

زمین‌شیمی و سنگ‌زایی مجموعه آتشفشانی قلیایی-نیمه قلیایی شمال ایران مرکزی: نقش فرایندهای تفریق بلوری و غنی‌شدگی سنگهای اسیدی تا بازی در یک محیط پشت کمان

نوشته: فرامر زوطی*، سیما یزدانی* و کمال الدین بازرگانی گیلانی*

*دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

Geochemistry and Petrogenesis of an Alkaline-Calc Alkaline Volcanic Suite North Central Iran: The Role of Crystal Fractionation and Enrichment Processes in a Back-arc Environment

By: F. Tutti*, S. Yazdani* & K. Bazargani-Guilani*

*School of Geology, University College of Sciences, University of Tehran, Iran

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۵/۰۶/۲۸

چکیده

در منطقه جنوب کهریزک، سنگهای آتشفشانی ائوسن در بخش شمالی زون ایران مرکزی رخمون دارند. این مجموعه شامل سنگهای آذرآواری (توف و ایگنمبریت) و گدازه‌ها (ریولیت، تراکی آندزیت، تراکی آندزیت بازالتی و بازالت) است. سنگهای آتشفشانی در محدوده مورد مطالعه، شواهد سنگ‌نگاری (زون‌بندی، بافت غربالی و گردشگی سطح بلور در بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن) عدم تعادل ماگما هنگام تبلور را نشان می‌دهند. بررسیهای زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که گدازه‌های منطقه در قلمرو نیمه قلیایی و قلیایی قرار می‌گیرند. غنی‌شدگی LREE در مقایسه با HREE و بالا بودن مقدار عناصر ناسازگار LILE نسبت به HFSE همچنین بی‌هنجاری شاخص Nb، Ti و Ta در گدازه‌های منطقه، از نشانه‌های سنگهای مربوط به فرورانش است. گرایش گدازه‌های منطقه به سمت سری قلیایی، به گمان نشانگر یک رژیم کششی مشابه حوضه‌های پشت کمان است.

کلیدواژه‌ها: جنوب کهریزک، ایران مرکزی، گدازه‌های نیمه قلیایی-قلیایی، پشت کمان، رژیم کششی، زون فرورانش.

Abstract

South Kahrizak volcanic rocks with Eocene age are located in the north part of Central Iran. These rocks are mainly composed of pyroclastics (tuff and ignimbrites) and lava flows (rhyolite, trachyandesite, basaltic trachyandesite and basalt). Petrographic evidence such as: zoning, sieve texture and rounded crystals in plagioclase and pyroxene phenocrysts show the non-equilibrium conditions between melt and crystals during magma cooling. Geochemical characteristics indicate that these rocks locate in the subalkaline to alkaline domain. The highly enrichment of LREE compared to HREE, high content of LILE relative to HFSE and significant anomalies of Nb, Ta and Ti reveal the characteristics of a subduction - related volcanism. Whereas, the alkaline affinity of rocks shows that they may have formed in an extensional region, most probably a back-arc basin.

Keywords: South Kahrizak, Central Iran, Subalkaline- alkaline lava, Back-arc, Extensional region, Subduction zone.

مقدمه

مرکزی واقع شده است (شکل ۱). این سنگها متعلق به ائوسن و عمدتاً با آبرفت‌های کواترنری، و در شمال و خاور با مارنهای کرم‌رنگ ژیبس‌دار و کنگلومرای کهریزک (رسوبات نئوژن- کواترنری) پوشیده شده‌اند. با توجه

سنگهای آتشفشانی جنوب کهریزک در محدوده طول و عرضهای جغرافیایی ۵۱°، ۳۰' - ۵۱°، ۱۳' و ۳۵°، ۳۰' - ۳۵°، ۲۰' در ۴۰ کیلومتری جنوب تهران، مسیر جاده قدیم تهران - قم و در شمالی‌ترین بخش ایران

ناحیه تحت اثر چین خوردگی شدید قرار نگرفته‌اند (رضوی، ۱۳۵۳).

۲- سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی

ایگنیمبریتها از جمله قدیمی‌ترین واحد سنگی هستند که به طور وسیع در خاور، شمال و مرکز توده آتشفشانی گسترش دارند. فعالیتهای آتشفشانی ابتدایی، شدت انفجار بسیار بالایی داشته و نهشته‌های آذرآواری مختلفی را تولید کرده و با خروج روانه‌های گدازه ادامه می‌یابند. ایگنیمبریتها دارای ترکیب ریولیتی تا داسیتی با بافت اوتاکستی هستند (شکل ۲) که فیامهای پر شده از سیلیس، در مواردی همراه با کلسیت ظاهری جریان‌ی به سنگ داده است. فرایندهای ثانویه بعد از نهشته شدن شامل: جوش خوردگی و فشردگی، تبلور گازهای به‌دام افتاده، و شیشه‌زدایی مواد شیشه‌ای می‌باشد. همچنین تغییرات وابسته به کاهش حجم تدریجی و سنگ‌شدگی نظیر: مسطح‌شدگی و درهم‌شکستگی شاردهای شیشه، کمبود فیامها، و گاهی از بین رفتن بافت اسفنجی قطعات پومیس، غالباً مشاهده می‌شود. توفها اغلب در بین و یا زیر ایگنیمبریتها قرار گرفته‌اند و از لحاظ سنگ‌شناسی به طور عمده داسیتی و ریوداسیتی و کمتر تراکیتی هستند. گدازه‌های داسیتی بیشتر در خاور و شمال خاور رخنمون داشته و بر روی نهشته‌های آذرآواری قرار گرفته‌اند. در برخی از این نمونه‌ها درشت بلورهای فلدسپار، کوارتز، بیوتیت و به ندرت کلینوپیروکسن در یک زمینه شیشه‌ای به رنگ نارنجی و قهوه‌ای به همراه شکستگیهای پرلیتی قرار گرفته‌اند که قسمتهای نارنجی خمیره متبلور ریز دانه با بافت اسفرولیتی را تشکیل داده و قسمتهای قهوه‌ای شیشه‌ی زمینه رگه‌های جریان یافته و چین‌خورده‌ای را در بین اسفرولیت‌ها ایجاد کرده است (شکل ۳). گدازه‌های آندزیتی در تمام ناحیه گسترش یافته‌اند. ویژگیهای اصلی و وجه تمایز آنها از دیگر سنگها به علت‌های زیر است: الف) دگرسانی شدید تحت تأثیر آبهای گرم و تا حدودی آبهای جوی و ب) فراوانی رگه‌ها، رگچه‌ها و حفره‌های پر شده با ژئولیت‌هایی مانند آنالسیم، لوین، ترانائولیت، ناترولیت، مزولیت، کلسیم - هیولنیت، کلسیم - استیلیت، و همچنین دیگر کانیهای همراه آنها مانند کلسیت، کوارتز، اپال و در موارد نادر پیروولزیت در تمام نواحی که سنگهای آندزیتی گسترش یافته‌اند، می‌باشد (Bazargani-Guilani & Rabbani, 2004 و طوطی و همکاران، ۱۳۸۳). گدازه‌های تراکی آندزیتی بر روی گدازه‌های آندزیتی قرار داشته و دارای بافت بادامکی و رگه‌های پر شده با مواد ثانویه یا فاقد آن هستند. فراوان‌ترین کانی موجود در تراکی آندزیتها پلاژیوکلاز است که در آنها ویژگیهایی مانند زون‌بندی، بافت غربالی، حاشیه‌گرد شده و آثار خلیج خوردگی همانند آندزیتها مشاهده می‌شود. بافت غربالی در برخی پلاژیوکلازها ممکن است

به موقعیت زمین‌شناسی ناحیه جنوب تهران، جنوب کهریزک، و سن این سنگهای آتشفشانی، بررسیهای سنگ‌شناختی و تعیین خاستگاه زمین‌ساختی- ماگمایی آن در رابطه با تکامل ساختاری ایران مرکزی و البرز در زمان ائوسن می‌تواند ثمربخش باشد.

با نگاهی بر پژوهشهای انجام شده در اطراف منطقه مورد مطالعه مانند سنگهای آتشفشانی ائوسن مناطق حسن‌آباد در ۶۰ کیلومتری جنوب تهران (رضوی، ۱۳۵۳)، رباط‌کریم در ۶۵ کیلومتری جنوب باختر تهران (روان بد، ۱۳۶۶)، دوازده‌امام واقع در شمال دریاچه نمک (حسینی، ۱۳۶۷) و منطقه سیاه‌کوه شمال خاور دریاچه نمک (بنی‌طبا بیدگلی، ۱۳۶۸) می‌توان به همانندی بین انواع گوناگون گدازه‌ها و سنگهای آذرآواری و همچنین همبستگی میان ترکیب شیمیایی در این مناطق پی برد. به طوری که از سیاه‌کوه در فاصله دورتر، به سمت منطقه مورد مطالعه در شمالی‌ترین قسمت ایران مرکزی، سنگها به سمت ترکیبهای پتاسیم بالا پیش می‌روند.

۱- زمین‌شناسی منطقه

سنگهای آتشفشانی و آذرآواریهای منطقه مورد مطالعه مربوط به ائوسن و واحدهای رسوبی آن مربوط به نئوژن است (Rieben, 1955). فورانهای انفجاری زیردریایی سبب تشکیل توف و برش شده سنگهای ایگنیمبریتی، در محیط خشکی نهشته شده‌اند. مجموعه مذکور در مراحل ابتدایی فعالیت آتشفشانی ایجاد شده و سپس سنگهای آتشفشانی حدواسط تا بازی ظهور یافته‌اند. توفها عمدتاً روشن رنگ و ایگنیمبریتها به صورت پهنه‌های وسیع و ستر به رنگهای قهوه‌ای- ارغوانی با بافت منشوری و ساخت جوش خورده و جریان یافته مشاهده می‌شوند. بخش رسوبی شامل سری نئوژن و کواترنری است که به حالت دگرشیب روی سنگهای آتشفشانی قرار گرفته است. قسمتهای خاور و باختر سربهای آتشفشانی توسط کنگلومرا و مارن‌های روشن رنگ احاطه شده که معادل بخش بالایی سازند سرخ بالایی (M3) است (Rieben, 1955). با توجه به مارنهای ماسه‌ای محسوی قلوه سنگهای توف سبز گرد شده و خرده سنگهای آتشفشانی در روی این سازند، به احتمال زیاد سن آنها نئوژن است (Rieben, 1955; Berberian, 1983). بعد از مارنهای ژیبس‌دار، آبرفتهای سازند کهریزک با سن احتمالاً کواترنری پیشین (ویلافرانشین) قرار دارد (Rieben, 1955). مهم‌ترین سیماهای زمین‌ساختی منطقه گسلهایی با امتداد شمال باختر- جنوب خاور و شیئی نزدیک به قائم است. همچنین فازهای کوهزایی آلپی بر روی سنگهای منطقه اثر گذاشته ولی با توجه به شیب ملایم لایه‌های توفی در سراسر میدان گدازه ظاهراً سنگهای آتشفشانی این

در فشارهای کم را نشان می‌دهد (شکل ۷). $Rb \cdot Th, Nb, U$ و تاحدودی Ba با افزایش مقدار SiO_2 در توالی سنگی، روندهای افزایشی نشان می‌دهند. سیر کاهشی Sr مانند Ca از سنگهای بازی به اسیدی با تبلور پلاژیوکلاز و پیروکسن منطبق است.

اختلاف در عناصر فرعی سنگهای مختلف موجود در منطقه ممکن است بستگی به اختلافاتی داشته باشد که از منشأ به ارث برده‌اند. همچنین تغییرات Hf در برابر Zr سیر پیوسته‌ای دارد (شکل ۸) که نمایانگر سیر تحول ماگمایی یکسان برای انواع گدازه‌های بازالتی و تراکی‌آندزیتی موجود در منطقه است. نسبت La/Sm در برابر La و مسیر همبستگی موازی نمونه‌ها با محور تغییرات La بیانگر تبلور تفریقی ماگما است (Allegre & Minster, 1978) (شکل ۹).

شکل ۱۰ نشان می‌دهد که سنگهای بازالتی موجود در منطقه در مقایسه با دیگر سنگها دارای نسبتهای بالاتری از La/Th هستند. مقدار Th در طی فرایندهای دگرسانی و یا دگرگونی پایدار است (Rolland et al., 2000). بیشتر نمونه‌های بازالتی از منشأ MORB به دور هستند. سنگهای تراکی‌آندزیتی و سپس ریولیتها به تدریج از بازالتها فاصله گرفته و دارای نسبتهای بالاتری از Th/Co بوده و بنابراین از عنصر Th نسبت به MORB غنی شده‌اند. در ضمن نسبت Th/Co در ریولیتها نزدیکی زیادی با نسبتهای پوسته نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار، آرایش پوسته‌ای سنگهای ریولیتی و تفکیک در اعضای تفریق یافته سنگهای بازی، حدواسط و اسیدی برای توده جنوب کهریزک قابل انتظار است. به‌طور کلی تمام نمونه سنگهای منطقه از LREE نسبت به کندریت غنی شده‌اند، در حالی که از HREE غنی‌شدگی کمتری نشان می‌دهند. REEs در تراکی‌آندزیتها و ریولیتها غنی‌شدگی بیشتری نسبت به بازالتها و تراکی‌آندزیت بازالتی دارند (شکل ۱۱). این عناصر در هنگام تبلور تفکیکی در مایع باقی مانده و در مراحل پسین به‌طور محدود جانشین عناصر LIL (یونهای بزرگ سنگ‌دوست) شده (Krauskopf & Bird, 1995) و در پایان غلظت آنها در سنگهای ریولیتی و تراکی‌آندزیتی می‌تواند افزایش یابد. وجود بی‌هنجاری کاهشی Eu در ریولیتها و تراکی‌آندزیتها موجود در منطقه در صورتی توجیه می‌شود که محصول تفکیک از ماگمای مادر مشترک با بازالتها باشند. همچنین نسبت $(La/Yb)_n$ محدود‌های بین ۷ تا ۸ برای سنگهای ریولیتی و تراکی‌آندزیتی و بین ۵ تا ۶ برای بازالتها و تراکی‌آندزیت بازالتی دارد. این امر نشان‌دهنده تشکیل ریولیتها و تراکی‌آندزیتها در مراحل پایانی و تکامل یافته‌تر تفریق بلوری است. غلظت بالای LREE می‌تواند به دلیل درجات کم ذوب بخشی منشأ و یا یک منشأ غنی شده از آنها نیز در نظر گرفته شود. در شکل ۱۱

به‌طور فراگیر در تمام بلور (شکل ۴-الف)، در حاشیه و یا در حاشیه بلور همراه بارشد و زون‌بندی بعدی بلور (شکل ۴-ب) مشاهده شود. پژوهشگران مختلف تشکیل بافت غربالی در پلاژیوکلازها را به افت سریع فشار (Nelson & Montana, 1992)، آمیختگی ماگمایی و تغذیه مخزن ماگمایی (Tsuchiyama, 1985) ارتباط داده‌اند. گدازه‌های تراکی‌آندزیت بازالتی و بازالتی ضمن حفظ مشابهت‌های سنگ‌شناسی خود، به دو گروه واجد ژئولیت و بدون آن قابل تفکیک‌اند. بلورهای کلینوپیروکسن در تراکی‌آندزیت بازالتی گاهی دارای میانبراهایی از کانیه‌های کدر و شیشه به صورت بافت غربالی است و در حاشیه آن زون‌بندی مشاهده می‌شود (شکل ۴-ج). در بازالتها کلینوپیروکسنهایی با حاشیه واکنشی نیز وجود دارد (شکل ۴-د). Nakagawa et al. (2002) بر این باورند که ترکیب درشت‌بلورهای کلینوپیروکسن و زون‌بندی آنها در سنگهای آتشفشانی، فرایندهای ماگمایی را در اتاق ماگمایی پیش و همزمان با انفجار ثبت می‌کند.

Sakuyama (1979) بافت‌های نامتعادل مانند زون‌بندی درشت‌بلورهای پیروکسن در سنگهای آتشفشانی کلسیمی-قلیایی را به صورت نتیجه‌ای از آرایش با پوسته قاره‌ای، تغییر ناگهانی فشار H_2O و آمیختگی ماگمایی تفسیر می‌کند و معتقد است آمیختگی ماگمایی مهم‌ترین فرایند برای ایجاد بافت‌های نامتعادل در این سنگهاست.

۳- زمین‌شیمی

اندازه‌گیری عناصر اصلی و فرعی با استفاده از روش ICP-ES و ICP-MS در آزمایشگاه ACME کانادا بر روی ۱۴ نمونه گدازه از سنگهای جنوب کهریزک انجام شده است (جدول ۱). این سنگهای آتشفشانی در نمودار Le Bas et al. (1986) محدوده وسیعی از ریولیت، تراکی‌آندزیت، تراکی‌آندزیت بازالتی و بازالت را به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۵). سنگهای بازالتی بر اساس رده‌بندی (Draper & Johnston, 1992) در محدوده سنگهای بازالتی آلومینیم بالا (high alumina basalt) قرار می‌گیرند و اغلب جزو بازالت‌های فقیر از Mg و تحول یافته هستند. سنگهای آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در نمودار مجموع قلیایی - سیلیس (Le Maitre et al., 1989) در منطقه به‌طور عمده نیمه قلیایی و قلیایی واقع می‌شوند (شکل ۶). محدوده‌ای که سنگها در آن واقع شده‌اند توسط Raos & Crawford (2004) به صورت منطقه گذر (transitional) سریهای ماگمایی نیمه قلیایی به قلیایی در نظر گرفته شده است. روند تغییرات مقادیر عناصر اصلی و فرعی در برابر SiO_2 ، الگوی عادی تفریق و توالی عمومی تبلور کانیه در هنگام تفریق یک مذاب سیلیکاتی

متمايز می‌کند. سنگهای بازالتی و تراکی آندزیت بازالتی منطقه نسبت به منشأ MORB غنی شده‌تر هستند (روندی مشابه با منشأ کمان داشته) و غنی‌شدگی زون فرورانش (SZE) و ذوب بخشی حاصل از گوشته (PM) را نشان می‌دهند. با توجه به اینکه LILE نسبت به HFSE و HREE قابل حل در سیال هستند، این مطلب تأیید می‌شود که ترکیبهای عناصر فرعی ماگماهای کمان، نشان‌دهنده مذاهبای می‌باشند که در یک گوشته متشکل از منشأ MORB به اضافه سیالات غنی از LILE تشکیل شده‌اند. دخالت آب به عنوان عامل متاسوماتیسم، ساده‌ترین توضیحی است که با ویژگیهای معمول ماگماهای مناطق «فرورانش/برخورد» تطبیق می‌کند (Juteau & Maury, 1997).

با استفاده از عناصر اصلی و فرعی در نمودارهای متمایز کننده جایگاههای زمین‌ساختی، محیط زمین‌ساختی در منطقه بررسی شده است و بر این اساس بیشتر نمونه‌های جنوب کهریزک در محدوده بازالتی‌های درون قاره‌ای و کمان ماگمایی قرار می‌گیرند (شکل ۱۴).

در شکل ۱۵ عناصر کمیاب Ta و Th نسبت به Yb سنجیده می‌شود تا تغییرات شیمیایی ناحیه منشأ شامل غنی‌شدگی، آرایش پوسته‌ای و تفریق بلوری مشخص شود. تغییرات نسبت Th/Yb و Ta/Yb منعکس کننده تغییرات منشأ است. همچنین ناهمگنی منشأ Ta و Th را به طور مساوی تحت تأثیر قرار داده و بنابراین ترکیب گوشته نسبت به گوشته اولیه در طول یک شیب واحد به سمت نسبت‌های بالاتر یا پایین‌تر Th/Yb و Ta/Yb حرکت خواهد کرد (Rollinson, 1993; Rolland et al., 2000).

سنگهای جنوب کهریزک در این نمودار عمدتاً در محدوده کلسیمی-قلیایی و شوشونیتی و غنی از Th و تقریباً تهی شده از Ta قرار گرفته‌اند و با منشأ گوشته‌ای غنی شده تطابق دارد. غنی‌شدگی Th حاصل فازهای سیال مرتبط با فرورانش است (Wilson, 1989) (مؤلفه W در شکل ۱۵). همچنین روندی مشابه CF₂S که گویای تفریق بلوری پس از غنی‌شدگی است، برای سنگهای (بازالتی و تراکی آندزیت) منطقه ملاحظه می‌شود. در شکل ۱۶ سنگهای آتشفشانی ائوسن حوضه Buck Creek کانادا رسم شده است (Hawkesworth et al., 1993).

مقدار عناصر فرعی این سنگها در شکل ۱۱-الف مشخص شده است. سنگهای آتشفشانی حوضه Buck Creek و گدازه‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ای به دور از کمانهای ماگمایی قرار می‌گیرند (سنگهای آتشفشانی کلسیمی-قلیایی پتاسیم بالای Buck Creek در جایگاه کششی NV, K درون کمان تشکیل شده‌اند (Dostal et al., 2001).

همان‌طور که مشاهده می‌شود، گدازه‌های تراکی آندزیتی و ریولیتی روندی مشابه پوسته بالایی همراه با بی‌هنجاری منفی در Eu و غنی‌شدگی بیشتر از HREE و گدازه‌های بازالتی و تراکی آندزیت بازالتی روندی مشابه پوسته قاره‌ای دارند. از طرفی با توجه به میزان $Mgo < 7\%$ ، $Cr < 14\%$ و $Ni < 51\%$ در گدازه‌ها چنین استنباط می‌شود که سنگهای منطقه از یک ماگمای تحول یافته حاصل شده‌اند. این نتیجه‌گیری با نگاهی به شکل ۱۳ قطعیت بیشتری پیدا می‌کند.

در تمام نمونه‌ها کمترین غنی‌شدگی مربوط به Lu، Yb، Y و Dy است که روند یکسانی را نشان می‌دهند. همچنین در همگی بی‌هنجاری افزایشی Cs، U، K، Pb، Sm و بی‌هنجاری کاهشی در Nb و Ti مشاهده می‌شود. بین این دو گروه سنگی (شکل ۱۲) تفاوتی نیز وجود دارد، به طوری که ناسازگارترین عناصر، تقریباً در مذاب اولیه وارد شده و سپس با افزایش درجه ذوب بخشی، از مقدار آن در مایع مذاب کاسته شده است. رفتار متفاوت گروههای مختلف عناصر فرعی (شکل ۱۲) به صورت غنی‌شدگی در عناصر LIL شامل Cs، Pb، K (غنی‌شدگی Ba>Rb) برای سنگهای گروه اول و Rb>Ba برای سنگ‌های گروه دوم) و LREE در روند کلی به نسبت HREE و عناصر HFS همراه بی‌هنجاری کاهشی آشکار، برای Nb و Ti همگی با توجه به تحرک عناصر قابل توضیح می‌باشد. فرورفتگیهای Ta، Nb، Ti در روند کلی سنگها مشخصه سنگهای کمان ماگمایی است (Gioncada et al., 2003). همچنین به تعبیر دیگر، غنی‌شدگی از LILE همراه با تهی‌شدگی از Ta، Nb، Ti می‌تواند مربوط به ناهمگنی منشأ گوشته سنگ کره‌ای غنی شده به وسیله فرایند فرورانش باشد (Dostal et al., 2001). با وجود این، شواهد ژئوشیمیایی در مدل فرورانش مانند بی‌هنجاری Nb و Ta، در بعضی از جایگاههای مناطق پس از برخورد (Postcollisional) به جای آن که نشان‌دهنده منشأ واقعی خود باشند، شواهدی از آغشتگی با گوشته سنگ کره‌ای در آنها دیده می‌شود (Juteau & Maury, 1997).

به اعتقاد Rollinson (1993) بی‌هنجاری منفی Nb شاخص سنگهای قاره‌ای و ممکن است نشان‌دهنده شرکت پوسته در فرایندهای ماگمایی باشد. در شکل ۱۲ دو گروه سنگی، بازالتها و تراکی آندزیت بازالتی، ریولیتها و تراکی آندزیت‌های جنوب کهریزک با سنگهای آتشفشانی کرتاسه تا سنوزویک جنوب کره و ژاپن و همچنین سنگهای آتشفشانی ائوسن حوضه Buck Creek (کانادا) مقایسه شده است. در شکل ۱۳، نشانه‌های شیمیایی مانند نسبت‌های بالای LILE/REE و LILE/HFSE ماگماهای کمان را از دیگر محیطهای زمین‌ساختی

بحث و نتیجه گیری

مجموعه ویژگی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی که به آن اشاره شد، حاصل رویدادهایی مختلف از هنگام تشکیل ماگما، تا صعود و سپس فوران در سطح زمین و تغییرات بعد از آن است که مجموعاً سبب پیچیدگی‌هایی در فرایند تکوین این سنگها شده است. از نظر ترکیب شیمیایی، سنگهای تراکی‌آندزیتی در زمره سنگهای پتاسیم به نسبت بالا قرار گرفته و در نمودارهای تغییرات در منطقه‌ای قرار می‌گیرند که عضو انتهایی بازی و ریولیتی در دو سمت خود دارند همچنین در اصل شواهد آمیختگی ماگمایی را در مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهند. بنابراین با توجه به روند عناصر اصلی و کمیاب به اضافه شواهد سنگ‌نگاری، سنگهای تراکی‌آندزیتی پتاسیم بالا ممکن است طی فرایند تبلور تفکیکی از ماگمای هیبرید حاصل شده باشند (Gioncada et al., 2003). همچنین سنگهای آتشفشانی جنوب کهریزک به طور عمده نیمه قلیایی بوده و در یک محدوده انتقالی از کلسیمی-قلیایی به قلیایی قرار می‌گیرند. به اعتقاد Wilson (1989) سنگهایی این چنین ممکن است در یک رژیم کشتی مشابه حوضه‌های پشت کمان تشکیل شده باشند. از نظر بررسی‌های عناصر کمیاب گدازه‌های جنوب کهریزک به شدت از LREE غنی شده‌اند، الگوی HREE در آنها مسطح می‌باشد، غنی‌شدگی بیشتر از عناصر کمیاب در گدازه‌های اسیدی تا حد واسط نسبت به گدازه‌های بازی، و بی‌هنجاری کاهشی Eu تنها برای ریولیتها و تراکی‌آندزیتها ملاحظه می‌شود. این موارد به گمان بیانگر تفریق یافتن سنگهای ریولیتی از یک ماگمای والد مشترک با بازالتها است. مقادیر کم V, Sr, P, Ti به همراه بی‌هنجاری Eu می‌تواند بیانگر تفکیک فازهای کانیهای اصلی مشاهده شده در نمونه‌ها، برای تولید ماگمای ریولیتی باشد (Gioncada et al., 2003). به هر حال، مقادیر بعضی عناصر اصلی، غنی‌شدگی از LILE و LREE به نسبت HREE و HFSE به همراه غنی‌شدگی کمتر Ta-Nb، رابطه نزدیکی با سنگهای مرتبط با کمان دارد (Stolz et al., 1996) و این مدل توزیع عناصر، به اعتقاد Dostal et al. (2001) مشخصه سنگهای مرتبط با فورانش و یا سنگهایی که با پوسته بالایی آلاش یافته‌اند، می‌باشد. غنی‌شدگی بیشتر عناصر کمیاب ناسازگار در سنگ‌های ریولیتی و تراکیتی می‌تواند انعکاسی از اثرات مشتق شدن از منشأ گوشته غنی شده و آلاش پوسته‌ای به‌طور توأم باشد (Wilson, 1989). در این بین، تفریق بلوری و غنی‌شدگی ناشی از یک فاز سیال نیز نقش ایفا کرده‌اند. از آنجا که محتوی MgO در سنگهای ریولیتی و تراکی‌آندزیت بازالتی بسیار پایین $< 2/6\%$ است، به اضافه بی‌هنجاری کاهشی Ti ($TiO_2 = 0/4-0/9\%$) و میزان کم P (تنها برای ریولیتها)، و تمام موارد ذکر گردیده در قبل، می‌توان چنین

استنباط کرد که به احتمال گدازه‌های اسیدی از گدازه‌های بازالتی مشتق شده‌اند. این فکر با مشاهده شدن نهشته‌های آذرآواری (ایگنیمبریتها و توفها) در زیر گدازه‌ها تقویت می‌شود. شواهد به دست آمده برای ماهیت آبدار ماگماتیسیم توده آتشفشانی نظیر طبیعت انفجاری آتشفشانها اعم از وجود نهشته‌های آذرآواری، وجود درشت بلورهای آمفیبول در برخی از گدازه‌ها، سیالات گرمایی که به شدت سنگهای منطقه را تحت تأثیر قرار داده‌اند و عدد منیزیم پایین در سنگهای منطقه است. توالی کانیهای زئولیتی و ثانویه موجود در حفره‌ها و رگه‌های این سنگها نیز می‌تواند گویای فراوانی عناصر قلیایی (K,Na) و کلسیم در ماگمای مادر که این سیالات احتمالاً از آن مشتق شده‌اند، باشد. از آنجا که آندزیتها و داسیتها در کمانهای بیشتر بالغ و روی حاشیه قاره‌ای غالب‌اند، وجود نهشته‌های ایگنیمبریتی با ترکیب ریولیتی و ریوداسیتی در منطقه می‌تواند نشانگر یک کمان بالغ باشد (Wilson, 1989). به نظر Pichavant (1993) آندزیتها در کمانهای واقع بر پوسته قاره‌ای زیادترند و ریولیتها ایگنیمبریتی فقط در کمانهایی دیده می‌شوند که روی پوسته قاره‌ای قرار داشته و در اغلب موارد، از ذوب بخشی همین پوسته وجود می‌آیند. بربریان و یاسینی (۱۳۶۲) زایش حوضه رسوبی سازند قم در قسمتی از ایران مرکزی را ناشی از فورانش پوسته اقیانوس نوتیس به زیر لبه قاره‌ای فعال جنوب خاور ایران مرکزی در الیگو-میوسن می‌دانند که سبب تشکیل حوضه‌های گسترش پشت کمانی در مرکز و شمال ایران مرکزی (رژیم زمین ساختی کشتی محلی) همزمان با رژیم زمین ساختی کلی فشارشی، شده است.

Hassanzadeh et al. (2003) معتقدند ارومیه - نائین و قلمروی آتشفشانیهای مثلی از نظر منشأ به هم مرتبط‌اند و اساساً یک کمان پالنوسن - ائوسن میانی را تشکیل می‌دهند که روی سمت شمالی زون فورانش تحت اوراسیا تشکیل شده‌اند. کمان اولیه (protoarc) البرز - ارومیه - نائین بعداً دستخوش کشتی داخل و پشت کمان شده است. بنابراین توده آتشفشانی قلیایی-نیمه قلیایی جنوب کهریزک نیز که در شمالی‌ترین قسمت ایران مرکزی واقع شده تحت تأثیر فرایندهای اخیر شکل گرفته است. از مقایسه گدازه‌های جنوب کهریزک با سنگهای آتشفشانی کرتاسه تا سنوزویک جنوب کره و ژاپن و سنگهای آتشفشانی ائوسن حوضه Buck Creek این گونه استنباط می‌شود که گدازه‌های بازالتی و تراکی‌آندزیت بازالتی جنوب کهریزک در محدوده‌ای بین دو رژیم فشارشی و کشتی از لحاظ تمرکز عناصر فرعی قرار داشته و با نمونه‌های مربوط به یک رژیم کشتی در سنگهای مرتبط با کمان در جنوب کره، تطابق بیشتری دارند. همچنین الگوی عناصر فرعی سنگهای منطقه منطبق با سنگهای آتشفشانی

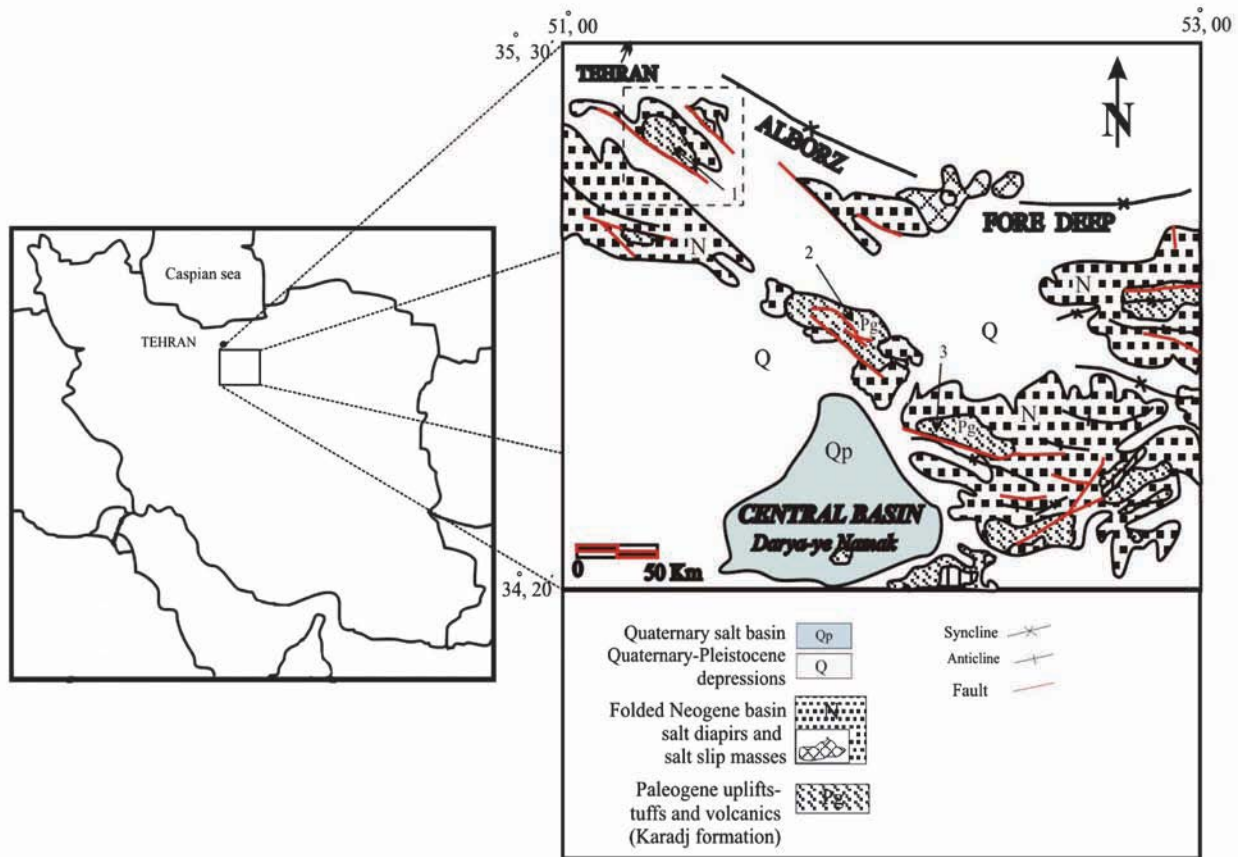
سپاسگزاری

نویسندگان تشکر خود را از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران به‌خاطر تأمین هزینه‌ها از اعتبارات طرح تحقیقاتی به شماره ۶۱۰۵/ک/۱۰۲ و بخش دیگر، از اعتبارات طرح بین‌دانشگاهی، اعلام می‌دارند. همچنین از همکاران گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه تهران که امکان انجام این پژوهش را فراهم کردند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

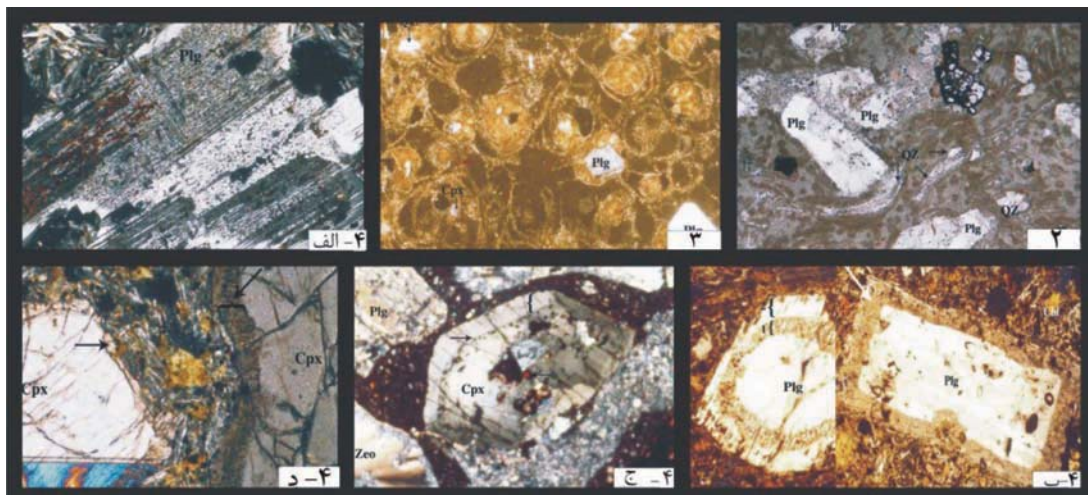
کرتاسه میانی ناحیه شمال Ladakh (شمال‌باختر هیمالیا) است که جایگاه زمین‌ساختی آن را به ناحیه پشت کمان نسبت داده‌اند. در نهایت سنگهای آتشفشانی جنوب کهریزک از لحاظ مشخصات سنگ‌شناختی و زمین‌شیمی مشخصات یک جایگاه زمین‌ساختی پشت کمان را نشان می‌دهند.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی عناصر اصلی (درصد) و فرعی (ppm) گدازه‌های جنوب کهریزک، درصد عناصر بر اساس دستورالعمل (Le Bas et al. (1986) پس از محاسبات لازم برای مواد فرار و روش (Le Maitre (1976) برای آهن کل نوشته شده است. آزمایش و تجزیه نمونه‌ها در آزمایشگاه ACME انجام گرفته است.

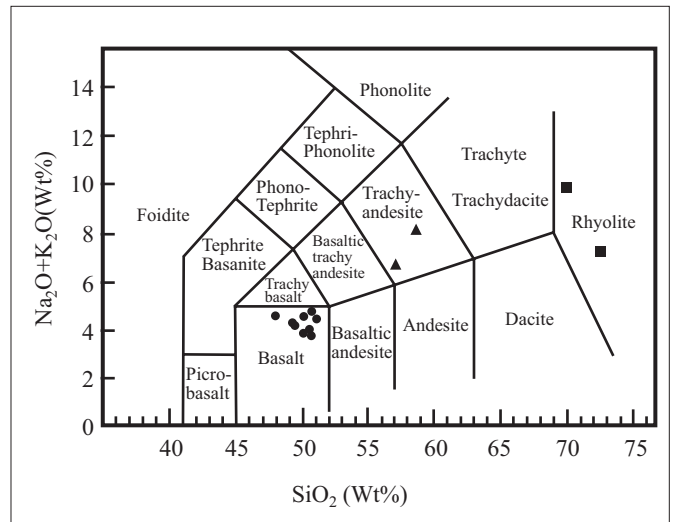
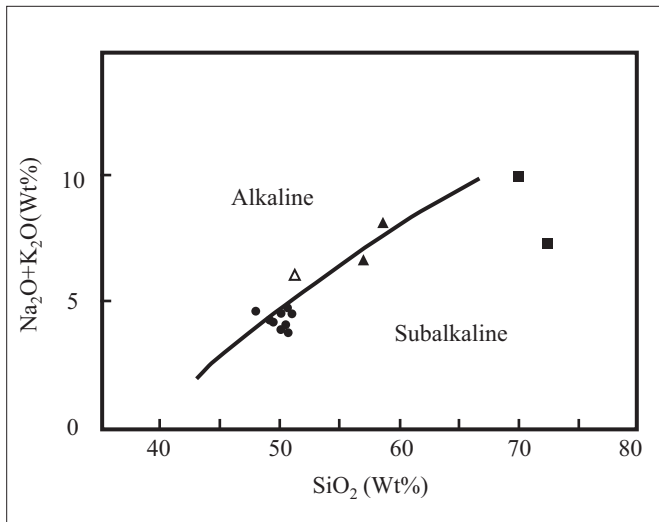
Sample	Basalte									Basaltie trachy andesite			Trachyandesite		Rhyolite	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	2	1	2		
SiO ₂	49.61	50.1	50.68	50.54	50.54	50.95	48.0	50.2	49.5	51.25	57.03	58.65	70	72.56		
Al ₂ O ₃	19.83	17.29	19.49	21	18.47	21.28	17.11	17.81	19.23	21.43	16.39	18.43	14.84	14.18		
K ₂ O	1.34	1.33	1.64	1.22	1.18	1.48	1.75	1.55	1.36	1.4	3.07	3.41	8.07	3.52		
Na ₂ O	2.87	2.58	3.08	2.58	2.89	3.01	2.85	3.01	2.88	4.63	3.54	4.71	1.85	3.75		
CaO	10.82	9.72	9.18	10.77	10.23	9.72	8.06	9.54	10.23	7.55	6.17	4.65	0.34	2.36		
MgO	3.99	6.73	3.84	4.14	4.62	4.03	6.79	4.49	4.21	4.28	2.6	2.27	0.09	0.63		
MnO	0.14	0.15	0.14	0.13	0.15	0.16	0.23	0.14	0.14	0.09	0.1	0.07	0.13	0.05		
FeO	6.25	6.77	6.32	5.35	6.62	5.66	7.18	7.15	6.81	4.79	4.81	3.08	2.27	1.15		
Fe ₂ O ₃	3.69	3.92	3.99	3.08	3.91	2.36	4.27	4.4	4.02	3.45	4.01	3.23	1.43	1.32		
TiO ₂	1.13	1.06	1.28	0.92	1.13	1	2.13	1.33	1.23	0.88	1.44	0.9	0.78	0.39		
P ₂ O ₅	0.3	0.33	0.36	0.26	0.34	0.29	0.98	0.36	0.35	0.25	0.82	0.59	0.15	0.09		
Total	99.99	99.98	100	99.99	99.96	99.94	99.94	99.98	99.96	99.98	99.98	99.99	99.95	100		
U	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.5	0.5	0.7	0.6	0.8	1.6	2.4	4	4.8		
Th	2.6	2	2.7	2.6	2.4	2.5	1.7	2	1.9	2.5	5.4	8.5	15	12.8		
Ta	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	1.8	0.5	0.5	0.3	0.9	1.1	1.4	1.0		
Sr	641.8	603	621	667.6	659.6	713.3	827.9	624.6	689.8	1206.3	586.6	559.4	77.8	406.5		
Sn	1	<1	1	1	<1	1	1	<1	<1	<1	1	2	<1	2		
Rb	30.3	26.4	29.3	24.6	21.9	30.9	19.1	29.9	30.2	22.6	78.3	89.5	194.4	142.8		
Nb	6.9	5.5	6.9	6	6.6	6.4	31.5	7.2	7.7	5.7	15.9	15.2	19	11.9		
Hf	2.2	1.9	2.1	1.7	2.6	2.3	3.5	2.3	2.4	1.7	5.0	5.5	8.1	5.4		
Ga	18.9	18.2	18.6	18	19.8	20.2	19	19.6	20.2	15.6	23	21.1	15.1	14		
Cs	0.5	1	0.5	0.3	0.3	0.3	0.8	0.7	0.3	0.8	1	1.8	1.2	48		
Lu	0.29	0.28	0.32	0.26	0.32	0.23	0.32	0.35	0.34	0.23	0.54	0.59	0.62	0.4		
Co	35.5	48.1	34.3	36.8	43.2	35.9	36.1	43.3	43.2	26.2	20	27.3	22.5	17.9		
Ho	0.72	0.74	0.77	0.63	0.77	0.64	0.92	0.84	0.78	0.57	1.07	1.36	1.24	0.66		
Er	1.98	2.06	2.34	1.73	2.21	1.88	2.64	2.47	2.34	1.6	3.3	3.94	3.69	2.02		
Tm	0.34	0.3	0.3	0.23	0.31	0.27	0.34	3.37	0.32	0.26	0.48	0.6	0.57	0.33		
Yb	1.99	1.92	2.18	1.62	2.15	1.76	2.31	2.49	2.34	1.66	3.25	3.83	4.05	2.37		
Be	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2		
Tb	0.65	0.68	0.71	0.54	0.61	0.53	0.98	0.75	0.69	0.5	0.94	1.36	0.98	0.6		
Gd	4.16	4.16	4.64	3.39	4.43	3.67	6.38	4.67	4.5	3.01	6.67	8.55	5.94	3.37		
Eu	1.36	1.32	1.54	1.18	1.33	1.3	2.27	1.55	1.54	1.04	1.99	2.25	1.37	0.74		
Sm	4.1	4.5	4.4	3.5	4.1	4.2	7.3	5	4.7	3.2	7.5	8.7	6.9	3.7		
Nd	17.1	16.8	18.9	14	17.9	16.7	36.3	20.5	19.8	14.2	35.1	39.4	31.9	19.4		
Pr	3.9	3.92	4.46	3.49	4.32	3.95	8.59	4.6	4.5	3.18	8.82	9.36	8.46	5.23		
Ce	31.8	32.4	36.1	29.8	36.2	32.4	73.1	36.6	36	28	77.5	81.2	76.9	50.8		
La	15	15.7	16.7	14.1	16.7	15	32.8	17.4	16.7	13.4	37.3	37.8	35.1	26.9		
Y	20.4	21.2	22.6	17.1	22.4	19	26.5	25.1	22.8	15.9	32.6	41.3	36.4	26.7		
Zr	75.8	70.3	80.5	67.4	87.3	73.1	142	91.7	85.3	63.8	198.8	197.3	251.6	191.3		
W	95.9	86.3	110.8	125.9	87.7	83.2	41	102.3	124.6	44.7	71.4	65.2	166	131		
Ba	311.2	382	351	295.9	337.7	356.9	474.2	365	320.2	284.1	787.7	694.4	675.1	697.9		
Dy	3.71	3.84	4	2.97	4.09	3.29	5.08	4.65	4.2	2.82	5.57	7.37	5.99	3.27		
V	256	264	278	254	284	274	212	314	307	163	64	181	19	29		



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و برخی توده‌های پیرامون آن را نشان می‌دهد. ساده شده از نقشه زمین‌ساختی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ شمال ایران مرکزی شرکت ملی نفت ایران، بیرون‌زدگی‌های آتشفشانی و آذرآواری (ائوسن) به ترتیب از ۱ تا ۳ شامل کوه‌های اراده (منطقه مورد مطالعه)، دوازده امام و سیاه کوه.

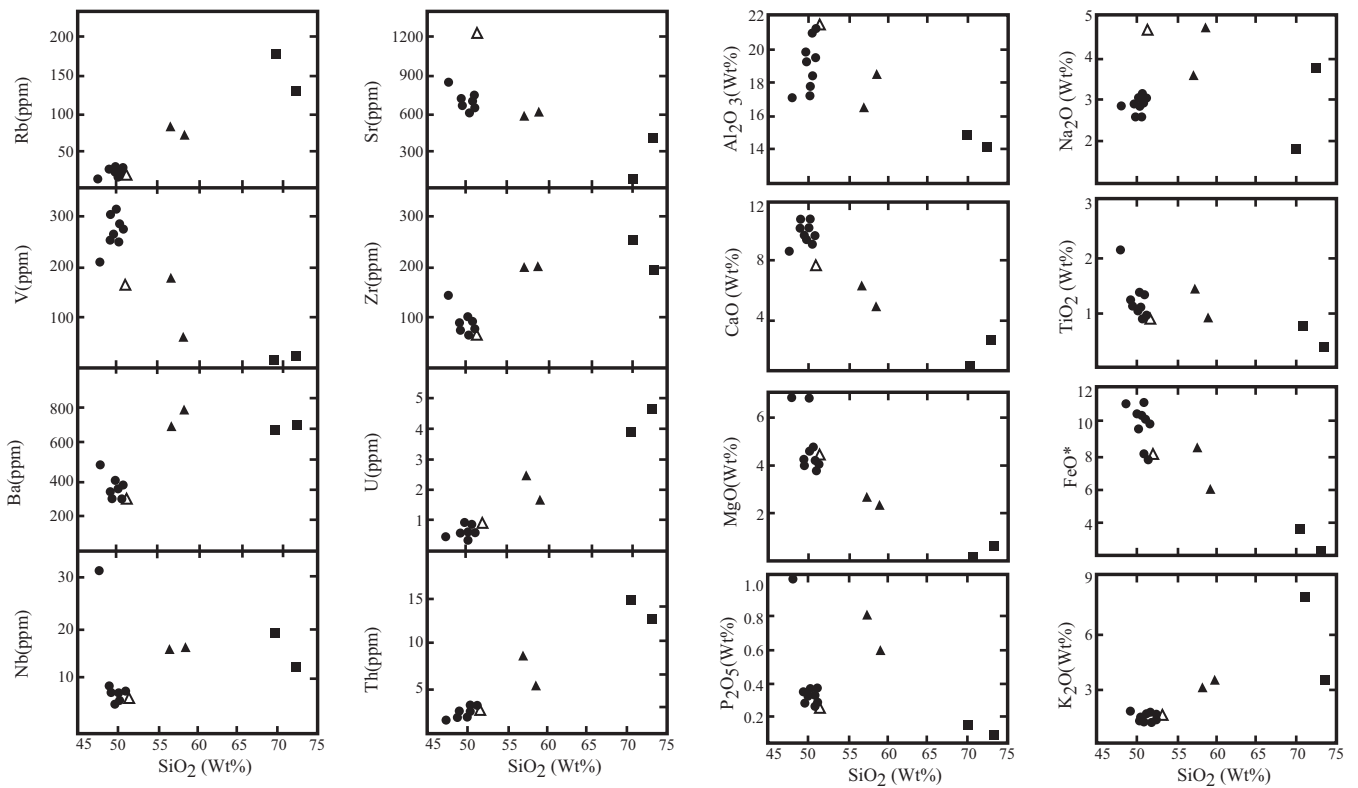


شکل ۲- بافت اوتاکستی در ایگنیمبریت (نور پلاریزه، بزرگ‌نمایی ۴).
 شکل ۳- بافت پرلیتی در داسیت (نور پلاریزه، بزرگ‌نمایی ۲/۵).
 شکل ۴- الف وب) بافت غربالی پلاژیوکلاز در تراکی آندزیتها (نور پلاریزه، بزرگ‌نمایی ۱۰).
 ۴- ج) بافت غربالی کلینوپیروکسن در تراکی آندزیت بازالتی، در حاشیه این کانی زون‌بندی مشاهده می‌شود (نور پلاریزه، بزرگ‌نمایی ۲/۵).
 ۴- د) نمایش حاشیه واکنشی در کلینوپیروکسن یک بازالت (نور پلاریزه، بزرگ‌نمایی ۴).

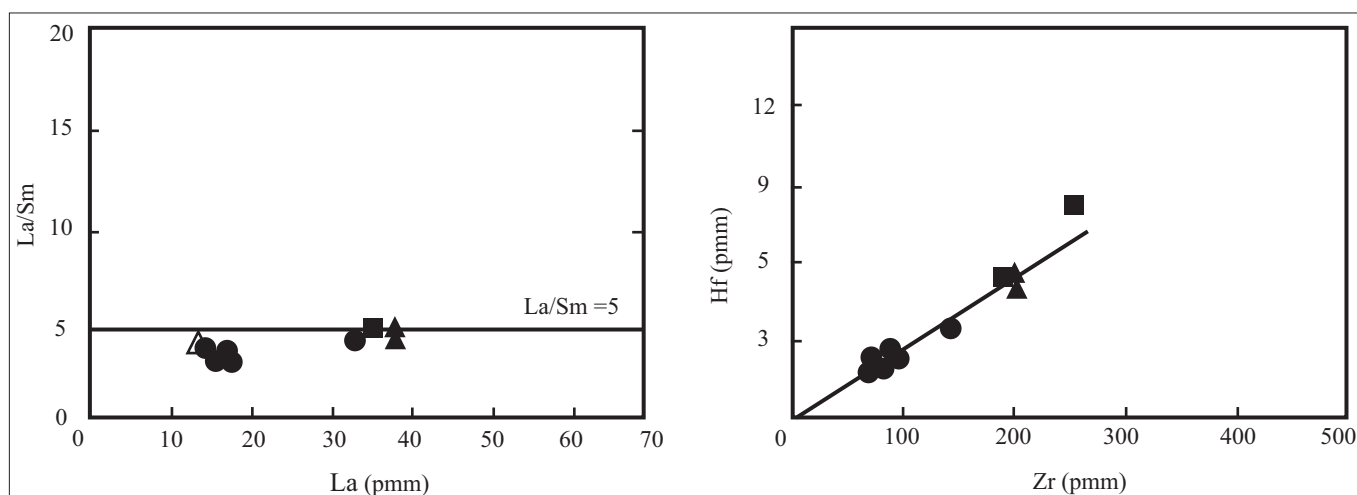


شکل ۶- نمودار قلیایی در برابر سیلیس (Le Maitre et al., 1989).
برای تفکیک قلمروی سربهای قلیایی و نیمه قلیایی از خط
مرزی (Irvine & Baragar, 1971) استفاده شده است.

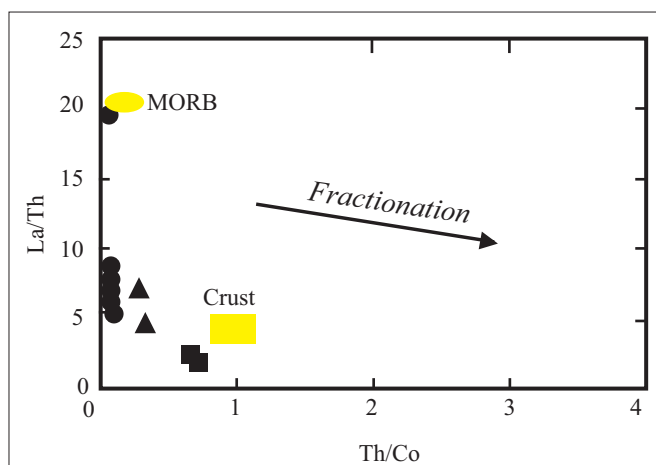
شکل ۵- نامگذاری سنگ‌های آتشفشانی جنوب کهریزک
با استفاده از نمودار (Le Bas et al., 1986).



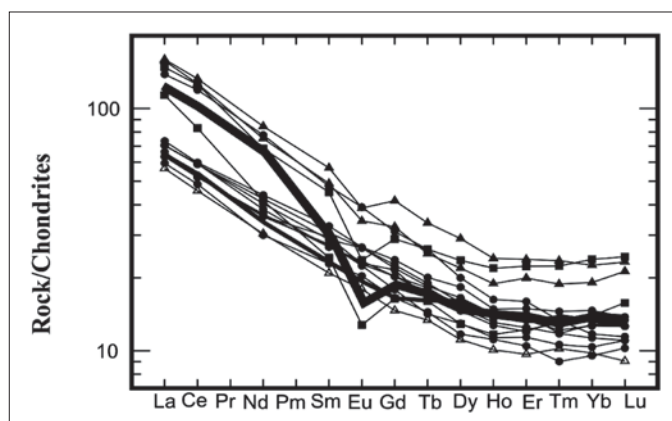
شکل ۷- نمودارهای هارکر، علائم به کار رفته مشابه شکل ۶ می‌باشد.



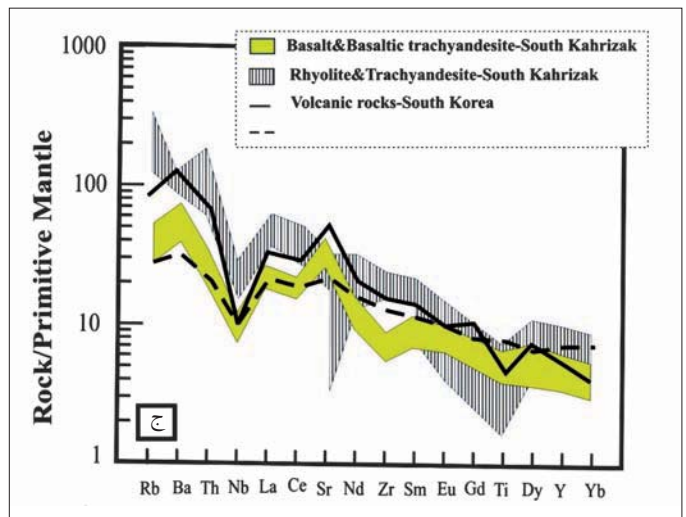
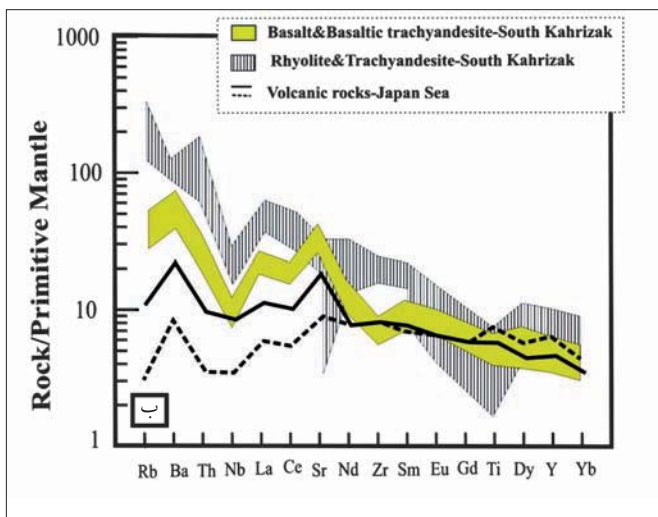
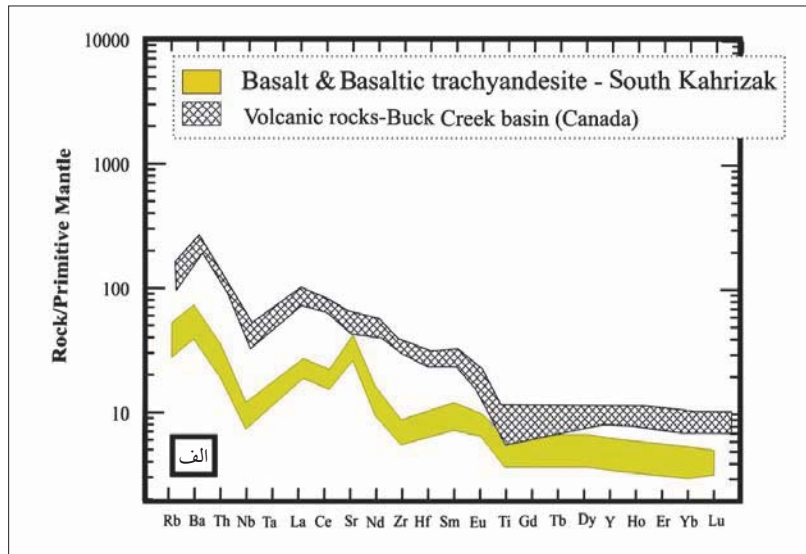
شکل ۸- نمودار Hf در برابر Zr. شکل ۹- نمودار تغییرات نسبت La/Sm در مقابل La (Allegre & Minster, 1978).



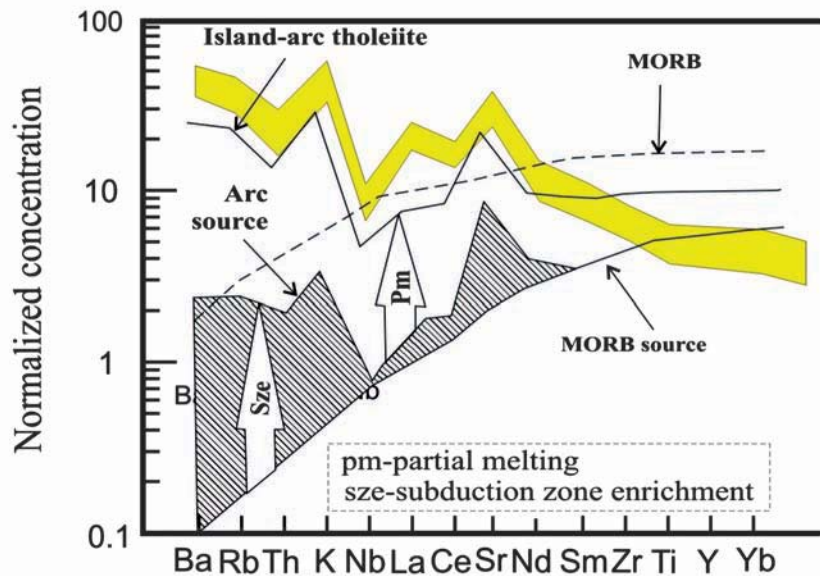
شکل ۱۰- نمودار تغییرات نسبت‌های La/Th در برابر Th/Co (Stevenson et al., 1999). نسبت Th/Co به‌عنوان شاخص تفکیک جزء به جزء است. جهت پیکان روند تفریق را نشان می‌دهد.



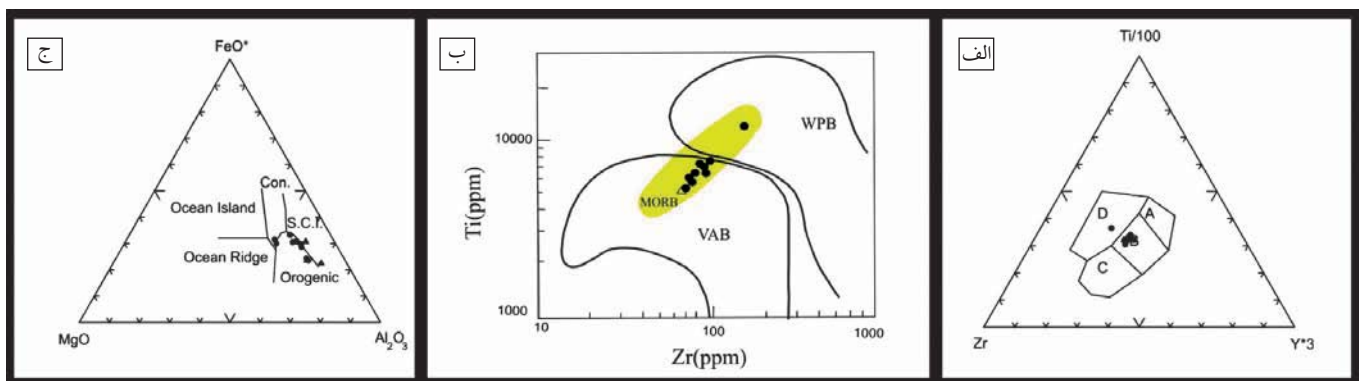
شکل ۱۱- مقایسه فراوانی عناصر خاکی کمیاب سنگهای آتشفشانی جنوب کهریزک که نسبت به کندریت به‌نجار شده‌اند (Sun & McDonough, 1989) با پوسته قاره‌ای (خط نازک تر) و پوسته بالایی (خط ضخیم تر) (Rollinson, 1993) مقایسه شده‌اند (علائم مانند شکل شماره ۹).



شکل ۱۲- الف) سنگهای بازالتی و تراکی آندزیت بازالتی توده آتشفشانی جنوب کهریزک را با سنگهای آتشفشانی ائوسن حوضه کششی داخل کمان Buck Creek کانادا (Dostal et al., 2001) مقایسه می‌کند. شکل ۱۲- ب) سنگهای منطقه بازالتهای حوضه پشت کمان (خط چین) و تولیتهای کافت قاره‌ای (خط پیوسته) میوسن در حوضه یاماتوی ژاپن (Pouclet et al., 1994) مقایسه شده‌اند. گسترش حوضه پشت کمان در منطقه مزبور از مراحل کافتش پیروی می‌کند. در شکل ۱۲- ج) مقایسه‌ای با سنگهای آتشفشانی کرتاسه تا سنوزویک جنوب کره (خط پیوسته حوضه درون کمائی بالغ و خط چین رژیم کششی) (Pouclet et al., 1994) صورت گرفته است.

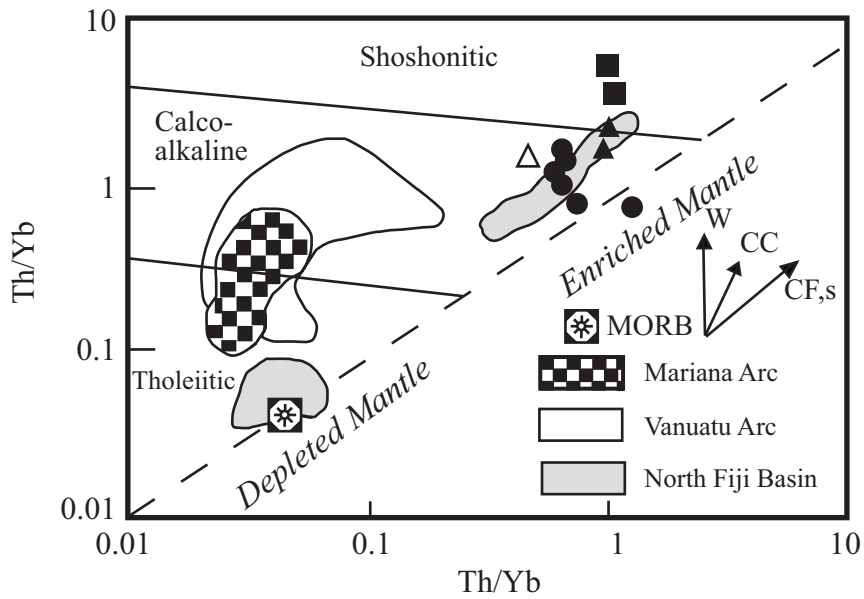


شکل ۱۳- مدل شماتیکی برای تفکیک مشخصات عناصر کمیاب کمان ماگمایی از منشأ MORB (MacDonald et al., 2000). سنگهای بازالتی و تراکی آندزیت بازالتی با محدوده خاکستری مشخص شده است. غنی‌شدگی زون فرورانش (Sze) به عناصر سیال قابل حل با منشأ MORB اضافه شده، به طوری که بوسیله پیکان نشان داده شده است. منشأ غنی شده سپس به طور بخشی ذوب شده (Pm) تا یک تولیت جزایر کمانی اولیه را تولید کند.

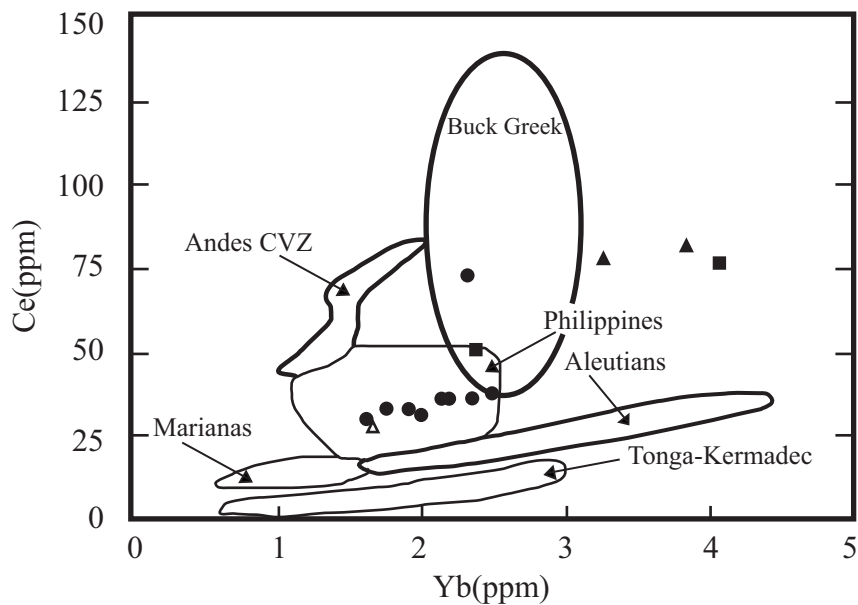


شکل ۱۴- الف) نمودار متمایز کننده Ti-Zr-Y (Pearce & Cann, 1973).

A. محدوده تولیت‌های جزایر کمانی، C بازالت‌های کلسیمی-قلیایی، D بازالت‌های درون صفحه‌ای و B محدوده MORB، تولیت‌های جزایر کمانی و بازالت‌های کلسیمی-قلیایی است. ب) نمودار لگاریتمی Ti - Zr که محدوده بازالت‌های کمان آتشفشانی (VAB)، MORB و بازالت‌های درون صفحه‌ای (WPB) را نشان می‌دهد (Pearce, 1983). ج) نمودار $MgO-FeO-Al_2O_3$ (Peate et al., 1977)، بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی؛ Ocean Island، بازالت‌های جزایر اقیانوسی؛ Con بازالت‌های قاره‌ای؛ S.C.I. بازالت‌های جزیره مرکز گسترش؛ Orogenic، بازالت‌های کوهزایی است.



شکل ۱۵- نمودار $Th/Yb - Ta/Yb$ ، تقسیم‌بندی جزئی‌تر در محدوده بازتهای کمان آتشفشانی به انواع تولیتی، کلسیمی- قلیایی و شوشونیتی، در این نمودار صورت گرفته است. W ، غنی‌شدگی از یک فاز سیال؛ CC ، آرایش پوسته‌ای؛ CF ، تفریق بلوری؛ s ، غنی‌شدگی که به منشأ مربوط می‌شود. در این شکل مقایسه‌ای بین سنگهای جنوب کهریزک با کمان وناتو و حوضه شمال فیجی (Peate et al., 1997) و کمان ماریانا (Elliott et al., 1997) صورت گرفته است (Rolland et al., 2000).



شکل ۱۶- نمودار تغییرات $Ce - Yb$. قلمروی سنگهای آتشفشانی حوضه Buck Creek در کانادا (Hawkesworth et al., 1993) و همچنین قلمروی کمانهای اقیانوسی (Aleutians, Marianas, Tonga-Kermadec) جزایر کمانی (Philippines) و کمان قاره‌ای (Andes - Central Volcanic Zone) در شکل مشخص شده است (Dostal et al., 2001). سنگهای آتشفشانی جنوب کهریزک در محدوده‌ای به دور از کمان قاره‌ای قرار گرفته‌اند (علامت مانند شکل شماره ۹).

کتابنگاری

- بربریان، م. و یاسینی، ۱۳۶۲- گوناگونی و گسترش رخساره‌ای و خط‌های کلی پارینه جغرافیایی نوژن در ایران زمین. در: مر، ف. و مدبری، س. (۱۳۸۰) زمین ساخت صفحه‌ای و فرایندهای زمین‌شناختی. ۴۴۶، انتشارات کوشامهر
- بنی طباء بیدگلی، ع. ۱۳۶۸- مطالعه پتروگرافی و پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه آتشفشانی منطقه سیاه کوه (شمال شرق دریاچه نمک)، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.
- حسینی، م. ۱۳۶۷- پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه آتشفشانی منطقه دوازده امام (شمال دریاچه نمک)، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.
- رضوی، م. ح. ۱۳۵۳- بررسی کانسار منگنز محمد آباد و سنگهای اطراف آن (جنوب تهران - منطقه حسن آباد)، رساله کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه تهران.
- روان بد، ب. ۱۳۶۶- مطالعه متالورژی کانسار منگنز رباط کریم از دیدگاه ژئوشیمیایی، رساله کارشناسی، دانشگاه تهران.
- طوطی، ف.، و بازرگانی گیلاتی، ک.، و یزدانی، س.، ۱۳۸۳- سنگ‌شناسی توده آتشفشانی زئولیت‌دار جنوب کهریزک (جنوب تهران) با نگرشی به منشأ آنالسیم، خلاصه مقالات بیست و سومین گردهمایی علوم زمین.

References

- Alison, M. Raos. & Crawford, A. J., 2004 - Basalts from the Efate Island Group, central section of the Vanuatu arc, SW Pacific: geochemistry and petrogenesis. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 134: 35-36.
- Allegre, C. & Minster, J. F., 1978- Quantitative models of trace element behaviour in magmatic processes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 38: 1-25.
- Bazargani-Guilani, K. & Rabbani, M. S., 2004 - Amigdaloidal and other cavity filling Zeolites of Kuh-e-Arاده, Central Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran.*, 152:149-157.
- Berberian, M., 1983- The southern Caspian: A compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust. *Canada Journal of Earth Science.* 20: 163-183.
- Dostal, J., Church, B. N., Reynolds, P. H. & Hopkinson, L., 2001- Eocene volcanism in the Buck Creek basin, central British Columbia (Canada): transition from arc to extensional volcanism. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 107: 149-170.
- Draper, D. S. & Johnston, A. D., 1992- Anhydrous PT phase relations of an Aleutian high-MgO basalt: an investigation of the role of olivine-liquid reaction in the generation of arc high-alumina basalts. In: Macdonald, R., Hawkesworth, C. J. and Heath, E., 2000-The Lesser Antilles volcanic chain: a study in arc magmatism. *Earth-Science Reviews*, 49: 1-76.
- Elliott, T., Plank, T., Zindler, A., White, W., Bourdon, B., 1997- Element transport from slab to volcanic front at the Mariana arc. *J. Geophys. Res.* 102:14991-15019.
- Gioncada, A., Mazzuoli, R., Bisson, M. & Pareschi, M. T., 2003- Petrology of volcanic products younger than 42 ka on the Lipari-Vulcano complex (Aeolian Islands, Italy): an example of volcanism controlled by tectonics. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 122:191-220.
- Hassanzadeh, J., Guest, B. & Ghaszi, A. M., 2003- Tertiary magmatic arcs of Iran: a new interpretation. Submitted to *Geology Society of America monthly Journal*.
- Hawkesworth, C. J., Gallagher, K., Hergt, J. M. & McDermott, F., 1993a- Mantle and slab contributions in arc magma. *Geology.* 17: 46-49.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth. Sci.*, 8: 523-548.
- Juteau, T. & Maury, R., 1997- *Geologie de la Croute Oceanique: Petrologie et Dynamique Endogenes*, 569p.
- Krauskopf, K. B. & Bird, D. K., 1995- *Introduction to geochemistry*. McGraw-hill, Inc. 647p.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. & Zannettin, B., 1986- A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali- silica diagram, *Journal. Petrol.*, 27: 745-750.
- Le Maitre, R. W., 1976- Some problems of the projection of chemical data in to mineralogical classifications, *Contrib.Mineral. Petrol.*, 56: 181-189.



- Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lamaeyre LeBas, M. J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorenson, H., Streckeisen, A., Woolley, A. & Zanettin, B., 1989- A classification of rocks and glossary of terms. Blackwell Science, Axford, 193p.
- Macdonald, R., Hawakesworth, C. J. & Heath, E., 2000- The Lesser Antilles volcanic chain: a study in arc magmatism. *Earth-Science Reviews*. 49: 1-76.
- Nakagawa, M., Wada, K. & Wood, C. P., 2002- Mixed magmas, mush chambers and eruption triggers; evidence from zoned clinopyroxene phenocrysts in Andesitic scoria from the 1995 eruptions of Ruapehu volcano, New Zealand. *Journal of petrology*. 43,12: 2279-2303.
- Nelson, T. S. & Montana, A., 1992- Sieve-textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression. *American Mineralogy*. 77: 1242-1249.
- Pearce, J. A. & Cann, J. R., 1973- Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 19: 290-300.
- Pearce, J. A., 1983- Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Rollinson, h. R., 1993- *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. John Wiley and Sons, 325p.
- Peate, D.W., Pearce, J.A., Hawkesworth, C.J., Colly, H., Edwards, C.M.H., Hirose, K., 1997- Geochemical variations in Vanuatu Arc lavas: the role of subducted material and a variable mantle wedge composition. *J. Petrol.* 10: 1331-1358.
- Pichavant, M., 1993- Anatexis crustale et volcanisme. In: Juteau, T. and Maury, R., 1997- *Geologie de la Croute Oceanique: Petrologie et Dynamique Endogenes*, 569p.
- Poucllet, A., Lee, J., Vidal, P., Cousens, B. & Bellon, H., 1994 - Cretaceous to Cenozoic volcanism in South Korea and in the Sea of Japan: magmatic constraints on the opening of the back-arc basin. In J. L., S., ed., *Volcanism associated with extension at consuming plate margins*. Geology Society of London. 169-191.
- Rieben, H., 1955- The geology of the Tehran plain. *American Journal of Science*. 253:617-639.
- Rolland, Y., Pecher, A. & Picard, C., 2000- Middle Cretaceous back-arc formation and arc evolution along the Asian margin: the Shyok Suture Zone in northern Ladakh (NW Himalaya). *Tectonophysics*. 325: 145-173.
- Rollinson, h. R., 1993- *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. John Wiley and Sons, 325p.
- Sakuyama, M., 1979- evidence of magma mixing: petrological study of Shirouma-Oike calc-alkaline andesite volcano, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 5: 179-208.
- Stevenson, R., Henry, P. & Garipey, C., 1999- Assimilation-fractional crystallization origin of Archean Sautoid Sutures: Western Superior Province, Canada. *Precambrian Res.*, 96: 83-99.