

بررسی ژئوشیمی و جایگاه زمین‌ساختی توده نفوذی کوه ارغون (شمال شرق تکاب)، پهنه ایران مرکزی

صمد بهنام^۱، محمد ابراهیمی*^۱، محسن موذن^۲، رباب حاجی علی اوغلی^۳، معصومه زارع شولی^۳

۱. دانشگاه زنجان، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی

۲. دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، گروه علوم زمین

۳. دانشگاه لرستان، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی

پذیرش ۱۴۰۰/۰۷/۰۷

دریافت ۱۳۹۹/۰۶/۲۱

چکیده

توده نفوذی کوه ارغون در شمال شرق تکاب قرار دارد و در سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین نفوذ کرده است. منطقه بررسی شده بخشی از پهنه ایران مرکزی است. از نظر سنگ‌شناسی ترکیب اصلی این توده گابرو است و دارای ترکیب کانی‌شناسی پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند و کانی‌های کدر است. بر مبنای ترکیب ژئوشیمیایی این توده، دارای سرشت کالکوالکالن است. الگوی REE به‌هنگار شده به کندریت سنگ‌های بررسی شده، غنی‌شدگی LREEs نسبت به HREEs همراه با ناهنجاری مثبت Eu نشان می‌دهد. در نمودارهای عنکبوتی به‌هنگار شده به کندریت این سنگ‌ها تهی‌شدگی از عناصر Ti و Nb مشاهده می‌شود که از ویژگی‌های ماگماهای کمان حاشیه فعال قاره است. در ضمن غنی‌شدگی LILEs و تهی‌شدگی از عناصر با شدت میدان بالا از مشخصات ماگماهای مناطق فرورانش‌اند. الگوی نمودارهای عنکبوتی سنگ‌های بررسی شده، نشان‌دهنده دخالت سیالات فرورانش در تکوین ماگمای مولد سنگ‌های بررسی شده است. هم‌چنین بر اساس نمودارهای تعیین خاستگاه زمین‌ساختی، سنگ‌های گابرویی بررسی شده در یک جایگاه زمین‌ساختی حاشیه فعال قاره تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی، گابرو، محیط زمین‌ساختی، ارغون، تکاب.

Geochemistry and tectonic setting of Arghun mountain intrusion (northeast of Takab), Central Iran zone

Samad Behnam¹, Mohammad Ebrahimi*¹, Mohssen Moazzen², Rabab Hajialioghli², Masoumeh Zare Shooli³

1. Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Iran

2. Earth Sciences Department, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Iran

3. petrology, Department of Geology, Faculty of Sciences, Lorestan University, Iran

Abstract

The Arghun mountain intrusion is located in the northeast of Takab and has penetrated into the Precambrian metamorphic rocks. The study area is part of the Central Iran zone. Lithologically, the main composition of this intrusion is gabbro and it has the mineralogical composition of plagioclase, pyroxene, hornblende and opaque minerals. Based on the geochemical composition, the magmatic nature of the study rocks is calc-alkaline. Their

normalized REE pattern to the chondrite shows positive Eu anomaly along with the enrichment of LREEs relative to HREEs. The negative anomalies of the Nb and Ti elements are observed in the spider diagrams normalized to the chondrite, which is characteristic of the active continental margin arc magmas. Meanwhile, LILEs enrichment and depletion of HFSEs elements are remarking features of the subduction arc magmas. The spider diagram pattern of the study rocks reveal the role of the slab-derived fluids in their genesis. According to the tectonic setting discriminant diagrams the Arghun mountain gabbros are generated in an active continental margin setting.

Keywords: Geochemistry, gabbro, tectonic setting, Arghun, Takab.

مقدمه

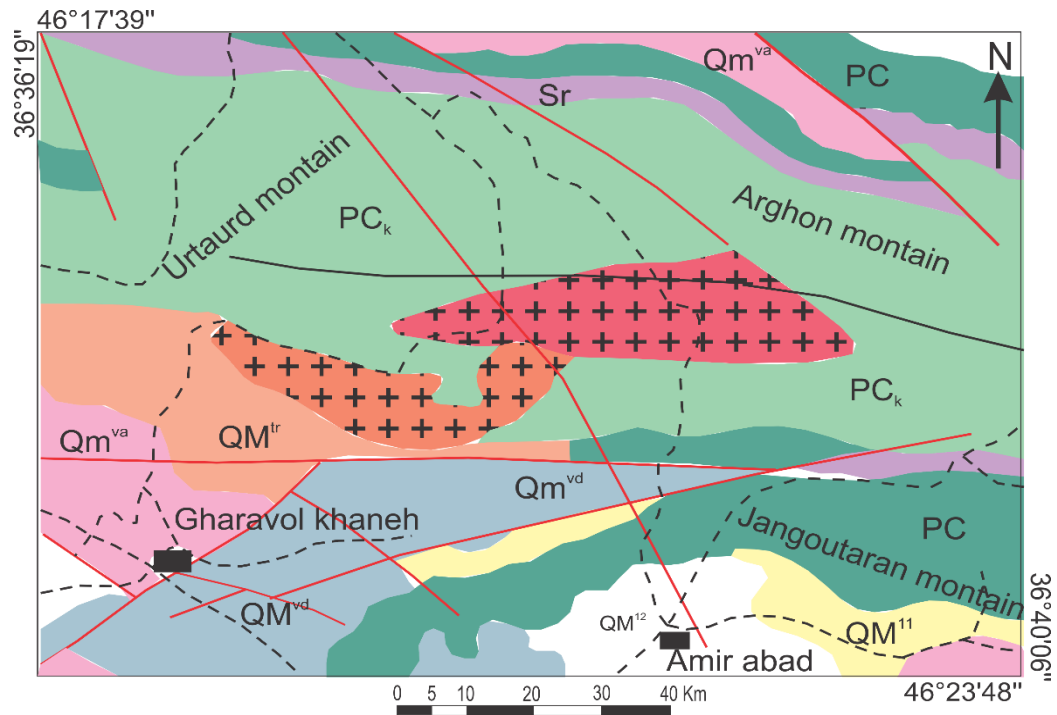
منطقه بررسی شده با مختصات طول‌های جغرافیایی $47^{\circ} 22' 44''$ و $47^{\circ} 19' 14''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ} 37' 03''$ و $36^{\circ} 37' 54''$ شمالی در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۱) و نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ تکاب (Alavi et al., 1976) واقع شده است. این منطقه در تقسیمات واحدهای زمین‌شناسی و ساختاری ایران در پهنه ایران مرکزی قرار می‌گیرد (Alavi, 1991). برونزد سنگ‌های آذرین منطقه، مربوط به دوران‌های پرکامبرین، مزوزوئیک و پلیوسن است (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۱). در سرتاسر چهارگوش تکاب به‌ویژه در بخش‌های مرکزی، شرقی و غربی توده‌های آذرین با ترکیب گرانودیوریتی برونزد دارند که آنها را منسوب به پرکامبرین بالایی و معادل گرانیته دوران دانسته‌اند (برای مثال گرانودیوریت قره‌ناز و گرانودیوریت علم‌کندی). توده‌های نفوذی مربوط به مزوزوئیک شامل توده نفوذی دیوریت-گابرویی، توده گرانیته‌یوئیدی و توده گرانیته‌ی آق‌دره هستند که در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان به سن مزوزوئیک مشخص شده‌اند. توده‌های نفوذی پلیوسن ترکیب کوارتز دیوریت-مونودیوریت دارند که احتمالاً با فعالیت ماگمایی اوایل پلیوسن (فاز کوهزایی آتیکان) ارتباط دارند. برونزد غالب سنگ‌های آذرین منطقه توده‌های گابرویی مزوزوئیک است که در سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین نفوذ کرده است. قبل از پژوهش حاضر پترولوژی توده گابرویی کوه ارغون مطالعه و بررسی نشده، از این‌رو، در این مقاله سعی شده است ضمن بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های نفوذی کوه ارغون به خاستگاه زمین‌ساختی آنها پرداخته شود. از پژوهش‌های پیشین انجام شده در این منطقه می‌توان به بررسی‌های سنگ‌شناسی روی سنگ‌های نفوذی و اسکارن‌های کوه ارغون اشاره کرد (بهنام، ۱۳۹۰؛ بهنام و همکاران، ۱۳۹۰؛ بهنام و همکاران، ۱۳۹۱).

روش پژوهش

پس از نمونه‌برداری از بخش‌های مختلف منطقه، به‌منظور بررسی‌های میکروسکوپی و سنگ‌شناختی، حدود ۲۰ مقاطع نازک تهیه شد و پس از بررسی مقاطع، ۱۱ نمونه با کم‌ترین میزان دگرسانی برای تجزیه شیمیایی به شرکت ACME کانادا فرستاده شدند. عناصر اصلی و فرعی به‌روش ICP - ES و عناصر نادر خاکی و عناصر کمیاب و به‌روش MS-ICP تجزیه شدند. برای اندازه‌گیری عناصر اصلی و فرعی متعاقب ذوب قلیایی و هضم در اسید نیتریک رقیق، ۰/۲ گرم از نمونه به‌وسیله اسپکترومتر نشری پلاسمای القایی مضاعف اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عناصر نادر خاکی و عناصر کمیاب پس از ذوب قلیایی و هضم در اسید نیتریک رقیق، ۰/۲ گرم از نمونه به‌وسیله اسپکترومتر جرمی پلاسمای القایی مضاعف تجزیه شد.

زمین‌شناسی منطقه

نقشه زمین‌شناسی منطقه بررسی شده که بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۱) ترسیم شده در شکل ۱ نشان داده شده است. در منطقه بررسی شده واحدهای سنگی پرکامبرین، مزوزوئیک و سنوزوئیک رخمون دارند که این واحدها از قدیم به جدید به‌طور مختصر شرح داده شده‌اند.

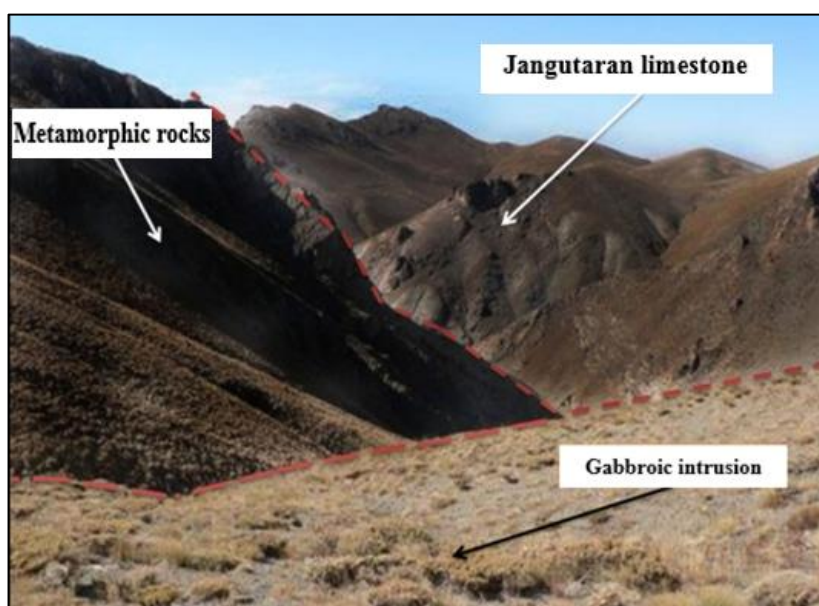


Cenozoic	QM ¹²	Young terraces and low gravel fans	Symbols	Fault Asphalt road Motorable track village
	Qm ^{va}	Porphyritic andesitic lava		
	QM ^{vd}	Dacitic and ignimbritic lava		
	Qm ^{tr}	Pumiceous tuff breccia		
	QM ¹¹	Massive limestone		
Mesozoic		Granite (Jurassic)		
		Gabbro (Triassic)		
Precambrian	PC	Jangutaran limestone		
	Sr	Metamorphosed ultramafic-mafic lava		
	PC _k	Metamorphosed Kahar Formation		

شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه بررسی شده که با کمی تغییر بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۱) ترسیم شده است.

Figure 1. Geological map of the study area modified after Babakhani and Ghalamghash (1371).

سنگ‌های پرکامبرین منطقه بررسی شده شامل تناوب میکاشیست و کوارتزیت (سازند دگرگون شده کهر به ضخامت ۱۲۰۰ متر) و گدازه‌های مافیک و اولترامافیک دگرگون شده (کوماتیت‌ها) است. آهک جانگوتاران روی این مجموعه پی‌سنگی پرکامبرین بالایی قرار دارد (شکل ۲). رخنمون واحدهای سنگی مزوزوئیک در منطقه بررسی شده شامل توده گرانیته (ژوراسیک؟) و توده گابرویی (تریاس) است (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۱). توده نفوذی گرانیته منطقه بررسی شده، به علت قرار گرفتن در زیر رسوبات و سنگ‌های آتشفشانی الیگو-میوسن، سن قدیمی‌تر از الیگو-میوسن دارد. بر اساس باباخانی و قلمقاش (۱۳۷۱) با توجه به تأثیر حرارتی این توده روی رسوبات و سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک و تشابه کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی آن با توده‌های نفوذی گرانیته‌ی مزوزوئیک در مناطق هم‌جوار احتمالاً ژوراسیک در نظر گرفته شده است. رخنمون سنگ‌های سنوزوئیک در منطقه بررسی شده شامل سنگ‌های آذرآواری و سنگ آهک (الیگوسن) به همراه سنگ‌های آذرآواری-آتشفشانی میوسن (ایگنمریت، داسیت و آندزیت پورفیری) است. در دوره کواترنری تراس‌های آبرفتی متعدد و نهشته‌های تراورتن تشکیل شده‌اند (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۱).



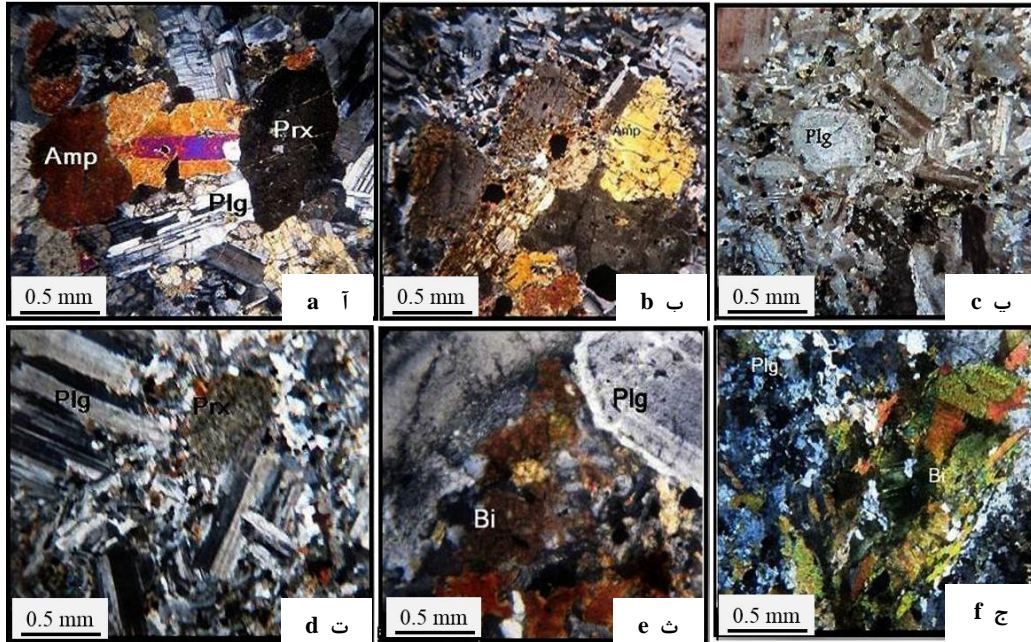
شکل ۲. نمایی از برونزد سنگ‌ها در منطقه بررسی شده. خط‌چین‌ها مرز واحدهای سنگی را مشخص می‌سازند.
Figure 2. The field photo of the study area showing the different rock units divided by dashed lines.

پتروگرافی

سنگ‌های بررسی شده دانه‌متوسط، تمام بلورین (هلوکریستالین) و مزوکرات هستند. از نظر سنگ‌شناسی توده نفوذی کوه ارغون ترکیب گابرویی داشته و عمدتاً از کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند تشکیل شده است (شکل ۳ آ) بیوتیت، اسفن و کانی‌های اپاک به صورت کانی‌های فرعی در سنگ‌های بررسی شده وجود دارند. بافت غالب این سنگ‌ها بافت دانه‌ای (گرانولار) است. علاوه بر این، بافت اینترگرانولار و در بخش حاشیه‌ای توده بافت پورفیری نیز مشاهده می‌شود (شکل ۳ آ، ب، پ و ت).

پلاژیوکلاز مهم‌ترین و فراوانترین کانی تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها محسوب می‌شود. پلاژیوکلاز حدود ۵۵ تا ۶۵ درصد حجم سنگ‌های گابرویی را شامل می‌شود و اغلب به صورت بلورهای خودشکل و نیمه‌خودشکل است و به صورت تیغه‌های ریز تا بلورهای درشت و با ماکل تکراری قابل تشخیص‌اند. برخی بلورهای پلاژیوکلاز منطقه‌بندی (زونینگ) دارند (شکل ۳ ت و ث). کلریتی شدن و سوسوریتی شدن از جمله دگرسانی‌های قابل مشاهده در پلاژیوکلازها هستند.

دگرسانی سوسوریتی بیش‌تر در مرکز بلورها رخ داده که حاکی از منطقه‌بندی عادی پلاژیوکلاز و غنی بودن مرکز بلور از کلسیم نسبت به حاشیه آن است. مهم‌ترین کانی مافیک این سنگ‌ها پیروکسن است و مقدار آن به ۲۵ تا ۳۵ درصد می‌رسد. از دیگر کانی‌های مافیک موجود در سنگ می‌توان به آمفیبول (هورنبلند) با فراوانی بین ۵ تا ۱۰ درصد اشاره نمود. آپاتیت، بیوتیت و کانی‌های کدر از جمله کانی‌های فرعی موجود در سنگ‌های بررسی شده هستند. بعضی از بلورهای بیوتیت سالم و بدون تجزیه است ولی بعضی دیگر تا حدودی به کلریت تجزیه شده‌اند (شکل ۳ ج).



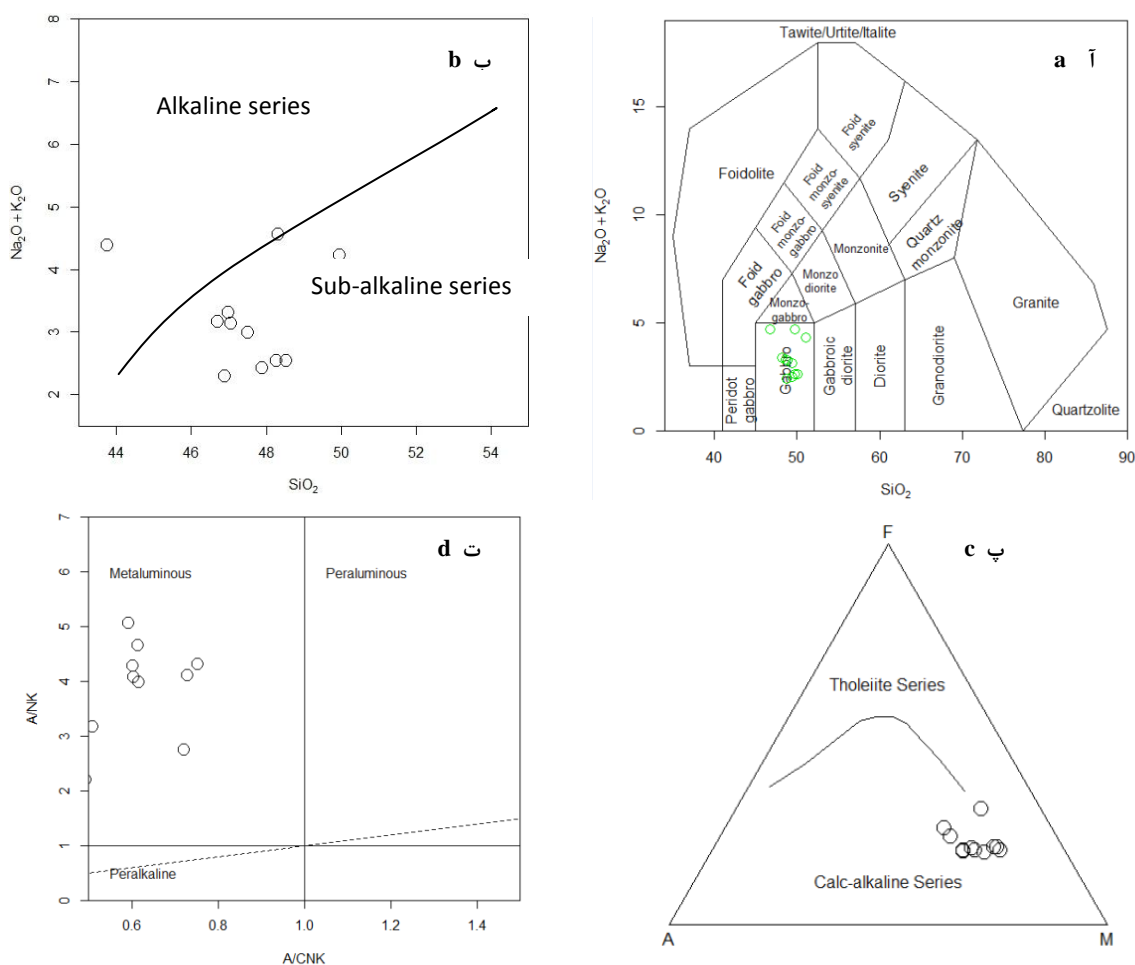
شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی نور عبوری XPL برای سنگ‌های بررسی شده: (آ) بافت دانه‌ای همسان‌دانه با بلورهای پلاژیوکلاز، آمفیبول و پیروکسن، (ب و پ) بافت دانه‌ای غیرهم‌سان‌دانه، (ت) گابرو با بافت اینتراگرانولار و پلاژیوکلازهای دارای ماکل تکراری، (ث) بافت دانه‌ای غیرهم‌سان‌دانه با پلاژیوکلازهای دارای منطقه‌بندی، (ج) گابروی بیوتیت‌دار با بافت دانه‌ای غیرهم‌سان‌دانه، Plg=پلاژیوکلاز، Bi=بیوتیت، Amp=آمفیبول، Prx=پیروکسن. علائم اختصاری به‌کار رفته برای کانی‌ها از کرتز (۱۹۸۳) است.

Figure 3. Transmitted XPL microscopic photos of the study rocks: A) Equigranular texture with plagioclase, amphibole and pyroxene crystals. B and C) Inequigranular texture. D) Gabbro with intergranular texture and twinned plagioclase. E) Inequigranular texture with zoned plagioclase. F) Biotite bearing gabbro with intergranular texture. Mineral abbreviations (after Kretz, 1983) are: Plg plagioclase, Bi biotite, Amp amphibole and Prx pyroxene.

ژئوشیمی توده گابرویی

داده‌های تجزیه شیمیایی سنگ کل گابروهای کوه ارغون که با استفاده از اسپکترومتر نشری پلاسمای القایی مضاعف و اسپکترمتر جرمی پلاسمای القایی مضاعف اندازه‌گیری شده‌اند، در جدول ۱ ارائه شده‌اند. نمونه‌های بررسی شده بر اساس نمودار طبقه‌بندی مجموع قلیایی‌ها در برابر سیلیس (Middlemost, 1994)، در محدوده گابرو قرار می‌گیرند (شکل ۴ الف). به‌منظور تعیین سری ماگمایی گابروهای کوه ارغون از نمودار مجموع الکالی‌ها در برابر سیلیس استفاده شد (Irvine and Baragar, 1971). در این نمودار سنگ‌های بررسی شده عمدتاً در محدوده ساب‌آلکالن قرار می‌گیرند (شکل ۴ ب). محدوده ساب‌آلکالن در شکل ۴ آ هر دو سری کالکوالکالن و تولتیتی را شامل می‌شود. برای تفکیک این دو سری ماگمایی از هم‌دیگر از نمودار سه تایی AFM استفاده شد (Irvine and Baragar, 1971). همه نمونه‌های بررسی شده در نمودار سه تایی AFM در قلمرو کالکوالکالن قرار می‌گیرند (شکل ۴ پ). برای تعیین درجه اشباع از

آلومین گابروهای کوه ارغون از نمودار A/CNK در برابر A/NK استفاده شد (Shand, 1943). در این نمودار تمام نمونه‌های بررسی شده در محدوده متآلومین واقع می‌شوند (شکل ۴ ت).



شکل ۴. آ) نمودار مجموع قلیایی‌ها در برابر سیلیس (Middlemost, 1994)، ب) نمودار مجموع قلیایی‌ها در برابر سیلیس (Irvine and Baragar, 1971)، ج) نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971)، د) نمودار A/CNK در برابر A/NK (Shand, 1943).

Figure 4. a) Total alkali versus silica diagram (Middlemost, 1995), b) Total alkali versus silica diagram (Irvine and Baragar, 1971), c) AFM diagram (Irvine and Baragar, 1971), d) A/CNK versus A/NK (Shand, 1943).

مقدار SiO_2 در سنگ‌های بررسی شده از ۴۳/۷۵ تا ۴۹/۹۵ درصد وزنی و مقدار MgO از ۷/۸۸ تا ۱۱/۴۳ درصد وزنی متغیر است. با توجه به کم بودن دامنه تغییرات SiO_2 در سنگ‌های گابرویی کوه ارغون، برای بررسی روند تغییرات اکسیدها و عناصر کمیاب در نمودارهای تیپ هارکر (Harker, 1909) از MgO به‌عنوان ضریب تفریق استفاده شد (شکل ۵). چنان‌که در شکل ۵ مشهود است روند تغییرات FeO ، V ، Co و Ni نسبت به MgO افزایشی است، در حالی‌که روند تغییرات Al_2O_3 و Sr نسبت به MgO کاهشی است. منیزیم و آهن در ترکیب کانی‌های مافیک مشارکت دارند. افزایش اکسیدهای منیزیم و آهن در ماگما با تبلور بیش‌تر کانی‌های مافیک همراه می‌شود که منتج به کاهش تبلور کانی‌های فلسیک (پلاژیوکلاز) می‌شود. با توجه به تمرکز Al_2O_3 در پلاژیوکلاز، روند نزولی Al_2O_3 نسبت به MgO قابل پیش‌بینی است. نظر به این‌که Sr معمولاً جانشین Ca در پلاژیوکلازها می‌شود، بنابراین Sr نیز مانند Al_2O_3 نسبت به MgO روند کاهشی دارد. وانادیم، کبالت و نیکل از عناصر ناسازگار بوده است و در نتیجه مقدار آنها با

افزایش مقدار MgO افزایش می‌یابد. با توجه به توضیحات مذکور، روندهای تغییرات اشاره شده با فرایند تفریق ماگمایی سازگاری نشان می‌دهند.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی سنگ کل سنگ‌های گابرویی کوه ارغون. اکسیدها به صورت wt% و عناصر به صورت ppm گزارش شده‌اند.

Table 1. Whole rock chemical composition of gabbroic rocks from Arghun Mountain. The oxides are reported in wt% and the elements in ppm.

Sample No	Gm-۲۷	Gm-۲۹	Gm-۳۱	Gm-۳۵	Gm-۳۵	Gm-۳۸	Gm-۳۰	Gm-۳۴	Gm-۴	Gm-۷	Gm-۲۶
SiO ₂	۴۷/۸۸	۴۶/۷۱	۴۳/۷۵	۴۷/۰۵	۴۸/۳۱	۴۹/۹۵	۴۷/۵۱	۴۶/۸۹	۴۸/۵۴	۴۶/۹۹	۴۸/۲۶
TiO ₂	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۲۳	۰/۱۳	۰/۱۱
Al ₂ O ₃	۱۸/۳۳	۲۲/۰۹	۱۹/۷۰	۲۰/۸۳	۱۶/۱۳	۱۵/۳۴	۱۹/۳۷	۱۸/۷۶	۱۶/۶۳	۱۶/۹۷	۱۷/۵۵
Fe ₂ O _{3t}	۳/۷۲	۲/۹۷	۴/۰۳	۳/۳۲	۵/۱۹	۴/۴۸	۳/۱۸	۳/۳۳	۶/۲۹	۳/۷۴	۳/۷۸
MnO	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۷
MgO	۱۰/۶۰	۷/۸۸	۱۰/۹۵	۹/۲۸	۹/۳۰	۹/۲۷	۸/۵۳	۹/۵۰	۱۰/۴۵	۱۱/۲۲	۱۱/۴۳
CaO	۱۴/۲۳	۱۳/۳۳	۱۱/۰۹	۱۲/۹۱	۱۳/۹۲	۱۴/۵۳	۱۴/۶۱	۱۵/۳۹	۱۲/۸۸	۱۵/۳۷	۱۳/۷۷
Na ₂ O	۲/۳۱	۳/۰۰	۴/۲۹	۲/۹۸	۴/۲۴	۴/۰۵	۲/۹۰	۲/۱۶	۲/۳۷	۳/۱۷	۲/۴۱
K ₂ O	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۳۲	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۳
P ₂ O ₅	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
Cr ₂ O ₃	۰/۲۲۰	۰/۱۳۰	۰/۰۷۵	۰/۱۳۹	۰/۰۹۳	۰/۱۲۷	۰/۱۶۶	۰/۲۴۴	۰/۱۱۶	۰/۲۰۵	۰/۲۲۷
LOI	۲/۲	۳/۳	۵/۶	۲/۹	۱/۹	۱/۵	۳/۲	۳/۲	۲	۱/۷	۲
Sum	۹۹/۷۷	۹۹/۸۰	۹۹/۷۳	۹۹/۷۶	۹۹/۸۲	۹۹/۸۲	۹۹/۸۴	۹۹/۸۳	۹۹/۷۹	۹۹/۷۶	۹۹/۷۷
Ba	۶۴	۱۱۴	۱۷۴	۲۶۸	۱۵۸	۹۹	۹۳	۷۳	۲۱	۷۱	۵۴
Rb	۱/۲	۳	۰/۹	۲/۴	۳/۳	۳/۱	۲/۷	۲/۵	۲/۱	۱	۱
Sr	۳۴۱/۱	۶۰۸/۵	۶۱۱/۰	۵۴۶/۱	۳۹۵	۲۶۴	۴۴۲	۳۵۵	۲۷۰/۴	۲۳۷/۸	۳۰۰
Zr	۲/۱	۳/۲	۱/۸	۲/۲	۲/۳	۲/۵	۲/۲	۲/۷	۴/۷	۳/۱	۱/۹
Nb	۰/۲	۱/۴	۱/۲	۰/۴	۰/۸	۰/۹	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۲/۱	۲/۲
Ni	۲۲۳	۱۶۴	۲۳۸	۱۹۶	۱۳۵	۱۱۵	۱۷۲	۲۲۰	۱۶۴	۱۷۲	۲۱۶
Co	۲۹/۲	۲۳	۳۵/۲	۲۵/۳	۲۴	۲۵/۴	۲۷	۳۵/۳	۴۰	۲۸/۲	۲۸/۶
Zn	۴	۷	۹	۹	۶	۱۰	۷	۹	۱۰	۶	۸
Sc	۳۴	۲۱	۱۲	۲۵	۳۷	۴۷	۳۰	۲۹	۳۳	۴۰	۳۶
La	۰/۴	۰/۷	۲/۹	۱/۸	۱/۳	۲/۱	۰/۹	۱/۷	۰/۳	۳/۸	۱/۸
Ce	۱/۵	۱/۷	۴/۸	۲/۱	۱/۹	۳/۲	۱/۸	۲/۳	۱/۱	۶/۳	۳
Pr	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۵۱	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۴۱	۰/۲۴	۰/۳۷	۰/۲۳	۰/۷۱	۰/۳۷
Nd	۱/۱	۰/۶	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۰/۶	۱/۲	۱/۸	۰/۹	۳/۱	۰/۹
Sm	۰/۴	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۴۲	۰/۵۷	۰/۴
Eu	۰/۲	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۶
Gd	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۲۲	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۷۲	۰/۶۹	۰/۵۴
Tb	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۲
Dy	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۳۱	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۵	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۹۰	۰/۷۶	۰/۷۳
Ho	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۵
Er	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۱۷	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۵۸	۰/۵۴	۰/۴۷
Tm	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۷
Yb	۰/۲۹	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۳۹
Lu	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۵
Y	۳/۲	۳/۵	۱/۷	۲/۹	۶	۶	۳	۵	۵/۱	۴/۷	۳/۹
Ta	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱
Hf	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱
V	۱۱۱	۷۲	۸۴	۸۷	۶۸	۹۱	۸۳	۱۰۱	۱۲۴	۱۳۳	۱۱۵
Th	۰/۳	۷/۱	۰/۸	۰/۹	۱/۱	۰/۹	۱/۴	۱/۲	۰/۲	۳/۱	۰/۴
Pb	۰/۹	۵/۸	۳/۳	۲/۳	۴/۶	۴/۱	۴/۹	۳/۸	۰/۵	۳/۳	۱/۱
Cu	۸۷/۴	۲۹/۸	۱۱/۷	۴۶/۱	۱۲/۵	۱۳/۲	۱۲/۹	۱۲/۱	۹/۹	۳۶/۱	۶۸/۷
Mo	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱
Ga	۹/۸	۱۱	۹/۱	۱۰/۶	۱۱/۳	۱۰/۳	۱۲/۳	۱۰/۷	۱۰/۸	۸/۴	۹/۴

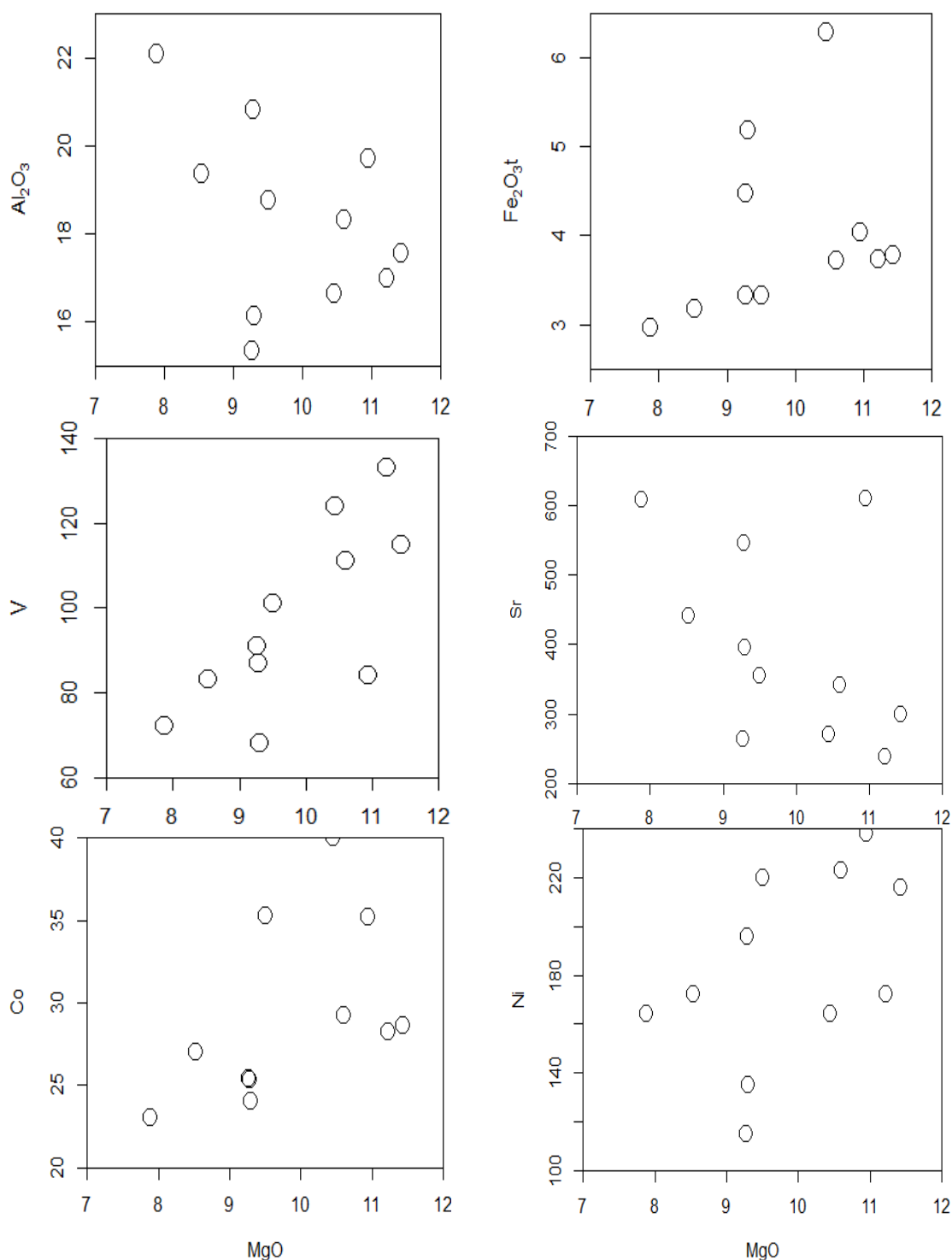
الگوی عناصر خاکی نادر به‌هنجار شده به‌کندریت (Boynton, 1984) در شکل ۶ آ‌نمایش داده شده است. در این نمودار LREEs نسبت به HREEs غنی‌شدگی کمی نشان می‌دهند. این غنی‌شدگی ممکن است به‌دلایل زیاد بودن نسبت CO_2/H_2O در خاستگاه، عمق زیاد تولید ماگما، درجه ذوب‌بخشی پایین و وجود گارنت باقی‌مانده در سنگ منشأ باشد (Wilson, 1989; Wright and McCurry, 1977; Wass and Roger, 1980, Romick et al., 1992). عوامل دیگر مؤثر در ایجاد غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین ممکن است، آ‌لایش پوسته‌ای (Wilson, 2005; Srivastava and Singh, 2004) و یا فراوانی بیش‌تر این عناصر در سنگ منشأ باشند (Thirlwall et al., 1994; Rollinson, 1993). هم‌چنین وجود هورنبلند سبب غنی‌شدگی REEها می‌شود (Thompson et al., 1984). بر اساس شواهد ژئوشیمیایی و سنگ‌شناسی به احتمال بیش‌تر غنی‌شدگی LREEs نسبت به HREEs در سنگ‌های بررسی شده به دلیل فراوانی بالاتر LREEs در منشأ و آ‌لایش پوسته‌ای باشد. ناهنجاری مثبت Eu بیان‌گر انباشت پلاژیوکلاز در سنگ‌های بررسی شده است.

نمودار عنکبوتی به‌هنجار شده به‌کندریت (Thompson, 1982) نمونه‌های بررسی شده در شکل ۶ ب‌نمایش داده شده است. در این نمودار عناصر Rb, Nb و Zr آنومالی منفی و عناصر Sr, Th و Sm آنومالی مثبت نشان می‌دهند. ناهنجاری مثبت عناصر Sr و Sm خاص توده‌های نفوذی ساب‌آ‌لکان مربوط به کمان قاره‌ای می‌باشد (Wilson, 1989; Vitrin and Rodionov, 2008; Rao et al., 2010; Hongyan et al., 2009). ضمناً عناصر لیتوفیل درشت‌یون (LILEs) مانند Ba و Th نسبت به عناصر با شدت میدان بالا (HFSEs) مانند Nb, Zr و P غنی‌شدگی نشان می‌دهند. غنی‌شدگی از عناصر لیتوفیل درشت‌یون و تهی‌شدگی از عناصر با شدت میدان بالا نشان‌دهندهٔ ماگماهای کمان فرورانش است (Molina et al., 2009). ناهنجاری منفی Nb می‌تواند ناشی از آ‌لایش پوسته‌ای در خلال صعود و جای‌گزینی ماگما باشد (Molina et al., 2009; Leeman, 1996). به عقیدهٔ شان و همکاران (۲۰۰۴) مواد فرار ناشی از پوسته اقیانوسی فرورو سبب متاسوماتیسم گوه‌گوشته‌ای بالای زون بنیوف و ایجاد ناهنجاری منفی Nb می‌شوند. به‌عبارت دیگر در محیط‌های فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر پوسته قارای، فازهای فرعی دیرگداز مانند ایلمنیت و روتیل در پوسته اقیانوسی فرورونده پایدار بوده و عنصر Nb را در خود نگه می‌دارند و با جلوگیری از مشارکت آن در ماگما، سبب ایجاد ناهنجاری منفی Nb در ماگما می‌شوند (Chappell and White, 2001).

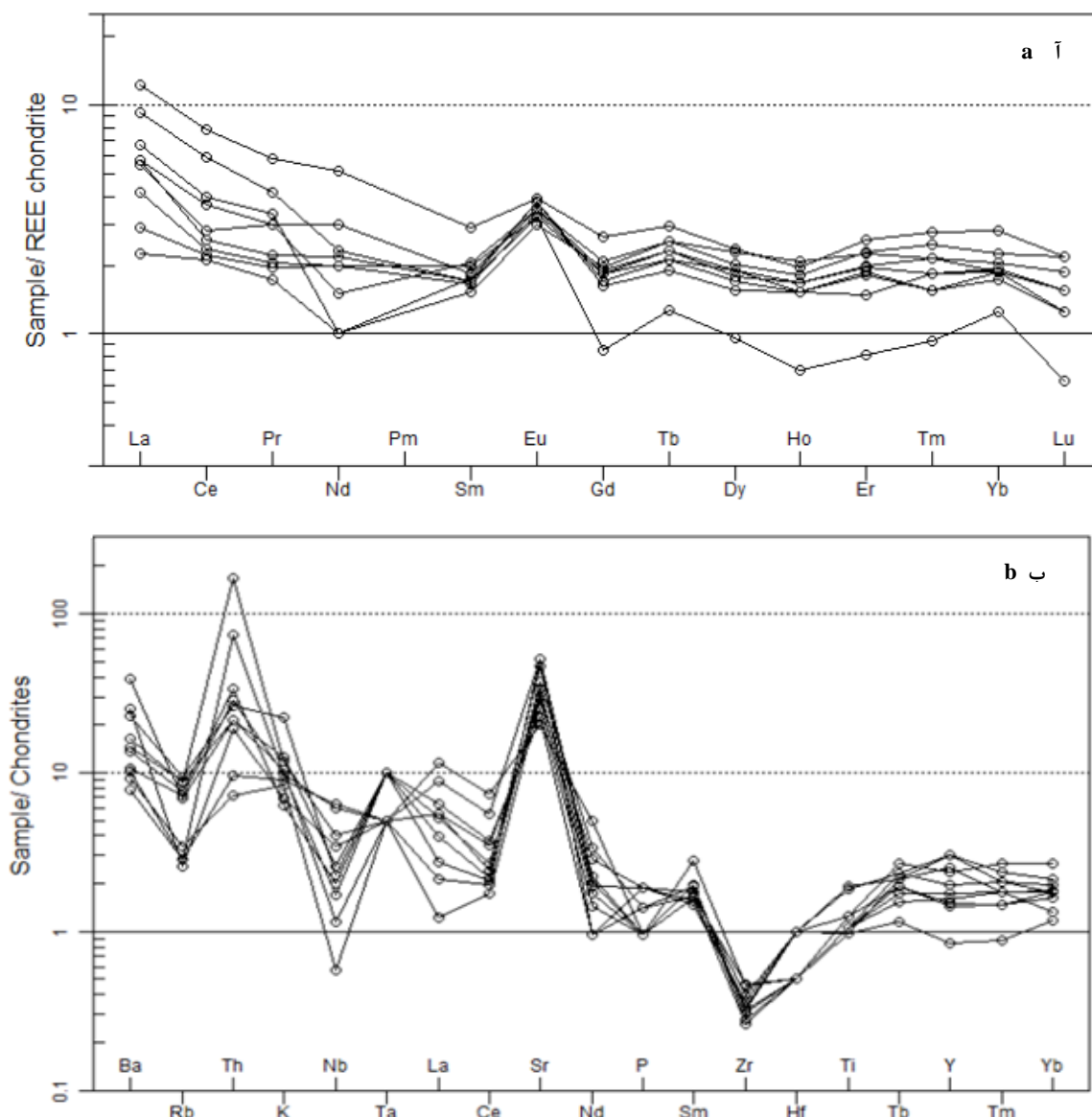
جایگاه زمین‌ساختی و تعیین خاستگاه

ماهیت کالکوآ‌لکان سنگ‌های گابرویی بررسی شده و برخی خصوصیات ژئوشیمیایی آنها از جمله ناهنجاری منفی عناصر Nb, P و Zr و ناهنجاری مثبت عناصر Ba و Th از ویژگی‌های ماگماهای مناطق فرورانش است (Wilson, 1989; Rollinson, 1993; Foley and Wheller, 1990). با این حال از نمودارهای تفکیک محیط زمین‌ساختی (مبتنی بر شیمی سنگ کل) نیز برای تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های گابرویی کوه ارغون و تأیید این مطلب استفاده شده است. Verma و همکاران (۲۰۰۶) بر اساس لگاریتم طبیعی نسبت‌های عناصر اصلی، نمودارهایی را برای تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های بازیک و اولترابازیک ارائه کرده‌اند. در این نمودارها بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی (MORB)، بازالت‌های جزایر اقیانوسی (OIB)، محدوده‌های بازالت‌های ریف‌های قاره‌ای (CRB) و بازالت‌های جزایر قوسی (IAB) از هم مجزا شده‌اند. این نمودارها بدون محدوده مجزایی برای بازالت‌های حاشیه فعال قاره هستند، ولی

با توجه به تشابه چشم‌گیر ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی آنها با بازالت‌های جزایر قوسی معمولاً در محدوده بازالت‌های جزایر قوسی قرار می‌گیرند.



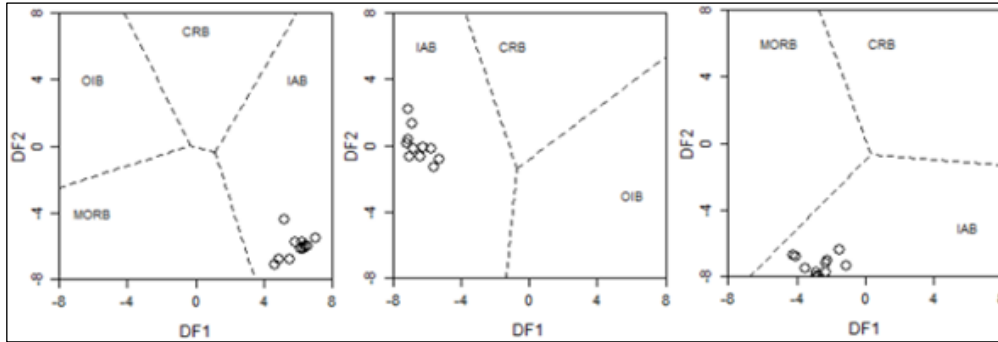
شکل ۵. نمودارهای تغییرات Al_2O_3 , Fe_2O_3t , V, Sr, Co و Ni در برابر MgO برای سنگ‌های بررسی شده (Harker, 1909).
Figure 5. Variation diagrams of Al_2O_3 , Fe_2O_3t , V, Sr, Co and Ni versus MgO for the study rocks (Harker, 1909).



شکل ۶. ا) نمودار عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت (Boynton, 1984) برای سنگ‌های بررسی شده، ب) نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به کندریت (Thompson, 1982) برای سنگ‌های بررسی شده
Figure 6. a) Chondrite normalized REE pattern for the study rocks (Boynton, 1984), b) Chondrite normalized REE pattern for the study rocks (Thompson, 1982).

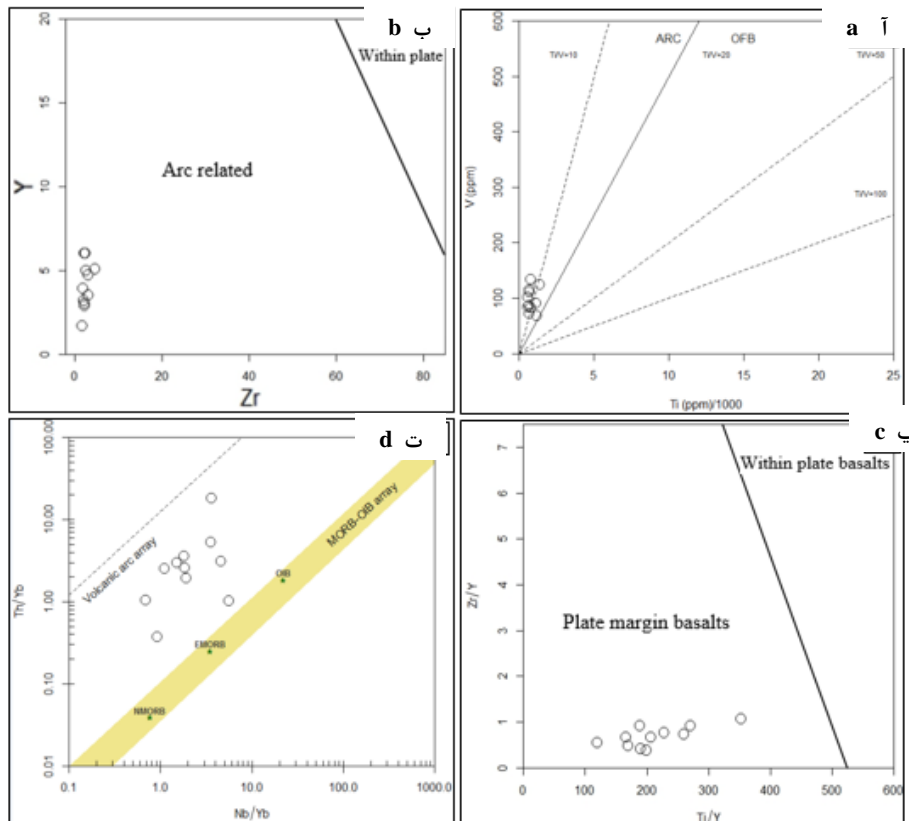
همه نمونه‌های بررسی شده در این نمودارها در قلمرو بازالت‌های جزایر قوسی واقع می‌شوند (شکل ۷). هم‌چنین برای تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های بررسی شده می‌توان از نمودارهایی که مبتنی بر عناصر غیر متحرک هستند، استفاده نمود. این عناصر تحت شرایط دگرسانی گرمایی و دگرگونی متوسط تا بالا معمولاً تحرک‌پذیری ندارند. نمودار تغییرات V در مقابل Ti (Shervais, 1982) بازالت‌های کمان آتشفشانی (Arc) را از بازالت‌های بستر اقیانوس (OFB) جدا می‌کند. همه نمونه‌ها در این نمودار در محدوده بازالت‌های کمان آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل ۸ ا). نمودار دوتایی تغییرات Y در مقابل Zr (Muller and Groves, 1997) محیط‌های زمین‌ساختی بازالت‌های مرتبط با کمان (Arc related) و بازالت‌های داخل صفحه (Within plate) را از هم متمایز می‌سازد. در این نمودار تمامی نمونه‌های

بررسی شده در محدوده سنگ‌های کمان آتشفشانی واقع می‌شوند (شکل ۸ ب). نمودار دوتایی Zr/Y در برابر Ti/Y محیط تکتونیکی بازالت‌های حاشیه صفحه (Within plate basalts) را از بازالت‌های داخل صفحه (Plate margin basalts) مجزا می‌سازد (Pearce and Gale, 1977). گابروهای کوه ارغون در این نمودار در محدوده بازالت‌های حاشیه صفحه واقع می‌شوند (شکل ۸ پ).



شکل ۷. نمودارهای تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های بازیک و اولترابازیک (Verma et al., 2006) که سنگ‌های گابرویی بررسی شده روی آنها ترسیم شده‌اند.

Figure 7. Tectonomagmatic discriminant diagrams for the basic and ultrabasic rocks in which the study rocks are plotted (Verma et al., 2006).



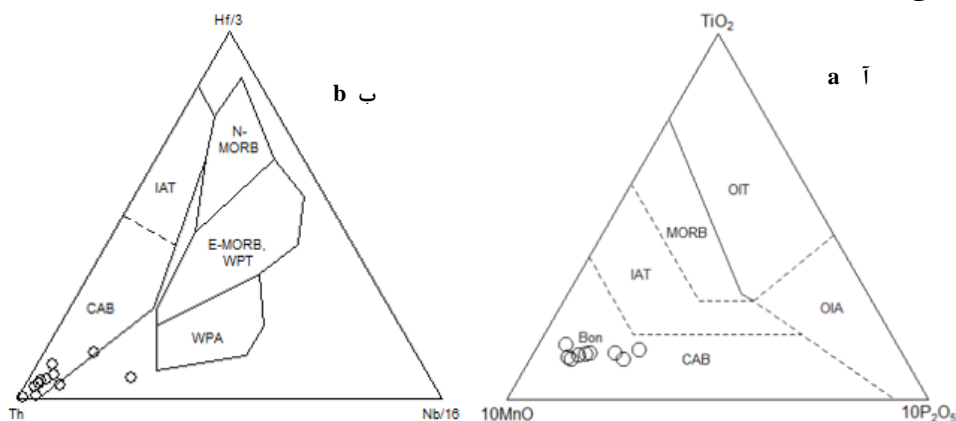
شکل ۸. نمودارهای تعیین محیط تکتونیکی، که سنگ‌های گابرویی کوه ارغون روی آنها ترسیم شده‌اند. (ا) نمودار $Y-Zr$ (Shervais, 1982)، (ب) نمودار $V-Ti$ (Muller and Groves, 1997)، (پ) نمودار $Zr/Y-Ti/Y$ (Pearce and Gale, 1977)، (ت) نمودار $Th/Yb-Nb/Yb$ (Pearce, 2008).

Figure 8. Tectonomagmatic discriminant diagrams for the gabbroic rocks of Arghun Mountain, a) $Y-Zr$ diagram (Shervais, 1982), b) $V-Ti$ diagram (Muller and Groves, 1997), c) $Zr/Y-Ti/Y$ diagram (Pearce and Gale, 1977), d) $Th/Yb-Nb/Yb$ diagram (Pearce, 2008).

نمودار دوتایی Th/Yb در برابر Th/Yb (Pearce, 2008) به نوعی محیط تکتونیکی بازالت‌های بستر اقیانوس (بازالت‌های پشته میان اقیانوسی و بازالت‌های جزایر اقیانوسی) و بازالت‌های کمان آتشفشانی را از هم متمایز می‌کند. در این نمودار آرایه کمان آتشفشانی (Volcanic arc array) بین خط منقطع و آرایه بازالت‌های پشته میان اقیانوس و بازالت‌های جزایر اقیانوسی (MORB-OIB array) که به صورت نوار زرد رنگ است، قرار دارد (شکل ۸ ت). در این نمودار گابروهای کوه ارغون با آرایه کمان آتشفشانی انطباق دارند.

نمودار مثلثی $TiO_2-10*P_2O_5-10*MnO$ جهت تمایز محیط تکتونیکی سنگ‌های بازیک با سیلیس بین ۴۵ تا ۵۴ درصد وزنی کاربرد دارد (Mullen, 1983). در این نمودار قلمروهای بازالت‌های پشته میان اقیانوسی (MORB)، تولیت‌های جزایر اقیانوسی (OIT)، بازالت‌های آلکان جزایر اقیانوسی (OIA)، تولیت‌های جزایر قوسی (IAT)، بازالت‌های کالکوالکان (CAB) و بونینیت‌ها (Bon) از هم متمایز شده‌اند (شکل ۹ آ). در این نمودار گابروهای بررسی شده در قلمرو بازالت‌های کالکوالکان قرار می‌گیرند. همچنین، نمودار سه تایی $Th-Hf/3-Nb/16$ برای تمایز محیط تکتونیکی بازالت‌ها و مشتقات تفریق یافته آنها به کار می‌رود (Wood, 1980). در این نمودار قلمروهای بازالت‌های پشته میان اقیانوسی عادی (N-MORB)، بازالت‌های پشته میان اقیانوسی غنی شده (E-MORB)، تولیت‌های داخل صفحه (WPT)، بازالت‌های آلکان داخل صفحه (WPA)، تولیت‌های جزایر قوسی (IAT) و بازالت‌های کالکوالکان (CAB) از هم تفکیک شده‌اند (شکل ۹ ب). در این نمودار گابروهای کوه ارغون عمدتاً در قلمرو بازالت‌های کالکوالکان قرار می‌گیرند. بازالت‌های کالکوالکان غالباً در محیط تکتونیکی حاشیه فعال قاره تشکیل می‌شوند.

بر اساس ویژگی‌های سنگ‌شناسی، ژئوشیمیایی و نتایج مطالعات تکتونوماگمایی توده گابرویی کوه ارغون در یک جایگاه حاشیه فعال قاره تشکیل شده است. با توجه به اینکه بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۱) سن توده مذکور تریاس ذکر شده است، باید توده گابرویی کوه ارغون حاصل فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتیس به زیر ایران مرکزی باشد. برای آرایه یک بحث جامع‌تر در این خصوص ابتدا لازم است سن دقیق توده گابرویی کوه ارغون مشخص باشد. با این حال، این فرضیه با نتایج برخی پژوهش‌های پیشین که شروع بازشدگی نئوتیس در حاشیه شرقی گندوانا را به کربنیفر-پرمین نسبت داده‌اند، انطباق دارد (Agard et al., 2005; Alavi, 2007; Berberian and King, 1981; Esmaili et al., 2021; Nabatian et al., 2021). به عقیده این محققان فرورانش لیتوسفر اقیانوسی اقیانوس نئوتیس در مزوزویک تداوم داشته و بسته شدن نئوتیس و برخورد قاره به قاره بین صفحه عربی و خرده قاره ایران مرکزی در سنوزویک اتفاق افتاده است.



شکل ۹. نمودارهای تعیین محیط تکتونیکی، که سنگ‌های گابرویی کوه ارغون روی آنها ترسیم شده‌اند. (آ) نمودار $TiO_2-10*MnO-10*P_2O_5$ (Mullen, 1983). (ب) نمودار $Th-Hf/3-Nb/16$ (Wood, 1980).

Figure 9. Tectonomagmatic discriminant diagrams for the gabbroic rocks of Arghun Mountain, a) $TiO_2-10*MnO-10*P_2O_5$ diagram (Mullen, 1983), b) $Th-Hf/3-Nb/16$ diagram (Wood, 1980).

نتیجه‌گیری

توده نفوذی کوه ارغون (واقع در شمال شرق تکاب) از نظر سنگ‌شناسی دارای ترکیب گابرو بوده و کانی‌های تشکیل‌دهنده آن عمدتاً پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول هستند. بافت غالب در این سنگ‌ها بافت دانه‌ای است. همچنین بافت اینترگرانولار و در بخش‌های حاشیه توده بافت پورفیری نیز وجود دارند. بر اساس داده‌های شیمی سنگ کل، گابروهای بررسی شده متآلومین و کالکوالکالن هستند. این سنگ‌ها در نمودارهای عنکبوتی به‌هنجار شده به کندریت تهی‌شدگی از عناصر HFS منجمله Nb، Zr و غنی‌شدگی از عناصر LIL نظیر Th، Ba و Sr نشان می‌دهند که از ویژگی‌های ماگماهای کمان فرورانش‌اند. ناهنجاری مثبت Th در سنگ‌های گابرویی کوه ارغون را می‌توان ناشی از آرایش پوسته‌ای در نظر گرفت. با توجه به فراوانی بالای پلاژیوکلاز در سنگ‌های گابرویی بررسی شده، ناهنجاری مثبت Sr در این سنگ‌ها ناشی از انباشت پلاژیوکلاز در آنها است. الگوی عناصر نادر خاکی به‌هنجار شده به کندریت گابروهای کوه ارغون نسبتاً هموار است و دارای غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین است. ناهنجاری مثبت Eu در این سنگ‌ها نیز تأیید کننده انباشت پلاژیوکلاز در آنها است. فراوانی عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین احتمالاً ناشی از آرایش پوسته‌ای و یا فراوانی بیش‌تر آنها در گوشته منشأ است که به‌وسیله سیالات آزاد شده از صفحه فرورو متحمل متاسوماتیسم شده است. نتایج حاصل از ترسیم داده‌های ژئوشیمیایی روی نمودارهای تعیین محیط تکتونیکی نیز جایگاه زمین‌ساختی حاشیه فعال قاره را برای گابروهای بررسی شده تأیید می‌کند.

منابع

۱. باباخانی ع.ر.، قلمقاش ج.، "نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۱).
۲. بهنام ص.، "پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین درونی دگرگون شده کوه ارغون، جنوب غرب ماهنشان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، (۱۳۹۰) ۱۳۰.
۳. بهنام ص.، ابراهیمی م.، مودن م. و حاجی علی‌اوغلی ر.، "پتروگرافی و ژئوشیمی توده نفوذی کوه ارغون، جنوب غرب ماهنشان"، بیستمین همایش ملی بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، (۱۳۹۱) ۴-۱.
۴. بهنام ص.، ابراهیمی م.، مودن م. و حاجی علی‌اوغلی ر.، "مطالعه کانی‌شناسی اسکارن کوه ارغون، جنوب غرب ماهنشان"، نوزدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، (۱۳۹۰) ۴-۱.
5. Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F., "Convergence history across Zagros (Iran): Constraints from collisional and earlier deformation", *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 94 (2005) 401-419.
6. Alavi M., "Sedimentary and Structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran", *Geological Society of America Bulletin*, 103 (1991) 983-992.
7. Alavi M., Amidi M., Tatavusian Sh., Haghypour A., Bolurchi M.H., Aghanabati A., Pliseh G. and Hajian J., "1:250000 geological map of Takab", *Geological Survey and Mineral Exploration of Iran*, (1976).
8. Alavi, M., "Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran", *American Journal of Science*, 307 (2007) 1064-1095.

9. Berberian, F. and Berberian, M., "Tectono-plutonic episodes in Iran. In Gupta, H.K., and Delany, F.M. eds., Zagros, Hindukosh, Himalaya geodynamic evolution", Washington, DC, American Geophysical Union, (1981) 5-32.
10. Bogoch R., Avigad D., Weissbrod T., "Geochemistry of the quartz diorite-granite association, Roded area, southern Israel", Journal of African Earth Sciences, 35 (2002) 51-59.
11. Boynton, W.V., "Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies", In Developments in geochemistry, 2 (1984) 63-114.
12. Chappell B.W., Whith A.J.R., "Two Contrasting granite types: 25 years later", Australian Journal of Earth Sciences, 48(4) (2001) 489-499.
13. Esmaeili, R., Ao, S., Shafaii Moghadam, H., Zhang, Z., Griffin, W.L., Ebrahimi, M., Xiao, W., Wan, B. and Bhandari, S., "Amphibolites from Makran accretionary complex record Permian-Triassic Neo-Tethyan evolution", International Geology Review, (2021) 1-17.
14. Foley S. F., Wheller G. E., "Parallels in the origin of the geochemical signatures of island arc volcanic and continental potassic igneous rocks: The role of residual titanites", Chemical Geology, 85 (1990) 1-18.
15. Harker, A., "The natural history of igneous rocks", Methuen and Company, (1909).
16. Hongyan G., Min Sun., Chao Uuan., Xiao W., Zhao G., Zhang I., Wong K., Wu F., "Geochemical, Sr-Nd and Zircon U-Pb-Hf isotopic studies of Late Carboniferous magmatism in the west Junggar, Xinjiang: Implications for ridge subduction?", Chemical Geology, 206 (2009) 364-389.
17. Irvine T.N. and Baragar, W.R.A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian Journal of Earth Science, 8 (1971) 235-458.
18. Kretz, R., "Symbols for rock-forming minerals", American Mineralogist, 68(1-2) (1983) 277-279.
19. Leeman, W. P., "Geochemistry of boron and its implications for crustal and mantle processes. In: Anovitz L.M., Grew E.S., (eds) Boron: Mineralogy, petrology and geochemistry", Reviews in Mineralogy, 33 (1996) 645-708.
20. Middlemost E. A. K., "An introduction to Igneous petrology: Magmatic rocks", Longman Ed., (1994) 266 p.
21. Molina J. F., Scarrow J. H., Montero P. G., Bea F., "High-Ti amphibole as a petrogenetic indicator of magma chemistry. Evidence for mildly alkali-hybrid melts during evolution of Variscan basic-ultrabasic magmatism of Central Iberia", Contribution to Mineralogy and Petrology, 158 (2009) 69-98.

22. Morata D., Oliva C., Cruz R., Suarz M., "The boundaries gabbro: Late Oligocene alkaline magmatism in the Patagonian cordillera", *Journal of South American Earth Sciences*, 18 (2005) 147-162.
23. Mullen E. D., "10*MnO-TiO2-10*P2O5: A minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis", *Earth and planetary science letters*, 62(1) (1983) 53-62.
24. Muller D., Groves D. I., "Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization", *Sec. Updated*, Springer Verlag, (1997) 242p.
25. Nabatian, G., Li, X. H., Honarmand, M. and Esmaeili, R., "The magmatic evolution of the Neotethyan rift: Geochronologic, isotopic, and geochemical evidence from A-type felsic magmatism, NW Iran", *Journal of Geodynamics*, 145 (2021) 101829.
26. Pearce J. A., "Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust", *Lithos*, 100(1-4) (2008) 14-48.
27. Pearce J. A., Gale G. H., "Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks", *Geological Society Special Publication*, 7 (1977) 14-24.
28. Rao, N.C., Dongre, A., Kamde, G., Srivastava, R. K., Sridhar, M. and Kaminsky, F. V., "Petrology, geochemistry and genesis of newly discovered Mesoproterozoic highly magnesian, calcite-rich Kimberlites from Siddampalli, eastern Dharwar craton, southern India: Products of subduction-related magmatic sources?", *Mineralogy and Petrology*, 98(1-4) (2010) 313-328.
29. Rollinson, H. R., "Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation", New York, John Wiley and Sons, (1993) 352.
30. Romick J. D., Kay S. M., Kay R. M., "The influence of amphibole fractionation on the evolution of calc-alkaline andesite and dacite tephra from the Central Aleutians, Alaska", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 112 (1992) 101-118.
31. Shand S. J., "Eruptive rocks: Their genesis, composition, classification and their relation to ore deposits with a chapter on meteorite", John Wiley & sons, Incorporated (1943).
32. Shang G. K., Satir M., Sieble W., Nsifa E. N., Taubald H., Liegeoise J. P., Tchoua F. M., "Geochemistry, Rb-Sr and Sm-Nd systematics, case of the Sangmelima region, Ntem Complex., southern Cameroon", *Journal of African Earth Sciences*, 40(1-2) (2004) 61-79.
33. Shervais J. W., "Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas", *Earth and Planetary Science Letters*, 59 (1982) 101-118.

34. Srivastava R. K., Singh R. K., "Trace element geochemistry and genesis of Precambrian sub-alkaline mafic dikes from the central Indian craton: Evidence for mantle metasomatism", *Journal of Asian Earth sciences*, 23(3) (2004) 373-389.
35. Thirlwall M. F., Smith T. E., Graham A. M., Theodorou N., Hollings P., Davidson J. P., Arculus R. J., "High field strength element anomalies in arc lavas: Source or process?", *Journal of Petrology*, 35 (1994) 819-838.
36. Thompson R. N., "British Tertiary volcanic province", *Scottish Journal of Geology*, 18 (1982) 49-107.
37. Thompson R. N., Morrison M. A., Hendry G. L., Parry S. J., "An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: An elemental approach", *Philosophical Transactions of the Royal Society, London A310*, (1984) 549-590.
38. Verma S. P., Guevara M., Agrawal S., "Discriminating four tectonic settings: Five new geochemical diagrams for basic and ultrabasic volcanic rocks based on log-ratio transformation of major-element data", *Journal of Earth System Science*, 115 (2006) 485-528.
39. Vitrin V. R., Rodionov N. V., "Sm-Nd Systematics and petrology of post orogenic granitoids in the northern Baltic shield", *Geochemistry International*, 46 (2008) 1090-1106.
40. Wass S. Y., Roger N. W., "Mantle Metasomatism Precursor to alkaline continental volcanism", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44 (1980) 1811-1823.
41. Wilson M., "Igneous petrogenesis: A global tectonic approach", Chapman and Hall, Unwin Hyman, London, (1989) 466 p.
42. Wood, D. A., "The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province", *Earth and planetary science letters*, 50(1) (1980) 11-30.
43. Wright J. B., McCurry, P., "Geochemistry of calc-alkaline volcanic in northwestern Nigeria, and a possible Pan-African suture zone", *Earth and Planetary Science Letters*, 37 (1977) 90-96.

Geochemistry and tectonic setting of Arghun mountain intrusion (northeast of Takab), Central Iran zone

Samad Behnam¹, Mohammad Ebrahimi^{1*}, Mohssen Moazzen², Rabab Hajialioghli²,
Masoumeh Zare Shooli³

1. Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Iran

2. Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Iran

3. Department of Geology, Faculty of Sciences, Lorestan University, Iran

Extended Abstract

(Paper pages 81-96)

Introduction

The studied gabbroic intrusion is located in northeast of Takab which is a part of the Central Iran zone (Alavi, 1991). Several other intrusions with different ages are exposed in the neighboring area, such as Precambrian granodioritic intrusions in the Gharehnavaz and Alamkandi areas. Mesozoic intrusions in this region, including the studied pluton, are gabbroic, while the Pliocene plutons in the neighboring area are quartz monzonitic to monzo-dioritic in composition. There is no published detail petrologic study on the gabbroic rocks of the Arghun Mountain prior to this research. We try to provide better understanding of the tectonomagmatic events in this part of the Central Iran zone, by field relations, petrography and geochemistry investigations here.

Material and methods

To carry out this research work, several fieldworks were performed. During the fieldworks, we collected geologic field data, field photographs and rock samples. Petrography thin sections were prepared from the collected rock samples. Thin sections were studied under the transmitted polarized microscope at the University of Zanjan. Finally 11 gabbroic samples with the least alteration and weathering were selected for measuring the whole rock chemical compositions. The selected samples were sent to Acmelabs in Vancouver, Canada. Major and minor oxides were measured by inductively coupled plasma emission spectrometry (ICP-ES) and REEs and trace elements were measured by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

Results and discussion

The Arghun mountain intrusion is mainly composed of gabbro. These gabbroic rocks are predominantly composed of plagioclase, clinopyroxene and amphibole. Biotite, titanite, apatite and opaque minerals are also present as minor phases. Plagioclase is the most abundant mineral with euhedral to subhedral shapes. Larger crystals of plagioclase often show zoning and polysynthetic twinning. The common texture in the study rocks is granular texture. Intergranular texture is also observed occasionally. Meanwhile porphyry texture is common at the margins of the pluton. The study gabbros are metaluminous (Shand, 1943) and calc-alkaline (Irvine and Baragar, 1971) in nature. Chondrite normalized REE pattern (Boynton, 1984) of these gabbros show LREEs enrichment relative to HREEs with a minor Eu positive anomaly. The enrichment of LREEs relative to HREEs is probably due to the enrichment of LREEs in the source materials (Wilson, 1989; Rollinson, 1993) and/or crustal contamination (Morata et al., 2005; Srivastava and Singh, 2004). The Eu positive anomaly is owing to plagioclase accumulation (Wilson,

1989; Rollinson, 1993). Negative anomalies of Rb, Nb and Zr and positive anomalies of Th, Sr and Sm can be observed in the chondrite normalized spider diagrams (Thompson, 1982). Sr and Sm positive anomalies are characteristic of the sub-alkaline intrusions in the continental arcs (Vitrin and Rodionov, 2008; Rao et al., 2010; Hongyan et al., 2009). Negative HFSEs anomalies such as Nb and Zr are characteristic to subduction related magmatism (Wilson, 1989). Meanwhile the Nb negative anomaly can be attributed to crustal contamination during the magma ascending and storage (Molina et al., 2009; Leeman, 1996). Based on the petrographic and geochemical data, the study gabbros are generated in an active continental margin due to the subduction of Neotethyan oceanic lithosphere beneath the Central Iran microcontinent.

Conclusion

The Arghun Mountain intrusion, located at northeast of Takab, is composed of gabbro. The intrusion consists mainly of plagioclase, pyroxene and amphibole as major minerals. The predominant texture in the studied rock samples is granular texture. Intergranular and porphyry textures are also present. According to the whole rock geochemical data, the studied gabbros are meta-aluminous and calc-alkaline in nature. In the chondrite normalized spider diagrams, these rocks show depletion in HFSE such as Nb and Zr and enrichment in LILEs (e.g. Th, Ba and Sr) which are characteristic to subduction related arc magmatism. The positive Th anomaly can be related to crustal contamination. The positive Sr anomaly is in consistence with high abundance of plagioclase in these rocks and may refer to plagioclase accumulation. The chondrite normalized REE pattern of the Arghun Mountain gabbros are almost smooth and show enrichment in LRREs relative to HREEs. Eu positive anomaly in these rocks also confirms plagioclase accumulation. LREEs enrichment is probably due to crustal contamination or high abundance of LREEs in the studied rocks because of mantle metasomatism. Geochemistry of the Arghun Mountain gabbros indicate an active continental margin setting for them.

Acknowledgement

The authors are grateful to the authorities at the University of Zanjan for their financial support. The chief editor and also anonymous reviewers are appreciated for their constructive comments on the manuscript.

Keywords: Geochemistry, gabbro, tectonic setting, Arghun, Takab.

*Corresponding Author: Mohammad Ebrahimi ebrahimi@znu.ac.ir