Archive of SID

پتـــــرولوژی، سال ششم، شماره بیست و چهارم، زمستان ۱۳۹۴، صفحه ۱۵۱-۱۷۰
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۳

پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز توده‌های نیمه آتشفشانی مدوار و شاه‌خیراله واقع در شمال و جنوب‌شرق مرکزی شهرستان شهر بابک (کرمان)

فرزانه ارژنگ‌نژاد، عباس مرادیان * و زینب کشتکار
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

چکیده
توده‌های نیمه آتشفشانی مدوار و شاه‌خیراله در جنوب‌شرق پهنه ماگمایی ارومیه-دختر، شمال‌غرب نوار دهج-ساردوئیه و به ترتیب در شمال و جنوب‌شرق شهرستان شهر بابک قرار دارند. سنگ‌های تشکیل‌دهنده این توده‌ها (مدوار و شاه‌خیراله) ریولیت، ریوداسیت و داسیت هستند. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها شامل: پلاژیوکلاز، آمفیبول، آلکالی فلدسپار، بیوتیت و کوارتز با بافت پورفیری است. در پلاژیوکلازها ویژگی‌هایی مانند: انحلال و منطقه‌بندی و در کانی‌های آب‌دار تیره اغلب حاشیه سوخته مشاهده می‌شود. تمامی نمونه‌ها به سری ماگمایی آهکی- قلیایی متعلق بوده و در موقعیت تکتونیکی حاشیه فعال قاره‌ای قرار دارند. نمودارهای عنکبوتی سنگ‌های این مناطق غنی‌شدگی بارزی از LREE نسبت به HREE و نیز K و Sr و تهی‌شدگی از Nb، P، Pb، Pr، Ti، Y و Zr نشان می‌دهند. بی‌هنجاری منفی Nb، Ta و Ti در این سنگ‌ها مشابه ویژگی‌های سنگ‌های مرتبط با فرورانش است. مقادیر Cr، MgO، Na_2O و Ni، عدد Mg، فقیرشدگی سنگ‌ها از Y، بالا بودن نسبت‌های LREE/HREE و نسبت Sr/Y (میانگین ۱۳۷/۲۶) و نسبت La/Yb (میانگین ۵۰)، با مذاب‌های آداکیتی حاصل از ذوب بخشی پوسته اقیانوسی جوان شبیه است. بازنگری ویژگی‌های ژئوشیمیایی برای هر دو منطقه بیانگر ذوب‌بخشی پوسته اقیانوسی فرورو قبل از آب‌گیری پوسته است و مقادیر پایین HREE، TiO_2، Y و Yb در هر دو منطقه با ذوب‌بخشی آمفیبولیت‌های حاصل از فرورانش سنگ‌کره اقیانوسی در ژرفای ۳۵ کیلومتری سازگار است.

واژه‌های کلیدی: ماگمای آهکی-قلیایی، آداکیت، حاشیه فعال قاره‌ای، توده نیمه آتشفشانی مدوار و شاه‌خیراله، نوار دهج-ساردوئیه

مقدمه

توده نیمه آتشفشانی مدوار در ۱۶ کیلومتری شمال شهرستان شهر بابک قرار دارد و در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شهر بابک بین طول‌های جغرافیایی $55^{o}05^{'}$ تا $55^{o}10^{'}$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $30^{o}13^{'}$ تا $30^{o}17^{'}$ شمالی قرار دارد. توده نیمه آتشفشانی شاه‌خیراله در ۱۱ کیلومتری غرب معدن مس سرچشمه و بین طول‌های جغرافیایی

* moradian@mail.uk.ac.ir
Copyright©2015, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

www.SID.ir

Archive of SID

'۵۵°۴۱ تـا '۵۵°۴۴ شـرقی و عـرض‌هـای جغرافیـایی '۲۹°۶۷ تـا '۲۹°۶۹ شـمالی واقـع شـده اسـت. از لحـاظ تقسـیم‌بنـدی زمـین‌شناسـی هـر دو منطقـه در پهنـه ایـران مرکـزی، جنـوب‌شـرق پهنـه ماگمـایی ارومیـه-دختـر و شمال‌غـرب نـوار دهـج-سـاردوئیه بـه فاصلـه ۵۰ کیلـومتر از یکـدیگر در اسـتان کرمـان قـرار دارنـد. در چند سـال اخیـر پـژوهش‌هـای زیـادی روی نـوار دهـج-سـاردوئیه انجـام شـده اسـت. Shahabpour (۲۰۰۷) بـا بررسـی سـنگ‌هـای آتشفشـانی منطقـه شـهر بابـک و سرچشـمه بـه قرارگیـری ایـن سـنگ‌هـا در سـری آهکـی-قلیـایی اشـاره کـرده اسـت. Taghipour (۲۰۰۷) بـا مطالعـه کانسـار مـس پـورفیری میـدوک، کـانی‌زایـی نـوع پـورفیری را مـرتبط بـا پلوتونیسـم دو مرحلـه‌ای بـا سرشـت آهکـی-قلیـایی مـی‌دانـد. Ghadami (۲۰۰۸) بـا مطالعـه تـوده‌هـای گرانیتوئیـدی، آتشفشـانی و نیمـه آتشفشـانی شـمال‌غـرب شهرسـتان شـهر بابـک منشـأ آنهـا را گارنـت–آمفیبولیـت حاصـل از دگرگـونی پوسـته اقیانوسـی مـی‌دانـد. از جملـه افـرادی کـه در قالـب پایـان‌نامـه کارشناسـی ارشـد روی تـوده‌هـای نیمـه آتشفشانی واقـع در نـوار دهـج-سـاردوئیه کـار کـرده‌انـد مـی‌تـوان بـه: Bahreini (۲۰۱۲) و Esmaeili (۲۰۱۲) اشـاره کـرد. در پـژوهش حاضـر سـعی شـده است بـا بررسـی‌هـای سـنگ‌شناسـی و ژئوشـیمیایی هـر دو منطقـه مـدوار و شـاه‌خیرالـه و مقایسـه آنهـا بـا یکـدیگر یـک مـدل پتروژنتیکـی همخـوان بـا کلیـه داده‌هـای حاصـل از تجزیـه ارایـه شـود. نقشـه موقعیـت منـاطق مـدوار و شـاه‌خیرالـه روی نـوار دهـج-سـاردوئیه و راه‌هـای دسترسـی بـه هـر دو منطقـه در شـکل ۱-A و B آمده است.

زمین‌شناسی منطقه

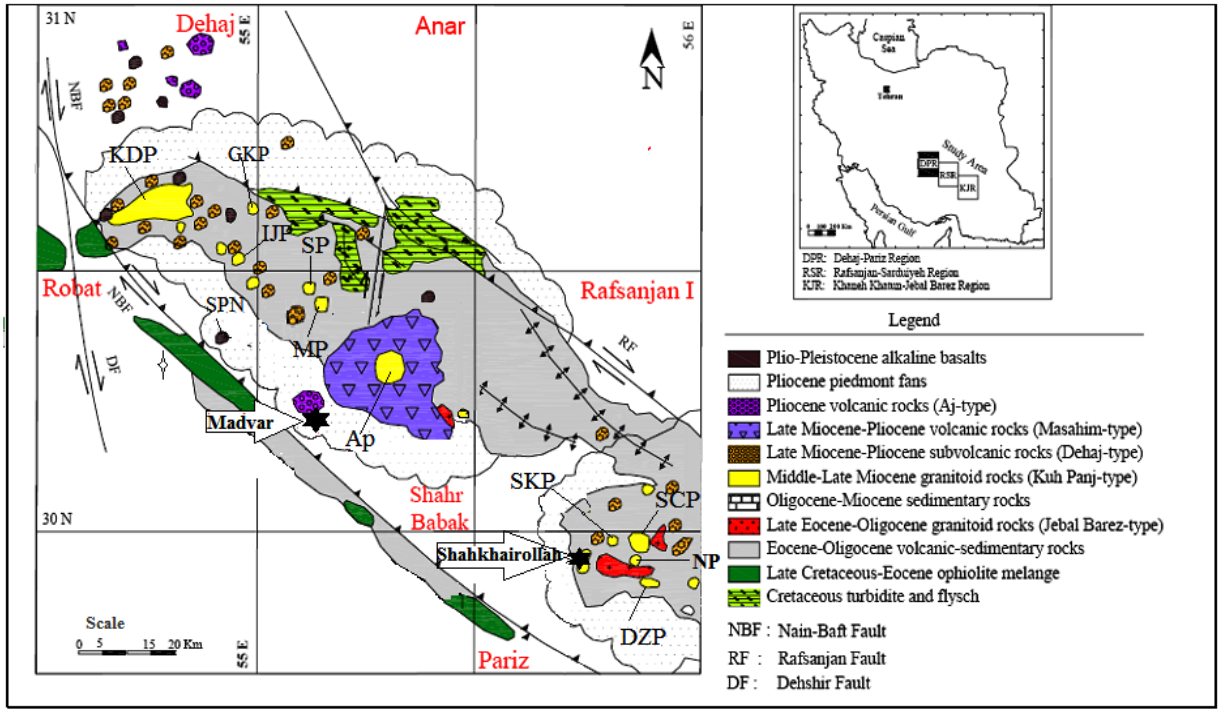
مطالعـات صـحرایی: تـوده‌هـای نیمـه آتشفشـانی مـدوار و شـاه‌خیرالـه در پهنـه ایـران مرکـزی، جنـوب‌شـرق پهنـه ماگمـایی ارومیـه-دختـر و در مجموعـه رازک (Dimitrijevic, 1973) قـرار گرفتـه‌انـد. ایـن تـوده‌هـا در صـحرا بـه رنـگ هـوازده قهـوه‌ای روشـن و خاکسـتری تیـره دیـده مـی‌شـوند. جنس ایـن تـوده‌ها بیشـتر داسـیتی بـا بافـت پـورفیری اسـت کـه کـانی‌هـای درشـت پلاژیـوکلاز، آمفیبـول و مقـدار انـدکی کـانی بیوتیـت در نمونـه دسـتی قابـل مشـاهده اسـت. تـأثیر محلـول‌هـای هیـدروترمال در تـوده نیمـه آتشفشـانی شـاه‌خیرالـه بسـیار زیـاد بـوده اسـت. بـه گونـه‌ای کـه دگرسـانی کـائولینیتی ناشـی از دگرسـانی فلدسـپارهـا در آن بـه وضـوح مشـاهده مـی‌شـود و مـی‌توانـد پتانسـیل خـوب معـدنی از نظـر کـائولن بـه شـمار رود. پدیـده‌ای کـه در تـوده نیمـه آتشفشـانی مـدوار بسـیار بـه چشـم مـی‌آیـد، فرسـایش تـافونی ناشـی از تـأثیر آب و بـاد در ایـن منطقـه اسـت. عـلاوه بـر ایـن، درزهـای انقباضـی بسـیاری در ایـن رخنمون‌ها وجود دارد.

روش انجام پژوهش

این پـژوهش بـر مبنـای مشـاهدات صـحرایی، مطالعـه مقـاطع نـازک و تعبیـر و تفسـیر نتـایج تجزیـه‌هـای شـیمیایی انجـام شـده اسـت. بـه ایـن منظـور، پـس از برداشـت‌هـای صـحرایی و تهیـه ۱۵۰ نمونـه مقطـع نازک، پـژوهش هـای پتروگرافـی بـه وسـیله میکروسـکوپ پلاریـزان در دانشـگاه شـهید بـاهنر کرمـان انجـام شـد. بـرای انجـام تجزیـه شـیمیایی بـا روش ICP-MS (طیف‌سـنج جرمـی، بـرای انـدازه‌گیـری عناصـر کمیـاب و نـادر خـاکی) و ICP-AES (طیـف‌سـنج نشـری بـرای انـدازه‌گیـری عناصـر اصـلی) تعـداد ۲۵ نمونـه سـنگی بـا کمتـرین دگرسـانی از طریـق شـرکت کـان‌پـژوه بـه شـرکت SGS کانـادا ارسـال شـد و نتـایج حاصـل در نمودارهای مختلف به کار برده شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- A) نقشه زمین‌شناسی پهنه دهج-پاریز در بخش شمال‌غرب پهنه ماگمایی سنوزوئیک کرمان و موقعیت توده‌های نیمه‌آتشفشانی مدوار و شاه‌خیراله به همراه توده‌های مشابه آنها برگرفته از Bahrambeigi (۲۰۱۲). SP= توده گرانیتوئیدی کوه سارا؛ SPN= توده کوارتزدیوریت پورفیری سرنو؛ KDP= توده گرانیتوئیدی کدر؛ IJP= توده کوارتزدیوریتی ایجو؛ NP= توده دیوریت پورفیری نوچون؛ SKP= توده گرانودیوریت سرکوه؛ DZP= توده گرانودیوریت پورفیری دره‌زار؛ MP= میدوک پورفیری؛ SCP= سرچشمه پورفیری؛ GKP= توده گرانودیوریت پورفیری گود کلواری

شکل ۱- B) نقشه راه‌های دسترسی به منطقه مدوار و شاه‌خیراله (Complication of Gitashenasi, 2006)

www.SID.ir

Archive of SID

پتروگرافی

با مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک، سنگ‌های تشکیل‌دهنده توده نیمه آتشفشانی مدوار در محدوده ریولیت، ریوداسیت و داسیت و سنگ‌های توده نیمه آتشفشانی شاه‌خیراله در محدوده داسیت قرار می‌گیرند. این سنگ‌ها در نمونه دستی به رنگ‌های خاکستری و گاهی صورتی بوده و بیشتر آنها دارای بافت پورفیری هستند. بیشتر نمونه‌ها از کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، آمفیبول (هورنبلند، با توجه به زاویه خاموشی ۱۲ درجه) و بیوتیت به صورت درشت‌بلور، کوارتز و آلکالی‌فلدسپار (بیشتر در زمینه و ریزبلور) تشکیل یافته‌اند.

داسیت‌ها: این سنگ‌ها در نمونه دستی به رنگ خاکستری دیده می‌شوند که بیشتر از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، آمفیبول، بیوتیت و کوارتز تشکیل شده‌اند و بیشتر دارای بافت پورفیری و میکروپورفیریک با خمیره هیالومیکرولیتک هستند و بافت‌های میکروسکوپی گلومروپورفیریک نیز در آنها شناسایی شده است (شکل ۲-A و B). کانی‌های فرعی این گروه سنگی آپاتیت، کانی‌های تیره و کانی‌های دگرسانی شامل: سریسیت،کلریت و کلسیت است.

پلاژیوکلاز: این کانی به دو صورت درشت‌بلور و ریزبلور (در زمینه)، فراوان‌ترین کانی تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها است و بیشتر از نوع آندزین تا اولیگوکلاز بر اساس زاویه خاموشی ۲۵ تا ۲۸ درجه، بر گرفته از روش Wright (۱۹۵۱) است. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز با اندازه یک تا پنج میلی‌متر حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد حجمی سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد. ماکل پلی‌سنتتیک، کارلسباد-پلی‌سنتتیک، منطقه‌بندی، ساخت خلیجی و بافت غربالی از دیگر ویژگی‌های این کانی است (شکل ۲-C و D). دلایل متعددی برای بافت غربالی بیان شده است که می‌توان به مواردی مانند: الف) رشد اسکلتی، ب) کاهش سریع فشار (Stephen *et al.*, 1992) و اختلاط ماگمایی (Tsuchiyama, 1985) اشاره کرد. بافت غربالی در سنگ های مناطق مدوار و شاه‌خیراله ناشی از رشد اسکلتی نیست. زیرا در رشد اسکلتی به عنوان نتیجه‌ای از فروچاهیدگی (Kirkppqtric, 1992) در ادخال‌ها موازی یا عمود بر تیغه‌های ماکل مکرر می‌گیرند یا این که در ادخال‌ها مرز بین بلور را در یک تجمع بلورین قطع می‌کنند (Dungan *et al.*, 1978). زیرا این پدیده در سنگ‌های مدوار و شاه‌خیراله دیده نشده است؛ بنابراین، نمی‌توان به نظریه اول نسبت داد. در مورد نظریه سوم نیز شواهدی مبنی بر اختلاط ماگمایی مانند: حضور تکه‌های مجزای ماگمایی و زنوکریست‌های نامتعادل با مجموعه کانی‌شناسی سنگ‌ها، لخته‌های تیره، آپاتیت سوزنی‌شکل و حاشیه‌های واکنشی در اطراف بلورها مشاهده نشده است. بنابراین، نمی‌توان بافت غربالی در سنگ‌های مدوار و شاه‌خیراله را ناشی از اختلاط ماگمایی دانست. به نظر می‌رسد علت بافت غربالی در سنگ‌های مناطق مدوار و شاه خیراله بیشتر به دلیل کاهش سریع فشار باشد که از دیگر شواهد ناشی از افت فشار می‌توان به ناپایداری کانی‌های هورنبلند و بیوتیت و تشکیل حاشیه‌های واجذبی یا رنگ سیاه و حاشیه سوخته اشاره کرد.

کانی‌های آب‌دار تیره (آمفیبول): درشت‌بلورهای شکل‌دار و نیمه شکل‌دار آمفیبول فراوان‌ترین کانی‌های آهن و منیزیم‌دار این سنگ‌ها هستند. متوسط اندازه این بلورها بین (۰/۵تا ۲) میلی‌متر است و حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد حجمی سنگ‌ها را پر می‌کند. این بلورها چندرنگی بالایی داشته و با توجه به زاویه خاموشی اندک (۱۲ تا ۱۵) درجه از نوع هورنبلند هستند. فرآیند اپاسیته‌شدن روی این بلورها تأثیر زیادی گذاشته است (شکل ۲-E). در بعضی

www.SID.ir

Archive of SID

موارد، ساخت خلیجی در این بلورها مشاهده می‌شود (شکل ۲-F). بعضی از پژوهشگران معتقد هستند که حاشیه سوخته بلورهای هورنبلند به دلیل اکسایش آنها در شرایط اکسیژن بالا است. Wones و همکاران (۱۹۶۵) و برخی دیگر علت آن را کاهش فشار در اثر نزدیک شدن ماگما به سطح زمین، خروج گازهای ماگمایی و بالا رفتن سرعت سردشدگی و چسبندگی ماگما می‌دانند (Rittmann, 1973؛ Shelly, 1993).

بیوتیت‌ها: این کانی آب‌دار درصد کمتری نسبت به هورنبلندها دارد و بیشتر به صورت شکل‌دار و صفحه‌ای با رخ مشخص در نمونه‌ها یافت می‌شود. متوسط اندازه آنها ۱ تا ۲ میلی‌متر بوده و حدود ۵ درصد حجمی سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد. در بعضی موارد این کانی مانند کانی آمفیبول از فرآیند اپاسیته شدن در امان نمانده است.

کوارتز: به صورت درشت‌بلور و ریزبلور در زمینه حضور دارد. درشت‌بلورهای کوارتز با اندازه یک تا دو میلی‌متر، بیشتر گردشده با ساخت خلیجی در این سنگ‌ها دیده می‌شود. این ساخت خلیجی حاصل رشد غیر تعادلی و انحلال ناشی از کاهش فشار و مواد فرار در حین صعود ماگما به سطح زمین است (Shelly, 1993). علاوه بر این، ساخت خلیجی می‌تواند به علت تغییر حالت یوتکتیک کوارتز-فلدسپار آلکالن در ارتباط با تغییر فشار به ویژه فشار بخار آب باشد که در این حالت فشار بخار آب سبب پایین آمدن منحنی کوتکتیک و تشکیل یوتکتیک و در نتیجه ناپایداری و انحلال کوارتز می‌شود (Shelly, 1993). مقدار بلورهای کوارتز در داسیت‌ها اندک (کمتر از ۵ درصد) است و بیش از ۲۰ درصد به صورت دانه ریز در زمینه سنگ حضور دارد (شکل ۲-G).

آلکالی فلدسپار: این کانی حداکثر ۵ تا ۱۰ درصد حجمی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد و به صورت ماکل‌دار و شکل‌دار با ابعاد حدود یک میلی‌متر به صورت میکرولیت در زمینه سنگ‌ها دیده می‌شود. بعضی از آنها دارای ماکل ساده هستند. بیرفرنژانس پایین و سطح صاف دارند و ممکن است از نوع سانیدین باشند. اما به طور کلی، تشخیص آنها در زیر میکروسکوپ خالی از اشکال نیست (شکل ۲-H).

ریولیت‌ها: آلکالی‌فلدسپار، پلاژیوکلاز، کوارتز، هورنبلند، بیوتیت از کانی‌های اولیه موجود در ریولیت‌ها هستند و از کانی‌های حاصل از دگرسانی می‌توان به کلسیت، سریسیت و کلریت اشاره نمود. بافت کلی این سنگ‌ها، پورفیری و میکروپورفیری است و گاهی بافت جریانی بسیار ظریفی در قالب فلدسپارهای تیغه‌ای‌شکل در این سنگ‌ها دیده می‌شود.

آلکالی فلدسپارها: بیشتر از نوع سانیدین هستند و حدود ۴۰ درصد حجمی سنگ را شامل می‌شود و اندازه کلی آن یک تا دو میلی‌متر است.

پلاژیوکلاز: حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد حجمی سنگ را تشکیل می‌دهد و به صورت درشت‌بلور (تخته‌ای) نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار با اندازه حدود ۴ میلی متر و میکرولیتی با اندازه کمتر از ۰/۵ میلی‌متر دیده می‌شود. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز دارای ساختار منطقه‌بندی، ماکل پلی‌سنتتیک، کارلسباد-پلی‌سنتتیک و همچنین، بافت غربالی هستند.

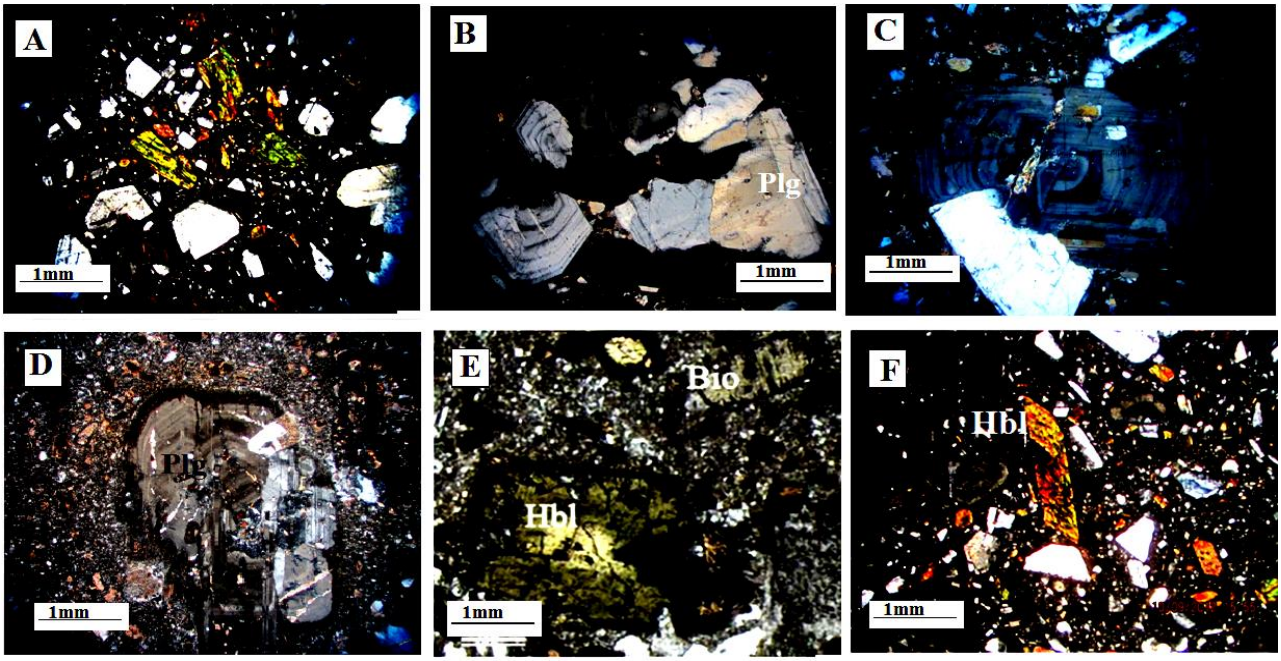
کوارتز: حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد حجمی سنگ را تشکیل می‌دهد و به صورت بلورهای بی‌شکل، هم‌بعد و دانه‌ریز با اندازه ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر دیده می‌شود. بعضی از درشت‌بلورهای کوارتز دارای ساخت خلیجی هستند که می‌تواند ناشی از رشد غیر تعادلی و تأثیر انحلال ناشی از کاهش فشار در حین صعود ماگما باشد (Shelly, 1993). کانی‌های تیره آب‌دار مثل: هورنبلند و بیوتیت به صورت درشت‌بلور و ریزبلور در زمینه سنگ حضور دارند و در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد حجمی سنگ را تشکیل

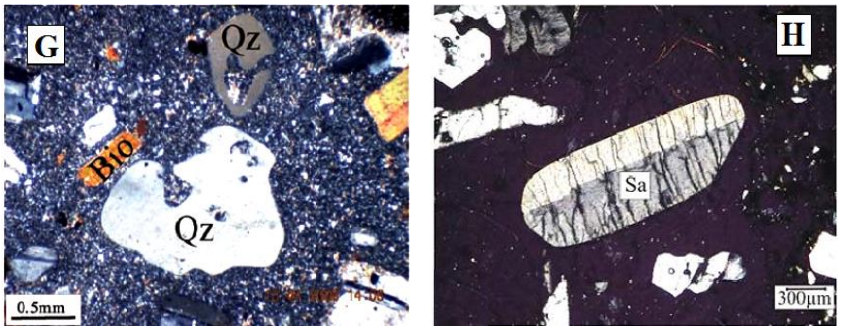
www.SID.ir

Archive of SID

مـی‌دهنـد. ایـن کـانی‌هـا شـکل‌دار تـا نیمـه‌شـکل‌دار هسـتند. کـانی‌هـای فرعـی کمتـر از ۵ درصـد حجمـی سـنگ را تشـکیل مـی‌دهنـد کـه کـانی‌هـای تیـره فراوان‌ترین آنها هسـتند. کـانی‌هـای تیـره بـا انـدازه‌ای کمتـر از یـک میلـی‌متـر، نیمـه شـکل‌دار تـا شـکل‌دار بـوده و بـه صـورت منفـرد در فضـای بـین بلورهـا در زمینه سنگ قرار می‌گیرند.

ریوداسـیت‌هـا: ایـن سـنگ‌هـا دارای رنـگ خاکسـتری روشـن و بافـت پـورفیری هسـتند. همچنـین، درشـت‌بلورهـای پلاژیـوکلاز، بیوتیـت، هورنبلند و کـوارتز دارنـد. در ایـن سـنگ‌هـا کـوارتزهـا شـکل‌دار هسـتند و حـدود ۳۵ درصـد حجمـی سنگ‌ها را بـه خـود اختصـاص مـی‌دهنـد. فلدسـپار در ایـن سـنگ‌هـا مخلـوطی از آلکـالی‌فلدسـپار و پلاژیـوکلاز بـوده کـه پلاژیـوکلاز (مجمـوع درشـت‌بلـور و ریـزبلـور) ۵۵ درصـد حجمـی ایـن سـنگ‌هـا را تشکیل می‌دهـد. ریوداسـیت‌هـای مـدوار بیشـتر بافـت پورفیری و میکروپورفیری را نشان می‌دهند.





شکل ۲- A) بافـت پـورفیری در داسـیت‌هـا؛ B) بافـت گلومروپورفیریـک در داسـیت‌هـا؛ C) منطقه‌بنـدی در درشـت‌بلـور پلاژیـوکلاز؛ D) بافـت غربـالی در بلـور پلاژیـوکلاز؛ E) اپاسـیته‌شـدن کـانی‌هـای تیـره آب‌دار؛ F) خلـیج‌خـوردگی بلورهـای هورنبلنـد؛ G) سـاخت خلیجـی در بلورهـای کـوارتز؛ H) بلور سانیدین با ماکـل سـاده. تمـامی تصـاویر در نـور XPL (نـور قطبـی صـلیبی یـا متقـاطع، نیکـول‌هـای متقـاطع) گرفتـه شـده اسـت. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها از Kretz (۱۹۸۳) گرفته شده است. Bio= بیوتیت، Hbl= هورنبلند، Plg= پلاژیوکلاز، Qz= کوارتز، Sa= سانیدین. شایان ذکر است که تمامی تصاویر مقاطع میکروسکوپی مربوط به منطقه شاه‌خیراله هستند.

www.SID.ir

Archive of SID

ژئوشیمی

پس از پتروگرافی سنگ‌های منطقه‌های مدوار و شاه‌خیراله ۱۰ نمونه از سالم‌ترین نمونه‌های توده نیمه آتشفشانی شاه‌خیراله و ۱۵ نمونه از توده نیمه آتشفشانی مدوار، برای انجام تجزیه شیمیایی با روش ICP-MS و ICP-AES از طریق شرکت کانپژوه به شرکت SGS کانادا ارسال شد که نتایج حاصل در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

برای نامگذاری سنگ‌های منطقه مدوار و شاه‌خیراله بر اساس شیمی سنگ کل، از نمودار Cox و همکاران (۱۹۷۹) استفاده شده است. با توجه به این نمودار، سنگ‌های منطقه مدوار در محدوده ریولیت و سنگ‌های منطقه شاه‌خیراله در محدوده داسیت قرار می‌گیرند (شکل ۳). به منظور مقایسه سنگ‌های این دو منطقه از لحاظ درصد عناصر تشکیل دهنده جدول ۳ تهیه شد. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، میانگین درصد SiO_2 در هر دو منطقه به نسبت بالا است (۷۱/۹۲ درصد برای منطقه مدوار، ۶۶/۶ درصد برای منطقه شاه‌خیراله) که این مقدار بالا نشان‌دهنده خاصیت اسیدی نمونه‌های سنگی منطقه مدوار و شاه‌خیراله است. فراوانی به نسبت بالای Al_2O_3 در سنگ‌های هر دو منطقه ممکن است ناشی از تجمع فلدسپار ها در ارتباط با پهنه‌های فرورانش باشد (Gill, 1981). به دلیل حضور پلاژیوکلازهای سدیک و فلدسپارهای قلیایی سدیک، فراوانی اکسید سدیم در دو منطقه مدوار و شاه خیراله به نسبت بالا است. بر خلاف آن، فراوانی پایین پلاژیوکلازهای کلسیک باعث شده که درصد اکسید کلسیم درتمام نمونه‌ها پایین بیاید (میانگین CaO در سنگ‌های منطقه مدوار حدود ۲/۹۶ درصد و در سنگ‌های منطقه شاه‌خیراله حدود ۴/۳۳ درصد است). میانگین به نسبت بالای اکسید پتاسیم در سنگ‌های منطقه مدوار و شاه‌خیراله به علت وجود کانی‌های پتاسیم‌دار به ویژه بیوتیت در این نمونه‌ها است (میانگین K_2O در نمونه‌های مدوار ۳/۲۳ درصد و در نمونه‌های شاه‌خیراله ۲/۴۹ درصد است). میانگن پایین درصد Fe_2O_3 در سنگ‌های منطقه مدوار (میانگین ۲/۱۵ درصد) به علت فراوانی پایین کانی های تیره است و فراوانی بیشتر این اکسید در سنگ‌های منطقه شاه‌خیراله (میانگین ۳/۱۲ درصد) نسبت به منطقه مدوار را می‌توان به حضور به نسبت بالای کانی‌های تیره نظیر: آمفیبول و بیوتیت و کانی‌های تیره مرتبط دانست.

جدول ۱- نتایج تجزیه‌های ژئوشیمیایی توده‌های نیمه آتشفشانی شاه‌خیراله

Sample	1-sh-4	1-sh-19	2-sh-16	3-B-7	3-B-10	4-sh-3	4-sh-20	4-sh-23	sh-5-1	sh-6-1
SiO_2	67.32	66.4	66.01	69.4	63.9	66.65	65.8	66.04	65.98	65.78
TiO_2	0.4	0.4	0.41	0.34	0.57	0.4	0.4	0.4	0.41	0.43
Al_2O_3	17	16.5	16.66	13.72	17	16.5	16.5	16.5	16.7	16.81
Fe_2O_3	2.9	3.05	3.32	3.08	3.22	3.17	3.18	3.11	3.12	3.14
Cao	3	3.94	3.75	4.68	3.74	3.9	3.9	3.8	3.98	3.93
MgO	0.28	0.34	1	1.7	1	0.6	0.5	0.6	0.63	0.9
Na_2O	4.54	5.11	5.13	3.54	5.08	4.22	4.56	4.76	4.5	4.95
K_2O	2	2.3	2.54	1.3	2.42	2.42	2.38	2.39	2.4	2.5
MnO	0.01	0.02	0.023	0.08	0.056	0.017	0.025	0.025	0.029	0.032
P_2O_5	0.1	0.1	0.18	0.16	0.38	0.1	0.1	0.098	0.12	0.12
LOI	3.02	2.58	1.68	2.7	3.85	2.9	3.4	2.3	2.01	1.58
sum	100.57	100.74	100.703	100.7	101.216	100.877	100.745	100.023	99.879	100.172

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ۱-...

Sample	1-sh-4	1-sh-19	2-sh-16	3-B-7	3-B-10	4-sh-3	4-sh-20	4-sh-23	sh-5-1	sh-6-1
Ba	760	900	900	760	880	970	860	920	900	890
Sr	780	940	890	740	930	840	910	930	950	930
Zn	68	64	61	51	61	60	80	67	61	60
Ag	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ce	44.7	54	51.8	28.2	70.1	51.6	48.7	51.8	54.7	54.5
Co	4.5	7.4	7	5.8	8.4	6.3	6.4	7.1	6.8	6.5
Cr	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Cs	1.5	1.5	1.5	2.1	0.8	5.7	1.8	1.7	1.5	1.4
Cu	53	49	52	21	70	46	47	74	50	49
Dy	1.33	1.3	1.14	0.93	1.53	1.11	1.15	1.21	1.3	1.36
Er	0.58	0.61	0.56	0.38	0.67	0.52	0.53	0.67	0.56	0.54
Eu	0.91	0.92	0.88	0.62	1.15	0.83	0.8	0.88	0.95	0.86
Ga	20	20	19	14	20	19	19	20	20	20
Gd	2.27	2.14	2.09	1.5	3	2.08	2.18	2.18	2.28	2.42
Hf	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Ho	0.24	0.29	0.2	0.16	0.29	0.22	0.23	0.24	0.22	0.24
La	*	27.9	26.6	13.7	35.6	26.7	25.1	26.8	28.6	28.2
Lu	0.07	0.13	0.08	<0.05	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08
Mo	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Nb	3	4	3	1	4	3	3	4	4	3
Nd	20.2	21.3	20.2	12.7	28.7	20.1	19.6	20.8	21.6	21
Ni	7	7	6	5	10	8	6	7	<5	6
Pr	5.28	5.88	5.65	3.3	7.88	5.54	5.32	5.64	6	5.92
Rb	53.2	58.5	57.7	21.3	48.5	60.5	60.4	58.6	58	55.8
Sm	3.6	3.4	3.3	2.2	4.6	3.2	3	3.3	3.3	3.5
Sn	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1
Ta	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Tb	0.29	0.32	0.25	0.18	0.35	0.25	0.25	0.25	0.27	0.28
Th	5	8.2	8.1	2.7	8.8	8.3	7.8	8.4	8.4	8.3
Tl	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Tm	0.08	0.15	0.08	0.06	0.1	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08
U	1.86	2.44	2.43	1.87	2.36	2.38	2.28	2.5	2.43	2.53
V	63	61	62	48	90	61	59	62	61	61
W	2	2	1	<1	<1	3	2	2	<1	<1
y	6.8	6.6	6	4.9	7.9	6.1	6.2	6.4	6.9	6.6
Yb	0.6	0.5	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
Zr	97	98.5	109	48.6	80	110	87	108	114	108

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های نیمه آتشفشانی مدوار (از Keshtkar (۲۰۰۹) گرفته شده است)

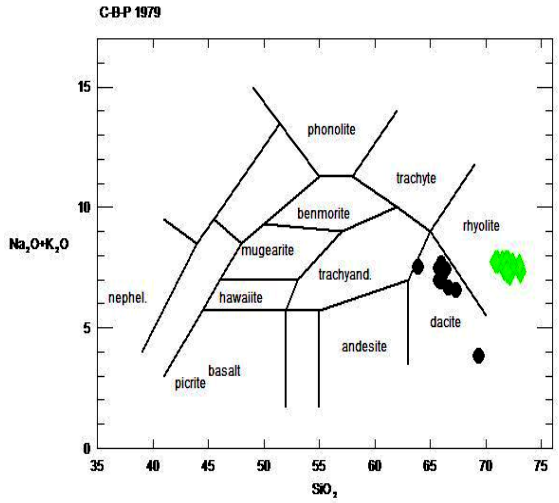
Sample	1M5	2M1	2M10	3M4	4M9	4M13	5M1	5M7	5M8	5M13	6M1	6M7	6M15	6M20	7M2
SiO_2	71.03	73.1	72.98	72	71.47	71.66	72.38	72.14	72.28	71.62	71.47	72	70.89	71.83	71.91
TiO_2	0.32	0.32	0.3	0.3	0.34	0.33	0.33	0.33	0.31	0.32	0.32	0.33	0.34	0.32	0.34
Al_2O_3	13.61	13.42	13.1	13.35	13.4	13.44	13.44	12.42	13.01	13.07	13.72	13.36	14.1	13.61	12.81
Fe_2O_3	2.08	2.07	2.08	2.11	2.17	2.18	2.08	2.25	2.11	2.16	2.07	2.1	2.3	2.19	2.23
CaO	3.48	2.58	2.9	2.83	2.93	3.03	2.84	3.34	2.86	3.37	2.96	2.87	2.78	2.97	2.68
MgO	0.59	0.65	0.74	0.77	0.87	0.69	0.54	0.61	0.87	0.58	0.63	0.6	0.79	0.58	0.66
Na_2O	4.59	4.08	4.33	4.35	4.3	4.44	4.57	3.98	4.31	4.36	4.52	4.46	4.52	4.35	4.14
K_2O	3.15	3.26	3.26	3.27	3.34	3.03	3.06	3.29	3.22	3.26	3.19	3.27	3.21	3.4	3.18
MnO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
P_2O_5	0.1	0.11	0.14	0.11	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11	0.12	0.1	0.11	0.13	0.12
Total	98.98	99.84	99.84	99.86	99.81	99.86	99.86	99.83	99.84	99.84	99.84	99.83	99.83	99.84	99
LOI	0.832	0.22	0	0.73	0.84	0.92	0.47	1.32	0.72	0.96	0.81	0.71	0.76	0.42	1.72
Ba	561	564	543	545	521	561	546	571	566	556	551	575	575	535	568
Ce	71	66	41	60	7	35	0	3	71	31	52	65	34	23	70
Co	4	5	6	4	7	3	2	2	3	2	2	1	5	5	2
Cu	38	57	37	30	48	35	42	52	44	61	33	48	66	57	47
Nb	4	3	1	0	5	6	1	3	4	4	4	1	2	3	1
U	2	4	3	5	0	3	1	3	0	1	2	2	5	4	0
Ta	0.5	0.7	0.4	0.3	0.2	0.15	N	10	0.25	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	16
Th	4	6	4	2	0	2	0	2	2	5	6	1	6	5	8
Cl	128	65	65	79	316	11	6	186	51	54	47	95	29	20	241
Pb	14	35	18	17	17	14	19	20	17	18	13	9	15	14	16
Rb	56	56	58	56	61	61	61	59	61	62	61	60	64	59	58
Sr	472	488	500	479	521	510	525	496	517	533	562	477	537	523	492
V	31	34	40	37	36	38	36	38	39	36	36	35	38	37	37
Y	12	12	12	12	12	12	13	11	12	12	13	13	13	12	12
Yb	0.44	0.6	0.2	0	0.7	0.7	N	0.33	0.4	0.44	0.5	0.14	0.4	0.4	0.6
Zr	139	144	147	140	146	153	150	151	159	156	156	149	165	147	150
Zn	52	47	50	48	52	51	54	55	49	49	50	48	48	48	54

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مقایسه ژئوشیمیایی عناصر اصلی منطقه مدوار و شاه‌خیراله

	Madvar Area		Shah Khairollah Area	
Element	Variation range	Average elemnts	Variation range	Average elements
SiO_2	70.89-72.98	71.92	63.9-69.4	66.6
Al_2O_3	12.42-14.1	13.32	13.72-17	16.6
$(Fe_2O_3)_T$	2.07-2.25	2.15	2.9-3.32	3.12
CaO	2.68-3.48	2.96	3-4.68	4.33
MgO	0.54-0.87	0.67	0.28-1.7	0.75
Na_2O	3.98-4.59	4.35	3.54-5.11	4.90
K_2O	3.03-3.34	3.23	1.3-2.54	2.49



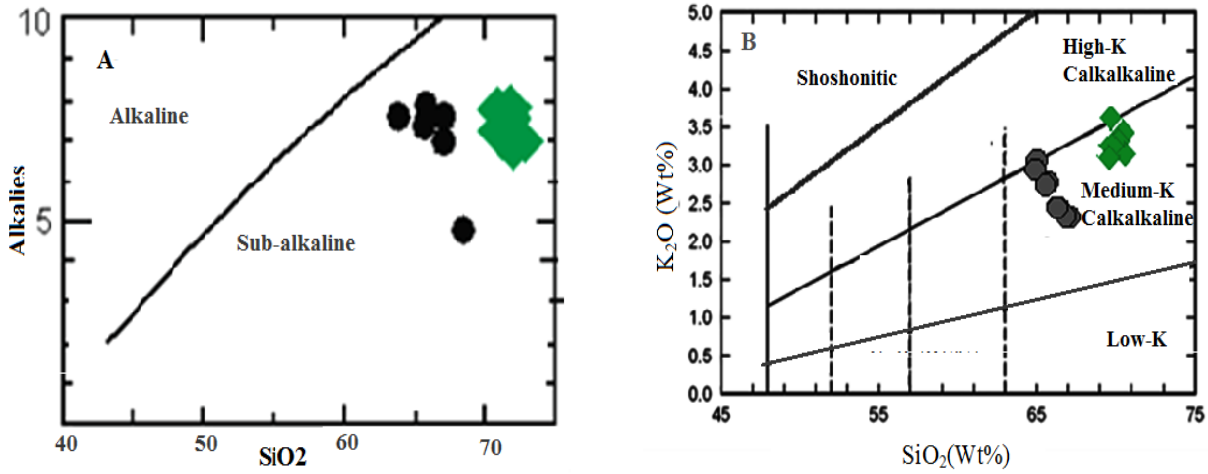
شکل ۳- تقسیم‌بندی ژئوشیمیایی سنگ‌های نیمه آتشفشانی مدوار و شاه‌خیراله بر اساس نمودار (Cox *et al.*, 1979).
مدوار ♦ و شاه‌خیراله ♦

بحث

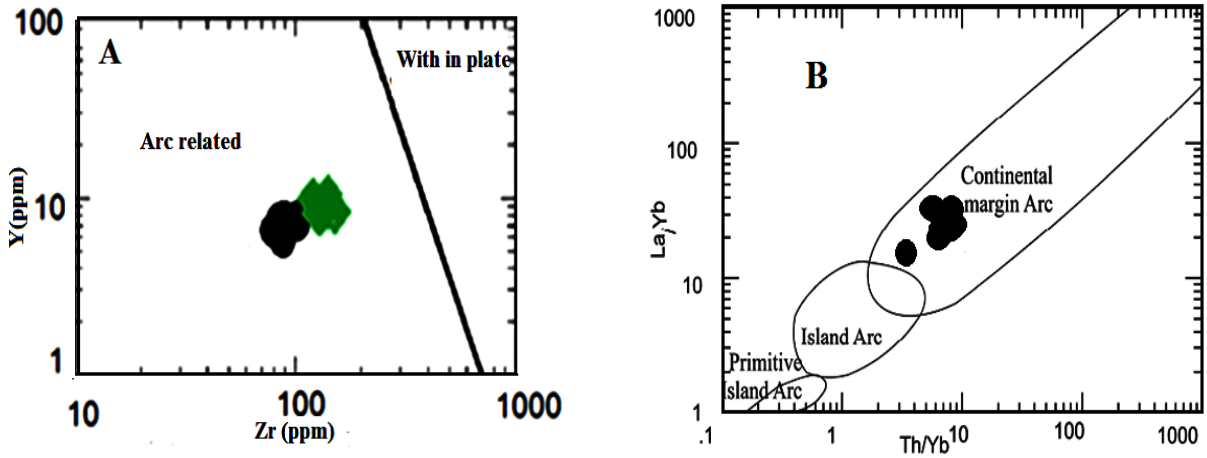
به منظور تعیین سری ماگمایی سنگ‌های مناطق مدوار و شاه‌خیراله، از نمودار نسبت آلکالی‌ها در برابر SiO_2، (Irvine and Baragar, 1971) که سنگ‌های آذرین را به دو گروه آلکالی و ساب‌آلکالی تقسیم می‌کند استفاده شده است. همان طور که در شکل A-۴ مشاهده می‌شود سنگ‌های هر دو منطقه در سری ماگمایی ساب‌آلکالن (کالک‌آلکالن) واقع شده‌اند. همچنین، استفاده از نمودار K_2O در برابر SiO_2، (Le Maitre *et al.*, 1989) نشان می‌دهد سنگ‌های مناطق مدوار و شاه‌خیراله به سری ماگمایی کالک‌آلکالن با پتاسیم متوسط متعلق هستند (شکل B-۴). بر اساس عناصر فرعی Y در برابر Zr، موقعیت تکتونیکی سنگ‌ها در هر دو منطقه در ارتباط با قوس است (شکل A-۵). برای تعیین نوع قوس توده‌ها از نمودار Th/Yb و La/Yb استفاده شده است که قوس قاره‌ای را برای هر دو منطقه نشان می‌دهد (شکل B-۵). Fazeli و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی پتروگرافی و شیمی کانی‌های سنگ آتشفشانی کوه سیاه (شمال باتلاق جازموریان، جنوب‌شرق اصفهان و بخش جنوبی پهنه ماگمایی ارومیه-دختر) محیط تشکیل منطقه یاد شده را قوس ماگمایی می‌دانند که ویژگی یک ماگماتیسم مرتبط با فرورانش را دارند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- A) تعیین سری ماگمایی مناطق مدوار و شاه‌خیراله (Irvine and Baragar, 1971) که تمام نمونه‌ها در سری ساب‌آلکالن قرار می‌گیرند؛ B) نمودار K_2O در برابر SiO_2 (Le Maitre *et al.*, 1989) که تمام نمونه‌ها در محدوده کالک‌آلکالن با پتاسیم متوسط قرار می‌گیرند.



شکل ۵- A) تعیین موقعیت تکتونیکی سنگ‌های دو منطقه مدوار و شاه‌خیراله (Muller and Groves, 1997)؛ B) محیط تکتونیکی سنگ‌های نیمه آتشفشانی شاه‌خیراله (Condie, 1989) که در حواشی فعال قاره‌ای قرار می‌گیرد. به دلیل عدم وجود مقدار La در جدول نتایج تجزیه منطقه مدوار تنها نمونه‌های شاه‌خیراله در این نمودار قرار گرفته‌اند.

منشأ ماگمای توده‌های نیمه آتشفشانی مدوار و شاه‌خیراله: به طور کلی، ارایه الگوی پتروژنزی مجموعه‌های ماگمایی بر پایه پژوهش‌های ژئوشیمیایی و ایزوتوپی استوار است. از آنجا که توده‌های نیمه‌آتشفشانی مدوار و شاه‌خیراله ویژگی‌های ژئوشیمیایی یکسانی از خود نشان داده‌اند و در محیط تکتونیکی یکسان فرورانشی تشکیل شده‌اند و همچنین، در یک محیط حاشیه قاره‌ای فعال جایگزین شده‌اند؛ از این رو، منشأ سنگ‌های هر دو منطقه بر پایه پژوهش‌های ژئوشیمی به موازات هم بررسی می‌شود. نخست لازم است به اختصار راجع به منشأ ماگما در حاشیه فعال قاره‌ای در بالای پهنه فرورانش کلیاتی بیان شود. از بررسی پژوهش‌های انجام شده در این مورد می‌توان نتیجه گرفت که منشأ ماگماها در حاشیه‌های قاره‌ای از یک منبع واحد مشتق

www.SID.ir

Archive of SID

نشـده‌انـد و چنـد ریشـه‌ای هسـتند. بررسـی‌هـای تجربـی و نظـری نشـان مـی‌دهـد کـه ماگمـای اولیـه تیـره مـی‌توانـد در پهنـه فـرورانش از ذوب سـنگ‌هـای پوســته اقیانوســی یــا از ذوب‌بخشــی گوشــته پریـدوتیتی (در بـین زبانـه فـرورانش کـه بـه سـمت پـایین حرکـت مـی‌کنـد و در سـطح زیـرین پوسـته محبـوس شـده اسـت) تشـکیل شـود. بـرای تعیـین منشأ (گوشـته‌ای یـا پوسـته اقیانوسـی) سـنگ‌هـا لازم اسـت بـازبینی روی ویژگـی‌هـای ژئوشـیمیایی هـر دو منطقـه انجـام شـود. بـه فـرض تولیـد ماگمـا از منشأ گوشـته‌ای، سـنگ‌هـا بایـد دارای #Mg در حـدود ۶۸ تـا ۷۵ درصـد باشـند (Green, 1989؛ Wilson, 1989). زیـرا ماگماهـای گوشـته‌ای بـا اولیـوین غنـی از منیـزیم در حـال تعـادل خواهنـد بـود. امـا #Mg بـرای سـنگ‌هـای هـر دو منطقـه بـین ۱۹ تـا ۵۲ درصـد اسـت. از سـویی، ماگماهـای بـا منشأ گوشـته‌ای بایـد دارای ppm ۴۰۳ تـا ۸۹۰ نیکـل باشـند (Green, 1989؛ Wilson, 1989). یـا حـداقل دارای ppm۲۰۰ تا ۳۰۰ نیکـل باشـند. امـا نیکـل نمونـه‌هـای مدوار و شاه خیرالـه کمتـر از ppm۱۰ اسـت کـه بسـیار پـایین‌تـر از ماگماهـای گوشـته‌ای اسـت. همچنـین، مقـدار کـروم در ماگماهـای گوشـته‌ای ppm ۲۷۸ تـا ۵۲۸ اسـت (Schilling *et al.*, 1983). در صـورتی کـه ایـن عنصـر در نمونـه‌هـای مـدوار و شـاه‌خیرالـه کمتـر از ppm ۱۰۰ اسـت. در نتیجـه، ایـن ماگماهـا نمی‌تواننـد از گوشـته منشـأ گرفتـه باشـند. همچنـین، اسـتفاده از نمـودار Sr/Y، (Defant and Drummond, 1990) کـه امـروزه بـه منظـور تفکیـک سـری‌هـای ماگمـایی کالـک‌آلکـالن از آداکیـت‌هـا استفاده مـی‌شـود، آداکیتـی بـودن سـنگ‌هـای ایـن دو منطقه را نشان می‌دهد (شکل ۶-A)

بـرخلاف آن‌کـه بـیش از سـه دهـه از زمـان مطـرح شدن آنـدزیت‌هـای غنـی از منیـزیم غیـر عـادی جزیـره آداک (Kay, 1978) و معرفـی آداکیـت‌هـا مـی‌گـذرد؛ اما هنـوز توافـق جمعـی روی ویژگـی‌هـای ژئوشـیمیایی این سنگ‌هـا وجـود نـدارد. یکـی از مـوارد اخـتلاف نظـر مقـدار MgO و عـدد منیـزیم اسـت کـه در باورهـای اولیـه از آداکیـت‌هـا مقـدار بـالای MgO و عـدد منیـزیم مطـرح شـد (Kay, 1978). در صـورتی کـه پـس از مـدتی مقـدار MgO کمتـر از ۳ مـورد توافـق قـرار گرفتـه اسـت (Martin *et al.*, 2005؛ Richard and Kerrich, 2007). همـان طـور کـه در جـدول ۴ مشـاهده مـی‌شـود سـنگ‌هـای منطقـه مـدوار و شـاه‌خیرالـه دارای منیـزیم بـالایی نیسـتند. آداکیـت‌هـا در درجـه اول بـه وسـیله ویژگـی‌هـای ژئوشـیمیایی از جملـه: ۵۶ درصـد SiO_2> و Na_2O بـالا (۳/۵ تـا ۷/۵ درصـد)، مجمـوع $FeO+MgO+MnO+TiO_2$ بـالا (در حـدود ۷ درصـد)، Sr بـالا (بـیش از ppm ۴۰۰ و در مواردی بـه ppm ۳۰۰۰ هـم مـی‌رسـد) قابـل شناسـایی هسـتند. همچنـین، الگـوی عناصـر نـادر خـاکی آنهـا بـه شـدت تفریـق یافتـه و (La_N/Yb_N>10) و HREE پـایین دارنـد. یعنـی Y<18ppm و Yb<1.8ppm اسـت. از مقایسـه منـاطق مـدوار و شـاه‌خیرالـه بـا ویژگی‌هـای ژئوشـیمیایی آداکیـت‌هـا بـه نظـر مـی‌رسـد سـنگ‌هـای منـاطق مـدوار و شـاه‌خیرالـه دارای ویژگـی‌هـای آداکیتـی باشـند. زیـرا میـزان ۶۰ درصـد SiO_2> (بـرای نیمـه آتشفشـانی‌هـای شـاه‌خیرالـه) و ۷۱ درصـد SiO_2> (منطقـه مـدوار)، مقـادیر بـالای Na_2O (۳/۵۴ تـا ۵/۱۱ درصـد بـرای منطقـه شـاه‌خیرالـه) (۳/۸ تا ۴/۵۹ بـرای منطقـه مـدوار)، مقـادیر بـالای Sr (بـالای ppm ۷۰۰ بـرای منطقـه شـاه‌خیرالـه و بـالای ppm۴۰۰ بـرای مـدوار)، مقـادیر پـایین Y و Yb (Y<9ppm) و (Yb<0.7ppm) حکایـت از سرشـت آداکیتـی سـنگ‌هـای ایـن منـاطق دارد. همچنـین، در

www.SID.ir

Archive of SID

نمودار ژئوشیمی عناصر خاکی (شکل ۷-C) سنگ‌های منطقه شاه‌خیراله دارای تفکیک‌شدگی شدید از HREE و LREE هستند و استفاده از نمودار Defant و Drummond (۱۹۹۰) آداکیتی بودن سنگ‌های مناطق مدوار و شاه خیراله را نشان می‌دهد (شکل ۶-A).

جدول ۴- ویژگی‌های ژئوشیمایی آداکیت‌ها (Moyen, 2009) و مقایسه آنها با نمونه‌های مدوار و شاه‌خیراله

Madvar Area	Shah Khairollah Area	Adakitics
SiO_2>72%Wt	SiO_2>66.5%Wt	SiO_2>56%Wt
Al_2O_3~13.5%Wt	Al_2O_3~16.6%Wt	Al_2O_3≥15%Wt
MgO<0.87%Wt	MgO<1.7%Wt	MgO<3%Wt
Sr>400 ppm	Sr>700 ppm	Sr>300 ppm
-	The lake of negative anomaly Eu	The lake of negative anomaly Eu
Y<13 ppm	Y<8 ppm	Y<18 ppm
Sr/Y~41.70	Sr/Y~137	Sr/Y>20
0.15 ppm<Yb	0.6 ppm<Yb	1.8 ppm<Yb
-	La/Yb~50	La/Yb>16
Small amount HFSE (Nb, Ta)	HFSE Small amount (Nb, Ta)	Small amount HFSE (Nb, Ta)
-	Small amount Rb/La	Small amount Rb/La
-	Small amount Ba/La	Small amount Ba/La
-	High concentration of LREE	High concentration of LREE
-	Low concentration of LREE	Low concentration of LREE

در مورد منشأ آداکیت‌ها سه مدل اصلی مطرح شده است: الف) ذوب بخشی پوسته اقیانوسی فرورو جوان و داغ (Defant and Drumond, 1990؛ Kay *et al.*, 1993)، ب) ذوب بخشی قسمت تحتانی پوسته تیره و ضخیم شده یا ذوب پوسته پایینی (متابازی) تهی‌شده (Martin *et al.*, 2005؛ Castillo *et al.*, 1999؛ Castillo, 2006؛ Chiaradia, 2009) و ج) تفریق کریستالین از ماگمای منشأ گرفته از گوه گوشته‌ای در فشار بالا (Macperson *et al.*, 2006؛ Castillo *et al.*, 1999). برای تعیین منشأ سنگ‌های مناطق مدوار و شاه‌خیراله و تطابق با هر یک از نظریه های بیان شده لازم است نسبت‌های عناصر نادر خاکی مانند: La/Sm، La/Yb و Sm/Yb را مد نظر قرار داد. زیرا این نسبت‌ها راهنمای حساس و خوبی برای شناسایی کانی‌های پایدار در منشأ ماگماها و فشارهای حاکم بر ناحیه ذوب سنگ‌ها هستند. نسبت Sm/Yb بالاتر از ۵ و La/Yb بالاتر از ۲۰ نشان‌دهنده نگهداری مقادیر زیادی از عناصر نادر خاکی سنگین توسط گارنت و آمفیبول در باقی‌مانده منشأ ذوب سنگ‌ها است (Haschke and Gunther, 2003). متوسط نسبت Sm/Yb برای سنگ‌های منطقه شاه‌خیراله برابر با ۶/۹ و متوسط La/Yb برابر با ۵۰/۹ است و نشانگر حضور گارنت در ناحیه منشأ ذوب این ماگماها است. همچنین، برای تشخیص کانی‌های حاضر در منشأ ذوب می‌توان از نمودار La/Sm در برابر Sm/Yb نیز استفاده کرد. استفاده از این نمودار برای نمونه‌های

www.SID.ir

Archive of SID

منطقه شاه‌خیرالـه، نشـان مـی‌دهـد کـه در منشأ ذوب سـنگ‌هـای ایـن منطقـه گارنـت پایـدار بـوده اسـت (شـکل ۶-B) و ایـن نتیجـه بـا فراوانـی پـایین عناصـر نادر خاکی سنگین تأیید می‌شود.

پـژوهش‌هـای انجـام شـده نشـان داده اسـت کـه ماگماهـای آداکیتـی مـی‌تواننـد از ذوب بخشـی سـنگ‌هـای آمفیبولیـت پوسـته اقیانوسـی فـرورو یـا پوسـته قـاره‌ای در محـدوده پایـداری گارنـت تشـکیل شـوند (Drummond *et al.*, 1996؛ Wang *et al.*, 2006). تـوده‌هـای نیمـه آتشفشـانی در منطقـه مـدوار و شاه‌خیراله به نظر مـی‌رسـد کـه مربـوط بـه ذوب پوسـته اقیانوسـی فـرورو باشـند. زیـرا ماگماهـایی کـه از ذوب پوسـته قـاره‌ای حاصـل مـی‌شـوند دارای ناهنجـاری منفی Sr هستند. در صـورتی کـه Sr در نمونـه‌هـای هـر دو منطقـه خـلاف ایـن موضـوع اسـت و دارای ناهنجـاری مثبـت اسـت. بنـابراین، مـی‌تـوان ذوب پوسته اقیانوسـی فـرورو را بـه عنـوان منشأ ماگماهـا در نظر گرفـت. ایـن موضـوع بـا نسـبت بـالای La/Yb>۴۷ (نسبت اندازه‌گیری شـده بـرای منطقـه شـاه‌خیرالـه) کـه بـا شـکل‌گیـری ماگمـای مـادر از اعمـاق پوسـته همـاهنگی دارد اثبـات مـی‌شـود و همچنـین، نسـبت Sr/Y>۱۳۷ و $(La/Yb)_N$>۳۰ بـرای سـنگ‌هـای شاه‌خیراله بیانگر مشـتق شـدن آنهـا از صـفحه فرورانـده اسـت. در نمـودار Th در برابـر Th/Ce (Condie, 1976) کـه دو منشـأ اقیانوسـی و پوسـته قـاره‌ای آداکیـت‌هـا را از هـم جـدا مـی‌کنـد نمونـه‌هـای هـر دو منطقـه روی آن قـرار گرفتـه اسـت. همـان طـور کـه در (شکل ۶-C) مشاهده می‌شـود سـنگ‌هـای ایـن منـاطق در محـیط بـا منشـأ اقیانوسـی و موقعیـت قـوس قـرار می‌گیرند.

علاوه بر مطالـب گفتـه شـده، الگوهـای بهنجـارشـده تغییـرات عناصـر کمیـاب بـرای سـنگ‌هـای هـر دو منطقـه بـا مقـادیر پـایین Y و HREE و مقـادیر بـالای Sr و Sr/Y مشـابه ماگماهـای آداکیتـی اسـت کـه از ذوب سـنگ‌هـای آمفیبـولیتی در ژرفـای بـالای ۳۵ کیلـومتری سرچشـمه گرفتـه‌انـد (Wang *et al.*, 2006, 2005) (شکل ۷-A، B و C).

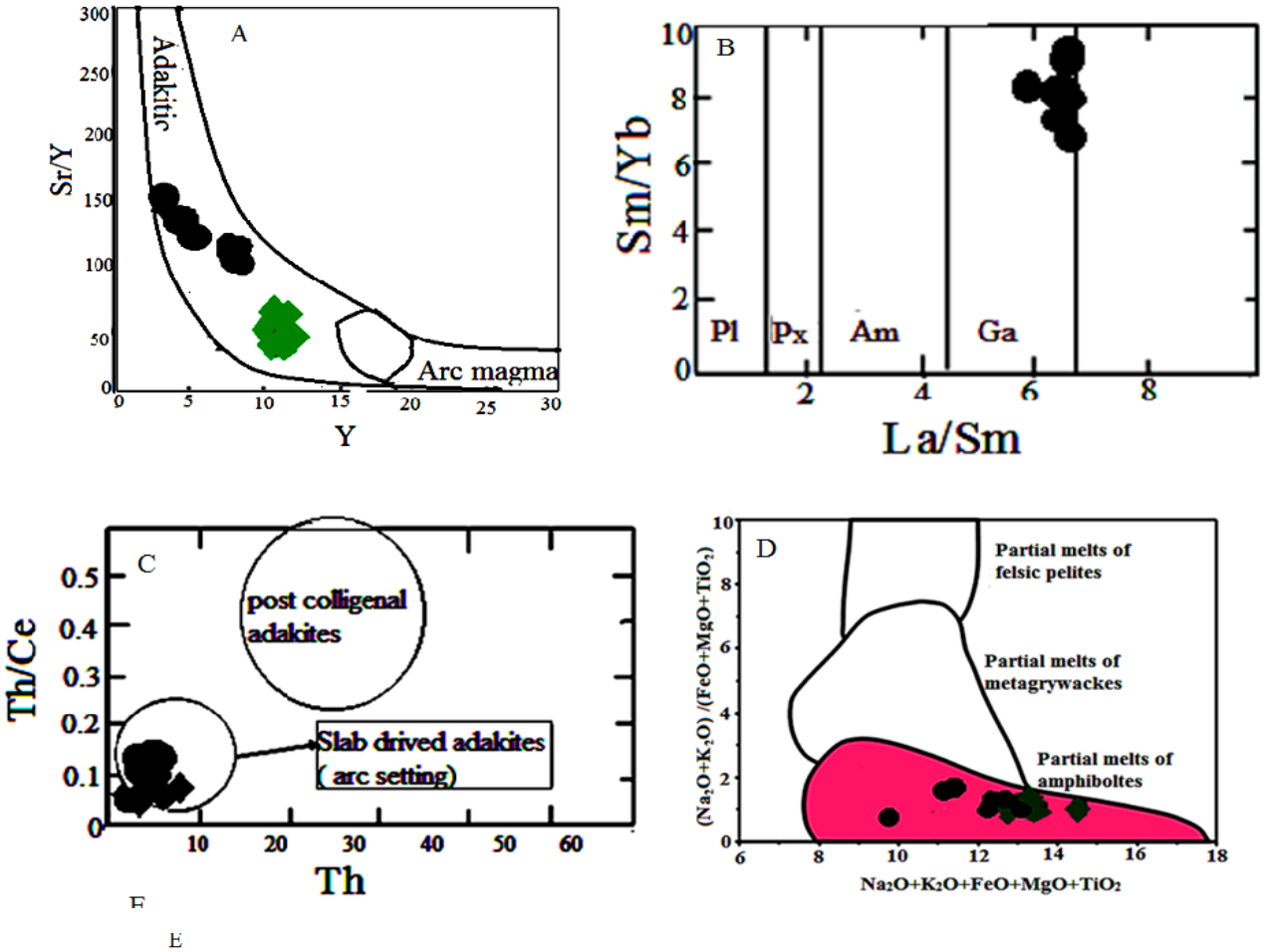
همچنـین، اسـتفاده از نمـودار $FeO+MgO+TiO_2+Na_2O+K_2O$ در برابـر $Na_2O+K_2O/(FeO+MgO+TiO_2)$ (Patino Douce, 1999) نشـان مـی‌دهـد کـه سـنگ‌هـای مـدوار و شـاه‌خیرالـه حاصـل ذوب بخشـی سـنگ‌هـای متابازیـک (آمفیبولیـت) هسـتند (شـکل ۶-D). اسـتفاده از نمـودار $(La/Yb)_N$ نسـبت بـه $(Yb)_N$ منشـأ آمفیبولیـت بـا حضـور ۱۰ درصـد گارنـت را تأییـد می‌کند (شکل ۶-E).

نتیجه‌گیری

با توجه به پـژوهش‌هـای انجـام‌شـده روی تـوده‌هـای نیمه آتشفشانی مدوار و شـاه‌خیرالـه مـی‌تـوان ایـن‌گونـه نتیجـه گرفـت کـه تـوده‌هـای نیمـه آتشفشـانی مـدوار و شـاه‌خیرالـه از نظـر سـنگ‌شناسـی شـامل: داسـیت، ریولیـت و ریوداسـیت بـا بافـت پـورفیری هسـتند. مطالعـه ژئوشـیمی سـنگ‌هـای ایـن منـاطق سرشـت کالـک‌آلکـالن را نشـان مـی‌دهـد. از نظـر تکتونیـک، منـاطق مـدوار و شـاه‌خیرالـه مـرتبط بـا حاشـیه قـاره‌ای فعـال هسـتند کـه بـالا بـودن نسـبت LREE/HREE و مقـدار Al_2O_3، SiO_2 و Sr همـراه بـا پـایین بـودن مقـدار Y و Yb گـرایش ایـن منـاطق را بـه سـمت ماگمـای آداکیتـی نشـان مـی‌دهـد. بـه نظـر مـی‌رسـد ماگمـای تشکیل‌دهنـده سـنگ‌هـای مـدوار و شـاه‌خیرالـه از یـک خاسـتگاه غنـی از گارنـت حاصـل از دگرگـونی پوسـته اقیانوسـی کـه در حـد رخسـاره آمفیبولیـت دگرگـون شده است به وجود آمده‌اند.

www.SID.ir

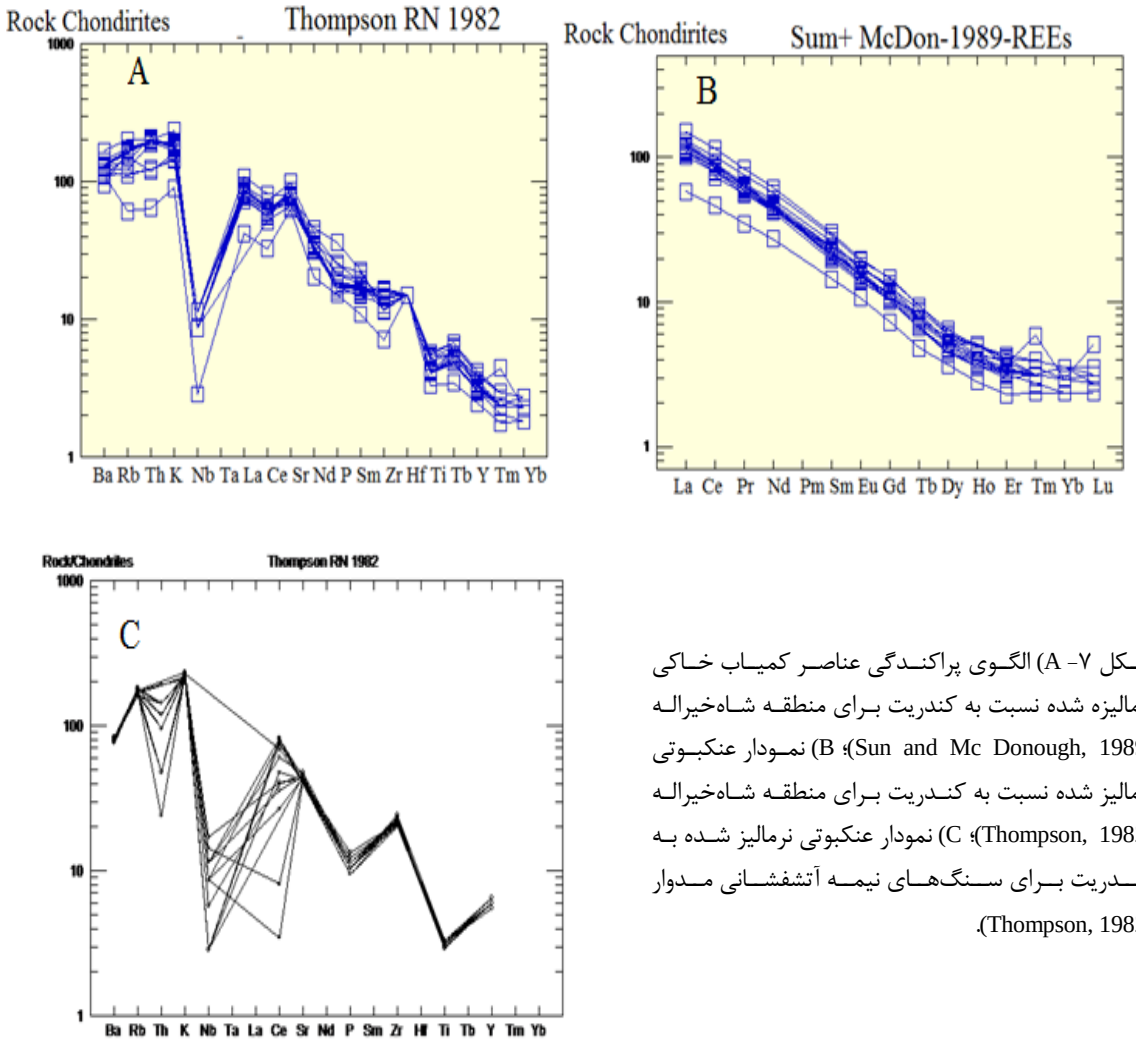
Archive of SID



شکل ۶- A) استفاده از نسبت Sr/Y در برابر Y (Defant and Drummond, 1990) برای سنگ‌های نیمه آتشفشانی مدوار و شاه‌خیراله که همه آنها در محدوده آداکیت‌ها قرار گرفته‌اند؛ B) ترکیب کانی‌شناسی سنگ منشأ ماگمای سازنده سنگ‌های منطقه شاه‌خیراله. تمامی نمونه‌ها پایداری گارنت را در منشأ ذوب خود نشان می‌دهند (Haschke and Gunther, 2003 ؛Kay and Mpodozis, 2002)؛ C) نمودار Th در برابر Th/Ce (Condie, 1976). توده‌های نیمه آتشفشانی مدوار و شاه‌خیراله در محدوده آداکیت‌های با منشأ پوسته اقیانوسی و موقعیت قوس قرار گرفته‌اند؛ D) نمودار $Na_2O+K_2O+FeO+MgO+TiO_2$ در برابر $Na_2O+K_2O/FeO+MgO+TiO_2$ (Patino Douce, 1999) برای تشخیص منشأ ذوب سنگ‌ها؛ E) نمودار $(La/Yb)_N$ در برابر $(Yb)_N$ (Defant and Drummond, 1990) و موقعیت نمونه‌های منطقه شاه‌خیراله روی آن

www.SID.ir

Archive of SID



شـکل ۷- A) الگـوی پراکنـدگی عناصـر کمیـاب خـاکی نرمالیزه شده نسبت به کندریت بـرای منطقـه شـاه‌خیرالـه (Sun and Mc Donough, 1989)؛ B) نمـودار عنکبـوتی نرمالیز شده نسبت به کنـدریت بـرای منطقـه شـاه‌خیرالـه (Thompson, 1982)؛ C) نمودار عنکبوتی نرمالیز شـده بـه کنـدریت بـرای سـنگ‌هـای نیمـه آتشفشـانی مـدوار (Thompson, 1982).

سپاسگزاری

نگارندگان از انجمـن پژوهشـگران جـوان بـه خـاطر همکـاری و فـراهم آوردن امکانـات لازم بـرای انجـام پـژوهش حاضـر بـه صـورت طـرح پژوهشـی، تشـکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

Bahrambeigi, B., Ranjbar, H. and Shahabpour, J. (2012) Comparison of data and spectral driven methods for kaolinite-bearing area mapping in Masahim volcano, using hyperion images. Journal of Economic Geology 2: 199-215 (in Persian).

Bahreini, B. (2012) Petrology, geochemistery and petrogenesis of the Neogen subvolcanic massifs in southwest of Rafsanjan. MSc thesis, Islamic Azad University, Zarand Branch, Zarand, Iran (in Persian).

Chiaradia, M. (2009) Adakite magmas from fractional crystallization and melting assimilation of mafic lower crust (Eocene Macuchi arc, western Cordillera, Ecuador).Chemical Geology 265: 465-487.

Castillo, R. P. (2006) An overview of adakite petrogenesis. Chinese Science Bulletin 51: 257-268.

www.SID.ir

Archive of SID

Castillo, R. P., Janney, P. E. and Sollidum, R. U. (1999) Petrology and geochemistry of Camiguin island, southern Philippines: insights to the source of adakites and other lavas in complex arc setting. Contributions to Mineralogy and petrology 134: 33-51.

Complication of Gitashenasi (2006) Gitashenasi Atlantic province of Iran. Geographic and Cartographic institute Gitashenasi, Tehran (in Persian).

Condie, K. C. (1976) Magma association, in plate tectonics and cruastal evolution, 145-174. Pergmon Press. Oxford

Condie, K. C. (1989) Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean-Proterozoic boundary: identification and significance. Lithos 23: 1-18.

Cox, K. G., Bell, J. D. and Pankhurst, R. J. (1979) The interpretation of igneous rocks. Allen & Unwin, Sydney.

Dimitrijevic, M. D. (1973) Geology of Kerman region, 1:100000, Yu 52, Geological Survey of Iran, Tehran.

Defant, M. J. and Drummond, M. S. (1990) Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. Nature 347: 662-665.

Drummond, M. S., Defant, M. J. and Kepezhinskas, P. K. (I996) The petrogenesis of slab derived trondhjemite-tonalite-dacite adakite magmas. Canadian Journal of Earth Sciences 87: 205-216.

Dungan, M. A. and Rhodes M. J. (1978) Rsidual glasses and melt inclusion in basalts from DSDP legs 45 and 46, evidence for magma mixing. Contribution to Mineralogy and Petrology 67: 417-431.

Esmaeili, M. (2012) Petrography, geochemistry and petrogenesis of Anar-Dehaj adakitic subvolcanic massifs (north west of Kerman). MSc thesis, Islamic Azad University, Zarand Branch, Zarand, Iran (in Persian).

Fazeli, B., Torabi, Gh. and Ayati, F. (2013) Petrography and mineral chemistry of volcanic rocks in Kuh-e-Siah (north of Gavkhuni lagoon, SE of Isfahan). Petrology 15: 17-38 (in Persian).

Ghadami, Gh. (2008) Petrology, geochemistery and petrogenesis of granitoid massifs, volcanic and subvolcanic (Adakite) north west of Shahr-e-babak, Kerman. PhD thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (in Persian).

Gill, J. B. (1981) Orogenic andesites and plate tectonics. Springer, Verlag, Berlin.

Green, T. H. (1989) Anatexis of mafic crust and high pressure crystallization of andesite. In: Andesites (Ed. Thorpe, R. S) 465-478. Springer, Verlag, Berlin.

Haschke, M. R. and Gunther, A. (2003) Balancing crustal thickening in arcs by tectonic, magmatic means. Geology 31: 933-936.

Irvine, J. N. and Baragar, W. K. (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences 8: 523-548.

Kay, R. W. and Kay, S. M. (1993) Delamination and delamination magmatism. Tectonophysics 219: 177-189.

Kay, S. M. and Mpodozis, C. (2002) magmatism as a probe to Neogene shllowing of the Nazca plate beneath the modern Chilean flat-slab. Journal of South American Earth Sciences 15: 39-57.

Kay, R. W. (1978) Aleutian magnesian andesites: melts from subducted Pacific Ocean crust. Journal of Volcanology and Geothermal Research 4: 117-132.

Keshtkar, Z. (2009) Petrology, geochemistery and petrogenesis of subvolcanic masses of Madvar (north of Shahr-e-babak city, Kerman province). MSc thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (in Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Kirkppqtric, R. J. (1992) Nucleation and growth of plagioclase, Makapuhi and Alqe lava lakes, Kilauea volcano, Hawaii. Geological Society of American Bulletin 88: 78-84.

Kretz, R. (1983) Symbols for rock-forming minerals. American Mineralogist 68: 277-279.

Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J. Le Bas, M. J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A. R. and Zanettin, B. (1989) A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Publishing, Oxford.

Macperson, C. G., Dreher, S. T. and Thirwall, M. F. (2006) Adakites without slab melting: high pressure differentiation of island arc magma, Mindanao, the Philippines. Earth Planetary Science Letters 243: 581-593.

Martin, H., Smithiesb, R. H., Rapp, R., Moyen, J. F. and Champion, D. (2005) An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. Lithos 79: 1-24.

Moyen, J. F. (2009) High Sr/Y and La/Yb ratios: the meaning of the "adakitic signature". Lithos 54: 365-372.

Muller, D., Rock, N. M. S., Groves, D. and Groves, D. I. (1997) Geochemical discrimination between shoshnitic potassic volcanic rocks from fifferent tectonic setting: a pilot study. Mineralogy and Petrology 141: 259-287.

Patino Douce, A. E. (1999) What do experiments tell us about the relative contribution of crust and mantle to the origin of granitic magma? In: Understanding granites, integraniting new and classial techniques (Eds. Castro A., Fernandez, C. and Vigneresse, J. L.) Special Publications 168:55-75. Geological Society, London.

Richard, J. P. and Kerrich, R. (2007) Special paper, adakite-like rocks: their diverse origins and questionable role in metallogenesis. Economic Geology 102: 537-576.

Rittmann, A. (1973) Stable mineral assemblages of igneous rock. Springer, Verlag, Berlin.

Schilling, J. G. M., Zajac, R., Evans, T., Johnston, W., White, J. D., Devine J. D. and Kingsley, R. (1983) Petrologic and geochemical variations along the Mid-Atlantic ridge from 27 N to 73 N. American Journal of Sciences 283: 510-586

Shahabpour, J. (2007) Island-arc affinity of the Central Iranian volcanic belt. Journal of Asian Earth Sciences 30: 652-665.

Shelly, D. (1993) Igneous and metamorphic rocks under the microscope. Chapman and Hall, London.

Stephen, T., Nelson, S. T. and Montana, A. (1992) Sieve-textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decomperession. American Mineralogist 77: 1242-1249.

Sun, S. S. and Mc Donough, W. F. (1989) Chemical and isotopic systematic of basalt; implication for mantle composition and processes. In: Magmatism in the ocean basins (Eds. Saunders, A. D. and Norry, M. J.) Special Publication 42: 313-345. Geological Society, London.

Taghipour, N. (2007) The application of fluid inclusions and isotopic geochemistery as exploration strategies altered and mineralized in Madouk porphyry copper deposite, Shahr-e-Babak, Kerman. PhD thesise, Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (in Persian).

Thompson, R. N. (1982) Magmatism of the British Tertiary volcanic province. Scotland Journal of Geology 18: 49-107.

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: 1-163.

www.SID.ir

Archive of SID

Wang, Q., Mc Dermott, F., Xu, J. F., Bellon, H. and Zhu, Y. (2005) Cenozoic K-rich adakitic volcanism in the Hohxil area, northern Tibet: lower crustal melting in an intra continental setting geology. Lithos 33: 465-468

Wang, Q., Wyman, D. A., Xu, J. F., Zhao, Z. H., Jian, P., Xiong, X. L., Bao, Z. W., Li, C. F. and Bai, Z. H. (2006) Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area, Anhui province (eastern China): implications for geodynamics and Cu-Au mineralization. Lithos 33: 1-26.

Wilson, M. (1989) Igneous petrogenesis: a global tectonic approach. Unwin Hyman, London.

Wones, D. R. and Eguster, H. P. (1965) Stability of biotite: experiment, theory and application. American Mineralogist 50: 1228-1275.

Wright, F. E. (1951) Computation of the optic axial angle from the three principal refractive indices. American Mineralogist 36: 543-556.

www.SID.ir

Archive of SID

The study of petrography, geochemistry and petrogenesis of subvolcanic masses of Madvar and Shah khairollah in north and southeast of Shahr-e Babak city (Kerman province)

Farzaneh Arzhangnezhad, Abbas Moradian * and Zeinab Keshtkar
Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Abstract

Subvolcanic masses of Shah khairollah and Madvar located in the southeast of Urumieh-Dokhtar magmatic belt and northwest of Dehaj-Sardoieh belt, north and southeast of Shahr-e Babak city. Generally, these subvolcanic masses contain dacite, rhyodacite and rhyolite lavas. Mineralogically, they consist of plagioclase, amphibole, alkali feldspar, biotite and quartz and the dominant texture of the studied rocks are porphyritic. Based on Microscopic studies plagioclases show resorption and zoning and opaticitization is observed in the mafic minerals. Geochemical investigations show that the Madvar and the Shah khairollah masses are acidic in composition and all the rock samples fall in the field of calc-alkaline magmatic series, originated in an active continental margin arc setting. Chemical compositions of the studied rocks in spider diagrams show the significant enrichment in LREE rather than HREE, as well as Sr, K. The depletion of Pb, P, Pr, Zr, Y, Nb and Ti in those rocks are observed. The negative anomalies of Ta, Nb and Ti in the rocks studied is similar to those of the subducted rocks series. The values of MgO, Na_2O , Ni, Cr and Mg#, depletion of Y and high ratios of LREE/HREE, Sr/Y (Ave. 137.26), La/Yb (Ave. 50) in the studied rocks are similar to those of adakites which have derived from partial melting of young oceanic crust. Geochemical characteristics of these two masses indicate the partial melting of oceanic crust prior to hydration and the low concentrations of Yb, Y, HREE, TiO_2, is consistent with the partial melting of subducted oceanic crust slab under amphibolite facies conditions in the depth of 35 km.

Key words: Calc-alkaline magmatic series, Adakite, Active continental margin, Madvar and Shah khairollah sub volcanic masses, Dehaj-Sardoieh belt

* moradian@mail.uk.ac.ir

Copyright©2015, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

www.SID.ir