



## سنگ‌شناسی، ژئوشیمی، پتروژنز و بررسی آرایش ماگمایی آتشفشان شاه خیرالله (غرب معدن سرچشمه)

فرزانه ارژنگ‌نژاد\*<sup>۱</sup>، عباس مرادیان<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- دانشیار پترولوژی-ژئوشیمی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

\* عهده‌دار مکاتبات: arzhang.6507@yahoo.com

دریافت مقاله: ۹۱/۱۱/۱۰، پذیرش مقاله: ۹۲/۲/۶

### چکیده

آتشفشان شاه خیرالله با سن نئوژن در جنوب شرق کمربند ماگمایی ارومیه - دختر در غرب معدن مس سرچشمه قرار دارد. این آتشفشان شامل سنگ‌های آذرآواری، گدازه‌ها و توده‌های ساب و لکانیک است که روی سنگ‌های بازالتی ائوسن قرار دارد. بر اساس مطالعات پتروگرافی آتشفشان شاه خیرالله شامل سه نوع سنگ داسیت، تراکی داسیت و تراکی آندزیت می‌باشد کانی‌های اصلی این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز، کوارتز، هورنبلند، بیوتیت است و بافت اصلی آنها پورفیری می‌باشد. در درشت بلورهای پلاژیوکلاز بافت غیرتعادلی همچون بافت غربالی و منطقه‌بندی وجود دارد که می‌توان به تغییرات فشار بخار آب و کاهش فشار در حین بالا آمدن ماگما نسبت داد. مطالعات ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که ماگمای اولیه این سنگ‌ها کلسیمی - قلیایی بوده. همچنین داده‌های زمین‌شیمیایی غنی‌شدگی از عناصر LREE و تهی‌شدگی از HREE نشان می‌دهند. نمودارهای عنکبوتی نرمالیز شده نسبت به گوشته اولیه و کندریت، فرآیند تفریق و آلودگی پوسته‌ای را روی ماگمای اولیه این سنگ‌ها نشان می‌دهد. در تغییرات ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی شاه خیرالله فرآیندهای AFC مؤثر بوده است که با شواهد کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی قابل درک است. علاوه بر این غنی‌شدگی در LILE و Pb نشان‌دهنده‌ی آلودگی پوسته‌ای است. آنومالی منفی Ti, Nb می‌تواند بیانگر این باشد که آتشفشان شاه خیرالله در یک محیط قوس آتشفشانی از نوع حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: کمربند ماگمایی ارومیه - دختر، کلسیمی-قلیایی، حاشیه فعال قاره‌ای، آرایش پوسته‌ای

### ۱- مقدمه

پدیده‌های تفریق، هضم، اختلاط ماگمایی و آلودگی پوسته‌ای روی ماگمای تشکیل‌دهنده معتقد است. همچنین (درگاهی، ۱۳۸۶) با مطالعه توده‌های نفوذی منطقه سرچشمه-شهربابک آنها را به دو گروه عمیق با سن ۱۷-۱۸ میلیون سال، فاقد کانه‌زایی (باتولیت مزار و استوک چنار) و نیمه عمیق با سن ۹-۵/۵ میلیون سال و دارای کانه‌زایی ضعیف و شدید (استوک، سرکوه، نوچون) تقسیم کرده است و محیط تکتونیکی هر دو دسته را مرتبط با قوس دانسته است. منشأ توده‌های عمیق را افق‌های فوقانی و منشأ توده‌های نیمه عمیق را افق‌های تحتانی پوسته زیرین در نظر گرفته و منشأ آنها را گارنت آمفیبولیت می‌داند. در این نوشتار به بررسی سنگ‌شناختی، ژئوشیمیایی و پتروژنز مجموعه آتشفشانی شاه خیرالله پرداخته شده است.

### ۲- روش انجام پژوهش

به منظور بررسی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه نخست بررسی‌های کتابخانه‌ای، سپس بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از واحدهای آتشفشانی مورد مطالعه صورت گرفت و پس از تهیه ۱۰۰ مقطع نازک، بررسی آنها به وسیله میکروسکوپ پلاریزان انجام شد و سرانجام تعداد ۱۵ نمونه کمتر دگرسان شده برای انجام آنالیز شیمیایی از طریق شرکت کانپووه به

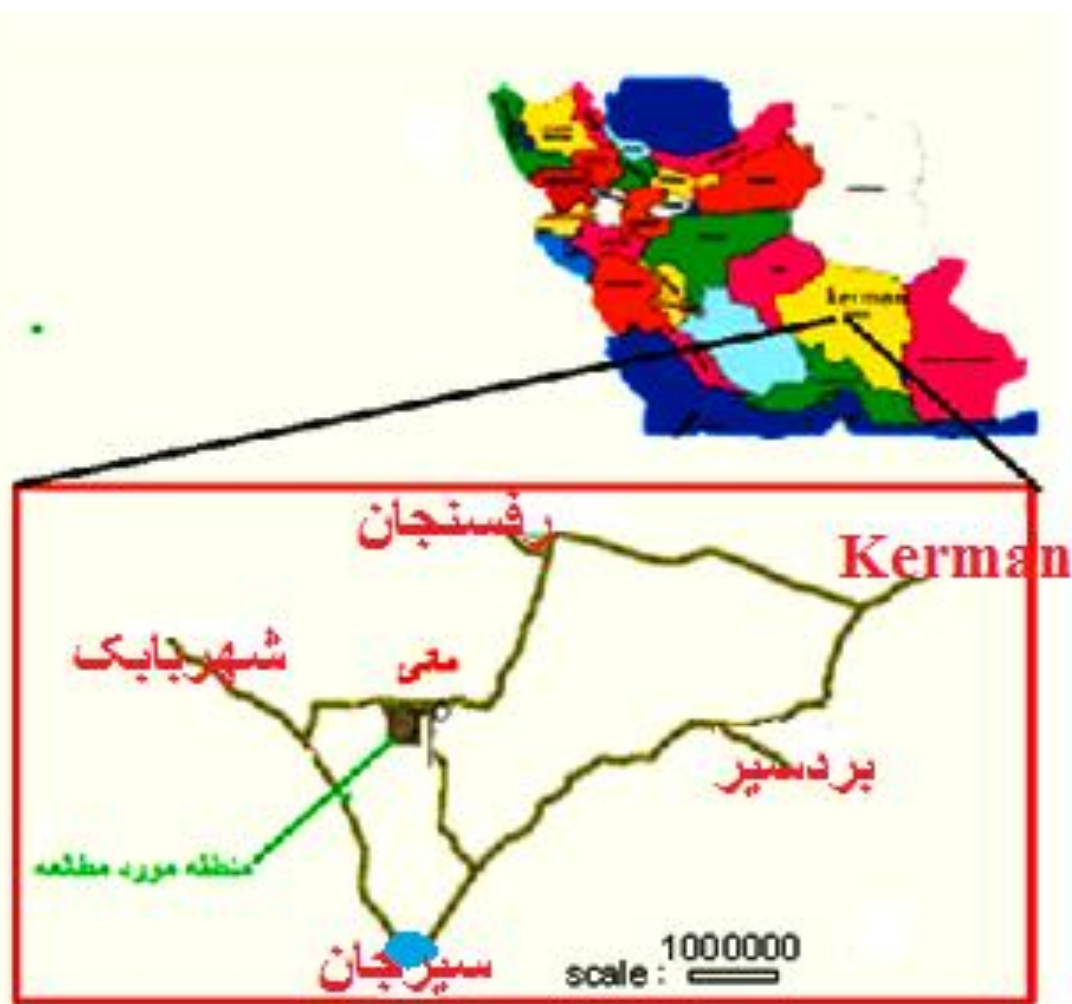
مطالعه پتروژنز و جایگاه تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های عمیق و نیمه عمیق (دایک و توده‌های ساب و لکانیک) کمربند ماگمایی ارومیه - دختر از نکات مهم در مطالعه رویدادهای زمین‌شناسی کشور محسوب می‌شود. از آنجا که این کمربند ماگمایی (ارومیه - دختر) یک محور فعال از نظر آتشفشانی (کرتاسه فوقانی و ائوسن) و پلوتونیسم (الیگوسن-میوسن) به شمار می‌رود (Alavi, 1994; Berberian, 1981). از این رو پرداختن دقیق و سیستماتیک به آن از جایگاه ارزشمندی برخوردار است. منطقه مورد مطالعه در جنوب شرقی این واحد تکتونوماگمایی (ارومیه-دختر)، در شمال غرب نوار دهج - ساردوئیه و در ۱۱ کیلومتری غرب معدن مس سرچشمه به مختصات جغرافیایی ۴۱°۵۵' تا ۴۴°۵۵' طول شرقی و ۶۷°۲۹' تا ۶۹°۲۹' عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱ و ۲). در دهه‌های اخیر مطالعات زیادی روی کمربند ماگمایی ارومیه- دختر و نوار دهج - ساردوئیه انجام گرفته است، از جمله (خلیلی، ۱۳۹۰) با مطالعه آتشفشان بیدخوان و آنالیز و تجزیه سنگ‌ها و سن‌سنجی آنها به روش پتاسیم- آرگون ماگمای تشکیل‌دهنده‌ی این آتشفشان را از ذوب پوسته‌ی اقیانوسی فرورو در زمان نئوژن می‌داند و به تأثیر عملکرد

این آتشفشان از ۴ فاز فورانی اصلی تشکیل یافته است. اولین فاز با تشکیل آذرآواری‌های خیزابی شروع می‌شود (شکل ۳- الف) و فاز دوم با خروج مقداری مواد آذرآواری جریان‌ی آغاز می‌گردد، بعد از مدتی توقف فاز سوم مربوط به جریان‌های گدازه‌ای صورت می‌گیرد و آخرین فاز با صعود سوزن آتشفشانی مشخص می‌شود (ارژنگ‌نژاد، ۱۳۹۱) که حضور این سوزن (معروف به کوه غول) زیبایی خاصی به این منطقه داده است (شکل ۳- ب). در مورد نحوه‌ی تشکیل سوزن آتشفشانی اعتقاد بر این است که گدازه‌های لزج و خمیری دهانه آتشفشان را بسته و مانع خروج گازها و بخارها می‌شوند و بدین ترتیب گازها و بخارات برای خروج خود از شکاف‌هایی که در دامنه کوه شکل گرفته کمک می‌گیرند و خود را آزاد می‌کنند از آنجایی که مواد آتشفشانی در این‌گونه آتشفشان‌ها غلیظ بوده و به همین دلیل گاهی بر اثر وجود فشارهای داخل زمین از شکاف‌های موجود بالا آمده و در همان جا به صورت سوزن آتشفشانی منجمد می‌شوند (Cas & Wright, 1988).

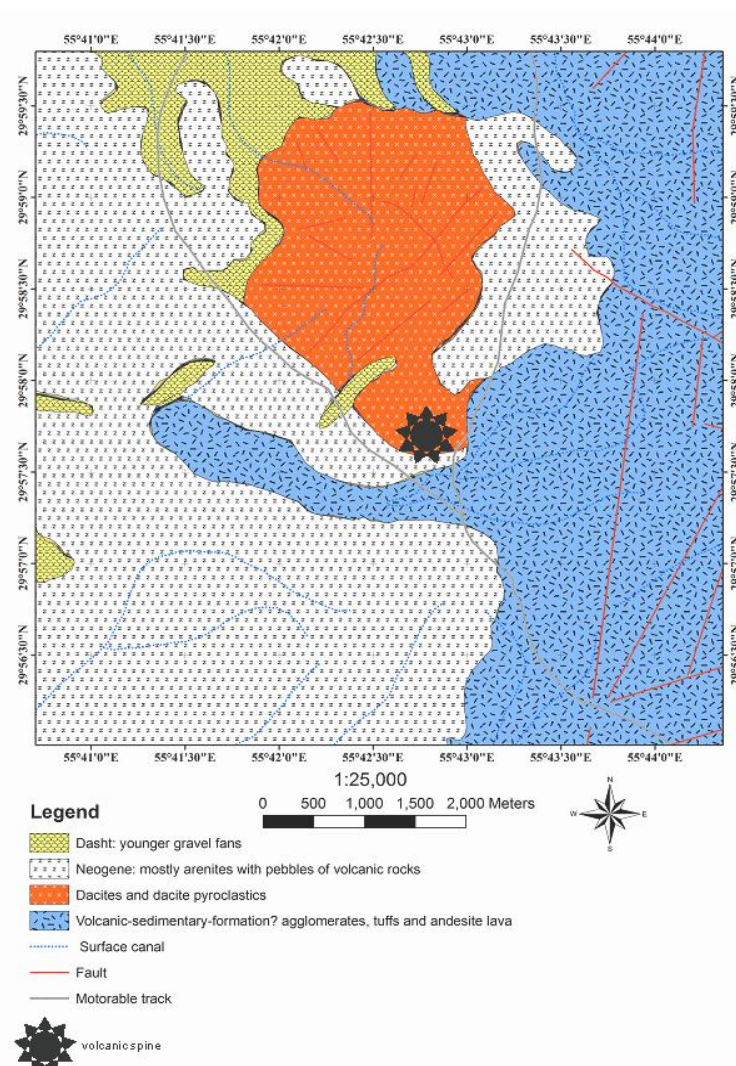
آزمایشگاه SGS-Chemex کانادا ارسال شدند نمونه‌ها با استفاده از روش تجزیه شیمیایی ICP-MS, ICP-AES تجزیه و میزان اکسیدهای اصلی به درصد وزنی و عناصر فرعی و کمیاب به ppm تعیین شدند و داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزارهای GCDkit و Igpert مورد پردازش قرار گرفتند.

### ۳- بررسی‌های صحرائی و ارتباط واحدهای سنگی

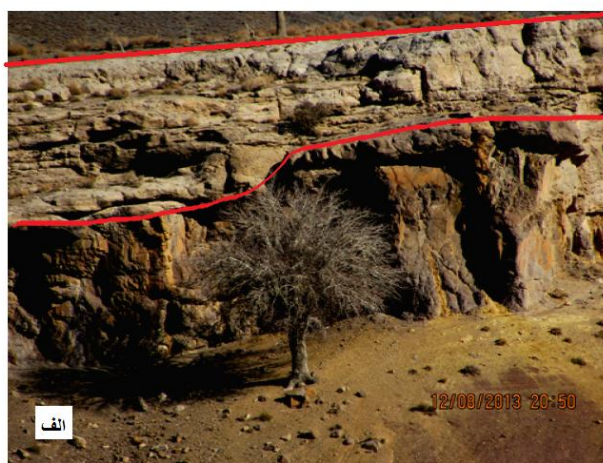
آتشفشان شاه خیرالله با ارتفاع تقریبی ۲۶۵۰ متر از سطح دریا از انواع گدازه‌های آندزیتی، داسیتی، انواع نهشته‌های آذرآواری و خیزابی و جریان‌ی تشکیل شده است. در یک نگاه کلی می‌توان رخساره‌های سنگی این آتشفشان را به دو گروه سنگ‌های قدیمی تر از فعالیت این آتشفشان (بازالت و بازالتیک آندزیت‌های ائوسن) و سنگ‌های حاصل از فوران این آتشفشان با ترکیب اسیدی تا حدواسط تقسیم‌بندی کرد. از تطابق ستون‌های استراتیگرافی منطقه مورد مطالعه این نتیجه حاصل شد که



شکل ۱- الف- نقشه راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (با اقتباس از اطلس گیتاشناسی استان‌های ایران، ۱۳۸۵)



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی آتشفشان شاه خیرالله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای



شکل ۳- الف- قرارگیری پیروکلاستیک‌های خیزایی روی ولکانیک‌های انوسن، ب- سوزن آتشفشان شاه خیرالله

## ۴- پتروگرافی

## ۴-۲- کوارتز

درشت بلورهای کوارتز با اندازه ۲-۳ میلیمتر حدود ۱۰-۵ درصد حجمی این سنگ را تشکیل می‌دهند. این کانی به صورت ریز بلور هم دیده می‌شود. درشت بلورهای کوارتز اکثراً خلیجی شکل می‌باشند (شکل ۴-ط) که به نظر می‌رسد مطابق نظریه (Donaldson & Henderson, 1988) خروج حباب‌های گاز از اطراف بلور باعث ایجاد یک سیال با حرکت متلاطم در اطراف بلورهای کوارتز شده است و این مسئله سبب خلیج خوردگی بلورهای کوارتز شده است. همچنین (Donaldson & Henderson, 1988) یادآور می‌شوند که خوردگی‌ها می‌توانند نتیجه رشد ناپایدار اولیه باشند. اگر بلور خورده شده دارای گوشه‌ها و کناره‌های تیز باشد و بخصوص اگر مناطق انکلوزیونی از شکل خوردگی‌ها تبعیت کند، رشد غیر تعادلی صورت می‌گیرد.

در بررسی‌های میکروسکوپی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، بیشتر از نوع داسیت، تراکی داسیت و تراکی آندزیت می‌باشند. زمینه در این سنگ‌ها دانه‌ریز تا شیشه‌ای بوده و از نظر کانی‌شناسی از پلاژیوکلاز، کوارتز، سانیدین، آمفیبول، بیوتیت و کانی فرعی زیرکن، آپاتیت و کانی‌های اپاک تشکیل شده‌اند. بافت شاخص سنگ‌های منطقه مورد مطالعه شامل پورفیریتیک و جریانی (در تراکی داسیت و تراکی آندزیت) می‌باشد (شکل ۴-الف و ب). سرسیت، اپیدوت، کلریت و اکسید آهن از کانی‌های ثانویه این سنگ‌ها محسوب می‌شوند.

## ۴-۱- پلاژیوکلاز

## ۴-۳- کانی‌های آبدار تیره

از فراوانترین کانی آبدار تیره در همه نمونه‌ها آمفیبول است. این کانی هم به صورت درشت بلور و هم به صورت ریز بلور دیده می‌شود. درشت بلورهای هورنبلند (زاویه خاموشی ۱۲ درجه) با ابعاد ۱-۱/۵ میلیمتر با فراوانی ۱۰-۱۵ درصد در سنگ‌ها پراکنده‌اند و به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار می‌باشد و در بعضی موارد (مخصوصاً در سنگ‌های داسیتی) به علت شرایط بالای فوگاسیته اکسیژن و افزایش درجه حرارت ماگما و افزایش تغییرات فشار دچار اکسایش شده‌اند دسته‌ای از این کانی‌های بیرون و حواشی دچار سوختگی شده و قسمت مرکزی سالم است در بعضی موارد حواشی بلورهای آبدار تیره سالم و مرکز بلور دچار سوختگی شده است و دسته‌ای هم کاملاً آپاسیته شده‌اند (شکل ۴-ک، ل، م).

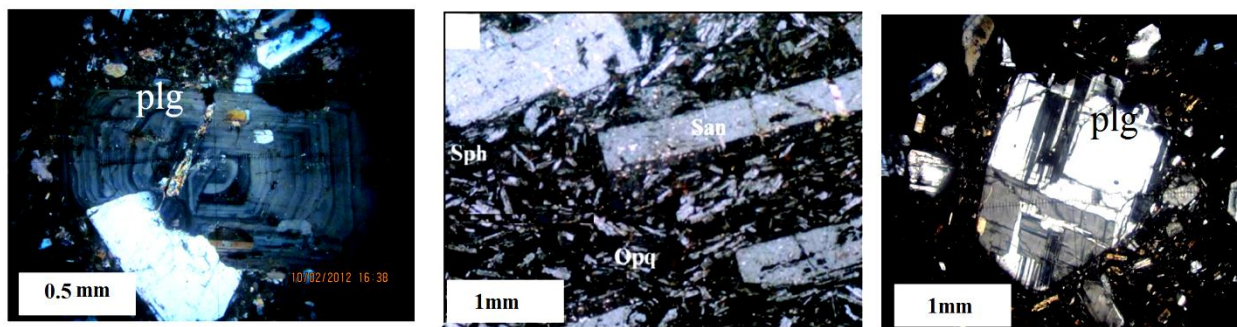
## ۴-۴- بیوتیت‌ها

از دیگر کانی‌های تیره موجود در این گونه سنگ‌هاست که به طور متوسط کمتر از ۱۰ درصد حجمی سنگ‌ها را به خود اختصاص می‌دهد و اندازه این بلورها حدود ۱-۲ میلیمتر می‌باشد (مجموع درشت بلور و ریز بلور).

## ۴-۵- آلکالی فلدسپار

این کانی حدود ۱۰-۱۵ درصد حجمی سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد. ماکل ساده، بیرفرنزاس پایین و سطح صاف از ویژگی‌های این کانی می‌باشد اما به طور کلی تشخیص آنها در زیر میکروسکوپ خالی از اشکال نیست.

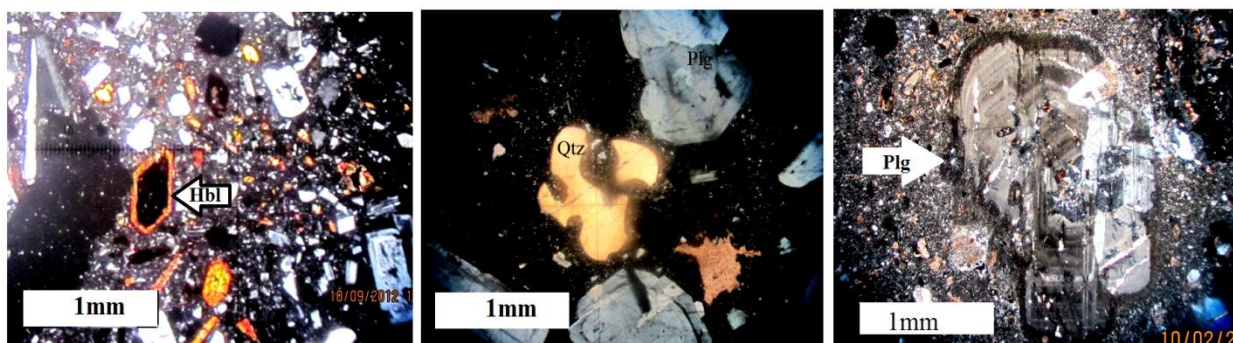
این کانی در هر سه نوع سنگ هم به صورت درشت بلور (۲-۵ میلیمتر) و هم به صورت ریز بلور حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد حجمی سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد. براساس زاویه خاموشی (۲۵-۲۷ درجه) از نوع آندزین-الیگوکلاز می‌باشند و دارای ماکل کارلسباد و پلی‌سنتیک و منطقه‌بندی می‌باشند. برای منطقه‌بندی پلاژیوکلازها (شکل ۴-ج) دلایل زیادی ذکر شده اما بر اساس شواهد موجود (منطقه‌بندی پلاژیوکلازها، پدیده سوختگی در کانی‌های آبدار تیره و خلیج‌خوردگی در بلورهای کوارتز) به نظر می‌رسد که علت منطقه‌بندی در سنگ‌های این منطقه تغییرات فشار بخار آب باشد. چون یکی از عواملی که میزان تأثیر فشار را در تغییر ترکیب پلاژیوکلاز به خوبی نشان می‌دهد مقدار آب موجود در ماگماست (بیش از ۳٪) (بیابانگرد، ۱۳۸۹). نوسان‌های فشار به ویژه فشار بخار آب در ماگماهای کلسیمی-قلیایی مناطق آتشفشانی امری کاملاً عادی و معمول است (بیابانگرد، ۱۳۸۹). بافت غربالی از دیگر مشخصات این کانی می‌باشد (شکل ۴-د) که دلایل متعددی برای این بافت ذکر شده است از جمله ۱- رشد اسکلتی (Kirkppqtric, 1992) ۲- کاهش سریع فشار (Stephen & et al., 1992) ۳- اختلاط ماگمایی (Tsuchiyama, 1985). به نظر می‌رسد علت این بافت در سنگ‌های منطقه به خاطر کاهش سریع فشار بخار آب باشد چون در منطقه مورد مطالعه شواهدی مبنی بر اختلاط ماگمایی وجود ندارد و نظریه اول (رشد اسکلتی) به عنوان نتیجه‌ای از فروچاهیدگی (Kirkppqtric, 1992) هم تقریباً منسوخ شده است. از دیگر شواهد ناشی از افت فشار می‌توان به ناپایداری کانی‌های هورنبلند و بیوتیت و تشکیل حاشیه‌های واجدنی یا رنگ سیاه و آپاسیتزاسیون اشاره کرد. در بعضی مقاطع کانی‌های پلاژیوکلاز به سرسیت و کائولینیت دگرسان شده‌اند.



ج

ب

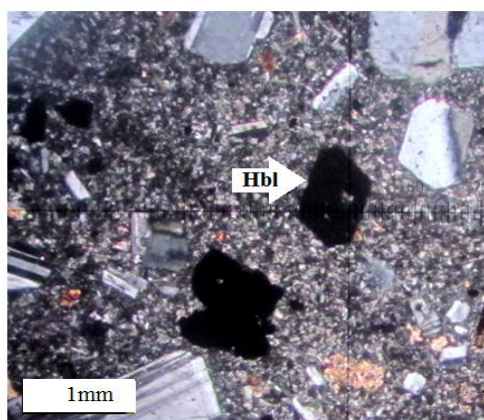
الف



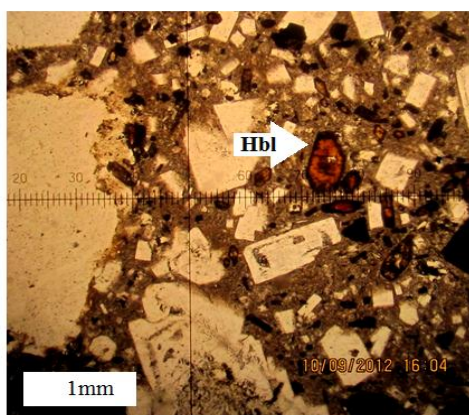
ک

ط

د



م



ل

شکل ۴- الف- بافت پورفیری در داسیت‌ها، ب- بافت تراکیتی در تراکی آندزیت‌ها و تراکی داسیت‌ها، ج- منطقه‌بندی در درشت بلورهای پلاژیوکلاز در داسیت‌ها، تراکی آندزیت‌ها و تراکی داسیت‌ها، د- بافت غربالی در بلورهای پلاژیوکلاز در تمام سنگ‌ها ط- کوارتز خلیجی در داسیت‌ها، ک- بلور هورنبلند از مرکز دچار سوختگی شده در داسیت‌ها، ل- پدیده سوختگی در حاشیه بلور هورنبلند، م- بلور هورنبلند کاملاً سوخته شده (تمام نمونه‌ها "به استثنای تصویر ل" در نور X.P.L گرفته شده‌اند و تصویر ل) در نور ppl گرفته شده است). [علائم اختصاری کانی‌ها از (Kretz, 1983) گرفته شده است]

۵-۳-۱۵ درصد وزنی و  $TiO_2$ ، ۰/۴ درصد وزنی و مقدار CaO آنها بین ۳-۵ درصد وزنی در تغییر است.

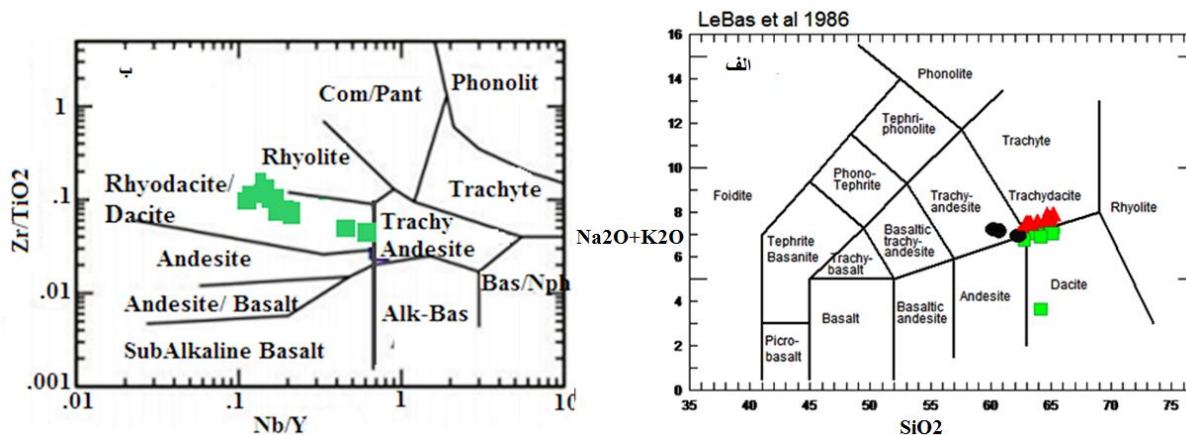
برای نامگذاری و تعیین سری ماگمایی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه از نمودارهای (Le Bas et al., 1986; Irvine and Bargar, 1971) استفاده شده است بر اساس نمودار (Le Bas et al., 1986) ترکیب سنگ‌شناسی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بیشتر داسیت، تراکی داسیت و

### ۵- زمین شیمی

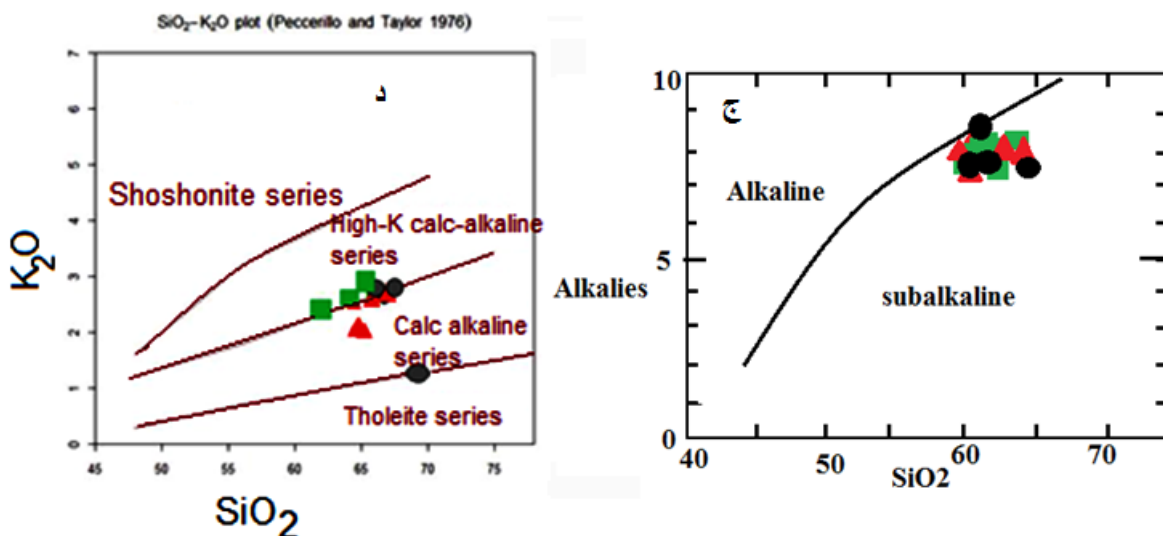
به کمک بررسی‌های میکروسکوپی تعداد ۱۵ نمونه از سنگ‌های سالم یا کمتر دگرسان منطقه جهت انجام تجزیه‌های شیمیایی عناصر اصلی و فرعی به روش ICP-MS، ICP-AES به آزمایشگاه SGS-chemex کانادا ارسال گردید و نتایج حاصل از تجزیه سنگ‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. مقدار  $SiO_2$  سنگ‌ها بین ۶۲-۶۵ درصد وزنی و  $Al_2O_3$  بین

ج) برای تفکیک سنگ‌ها به سه دسته پتاسیم کم، پتاسیم متوسط و پتاسیم بالا از نمودار  $K_2O-SiO_2$  بر گرفته از (Pecceerillo & Taylor, 1976) استفاده شده است که بر اساس این نمودار بیشتر سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در مرز بین سری کالک آلکان و سنگ‌های با پتاسیم بالا قرار می‌گیرند (شکل ۵-د).

تراکی آندزیت بوده (شکل ۵-الف) و بر اساس نمودار (Winchester and Floyd, 1977). نمونه‌های منطقه مورد مطالعه بیشتر در محدوده داسیت، ریوداسیت قرار می‌گیرند (شکل ۵-ب). ماگمای سازنده آن دارای ماهیت و سرشت کلسیمی-قلیایی (ساب آلکان) دارد (شکل ۵-ج). با توجه به سرشت کلسیمی-قلیایی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه (شکل ۵-



شکل ۵- الف- طبقه‌بندی ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی شاه خیرالله با استفاده از نمودار (Le Bas, 1986) مثلث قرمز نمایانگر تراکی داسیت؛ (مربع سبز- داسیت) و (دایره سیاه- تراکی آندزیت). ب- طبقه‌بندی ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی شاه خیرالله با استفاده از نمودار (Winchester and Floyd, 1977)



شکل ۵- ج- تعیین سری ماگمایی بر اساس نمودار (Irvine & Bargara, 1971). بر این اساس تمام نمونه‌ها در سری ساب آلکانین قرار می‌گیرند د- موقعیت همین سنگ‌ها در نمودار  $K_2O$  نسبت به  $SiO_2$  نقل از (Pecceerillo and Taylor, 1976). نماد داسیت‌ها ▲ نماد تراکی داسیت ● نماد تراکی آندزیت

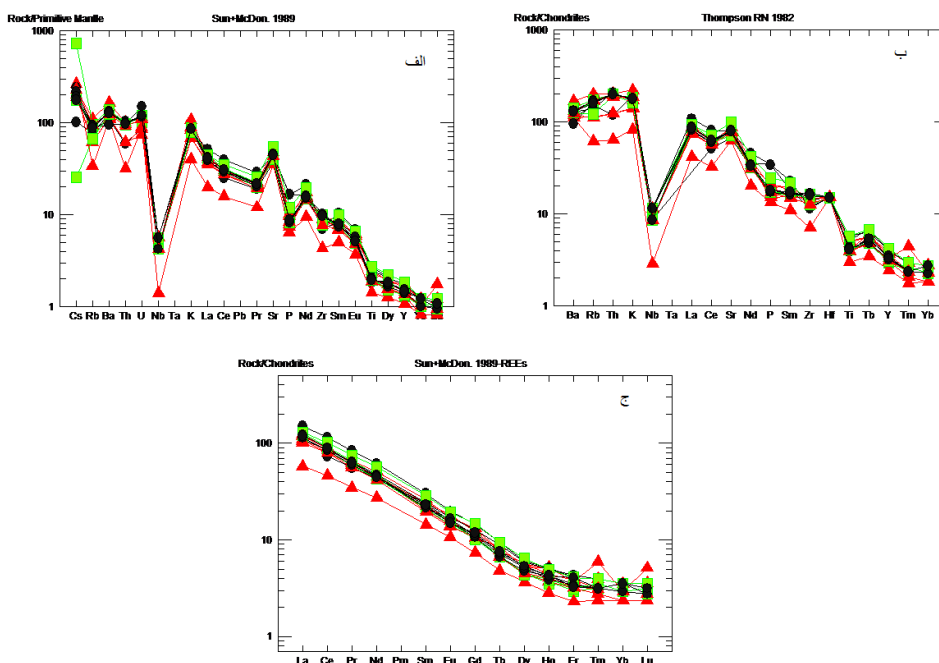
### ۶- تفسیر نمودارهای چند عنصری

Zr تهی‌شدگی نشان می‌دهند. ناهنجاری منفی در Ti ممکن است نشانگر نقش اکسیدهای Fe-Ti در فرآیندهای ماگمایی باشد (Wang et al., 2004). عناصر خاکی کمیاب در سنگ‌های مختلف روندهای یکسان نشان می‌دهند که این مسئله می‌تواند نشان‌دهنده هم منشأی سنگ‌های منطقه باشد. در نمودارهای بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه عنصر فسفر نیز بهنجاری منفی از خود نشان می‌دهد زیرا تغییرات  $P_2O_5$  تابع

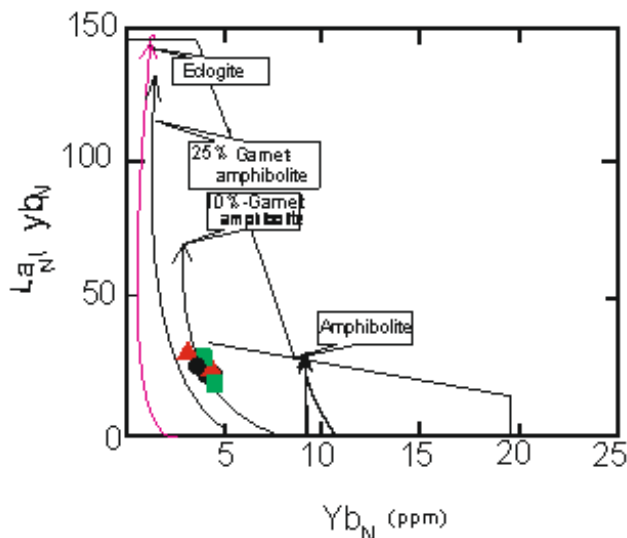
در بررسی الگوی توزیع عناصر کمیاب بر پایه نمودارهای عنکبوتی، مقادیر عناصر کمیاب ناسازگار و نادر خاکی نمونه‌های منطقه نسبت به مقادیر کندریت و گوشته‌ی اولیه بهنجار شده‌اند (شکل ۶- الف- ب- ج). در این نمودارها عناصر U, Ba, T غنی‌شدگی و عناصری مانند Nb, Ti, P

جدایش بدون تغییر می‌ماند می‌توان از نمودارهای نسبت این عناصر در تعیین جنس خاستگاه و میزان درجه ذوب استفاده کرد. غنی‌شدگی سنگ‌های منطقه شاه خیرالله از La وجود فاز گارنت را تعیین می‌کند (Haschke and Guenther, 2003) و برای اثبات ادعای فوق از نمودار  $(La/Yb)_N$  نسبت به  $(Yb)_N$  استفاده شده است که منشأ آمفیبولیت با حضور ۱۰٪ گارنت را تأیید می‌کند (شکل ۷).

تغییرات CaO است. ناهنجاری مثبت Sr به خاطر حضور کانی پلاژیوکلاز در این سنگ‌ها می‌باشد زیرا این عنصر می‌تواند جایگزین کلسیم در شبکه پلاژیوکلازها شود. براساس نمودارهای عنکبوتی عناصر نادر خاکی همه نمونه‌ها غنی‌شدگی از عناصر کمیاب سبک LREE و تهی‌شدگی از HREE نشان می‌دهند که این مسئله بیان‌کننده محیط فرورانشی برای منطقه مورد مطالعه می‌باشد. با ذکر این نکته که نسبت عناصر ناسازگار در طول تبلور



شکل ۶- الف- مقادیر نرمالیز شده عناصر فرعی بر حسب گوشته اولیه بر گرفته از (Sun & Mc Donough, 1989) ب- مقادیر نرمالیز شده نسبت به کندریت بر گرفته از (Thompson, 1982)، ج- مقادیر نرمالیز شده عناصر نادر خاکی نسبت به کندریت بر گرفته از (Sun & Mc Donough, 1989)

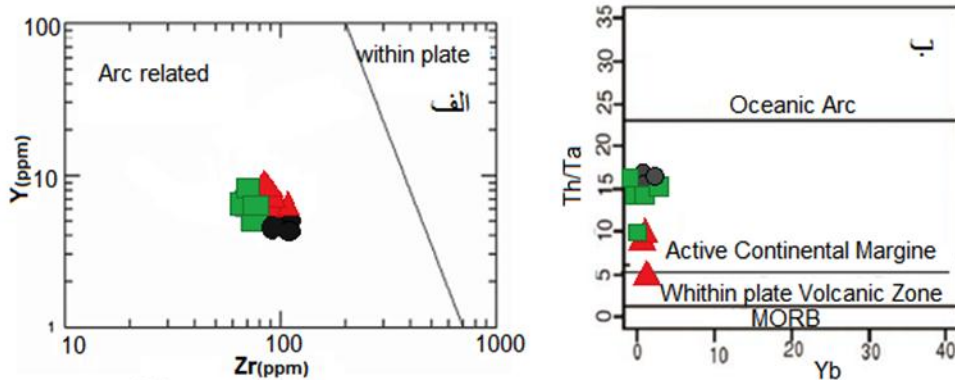


شکل ۷- نمودار  $(La/Yb)_N$  در مقابل  $(Yb)_N$  از (Defant and Drummond, 1990) و موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه بر روی آن

### ۷- بررسی فاکتورهای مؤثر در ایجاد ماگمای سازنده سنگ‌های آتشفشانی شاه خیرالله

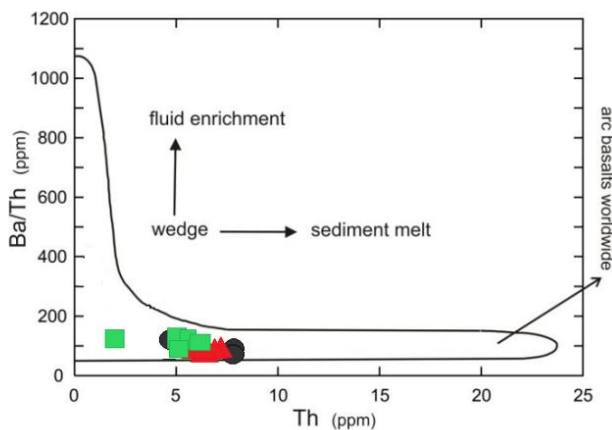
محدوده‌ی مرتبط با قوس قرار می‌گیرند (شکل ۸-الف). از آنجا صفحه متحرک در حواشی صفحات متحرک می‌تواند لیتوسفر اقیانوسی یا قاره‌ای باشد بنابراین برای جدایش این دو از نمودار Th/Ta در مقابل Yb بر گرفته از (Gorton & shandle, 2002) استفاده شد که محیط تکتونو ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی شاه خیرالله، حاشیه فعال قاره‌ای ناشی از فرورانش می‌باشد (شکل ۸-ب).

ابتدا با بکارگیری نمودار لگاریتمی Zr در مقابل Y (Le Maitre et al., 1989) موقعیت تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه را مشخص نموده که بر طبق این نمودار سنگ‌های آتشفشانی این منطقه در



شکل ۸-الف- نمودار لگاریتمی Zr در مقابل Y (Le Maitre et al., 1989) که نشان می‌دهد سنگ‌های منطقه شاه خیرالله در ارتباط با قوس می‌باشند. ب- نمودار Th/Ta در مقابل Yb (Gorton & shandle, 2002) که تمام نمونه‌ها در موقعیت حاشیه فعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند

مطابقت دارد. یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر در تعیین ژنز سنگ‌های منطقه مورد مطالعه رسوب‌های فرورونده می‌باشد. از این رو عنصر Th در تعیین نقش رسوب‌های فرورونده در سیستم‌های کمان ماگمایی ناشی از فرورانش از اهمیت به سزایی برخوردار است. از آنجایی که این عنصر به شدت پابرجا و ساکن است، انتظار می‌رود که در یک سیستم ماگمایی وابسته به فرورانش نسبت عناصر LIL به Th افزایش یابد. برای تعیین نقش رسوب‌های فرورونده شده از نمودار Ba/Th نسبت به Th استفاده شده است (شکل ۹) چنانچه این شکل نشان می‌دهد نمونه‌ها با نسبت پایین Ba/Th میزان اندکی افزایش در Th را نشان می‌دهند که احتمالاً حاکی از مشارکت نسبی رسوب‌های فرورونده در تشکیل ماگمای مادر این سنگ‌هاست.

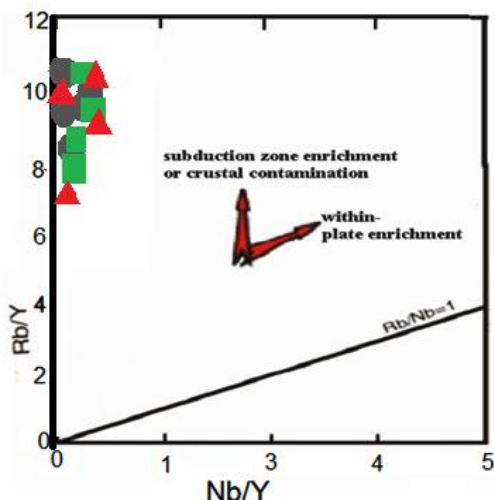


شکل ۹- نمودار Ba/Th بر حسب Th نشان‌دهنده نقش رسوبات فرورونده در تشکیل ماگمای سنگ‌های منطقه مورد مطالعه (Hawkesworth & et al., 1997)

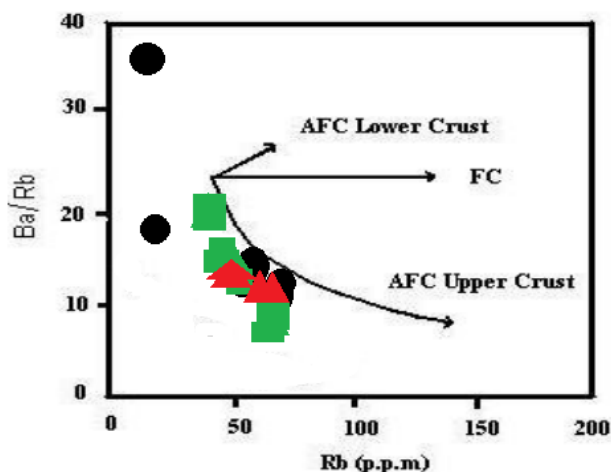
از آنجا که منطقه مورد مطالعه در محیط جزایر قوسی واقع شده است لذا لازم است تأثیر هر یک از عوامل اصلی کنترل کننده ماگماتیسم در این گونه محیط‌ها (گوه گوشته‌ای، پوسته اقیانوسی فرورونده، رسوب‌های فرورونده و ضخامت پوسته) بر ماگمای به وجود آورنده سنگ‌های منطقه شاه خیرالله مورد بررسی قرار گیرد. اگر ذوب گوه گوشته‌ای را برای سنگ‌های منطقه در نظر گرفته شود سنگ‌ها باید دارای  $(MgO+FeO)_{T}$  / Mg # در حدود ۶۸-۷۵ درصد را داشته باشند (Wilson, 1982; Green, 1982). زیرا ماگماهای گوشته‌ای با الیوین غنی از منیزیم در حال تعادل خواهند بود اما Mg # برای سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بین ۱۹-۵۲ درصد می‌باشد، از طرفی ماگماهای منشأ گوشته‌ای می‌بایست دارای ۳۰۰-۸۹۰ ppm نیکل داشته باشند (Wilson, 1989; Green, 1982). یا حداقل دارای ۲۰۰-۳۰۰ ppm نیکل باشد. اما نیکل نمونه‌های منطقه مورد مطالعه کمتر از ۱۰ ppm است که بسیار پائین‌تر از ماگماهای گوشته‌ای می‌باشند. همچنین مقدار کروم در ماگماهای گوشته‌ای ۵۲۸-۲۷۸ ppm است (Schilling et al., 1983) در حالیکه این عنصر در نمونه‌های مورد مطالعه کمتر از ۱۰۰ ppm است و در نتیجه این ماگماها نمی‌توانند از گوشته منشأ گرفته باشند. معمولاً ماده مذاب حاصل از پوسته اقیانوسی فرورونده چون در تعادل با مجموعه‌های کانی‌های فشار بالا (اکلوژیت یا گارنت آمفیبولیت) است، از HREE و Y به شدت فقیر می‌باشند (Munker & Worner, 2004)، که نمودار ژئوشیمیایی عناصر خاکی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه ادعای بالا را ثابت می‌کند (شکل ۶-ج). علاوه بر این مقادیر بالا و متغیر  $La/Yb > 40$  نشان دهنده ذوب از اعماق پوسته است که در منطقه مورد مطالعه این نسبت بالاتر از ۴۷ درصد است و با شکل‌گیری ماگمای مادر از اعماق پوسته



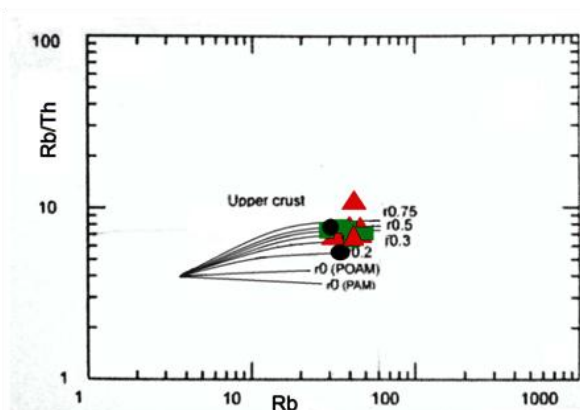
### ۹- بررسی آلایش پوسته‌های در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۰- نمونه‌های منطقه مورد مطالعه روند زون‌های فرورانش غنی‌شده یا آلایش پوسته‌ای را نشان می‌دهند (اقتباس از pearce, 1983)



شکل ۱۱- نمودار Ba/Rb در مقابل Rb بر گرفته از Askren & et al., 1999) برای بررسی آلایش سنگ‌های مورد مطالعه



شکل ۱۲- مدل‌سازی سنگ‌زایی AFC (Keskine & et al., 1998) و فراگیری نمونه‌های منطقه مورد بررسی در مقادیر با ۲ بالا که نشان‌دهنده آلودگی و هضم سنگ‌های پوسته‌ای در ماگمای مادر آنهاست

از آنچه که تاکنون ذکر شد منشأ ذوب پوسته اقیانوسی فرورو برای تشکیل سنگ‌های منطقه مورد مطالعه محتمل‌تر است. معمولاً ماگما‌های منشأ گرفته از اعماق زمین (پوسته اقیانوسی فرورو و گوشته) هنگام بالا آمدن به وسیله پوسته قاره‌ای آلوده می‌شوند به همین منظور (بررسی رخداد آلایش پوسته‌ای) نسبت‌های عناصری مانند Ce/Pb و Nb/U بسیار مفید است. زیرا عناصر یاد شده طی ذوب بخشی یا تبلور بخشی از یکدیگر تفکیک نمی‌شوند و نسبت‌های آنها منعکس کننده نسبت آنها در منبع ماگمایی است (Hofman, 1988). میانگین نسبت Nb/U و Ce/Pb در بازالت‌های اقیانوسی (MORB, OIB) به ترتیب  $25 \pm 5$  و  $47 \pm 7$  است (Hofman et al., 1988)، که به طور در خور توجهی بالاتر از میانگین پوسته قاره‌ای یا سنگ‌های آتشفشانی کمانی است (Taylor & Mc Lennan, 1985). در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه میانگین نسبت Nb/U (۱/۴) و برای Ce/Pb (۱/۱) است. برای تعیین روند غنی‌شدگی عنصری سنگ‌های مورد بررسی از نمودار Nb/Y در مقابل Rb/Y نیز استفاده شده است (شکل ۱۰). در این نمودار نمونه‌ها در بالای خط  $Rb/Y=1$  قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده محیط‌های درون صفحه غنی‌شده و محیط فرورانشی غنی‌شده یا آلودگی پوسته‌ای است. آرایه نمونه‌ها بیشتر با روند فرورانش غنی‌شده یا آلودگی پوسته‌ای تطابق دارد. همچنین استفاده از نمودار Ba/Rb در مقابل Rb بر گرفته از (Askren et al., 1999) می‌دهد (شکل ۱۱). علاوه بر این سنگ‌های منطقه مورد مطالعه با دیگر نشانه‌های آلایش پوسته‌ای همچون آنومالی منفی Nb, Ti و آنومالی مثبت Th (Thompson & et al., 1983) همخوانی دارند. بالا بودن LREE/HREE از دیگر شاخص‌های تعیین کننده آلایش پوسته‌ای است (Fitton & et al., 1991; Barragan et al., 1991) که براساس (شکل ۶-ج) سنگ‌های منطقه مورد مطالعه دارای نسبت بالای LREE/HREE می‌باشند.

### ۱۰- مدل‌سازی هضم و تبلور بخشی (AFC)

برای این مدل‌سازی از نسبت Rb/Th استفاده شده است (شکل ۱۲). در این نمودار Rb به عنوان یک شاخص جدایشی در محور افقی نشان داده شده است. در این مدل درجات مختلف  $\Gamma$  نشان داده شده‌اند که مبین نسبت سرعت هضم به سرعت تبلور بخشی است. مقادیر بالای  $\Gamma$  نشان‌دهنده هضم و آلودگی بیشتر در نمونه‌ها می‌باشد از آنجا که سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در مقادیر به نسبت بالای  $\Gamma$  قرار گرفته‌اند احتمال آلودگی و هضم به وسیله سنگ‌های پوسته‌ای قاره‌ای در آنها زیاد است به عبارت دیگر افزایش نسبت Rb/Th در این سنگ‌ها می‌تواند به علت هضم پوسته‌ای باشد.

جدول ۱- نتایج تجزیه‌های ICP-AES و ICP-MS سنگ‌های آتشفشان شاه خیرالله

|   | 1-S-4  | 1-S-19 | 1-S-21 | 2-S-6  | 2-S-7 | 2-S-16 | 3-B-7  | 3-B-10 | 3-S-4  | 4-S-3 | 4-S-15 | 4-S-20 | 4-S-23 | S-5-1  | S-6-1  |
|---|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>                                | ۶۴/۵۶  | ۶۵/۱   | ۶۵/۱۶  | ۶۳/۵۲  | ۶۱/۹  | ۶۴/۸۷  | ۶۳/۷۹  | ۶۲/۴   | ۶۳/۳   | ۶۴/۱  | ۶۲/۴   | ۶۳/۹   | ۶۵     | ۶۴/۶   | ۶۴/۷   |
| TiO <sub>2</sub>                                | ۰/۴    | ۰/۴۱   | ۰/۴۲   | ۰/۰۵   | ۰/۵۳  | ۰/۴۴   | ۰/۳۱   | ۰/۵۴   | ۰/۵۹   | ۰/۴۲  | ۰/۵۹   | ۰/۴۱   | ۰/۴۴   | ۰/۴۳   | ۰/۴۲   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                  | ۱۶/۳۴  | ۱۶/۱   | ۱۶/۵۲  | ۱۶/۶۵  | ۱۶/۹  | ۱۶/۵۱  | ۱۴/۶   | ۱۶/۶۴  | ۱۶/۴   | ۱۵/۹  | ۱۷/۱   | ۱۶/۰۴  | ۱۶/۳   | ۱۶/۴۹  | ۱۶/۵۱  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>total</sup> | ۳/۸۸   | ۳/۱۳   | ۳/۳۵   | ۴/۰۴   | ۳/۸۷  | ۳/۴۲   | ۲/۸۳   | ۳/۶۳   | ۴/۴    | ۳/۰۴  | ۴/۵۲   | ۳/۱۷   | ۳/۳۸   | ۳/۳۵   | ۳/۳۶   |
| MnO   | ۰/۰۰۹  | ۰/۰۵   | ۰/۰۵۲  | ۰/۰۶۲  | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۵۲  | ۰/۰۷۱  | ۰/۰۵۱  | ۰/۰۷   | ۰/۰۴  | ۰/۰۹   | ۰/۰۶   | ۰/۰۵   | ۰/۰۵   | ۰/۰۵۱  |
| MgO   | ۱/۲۴   | ۰/۸۴   | ۱/۰۲   | ۱/۲    | ۱/۱۱  | ۱/۱۲   | ۱/۵۶   | ۱/۴۵   | ۱/۳۷   | ۰/۵۸  | ۰/۷۴   | ۰/۷۷   | ۰/۷۶   | ۰/۹۷   | ۰/۹۸   |
| CaO   | ۳/۲۶   | ۳/۸۸   | ۳/۶۹   | ۴/۸    | ۳/۳۴  | ۳/۹۱   | ۴/۱۴   | ۳/۹۶   | ۴/۸۸   | ۳/۸۵  | ۴/۲۴   | ۴/۱    | ۳/۹۹   | ۴/۲۵   | ۴/۳    |
| Na <sub>2</sub> O                               | ۴/۳    | ۴/۸    | ۵/۲۳   | ۵/۰۷   | ۴/۸   | ۵/۰۴   | ۳/۲۵   | ۳/۸۳   | ۴/۹    | ۴/۶   | ۵/۱    | ۴/۷۸   | ۴/۸    | ۵/۰۶   | ۵/۰۸   |
| K <sub>2</sub> O                                | ۲/۷۷   | ۲/۵    | ۲/۶    | ۲/۰۶   | ۲/۰۳  | ۲/۶۶   | ۱/۱۹   | ۲/۴۲   | ۲/۵۴   | ۲/۶۴  | ۲/۳۸   | ۲/۶۹   | ۲/۵۹   | ۲/۵۵   | ۲/۶    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                   | ۰/۱۷   | ۰/۱۷   | ۰/۱۸   | ۰/۳۲   | ۰/۲۱  | ۰/۱۸   | ۰/۱۴   | ۰/۳۶   | ۰/۳۶   | ۰/۱۸  | ۰/۳۶   | ۰/۱۸   | ۰/۱۸   | ۰/۱۹   | ۱/۹    |
| LOI   | ۳/۰۲   | ۲/۹۸   | ۱/۶۳   | ۱/۹۳   | ۳/۲۲  | ۱/۷۶   | ۸/۱۳   | ۴/۹    | ۱/۲۲   | ۴/۴۲  | ۱/۵۴   | ۳/۶۷   | ۲/۳۳   | ۳/۰۳   | ۱/۹۵   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                  | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   | ۰/۰۱  | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   | ۰/۰۱  | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   | ۰/۰۱   |
| Sum   | ۱۰۰/۰۴ | ۹۹/۹۶  | ۹۸/۸۵  | ۱۰۰/۰۷ | ۹۷/۹۷ | ۹۹/۹۶  | ۱۰۰/۰۲ | ۱۰۰/۰۱ | ۱۰۰/۰۴ | ۹۹/۸۸ | ۹۹/۹۸  | ۹۹/۷۸  | ۹۹/۸۴  | ۱۰۰/۹۸ | ۱۰۰/۱۵ |
| ppm   |        |        |        |        |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |
| Ba  | ۷۶۰    | ۹۰۰    | ۸۸۲    | ۷۷۰    | ۸۱۰   | ۹۰۰    | ۷۶۰    | ۸۸۰    | ۶۶۰    | ۹۷۰   | ۸۷۰    | ۸۶۰    | ۹۲۰    | ۹۰۰    | ۸۹۰    |
| Sr  | ۷۸۰    | ۹۴۰    | ۹۱۰    | ۱۰۲۰   | ۱۰۲۰  | ۸۹۰    | ۷۴۰    | ۹۳۰    | ۹۴۰    | ۸۴۰   | ۱۱۶۰   | ۹۱۰    | ۹۳۰    | ۹۵۰    | ۹۳۰    |
| Zn  | ۶۸     | ۶۴     | ۶۴     | ۹۱     | ۸۰    | ۶۱     | ۵۱     | ۶۱     | ۶۳     | ۶۰    | ۱۰۰    | ۸۰     | ۶۷     | ۶۱     | ۶۰     |
| Ag  | <۱     | <۱     | <۱     | <۱     | <۱    | <۱     | <۱     | <۱     | <۱     | <۱    | <۱     | <۱     | <۱     | <۱     | <۱     |
| Ce  | ۴۴/۷   | ۵۴     | ۵۶/۳   | ۴۸/۵   | ۵۱/۷  | ۵۱/۸   | ۲۸/۲   | ۷۰/۱   | ۵۲/۳   | ۵۱/۶  | ۶۱/۷   | ۴۸/۷   | ۵۱/۸   | ۵۴/۷   | ۴۵/۵   |
| Co  | ۴/۵    | ۷/۴    | ۷      | ۷/۸    | ۸/۴   | ۷      | ۵/۸    | ۴/۸    | ۱۰/۳   | ۶/۳   | ۱۱/۴   | ۶/۴    | ۷/۱    | ۶/۸    | ۶/۵    |
| Cs  | ۱/۵    | ۱/۵    | ۱/۴    | ۱/۵    | ۱/۶   | ۱/۵    | ۲/۱    | ۰/۸    | ۱/۹    | ۵/۷   | ۰/۲    | ۱/۸    | ۷/۱    | ۱/۵    | ۱/۴    |
| Cu  | ۵۳     | ۴۹     | ۱۶۲    | ۴۲     | ۴۷    | ۵۲     | ۲۱     | ۷۰     | ۵۴     | ۴۶    | ۱۰۰    | ۴۷     | ۷۴     | ۵۰     | ۴۹     |
| Dy  | ۱/۳۳   | ۱/۳    | ۱/۱۴   | ۱/۴۳   | ۱/۴۳  | ۱/۱۴   | ۰/۹۳   | ۱/۵۳   | ۱/۵    | ۱/۱۱  | ۱/۶۳   | ۱/۱۵   | ۱/۲۱   | ۱/۳    | ۱/۳۶   |
| Er  | ۰/۵۸   | ۰/۶۱   | ۰/۴۹   | ۰/۶۷   | ۰/۶۴  | ۰/۵۶   | ۰/۲۸   | ۰/۶۷   | ۰/۷۱   | ۰/۵۲  | ۰/۶۸   | ۰/۵۳   | ۰/۶۷   | ۰/۵۶   | ۰/۵۴   |
| Eu  | ۰/۹۱   | ۰/۹۲   | ۰/۸۹   | ۱/۰۴   | ۰/۹۸  | ۰/۸۸   | ۰/۶۲   | ۱/۱۵   | ۰/۹۸   | ۰/۸۳  | ۱/۱۱   | ۰/۸    | ۰/۸۸   | ۰/۹۵   | ۰/۸۶   |
| Ga  | ۲۰     | ۲۰     | ۱۹     | ۲۰     | ۲۱    | ۱۹     | ۱۴     | ۲۰     | ۲۰     | ۱۹    | ۲۱     | ۱۹     | ۲۰     | ۲۰     | ۲۰     |
| Gd  | ۲/۲۷   | ۲/۱۴   | ۲/۲    | ۲/۴۹   | ۲/۷۳  | ۲/۰۹   | ۱/۵    | ۳      | ۲/۶    | ۲/۰۸  | ۳/۰۴   | ۲/۱۸   | ۲/۱۸   | ۲/۲۸   | ۲/۴۲   |
| Hf  | ۳      | ۳      | ۳      | ۳      | ۳     | ۳      | ۳      | ۳      | ۳      | ۳     | ۳      | ۳      | ۳      | ۳      | ۳      |
| Ho  | ۰/۲۴   | ۰/۲۹   | ۰/۲۱   | ۰/۲۸   | ۰/۲۵  | ۰/۲    | ۰/۱۶   | ۰/۲۹   | ۰/۲۸   | ۰/۲۲  | ۰/۲۸   | ۰/۲۳   | ۰/۲۴   | ۰/۲۲   | ۰/۲۴   |
| La  | *      | ۲۷/۹   | ۳۰/۲   | ۲۴     | ۲۵/۸  | ۲۶/۶   | ۱۳/۷   | ۳۵/۶   | ۲۵/۷   | ۲۶/۷  | ۳۰/۵   | ۲۵/۱   | ۲۶/۸   | ۲۸/۶   | ۲۸/۲   |
| Lu  | ۰/۰۷   | ۰/۱۳   | ۰/۰۷   | ۰/۰۹   | ۰/۰۷  | ۰/۰۸   | ۰/۰۵   | ۰/۰۹   | ۰/۰۹   | ۰/۰۷  | ۰/۰۹   | ۰/۰۷   | ۰/۰۷   | ۰/۰۷   | ۰/۰۸   |
| Mo  | <۲     | <۲     | <۲     | <۲     | <۲    | <۲     | <۲     | <۲     | <۲     | <۲    | <۲     | <۲     | <۲     | <۲     | <۲     |
| Nb  | ۳      | ۴      | ۴      | ۳      | ۳     | ۳      | ۱      | ۴      | ۴      | ۳     | ۳      | ۳      | ۴      | ۴      | ۳      |
| Nd  | ۲۰/۲   | ۲۱/۳   | ۲۱/۸   | ۲۱/۲   | ۲۳/۸  | ۲۰/۲   | ۱۲/۷   | ۲۸/۷   | ۲۲/۴   | ۲۰/۱  | ۲۶/۴   | ۱۹/۶   | ۲۰/۸   | ۲۱/۶   | ۲۱     |
| Ni  | ۷      | ۷      | ۷      | ۹      | ۱۰    | ۶      | ۵      | ۱۰     | ۹      | ۸     | ۱۵     | ۶      | ۷      | <۵     | ۶      |
| Pr  | ۵/۲۸   | ۵/۸۸   | ۶/۱۷   | ۵/۶۳   | ۶/۱۸  | ۵/۶۵   | ۳/۳    | ۷/۸۸   | ۵/۹۲   | ۵/۵۴  | ۷/۰۹   | ۵/۳۲   | ۵/۶۴   | ۶      | ۵/۹۲   |
| Rb  | ۵۳/۲   | ۸۵/۵   | ۵۹     | ۳۹/۲   | ۳۸/۹  | ۵۷/۷   | ۲۱/۳   | ۴۸/۵   | ۵۷/۴   | ۶۰/۵  | ۴۲/۴   | ۶۰/۴   | ۵۸/۶   | ۵۸     | ۵۵/۸   |
| Sm  | ۳/۶    | ۳/۴    | ۳/۴    | ۳/۷    | ۴     | ۳/۳    | ۲/۲    | ۴/۶    | ۳/۷    | ۳/۲   | ۴/۴    | ۳      | ۳/۳    | ۳/۳    | ۳/۵    |
| Sn  | ۲      | ۲      | ۲      | ۲      | ۲     | ۲      | ۱      | ۱      | ۲      | ۲     | ۲      | ۲      | ۲      | ۲      | ۱      |
| Ta  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵ | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵ | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  |
| Tb  | ۰/۲۹   | ۰/۳۲   | ۰/۲۶   | ۰/۲۹   | ۰/۲۹  | ۰/۲۵   | ۰/۱۸   | ۰/۳۵   | ۰/۳۳   | ۰/۲۵  | ۰/۳۵   | ۰/۲۵   | ۰/۲۵   | ۰/۲۷   | ۰/۲۸   |
| Th  | 5      | 8.2    | ۸/۳    | 5.2    | 5.2   | 8.1    | 2.7    | 8.8    | 8.4    | ۸/۳   | 8.1    | 7.8    | 8.4    | 8.4    | ۸/۳    |
| Tl  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵ | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵ | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  | <۰/۰۵  |
| Tm  | ۰/۰۸   | ۰/۱۵   | ۰/۰۸   | ۰/۱    | ۰/۰۸  | ۰/۰۸   | ۰/۰۶   | ۰/۱    | ۰/۱    | ۰/۰۹  | ۰/۱    | ۰/۰۸   | ۰/۰۸   | ۰/۰۸   | ۰/۰۸   |
| U   | ۱/۸۶   | ۲/۴۴   | ۲/۱    | ۱/۷۸   | ۱/۵۴  | ۲/۴۳   | ۱/۷۸   | ۳/۱۱   | ۳/۱۱   | ۲/۳۸  | ۲/۴۸   | ۲/۳۸   | ۲/۵    | ۲/۴۳   | ۲/۵۳   |
| V   | ۶۳     | ۶۱     | ۶۱     | ۷۵     | ۶۹    | ۶۲     | ۴۸     | ۹۰     | ۷۰     | ۶۱    | ۱۰۲    | ۵۹     | ۶۲     | ۶۱     | ۶۱     |
| W   | ۲      | ۲      | ۲      | <۱     | <۱    | ۱      | <۱     | <۱     | <۱     | ۳     | <۱     | ۲      | ۲      | <۱     | <۱     |
| y   | ۷      | ۶      | ۶      | ۸      | ۷     | ۶      | ۵      | ۸      | ۸      | ۷     | ۸      | ۶      | ۶      | ۷      | ۶      |
| Yb  | ۰/۶    | ۰/۵    | ۰/۵    | ۰/۶    | ۰/۶   | ۰/۵    | ۰/۴    | ۰/۶    | ۰/۶    | ۰/۵   | ۰/۶    | ۰/۵    | ۰/۵    | ۰/۶    | ۰/۶    |
| Zr  | ۹۷     | ۹۸/۵   | ۹۹/۷   | ۸۶/۲   | ۹۸/۶  | ۱۰۹    | ۴۸/۶   | ۸۰     | ۷۸/۴   | ۱۱۰   | ۸۶/۲   | ۸۷     | ۱۰۸    | ۱۱۴    | ۱۰۸    |

## نتیجه‌گیری

آداکیتی در توسعه کانی‌زایی مس " پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید باهنر کرمان دانشکده علوم، بخش زمین‌شناسی، ۳۱۰ صفحه.

**Alavi, M. 1994**, "Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations", *Tectonophysics*, 229, P.211-238.

**Askren, D. R., Roden, M. F. and Whitney, J. A., 1999**, "Petrogenesis of Tertiary andesite lava flows interlayered with large-volume felsic ash-flow tuffs of the Western USA", *Journal of Petrology* 38: P.1021-1046.

**Barragan R., Geist D., Hall M., Larson P. & Kurz M., 1998**, "Subduction controls on the composition of lavas from the Ecuadorian Andes", *Earth and Planetary Science Letters* 154; P.153-166.

**Berberian, F. and Berberian, M., 1981**, "Tectono-plutonic episodes in Iran. In: H.K., Gupta and F.M., Delany (Eds.): Zagros, Hindukosh, Himalaya geodynamic evolution", *American Geophysical Union, Washington* P.5-32.

**Cas, R.A.F. and Wright, J.V., 1988**, "Volcanic succession modern and ancient", *Allen and Unwin London*, P.487.

**Defant, J. and Drummond, S., 1990**, "Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere", *Nature* 374: P.662-665.

**Donaldson, j. H. and Henderson, C. M. B., 1988**, "A new interpretation of round embayment in quartz crystals", *Mineralogical Magazine* 52: P.27-33.

**Fitton, J. F., James, D. and Leeman, W. P., 1991**, "Basic magmatism associated with Late Cenozoic extension in the Western United States: compositional variations in space and time", *Journal of Geophysical Research* 96: P.13693-13711.

**Gorton, M.P. and Schandl, E.S., 2002**, "Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments", *Economic Geology*, 97, P.629-642.

**Green, T. H., 1982**, "Anatexis of mafic crust and high pressure crystallization of andesite," *In Andesites (Eds. Thorpe RS. John Wiley), New York: john wiley, P.465-478.*

**Haschke, M.R. and Guenther, A., 2003**, "Balancing crustal thickening in arcs by tectonic vs. magmatic means", *Geology*, 31: P.933-936

**Hawkesworth C., Turner S., Peate D. Vancalsteren P., 1997**, "U-Th isotopes in arc magmas: Implication for element transfer from the subducted crust", *Science* 276 : P.551-555.

**Hofmann, A. W., 1988**, "Chemical differentiation of the earth: the relationship between mantle, continental crust and oceanic crust", *Earth and Planetary Science Letters* 90: P.297-314.

**Irvine, T.N. and Bargara, W.R.A., 1971**, "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks" *Canadian Earth Science*, 8: P.523-548.

**Keskine, M., Pearce, J.A., and Mitchell, J.G., 1998**, "Volcano stratigraphy and geochemistry of collision related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, north eastern Turkey", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85: P.355-404.

سنگ‌های آتشفشان شاه خیرالله شامل آندزیت، داسیت و تراکی آندزیت بوده که به صورت گدازه، مواد آذرآواری، توده‌های ساب ولکانیک و در نهایت سوزن آتشفشانی رخنمون دارند با توجه به بررسی‌های پتروگرافی و استناد به هماهنگی الگوی توزیع REE و عناصر ناسازگار نمونه‌ها، همگی بیانگر مرتبط بودن این سنگ‌ها با یکدیگر از طریق تبلور تفریقی است. در بررسی‌های ژئوشیمیایی، شواهد و مدارکی دال بر وجود آرایش ماگمایی در سنگ‌های منطقه مشاهده می‌شود که آنومالی منفی Nb, Ti و آنومالی مثبت Pb در نمودارهای عنکبوتی و نیز روندهای مشاهده شده در سایر نمودارها از جمله نمودار Ba/Rb در مقابل Nb/Y و Rb در مقابل Rb/Y و بسیاری از نمودارهایی دیگر که رسم شد همگی نشان‌دهنده‌ی آرایش سنگ‌های منطقه با پوسته بالایی است و همچنین نسبت‌های عناصری مانند Ce/Pb و Nb/U نیز این موضوع را تأیید می‌کند. داده‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که سنگ منشأ مذاب سازنده سنگ‌های مورد بررسی یک گارنت آمفیبولیت است. بر اساس نمودارهای تکتونوماگمایی و نمودارهای چند عنصری نرمالیز شده بر اساس گوشته اولیه و کندریت، سنگ‌های ولکانیکی منطقه مورد مطالعه به پهنه فرورانش حاشیه قاره‌ای تعلق دارد.

## تقدیر و تشکر

نگارندگان این مقاله از انجمن پژوهشگران جوان و مسئولین این واحد که با فراهم کردن امکانات لازم برای انجام این پژوهش به صورت طرح پژوهشی همکاری فراوان کردند تشکر می‌کنند. همچنین نگارندگان از سردبیر، هیئت تحریریه و داوران محترم مجله ژئوشیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند نیز نهایت سپاسگزاری را دارند.

## مراجع

"اطلس گیتاشناسی استان‌های ایران"، ۱۳۸۵، چاپ و نشر واحد پژوهش و تألیف گیتاشناسی، ۲۰۰ صفحه.

ارژنگ‌نژاد، ف.، ۱۳۹۱، "پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز مجموعه آتشفشانی شاه خیرالله واقع در غرب سرچشمه، استان کرمان" پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۴۰ صفحه.

بیابانگرد، ح.، ۱۳۸۹، "پتروگرافی، ژئوشیمی، ژئوکرونولوژی و نحوه‌ی فعالیت آتشفشان تفتان واقع در کمربند مکران، استان سیستان و بلوچستان" رساله دکتری زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۴۶ صفحه.

خلیلی مبرهن، ش.، ۱۳۹۰، "آتشفشان‌شناسی، ژئوشیمی و پتروژنز آتشفشان بیدخوان واقع در جنوب بردسیر- استان کرمان" رساله دکتری زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۶۵ صفحه.

درگاهی، س.، ۱۳۸۶، "ماگماتیسم پس از تصادم میوسن در گستره سرچشمه- شهر بابک، شمال غرب کرمان؛ بررسی داده‌های ایزوتوپی تحلیل پتروژنتیکی و الگوی ژئودینامیکی توده‌های گرانیتوئیدی و نقش ماگماتیسم

- Kirkpatrik R.J., 1992,** "Nucleation and growth of plagioclase, Makaopuhi and Alqe Lava Lakes, Kilauea Volcano, Hawaii", *Geological Society of American Bulletin.*, 88, 78-84.
- Kretz, R., 1983,** "Symbols rock-forming mineral", *American Mineralogist* 68: P.227-279.
- Le Bas, M.J., Lemaitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986,** "A Chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica Diagram", *Journal of Petrology* 27(3): P.745-750
- Le Maitre, R.W. , Bateman, P., Dudek, A ., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.N., Schmid, R., Sorensenlt, B. , streckeisen, A., Wooly , A. R. and zanettin , B., 1989 ,** "A classification of igneous rocks and glossary. area, Northern Turkey", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58: P.63-81.
- Munker C., Worner G., Yogodzinski G., Churikova T., 2004,** "Behaviour of high field strength elements in subduction zones: constrains from kamchatka-Aleutian arc lavas", *Earth and Planetary science Letters* 224 : P.275-293
- Pearce, J.A., 1983.** "Role of the sub-continental lithosphere in magma at active continental margins", *In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (Eds.), Continental basalts and mantle xenoliths. Shiva. Cheshire, Uk, P.230-249.*
- Pecceerillo, A., Taylor, S. R., 1976,** "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58:P.63-81.
- Schilling, J.-G., M. Zajac, R. Evans, T. Johnston, W. White, J. D. Devine, and R. Kingsley .,1983,** "Petrologic and geochemical variations along the Mid-Atlantic Ridge from 27 N to 73 N", *American Journal of Sciences* 283: P.510-586.
- Stephen T., Nelson S.T and Montana A., 1992,** " Sieve-textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression", *American Mineralogist* 77, P.1242-1249.
- Sun, S. S. and Mc Donough, W. F., 1989,** "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes", *In: Saunders, A. D. and Norry, M. J. (Eds.): Magmatism in the ocean basins. Geological Society, Special Publications, 42: P.313-345.*
- Taylor, S. R. and Mc Lennan, S. M., 1985,** "The continental crust: its composition and evolution", *Blackwell Scientific Publications, Oxford.*
- Thompson, M., 1983,** "Analytical Methods in Applied Environmental Geochemistry", *Applied Environmental Geochemistry. Academic Press Inc, London, P.501.*
- Thompson, RN.,1982,** "Magmatism of the British Tertiary province Scottish", *Journal of Geology, 18, P.4 9-107.*
- Tsuchiyama, A., 1985,** "Dissolution kinetics of plagioclase in the melt of the system diopside-albite-anorthite and origin of dusty plagioclase in andesite", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 89: P.1-16.
- Wang, Y., Chung, S.L., O'Reilly, S.Y., Sun, S.S., Shinjo, R., and Chen, C.H., 2004,** "Geochemical Constraints for the genesis of post-collisional magmatism and the geodynamic evolution of the Northern Taiwan region ", *Journal of Petrology, 45, P.975-1011*
- Wilson, M.,1989,** "Igneous Petrogenesis: A global tectonic approach", *London. Unwin Hyman P.466.*
- Winchester, J.A., and Floyd, P.A., 1977,** "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements", *Chemical Geology:16, P.325-343.*