n.a	۵۹/۰۶
gk ₂₄	فلوگوپیت	۳۸/۵۶	۰/۳۲	۱۷/۸۷	۲۵/۵	۰/۰۴	۰/۰۷	۰	۱/۱۵	۰/۲۹	۱۰/۲۳	۲/۰۸	۰/۱۸	۹۶/۲۹
	فلوگوپیت	۳۹/۱۲	۰/۲۹	۱۸/۱۶	۲۵/۲۵	۰	۰/۰۹	۰	۱/۱۶	۰/۳۳	۱۰/۵۲	۱/۹۴	۰/۱۴	۹۷/۰۲
	فلوگوپیت	۳۸/۹۵	۰/۲۲	۱۸/۱۴	۲۵/۲۷	۰	۰/۰۷	۰	۱/۲۴	۰/۳۱	۱۰/۴۵	۱/۹۸	۰/۱۹	۹۶/۸۲
	فورستریت	۴۰/۹۲	۰/۱۱	۰	۵۴/۱۹	۰/۰۶	۰	۰/۱۵	۲/۰۱	۰	۰	۰	۰	۹۹/۹۴
	زمین	۰	۰	۰	۱۵/۱	۳۷/۵۳	۰/۱۳	۰	۵/۳۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰	۰	۵۸/۱۸

n.a = تجزیه نشده

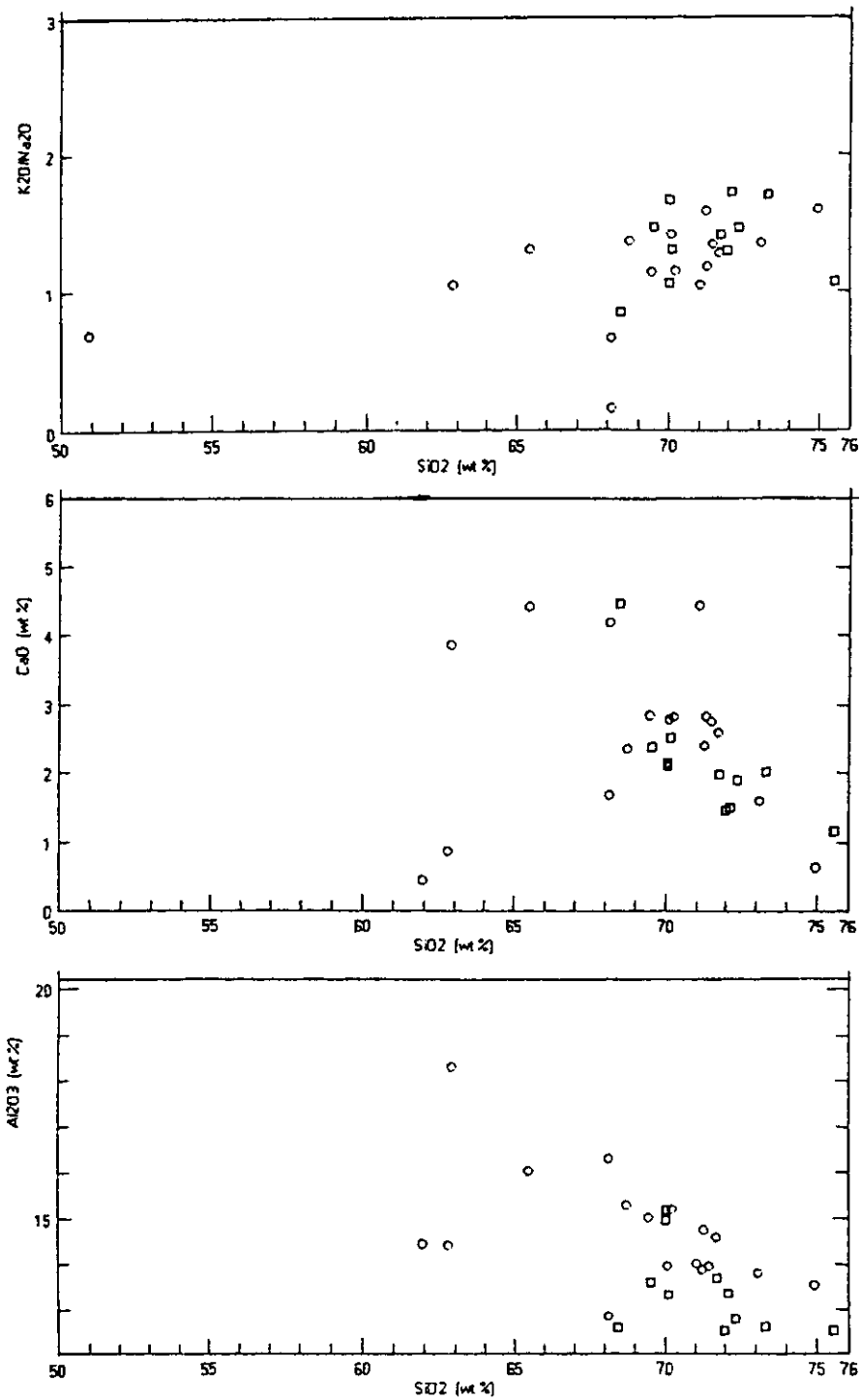
جدول ۴: نتایج تجزیه میکروپراب سه نمونه سنگ اسکارنی جنوب غرب یزد

نام دقیق کانی‌های فوق براساس فرمول ساختمانی و محاسبه کاتیونها برای آمفیبولها بر مبنای ۲۴ اکسیژن، برای پروکستنها بر مبنای ۶ اکسیژن، برای

گرونا بر مبنای ۲۴ اکسیژن، برای میکاها بر مبنای ۲۴ اکسیژن و برای الیومین بر مبنای ۴ اکسیژن بدست آمده است.

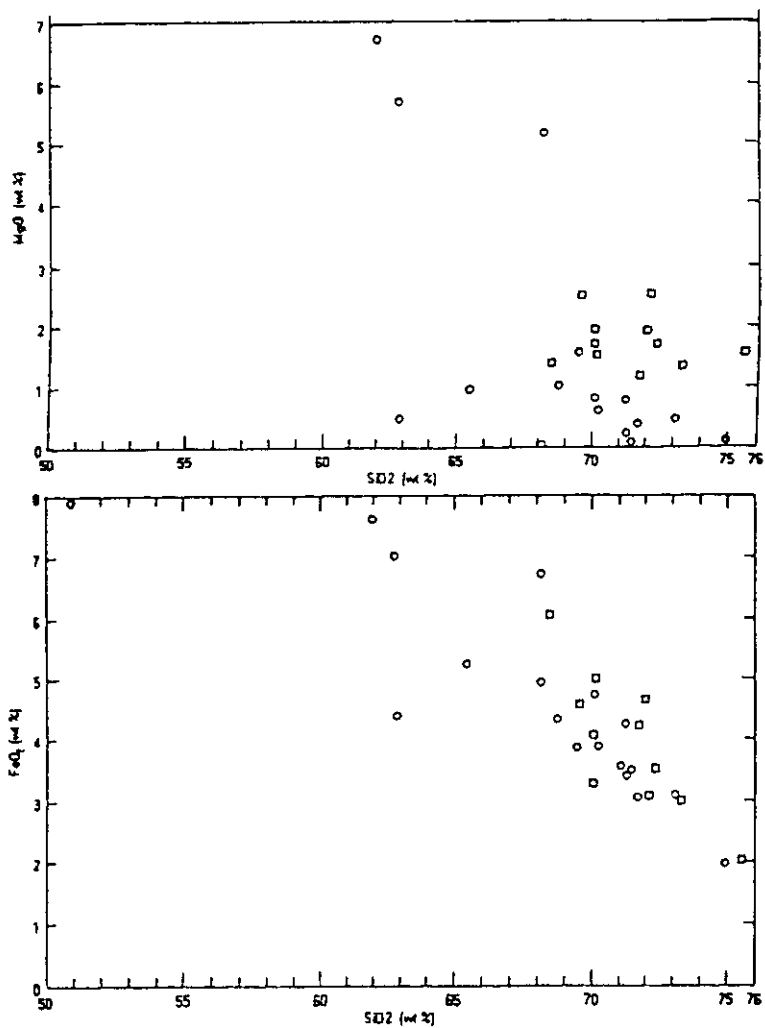
به روش EPMA ارقام بر حسب درصد وزنی هستند.

تغییرات عناصر در دو توده نفوذی مذکور نیز پدیده تفریق ماگمایی را تأیید می نماید. تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی سنگهای مختلف توده های نفوذی منطقه مورد مطالعه نسبت به یکدیگر (نمودار هارکر، شکل ۳ و ۴) حکایت از آن دارد که تبلور کانی های فرومیزین، از قبیل پیروکسن و آمفیبول، موجب تنزل TiO_2 ، MgO ، FeO ، CaO و MnO و افزایش مقدار Al_2O_3 و عناصر آلکالن (K_2O و Na_2O) در ماگمای باقیمانده شده و متعاقب آن تبلور پلاژیوکلاز باعث شده است که مقادیر CaO و Al_2O_3 نسبت به سیلیس در نمودارها کاهش قابل ملاحظه ای را نشان دهند. از نمودارهای فوق و مطالعه دقیق پتروگرافی چنین استنباط می شود که توده های نفوذی مزبور دچار پدیده تفریق از طریق تبلور بخشی شده اند. پراکندگی نقاط در نمودارها احتمالاً ناشی از ذوب سنگهای پوسته قاره ای توسط ماگمای گرانیتی است. بررسی نمودارهای عنکبوتی نشان می دهد که سنگهای منطقه از عناصر Ba ، K و Rb غنی شده و در عوض از عناصر Nb ، Sr و Ti تهی شده اند [۳۰]، [۲۷]. تغییرات شدید عناصری که گفتیم، بیانگر این است که توده های نفوذی مورد بحث احتمالاً مرتبط با مناطق فرورانش هستند. زیرا که در محیط های فرورانش رسوبات و مایعات همراه با آنها می توانند باعث غنی شدگی غیرعادی عناصر کمیاب شوند که خود نشان دهنده آلودگی با مواد پوسته ای در حاشیه قاره های می تواند باشد؛ در حالی که در محیط های MORB و ORG تغییرات عناصر این گونه نیست و یا اینکه ممکن است پدیده های هضم و یا اختلاط در آن مؤثر بوده باشند. برای تشخیص گرانیت های نوع I و S و پراکندگی آنها در ناحیه شیرکوه، کافی آباد و آدربلندان از هیستوگرامهای فراوانی $K(K+Na)$ [۱۱] و $Al(Na+K+Ca/2)$ [۱۸] استفاده شده است (شکل ۵).

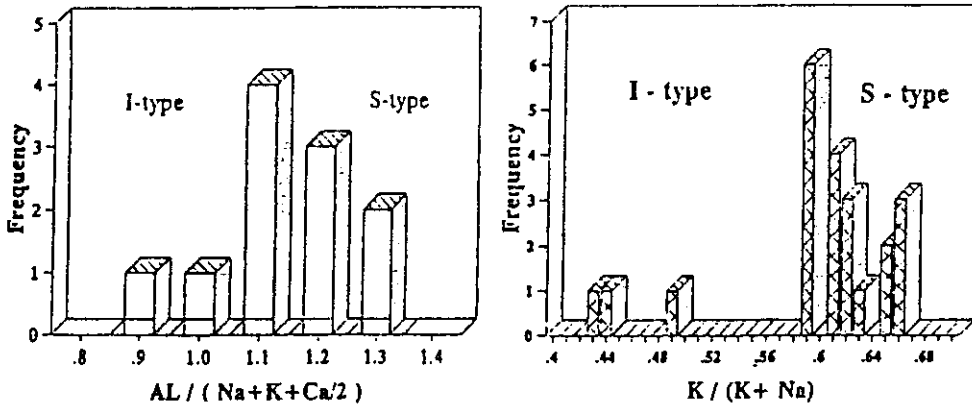


شکل ۳: نمودار تغییرات K_2O/Na_2O ، CaO و Al_2O_3 در مقابل SiO_2

□ : نمونه‌های شیرکوه ○ : نمونه‌های کافی‌آباد و آدر بلندان



شکل ۴: نمودار تغییرات MgO و FeO در مقابل SiO₂



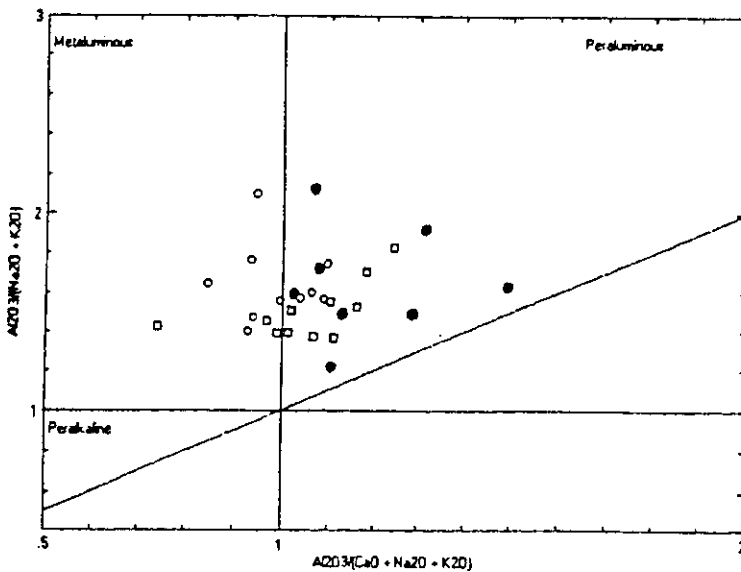
ب

شکل ۵: هیستوگرام فراوانی:

الف

الف - $K/(K+Na)$ که گرانیت نوع I را از نوع S جدا می‌کند (چاپل و وایت، ۱۹۷۴)
 ب - $Al/(Na+K+Ca/2)$ که جداکننده گرانیت I از نوع S است (هاین و همکار، ۱۹۷۸)

بر اساس نمودارهای مانیا و پیکولی [۲۱] که از تغییرات $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O)$ در مقابل $Al_2O_3/(CaO+K_2O+Na_2O)$ استفاده شده سنگهای منطقه مورد مطالعه در محدوده پراآلمین و متالومین قرار می‌گیرند. (شکل ۶).



شکل ۶: نمودار مانیا و پیکولی (۱۹۸۹) که محدوده‌های پراآلمینه، متالومینه و پراآلمین را از هم جدا می‌کند. طبق این نمودار سنگهای منطقه مورد مطالعه پراآلمینه و متالومینه هستند.

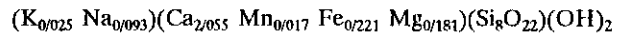
○ نمونه‌های آدریلندان

● نمونه‌های کافی‌آباد

□ نمونه‌های شیرکو.

فرمول کانی‌هایی که به روش میکروپراب تجزیه شده‌اند به شرح زیر است:

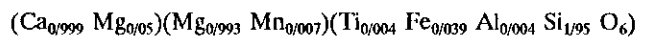
ترمولیت در اسکارن توده نفوذی کافی آباد (gk₁₇)



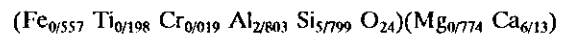
اوزیت در اسکارن توده نفوذی کافی آباد (gk₁₇)



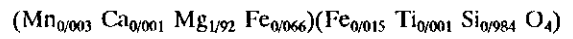
دیوسید در اسکارن توده نفوذی آدریلندان (AD₃₄)



آندرادیت (AD₃₄)

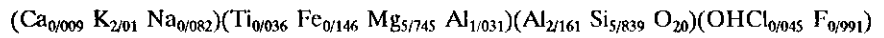


الیون (gk_{c24})

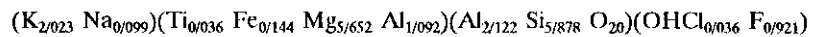


که می‌توان آن را به صورت (Mg_{1/92} Fe_{0/08} SiO₄) نوشت.

فلوگوپیت در سنگهای اسکارنی توده نفوذی کافی آباد [gk₂₄(1)]



فلوگوپیت [gk_{c24}(2)]



۴- تحولات پترولوژیکی:

برای تشخیص و تفکیک توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی به طور کلی روشهای زیر به کار برده می‌شوند:

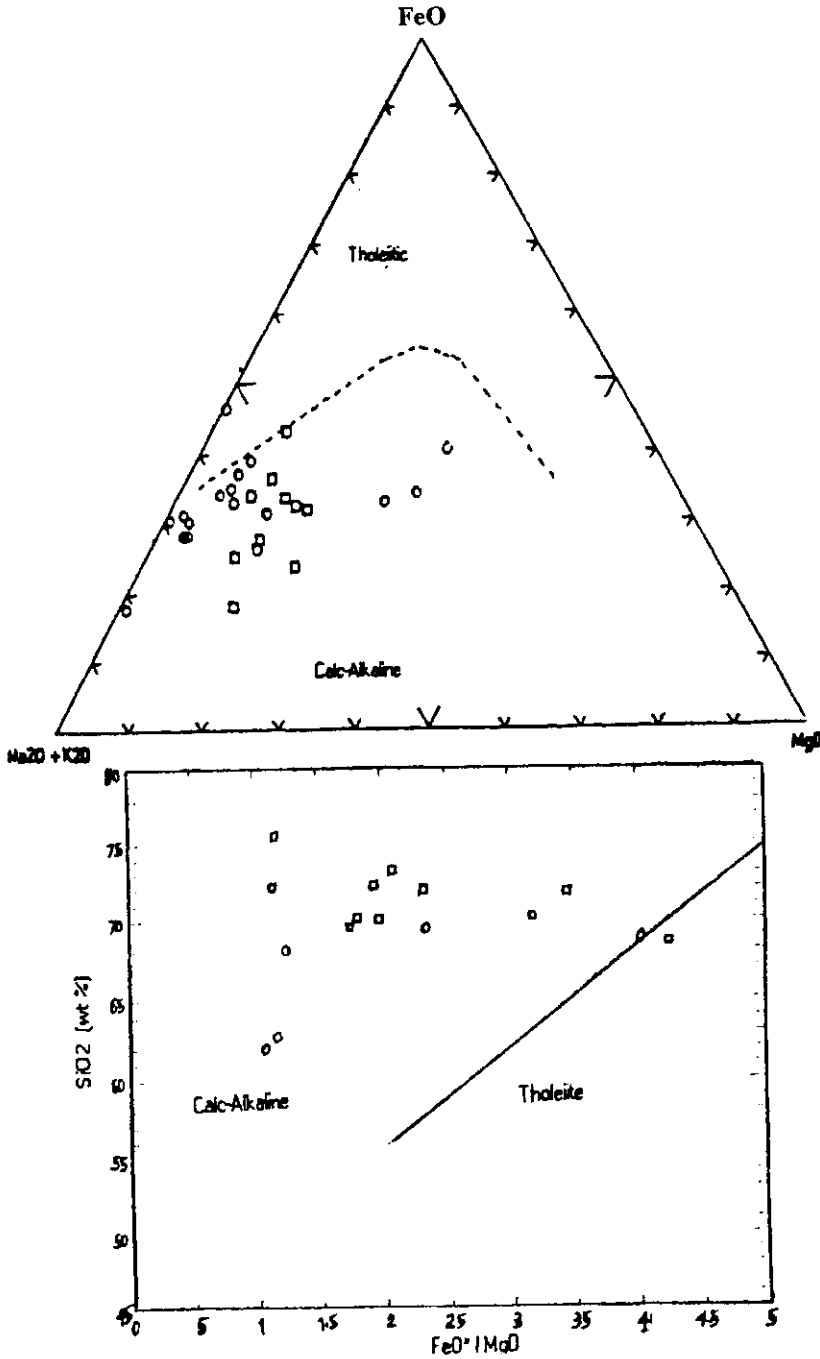
نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ نمودارهای $K/(K+Na)$ ، $Al/(Na+K+Ca/2)$ ، Na_2O/K_2O [۳۰]

در مقابل $(Al_2O_3+CaO)/(FeO+Na_2O+K_2O)$ ، در مقابل $(MgO+FeO+TiO_2)/SiO_2$ ، FeO^*/MgO در مقابل $[۲۳]SiO_2$ ،

Na_2O+K_2O/SiO_2 [۲۲] QAP [۲۰] AFM [۱۹]. بر اساس نمودارهای AFM FeO^*/MgO در مقابل SiO_2 که

نسبت‌های کالکوالکالن را از تولیتیک جدا می‌کند سنگهای ماگمایی منطقه مورد مطالعه در سری کالکوالکالن

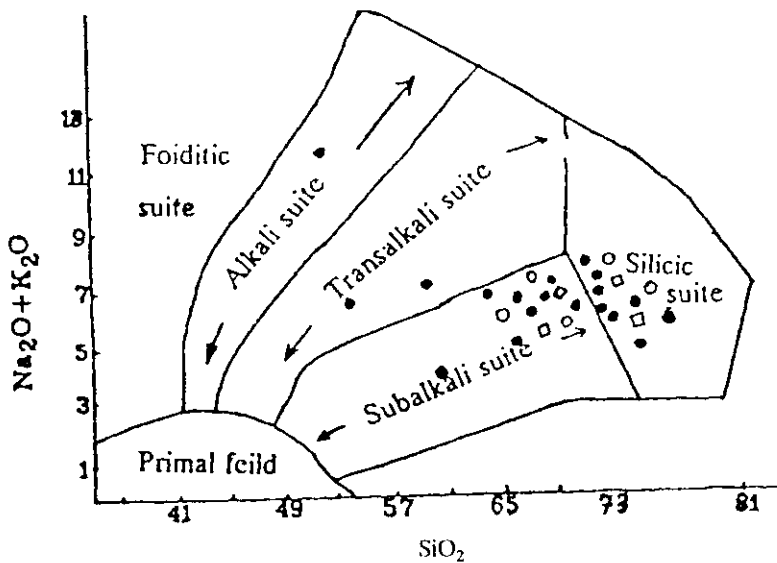
قرار می‌گیرند (شکل ۷).



الف:

ب:

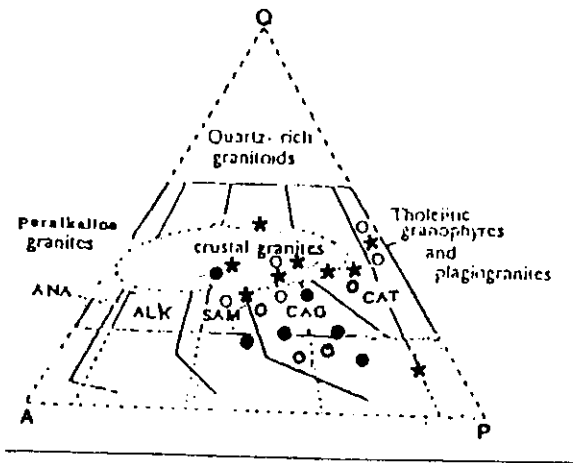
شکل ۷: الف- نمودار ابروین و باراگار (۱۹۷۱) و ب- میاشیرو (۱۹۷۴) که سری‌های کالکوآلکالن و تولیت را از هم جدا می‌کند. نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در هر دو نمودار خصوصیات کالکوآلکالن را نشان می‌دهند.



شکل ۸: بر اساس نمودار میدلموست (۱۹۹۱) سنگهای ماگمایی جنوب غرب یزد در محدوده ساب آلكالن و سیلیسی قرار می‌گیرند.

بر اساس نمودار درصد وزنی Na_2O+K_2O/SiO_2 که توسط میدلموست [۲۲] ارائه گردیده است نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده ساب آلكالن و سیلیسی قرار می‌گیرند (شکل ۸).

از نمودارهای دیگری که برای تمایز سری‌های گرانیتی استفاده می‌شود، نمودار QAP [۲۰] است که محدوده‌های تونالیت یا ترونجمیت کالکو آلكالن، گرانودیوریت کالکو آلكالن، مونزونیت ساب آلكالن، آلكالن پتاسیک و آلكالی سدیک را از یکدیگر مجزا می‌سازد. تغییرات در طیف کالکو آلكالن را می‌توان بر اساس سری‌های پلوتونیک در شیلی، پرو و باتولیت سیرانوادا مورد بررسی قرار داد. با توجه به نتایج تجزیه مودال، باتولیت شیرکوه و سایر توده‌های نفوذی در محدوده گرانیتوئیدهای کالکو آلكالن و گرانیت‌های پوسته‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۹). ساده‌ترین تقسیم‌بندی ژنتیکی گرانیت‌ها را به دو گروه I (منیتی) و S (سری ایلمنیتی) تقسیم می‌کند. [۱۶]، [۱۱]، [۱۸] برای تفکیک گرانیتوئیدهای نوع I و S مشخصات جدیدی را عنوان نمودند. به نظر آنها گرانیت‌های نوع S عموماً به صورت توده‌های نفوذی کوچک و فاقد سنگهای آتشفشانی مرتبط با آنها است و طیف ترکیبی آنها از دیوریت (۲۰٪)، گرانودیوریت (۱۸٪) تا گرانیت (۸۰٪) تغییر می‌یابد، چنانچه گرانیتوئیدهای نوع I معمولاً به صورت توده‌های نفوذی بزرگ و همراه با سنگهای آتشفشانی مرتبط با آنها است و طیف ترکیبی آنها از دیوریت (۱۵٪)، گرانودیوریت (۵۰٪) تا گرانیت (۳۵٪) تغییرپذیر است.



شکل ۹: نمودار مودال QAP (لامر و بودن، ۱۹۸۲) برای تمایز سری‌های مختلف گرانیتی و موقعیت سنگهای گرانیتی توده‌های نفوذی جنوب غرب یزد. CAT: تونالیت یا ترونجومیت کالکوآلکان CAG: گرانوید پوریت کالکوآلکان SAM: مونزوریت ساب آلکان ANA: آلکان پتاسیک ALK: آلکان پتاسیک ANA: آلکان سدیک

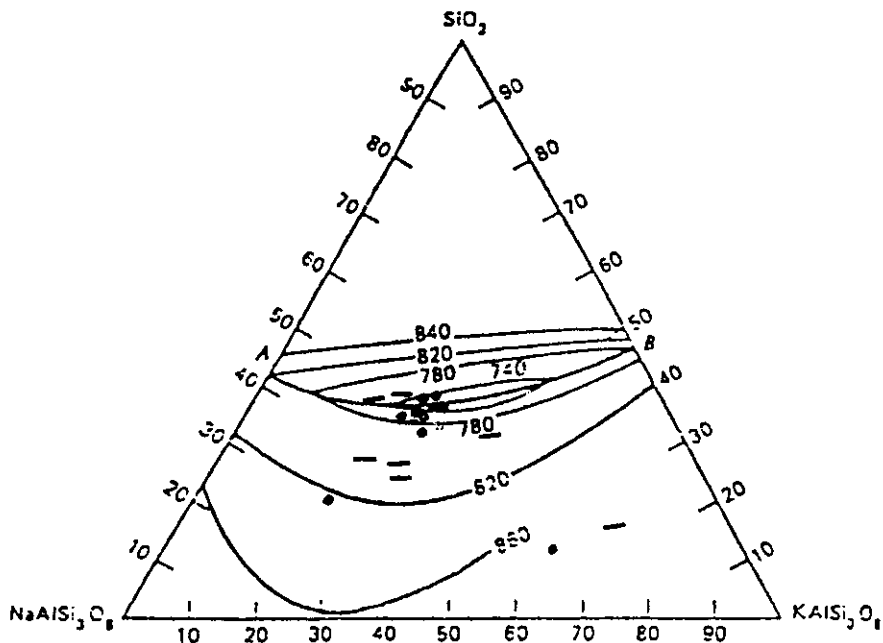
○ آدربلندان

● کافی‌آباد

★ شیرکوه

در محدوده مورد مطالعه باتولیت شیرکوه بیشتر با نوع S و توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آدربلندان با نوع I مطابقت دارند. برای بررسی شرایط دما و فشار تشکیل توده‌های نفوذی جنوب غرب یزد، از نمودارهای دوتایی سیستم آلپیت و ارتوز [۲۹] استفاده شده (شکل ۱۰)، و با توجه به حضور گسترده میکروپرتیت در باتولیت گرانیتوئیدی شیرکوه و پرتیت آنتی‌پرتیت در توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آدربلندان فشار بخار آب حاکم بر تشکیل توده‌های نفوذی بین ۱-۲ کیلو بار فرض شده است. علاوه بر این مورد کانی‌شناسی دقیق سنگها نیز مؤید این مطلب است، زیرا که در هاله دگرگونی ایجاد شده در اطراف توده‌های نفوذی دیوپسید که حرارت تشکیل بیش از 500°C را نشان می‌دهد وجود دارد (تجزیه سه نمونه سنگ اسکارنی به روش میکروپراب). با توجه به اینکه توده‌های پلوتونیک می‌توانند حداکثر ۶۰ تا ۷۰ درصد حرارت خود را به نزدیکترین سنگهای مجاور منتقل کنند [۸] از این رو، حرارتی در حدود 750°C و حتی بیشتر برای توده‌های گرانویدوریتی تخمین زده می‌شود. در بررسی‌های پترولوژیکی نوع بافت سنگها نیز می‌تواند به عنوان کلیدی برای شناخت منشأ ماگما مؤثر باشد.

در سنگهای منطقه مورد مطالعه بافت‌های پرتیت، آنتی‌پرتیت و گرافیک (گرانوفیر) به فراوانی مشاهده می‌شود. وجود بافت‌های پرتیتی و آنتی‌پرتیتی نشانه تبلور سنگ تحت فشار بخار آب کم (زیر ۲Kb) در سیستم دوتایی آلپیت و ارتوز بوده است. به چنین گرانیت‌هایی، گرانیت هیپرسالووس گفته می‌شود. بافت‌های گرانوفیری موجود حاصل رشد همزمان کوارتز و فلدسپات آلکالن از مایعی که ترکیب مشابه نقطه اوتکتیک یا خط کوتکتیک را دارد می‌باشد. میدلموست [۲۲] کانی‌های سیلیکات آلومین موجود در گرانیت‌ها را بعنوان بلورهای بیگانه مشخص نموده و وجود آنها را به عنوان نشانه ذوب بخشی سنگهای پوسته‌ای می‌داند. [۲۵] وجود آلومینوسیلیکاتها از جمله سیلیماتیت در گرانیتوئیدها را بعنوان رستیت قلمداد می‌کند. شلی [۲۸] نیز عقیده دارد در سنگهای گرانیتی نوع S مواد رستیتی به وفور یافت می‌شود. آندالوزیت و کوردیریت در گرانیتوئید شیرکوه از نوع اولیه هستند چون هر دو بر خلاف نوع دگرگونی فاقد ادخال‌های کربنی بوده و به صورت شفاف دیده می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این کانی‌ها به صورت اولیه از یک ماگمای پرآلومین متبلور شده‌اند. قبلاً تشکیل کوردیریت‌های فاقد ادخال از یک مذاب گرانیتی را گزارش کرده‌اند [۱۴].



شکل ۱۰: موقعیت سنگهای نفوذی جنوب غرب یزد و ارتباط آنها با ناحیه حرارت ذوب پایین سیستم سه تایی SiO_2 - KAlSi_3O_8 - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

(تائل و باون، ۱۹۵۸). سیستم تحت فشار آب یک کیلو بار است.

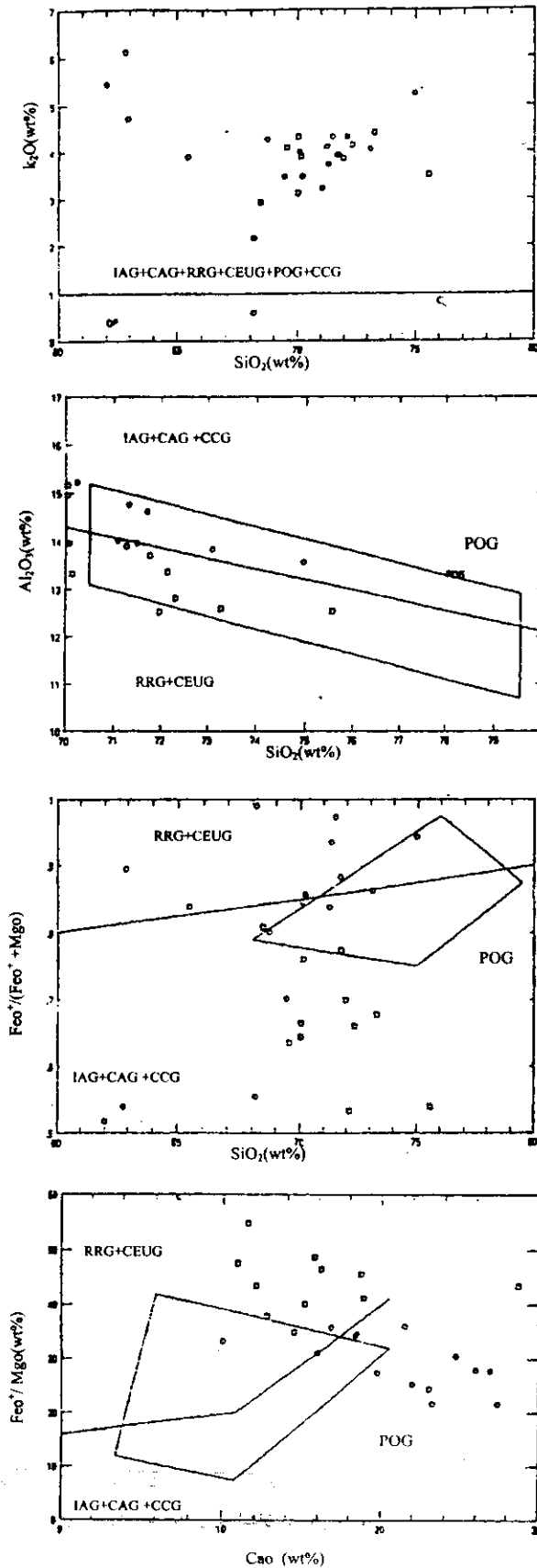
● نمونه‌های آدریلندان

● نمونه‌های کانی‌آباد

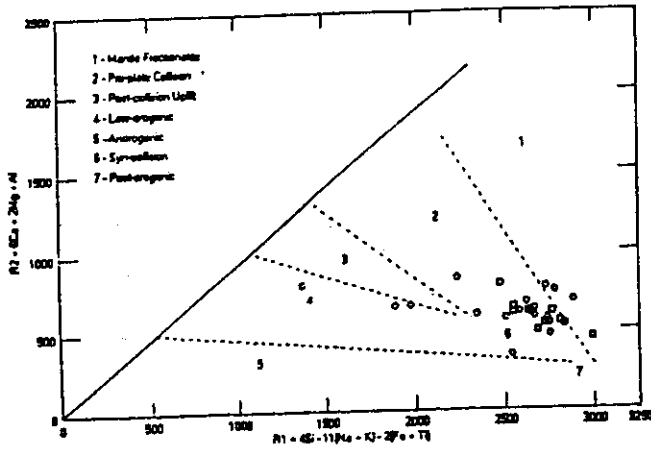
۵- موقعیت تکتونیکی:

با استفاده از نمودارهای تشخیص محیط‌های تکتونیکی که توسط مانیار و پیکولی [۲۱] ارائه شده است به طور کلی گرانیتوئیدها در سه گروه ۱- CAG، CCG، YIAG، RRIG، CEUG و ۳- POG قرار می‌گیرند؛ چنانکه با استفاده از نمودارهای درصد وزنی K_2O/SiO_2 ، Al_2O_3/SiO_2 ، $FeO/(FeO+MgO)$ در مقابل SiO_2 و FeO/MgO (شکل ۱۱) تعدادی از سنگهای گرانیتوئیدی منطقه را در محدوده POG باید دانست. نمودار درصد وزنی $FeO+MgO/CaO$ نیز نشان می‌دهد که گرانیتوئیدهای شیرکوه، کافی آباد و آدریلندان از نوع گرانیتوئیدهای پس از کوه‌زایی (POG) هستند. در نمودار K_2O/SiO_2 ، معرف پلاژیوگرانیت‌های اقیانوسی است که تحت عنوان M نامگذاری شده است [۷]. نمودار باچلور و بودن [۱۰] گرانیتوئیدهای مورد نظر را از نوع همزمان با کوه‌زایی و بعد از کوه‌زایی معرفی می‌نماید (شکل ۱۲). علاوه بر این برای تشخیص محیط تکتونیکی گرانیت‌ها از عناصر کمیاب [۱۷] نیز می‌توان استفاده کرد.

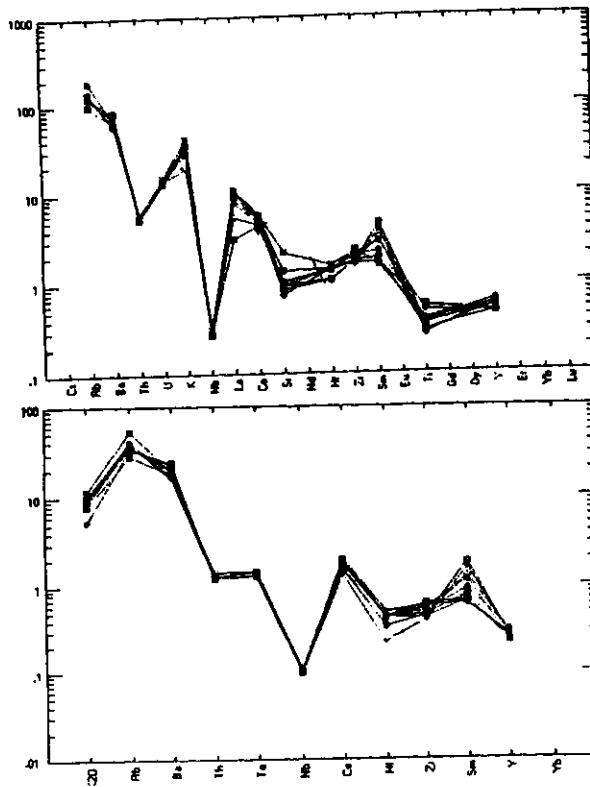
عناصر کمیاب سنگهای ماگمایی جنوب غرب یزد با نمودارهای عنکبوتی مربوط به مناطق MORB، ORG [۲۴] و مناطق فرورانش (حاشیه فعال قاره) مقایسه شده است. این نمودارها دارای نقاط ماکزیمم و می‌نیمی هستند که اختلاف بین آنها زیاد است و محیطهای در ارتباط با فرورانش را نشان می‌دهند زیرا که رسوبات و مایعات همراه با آنها می‌توانند باعث غنی‌شدگی غیر عادی عناصر کمیاب شوند. این نمودارها غنی‌شدگی از عناصر Ba, K, Rb و تهی‌شدگی Nb, Sr, Ti را نشان می‌دهند [۳۰]، [۲۷]. در شکل ۱۳ این نمودارها عرضه شده است. علاوه بر هضم رسوبات مرتبط با صفحه فرورونده در مناطق فرورانش که می‌توانند باعث غنی‌شدگی غیر عادی عناصر کمیاب شوند، پدیده‌های هضم یا اختلاط نیز شاید در مکانیسم‌های غنی‌شدگی و تهی‌شدگی مؤثر بوده‌اند.



شکل ۱۱: نمودارهای مختلف ماتریار و پیگولی (۱۹۸۹) برای تشخیص محیط کتونیکی گرانیتوئیدها. بر اساس این نمودارها گرانیتوئیدهای جنوب غرب یزد از نوع گرانیتوئیدهای پس از کو-زایی (POG) هستند.



شکل ۱۲: نمودار باچلور و بودن (۱۹۸۵) طبق این نمودار گرانیتوئیدهای منطقه از نوع همزمان با کوه‌زایی و بعد از کوه‌زایی هستند.



شکل ۱۳: نمودار اسپایدر مربوط به سنگهای گرانیتوئیدی شیرکوه، کافی آباد و آدریلندان. همانطوری که دیده می‌شود از Ba, Rb, K غنی شده و از

Sr, Nb و Ti نهی شده‌اند.

نتیجه گیری:

از مطالعات صحرائی، آزمایشگاهی، پتروگرافی، ژئوشیمیایی، پترولوژی و زمین‌ساختی منطقه جنوب غرب یزد به این نتایج رسیده‌ایم:

۱- قدیمی‌ترین سنگهای منطقه که در مجاورت با باتولیت شیرکوه قرار دارد، آهک جمال باسن پرمین است که حد تماس آن با گرانیت‌ها گسله است. مجاورت توده‌های نفوذی کافی آباد و آدربلندان با آهکهای کرتاسه منجر به پدیده اسکارن‌سازی شده‌است که عمده‌ترین کانی‌های آن عبارتند از دیوپسید، گرونا (اندرادیت)، فلوگوپیت، اسکاپولیت، تالک و سرپانتین.

۲- توده‌های نفوذی منطقه جنوب غرب یزد، دارای ترم‌های سنگ شناسی گرانودیوریت، مونزوگرانیت سینیوگرانیت آلکالن و تونالیت می‌باشند. کانی‌های فرعی سنگها منیتیت، همتیت، زیرکن، اسفن، و آپاتیت هستند. بافت‌های عمده سنگها پرتیت، گرافیک و گرانولر می‌باشد.

۳- توده‌های گرانیتوئیدی منطقه بیشتر ماهیت کالکوآلکالن دارند.

۴- با توجه به کارهای آزمایشگاهی و آنالیزهای شیمیایی، توده‌های گرانیتوئیدی در طیف حرارتی 680°C تا 750°C و فشار بین ۱-۲ کیلو بار تشکیل شده‌اند.

۵- با توجه به داده‌های ژئوشیمیایی و پراکندگی در مقادیر CaO و K_2O ، Na_2O حضور گرانیت‌های آلکالن و کالکوآلکالن و شواهد هورنفلسی می‌توان چنین تصور نمود که در منطقه مورد مطالعه بیش از یک واقعه نفوذ و جایگزینی برای گرانیت‌ها رخ داده است. به عنوان مثال گرانیت شیرکوه بعد از تریاس بالایی و به احتمال زیاد در ژوراسیک میانی جایگزین شده است. سن مطلق ارائه شده بعد از تریاس بالایی و به احتمال زیاد ژوراسیک میانی جایگزینی را مشخص می‌کند. سن مطلق ارائه شده توسط فورستر [۱۵] و ریر و محافظ [۲۶] برای گرانیتوئید شیرکوه آن را به فاز کوه‌زایی سیمری پسین نسبت داده است. در حالی که توده‌های نفوذی کافی آباد و آدربلندان به دلیل دگرگونی آهکهای کرتاسه اطراف بعد از کرتاسه زیرین جایگزین شده و ممکن است در ارتباط با فازهای کوه‌زایی جوانتر باشند.

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

۷- با توجه به نمودارهای تشخیص محیط تکتونیکی گرانیت‌ها و خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی گرانیتوئیدهای شیرکوه، کافی آباد و آدربلندان می‌توان آنها را جزو گرانیت‌های کوه‌زایی برخورداره‌ای دانست.

۸- از نظر پتانسیل اقتصادی باتولیت شیرکوه و توده‌های نفوذی کافی آباد و آدربلندان استعداد فوق‌العاده‌ای جهت استفاده سنگهای تزئینی داشته و بخش هوازده آن برای استخراج فلدسپات و سیلیس مناسب است.

بگمانیت‌ها در ارتباط با توده‌های نفوذی خیلی کم بوده و فاقد ارزش اقتصادی هستند. ارزش اقتصادی منابع اسکارنی بایستی مورد مطالعه بیشتری قرار گیرد. ضمناً کانی‌سازی آهن - سرب - روی و کانی‌های غیرفلزی نظیر کائولینیت نیز مشاهده می‌شود. بر مبنای داده‌های ژئوشیمیایی و پایین بودن نسبت Rb/Sr می‌توان گفت که توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی جنوب غرب یزد حداقل از نظر قلع و تنگستن، تهی هستند ولی برای بررسی پتانسیل سایر عناصر، انجام مطالعات ایزوتوپی و تعیین دقیق عناصر کمیاب لازم و ضروری است.

منابع:

- ۱- حسن‌نژاد، علی اکبر؛ بحثی در مورد پتروگرافی و ژئوشیمی باتولیت شیرکوه، دانشکده علوم پایه دامغان. (سمینار داخلی، ارتباط شخصی)، (۱۳۷۴).
- ۲- خسرو تهرانی، خسرو؛ وزیری مقدم، حسین؛ خلاصه‌ای از چینه‌شناسی و جغرافیای دیرینه دوره کرتاسه در نواحی شیرکوه یزد، دانشگاه تهران. (مجموعه مقالات بررسی مسائل مناطق کویری و بیابانی ایران)، (۱۳۷۱).
- ۳- درویش زاده، علی؛ زمین‌شناسی ایران، چاپ، انتشارات نشر امروز، (۱۳۷۰).
- ۴- زارعی سهامیه، رضا؛ مطالعه ماگماتیسیم جنوب غرب یزد (منطقه انار- عقدا). موضوع رساله دکترا دانشگاه تربیت معلم، (۱۳۷۸).
- ۵- کلاتری سرچشمه، محمدرضا؛ پترولوژی و ژئوشیمی باتولیت گرانیتوئیدی شیرکوه یزد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم، (۱۳۷۵).
- ۶- معین وزیری، حسین؛ دیباچه‌ای بر ماگماتیسیم در ایران، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، (۱۳۷۵).
- ۷- ولی زاده، محمدولی؛ پترولوژی تجربی و تکتونیک کلی، جلد دوم، آندزیت‌ها و گرانیت‌ها، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۷۱).
8. Aubovin, J., Brousse, R. & Lehman, J. P., *Precis de petrologie*, Tome 1, Bordas, Paris, (1975).
9. Barker, A. 1, *An Introduction to Metamorphism texture and microstructure*, Blackie, New York, (1994).
10. Batchelor, R. A. & Bowden, p., *Petrogenetic interpretation of granitoids rocks series using multicationic parameters*, *Chem. Geol.*, 48; (1985), 43-55.
11. Chappell, B. W. & A. J. R White , *I and S type granites in the lachland fold belt: Earth sci vol*, 83, (1992) P. 126.
12. Chappell, B. W., & White, A. J. R., *Two contrasting granite types*, *Pacific, Geol*, vol. 8. (1974), 173-174.
13. Debon, F., & Le Fort, P., *A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations*, *R. soc. Edinb, Trans.* 73, (1983), 135-149.
14. Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J., *Rock-forming-minerals*, vol. 1B (sec. ed), *Disilicates and Ring silicates*, Longman, New York, (1992), p. 629.
15. Forster, H., *Continental drift in Iran in relation to the Afar structure*, in: A., Pilger & A., Rosler (eds.), *Afar between continental and oceanic rifting (vol. II)*, Stuttgart, (1978), 182-190.

16. Hall, A, *Igneous petrology*, longman scientific & technical, (1996).
17. Harris, N. B. W & pearce. J. A. Thindle, A. G, *geochemical characteristics of collision zone magmatism*, geo. soc, sps, pub: No, 19, (1986), 67-81.
18. Hine, R. I. S. & Williams, B. E., Chappell, B. W., & White, A. J. R., *Contrast between I & S type granitoids of the kosciusko batholith*, J. of Geol. of the soci. Of Aus., vol. 25, (1978), 219-234.
19. Irvine, T. N. Baragar, W. R. A, *A guide to the chemical classification of the common volcanic Rocks*. Can. J. Earth sci. 8, (1971), 523-548.
20. Lameyre, J., & Bowden, P., *Plutonic rock type series discrimination of various granitoids series and related rocks by their modal composition*, J. Volcan, Geoth., Res., 14, (1982), 169-186.
21. Maniar, P. Piccoli, O., *tectonic discrimination of granitoids*, geo, soc. of Am, Bull, vol. 1. 1 (1989), 635-643.
22. Middlemost, Eric. A. K, *Naming materials in the magmas*, *Igneous Rocks system*, Earth sci. Rev: (1994), 215-224.
23. Miyashiro, A., *Volcanic rock series in island areas and active continental margins*, Am. J. of sci., 274; (1974),321-355.
24. Pearce, A. J., Harris, B. W., & Trendle, A. G., *Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks*, dept. of earth sciences, the open university, Milton Keynes, England, (1984).
25. Pitcher, W. S., *the nature and origin of granites*, Blackie Academic & professional, (1993).
26. Reyer, D. & Mohafez, S., *A first contribution of the NIOC-ERAP agreements to the knowledge of Iranian geology*, edition, Technip: Paris, (1972).
27. Rollinson, II, *using geochemical data evaluation, Interpretation*, Longman, (1993).
28. Shelley, D, *Igneous and Metamorphic rocks under the microscope* chapman and Hall, London (1993).
29. Tuttle, O. F., & Bowen, N. L., *Origin of granite in the light of experimental studies in th system NaAlSi₃O₈-KAlSi₃O₈-SiO₂-H₂O*, Geol. Soc. Am. Mem. 74: (1958), 1-153.
30. Wilson, M, *Igneous petrogenesis, A Glocal tectonic approach*, unwin, London, (1996).