

زمین‌شناسی، کانی‌سازی، ژئوشیمی و پتروولوژی توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز جنوب شرق گناباد

سید جواد هامونی، محمدحسن کریم‌پور*، آزاده ملک‌زاده سفارودی و حسین حاجی میرزاجان
گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

منطقه رودگز در ۲۵ کیلومتری جنوب شرق گناباد و در استان خراسان رضوی قرار دارد. شیل و ماسه‌سنگ‌های منطقه تحت تأثیر کوهزایی اواسط ژوراسیک به اسلیت، شیست و کوارتزیت دگرگون شده‌اند. توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق ترشیری دارای ترکیب مونزونیت تا مونزودیوریت است. اغلب سنگ‌های منطقه تحت تأثیر آلتراسیون‌های کربناتی، آرژیلیک، سرسیتی و سیلیسی-تورمالینی قرار گرفته‌اند. کانی‌سازی در منطقه کنترل گسلی دارد و به صورت رگه‌ای با روند بیشتر NW-SE و شیب ۸۵ تا ۹۰ درجه دیده می‌شود. کانی‌های اولیه شامل: کوارتز، تورمالین، کالکوپیریت، پیریت و کانی‌های ثانویه ملاکیت، آزوریت و گوتیت است. نمونه‌برداری ژئوشیمیایی با روش خرده‌سنگی، ناهنجاری‌های بالایی از عناصر مس، قلع، سرب و آرسنیک (همگی تا بیش از ۱۰۰۰۰ گرم در تن)، روی (حداکثر تا ۵۵۲۷ گرم در تن) و طلا (تا حداکثر ۳۲۵ میلی‌گرم در تن) را نشان می‌دهد. همچنین، ژئوشیمی توده‌های نفوذی کمتر آلتره منطقه نشان می‌دهد که آنها مت‌آلومینوس و پتاسیم متوسط و در کمان ماگمایی پهنه فروانش تشکیل شده‌اند. غنی‌شدگی شدید عناصر LREE نسبت به HREE و غنی‌شدگی در عناصر LILE (Ba, K, Rb, Sr و Th) نسبت به HFSE (Nb, Ta و Ti) مؤید تشکیل ماگما در پهنه فروانش است. ناهنجاری مثبت Eu، مقدار بالای Sr (۴۱۱ تا ۶۸۴ گرم در تن) و بالا بودن نسبت $(La/Yb)_N$ (بیش از ۲۱/۵۵) در تمام نمونه‌ها نشان دهنده تشکیل ماگما در عمق پایداری گارنت است. بر اساس نسبت بالای Sr/Y (بیش از ۶۷)، مقدار Y کمتر از ۸ گرم در تن، Yb کمتر از ۰/۶۱ گرم در تن و بالا بودن نسبت $(La/Yb)_N$ ، ماگمای این توده‌ها آداکیتی و سنگ منشأ آمفیبولیت با ۲۵ درصد گارنت می‌تواند باشد. این توده‌های نفوذی نقشی در کانی‌سازی منطقه نداشته و فقط میزبان رگه‌ها بوده‌اند. کانی‌سازی منطقه رودگز از نوع پلی‌متال رگه‌ای و مرتبط با توده‌های احیایی در عمق است.

واژه‌های کلیدی: قلع، ژئوشیمی، توده‌های نفوذی، کانی‌سازی رگه‌ای، رودگز، بلوک لوت

مقدمه

جغرافیایی ۵۸°۵۱′۳۳ تا ۵۸°۵۴′۳۱ شرقی و
عرض‌های جغرافیایی ۳۴°۱۰′۱۱ تا ۳۴°۱۱′۶۴
شمالی واقع شده است (شکل ۱). منطقه بررسی

منطقه رودگز در فاصله ۲۵ کیلومتری
جنوب شرق شهر گناباد و در محدوده بین طول‌های

بسیار مناسبی برای تشکیل کانی‌سازی‌های مختلف است. وجود انواع کانی‌سازی‌های فلزی از جمله: مس، سرب، روی، طلا، نقره، آرسنیک، آنتیموان، قلع، تنگستن و غیره و کانی‌سازی‌های غیرفلزی مانند: بنتونیت، کائولین و غیره تأکیدی بر این موضوع است.

بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی واحدهای سنگی در منطقه بررسی شده را می‌توان به سه واحد اصلی تقسیم‌بندی کرد که شامل: سنگ‌های دگرگونی با سن ژوراسیک میانی، توده‌های نفوذی نیمه عمیق ترشیاری با بافت پورفیری و رسوبات عهد حاضر است (شکل ۲). قدیمی‌ترین لیتولوژی در منطقه، شیل و ماسه‌سنگ‌هایی است که تحت تأثیر کوهزایی اواسط ژوراسیک به اسلیت، شیست و کوارتزیت دگرگون شده‌اند. واحدهای دگرگونی بخش اعظم منطقه را پوشانده و در اغلب نقاط میزبان رگه‌های کانی‌سازی‌اند (شکل ۲). توده‌های نفوذی به سن ترشیاری در واحدهای دگرگونی نفوذ و گاهی میزبان رگه‌های کانی‌سازی منطقه است. ترکیب این توده‌های نیمه‌عمیق از مونزودیوریت پورفیری تا مونزونیت پورفیری متغیر است و بیشتر در مرکز، شرق و شمال منطقه بررسی شده دیده می‌شوند. این توده‌ها شامل واحدهای هورنبلندمونزودیوریت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری، هورنبلندبیوتیت مونزودیوریت پورفیری، هورنبلندکوارتزمونزونیت پورفیری و هورنبلندمونزونیت پورفیری است (شکل ۲). بافت غالب توده‌ها پورفیری با زمینه دانه‌ریز است. حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد فنوکریست‌ها شامل: پلاژیوکلاز (نوع آندزین) و فلدسپار پتاسیم و گاهی کوارتز، هورنبلند و بیوتیت مشاهده می‌شود. کانی‌های ثانویه نیز شامل: کربنات، کانی‌های رسی، سرسیت، کوارتز و اکسیدهای آهن ثانویه است که با مقادیر متفاوت در نقاط مختلف دیده می‌شود. تصاویری از مقاطع میکروسکوپی توده‌های نفوذی در شکل ۳ ارائه شده است.

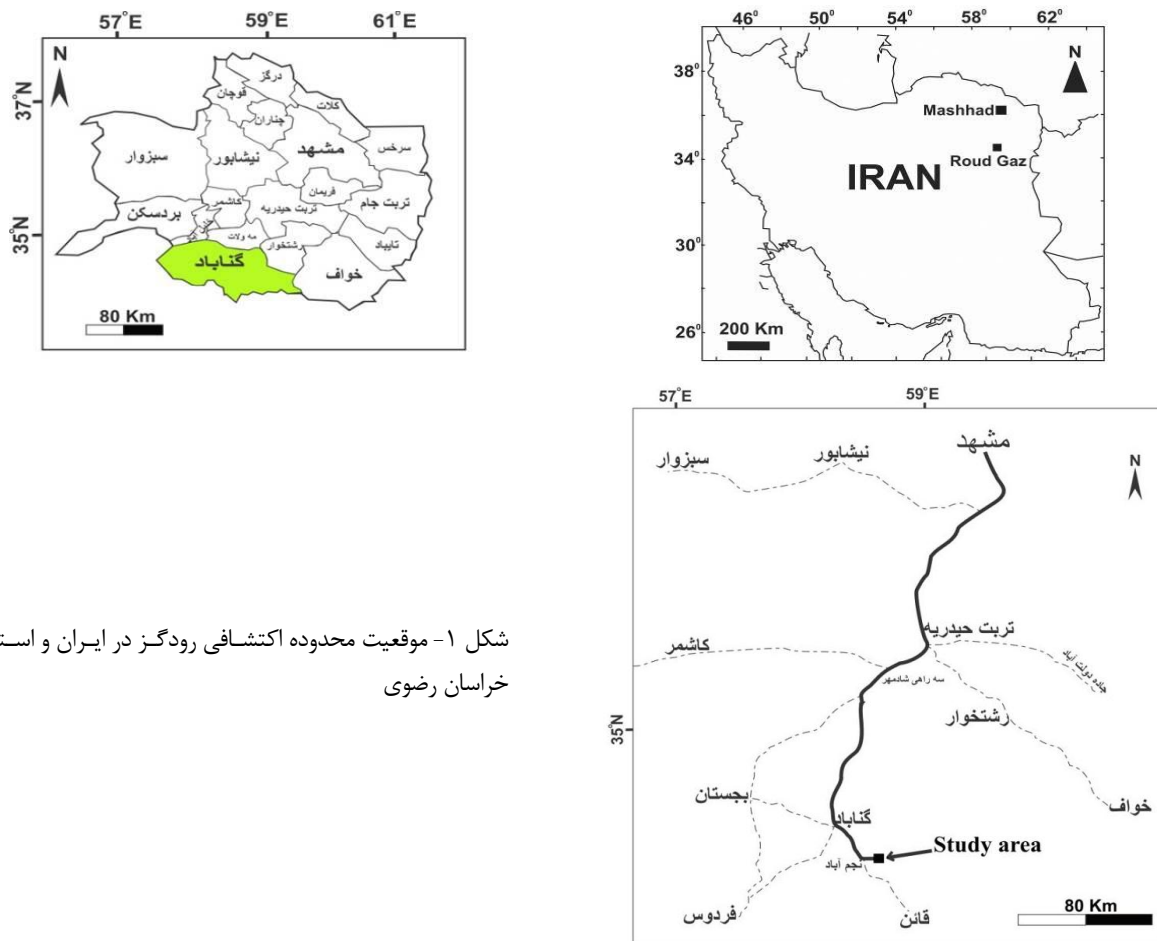
شده در شرق ایران و در قسمت شمالی بلوک لوت قرار دارد.

در منطقه بررسی شده آثار زیادی از رگه‌های کوارتز همراه با مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن ثانویه دیده می‌شود. کنده‌کاری‌ها و فعالیت‌های معدن‌کاری قدیمی در محل رگه‌های کانی‌سازی نیز حکایت از قدمت توجه پیشینیان به منطقه دارد. از جمله بررسی‌های انجام شده قبلی در منطقه می‌توان به تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گناباد (Ghaemi, 2005)، گزارش پی‌جویی و اکتشاف چکشی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ گناباد (Geological Survey of Iran, 2007)، اکتشافات نیمه‌تفصیلی پلی‌متال کلاته آهنی در محدوده کلاته رودگز (Abyaft Consulting Engineers Company, 2006) و پروژه اکتشاف نیمه‌تفصیلی طلا و تنگستن کلاته آهنی (Industry, Mine and Business Organization of Khorasan Razavi province, 2010) اشاره کرد.

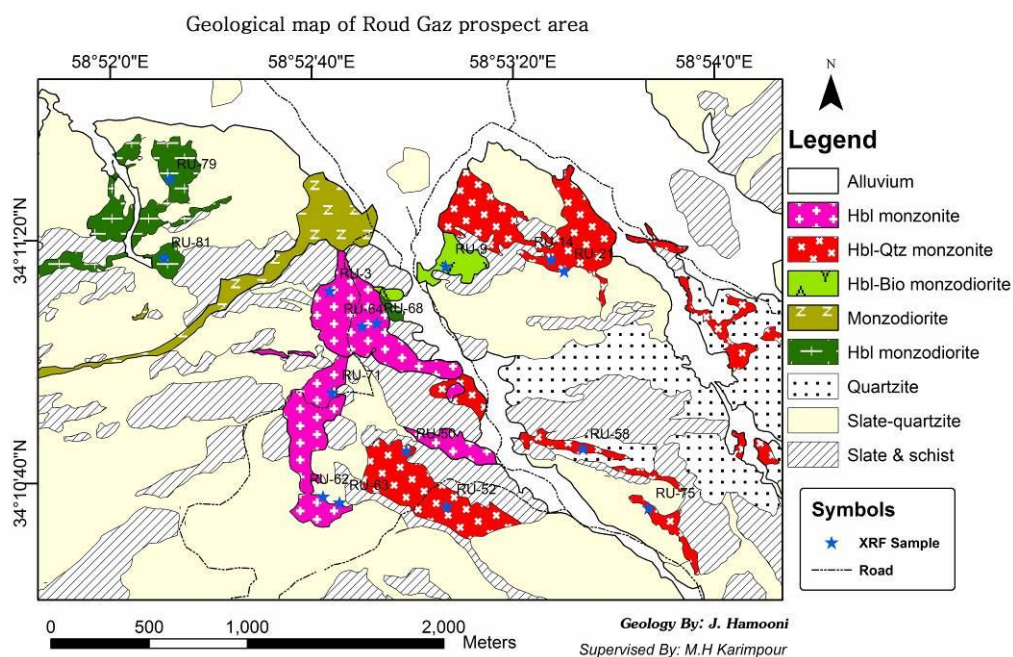
پژوهش حاضر بخشی از پروژه فوق است که با هدف تهیه نقشه زمین‌شناسی با تأکید ویژه بر تفکیک توده‌های نفوذی، مطالعه ژئوشیمی توده‌های نفوذی مختلف منطقه، گسترش و پهنه‌بندی آلتراسیون‌ها و بررسی مدل کانی‌سازی و تعیین ارتباط آنها با توده‌های نفوذی صورت گرفته است.

زمین‌شناسی

منطقه رودگز در شرق ایران و در قسمت شمالی بلوک لوت واقع شده است. بلوک لوت با حجم عظیم ماگماتیسم ترشیاری، به ویژه ائوسن، که بیش از نیمی از آن را می‌پوشاند، مشخص می‌شود (Aghanabati, 2004). این بلوک به واسطه داشتن موقعیت‌های تکتونیکی مختلف در زمان‌های گذشته و به دنبال آن وجود حجم عظیم ماگماتیسم با ویژگی‌های ژئوشیمیایی متفاوت، دارای پتانسیل



شکل ۱- موقعیت محدوده اکتشافی رودگز در ایران و استان خراسان رضوی



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه اکتشافی رودگز



شکل ۳- تصاویر مقاطع میکروسکوپی توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز در نور (XPL، الف) واحد هورنبلندمونزودیوریت پورفیری، (ب) واحد مونزودیوریت پورفیری، (پ) واحد هورنبلندبیوتیت‌مونزودیوریت پورفیری، (ث) واحد هورنبلندکوارتز‌مونزونیت پورفیری، (ث) واحد هورنبلندمونزونیت پورفیری

برای عناصر فرعی و نادر خاکی در آزمایشگاه ACME کانادا با روش ICP-MS. روش آماده‌سازی ذوب قلیایی با کد 4B است. تجزیه ۶۱ نمونه خرده‌سنگی برای عناصر: Zn, Sn, Pb, Cu, Au, As و ... با روش ICP-MS در آزمایشگاه ACME کانادا به منظور اکتشافات ژئوشیمیایی. روش آماده‌سازی ذوب قلیایی با کد 4B است. در این روش ۰/۱ گرم از نمونه در لیتیوم متابورات/تترابورات ذوب و در سیتریک اسید هضم می‌شود.

آلتراسیون

بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق در اغلب نقاط و

روش انجام پژوهش

تهیه و بررسی ۸۲ مقطع نازک برای بررسی‌های پتروگرافی-آلتراسیون؛ تهیه و بررسی ۱۷ مقطع نازک صیقلی و بلوک صیقلی برای بررسی‌های آلتراسیون-کانی‌سازی؛ تهیه نقشه زمین‌شناسی و آلتراسیون با مقیاس ۱:۱۰۰۰ در منطقه‌ای به وسعت ۴ کیلومتر مربع؛ تجزیه ۱۱ نمونه از توده‌های نفوذی کمتر آلتیره شده برای اکسیدهای اصلی با روش XRF در دانشگاه فردوسی مشهد. دستگاه XRF مدل فیلیپس و نوع X unique II که استانداردهای آن از سازمان زمین‌شناسی کانادا تهیه شده است. تجزیه ۱۱ نمونه از توده‌های نفوذی کمتر آلتیره شده

همراه با واحدهای سنگی مونزدیوریت پورفیری و هورنبلندکوارتزمونزونیت پورفیری و هورنبلندمونزونیت پورفیری دیده می‌شود. کانی اصلی این پهنه حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد کلسیت در قالب رگچه و داخل فلدسپارها و کانی فرعی کمتر از ۲ درصد کوارتز ثانویه است.

آلتراسیون کوارتز-سرسیت-کربنات ضعیف با وسعت اندک و در غرب روستای رودگز و همراه با توده هورنبلندمونزونیت پورفیری دیده می‌شود (شکل ۴). این پهنه دارای حدود ۵-۷ درصد کوارتز ثانویه، ۵-۷ درصد سرسیت و ۷-۱۰ درصد کلسیت است. سرسیت و کلسیت حاصل تجزیه فلدسپارهای پتاسیم و کوارتز ثانویه بیشتر در متن سنگ مشاهده می‌شود.

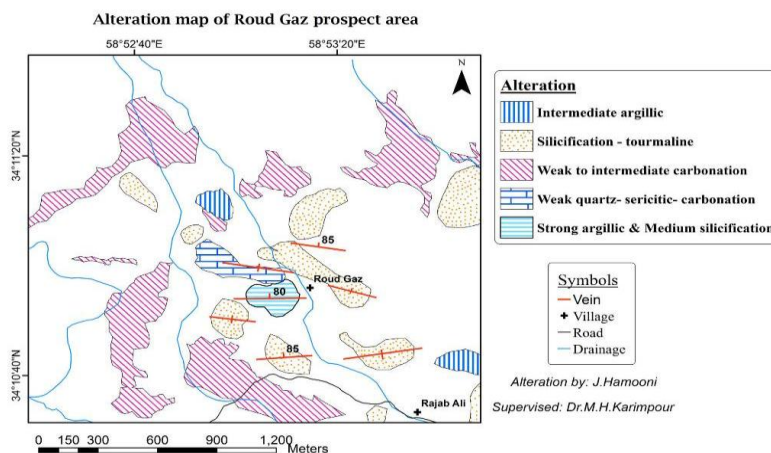
آلتراسیون آرژلیک شدید-سیلیسی متوسط با وسعت کم در غرب روستای رودگز و همراه هورنبلندکوارتزمونزونیت پورفیری دیده می‌شود (شکل ۴). کانی‌های رسی در این پهنه حدود ۵۵-۶۰ درصد (حاصل آلتره شدن فلدسپارهای پتاسیم) و مقدار کوارتز ثانویه نیز ۲۵-۳۰ درصد است که بیشتر در متن سنگ و یا به صورت رگچه دیده می‌شود. سرسیت و کلسیت به صورت فرعی و در حد کمتر از ۲ درصد حاصل تجزیه فلدسپارپتاسیم نیز وجود دارد.

سنگ‌های دگرگونی در حریم اطراف رگه‌های کانی‌سازی تحت تأثیر محلول کانه‌دار قرار گرفته و آلتره شده‌اند. شدت آلتراسیون بیشتر ضعیف تا متوسط است. آلتراسیون‌های مشاهده شده در منطقه رودگز شامل: کربناتی، سرسیتی، آرژلیکی و سیلیسی است که به زیر پهنه‌های آرژلیک متوسط، سیلیسی-تورمالینی، کربناتی ضعیف تا متوسط، کوارتز-سرسیت-کربنات ضعیف و آرژلیک شدید-سیلیسی متوسط، قابل تفکیک است (شکل ۴).

پهنه آلتراسیونی غالب همراه با رگه‌های کانی‌سازی در سنگ‌های دگرگونی منطقه سیلیسی-تورمالینی است. این پهنه با وسعت ۵/۰ تا ۲ متر در اطراف رگه‌ها دیده می‌شود و شامل: ۸۵ درصد کوارتز و ۵-۷ درصد تورمالین است (شکل ۴).

آلتراسیون آرژلیک متوسط نیز با وسعت کم در جنوب‌شرق و شمال‌غربی روستای رودگز و در واحدهای هورنبلندکوارتزمونزونیت پورفیری و هورنبلندمونزونیت پورفیری دیده می‌شود (شکل ۴). این پهنه دارای حدود ۳۰-۳۵ درصد کانی رسی است که حاصل تبدیل فلدسپارهاست. کوارتز ثانویه به صورت فرعی تا کمتر از ۵ درصد نیز حضور دارد.

آلتراسیون کربناتی ضعیف تا متوسط با بیشترین گسترش نسبت به دیگر پهنه‌های آلتراسیونی در منطقه رودگز دیده می‌شود (شکل ۴). این پهنه



شکل ۴- نقشه آلتراسیون منطقه اکتشافی رودگز

کانی‌سازی

کانی‌سازی در منطقه رودگز به صورت رگه‌ای و دارای کنترل گسلی است. عرض این رگه‌ها از ۳۰ سانتی‌متر تا ۲ متر تغییر می‌کند. روند کلی این رگه‌ها بیشتر NW-SE و به ندرت NE-SW بوده، دارای شیب ۸۵ تا ۹۰ درجه است. این رگه‌ها بیشتر در مرکز محدوده بررسی شده مشاهده می‌شوند (شکل ۴).

کانی‌های سولفیدی در سطح وسیعی از منطقه اکسیده شده و سبب تشکیل پهنه گوسان شده است. کارهای قدیمی و آثار شدادی متعددی نیز در مرکز منطقه، در محل پهنه‌های گوسان و در محل رگه‌ها همراه با سرباره مشاهده می‌شود. این رگه‌ها در سنگ‌های دگرگونی منطقه مانند اسلیت و کوارتزیت‌ها و به میزان کمتر در توده‌های نیمه عمیق دیده می‌شود.

بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، رگه‌های کوارتز موجود در منطقه رودگز را به دو نسل می‌توان تفکیک کرد. نسل اول رگه‌های کوارتز شیری رنگی است که فاقد کانی‌سازی و همراه با اسلیت‌ها دیده می‌شود. این اسلیت‌ها در منطقه نشان‌دهنده رخداد دگرگونی ناحیه‌ای در حد رخساره شست سبز است و رگه‌های کوارتز همراه با آنها در طی این دگرگونی ناحیه‌ای شکل گرفته‌اند.

نسل دوم، رگه‌های کوارتز همراه با اکسید آهن است که همراه با کانی‌سازی بوده، توسط محلول‌های کانه‌دار از عمق در سنگ‌های منطقه نفوذ پیدا کرده است.

با توجه به شکل ۵ می‌توان کانی‌سازی در منطقه را به دو مرحله اولیه و ثانویه تقسیم‌بندی نمود:

کانی‌های اولیه شامل: کوارتز، تورمالین،

پیریت و کالکوپیریت است. بخش عمده این کانی‌ها در سطح اکسید شده و به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. پیریت به صورت ذرات شکل‌دار با اندازه بین ۰/۲ تا ۰/۵ میلی‌متر و با مقدار کمتر از ۲ درصد دیده می‌شود.

اندازه کالکوپیریت‌ها نیز بین ۰/۲ تا ۱ میلی‌متر و با مقدار بین ۱-۲ درصد مشاهده می‌شود. کوارتز و تورمالین مهم‌ترین باطله همراه با سولفیدها هستند، به طوری که بیش از ۸۵ درصد رگه‌ها کوارتز و حدود ۵-۷ درصد تورمالین است.

کانی‌سازی ثانویه نیز شامل: ملاکیت، آزوریت، گوتیت و همتایت است (شکل ۵). ملاکیت کانی اصلی مس در منطقه است. مقدار ملاکیت در محدوده پهنه‌های کانی‌سازی رگه‌ای بین ۱۵ تا ۲۰ درصد است. آزوریت نیز با درصد بسیار کمتر حضور دارد. اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در رخنمون‌های سطحی و همچنین، محل کارهای قدیمی به صورت فراوان دیده می‌شود.

Minerals	Hypogene	Oxidized zone
Pyrite	_____	
Chalcopyrite	_____	
Quartz	_____	
Tourmaline	_____	
Malachite		_____
Azurite		-----
Hematite		_____
Goethite		_____

شکل ۵- توالی پاراژنز کانی‌سازی در منطقه اکتشافی رودگز

ژئوشیمی اکتشافی

نتایج تجزیه ۶۱ نمونه خرده‌سنگی در جدول ۱ و موقعیت نمونه‌ها در شکل ۶ ارائه شده است. بر اساس اکتشافات ژئوشیمیایی با روش خرده‌سنگی نتایج زیر حاصل شده است:

مس: مقدار این عنصر از یک گرم در تن تا بیش از یک درصد متغیر است. بیشترین تمرکز این عنصر در مرکز محدوده رودگز و در حوالی روستا قرار دارد. نقشه کانتوری مس دو آنومالی مس تقریباً در شرق و غرب روستای رودگز را مشخص می‌کند که با کانی‌سازی رگه‌های منطقه مرتبط است (شکل ۷).

قلع: مقدار این عنصر از یک گرم در تن تا بیش از یک درصد متغیر است. بیشترین مقدار این عنصر در مرکز منطقه و در شرق روستای رودگز دیده می‌شود. ناهنجاری‌های به دست آمده از این عنصر نشان می‌دهد که بیشترین رگه‌های حاوی قلع، در داخل سنگ‌های دگرگونی مانند اسلیت‌ها و شلیست‌های منطقه دیده می‌شوند. اطراف این رگه‌ها را آلتراسیون سیلیسی-تورمالینی در بر گرفته است (شکل ۸).

سرب: مقدار این عنصر از یک گرم در تن تا بیش از یک درصد متغیر است. بیشترین مقدار این عنصر در مرکز منطقه و در جنوب‌غرب روستای

رودگز وجود دارد. بیشترین تمرکز این عنصر نیز در رگه‌های داخل سنگ‌های دگرگونی مانند اسلیت‌ها و شلیست‌ها دیده می‌شود که همراه با آلتراسیون سیلیسی-تورمالینی است (شکل ۹).

روی: مقدار آن بین ۵ تا ۵۵۲۷ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقدار این عنصر در مرکز منطقه و در جنوب‌غرب روستای رودگز وجود دارد. بیشترین تمرکز این عنصر در رگه‌های کانی‌سازی در سنگ‌های دگرگونی مانند: اسلیت و شلیست همراه با آلتراسیون سیلیسی-تورمالینی است (شکل ۱۰).

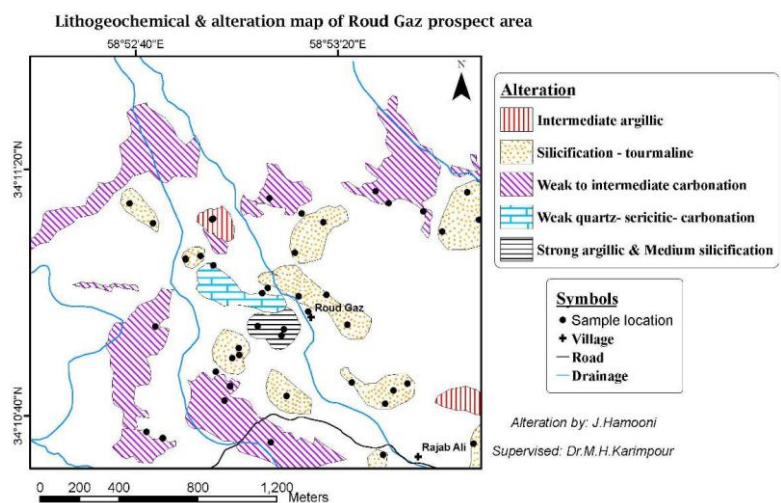
طلا: مقدار این عنصر نیز از ۱ تا ۳۲۵ میلی گرم در تن متغیر است. بیشترین مقدار این عنصر در مرکز منطقه و در جنوب‌غرب روستای رودگز وجود دارد. این عنصر نیز همراه با آلتراسیون سیلیسی-تورمالینی در رگه‌های موجود در سنگ‌های دگرگون شده دیده می‌شود (شکل ۱۱).

آرسنیک: مقدار این عنصر از یک گرم در تن تا بیش از یک درصد متغیر است. بیشترین مقدار این عنصر در مرکز منطقه و در جنوب‌غربی روستای رودگز وجود دارد. بیشترین مقادیر آرسنیک در رگه‌های حاوی کانی‌سازی در داخل سنگ‌های دگرگونی دیده می‌شود که این رگه‌ها همراه با آلتراسیون سیلیسی-تورمالینی است (شکل ۱۲).

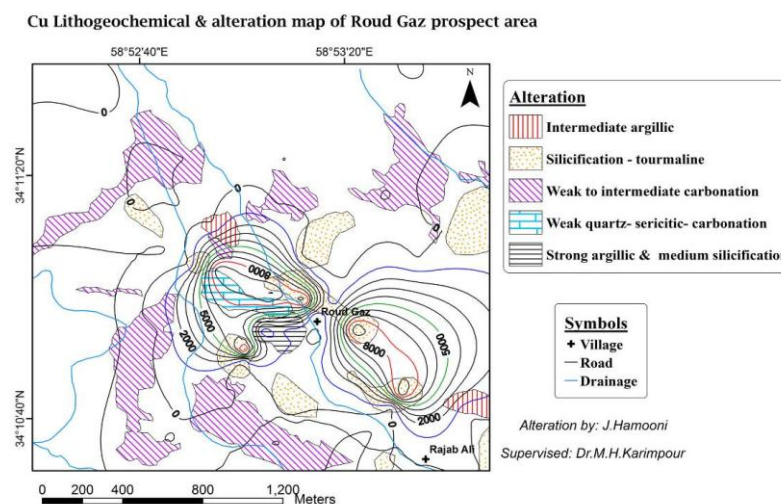
جدول ۱- نتایج تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی با روش خرده‌سنگی در منطقه اکتشافی رودگز

Sample No.	X	Y	Cu (ppm)	Sn (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Au (ppb)	As (ppm)
RU-14	674236	3784573	6	<1	2	21	1	1
RU-21	674303	3784514	13	<1	1	26	1	1
RU-3	673110	3784413	21	2	1	57	2	2
RU-50	673500	3783600	24	2	2	68	1	1
RU-52	673706	3783318	24	1	2	52	1	1
RU-58	674399	3783612	6	1	2	18	2	5
RU-62	673077	3783369	20	1	1	53	1	1
RU-63	673160	3783339	22	2	3	46	3	2
RU-64	673275	3784233	28	<1	1	65	1	1
RU-68	673349	3784250	23	1	3	54	1	1
RU-71	673122	3783897	15	1	2	55	2	1

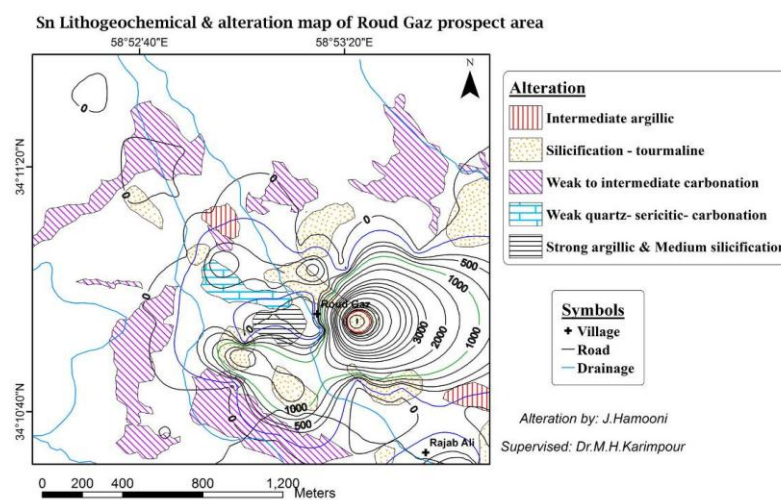
Sample No.	X	Y	Cu (ppm)	Sn (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Au (ppb)	As (ppm)
ادامه جدول ۱- ...								
RU-75	674733	3783311	2	<1	0.9	18	<0.5	1
RU-79	672297	3784983	3	3	2	19	<0.5	3
RU-81	672268	3784585	16	1	2	34	1	1
RU-9	673699	3784538	5	<1	4	20	4	2
RU-C-10	673524	3783733	1425	1065	5057	3230	13	100
RU-C-15	673896	3783972	28	4	192	351	10	10
RU-C-16	674094	3783906	>10000	>10000	61	33	10	1318
RU-C-17	673760	3783852	1558	209	317	555	127	>10000
RU-C-18	673640	3783898	17	4	3	7	1	8
RU-C-19	673428	3783670	301	582	3223	5054	11	475
RU-C-2	674475	3784467	36	2	149	57	<0.5	6
RU-C-20	673501	3783598	32	4	2	57	1	2
RU-C-21	673472	3783527	28	2	2	38	0.8	2
RU-C-22	673707	3783317	25	4	4	56	3	23
RU-C-24	673786	3783549	192	1950	>10000	5527	36	1185
RU-C-26	674117	3783616	1838	104	68	215	1	4002
RU-C-27	674327	3783577	>10000	105	774	751	26	1736
RU-C-28	674285	3783510	45	39	78	250	2	21
RU-C-3	673699	3784538	5	14	7	18	1	8
RU-C-30	673159	3783339	23	16	12	39	<0.5	2
RU-C-31	673274	3784236	20	1	8	61	2	3
RU-C-32	673417	3784421	19	2	5	36	1.6	92
RU-C-33	673122	3783897	24	3	2	50	1	3
RU-C-34	674719	3783162	20	87	742	1918	6	128
RU-C-35	674259	3784550	52	<1	3	47	1	57
RU-C-4	673973	3784419	13	4	6	40	<0.5	6
RU-C-6	674236	3784573	21	5	2	20	<0.5	1
RU-C-7	674760	3784431	24	4	16	5	1	10
RU-C-9	674574	3784372	33	15	14	35	2	12
RU-C-B	673414	3784436	479	30	296	239	24	203
RU-C-C	673408	3784433	20	2	8	56	1	26
RU-C-D	673416	3784203	>10000	714	44	453	11	3554
RU-C-E	674320	3783579	6243	112	126	374	5	43
RU-C-F	673691	3784089	>10000	512	300	2489	10	2329
RU-C-G	673663	3784063	>10000	239	98	603	9	474
RU-C-H	673544	3783789	>10000	10	121	324	1	108
RU-CH-1	674249	3784561	30	<1	23	20	1	3
RU-CH-A	672991	3784512	1	4	128	137	4	114
RU-C-I	673547	3783755	1422	2976	508	662	88	9542
RU-C-J	673772	3783883	109	37	126	637	1	878
RU-C-K	673512	3783738	286	3017	>10000	5335	326	>10000
RU-C-L	673511	3783743	345	1310	7965	4007	64	1166
RU-C-R	674275	3783255	34	69	346	908	1	995
RU-C-T	673989	3784055	207	563	273	305	20	224
RU-C-U	673848	3784048	>10000	83	290	476	12	4168
RU-C-V	673828	3784266	24	2	2	23	2	3
RU-C-W	674829	3784636	22	7	2	35	<0.5	3
RU-C-X	674702	3784569	171	41	914	3720	7	356
RU-C-Y	674479	3784472	65	3	9	11	3	12
RU-C-Z	673864	3784462	5	2	12.	10	<0.5	4



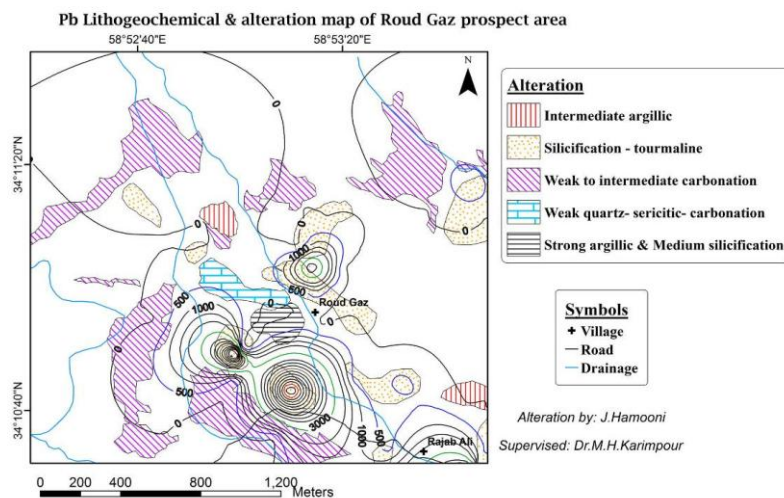
شکل ۶- نقشه موقعیت نمونه‌های ژئوشیمی خردسنگی-آلتراسیون در منطقه اکتشافی رودگز



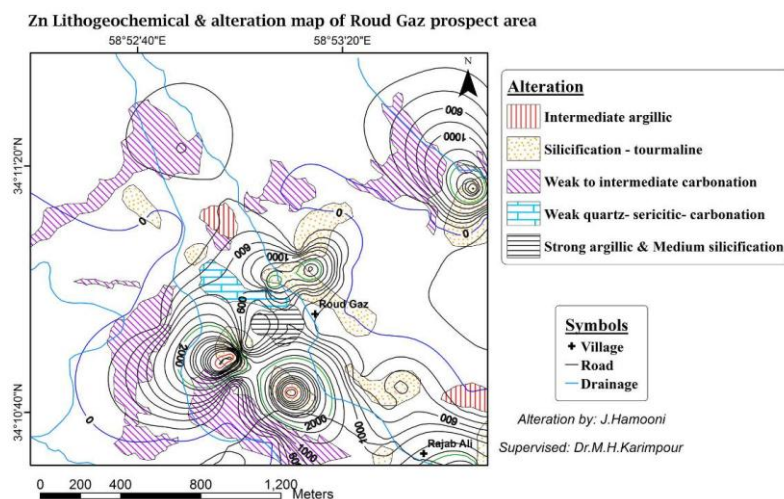
شکل ۷- نقشه ژئوشیمی خردسنگی-آلتراسیون عنصر مس در منطقه اکتشافی رودگز



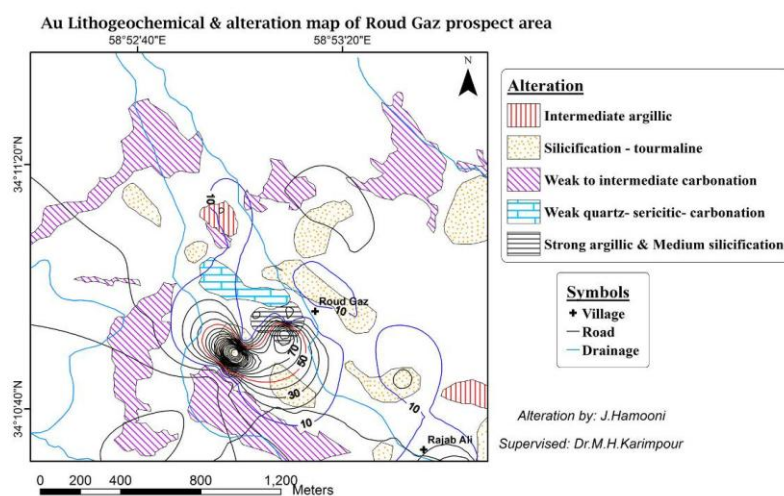
شکل ۸- نقشه ژئوشیمی خردسنگی-آلتراسیون عنصر قلع در منطقه اکتشافی رودگز



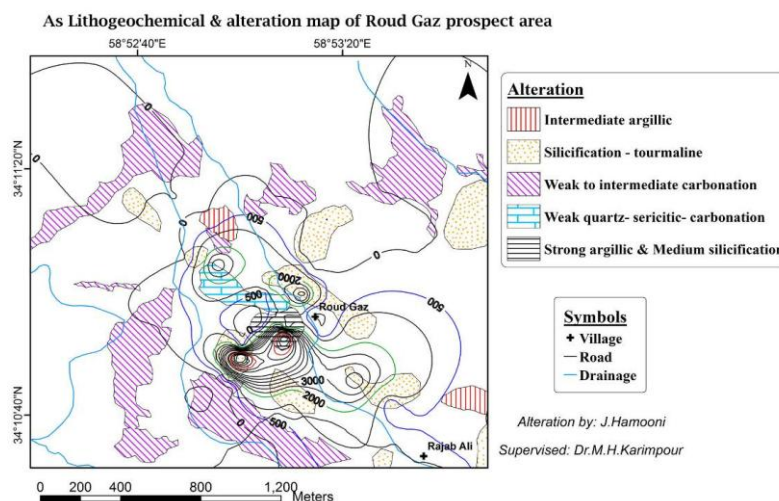
شکل ۹- نقشه ژئوشیمی خرده‌سنگی-آلتراسیون عنصر سرب در منطقه اکتشافی رودگز



شکل ۱۰- نقشه ژئوشیمی خرده‌سنگی-آلتراسیون عنصر روی در منطقه اکتشافی رودگز



شکل ۱۱- نقشه ژئوشیمی خرده‌سنگی-آلتراسیون عنصر طلا در منطقه اکتشافی رودگز



شکل ۱۲- نقشه ژئوشیمی خردسنگی-آلتراسیون عنصر آرسنیک در منطقه اکتشافی رودگز

ژئوشیمی توده‌های نفوذی

نتایج آنالیز اکسیدهای اصلی، فرعی و نادر خاکی توده‌های نفوذی با حداقل آلتراسیون یا بدون آلتراسیون منطقه رودگز در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار SiO_2 نمونه‌ها از ۶۳ تا ۶۷/۸۱ درصد متغیر است. ترسیم نمونه‌ها در نمودار نامگذاری Cox و همکاران (۱۹۷۹) نشان می‌دهد که توده‌های نفوذی در محدوده کوارتز دیوریت قرار می‌گیرند (جدول ۲ و شکل ۱۳). بر اساس نمودار $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ در برابر $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (Maniar and Piccoli, 1989)، توده‌ها بیشتر متالوآلمینوس تا جزیی پرآلمینوس است (شکل ۱۴). مقدار K_2O توده‌ها نیز از ۱/۶۳ تا ۲/۱۵ درصد متغیر است. بر اساس نمودار K_2O در مقابل SiO_2 (Peccerillo and Taylor, 1976) توده‌های نفوذی منطقه رودگز در محدوده پتاسیم متوسط واقع می‌شوند (جدول ۲ و شکل ۱۵).

نمودارهای عنکبوتی عناصر فرعی و برخی عناصر کمیاب نرمالیزه شده نسبت به گوشته اولیه برای توده‌های نفوذی منطقه رودگز، در شکل ۱۶ نشان داده شده است. غنی‌شدگی از عناصر LILE (Ba, K, Rb, Cs, Th, U) و HFSE (Nb, Ta, Zr, Hf) در توده‌ها مشاهده می‌شود.

Rb, Sr و Th) و تهی‌شدگی از عناصر HFSE (Nb, Ta و Ti) در همه نمونه‌ها نسبت به گوشته اولیه دیده می‌شود (شکل ۱۷). غنی‌شدگی در LILE نسبت به HFSE نشان‌دهنده ماگمای مرتبط با مناطق فرورانش است (Pearce, 1983; Gill, 1981; Wilson, 1989; Rollinson, 1993). احتمال این که عناصر HFSE در فازهایی مانند روتیل و یا ایلمنیت وارد شوند بسیار زیاد است که این مطلب به وجود ورقه فروزانده شده اشاره می‌کند (Ryerson and Watson, 1987). مقادیر پایین Nb, Ta و Ti می‌تواند نتیجه وجود پلاژیوکلاز و اکسیدهای Fe-Ti یا کانی‌های Nb-Ti دار در باقیمانده ماگمای مادر در محل مخزن باشد (Reagan and Gill, 1989; Martin, 1999; Pearce and Parkinson, 1993). همچنین، مقادیر Nb و Ta می‌تواند منعکس‌کننده تهی‌شدگی رخ داده قبلی در سنگ‌های مخزن گوشته باشد (Walker et al., 1997; Gust et al., 2001). غنی‌شدگی Ba, Rb و Th و افت عناصر Nb و Ti در الگوی عناصر کمیاب از ویژگی‌های سنگ‌های وابسته به پهنه فرورانش است (Wilson, 1989).

بر پایه مقدار عناصر Nb, Rb, Y, Yb و Ta در دیگرام‌های Pearce و همکاران (۱۹۸۴)، موقعیت

تکتونیکی تشکیل توده‌های نفوذی رودگز، کمربندهای آتشفشانی پهنه فرورانش (VAG) است (شکل ۱۷).

عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (LILE)، عناصری ناسازگار و متحرک اند در حالی که عناصر واسطه با شدت میدان بالا (HFSE) و برخی از عناصر متحولی در شرایط دگرگونی و دگرسانی، عناصری سازگار و تقریباً نامتحرک‌اند. غلظت عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ به عنوان تابعی از فاز شاری است، در حالی که غلظت عناصر واسطه با شدت میدان بالا تابعی از شیمی سنگ، خاستگاه و فرآیندهای ذوب-تبلور است (Rollinson, 1993).

Edwards و همکاران (۱۹۹۴) معتقدند که علت تخلیه Ti در ماگماتیسم، مرتبط با فرورانش و فوگاسیته اکسیژن است. وقتی فوگاسیته O_2 بالا باشد، دمای زیادتری لازم است تا فازهای حاوی Ti در مذاب‌های مشتق شده از منطقه فرورانش تخلیه شود. بنابراین، Ti تخلیه نمی‌شود و این عنصر ناهنجاری منفی نشان می‌دهد. همچنین، آنومالی منفی Ti می‌تواند منعکس‌کننده نقش اکسیدهای Fe-Ti باشد (Rollinson, 1993). تهی‌شدگی فسفر در نمونه‌ها به تفریق آپاتیت از ماگما مربوط می‌شود.

عناصر REE نسبت به سایر عناصر به مقدار کمتری در معرض هوازگی و آلتراسیون‌های گرمابی قرار می‌گیرند. بنابراین، الگوی فراوانی آنها می‌تواند نشانه‌هایی از منشأ آذرین سنگ‌ها را اثبات کند (Boynton, 1985; Rollinson, 1993). نمودار عناصر نادر خاکی توده های نفوذی منطقه رودگز که نسبت به کندریت نرمالیزه شده‌اند، یک غنی‌شدگی شدید در LREE‌ها نسبت به HREE‌ها را نشان می‌دهد (شکل ۱۸). این روند غنی‌شدگی در LREE نسبت به HREE شاخص ماگمای

تشکیل شده در پهنه فرورانش است (Gill, 1981; Rollinson, 1983; Pearce, 1989; Wilson, 1993). همچنین، این الگوی عناصر نادر خاکی نشان‌دهنده حضور گارنت به عنوان کانی باقی‌مانده در سنگ منشأ ماگما است (Rollinson, 1993).

به عقیده Taylor و McLennan (۱۹۸۵) هر گاه مقدار Eu/Eu^* بیش از یک باشد، ناهنجاری مثبت و هر گاه کمتر از یک باشد، ناهنجاری منفی است. به طور کلی، توده‌های نفوذی منطقه رودگز دارای ناهنجاری Eu مثبت است و فقط نمونه Ru-3 دارای Eu/Eu^* اندکی منفی است (جدول ۲ و شکل ۱۸). ناهنجاری Eu مثبت نیز مؤید تشکیل ماگما در عمق پایداری گارنت و همچنین، نشان‌دهنده کاهش تفریق ماگما و در نتیجه عدم تبلور تفریقی پلاژیوکلاز اولیه است (Henderson, 1984). بالا بودن نسبت $(La/Yb)_N$ (۲۱/۵۵-۳۰/۰۷) در تمام نمونه‌ها نیز تشکیل ماگما در عمق پایداری گارنت را اثبات می‌کند. همچنین، نبود ناهنجاری منفی Ce نشان می‌دهد که عناصر نادر خاکی سبک دستخوش تغییرات مهمی نشده‌اند و در نتیجه به طور قابل اعتمادی نسبت‌های $(La/Ce)_N$ حفظ شده است (Cotton et al., 1995). نسبت $(Ce/Yb)_N$ می‌تواند نشان‌دهنده عمق و نرخ ذوب سنگ مادر باشد. مقدار کم این نسبت نشان می‌دهد که ماگما از قسمت‌های بالایی گوشته (عمق کم) یا نرخ ذوب زیاد ریشه گرفته است. در مقابل، ماگماهایی با نسبت بالای $(Ce/Yb)_N$ نشان‌دهنده این است که ماگما از عمق زیاد (گستره پایداری گارنت) و نرخ ذوب کم (فشار زیاد) ریشه گرفته‌اند (Cotton et al., 1995). با توجه به جدول ۲ مقدار $(Ce/Yb)_N$ توده‌ها بیش از ۱۸/۸۷ است. همچنین، بالا بودن مقدار Sr توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز (۴۱۱-۶۸۴ گرم در تن)، عدم وجود پلاژیوکلاز در سنگ

منشأ را تأیید می‌کند (جدول ۲).

۱۰، $Yb \leq 1/8 \text{ ppm}$ و $Y \leq 18 \text{ ppm}$.

مقدار نسبت Sr/Y توده‌ها نیز از ۶۷ بیشتر بوده و تا ۱۰۷ می‌رسد. همچنین، میزان Y کمتر از ۸ گرم در تن است (جدول ۲). موقعیت نمونه‌ها در دیاگرام Sr/Y در مقابل Y گویای آن است که ماگمای این توده‌های نفوذی ماهیت ماگماهای آداکیتی را دارد (شکل ۱۹). ویژگی ژئوشیمیایی آداکیت‌ها با موارد زیر مشخص می‌شود (Defant and Drummond, 1990):

مقدار $SiO_2 \geq 56\%$ درصد، مقدار $Al_2O_3 \geq 15\%$ درصد، $MgO < 3\%$ درصد (به ندرت بیش از ۶ درصد)، مقدار $Na_2O \leq 7/5\%$ درصد، نسبت K_2O/Na_2O کم (حدود ۰/۴۲)، نسبت مولی منیزیم بالا (حدود ۰/۵۱)، مقدار $Cr = 36$ گرم در تن، مقدار $Ni = 240$ گرم در تن، مقدار Sr بیش از ۴۰۰ گرم در تن، مقدار HREE بسیار کم، نسبت $(La/Yb)_N$ بیش از

مذاب‌های آداکیتی معمولاً از تبلور بخشی سنگ‌های گارنت‌دار حاصل می‌شود (Macpherson et al., 2006). این کانی‌فاز باقیمانده حاضر در فشار بیشتر یا مساوی یک گیگاپاسکال و حرارت ۸۵۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد است (Rapp and Watson, 1995; Prouteau et al., 2001). دیاگرام $(La/Yb)_N$ مقابل Yb_N (Martin, 1995) نشان می‌دهد که به علت مقدار بالای $(La/Yb)_N$ نمونه‌ها (بیش از ۲۱/۵۵) و میزان Yb_N (بین ۱/۸ تا ۲/۹)، توده‌ها در محیط ماگمای آداکیتی قرار می‌گیرند (شکل ۲۰). بر اساس این نمودار، توده‌های نفوذی منطقه رودگز از ذوب بخشی حدود ۲۵ درصد آمفیبولیت با ۲۵ درصد گارنت می‌تواند تشکیل شده باشند (شکل ۲۰).

جدول ۲- نتایج ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی و نادر خاکی توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز

Sample	Ru-64	Ru-50	Ru-62	Ru-63	Ru-71	Ru-3
X	673275	673500	673075	673160	673122	673110
Y	3784233	3783600	3783369	3783339	3783897	3784413
Wt. %						
SiO ₂	63.44	63	66.26	64.15	65.18	66.62
TiO ₂	0.65	0.65	0.49	0.58	0.55	0.51
Al ₂ O ₃	15.05	14.60	14.97	15.22	15.74	14.47
TFeO	4.65	4.79	3.04	4.27	4.12	4.30
MnO	0.07	0.11	0.06	0.10	0.05	0.05
MgO	0.53	1.59	1.67	1.44	0.52	1.51
CaO	6.62	5.90	4.55	5.44	5.47	4.39
Na ₂ O	4.93	4.67	5.21	5	5	5.06
K ₂ O	1.74	1.75	1.80	1.71	1.73	1.63
P ₂ O ₅	0.23	0.20	0.19	0.19	0.17	0.17
Total	98.91	98.26	98.24	98.00	98.53	98.71
ppm						
Ba	254	270	232	264	237	189
Co	7	9	6	6	6	6
Cs	3	3	1	1	2	1
Ga	20	20	20	20	21	21
Hf	4	4	4	4	4	5
Nb	7	7	5	5	5	5
Rb	24	34	30	29	31	29
Sn	1<	2	1	2	1	2
Sr	684	518	550	513	558	458
Ta	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3
Th	2	2	2	2	2	3
V	43	45	37	40	39	39
Zr	166	174	159	160	166	184

ادامه جدول ۲- ...

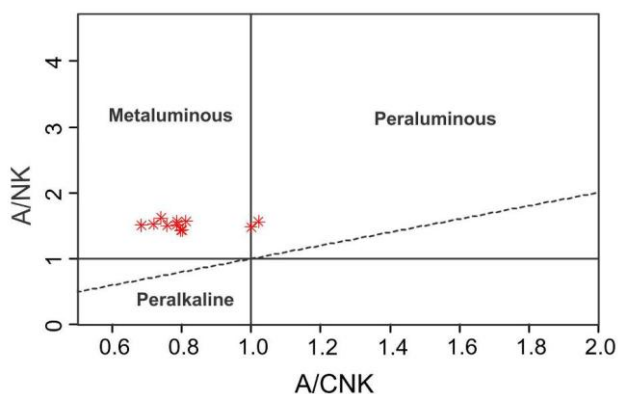
Y	6	8	6	6	6	7
Cu	28	23	19	22	15	20
Pb	1	2	1	3	2	1
Zn	65	68	53	46	55	57
Ni	15	17	12	13	11	18
Sr/Y	107	67	87	80	87	67
La	18.8	19.5	18	18.1	18.4	18.4
Ce	42.3	44.5	40.5	40.2	41.7	42.7
Pr	4.72	4.98	4.51	4.55	4.7	4.82
Nd	18.1	19.6	17.7	17.6	18.7	18.6
Sm	2.94	3.07	2.77	2.93	2.79	3.03
Eu	0.91	0.92	0.83	0.88	0.83	0.83
Gd	2.17	2.37	2.06	2.1	2.16	2.24
Tb	0.29	0.31	0.27	0.28	0.28	0.28
Dy	1.4	1.64	1.22	1.24	1.34	1.4
Ho	0.23	0.27	0.2	0.21	0.21	0.22
Er	0.57	0.69	0.57	0.54	0.51	0.59
Tm	0.08	0.1	0.08	0.08	0.08	0.08
Yb	0.53	0.61	0.49	0.5	0.48	0.52
Lu	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08
Eu/Eu*	1.10	1.04	1.06	1.08	1.03	0.97
(La/Yb) _N	23.91	21.55	24.77	24.41	25.84	23.86
(Ce/Yb) _N	20.64	18.87	21.38	20.8	22.47	21.24

ادامه جدول ۲- ...

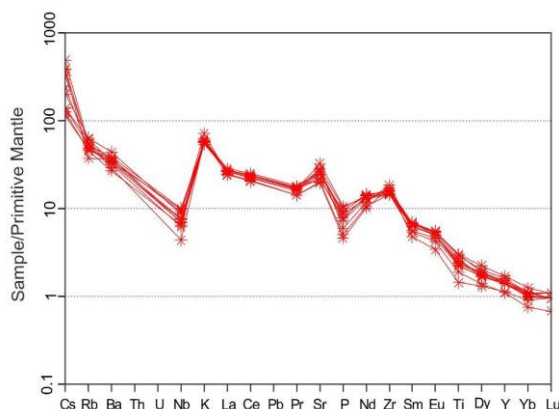
Sample	Ru-79	Ru-21	Ru-81	Ru-68	Ru-52
X	672297	674303	672268	673349	673706
Y	3784983	3784514	3784585	3784250	3783318
Wt. %					
SiO ₂	67.55	67.81	67.55	65.65	64.76
TiO ₂	0.31	0.41	0.48	0.52	0.63
Al ₂ O ₃	16.22	14.61	16.5	15.39	15.89
TFeO	3.22	3.27	2.87	4.45	3.57
MnO	0.04	0.04	0.03	0.07	0.05
MgO	0.46	0.44	0.5	0.6	1.02
CaO	2.9	5.89	3.07	5.17	5.18
Na ₂ O	5.25	4.34	5.2	4.95	5.05
K ₂ O	2.15	1.75	1.86	1.88	1.72
P ₂ O ₅	0.1	0.11	0.13	0.16	0.22
Total	98.2	98.67	98.19	98.84	98.09
ppm					
Ba	307	203	245	220	238
Co	2	2	3	6	8
Cs	2	1	1	3	4
Ga	19	19	22	20	21
Hf	4	4	4	4	4
Nb	6	3	5	4	7
Rb	40	34	39	35	35
Sn	3	1<	1	1	1
Sr	411	426	601	462	584
Ta	0.4	0.2	0.4	0.3	0.4
Th	3	3	3	2	2
V	14	28	31	39	43
Zr	191	163	205	179	175
Y	5	5	6	7	7
Cu	3	13	16	23	24
Pb	2	1	2	3	2
Zn	19	26	34	54	52
Ni	1	4	5	16	16
Sr/Y	81	85	94	68	81

ادامه جدول ۲- ...

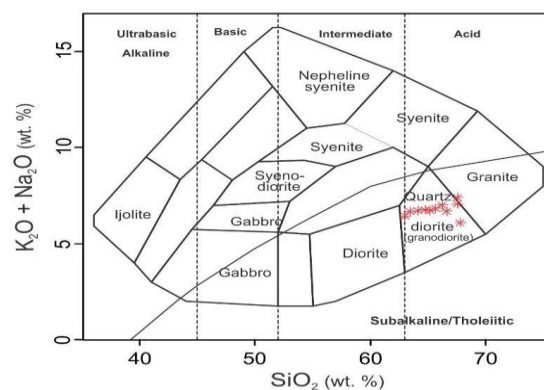
La	16.9	16.5	18.1	18.4	18.7
Ce	36.9	36.3	39.2	42.3	42.8
Pr	3.91	3.92	4.31	4.61	4.84
Nd	13.9	14.5	15.9	17.8	19.2
Sm	2.11	2.41	2.51	2.82	3.01
Eu	0.57	0.71	0.76	0.84	0.93
Gd	1.38	1.69	1.81	2.12	2.2
Tb	0.19	0.22	0.23	0.28	0.29
Dy	0.95	1.01	1.26	1.28	1.49
Ho	0.16	0.16	0.2	0.21	0.24
Er	0.48	0.4	0.61	0.59	0.62
Tm	0.08	0.06	0.08	0.08	0.09
Yb	0.44	0.37	0.52	0.54	0.54
Lu	0.07	0.05	0.08	0.07	0.08
Eu/Eu*	1.02	1.08	1.09	1.05	1.11
(La/Yb) _N	25.9	30.07	23.47	22.97	23.35
(Ce/Yb) _N	21.69	25.38	19.5	20.26	20.5



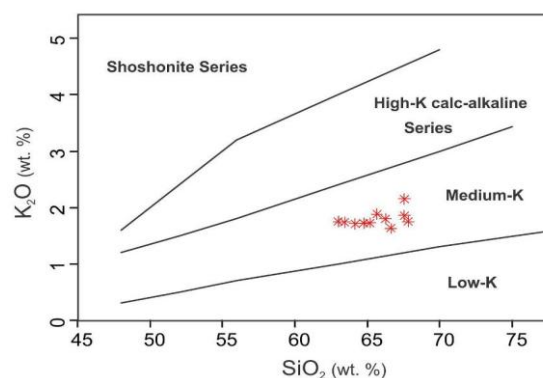
شکل ۱۴- موقعیت توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز در نمودار A/NK-A/CNK اقتباس از Maniar و Piccoli (۱۹۸۹)



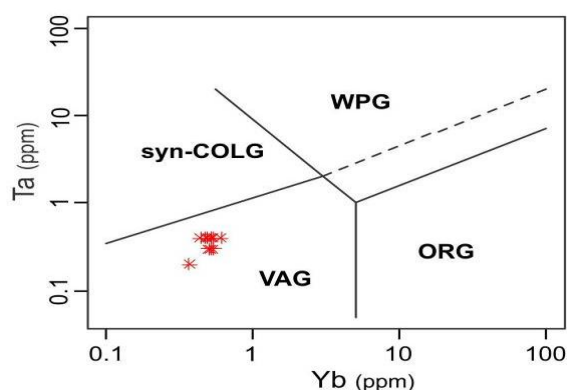
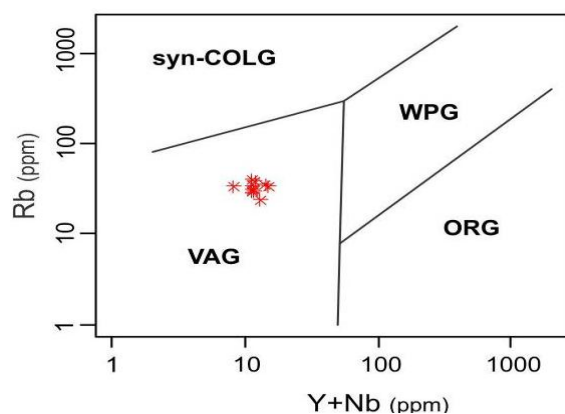
شکل ۱۶- نمودار نرمالیزه شده برخی عناصر فرعی و نادر خاکی توده‌های نفوذی منطقه رودگز نسبت به گوشته اولیه، مقادیر گوشته اولیه اقتباس از Sun و McDonough (۱۹۸۹)



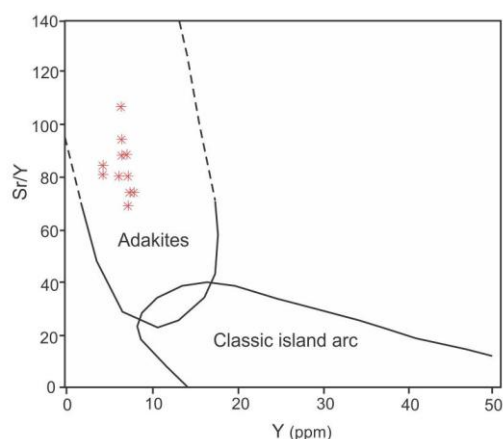
شکل ۱۳- موقعیت توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز در نمودار نامگذاری (Cox et al., 1979)



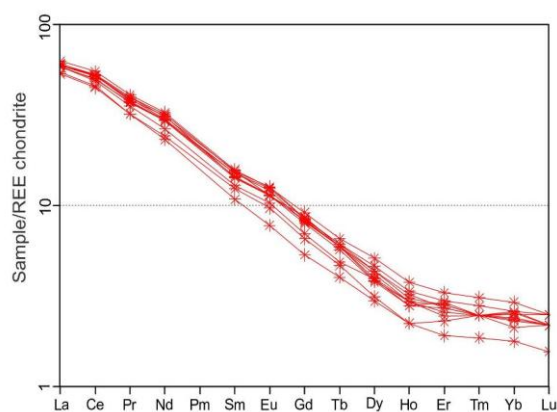
شکل ۱۵- موقعیت توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز در نمودار K₂O-SiO₂ اقتباس از Taylor و Peccerillo (۱۹۷۶)



شکل ۱۷- موقعیت توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز در نمودار Pearce و همکاران (۱۹۸۴). VAG- گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی، WPG- گرانیتوئیدهای درون صفحه‌ای، ORG- گرانیتوئیدهای پشته میان اقیانوسی، syn-COLG- گرانیتوئیدهای همزمان با تصادم قاره‌ها.



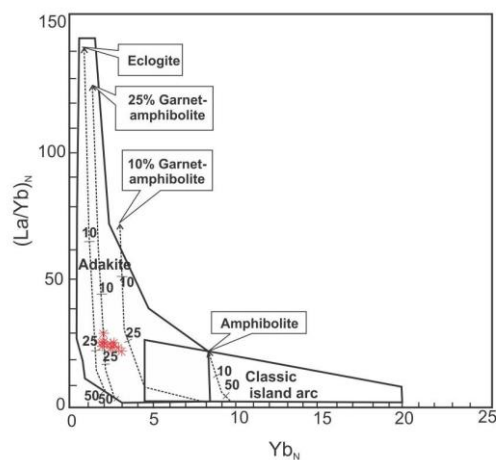
شکل ۱۹- توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز در نمودار Sr/Y در مقابل Y در محیط آداکیت قرار می‌گیرند (Defant and Drummond, 1990).



شکل ۱۸- نرمالیزه کردن عناصر نادر خاکی نسبت به کندریت در توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز، مقادیر کندریت اقتباس از Boynton (۱۹۸۵)

نتیجه‌گیری

در محدوده زمانی ژوراسیک میانی (قبل از کالوین) به دلیل تصادم پوسته‌های قاره‌ای و در نتیجه کوهزایی، سنگ‌های رسوبی تریاس فوقانی منطقه بررسی شده تحت تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای به شیست، اسلیت و کوارتزیت تبدیل شده‌اند. در ضمن تصادم، از ذوب پوسته قاره‌ای در ژوراسیک میانی توده‌های احیایی تشکیل شده‌اند. مظهر ماگماتیسیم احیایی (سری ایلمنیت) منطقه، باتولیت بزرگ گرانیتی-گرانودیوریتی نجم‌آباد است که تقریباً در شمال رودگز قرار دارد و سن آن بر



شکل ۲۰- توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز در دیاگرام $(La/Yb)_N$ و Yb_N (Martin, 1995) در محیط آداکیت قرار گرفته‌اند.

متعدد، تحت تأثیر دگرگونی همبری قرار گرفته و گاهی به انواع شیست دگرگون شده‌اند.

سنگ‌های دگرگونی و گاهی توده‌های نفوذی نیمه عمیق منطقه رودگز تحت تأثیر آلتراسیون‌های کربناتی، آرژیلیک، سرسیتی و سیلیسی-تورمالینی قرار گرفته‌اند. این واحدها میزبان رگه‌های کانی‌سازی منطقه است که کنترل گسلی دارد. چند نسل رگه و رگچه کوارتز در منطقه شناسایی شد. نسل‌های اول شیرری رنگ و بی‌بر است و در مرحله دگرگونی ناحیه‌ای تشکیل شده‌اند. منشأ سیلیس آنها از ماسه‌سنگ‌ها که به کوارتزیت تبدیل می‌شده‌اند، بوده است. نسل بعدی رگه‌های کوارتز دارای کانی‌سازی است. رنگ کوارتز این مجموعه روشن‌تر و به دلیل اکسید شدن سولفیدها، حاوی اکسیدهای آهن ثانویه و گاهی مالاکیت است. رگه‌های کانی‌سازی با روند بیشتر NW-SE و شیب ۸۵ تا ۹۰ درجه دیده می‌شوند و آلتراسیون اصلی همراه با آنها سیلیسی-تورمالین است. کانی‌های اولیه شامل کوارتز، تورمالین، کالکوپیریت، پیریت و کانی‌های ثانویه مالاکیت، آزوریت و گوتیت است. بخش اعظم کانی‌های سولفیدی منطقه در سطح اکسید شده‌اند. نمونه‌برداری ژئوشیمیایی با روش خرده‌سنگی، ناهنجاری‌های بالایی از عناصر مس، قلع، سرب و آرسنیک (همگی تا بیش از ۱۰۰۰۰ گرم در تن)، روی (حداکثر تا ۵۵۲۷ گرم در تن) و طلا (تا حداکثر ۳۲۵ میلی‌گرم در تن) را در رگه‌های کانی‌سازی نشان می‌دهد. کانی‌سازی منطقه اکتشافی رودگز از نوع رگه‌ای پلی‌متال است.

ویژگی ژئوشیمیایی و محیط تشکیل توده‌های نفوذی مونزودیوریتی تا مونزونیتی منطقه نشان می‌دهد که آنها نمی‌توانند منشأ محلول کانه‌دار حاوی قلع بالای منطقه باشند. به علاوه، مقدار قلع، مس، سرب و روی در این توده‌ها بسیار پایین است (جدول ۱). بنابراین، رگه‌های پلی‌متال قلع‌دار

اساس اندازه‌گیری U-Pb در زیرکن، ۱۶۱/۸۵ میلیون سال (ژوراسیک میانی) تعیین شده است (Moradi et al., 2011). بر اساس مقادیر نسبت $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ اولیه (۰/۷۰۹۱۳۱) و نسبت $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ اولیه (۰/۵۱۲۰۹۵) ماگمای این گرانیت از پوسته قاره‌ای منشأ گرفته است و همزمان با توده‌های نفوذی احیایی شاه کوه و سرخ کوه در طی کوهزایی ژوراسیک میانی (۱۶۲ تا ۱۶۴ میلیون سال قبل) در بلوک لوت به وجود آمده است (Moradi et al., 2011). باتولیت نجم‌آباد فاقد کانی‌سازی بوده، ارتباطی به کانی‌سازی‌های قلع‌دار مناطق کلاته آهنی و رودگز ندارد (Moradi et al., 2011).

توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز به سن ترشیاری و با ترکیب مونزودیوریت تا مونزونیت پورفیری از نوع گرانیتوئیدهای نوع اکسیدان است. ژئوشیمی توده‌های نفوذی کمتر آلتره منطقه نشان می‌دهد که آنها متاآلومینوس و پتاسیم متوسط بوده، در کمان ماگمایی پهنه فروران‌شان بلوک افغان به زیر بلوک لوت تشکیل شده‌اند. غنی‌شدگی شدید عناصر LREE نسبت به HREE و غنی‌شدگی در عناصر LILE (Sr, Rb, K, Ba), Th نسبت به HFSE (Ti و Ta, Nb) مؤید تشکیل ماگما در پهنه فروران‌شان است. ناهنجاری مثبت Eu، مقدار بالای Sr (۴۱۱ تا ۶۸۴ گرم در تن) و بالا بودن نسبت $(\text{La}/\text{Yb})_N$ (بیش از ۲۱/۵۵) در توده‌ها نشان‌دهنده تشکیل ماگما در عمق پایداری گارنت است. بر اساس نسبت بالای Sr/Y (بیش از ۶۷)، مقدار Y کمتر از ۸ گرم در تن، Yb کمتر از ۰/۶۱ گرم در تن و بالا بودن نسبت $(\text{La}/\text{Yb})_N$ ، ماگمای این توده‌ها ماهیت آداکیتی دارد و از ذوب بخشی آمفیبولیت با ۲۵ درصد گارنت به وجود آمده است. سنگ‌های دگرگونی منطقه رودگز در اثر نفوذ توده‌های

همراه با آلتراسیون سیلیسی-تورمالینی باید با توده‌های احیایی در عمق در ارتباط باشند. به طور کلی، بر اساس پهنه‌های دگرسانی متنوع از جمله سیلیسی-تورمالینی، وجود توده‌های نفوذی احیایی، بالا بودن میزان قلع، مس، آرسنیک و شرایط تکتونیکی تصادم قاره‌ای، منطقه بررسی شده پتانسیل زیادی برای

کانی‌سازی قلع دارد.

سپاسگزاری

این پروژه با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۳ به شماره ۱۸۰۷۶/۳ مورخ ۱۳۹۰/۰۳/۲۴ انجام شده است.

منابع

- Abyaft Consulting Engineers Company (2006) Intermediate stage of exploration of Kalateh Ahani polymetal deposit report in Kalethe Roud Gaz area, Tehran (in Persian).
- Aghanabati, A. (2004) Geology of Iran. Geological Survey of Iran Publication, Tehran (in Persian).
- Boynton, W. V. (1985) Cosmochemistry of the rare earth elements, meteorite studies. In: Rare earth element geochemistry (Ed. Henderson, P.) 115-1522. Elsevier, Amsterdam.
- Cotton, J., Le Dez A., Bau, M., Caroff, M., Maury, R. C., Dulski, P., Fourcade, S., Bohn, M. and Brousse, R. (1995) Origin of anomalous rare earth element and yttrium enrichments in subaerially exposed basalts, evidence from French Polynesia. *Chemical Geology* 119: 115-138.
- Cox, K. G., Bell, J. D. and Pankhurst, R. J. (1979) The interpretation of igneous rocks. George Allen and Unwin, London.
- Defant, M. J. and Drummond, M. S. (1990) Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature* 347: 662-665.
- Edwards, C., Menzeies, M. and Thirwall, M. (1994) Evidence from muriah, Indonesia, for interplay of supra subduction zone and inter place processes in the genesis of potassic alkaline magmas. *Journal of Petrology* 32: 555-592.
- Geological Survey of Iran (2007) Geochemical exploration report of Gonabad. Geological Quadrangle Map 1:100000, Tehran (in Persian).
- Ghaemi, F. (2005) Geological quadrangle map of Gonabad 1:100000. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Gill, J. B. (1981) Orogenic and esits and plate tectonics. Springer, New York.
- Gust, D. A., Arculus, R. A. and Kersting, A. B. (1997) Aspects of magma sources and processes in the Honshu arc. *The Canadian Mineralogist* 35: 347-365.
- Henderson, P. (1984) Rare earth element geochemistry. Elsevier, Amsterdam.
- Industry, Mine and Business Organization of Khorasan Razavi province (2010) Intermediate stage of Exploration of Kalateh Ahani Au-W deposit report, Mashhad (in Persian).
- Macpherson, C. G., Dreher, S. T. and Thirlwall, M. F. (2006) Adakites without slab melting: high pressure differentiation of island arc magma, Mindanao, the Philippines. *Earth and Planetary Science Letters* 243: 581-593.
- Maniar, P. D. and Piccoli, P. M. (1989) Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin* 101: 635-643.
- Martin, H. (1995) The Archaean grey gneisses and the genesis of the continental crust. In: The Archaean crustal evolution (Ed. Condie, K. C.) 205-259. Elsevier, Amsterdam.

- Martin, H. (1999) The adakitic magmas: modern analogues of Achaean granitoids. *Lithos* 46(3): 411-429.
- Moradi, M., Karimpour, M. H., Farmer, L. and Stern, C. (2011) Geochemistry of Rb-Sr and Sm-Nd isotopes, zircon U-Pb dating and petrogenesis of granodiorite-granite batholite of Najmabad, Gonabad. *Economic Geology* 3(2): 127-145 (in Persian).
- Pearce, J. A. (1983) Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: *Continental basalts and mantle xenoliths* (Eds. Hawkesworth, C. J. and Norry, M. J.) 230-249. Shiva Publishers, Nantwich.
- Pearce, J. A. and Parkinson, I. J. (1993) Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. In: *Magmatic processes in plate tectonics* (Eds. Prichard, H. M., Alabaster, T., Harris, N. B. W. and Neary, C. R.) special publications 76: 373-403. Geological Society, London.
- Pearce, J. A., Harris, N. W. and Tindle, A. G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25: 956-983.
- Peccerillo, A. and Taylor, S. R. (1976) Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58: 63-81.
- Prouteau, G., Scaillet, B., Pichavant, M. and Maury, R. (2001) Evidence for mantle metasomatism by hydrous silica melts derived from subducted oceanic crust. *Nature* 410: 197-200.
- Rapp, R. P. and Watson, E. B. (1995) Dehydration melting of metabasalt at 8-32 kbar: implications for continental growth and crust-mantle recycling. *Journal of Petrology* 36: 891-931.
- Reagan, M. K. and Gill, J. B. (1989) Coexisting calc-alkaline and high niobium basalts from Turrialba volcano, Costa Rica: implication for residual titanates in arc magma source. *Journal of Geophysical Research* 94: 4619-4633.
- Rollinson, H. (1993) *Using geochemical data, evaluation, presentation, interpretation*. Longman, Harlow.
- Ryerson, F. J. and Watson, E. B. (1987) Rutile saturation in magmas: implications for Ti Nb-Ta depletion in island-arc basalts. *Earth and Planetary Science Letters* 86: 225-239.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F. (1989) Chemical and isotopy systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in the ocean: basins* (Eds. Saunders, A. D. and Norry, M. J.) special publications 42: 313-345. Geological Society, London.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M. (1985) *The continental crust, Its composition and evolution, an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Walker, J. A., Patino, L. C., Carr, M. J. and Feigenson, M. D. (2001) Slab control over HFSE depletions in central Nicaragua. *Earth and Planetary Science Letters* 192: 533-543.
- Wilson, M. (1989) *Igneous petrogenesis*. Uniwin Hyman, London.

Geology, mineralization, geochemistry and petrology of intrusions of the Roud Gaz prospect area southeast of Gonabad

**Seyed Javad Hamooni, Mohammad Hassan Karimpour *
Azadeh Malekzadeh Shafaroudi and Hossein Hajimirzajan**

Research Center for Ore Deposit of Eastern Iran, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract

The Roud Gaz area is located 25 km southeast of Gonabad city, Khorasan Razavi province. During Middle Jurassic, shale and sandstone was regionally metamorphosed to slate, schist and quartzite. The Tertiary subvolcanic rocks are mainly monzodiorite to monzonite. These rocks are mostly altered to: argillic, carbonisation, sericitic and silicification- tourmalinisation. Mineralization in the area is mostly as vein type and controlled by fault zones which are trending NW-SE and 85° to 90° dip. The primary minerals are quartz, tourmaline, chalcopyrite, pyrite and the secondary minerals are malachite, azurite and goethite. Lithogeochemical exploration (chip composite method) revealed Cu, Sn, Pb, As (up to 10000 ppm), Zn (up to 5527 ppm) and Au (up to 325 ppb) anomalies. The least altered rocks are chemically meta-aluminous and medium-potassium. They were formed in a subduction magmatic arc and are strongly enriched in LREE and depleted in HREE and also LILE (K, Rb, Ba, Sr and Th) enriched rather than HFSE (Ti, Nb and Ta), all features indicate that the magma formed in subduction zone. The positive Eu anomaly, high Sr (411 to 684 ppm) and high (La/Yb)_N ratio (more than 21. 55) in all the samples can be attributed to the presence of residual garnet in mantle source. Based on high Sr/Y ratio (more than 67), Y<8 ppm, Yb<0.61 ppm and high (La/Yb)_N ratio, the parent magma is adakitic type. The magma formed as the result of medium degree of partial melting (25%) from a garnet-amphibolite source. Apparently, these rocks have been only the veins host and have no effect on mineralization. The mineralization of the area is polymetal vein type and related to reduced intrusions in deeper zone.

Key words: Tin, Geochemistry, Intrusive rocks, Vein mineralization, Roud Gaz, Lut block

* karimpour@um.ac.ir