

Geochemistry and petrography of Meiduk copper deposit's host volcanic rocks - Kerman

F. Aliani^{1*}, A. Alirezaei¹, A. Moradian², Z. Abbasloo³

1- Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu Ali Sina University of Hamadan

2- Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman

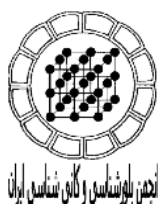
3- Meiduk Mine, Kerman

(Received: 2/11/2008 , in revised form: 19/5/2009)

Abstract: The study area is located in Central Iranian volcano-plutonic copper belt (Dehaj-Sarduiyeh belt) about 42 Km northeast of Shahrabak in Kerman Province. Based on petrographic studies, extrusive rocks have the composition from trachyandesite, andesite basaltic and andesite to dacite with Eocene age. Mineralogically, the rocks contain plagioclase, amphibole, biotite and quartz. Chlorite, calcite, epidote and sericite are secondary phases. The texture of these rocks is normal porphyritic. Geochemically, the rocks mostly belongs to the calc-alkaline series. The ratio of $Zr/Y > 3$ shows that these rocks are similar to active continental margin. Negative anomalies of Ti, Nb, P and positive anomalies Pb, K in spider diagrams are similar to subduction zone and crustal assimilation. These rocks shows enrichment from LILE and LREE elements and are relatively depleted from HFSE elements. These properties can be correlated with subduction volcanic arcs and active continental margins.

Keywords: *Dehaj-Sarduiyeh belt, geochemistry, calc-alkaline magma, active continental margin.*

* Corresponding author, Tel.: +98 (0811) 8234343, Fax: +98 (0811) 8253467, E-mail: ali.alirezaei.ir@gmail.com



ژئوشیمی و سنگ‌شناختی سنگ‌های آتشفشانی درونگیر کانسار مس میدوک-کرمان

فرهاد آلیانی^{۱*}، علی علیرضایی^۱، عباس مرادیان^۲، زهرا عباسلو^۳

۱- دانشگاه بوعلی سینا همدان

۲- دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- مجتمع مس میدوک، کر

(دریافت مقاله: ۸۷/۸/۱۲، نسخه نهایی: ۸۸/۲/۳۰)

چکیده: منطقه مورد بررسی در زون ایران مرکزی، کمربند مس‌دار ارومیه-دختر (نوار دهج-ساردوئیه) و در ۴۲ کیلومتری شمال شرق شهرستان شهربابک، در استان کرمان قرار دارد. بر اساس بررسی‌های سنگ‌شناختی، این سنگ‌های آتشفشانی از تراکی آندزیت، آندزیت‌بازالت، آندزیت تا داسیت تشکیل شده‌اند. از نظر کانی‌شناسی سنگ‌های یادشده شامل پلاژیوکلاز، آمفیبول، بیوتیت و کوارتزند و نیز کلریت، کلسیت، اپیدوت و سریسیت کانی‌های ثانویه را شامل می‌شوند. بافت عمدتاً در این سنگ‌ها پورفیری است. از دیدگاه ویژگی‌های ژئوشیمیایی، سنگ‌های منطقه جزء سری آهکی-قلیایی هستند. نسبت Zr/Y در این سنگ‌ها بیشتر از ۳ است که از این لحاظ با سنگ‌های آتشفشانی حواشی قاره‌ای فعال مشابه‌اند. بهنجاری منفی عناصر Ti, Nb, P و مثبت عناصر K و Pb در نمودارهای عنکبوتی نشان می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی منطقه با سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده در مناطق فرورانش و نیز تأثیر فرایند آلایش ماگمایی روی این سنگ‌ها همخوانی دارند. این سنگ‌ها از عناصر $LILE$ و $LREE$ غنی‌شدگی و از عناصر $HFSE$ تهی‌شدگی نشان می‌دهند، که این ویژگی‌ها شاخصه سنگ‌های تشکیل شده در کمان‌های آتشفشانی مناطق فرورانش و حواشی قاره‌ای فعال‌اند.

واژه‌های کلیدی: نوار دهج-ساردوئیه، ژئوشیمی، ماگمای آهکی-قلیایی، حواشی قاره‌ای فعال.

مقدمه

سنگ‌های آتشفشانی سنوزوئیک و پیروکلاست‌های وابسته به آن تشکیل شده است که به موازات زون دگرگون شده سنندج-سیرجان رخمون‌های گسترده‌ای را تشکیل داده است. به درون این سنگ‌های آتشفشانی توده‌های نفوذی متعددی با سن و ترکیب متفاوت نیز نفوذ کرده است. در مورد گرایش ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی کمربند ارومیه-دختر، نظرهای متفاوتی وجود دارند ولی اغلب زمین

سنگ‌های آتشفشانی مورد بحث جزئی از یک واحد تکتونوماگمایی مهم تحت عنوان مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر است. کمربند یادشده در استان کرمان تحت عنوان نوار دهج-ساردوئیه خوانده شده است [۶]. این نوار در حقیقت ادامه کمربند ولکانو-تکتونیک ترشیری ایران مرکزی به نام کمربند ارومیه-دختر است [۱۲]. کمربند ماگمایی ارومیه-دختر از

* نویسنده مسئول، تلفن: ۸۲۳۴۴۳ (۰۸۱۱) ۹۸+، نمابر: ۸۲۵۳۴۶۷ (۰۸۱۱) ۹۸+، پست الکترونیکی: ali.alirezaii.ir@gmail.com

زمین‌شناسی عمومی منطقه

مجموعه آتشفشانی در برگیرنده کانسار مس میدوک (کمپلکس آتشفشانی رازک) در عرض جغرافیایی شمالی $25^{\circ} 30'$ و طول جغرافیایی شرقی $55^{\circ} 10'$ در استان کرمان و در ۴۲ کیلومتری شمال شرق شهرستان شهربابک و در ۱۳۲ کیلومتری شمال غرب کانسار مس سرچشمه قرار دارد.

توده گرانیتوئیدی میدوک پورفیری با سن ۱۲/۵ سال (میوسن میانی) به درون این سنگ‌های آتشفشانی که سن آن‌ها ائوسن بالایی است، تزریق و جایگزین شده است. کانسار مس میدوک مهم‌ترین کانسار مس پورفیری پس از کانسار مس سرچشمه در استان کرمان است. این کانسار ذخیره‌ای در حدود ۱۳۰ میلیون تن با عیار مس ۰/۸۲٪ دارد.

همچنین منطقه مورد بررسی از نظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران، در بخش شمال غربی نوار دهج-ساردوئیه قرار گرفته است (شکل ۱). نوار دهج-ساردوئیه به عنوان بخش جنوب-شرقی کمربند ارومیه-دختر، با طول ۴۵۰ کیلومتر و عرض حدود ۹۰ کیلومتر از گوشه شمال غرب و غرب استان کرمان در مناطق انار و دهج تا گوشه جنوب شرق یعنی کوه‌های بارز جیرفت با روند عمومی شمال غرب-جنوب شرق گسترش دارد. فعالیت این نوار، به صورت آتشفشانی-رسوبی و آتشفشانی-پلوتونیک شدید از ائوسن شروع شده و تا کواترنری ادامه داشته است. تشکیلات ائوسن مهم‌ترین و گسترده‌ترین واحدهای زمین‌شناسی این کمربند را بخود اختصاص داده است و شامل سنگ‌های ته نشستی ائوسن با رخساره فلیشی، تشکیلات آتشفشانی-ته نشستی ائوسن زیرین-میانی کمپلکس بحر آسمان، سنگ‌های ته نشستی با رخساره فلیشی ائوسن میانی، کمپلکس آتشفشانی ائوسن میانی-فوقانی رازک (سنگ-های آتشفشانی مورد بحث) و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن فوقانی کمپلکس هزار است [۶].

تشکیلات رسوبی-ته نشستی الیگوسن سرخ زیرین و قم، نفوذ توده‌های آذرین گرانودیوریتی، گرانیتی، کوارتزیدیوریتی و تونالیتی و ... در اواسط الیگوسن و میوسن، تشکیلات ته نشستی-تخریبی سرخ فوقانی با سن میوسن، فوران‌های داسیتی و آندزیتی آتشفشان مزاحم [۱] گدازه‌های پتاسیک و التراپتاسیک راین (لامپروئیت‌ها) به سن پلیوسن-پلیستوسن

شناسان آنها را جزء سری آهکی-قلیایی دانسته‌اند [۱۲]. شهاب‌پور [۲۵] با بررسی سنگ‌های آتشفشانی منطقه شهربابک و سرچشمه به قرارگیری این سنگ‌ها در سری آهکی-قلیایی اشاره کرده است. به عقیده حسن‌زاده [۱۰] مجموعه سنگ‌های آذرین یادشده به ماگماتیسیم جزایر قوسی وابسته‌اند. امامی [۲] دلیل فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن در بخش‌های مختلف ایران را به فاز کششی سراسری مهمی نسبت داده است که به دنبال فاز فشارشی کرتاسه پایانی روی داده است. معین‌وزیری [۳] نحوه تشکیل این کمربند ماگمایی را با فرورانش پوسته اقیانوسی گسترده نئوتتیس به زیر ایران مرکزی در زمان مزوزوئیک وابسته می‌داند. به اعتقاد وی شکسته شدن پوسته اقیانوسی در حال فرورانش در کرتاسه بالایی و توقف لیتوسفر اقیانوسی شکسته شده در درون گوشته موجب برقراری تعادل دمایی بین گوشته و لیتوسفر اقیانوسی شده و در پی آزادسازی آب از سطح لیتوسفر اقیانوسی، گوه گوشته‌ای میزبان آن دستخوش ذوب بخشی شد که ماگماتیسیم شدید دوره‌های پس از ائوسن را رقم زده است.

در این مقاله حاضر سعی شد تا با استفاده از نتایج آنالیزهای شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی درونگیر کانسار مس میدوک و تلفیق این داده‌ها با بررسی‌های سنگ‌شناختی، به ماهیت ژئوشیمیایی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی منطقه پی برده شود.

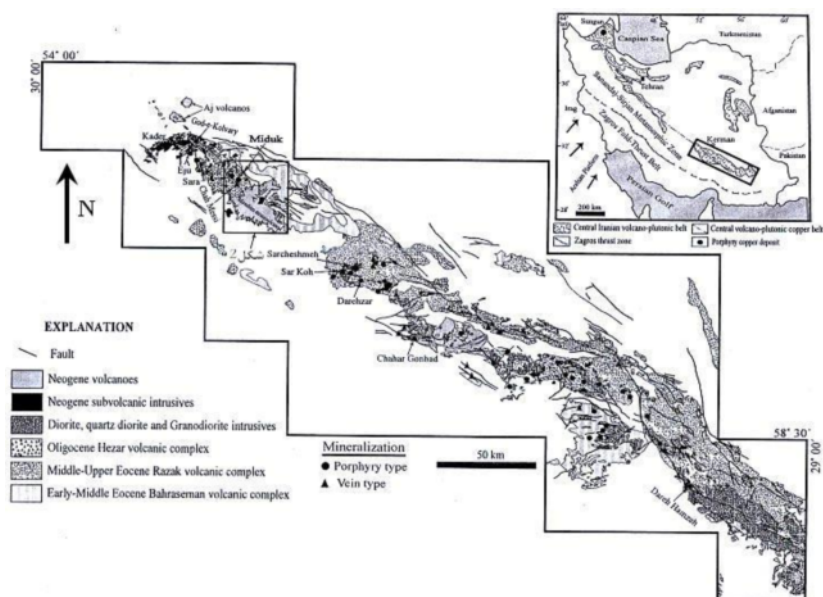
روش مطالعه

نخست سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد نظر از نظر صحرایی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفتند. در بخش صحرایی از گستره مورد نظر با توجه به تغییرات سنگ‌شناسی و ویژگی‌های فیزیکی نظیر رنگ و اندازه ذرات، تعداد ۱۰۰ نمونه برداشت شدند. سپس تعداد ۷۰ مقطع نازک از نمونه‌های برداشت‌شده، برای بررسی‌های سنگ‌شناختی انتخاب شدند. پس از بررسی سنگ‌شناختی از نمونه‌های سالم و کمتر دگرسان شده برای تجزیه شیمیایی عناصر اصلی با دستگاه XRF و نیز اندازه‌گیری مقادیر عناصر نادر خاکی به روش ICP انتخاب و به آزمایشگاه ALS Chemex کانادا ارسال شدند که نتایج در جدول ۱ ارائه شده‌اند. علت بالا بودن LOI در بیشتر نمونه‌ها تأثیر عوامل دگرسان روی سنگ‌های آتشفشانی منطقه است.

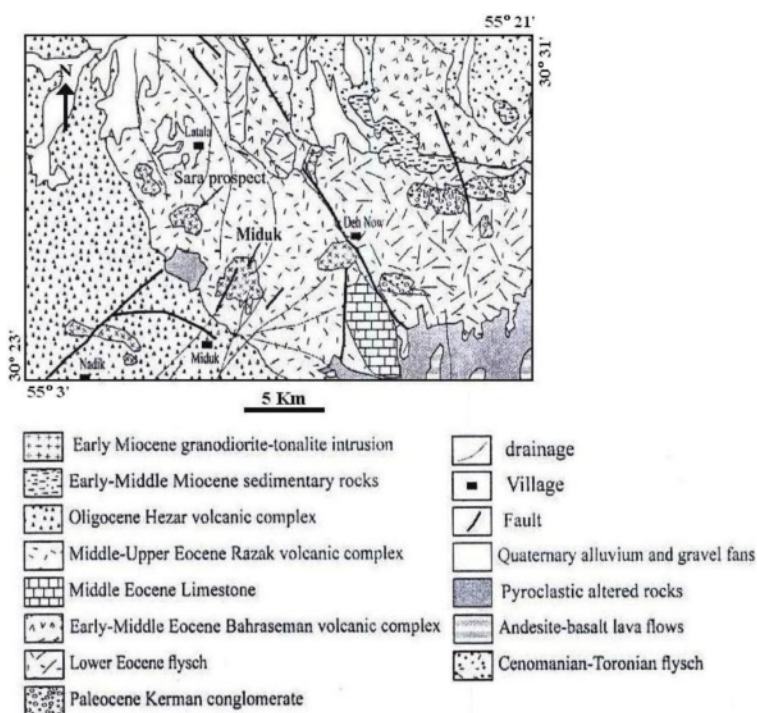
مراحل شکل‌گیری و تکامل این کمر بند را شامل می‌شوند [۶].
 در این پژوهش سنگ‌های آتشفشانی درونگیر شمال شرق
 کانسار مس میدوک واقع در روستای لاطلا که به مجموعه
 آتشفشانی رازک وابسته‌اند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مجموعه
 آتشفشانی رازک واحدهای سنگی مختلفی را شامل می‌شود
 (شکل ۲).

جدول ۱: نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی درونگیر کانسار مس میدوک.

Row name	LT3	LT7	LT13	LT18	LP4	LR14	LR18	LR26
SiO ₂ (Wt%)	۶۳	۶۲٫۱	۶۳٫۲	۶۱٫۴	۶۲٫۱	۵۹٫۳	۵۹٫۱	۵۹٫۸
Al ₂ O ₃	۱۵٫۳	۱۶٫۷۵	۱۶٫۲	۱۵٫۸۵	۱۶٫۶۵	۱۶٫۳	۱۵٫۷	۱۶٫۱
Fe ₂ O ₃	۳٫۶۶	۵٫۱۲	۴٫۷۴	۴٫۳	۳٫۸	۵٫۴	۴٫۳۷	۴٫۶۸
CaO	۴٫۸۹	۴٫۰۱	۲٫۴۹	۴٫۵۷	۳٫۳۵	۴٫۴۶	۵٫۳۱	۴٫۹۱
MgO	۱٫۵۱	۱٫۹۳	۱٫۹	۱٫۸۲	۰٫۸۳	۲٫۰۲	۱٫۶۴	۱٫۸۶
Na ₂ O	۳٫۹۱	۴٫۱۱	۳٫۱۴	۲٫۶۲	۳٫۶	۴٫۲۶	۴٫۲۱	۳٫۵۷
K ₂ O	۲٫۱۴	۲٫۵۴	۳٫۶۸	۳	۵٫۰۶	۲٫۳۶	۲٫۶۲	۲٫۲۵
TiO ₂	۰٫۴۳	۰٫۵۸	۰٫۵۴	۰٫۵۲	۰٫۴۹	۰٫۷۲	۰٫۶۱	۰٫۶۱
MnO	۰٫۱۴	۰٫۲	۰٫۲۷	۰٫۱۸	۰٫۲۸	۰٫۱	۰٫۰۸	۰٫۱
P ₂ O ₅	۰٫۲۱	۰٫۳۳	۰٫۲۵	۰٫۲	۰٫۱۷	۰٫۴۲	۰٫۲۷	۰٫۳۳
LOI	۵٫۳	۲٫۰۵	۳٫۷	۵٫۹۶	۴٫۰۶	۴٫۲۷	۴٫۸۱	۵٫۷۱
Total	۱۰۰٫۵	۹۹٫۸	۱۰۰٫۵	۱۰۰٫۵	۱۰۰٫۵	۹۹٫۸	۹۸٫۹	۱۰۰
Ba(ppm)	۵۳۹	۷۴۹	۱۰۳۵	۴۳۴	۸۹۴	۸۴۴	۸۳۰	۵۷۸
Cr	۲۰	۲۰	۳۰	۲۰	۱۰	۲۰	۳۰	۲۰
Eu	۰٫۹۵	۱٫۲۶	۱٫۰۸	۰٫۹۸	۱٫۶۸	۱٫۴۶	۱٫۱۳	۱٫۳
La	۲۶٫۶	۳۳٫۹	۳۲	۲۵٫۲	۴۹٫۷	۳۵٫۶	۱۶۱٫۵	۳۱٫۲
Nb	۶٫۲	۷٫۶	۷٫۴	۶٫۱	۱۶٫۳	۱۴٫۳	۱۰٫۴	۸٫۵
Nd	۱۹٫۱	۲۵٫۷	۲۳٫۲	۱۸٫۹	۳۸٫۷	۲۹٫۴	۲۶٫۷	۲۶٫۱
Ni	۱۷	۲۴	۲۷	۲۳	۱۰	۲۰	۱۰	۲۴
Pb	۳۰	۲۶	۱۲۰	۲۱	۲۱	۱۴	۱۴	۴۰
Rb	۸۱	۶۵	۱۱۳٫۵	۱۱۹٫۵	۱۹۵٫۵	۶۳	۵۳٫۹	۸۱٫۹
Sr	۵٫۶	۸۷۱	۵۴۶	۲۷۱	۲۶۷	۱۰۳۰	۶۷۶	۳۷۸
Ta	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۶	۰٫۵	۱٫۲	۱	۰٫۸	۰٫۷
Tb	۰٫۳۶	۰٫۴۹	۰٫۴۵	۰٫۳۹	۰٫۹۷	۰٫۵۷	۰٫۴۴	۰٫۴۹
Th	۱۰٫۲۵	۱۰٫۵	۱۱٫۶۵	۱۰	۲۳	۸٫۸۴	۸٫۱۹	۶٫۴۹
V	۸۹	۱۱۸	۱۱۲	۱۰۹	۴۷	۱۱۸	۱۰۱	۱۱۱
Y	۹٫۲	۱۱٫۹	۱۰٫۹	۱۰٫۵	۲۸٫۵	۱۳٫۴	۹٫۷	۱۰٫۷
Yb	۰٫۸۵	۱٫۰۳	۱٫۰۱	۰٫۹۷	۳٫۲۴	۱٫۲	۰٫۹۳	۰٫۹۳
Zr	۹۸	۱۴۳	۱۲۹	۱۱۰	۳۲۰	۱۴۹	۱۳۰	۱۵۳
Ba/La	۲۰٫۳۶	۲۲٫۰۹	۳۲٫۳۴	۱۷٫۲۲	۱۷٫۹۸	۲۳٫۷	۵٫۱۳	۱۸٫۵۲
La/Th	۲٫۵۹	۳٫۲۲	۲٫۷۴	۲٫۵۲	۲٫۱۶	۴٫۰۲	۱۹٫۷	۴٫۸
Zr/Y	۱۰٫۶	۱۲٫۰۱	۱۱٫۷۳	۱۰٫۴۷	۱۱٫۲۲	۱۱٫۱۱	۱۳٫۴	۱۴٫۲۹



شکل ۱ موقعیت کمر بند دهج- ساردوئیه روی زون ارومیه- دختر و تشکیلات مهم آن [۶].



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی - اقباس با تغییرات از [۲۴].

سن مجموعه‌های فوق ائوسن است و به عنوان سنگ درونگیر کانسار مس میدوک شناخته می‌شوند. استوک گرانیتوئیدی میدوک پورفیری که سن آن میوسن میانی است [۱۰] پس از جایگزینی در درون مجموعه‌های

روابط صحرایی و سنگ‌شناختی سنگ‌های آتشفشانی در منطقه مورد بررسی از نوع تراکی آندزیت، آندزیت، آندزیت‌بازالت تا داسیت پورفیری هستند که

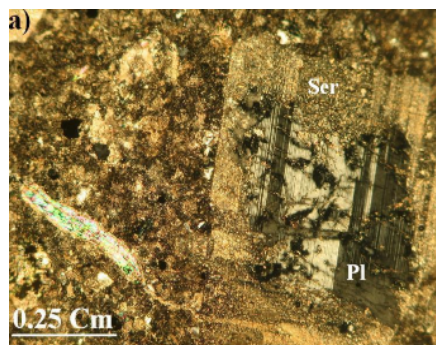
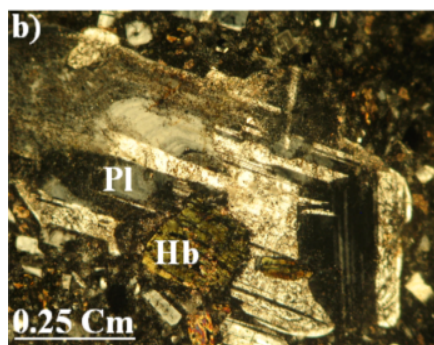
غیر تعادلی اند نیز در تعدادی از پلاژیوکلازها مشاهده می شود (شکل ۳).

– کوارتز: این کانی در آندزیت ها کمتر از ۳ درصد حجمی کانی ها را تشکیل می دهد. حداکثر اندازه آن ها در این سنگ ها ۰/۵-۰/۱ میلی متر است. کانی های کوارتز بیشتر هم اندازه و دارای خاموشی موجی هستند. این کانی در داسیت ها، حاشیه خلیجی را نشان می دهند (شکل ۴a). وجود کوارتز با حاشیه خلیجی را می توان به تغییر حالت اوتکتیک کوارتز- آلكالی فلدسپار با تغییر فشار، در طول بالا آمدن ماگما به سطح زمین وابسته دانست.

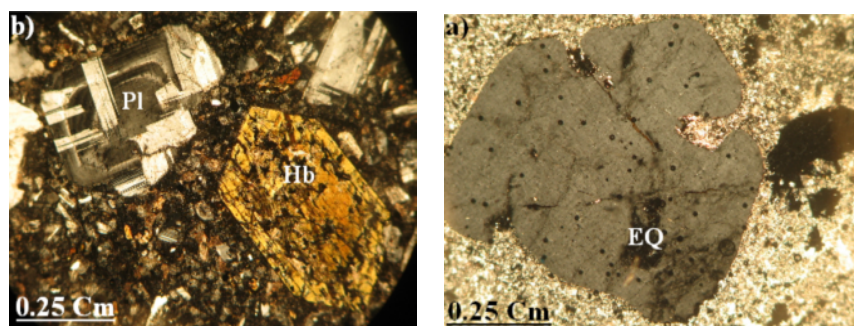
– کانی های تیره: این کانی ها حدود ۲۲-۵ درصد حجمی کانی ها را تشکیل می دهند. هورنبلندها در بیشتر نمونه ها حضور دارند. هورنبلندها در مقطع عرضی هم به صورت لوزی و هم نیمه شکل دار وجود دارند. بیشتر این کانی ها در حاشیه کدر شده اند، بگونه ای که پیرامون آن ها را اکسیدهای آهن فرا گرفته و در مرکز کلریت، اپیدوت و کوارتز تشکیل شده است (شکل ۴b). کانی های کلریت، کلسیت، اکسیدهای آهن و بیوتیت ثانویه از دگرسانی کانی های هورنبلند حاصل شده اند. کانی بیوتیت حدود ۱۰-۱ درصد حجمی بیشتر نمونه ها را تشکیل می دهد. این کانی به صورت شکل دار و نیمه شکل دار بوده و پدیده انحلال و کدر شدن که علت آن کاهش فشار ماگما ضمن صعود است، در بیشتر آن ها دیده می شود. اندازه بلورهای بیوتیت حداکثر ۱-۰/۲ میلی متر است. کانی های اپیدوت و کلریت از دگرسانی کانی های بیوتیت حاصل شده اند (شکل ۵). کانی های کدر نیز به عنوان کانی تیره حدود ۵-۱ درصد حجمی نمونه ها را تشکیل می دهند. این کانی به صورت بی شکل است. یکی دیگر از کانی های مشاهده شده در تعدادی از نمونه ها که حداکثر ۲ درصد حجمی نمونه ها را تشکیل می دهد، کانی پیروکسن است (شکل ۶a).

آتشفشانی بالا دستخوش تبلور شده است و در نتیجه، پس از تبلور استوک، سنگ های پیرامون خود را دگرسان کرده است. مجموعه آتشفشانی آندزیتی و داسیتی در صحرا به رنگ خاکستری مایل به سبز با بافت پورفیری تا ریز دانه مشخص می شود. این سنگ ها در تماس با توده گرانیتوئیدی به شدت دگرسان شده و به رنگ خاکستری روشن مایل به زرد تغییر کرده اند. این مجموعه ها زیر فاز دگرسانی پروپلیتیک قرار گرفته و کانی های آن بیشتر به کلریت و اپیدوت تبدیل شده اند. رنگ این سنگ ها در نمونه دستی بیشتر از خاکستری روشن تا خاکستری تیره و در مواردی خاکستری متمایل به سبز تغییر می کند. بافت بیشتر آنها پورفیریک است. کانی های تشکیل دهنده این سنگ ها عبارتند از:

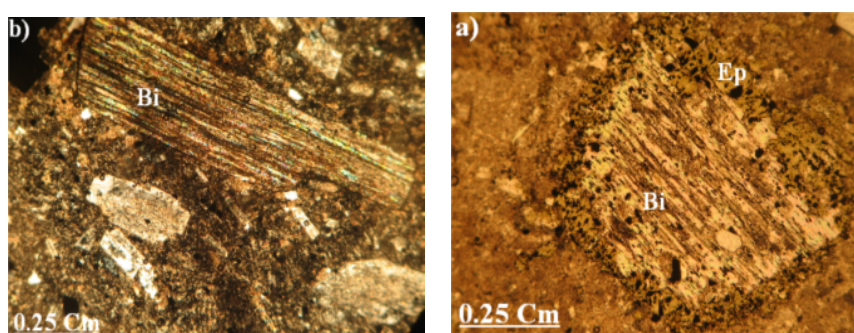
– پلاژیوکلاز: در مقاطع میکروسکوپی فنوکریست های پلاژیوکلاز به عنوان فراوان ترین کانی موجود در این سنگ ها هستند. اندازه فنوکریست های پلاژیوکلازها ۲-۰/۵ میلی متر در یک زمینه ریز دانه است که معمولاً به صورت توده ای با بافت های ریز دانه و پورفیری مشخص هستند. انواع پورفیری آندزیت ها دارای بیش از ۶۰ درصد حجمی پلاژیوکلاز هستند. بلورهای پلاژیوکلاز عموماً "نیمه شکل دار و تخته ای شکل اند. انواع ماکل های تکراری، کارلسباد و منطقه بندی نوسانی در آن ها دیده می شود. با توجه به ماکل تکراری و منطقه بندی در پلاژیوکلازها و زاویه خاموشی ۳۶-۲۸ درجه، ترکیب آن ها بیشتر آندزین- لابرادوریت پیشنهاد می شود. وجود منطقه بندی در پلاژیوکلازها، کاهش فوگاسیته اکسیژن را نشان می دهد که به دلیل وجود هورنبلند و بیوتیت در نمونه هاست. کلسیت، کلریت، سریسیت و کوارتز ثانویه از دگرسانی پلاژیوکلازها حاصل شده اند و در سطح تعدادی از آن ها اکسیدهای آهن مشاهده می شود. انحلال و خوردگی شدید که بیانگر بافت های



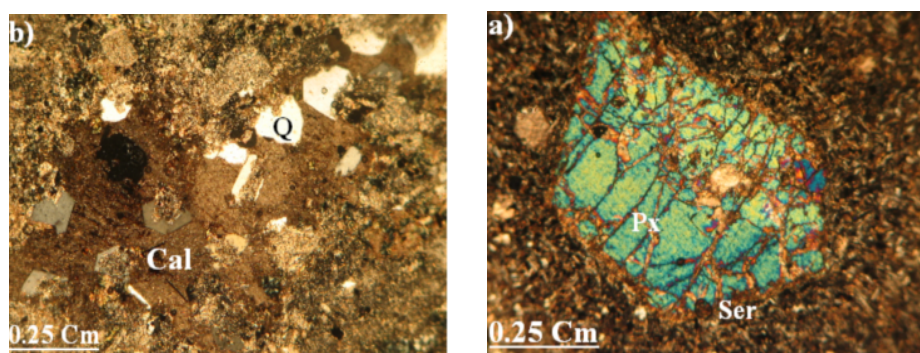
شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از سنگ های آتشفشانی منطقه. (a) پلاژیوکلاز (Pl) در حال سریسیتی شدن، (b) منطقه بندی نوسانی در پلاژیوکلاز و همراهی با هورنبلند (Hb).



شکل ۴ (a) فنوکریست کوارتز با حاشیه خلیجی (EQ) در یک زمینه ریز دانه در سنگ‌های داسیتی، (b) فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (Pl) و هورنبلند (Hb) در یک زمینه ریز دانه و تشکیل بافت پورفیری و نیز کدر شدن کانی هورنبلند.



شکل ۵ (a و b) تبدیل بیوتیت (Bi) به کلریت، اپیدوت (Ep) و کانی‌های کدر همراه با کانی‌های پلاژیوکلاز در یک زمینه ریز دانه.



شکل ۶ (a) سریسیتی شدن پیروکسن و تبدیل آن به کانی‌های کدر، (b) رگه‌های کلسیت و کوارتز ثانویه در سنگ داسیت پورفیری.

- زمینه و بافت: زمینه این گروه از سنگ‌ها از میکرولیت‌های ریز، پلاژیوکلاز و کانی‌های تیره تشکیل شده است که پلاژیوکلازها حالت جریانی کمی دارند. بافت کلی این سنگ‌ها پورفیری است. از دیگر بافت‌های غیرتعدالی موجود در این سنگ‌ها نیز می‌توان بافت‌های انحلالی و غربالی موجود در پلاژیوکلازها، کدری شدن هورنبلند و بیوتیت‌ها و بافت انحلالی و حواشی خلیجی موجود در کوارتز را نام برد.

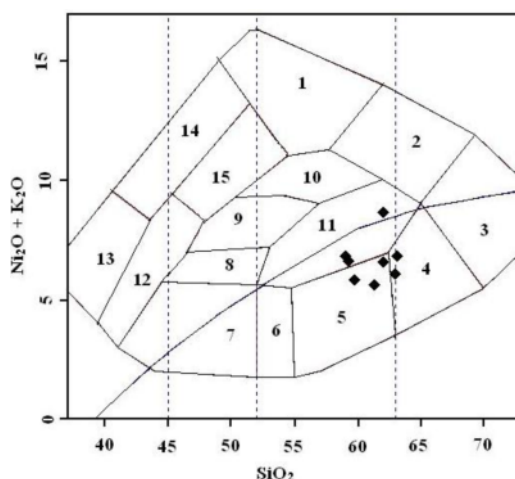
- کانی‌های کمیاب: آپاتیت و زیرکن از کانی‌های کمیاب هستند که به مقدار خیلی ناچیز مشاهده می‌شوند. کانی آپاتیت به صورت شکلهار و سوزنی در درون پلاژیوکلازها و بیوتیت‌ها مشاهده می‌شود.

- کانی‌های ثانویه: کانی‌هایی از قبیل کلریت، کلسیت، اپیدوت، سرسیت، اکسیدهای آهن و کوارتز ثانویه در این گروه از سنگ‌ها مشاهده می‌شود که حاصل دگرسانی کانی‌هایی همچون پلاژیوکلازها، هورنبلندها و بیوتیت‌ها هستند (شکل ۶b).

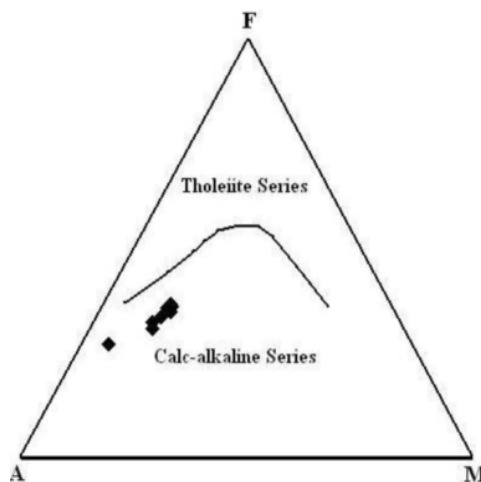
ژئوشیمی

با توجه به دگرسانی نسبتاً گسترده سنگ‌های آتشفشانی منطقه و پیدایش کانی‌های ثانویه مانند اپیدوت، کلریت و کلسیت در آن‌ها، در این بخش سعی شد تا برای بررسی ویژگی‌های اولیه سنگ‌های آتشفشانی منطقه، بررسی‌های ژئوشیمیایی روی نمونه‌های سالم و کمتر دگرسان شده متمرکز شود، و در عین حال در تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی بیشتر روی ویژگی‌های عناصری تکیه شود که در محیط‌های گرمابی دگرسان نسبتاً کم‌تحرك و غیرفعال باقی می‌مانند. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های مختلف سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانسار مس میدوک در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

درصد SiO_2 این سنگ‌ها بین ۵۹ تا ۶۳ درصد متغیر است و در نمودار تغییرات $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ نسبت به SiO_2 [۵] در گستره تراکی‌آندزیت، آندزیت و داسیت قرار می‌گیرند (شکل ۷).

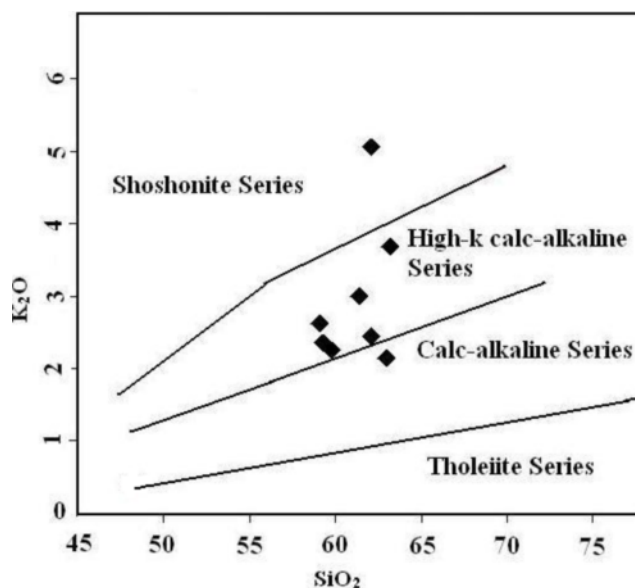


شکل ۷ موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه در تقسیم‌بندی [۶]. ۱. فنولیت ۲. تراکیت ۳. ریولیت ۴. داسیت ۵. آندزیت ۶. آندزیت‌بازالت ۷. بازالت ۸. هاوایت ۹. موژه‌آریت ۱۰. بنموریت ۱۱. تراکی‌آندزیت ۱۲. بازالت‌تفریتی ۱۳. نفلینیت ۱۴. تفریت‌فنولیت.



شکل ۸ نمودار AFM برای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های منطقه [۱۲].

درصد Al_2O_3 نمونه‌ها بالا و در حدود ۱۶ درصد است. مقدار Al_2O_3 بالا در بازالت‌ها نشان‌دهنده تبلور کانی‌های مافیک از مذاب اولیه سازنده آن‌ها در فشارهای نسبتاً بالاست [۹] که موجب تمرکز آلومینیم در آبگون باقی‌مانده شده و باعث تبلور پلاژیوکلاز در فشارهای کمتر می‌شود. بر اساس نمودار AFM [۱۱] کلیه نمونه‌های مورد بررسی در گستره آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۸)، که روندهای وابسته به نمودارهای عنکبوتی مربوطه به ویژگی‌های دیگر سنگ‌شناسی این سنگ‌ها نیز آن را تأیید می‌کند. دامنه تغییرات K_2O در این سنگ‌ها نسبتاً گسترده (۴۲ تا ۵۲ درصد وزنی) است، به طوری که نمونه‌های مورد بررسی در سری آهکی-قلیایی غنی از پتاسیم قرار می‌گیرند (شکل ۹). تنوع و پراکندگی نمونه‌ها از نظر مقدار K_2O می‌تواند ناشی از تحرك‌پذیری عنصر پتاسیم حین فرایند دگرسانی سنگ‌های منطقه باشد.



شکل ۹ نمودار SiO_2 نسبت به K_2O برای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه.

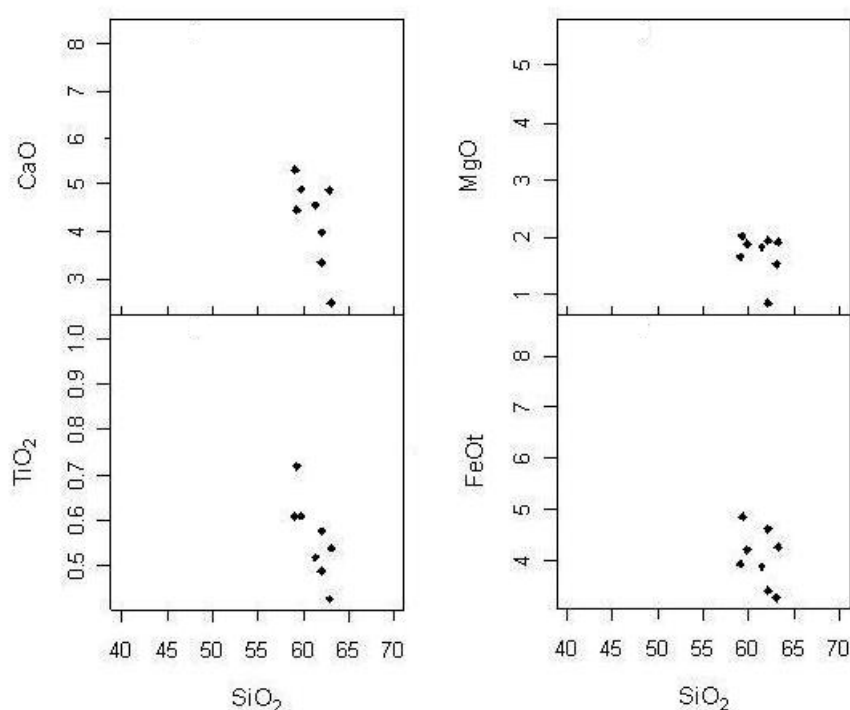
نیز سنگ‌های آتشفشانی منطقه در نمودار شماره ۱۲ [۷] در گستره آندزیت‌های کوهزایی قرار می‌گیرند.

در نمودارهای شکل ۱۳ سنگ‌های مورد بررسی نیز در گستره کمان‌های ماگمایی ناشی از فرورانش به حساب می‌آیند. برای تمایز کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای از کمان ماگمایی جزایر قوسی، از نمودار شماره ۱۴ [۲۱] استفاده شده است. با توجه به این نمودار به نظر می‌رسد که کمان ماگمایی سازنده سنگ‌های منطقه، ناشی از فرورانش یک پوسته اقیانوسی به زیر یک پوسته قاره‌ای بوده است. مقایسه عناصر کمیاب آندزیت-های منطقه با آندزیت‌های حاشیه قاره‌ای و جزایر قوسی مناطق دیگر نیز وابستگی واحدهای آتشفشانی منطقه مورد بررسی را به سری‌های آهکی-قلیایی حاشیه قاره‌ای تأیید می‌کند (جدول ۲).

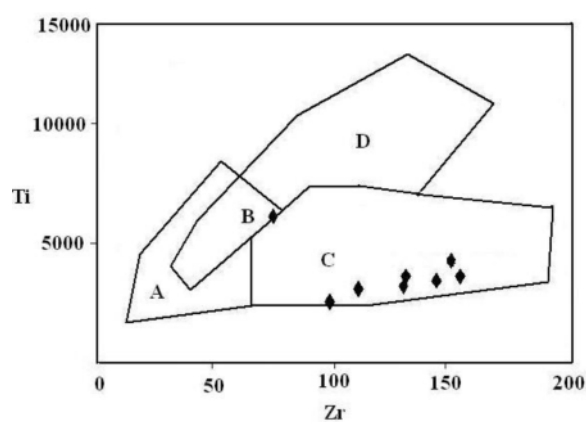
از نسبت عناصر کمیاب Zr/Y نیز برای تشخیص رژیم زمین ساختی می‌توان استفاده کرد [۲۰]. به این صورت که اگر در سنگ‌های آتشفشانی نسبت $\text{Zr/Y} > 3$ باشد می‌توان گفت که به کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای وابسته‌اند و اگر در آن‌ها $\text{Zr/Y} < 3$ باشد به کمان‌های آتشفشانی اقیانوسی تعلق دارند. سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد بررسی دارای نسبت $\text{Zr/Y} > 3$ هستند و در گروه قوس‌های آتشفشانی قاره‌ای قرار می‌گیرند. بنابراین محیط تکتونوماگمایی منطقه مورد بررسی را می‌توان جزء محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای به شمار آورد.

در شکل ۱۰ تغییرات بعضی عناصر اصلی نسبت به SiO_2 برای سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانسار مس میدوک نمایش داده شده است. مقادیر TiO_2 ، FeO و MgO با افزایش SiO_2 روند نزولی نشان می‌دهند که می‌تواند نشانه تبلور بخشی کانی کلینوپیروکسن طی تبلور ماگما باشد [۸]. مقدار CaO نمونه‌ها با افزایش SiO_2 کم و بیش کاهش می‌یابد که می‌تواند به شکل‌گیری ترکیب پلاژیوکلازها از کلسیک به سدیک حین تبلور بخشی ماگما وابسته باشد.

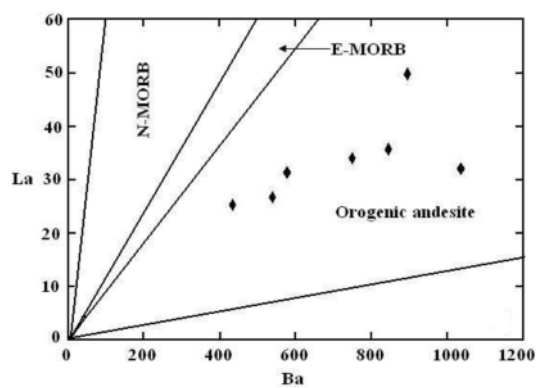
عناصر فرعی آندزیت‌هایی که حواشی قاره‌ای فعال وابسته-اند دارای ویژگی‌های خاصی هستند که آن‌ها را از آندزیت‌های جزایر قوسی مجزا می‌سازد. در این سنگ‌ها نسبت $\text{Ba/La} > 15$ و $\text{La/Th} < 7$ است [۷]. عناصر فرعی سنگ‌های آتشفشانی کانسار میدوک نیز از نسبت‌های بالا پیروی می‌کند که گویای تشابه آن‌ها با سنگ‌های حواشی قاره‌ای فعال است. (جدول ۱). به منظور تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی، از نمودارهایی استفاده شد که عناصر کمیاب کم تحرکی چون Y ، Nb ، Zr ، V ، Ta ، Hf ،... سازنده‌های آن هستند. این عناصر نسبتاً نامتحرک بوده و هنگام فرایندهایی چون هوازدگی، دگرسانی و دگرگونی حساسیت نشان نداده و وارد فاز شاره نمی‌شوند. چنانکه در نمودار شماره ۱۱ مشاهده می‌شود کلیه نمونه‌های منطقه در گستره‌های آهکی-قلیایی، و



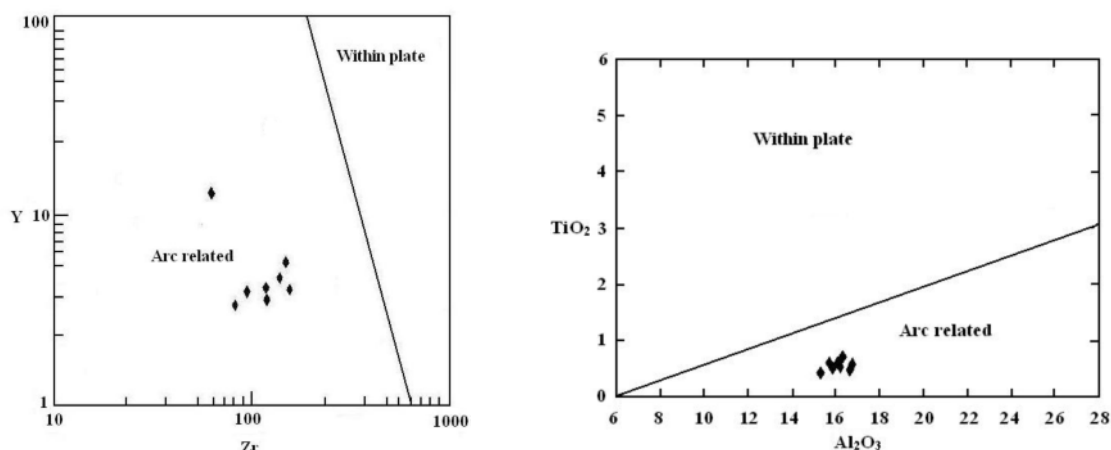
شکل ۱۰ روند تغییرات عناصر اصلی نسبت به SiO_2 در نمودار هارکر.



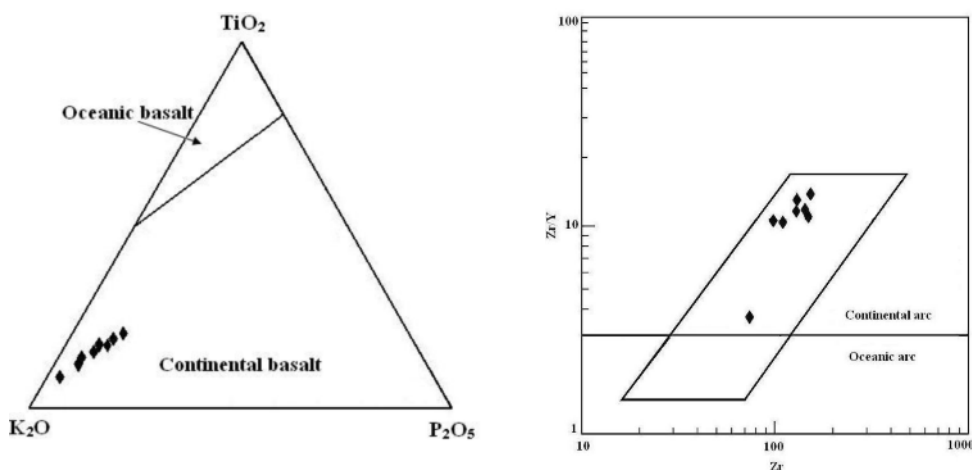
شکل ۱۱ تعیین محیط زمین ساختی سنگ‌های بازیک منطقه بر اساس نمودار [۲۰].



شکل ۱۲ تعیین محیط زمین ساختی سنگ‌های منطقه بر اساس نمودار [۷].



شکل ۱۳ نمودارهای تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه [۱۸].



شکل ۱۴ نمودار تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های منطقه [۲۱].

جدول ۲ مقایسه میانگین ترکیب شیمیایی عناصر کمیاب آندزیت‌های جزایر قوسی و حواشی قاره‌ای فعال با آندزیت‌های منطقه مورد مطالعه.

عناصر فرعی	A	B	C
Rb	۷۵.۵	۱۰	۸۸.۹
Ba	۸۸۹	۱۰۰	۷۲۱.۵
Sr	۶۴۸	۲۱۵	۵۸۲
Ce	۶۶.۸		۶۷.۸
Y	۱۲.۲		۱۱.۳
Co	۱۸.۶	۲۰	۲۳.۹
V	۱۲۵		۱۱۲
Ni	۳۸.۶	۱۵	۲۳.۶
Th	۱.۸۲	۱.۳	۸.۹
U	۰.۶۴	۰.۴	۲.۶۸

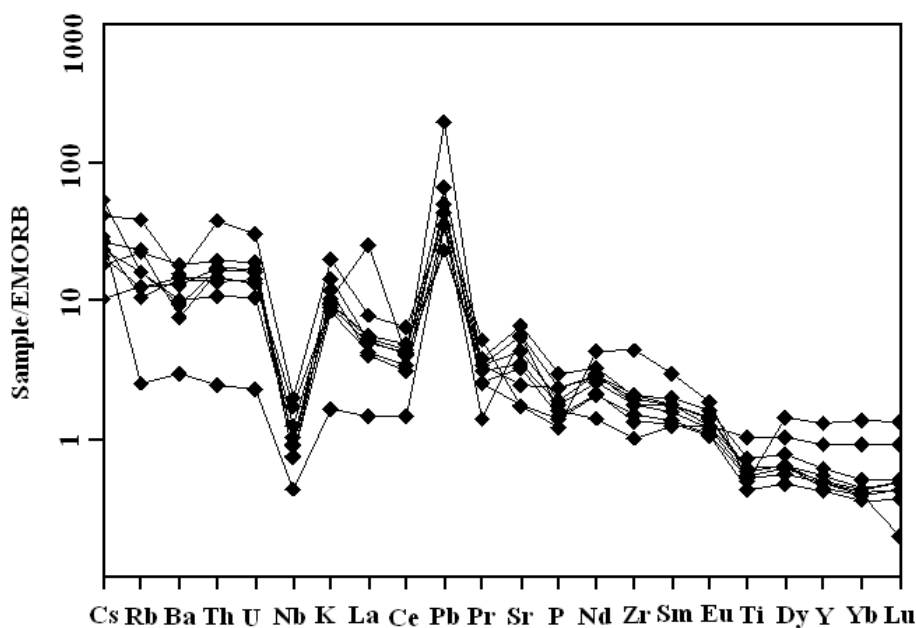
(A) آندزیت‌های آند، (B) آندزیت‌های آهکی-قلیایی جزایر قوسی، (C) آندزیت‌های مربوط به کانسار مس میدوک.

Sr دیده می‌شود که این تهی شدگی متأثر از دگرسانی شدید پلاژیوکلازهاست.

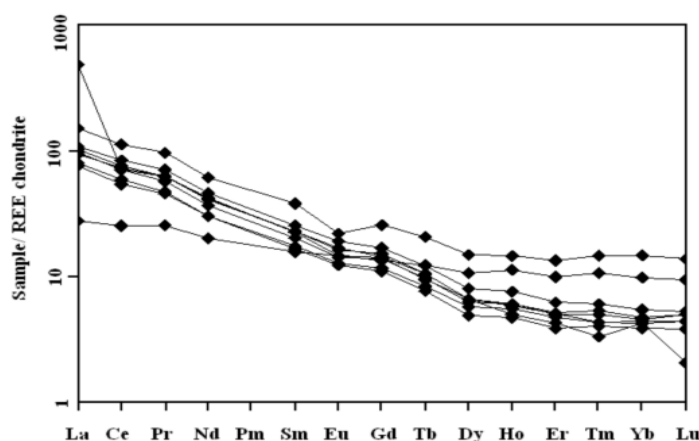
فراوانی عناصر نادر خاکی نمونه‌ها، نسبت به کندریت بهنجار شده است (شکل ۱۶). چنانکه در این شکل ملاحظه می‌شود الگوهای یکنواخت غنی شدگی از عناصر نادر خاکی سبک (از La تا Sm) در مقایسه با عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) در نمونه‌ها به چشم می‌خورد. غنی شدگی از عناصر LREE نسبت به عناصر HREE و مقدار کم Nb, Zr و Ti (HFSE)، وابستگی این سنگ‌ها را به سری‌های آهکی-قلیایی نشان می‌دهند [۱۴]. عنصر Eu در سنگ‌های منطقه، نابهنجاری منفی ضعیفی را نشان می‌دهد که با الگوی سنگ-های آتشفشانی حاشیه قاره‌ای همخوانی دارد. همچنین با توجه به موازی بودن روند وابسته به نمونه‌ها می‌توان به خاستگاه بودن آن‌ها پی برد.

با توجه به ویژگی‌های ژئوشیمیایی و نیز با در نظر گرفتن موقعیت زمانی و مکانی سنگ‌های آتشفشانی کانسار مس میدوک، به نظر می‌رسد که این سنگ‌ها با ماگماتیسم ناشی از فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس به زیر ورقه ایران مرکزی وابسته بوده و در یک محیط کمان ماگمایی (magmatic arc) تشکیل شده‌اند.

در شکل ۱۵ ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی کانسار مس میدوک نسبت به بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی غنی شده (E-MORB) بهنجار شده است. چنانکه در این شکل مشاهده می‌شود، فراوانی عناصر Zr, Lu, Yb, Y, Dy, Th, Eu, Sm فراوانی این این عناصر در E-MORB است و نیز عناصر کمیاب دارای پتانسیل یونی پایین (LILE) پراکندگی بیشتری نسبت به عناصر با پتانسیل یونی بالای (HFSE) است. این پراکندگی به علت تحرک نسبتاً زیاد عناصر LILE در طول دگرسانی است [۱۶]. روند تغییرات عناصر کمیاب در سنگ‌های مختلف کم و بیش موازی است که این امر دلالت بر هم خاستگاه بودن آن‌ها دارد. نابهنجاری منفی عناصر Nb, P, Ti که منجر به پیدایش الگوی ضربدری در روند تغییرات عناصر کمیاب نمونه‌ها شده است، می‌تواند نشان‌دهنده شکل‌گیری سنگ‌ها در منطقه فرورانش باشد، زیرا در مناطق فرورانش شاره‌های آزاد شده از لیتوسفر فرورونده که از Nb فقیر و از LILE غنی‌اند، در گوه گوشته‌ای افزایش می‌یابد [۲۲]. نابهنجاری مثبت Pb به دگرنهادی گوه گوشته‌ای به وسیله شاره‌های ناشی از پوسته اقیانوسی فرورو و یا آرایش ماگما با پوسته قاره‌ای اشاره دارد [۱۳]. همچنین در بعضی از نمونه‌ها در



شکل ۱۵ نمودار عنبکوتی سنگ‌های آتشفشانی میدوک، بهنجار شده نسبت به E-MORB. (Sun & Mc Donough 1989)



شکل ۱۶ الگوی بهنجار شده عناصر نادر خاکی سنگ‌های منطقه نسبت به کندریت (Nakamura 1977).

خاستگاه احتمالی ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌های آتشفشانی منطقه

ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌های آتشفشانی در مناطق فرورانش عموماً از گوه گوشته‌ای، شاره‌ها و آبگون‌ها مشتق شده از پوسته اقیانوسی فرورو ریشه می‌گیرند [۲۲]. ماگماهای برخاسته از گوه گوشته‌ای معمولاً دارای K_2O بالا و MgO پایین هستند [۱۵]. نسبت بالای Ba/Th اشاره به تأثیر ته نشست‌ها در ژنز ماگما دارد [۱۵]. در سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی میزان K_2O در طیف گسترده‌ای نوسان دارد ولی نسبت Ba/Th در نمونه‌ها بالاست. Ba عنصری ناسازگار و متحرک است که مقدار آن در پوسته قاره‌ای و ته نشست‌ها زیاد است [۲۳]. هنگامی که پوشش ته نشستی روی پوسته اقیانوسی فرورانده می‌شود عناصر Ba و Sr به وسیله شاره‌های مشتق شده از ته نشست‌های آبدار و پوسته اقیانوسی به گوه گوشته‌ای منتقل شده و تولید ماگماهای با Ba و Sr بالا می‌کند [۱۶]. با توجه به نسبت بالای این عناصر در سنگ‌های آتشفشانی منطقه میدوک، به نظر می‌رسد که گدازه‌های منطقه مورد بررسی از ذوب بخشی گوه گوشته‌ای که در اثر تماس با شاره‌های مشتق شده از پوسته اقیانوسی فرورونده، از عناصر کمیاب غنی شده است، ریشه گرفته باشند.

برداشت

سنگ‌های آتشفشانی مجموعه آتشفشانی - آذرآواری در برگیرنده کانسار مس میدوک مشتمل بر تراکی آندزیت، آندزیت و آندزیت بازال تا داسیت هستند که سن آن‌ها ائوسن است، و به کمپلکس آتشفشانی رازک تعلق دارند. بر اساس داده‌های

ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب، سنگ‌های آتشفشانی بالا جزء سری آهکی - قلیایی محسوب می‌شوند. در نمودار عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به E-MORB، عناصر Ti, Nb, P دارای نابهنجاری منفی هستند ولی Pb و K نابهنجاری مثبت نشان می‌دهند. این شواهد از ویژگی‌های سنگ‌های ماگمایی مناطق فرورانش است. بهنجار کردن عناصر نادر خاکی نمونه‌ها نسبت به کندریت نشان‌دهنده غنی‌شدگی یکنواخت نمونه‌ها از LREE در مقایسه با HREE است. غنی‌شدگی این سنگ‌ها از عناصر LREE خاکی از ریشه گرفتن احتمالی گدازه‌ها از ذوب بخشی گوه گوشته‌ای است که خود در اثر تماس با شاره‌های مشتق از پوسته اقیانوسی فرورونده، از عناصر کمیاب فوق غنی شده بودند. با توجه به بررسی‌های بالا و نیز موقعیت زمانی و مکانی سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانسار مس میدوک، می‌توان به این نتیجه رسید که سنگ‌های یادشده با ماگماتیسم ناشی از فرورانش پوسته اقیانوسی نتوتیس به زیر صفحه ایران مرکزی همخوانی دارد.

قدردانی

از آنجا که این کار پژوهشی با حمایت‌های همه جانبه مجتمع مس سرچشمه و مجتمع معدنی مس میدوک انجام شده است لذا لازم می‌دانیم از مدیریت محترم امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه جناب آقای مهندس قاسمی، رئیس محترم امور تحقیق و توسعه این مجتمع، جناب آقای مهندس آتش پنجه و نیز مدیریت محترم مجتمع مس میدوک جناب آقای مهندس شریفیان، و رئیس محترم بخش زمین شناسی

[13] Kamber B.S., Ewart A., Bruce M.C., Donald G.D., "Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implication of Archean crustal growth model", *Contrib Mineral Petrol.* 144 (2002) 38-56.

[14] Machado A., Lima E.F., Morta d., Oteiza O., Almeida D.P. M., Figueiredo A.M.G., Alexandre F.M., Urrutia J.L., "Geochemistry constrains of Mesozoic-Cenozoic calc-alkaline magmatism in the South Shetland arc", *Antarctica. J. South Amer. Earth Sci.* 18 (2005) 407-425.

[15] Middlemost E.A.K., "Magmas and magmatic rocks: An introduction to igneous petrology", John Wiley & Sons Inc (1986) New York.

[16] Morata D., Aguirre L., "Extensional lower Cretaceous volcanism in the Coastal Range (29 20-30 S), Chile: geochemistry and petrogenesis", *J. South Amer. Earth Sci.* 16 (2003) 459-476.

[17] Muller D., Groves D.I., "Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization", *Lecture Notes in Earth Sciences* (1997) No.56.

[18] Nakamura K., "Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation -Principle and proposal", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2 (1977) 1-16.

[19] Pearce J.A., Cann J.R., "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analyses", *Earth Planet. Sci. Lett.*, 19 (1973) 290-300.

[20] Pearce J.A., Norry M.J., "Petrogenetic implication of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks", *Con. Min. Petrol* (1979) 33-51.

[21] Pearce J.A., "Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins", In Hawkesworth C.J. and Norry, M.J., shiva, Nantwich (1983) 230-249.

[22] Pearce J.A., Parkinson I.J., "Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. In: Prichard, H.M., Alabaster, T., Harris, N.B.W., Neary, C.R. (Eds.), *Mamatic processes in Plate Tectonics*", vol. 76. Geological Society of London Special Publication (1993) 373-403.

[23] Rollinson H.R., "Using geological data, evolution, presentation, interpretation", Longman Ltd Pulpication (1993) 214 pp.

[24] Saric A., Djordjevic M., Dimitrijevic M.N., "Geological map of Shahr-Babak, Scale 1/100000. Geological Survey of Iran", (1971) Tehran, Iran.

[25] Shahabpour J., "Island-arc affinity of the Central Iranian Volcanic Belt", *Journal of Asian Earth Science*, v.30 (2007) 652-665.

مجمع مس میدوک جناب آقای مهندس رضانی به خاطر همکاری همه جانبه شان در انجام این پروژه سپاسگزاری کنیم.

مراجع

- [۱] احمدی پور فرسنگی ح.، "بررسی دینامیزم فعالیت‌های آتشفشانی کوه مزاحم (شهر بابک)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۷۲) ۳۶۶ صفحه.
- [۲] امامی م. ه.، "ماگماتیسم در ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران (۱۳۷۹).
- [۳] معین وزیری ح.، "چند نقطه عطف در تاریخچه تکتونوماگمایی ایران"، فصلنامه علوم زمین (۱۳۸۳) ۴۹-۵۰.
- [4] Bazin D., Hubner H., "Copper Deposits in Iran", G.S.I. (1969) Rep. 13.
- [5] Cox. K.G., Bell J.D., Pankhurst R.J., "The interpration of igneous rocks", George, Allen and Unwine, (1979) London.
- [6] Dimitrijevic M., "Geology of Kerman region: institute for geological and mining exploration and institution of nuclear and other mineral raw materials", Beograd-Yugoslavia, Iran Geol. Survey Rept. (1973) Yu/52.
- [7] Gill J.B., "Orogenic Andesite and Plate Tectonics", Springer, Berlin, (1981) 389p.
- [8] Gourgau A., Vincent P.M., "Petrology of two continental alkaline intraplate series at Emi Koussi volcano, Tibesti, Chad", *J. Volcan. Geo. Res.* 129 (2003) 261- 272.
- [9] Gust D.A., Perfit MR., "Prise relation of a high-Mg basalt from the Aleutian island arc: implications for primary island arc basalts and high-Al basalts", *Contrib Mineral petrol.* 97 (1987) 7-18.
- [10] Hassanzadeh j., "Metallogenic and tectonoömagmatic events in SE sectore of the cenozoic active continental margin of central Iran-Shahr- Babak, kerman province", PHD thesis, University of California (1993) 201 p.
- [11] Irvin T. N., Baragar W. R. A., "A guide to the classification of the common volcanic rocks", *Can. Jour. Earth. Sci.*, No.8 (1971) 235-458.
- [12] Jung D., Kursten M. O., Turkian M., "Post-Mesozoic volcanism in Iran and its relation to the subduction of the Afro-Arabian under the Eurasion plate. Impilger & Rosler (Eds), *Afar between continental and oceanic rifting. Pp.182- 190. International Symposium on the Afar Region and Related Rift Problems, Bad Bergzaben*", (1975) Vol.2.