

مطالعه پترولوژی و ژئوشیمی توده های آذرین نفوذی جنوب بستان آباد

نوشته: دکتر محمد ولی ولی زاده* بابک مستوفی**

Petrology and geochemistry of the intrusive bodies south of Bostan Abad

By: Dr. M. V. Valizadeh * & B. Mostofizadeh*

Abstract:

In a region northwest of Iran, (Bostan Abad, Eastern Azarbaijan) there are intrusive bodies with Eocene-Oligocene age, that have overall northwest-southeast trend. The rocks of these bodies fall within the range of medium to acidic, that have intruded the Eocene volcanic series and constituting contact metamorphic aureole of low grade. Moreover, having the same features as ablite - epidote hornfels facies. These rocks compositionally belong to the calc-alkaline and based on computer-criteria, in the orogenic belt, follows the tectonical regime of the VAG. Considering changes in the abundance of minerals such as pyroxene, magnetite, amphibole, biotite, plagioclase and alkali feldspar in the intrusive rocks, hence, it is indicative of successive process of differentiation in intermediate magma, and ultimately creating variation in lithology.

The studies shows that water vapour pressure for the formation of igneous bodies has been 0.2-2 kbar- and with regards to conditions produced contact facies and textural characteristics ; it seems that magmas after formation and ascent reaches the epizonal level of the crust. In other words, these magmas have been emplaced in the subvolcanic conditions. The latter, more or less have undergone contaminations with crust, up to their emplacement. By considering trace elements, distribution patterns; the common character of VAG for the intrusive bodies, ultimately introduces the CAG Setting.

* گروه زمین شناسی دانشکده علوم - دانشگاه تهران

*Tehran University, Faculty of Science, Geology Department

چکیده

در ناحیه‌ای از شمال باختری ایران (حوالی بستان‌آباد - آذربایجان شرقی) توده‌های نفوذی با قدمت ائوآلیگوسن تشکیل شده‌اند که در مجموع روندی شمال باختری - جنوب خاوری دارند. سنگ‌های این توده‌ها که در طیفی از حد واسط تا اسیدی قرار گرفته‌اند به داخل واحدهای ولکانیکی ائوسن تزریق شده و در آنها هاله نگرگونی مجاورتی ضعیفی را در حد رخساره آل‌بیت - اپیدوت - هورنفلس بوجود آورده‌اند. این سنگ‌ها از نظر ترکیبی کالک آلکالن بوده و براساس معیارهای محاسباتی در شرایط کوهزایی منطبق بر رژیم تکتونیکی VAG تشکیل یافته‌اند. توجه به تغییرات فراوانی کانی‌هایی چون پیروکسن، مگنتیت، آمفیبول، بیوتیت، پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپار در واحدهای نفوذی نشان می‌دهد که در طی فرآیند تغریق متوالی یک ماگمای حد واسط، تنوع لیئولوژی حاصل گردیده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که فشار بخار آب لازم برای تشکیل توده‌های نفوذی بین ۰/۲ تا ۲ کیلو بار بوده و باتوجه به شرایط رخساره مجاورتی حاصل و مشخصات بافتی، به نظر می‌رسد که ماگماها پس از تشکیل و صعود در تراز اپیزون پوسته، با به عبارتی دیگر در شرایط ساب ولکانیک، جایگزین شده باشند. ماگماهای حاصل کم و بیش تا مرحله استقرار نهایی خود متحمل آلودگی‌های پوسته‌ای نیز شده‌اند که با توجه به الگوی پراکنش عناصر کمیاب، مشخصه کلی VAG توده‌های نفوذی منطقه در نهایت به صورت جایگاه CAG درآمده است.

مقاله را تشکیل می‌دهند، رخنمون‌های پراکنده و متعددی را با روند شمال باختری- جنوب خاوری تشکیل داده‌اند و احتمالاً این پراکندگی به علت فعالیت‌های گسترده آتشفشانی میوسن (به صورت نهشته‌های آذر-آواری) بوده که ارتباط بین توده‌ها را در اکثر موارد مبهم ساخته است. در بخش شمال غربی منطقه، توده‌های نفوذی با یکدیگر دارای همبندی گسلی هستند. باتوجه به پوشیده بودن واحدهای نفوذی توسط نهشته‌های میوسن (شکل ۱-ا) فقدان آثار نگرگونی در تشکیلات مزبور، وجود و زینولیت‌هایی از ولکانیک‌های آندزیتی ائوسن میانی در داخل توده‌های نفوذی، (شکل ۱-ب) نشان دهنده است که تزریق توده‌های مزبور احتمالاً در زمان ائوسن فوقانی - الیگوسن اتفاق افتاده است. نتایج بررسی‌هایی که بر روی مقاطع نازک و مشخصات ژئوشیمیایی نمونه‌ها انجام گرفته، به شرح زیر است.

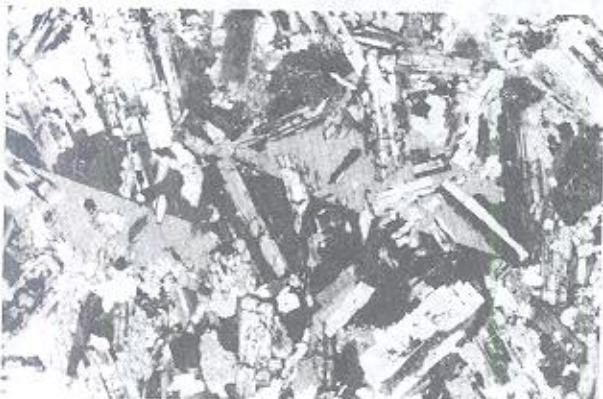
منطقه مورد مطالعه در محدوده طول‌های جغرافیایی $35^{\circ} 46'$ و $2^{\circ} 47'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $38^{\circ} 27'$ و $49^{\circ} 37'$ شمالی در حوالی بستان‌آباد و در ۳۵ کیلومتری جنوب تهریز واقع گردیده است. این منطقه در بخش شمال غربی چهارگوش $1:250000$ میانه و در امتداد نوار ولکانو- پلوتونیک سه‌پند- بزمان قرار گرفته است. مهمترین راه ارتباطی منطقه عبارت از جاده ترانزیتی تهران- تهریز می‌باشد که از حد شرقی منطقه مورد مطالعه عبور می‌نماید. برپایه داده‌های حاصل از نقشه زمین‌شناسی $1:50000$ که از منطقه تهیه شده، لیتولوژی کلی عبارت است: از سنگ‌های آذرین بهرونی (باترکیب غالب آندزیتی تا ریولیتی)، درونی (گرانیتوئیدها با ترکیب کوارتز موزویدوریت تا آلکالی فلدسپار گرانیت) و به‌طور محدودتر سنگ‌های رسوبی، گرانیتوئیدها که موضوع این



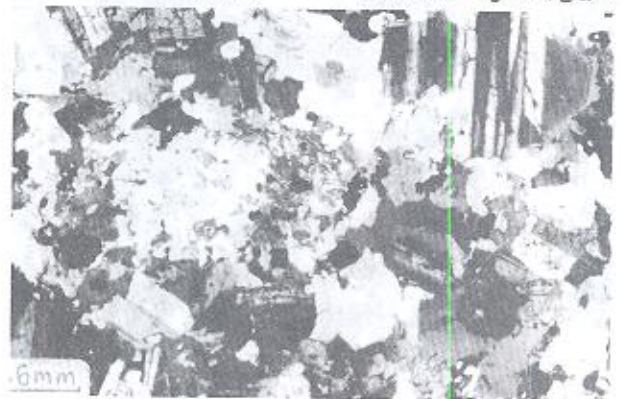
(۱ا): رابطه بین واحد پروکلاستیک میوسن (MP) با سنگ‌های نفوذی واقع در بخش تحتانی، حوالی روستای احمدآباد.



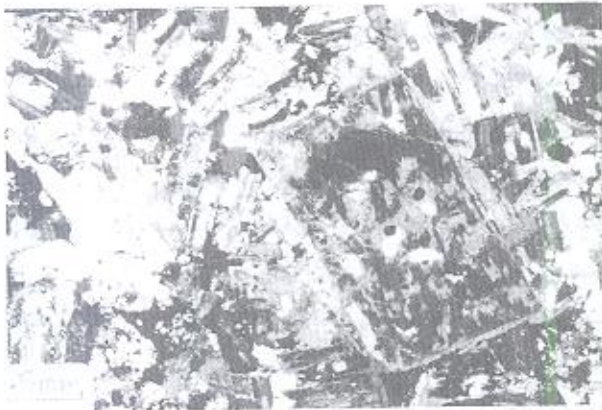
(۱ب): رابطه بین توده نفوذی (بخش سفیدرنگ) با سنگ‌های ولکانیکی ائوسن (بخش تیره رنگ)، صعود ماگما از طریق استوپینگ منجر به وارد شدن زینولیت‌های آندزیتی به داخل ماگمای نفوذی شده است. حوالی روستای اسفنگره.



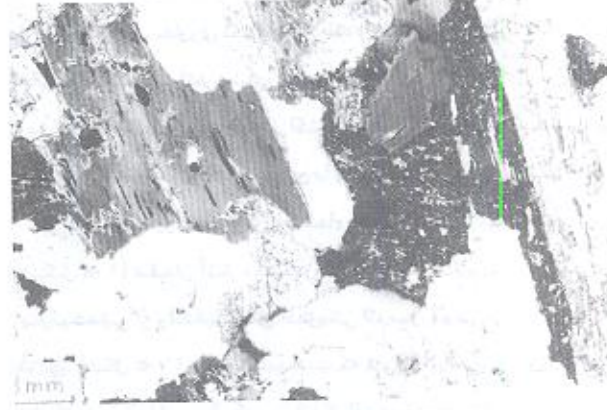
(۱c): بافت پوئی کلیتیک با میزان ارتوز، ادخالها عبارتند از پروکسن‌های اورالیتیزه شده و پلاژیوکلاز که در بخش حاشیه‌ای درشت‌تر شده است. نورپلاریزه.



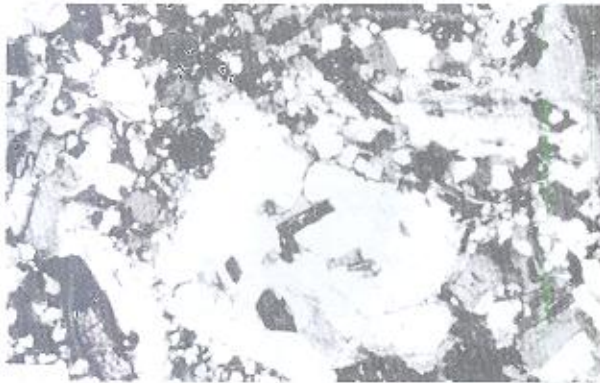
(۱د): تبدیل آمفیبول از حاشیه به مجموعه بیوتیت + کوارتز + اپاک، نورپلاریزه.



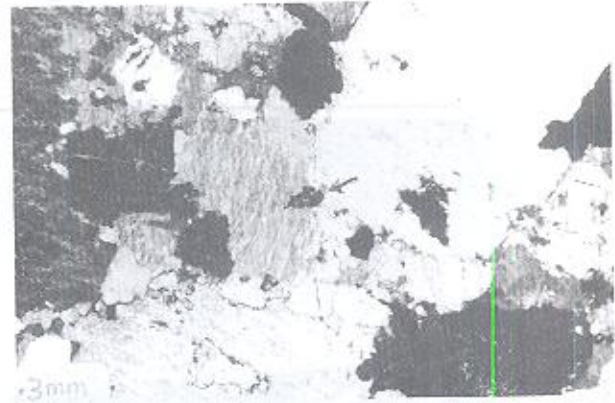
(1e): پلاژیوکلاز اتومورف حاوی رگچه‌ها و قشر باریکی از آلکالی قدسیار ثانویه بیوتیت‌های ثانویه در فضای بین دیگر بلورهای پراکنده‌اند. نورپلاریزه.



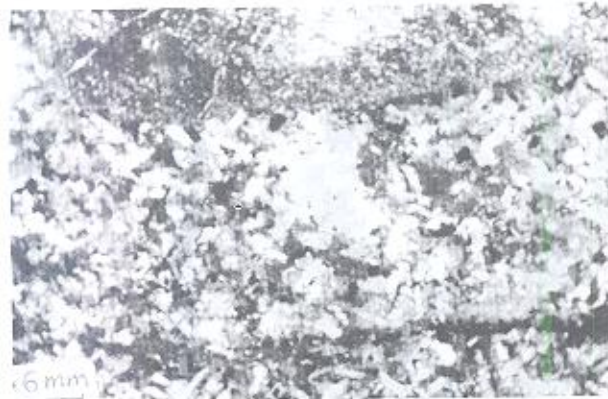
(1f): کوارتز مونوزونیت با یافت گرانولار شامل ارتوز، میکروکلین، پلاژیوکلاز سریستی شده، کوارتز و بیوتیت حاوی ادخاهای روئیل. نورپلاریزه.



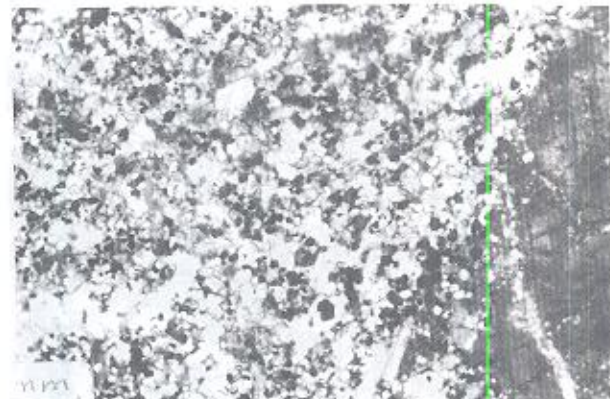
(1g): گرانودیوریت پرفیری که در آن پرفیرهای کوارتز با حواشی مضمرس که گاهی حاوی پلاژیوکلاز هستند و پلاژیوکلاز در متن دانه ریزی از کوارتز و پلاژیوکلاز واقع شده‌اند. نورپلاریزه.



(1h): آلکالی با حاشیه بیوتیتی متشکل از فلدسپات پرتیتی، کوارتز، اپاکهای با حاشیه بیوتیتی شده و بطور محدودتر آلانیت که با فلش مشخص گردیده است. نورپلاریزه.



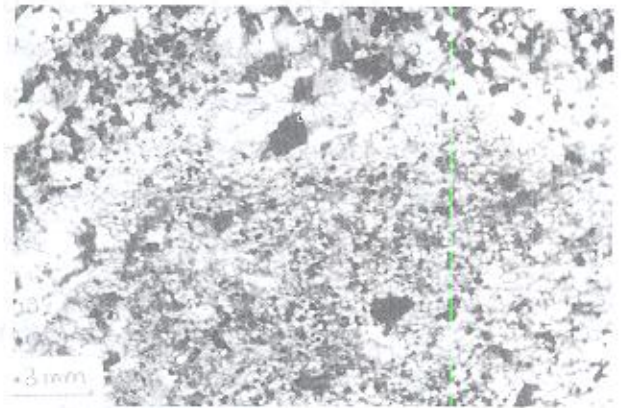
(1i): تصویری از متن یک آندزیت دگرگون شده که در این قسمت فنوکریست هورنبلند در متن دانه‌ریزی از پلاژیوکلاز تیغهای شکل واقع شده است. نورپلاریزه.



(1j): بافت گرانوبلاستیک در زمینه یک متاآندزیت که در آن پلاژیوکلاز تجدید تبلور یافته، اپیدوت، مگنتیت و کوارتز فازهای کانی‌شناسی زمینه را تشکیل داده‌اند. نورپلاریزه.

۱-۲- کوارتز مونزونیت

این واحد در بخش جنوب خاوری منطقه ابتدا توسط دایکهای آلبیتی و رگهای پگماتی و سپس همه مجموعه توسط دایکهای دولریتی قطع شده است. بافت اصلی براین سنگها گرانولار بوده، ولی گاهی بافت گرانوفیری به طور موضعی نیز مشاهده می‌گردد. عملکرد آلتراسیون پتاسیک منجر به تشکیل بیوتیت در اطراف برخی از کانی‌های تیره گردیده است. بافت میرمکیتی نیز به طور محدودتری در مرز بین برخی از پلاژیوکلازها و آلکالی فلدسپارها تشکیل شده است. تراستاد رخهای بیوتیت‌های اولیه کانی روتیل تشکیل شده و بلورهای مزبور احتمالاً در نتیجه ناپایداری بیوتیت‌ها در شرایط آلتراسیونی که منجر به آزاد شدن تیتان شده است، تشکیل گردیده‌اند (شکل F-۱). وجود بافت دانه درشت گرانولار، رگهای پگماتی، و در برخی موارد تشکیل تورمالین در این سنگها حاکی از فعال بودن فاز سیال در هنگام تشکیل این سنگها بوده است. از دیگر کانی‌های فرعی براین سنگها می‌توان به اسفن‌های اتومورف نیز اشاره نمود.



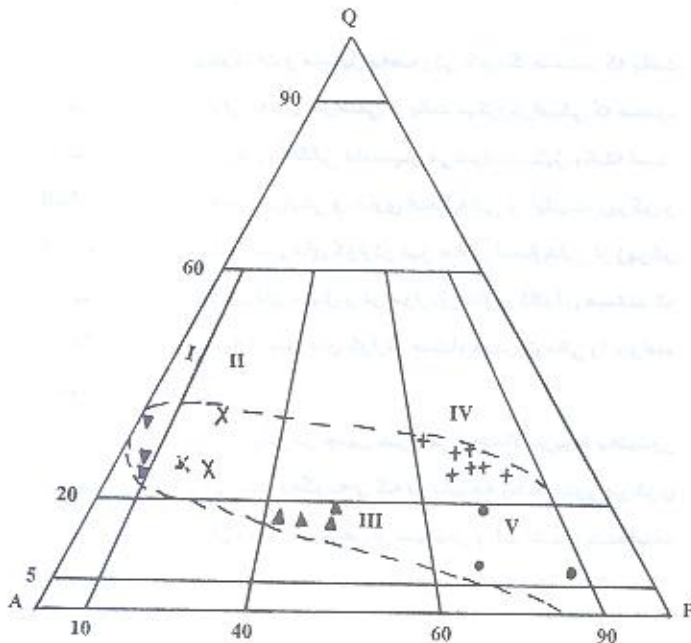
(۱k): تبدیل هورنبلند به مجموعه اکتینولیت، احتمالاً کلریت، سیلیس و اپیدوت فابریک گرانوبلاستیکی را در اطراف هورنبلند تخریب یافته تشکیل داده است. تورپلازیزه.

۱- سنگشناسی (Petrography)

دماپزش نتایج مدال نمونه‌ها در نمودار QAP در مجموع نشانگر کاهش تدریجی پلاژیوکلاز و افزایش کوارتز و آلکالی فلدسپار مدال از کوارتز مونزونیت به طرف آلکالی فلدسپار گرانیته‌ها می‌باشد (شکل ۲-۲).

۱-۱- کوارتز مونزونیت

این واحد توده منفردی را در بخش شمال باختری منطقه (پیرامون روستای آقچرچمن) تشکیل داده که با همبندی گسلی در مجاورت بخش گرانوبیوریتی واقع گردیده است. این سنگها بافت گرانولار و گاهی پوئی‌کلیتیک با میزبان فلدسپات ارتوزمیکروگرافیکی (بطور محدودتر) را ارائه می‌دارند (شکل C-۱). فلدسپات‌های پتاسیک پرتیتی نبوده و بافت پوئی‌کلیتیک این کانی‌ها دارای انخال‌هایی از پلاژیوکلاز و پیروکسن‌های اوژیت اورالیتی شده هستند، برخی از آمفیبول‌ها به بیوتیت تبدیل شده‌اند (d-۱). همچنین در برخی دیگر از پلاژیوکلازها، رگچه‌های باریکی از آلکالی فلدسپارهای ثانوی که امتداد ماکلهای آلبیتی را قطع نموده‌اند تشکیل شده‌اند (شکل e-۱). این نشانه‌ها در مجموع گویای انجام آلتراسیون پتاسیک در این سنگها بوده و بارزترین نوع آلتراسیون را در میزان گرانیته‌های منطقه نشان می‌دهند. به‌رحال وجود بافت میکروگرافیکی و نبود پرتیت احتمالاً نشان می‌دهد که تبلور ماگما در شرایط نسبتاً آبداری صورت گرفته است.



شکل (۲) - نمودار اشتریکایزن (۱۹۷۹) و لامرو بودن (۱۹۸۲) موقعیت‌های شماره گذاری شده در تصویر عبارتند از: ۱- آلکالی فلدسپار گرانیته II- سببوتوگرانیته III- کوارتز مونزونیت IV- گرانودیوریت V- کوارتز مونزونیت

۱-۳- گرانودیوریتی

از نظر بافتی گرانولار تا میکروپرفیری هستند و احتمالاً این تغییرات مربوط به اختلاف سرعت سرد شدن ماگما در بخش‌های مختلف آن می‌باشد. از ویژگی‌های جالب این سنگها، داشتن آمفیبول‌های اتومورف (۱ سانتیمتر) و نیز حضور مقادیر زیادی آنکلاوهای گرو و بیضوی کوارتز نیوریتی و مونزوینیوریتی می‌باشد. آنکلاوهای مونزوینیوریتی از نظر کانی‌شناسی و بافتی شباهت زیادی به توده کوارتز مونزوینیوریتی دارند که این امر تقدم تشکیل ماگمای حد واسط کوارتز مونزوینیوریتی را نشان می‌دهد. پلاژیوکلازها ساخت منطقه‌ای واضحی را نشان می‌دهند که این پدیده احتمالاً مربوط به تبلور ماگما در شرایط نسبتاً کم عمق پوسته می‌باشد. در حقیقت این ساخت نشان می‌دهد که تعادل کاملی بین بلور و مذاب نبرگیرنده برقرار نشده است. رگچه‌های ثانوی فلدسپاتی ناشی از آلتراسیون آلکالی در پلاژیوکلازها تشکیل شده‌اند، پدیده پرتیتی شدن فلدسپات‌های پتاسیک بندرت اتفاق افتاده، و در نمونه‌هایی که بافت پرفیری دارند، بلورهای اتومورف کوارتز تشکیل شده‌اند که گاهی کنارهای نندانه‌داری را نیز نشان می‌دهند (شکل ۱-۱۰).

۱-۴- سینیوگرانیت

سنگهای لوکوکرات و متمایل به صورتی کمرنگ هستند که بافت اصلی آنها گرانولار ولی به‌طور موضعی از بافت میکروگرافیکی که محدود به کناره برخی از بلورهای آلکالی فلدسپار می‌شود تشکیل یافته است. آلکالی فلدسپارها معمولاً پرتیتی و حاوی انخال‌هایی از آپاتیت، زیرکن و گاهی تورمالین هستند. بلورهای کوارتز نیز حاوی انخال‌هایی از زیرکن "آپاتیت" گاهی آنکلوژیون‌های سیال و در مواردی حاوی کائولن هستند که در حالت اخیر این دسته از بلورهای کوارتز منشأ هیدروترمالی را خواهند داشت.

تشکیل بافت گرافیکی در چنین شرایطی احتمالاً مربوط به تبلور فلدسپات مرکزی می‌باشد به‌گونه‌ای که در نتیجه رشد بلور مرکزی بخش‌های حاشیه‌ای آن به‌طور موضعی از سیلیس و آب اشباع شده است (Shelly 1933).

۱-۵- آلکالی فلدسپار گرانیت

مشخصات ظاهری این سنگها مشابه به سینیوگرانیتها بوده با این حال مقادیر کانی‌های تیره در مقایسه با سری‌های قبلی کاهش چشمگیری

را نشان می‌دهند. بافت این سنگها گرانولار بوده و کانی‌های اصلی آنها آلکالی فلدسپارها و کوارتز هستند که در آن فلدسپات‌های پرتیتی دارای انخال‌هایی از کوارتز، تورمالین و بندرت آلانیت‌سپات اتومورف با هاله سوخته (به علت تخریب رادیواکتیو) و بیوتیت ثانوی هستند (شکل ۱-۱۱). از دیگر کانی‌های فرعی در این سنگها می‌توان به اسفن و زیرکن اشاره نمود.

۱-۶- سنگهای دگرگونی مجاورتی

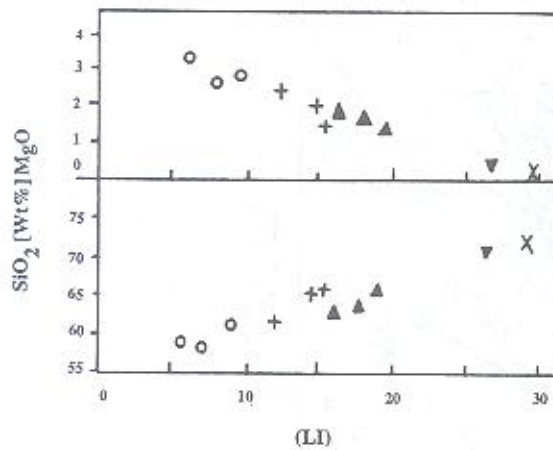
همبندی توده‌های نفوذی در منطقه و نواحی همجوار آن غالباً با ولکانیک‌های ائوسن می‌باشد (شکل ۱-۱۲). بهترین رخنمون در ارتباط با همبندی مزبور در حوالی روستای اسفنگره دیده می‌شود. در این ناحیه به دلیل تزیستی که به داخل آنزیت‌های مگاپرفیری ائوسن میانی صورت گرفته، هاله دگرگونی ضعیفی در حد رخساره آلپیت اهنوت هورنفلس بوجود آمده است. سنگهای دگرگونی (متآئزیت‌ها) در نمونه‌های دستی تیره رنگ بوده و از ویژگی‌های جالب آنها وجود فنوکریست‌های برشت پلاژیوکلاز به رنگ تیره می‌باشد (به ابعاد ۲-۳ سانتیمتر) که بر زمینه‌ای نسبتاً تیره متمایل به سبز قرار گرفته‌اند. فاز فنوکریست را پلاژیوکلاز، اکتینولیت و کلریت و زمینه‌ای از آلپیت، اهنوت، اپاک و کوارتز تشکیل می‌دهند. بررسی‌های میکروسکوپی و مقایسه با نمونه‌های دگرگون نشده نشانگر آن است که فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در شرایط دگرگونی وضعیت پایداری داشته و حتی تجدید تبلور پلاژیوکلاز در بخش زمینه سنگ صورت گرفته است. افزون بر آن تشکیل اهنوت و کوارتز بر زمینه بافتی، منجر به تغییر بافت میکروولیتی (شکل ۱-۱۳) و تبدیل آن به بافت گرانوبلاستی (شکل ۱-۱۴) شده است. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز دارای رگچه‌های متعددی از اکسید آهن بندریتی شکل هستند. مجموعه اکتینولیت و کلریت نیز احتمالاً در نتیجه ناپایداری هورنفلن‌های اولیه تشکیل شده و احتمالاً یون‌های آهن و آلومینیم حاصل از تجزیه هورنفلند در واکنش‌های تولید اهنوت و کلریت شرکت داشته‌اند (شکل ۱-۱۴).

۲- ژئوشیمی و سنگ‌شناسی

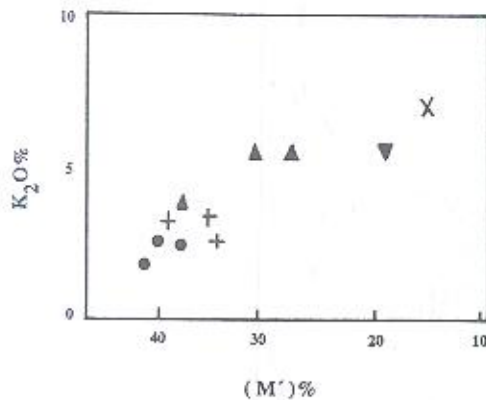
در جدول (۱) نتایج تجزیه‌های شیمیایی برخی از عناصر اصلی و کمپاد نمونه‌های منطقه آورده شده است. اندازه‌گیری مزبور بر مبنای روش تجزیه‌ای XRF، که در سازمان زمین‌شناسی کشور صورت گرفته است.

	O		A	
	LO	PO	AR	RC
gs_1		*		
	*			
gs_2		*		
	*			
gsD_1		*		
	*			
$gmo-1$		*		
	*			
$ksop_2$		*		
	*			

جدول (۱) - نتایج آنالیز شیمیایی توده‌های نفوذی به روش XRF شامل عناصر اصلی، عناصر کمیاب و کانی‌های نورم که بر اساس روش CIPW محاسبه شده‌اند.



شکل (۲) - نمایش تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی در برابر ضریب تفریق لارسن (LI) توضیحات در متن آورده شده است. علائم مشابه شکل (۱) هستند.

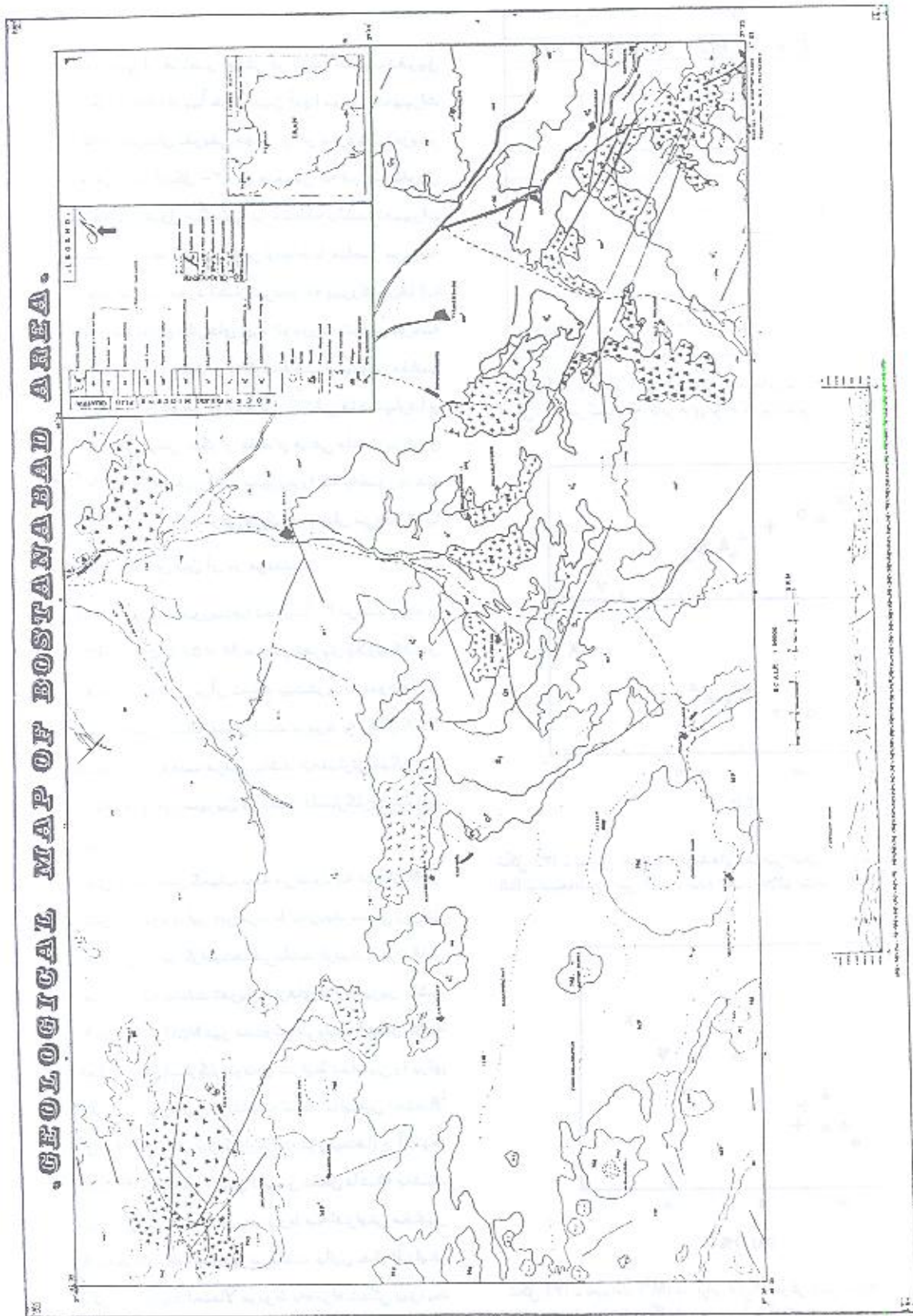


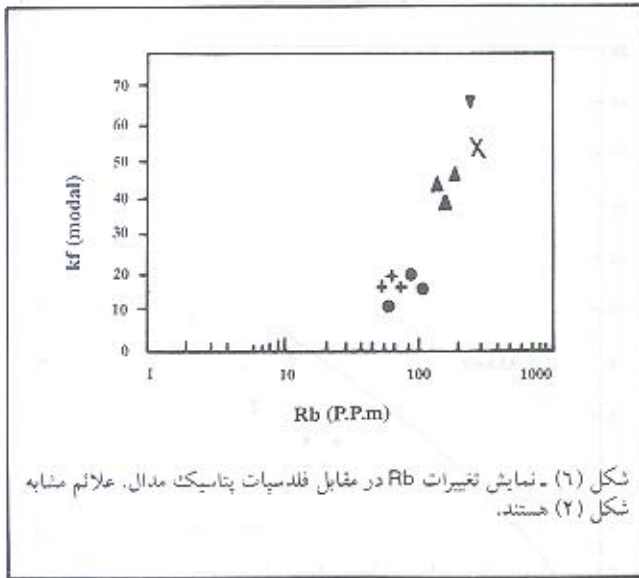
شکل (۳) - تغییرات (M^1) در برابر K_2O تمرکز پائین K_2O در مقادیر بالاتر (M^1) نشان دهنده رفتار ناسازگار این عنصر با ماگمای در حال تبلور می‌باشد. علائم مشابه شکل (۲) هستند.

نمایش تغییرات برخی از عناصر اصلی در برابر ضریب تفریق Larsen نشانگر وجود یک رابطه تقریباً خطی بین آنها بوده و تغییرات مربوط MgO و SiO_2 که متغیرهای تفریقی مهمی را در سری‌های مزبور تشکیل می‌دهند، منظم‌تر می‌باشد (شکل ۳-۲). در صورتی که فرآیند تفریق از حد واسط تا اسیدی عامل تحول ماگمایی در منطقه باشد، تغییرات کانی‌شناسی نیز می‌بایستی روابط منظمی را در ارتباط با عناصر مربوطه داشته باشند. مقایسه کلی در این مورد نشان می‌دهد که پیروکسن‌ها (با فراوانی ۱۴ درصد مدال) و تاحنودی کانی‌های تیره اتومورف تنها در مرحله کوارتز موزوویوریت حضور فعال داشته و به طرف قطب اسیدی‌تر مقابیر فوق به شدت کاهش می‌یابد و در عوض بر فراوانی آلکالی فلدسپارها و کوارتز، و در عین حال فراوانی دیگر از فازهای فرعی مانند زیرکن و اسفن افزوده می‌شود. شکل ۴ نمایش رفتار منیزیم را که به صورت عدد منیزیم $M = \frac{MgO}{MgO + FeO_{(t)}} \times 100$ معرفی می‌کند، نشان می‌دهد که با وجود K_2O نشانگر رابطه معکوس بین آن دو می‌باشد.

مقدار M برای کوارتز موزوویوریتها تقریباً ۴۰ درصد بوده و به عقیده (Philpotts, 1990) مایعات با $M < 58$ حاصل تفریق پلاژیوکلاز و اوژیت از ماگمای اولیه هستند. افزون بر آن تجمع بیشتری از نمونه‌ها در مقادیر M بالا دیده می‌شود که این مسئله ممکن است مربوط به رفتار کاملاً ناسازگار عنصر پتاسیم در موقعیت مزبور باشد. به عبارتی دیگر این موقعیت با حضور توام کانی‌های فرومنیزین که باعث ناسازگاری پتاسیم می‌شوند مطابقت می‌نماید.

در ارتباط با برخی از عناصر کمیاب دیده می‌شود که مقدار M در مقابل اندیس تفریق بیشتر می‌شود و این امر مربوط به از زیاد نسبی زیرکن مدال درازای تفریق و افزایش آن در گرانیتها می‌باشد. از زیاد Y در مقابل اندیس تفریق به نظر نمی‌رسد که به علت تفریق فازهای فرومنیزین باشد، به طوری که تغییرات Y در مقابل MgO نیز معکوس می‌باشد (شکل ۵) به عبارتی دیگر Y در مراحل اولیه ناسازگار بوده و شرایط مناسبی را برای جانشینی در شبکه کانی‌های فرومنیزین نداشته است. بنابراین احتمالاً حضور فازهای دیگری مانند اسفن (بر کوارتز موزوویتها) و آلانیت (بر گرانیتها) در افزایش Rb در مقابل اندیس تفریق نقش داشته باشند. روند افزایشی در مورد Rb در برجه اول مربوط به افزایش مقادیر فلدسپاتهای پتاسیک به طرف قطب اسیدی می‌باشد. با این حال افزایش ناگهانی در مرحله کوارتز موزوویت احتمالاً مربوط به همراه شدگی بیوتیت در هنگام تشکیل این سنگها می‌باشد (شکل ۵). همچنین نمایش تغییرات

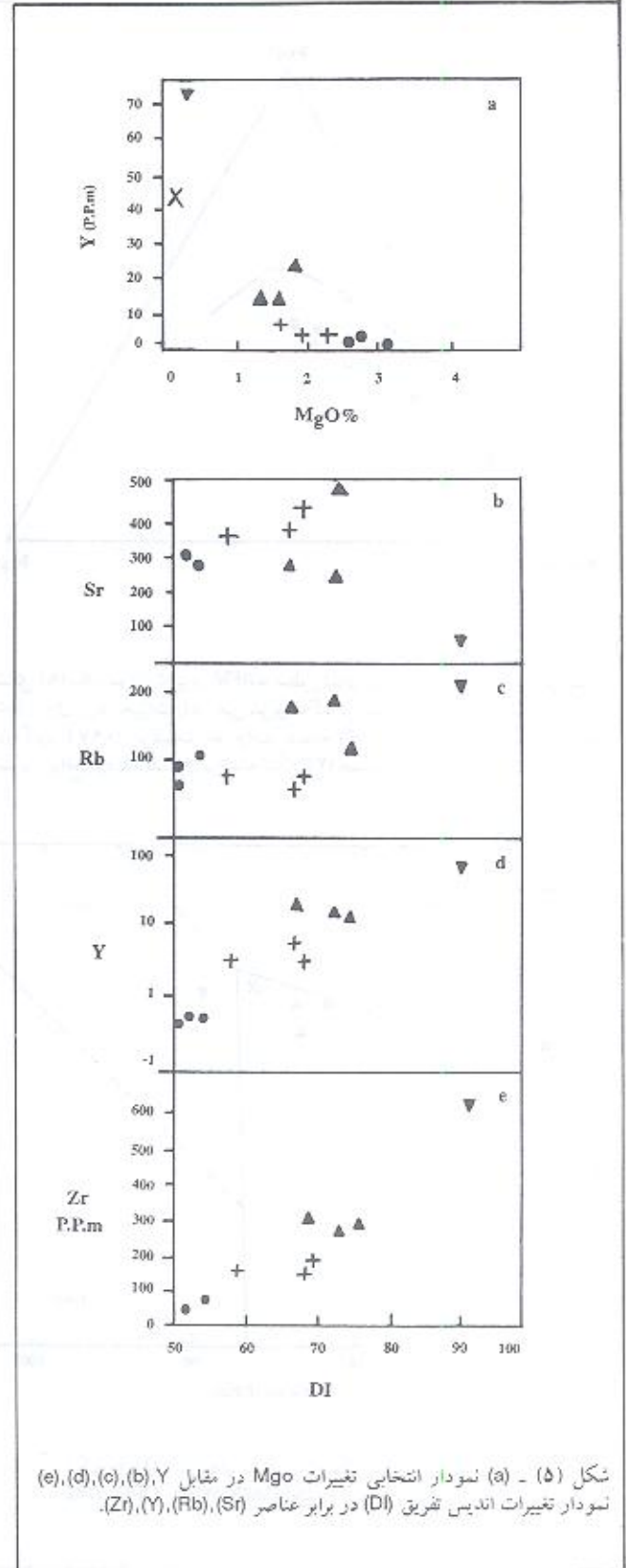


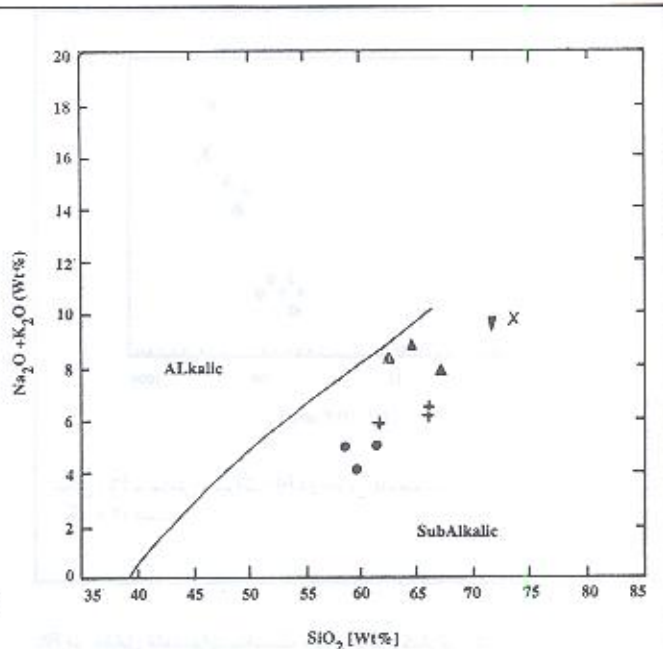
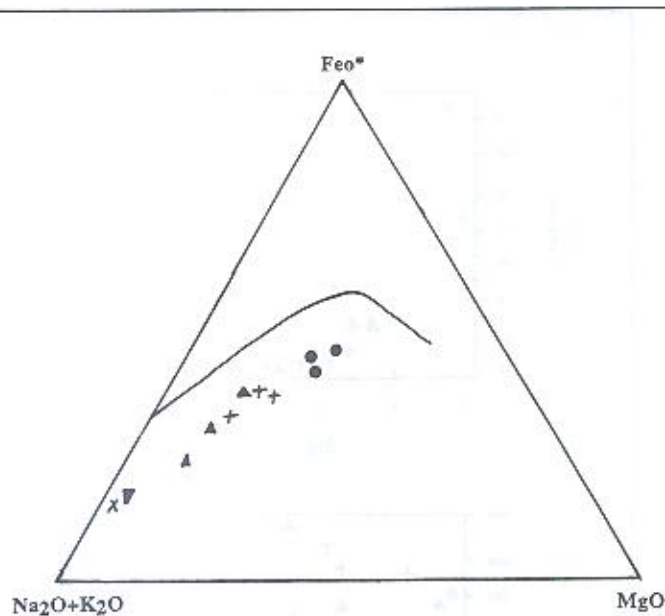


Rb در مقابل فلدسپات پتاسیک مدال، نقش کنترلی فلدسپات پتاسیک را در توزیع Rb نشان می‌دهد (شکل ۶). روند نزولی Sr (شکل ۵) احتمالاً مربوط به کاهش پلاژیوکلاز مدال از کوارتز مونوزوبیوریت تا گرانیت می‌باشد ولی تاثیر توام آمفیبول باعث افزایش مقدار Sr در مرحله گرانودیوریت شده است.

۲-۲- سنگ‌شناسی

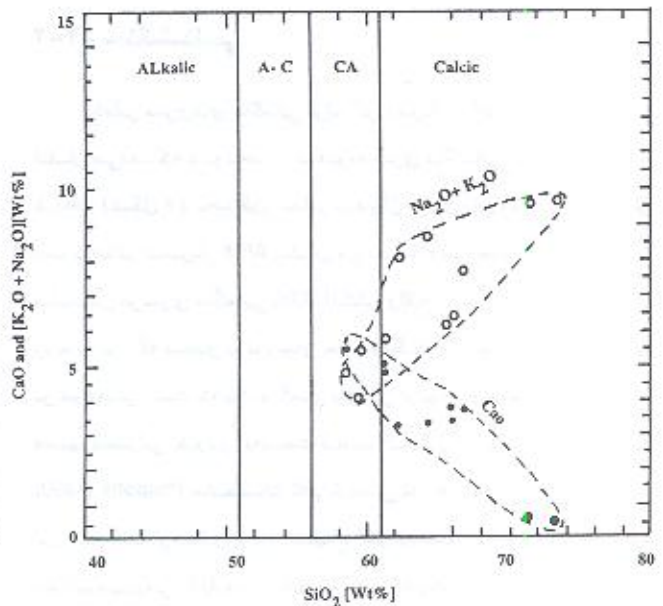
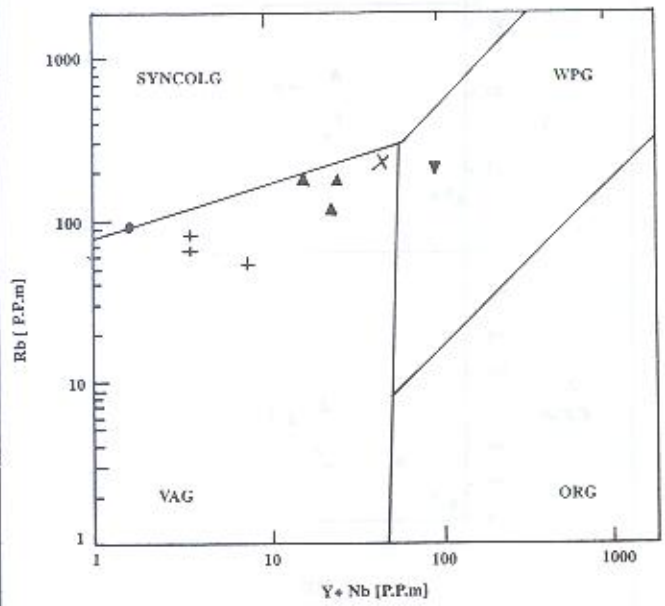
تمایز سری‌های ماگمایی بر اساس نمودار (Irvine & Baragar 1971) نشان می‌دهد که نمونه‌ها در محدوده سری ماگمایی ساب‌آلکالن واقع شده‌اند (شکل ۷). به‌منظور تمایز در میان سری‌های ساب‌آلکالن نمایش نمونه‌ها بر نمودار AFM نشان می‌دهد که توده‌های نفوذی با روندی مشخص بر سری ماگمایی کالک آلکالن واقع شده‌اند (شکل ۸). سرآغاز روند مزبور که منطبق بر توده‌های حد واسط کوارتز مونوزوبیوریتی می‌باشد بر موقعیتی است که یک ماگمای بازالتی اولیه به‌واسطه تفریق ایلمنتیت مسیرتحولی خود را به سمت قطب آلکالن در پیش خواهد گرفت. Philpotts (1990) مشخصات کانی‌شناسی توده‌های نفوذی نشان می‌دهد که این سنگها از نظر برج‌ه اشباع آلومینیم (Hessm 1989). ویژگی مت‌آلومینیمی را دارند و باتوجه به اینکه یک ماگمای پرآلومینیمی (مسکوویت‌دار) به‌هیچ وجه در فشار ۴ کیلوپار تبلور نخواهد شد، و از سویی دیگر نظر به نبود مسکوویت و حضور دو فاز آمفیبول و بیوتیت (در Best 1986، صفحه ۲۱۲) می‌توان انتظار داشت که مقدار فشار بخار آب ماگما که با عمق تبلور آن مطابقت دارد، بین ۲-۰/۲ کیلوپار باشد. به





شکل (۸) - نمودار تغییراتی AFM به منظور نمایش دو گروه کالکو آلکان و تولینی، خط مرزی روند تغییرات را در طی تفریق ماگمایی نشان می‌دهد (اقتباس از اروین و بارانگار، ۱۹۷۱). ترکیبات حد واسط منطقه (کوآرتز مونوزودیوریت‌ها) در مرکز نمودار واقع گردیده‌اند. علائم مشابه شکل (۲) هستند.

شکل (۷) - تمایز سری‌های ساب آلکان و آلکان بر اساس روابط سیلیس با مجموع آلکان‌ها (اقتباس از اروین و بارانگار، ۱۹۷۱). علائم مشابه شکل (۲) هستند.



شکل (۱۰) - نمودار تمایز تکتونیکی انواع گرانیتوئیدها شامل SYNCOIG, WPG, ORG, VAG (پیرس و همکاران، ۱۹۸۴).

شکل (۹) - نموداری که در آن نمایش مفادیر SiO_2 در برابر $Na_2O + K_2O$, CaO بطور یکجا صورت می‌گیرد. اندیس آلکالی - آهک بطور تقریبی بین ۵۸-۶۲ درصد سیلیس قرار گرفته است.

عبارتی دیگر باتوجه به شرایط فوق، همبندی این توده‌ها با گدازه‌های ائوسن، تشکیل هاله نگرگونی ضعیف و نبود ساخت‌های انیزوتروپی در سنگ‌های دربرگیرنده توده‌ها چنین می‌توان انتظار داشت که جایگزینی و انجماد توده‌های نفوذی در شرایط ساب‌ولکانیک صورت گرفته است.

نمایش اندیس (1931) Peacock نشان می‌دهد که کوارتز مونوزیوریت‌ها در محدوده تلاقی نمودار و موقعیت کلسیک واقع شده‌اند (شکل ۹). این طیف با شاخص آکالی- آهک سنگ‌های کالک آکالان قوس‌های حاشیه اقیانوس آرام (۶۱-۷۱) تقریباً هم‌مانگی می‌کند (Ewart & Sleep (1968) و Brown (1982) و ولی‌زاده، (1971) جلد (۱) صفحه ۱۸۶.

۲-۳- محیط تکتونیک:

عبارتی دیگر باتوجه به شرایط فوق، همبندی این توده‌ها با گدازه‌های ائوسن، تشکیل هاله نگرگونی ضعیف و نبود ساخت‌های انیزوتروپی در سنگ‌های دربرگیرنده توده‌ها چنین می‌توان انتظار داشت که جایگزینی و انجماد توده‌های نفوذی در شرایط ساب‌ولکانیک صورت گرفته است.

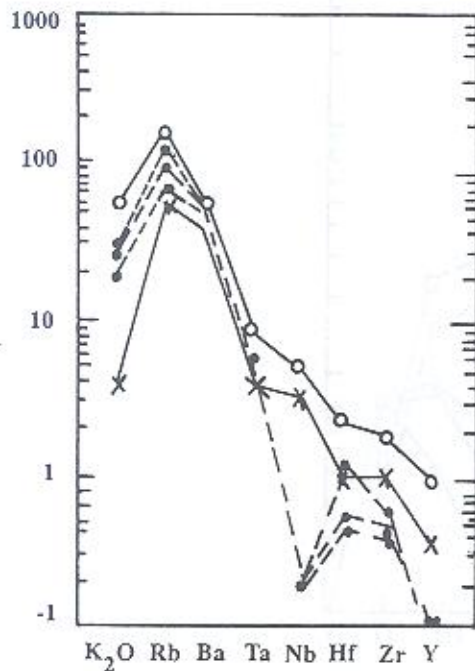
نمایش اندیس (1931) Peacock نشان می‌دهد که کوارتز مونوزیوریت‌ها در محدوده تلاقی نمودار و موقعیت کلسیک واقع شده‌اند (شکل ۹). این طیف با شاخص آکالی- آهک سنگ‌های کالک آکالان قوس‌های حاشیه اقیانوس آرام (۶۱-۷۱) تقریباً هم‌مانگی می‌کند (Ewart & Sleep (1968) و Brown (1982) و ولی‌زاده، (1971) جلد (۱) صفحه ۱۸۶.

۲-۳- محیط تکتونیک:

(1990) Rogers & Greenbergs در (1995) Agrawal معیارهای محاسباتی را برای تمایز دو گروه گرانیت‌های بیوتیت‌دار کوهزایی (OG) و غیر کوهزایی (AG) بنیان گذاشتند. دو گروه اخیر به ترتیب شامل LO (Late Orogenic) و PO (Post Orogenic) و AR (Anorthosite/rapakivi) و RC هستند. محاسباتی که بر روی پارامترهای معرفی شده انجام گرفته نشان می‌دهد، که حداقل در بخش‌های کوارتز مونوزیوریت، کوارتز مونوزویت و گرانودیوریت ابتدا مشخصه OG و سپس LO قابل نتیجه‌گیری است. Chappell & White (1974) خاستگاه گرانیتوئیدهای کوهزایی را به دو گروه اصلی S و A مربوط دانسته‌اند. براین رده‌بندی گرانیتوئیدهای منطقه براساس مشخصات زیر در ریف گرانیت‌های کوهزایی نوع A واقع می‌شوند:

- ۱- نبودن مسکوویت و دیگر آلومینوسیلیکات‌ها و در عین حال حضور هورنبلند، بیوتیت، اسفن و مگنتیت.
- ۲- داشتن آنکلاوهای با خاستگاه ماگمایی از جنس کوارتزنیوریتی به‌ویژه در واحد گرانودیوریتی.
- ۳- نسبت $A/CNK = 0.9-1.1$ می‌باشد.

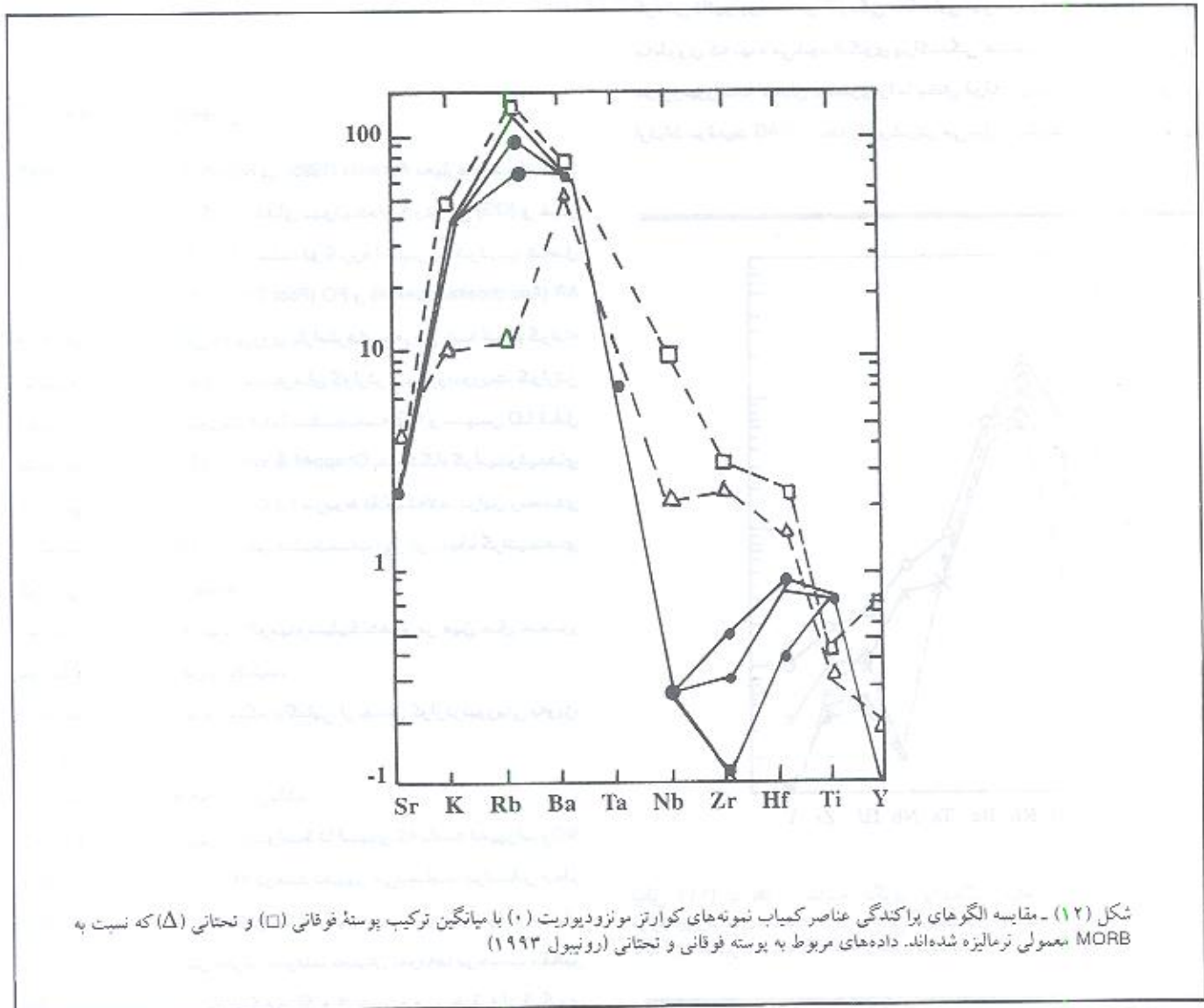
۴- تنوع لیتولوژی آنرین از حدواسط تا اسیدی که دامنه تغییرات SiO_2 بر آن از ۵۸/۵ درصد تا ۷۲/۵ درصد تغییر می‌نماید. براساس نظر (1984) Pearce et al., و همکاران که اولین رده‌بندی نوین را بر مبنای تکتونیک جامع کره زمین معرفی نمودند، نمایش نمونه‌ها برحسب مقایسه نشان می‌دهد که ماگماتیسم منطقه از الگوی



شکل (۱۱) - (a) - مقایسه الگوی پراکنندگی عناصر کمیاب در کوارتز مونوزیوریت‌های منطقه (۱۰) با میانگین گرانیت‌های حاشیه شیلی (C) و جامائیکا (X). کلیه مقادیر نسبت به MORB نرمالیزه شده‌اند.

سیالات به‌عنوان یکی از عوامل تولید ماگما در مناطق VAG و باعنایت به‌میزان قدرت جابه‌جایی عناصر HFS (High Field Strength) و LIL (Large Ion Lithophile) در این مناطق، ماگماهای حاصل معمولاً از نظر عناصر فوق به‌ترتیب فقیرشدگی و غنی‌شدگی رانشان خواهند داد (برخلاف جاهگاه‌های WPG (Within Plate Granitoids) که از عناصر HFS غنی شده هستند (Condie, 1989) اختلافاتی که از جمله در فقیرشدگی عناصر HFS در اشکال ۱۲ و ۱۱ مشاهده می‌شوند مدیون تحولاتی است که در ناحیه سرچشمه ماگما بروز می‌نماید که بر این رابطه (Pearce 1982) به موارد زیر اشاره می‌نماید:

- ۱- درجات بالای نوب بخشی یک سرچشمه گوشته‌ای.
- ۲- پایداری فازهای باقی مانده فرعی (مانند روتیل، زیرکن، اسفن و گارنت) در سرچشمه گوشته‌ای که ترجیحاً مقادیری از عناصر کمیاب را در خود متمرکز ساخته‌اند. مثلاً مذابهای بخشی حاصل از یک سرچشمه گارنتدار و یا بالعکس مذابهای باقی مانده از تفریق گارنت به‌طور طبیعی Y بسیار پائینی را خواهند داشت (در Best (1986)؛ صفحه ۵۵).
- ۳- نوب مجدد یک سرچشمه گوشته‌ای که قبلاً از نظر عناصر HFS تخلیه شده‌باشد.



شکل (۱۲) - مقایسه الگوهای پراکندگی عناصر کمیاب نمونه‌های کوارتز موزودیوریت (○) با میانگین ترکیب پوسته فوقانی (□) و تحتانی (Δ) که نسبت به MORB معمولی نرمالیزه شده‌اند. داده‌های مربوط به پوسته فوقانی و تحتانی (ارونبول ۱۹۹۳)

نتیجه‌گیری

طی روند تفریق از کوارتز مونزودیوریتی تا گرانیتها می‌باشد. الگوهای پراکنندگی عناصر کم‌یاب حضور یک جایگاه VAG و احتمالاً از نوع فرورانش CAG را برای ماگماتیسیم نفوذی منطقه می‌طلبد افزون بر آن فرآیندهای آلودگی پوسته‌ای نیز بر تغییر ویژگی اولیه ماگماها که کم و بیش در مناطق فرورانش امری متداول می‌باشد نقش مهمی را داشته‌اند.

بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهند که توده‌های نفوذی ائو-الیگوسن منطقه از نوع ماگماهای کالک‌آلکان و متاآلومینی می‌هستند. توده‌های کوارتز مونزودیوریتی منطقه به‌عنوان ترکیب حواسط احتمالاً از تحول یک ماگمای بازیگتری حاصل شده‌اند ولی آنچه مشخص‌تر می‌باشد کاهش مقادیر کانی‌های مافیک و ازدیاد آلکالی فلدسپارها، کوارتز و زیرکن

کتاب‌نگاری

- مستوفی زاده، ب. ۱۳۷۵. ژئوشیمی و پترولوژی توده‌های آنرین جنوب بستان‌آباد (آنرین‌جان شرقی). رساله کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه تهران - ۳۰۳ صفحه.
- ولی‌زاده، م. و. ۱۳۷۱. پترولوژی تجربی و تکتونیک کلی، جلد اول، کلیات. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۷ صفحه.

References

- Agrawal, S., 1995. Discrimination between Late-Orogenic, and Anorogenic Granites by Major Element Compositions, Jour. Geology, V. 103, P. 529-537.
- Best, M.G., 1986, Igneous and metamorphic petrology, CBS.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1974. Two contrasting granite types. Pac. Geol., 8, PP. 173-174.
- Condie, K.C., 1989. Plate tectonics and crustal evolution, Pergamon, Press. 476 P.
- Hess, P.C., 1989. Origins of igneous rocks. Harvard University Press, P 336.
- Irvine, T.N., and Baragar. W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences 8:523-528.
- Larsen, E.S., 1938. Some new variation diagrams for groups of igneous rocks. J. Geol., 46, 5050-520.
- Maniar, P.D., and Piccoli, P., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geol. Soc. of Amer. Bull PP, 635-643.
- Peacock, M.A., 1931, Classification of igneous rock series. Jour. Geology, 39, 54-67.
- Pearce, J.A., Harris, N.B. W., and Tindle, A.G., 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Jour. Petrol., 25, PP. 950-983.
- Philpotts, A.R., 1990. Principles of igneous and metamorphic petrology. Prentice Hall, 498P.
- Shelly, D., 1993. Igneous and metamorphic rocks under the microscope. Chapman and Hall, London, 445P.