

پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین مجموعه بغیجان، جنوب راور، استان کرمان

مجتبی صدوقی^{۱*}، سید عبدالرضا جعفری صدر^۲، امیر شفیعی بافتی^۳

۱ دانشجوی دکتری زمین شناسی گرایش پترولوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنده، ایران

۲ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنده، ایران

۳ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنده، ایران

تاریخ تنظیم: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

*M.sedoghi63@gmail.com

چکیده: مجموعه بغیجان در جنوب شهرستان راور در پهنه ساختاری ایران مرکزی قرار دارد. این مجموعه به صورت گسله در مرز با سنگ‌های کربناته کرتاسه قرار گرفته است که شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی می‌باشد. سنگ‌های آذرین این مجموعه عمدتاً شامل سنگ‌های آتشفشانی از نوع بازالت، آندزیت-بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت، تراکیت که همراه با کانی‌های اصلی پیروکسن و پلاژیوکلاز هستند. همچنین سنگ‌های آتشفشانی تراکیت، ریولیت و داسیت به طور عمده از کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز و فلدسپار (Feldspar) پتاسیم تشکیل شده‌اند. سنگ‌های مونزونیت و گرانودیوریت نیز به عنوان سنگ‌های نفوذی تشکیل دهنده این منطقه حضور دارند که کانی‌های درشت پلاژیوکلاز به عنوان کانی اصلی در این سنگ‌ها تشکیل شده‌اند. بافت‌های پورفیریک، گلوپروپورفیریک، غربالی، جریانی، اینترگرانولار و بافت میرمکیت از مهم‌ترین بافت‌های تشکیل دهنده سنگ‌های آذرین (اعم از نفوذی و آتشفشانی) مجموعه بغیجان می‌باشند. شواهد ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که ماگمای سازنده سنگ‌های مجموعه بغیجان از درجات پایین ذوب بخشی نشأت گرفته و همچنین فرآیند تفریق ماگمایی را طی کرده است. عناصر اصلی و فرعی سنگ‌های مورد مطالعه دارای ترکیب بازالتی و آلکالی بازالت هستند و اغلب در محدوده آلکالن قرار گرفته‌اند. استفاده از نمودارهای تشخیص محیط تکتونیکی نشان می‌دهد که سنگ‌های مجموعه بغیجان بازالت‌های جزایر اقیانوسی در ارتباط با ریفتهای درون قاره‌ای هستند که در محیط تکتونیکی کششی فوران کرده و ماگماتیسم پس از برخورد را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: مجموعه بغیجان، بازالت‌های جزایر اقیانوسی، ریفتهای درون قاره‌ای، ایران مرکزی.

دیاپیرها از جمله ساختارهای زمین‌شناسی در مناطق مختلف دنیا و ایران هستند که همواره مورد توجه پژوهشگران بوده‌اند. گزارش‌های موجود نشان‌دهنده بیش‌ترین میزان دیاپیرها در مناطق زاگرس و ایران مرکزی می‌باشد [۱]، که از اهمیت زمین‌شناسی ویژه‌ای در این مناطق برخوردار هستند. دیاپیر نوعی توده نفوذی زمین‌شناختی است که در آن مواد دارای قابلیت تحرک و تغییر شکل، سنگ پوشاننده روی خود را شکافته‌اند [۴-۲]. اصطلاح دیاپیر معمولاً برای مواد و پدیده‌های غیر آذرین مانند گنبد‌های نمکی و گلی استفاده می‌شود، اما ممکن است برای ساختمان‌های آذرین نیز استفاده شود. شناخت منشأ و ماهیت واحدهای سنگی مختلف موجود در یک مجموعه دیاپیری کمک شایانی در جهت درک زمین‌شناسی یک منطقه در سطح وسیع‌تر می‌باشد.

مطالعات پیشین [۵] نشان می‌دهد که محدوده مورد مطالعه به صورت یک دیاپیر با مرز گسله در مرز با سنگ‌های کربناتی کرتاسه قرار گرفته است که شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی می‌باشد. رشته کوه‌های این منطقه عمدتاً از تشکیلات آهکی هستند و در جهت شمال غرب- جنوب شرق شکل گرفته‌اند، که شامل کوه سه پایه با ارتفاع ۲۸۳۶ متر در یک کیلومتری جنوب، کوه روان با ارتفاع ۲۲۴۵ متر در یک کیلومتری غرب و کوه سهم حسین با ارتفاع ۲۴۹۸ متر در دو کیلومتری شمال غرب این منطقه واقع شده‌اند. ادامه رشته کوه‌های سهم حسین به طرف شمال شرق تا منطقه پابدانا کشیده می‌شود.

کوه‌های سهم حسین به لحاظ آهکی بودن ستیغ‌ساز هستند و در کنار مورفولوژی سنگ‌های تبخیری سری دزو که بصورت پست و فروافتاده و دیاپیرگونه مشخص هستند، مرتفع و برجسته در شمال محدوده نمایان می‌باشند. سنگ‌های تبخیری از لحاظ تکتونیکی ساختاری تاقدیس‌گونه و به صورت مجموعه‌ی وارخته در جنوب محدوده مشاهده می‌شوند. از نظر توپوگرافی چهره دیاپیرها بستگی به فراوانی و ویژگی‌های مجموعه سنگ‌های سری دزو دارد. میزان گچ موجود در این سری از عوامل مهم شکل‌دهی مورفولوژی به چهره ظاهری سری دزو است. هر جا که گچ فراوان‌تر باشد خردشدگی و بهم‌ریختگی و از دست رفتن ارتباط میان واحدها شدیدتر می‌شود و در نتیجه توپوگرافی پست و ملایمی ایجاد می‌شود. سنگ‌های با ترکیب بازی به صورت دایک‌های دولریتی و اولیوین گابرویی در این منطقه قابل مشاهده می‌باشند [۶]. از دیگر عوامل تاثیر گذار بر وضع پستی و بلندی‌ها، جنس سنگ‌ها است، معمولاً سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی و کربنات‌های دولومیتی بسته به اینکه نیروهای فشارشی و یا کششی را تحمل نموده‌اند در مقابل عوامل فرسایشی مقاوم‌تر و یا سست‌تر عمل نموده و مورفولوژی متفاوتی را پدید آورده‌اند [۶]. هدف از مطالعه پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین مجموعه بغیجان، شناسایی منشأ و خاستگاه ماگمایی، فرآیندهای ماگمایی، ویژگی‌های پترولوژیکی، ویژگی‌های ژئوشیمیایی، شرایط تکتونوماگمایی منطقه می‌باشد. روش‌های دستیابی به این هدف شامل مطالعات صحرایی، پتروگرافی، آنالیزهای ژئوشیمیایی (عناصر اصلی و کمیاب)، مدل‌سازی ژئوشیمیایی، و مقایسه با داده‌های جهانی است.

روش بررسی

پس از نمونه‌برداری صحرایی، تهیه تعدادی مقاطع نازک و انجام مطالعات میکروسکوپی، نمونه‌هایی که گویای بهتری از تکامل ویژگی‌های صحرایی و پتروگرافی بوده‌اند، انتخاب شده و به منظور بررسی دقیق رفتار ژئوشیمیایی عناصر اصلی در ساختار سنگ‌ها و تکمیل بررسی‌های سنگ‌شناسی، تعداد ۱۵ نمونه با کمترین مقدار دگرسانی برای آزمایشات ژئوشیمیایی انتخاب و جهت آنالیز به روش ICP-MS و XRF به آزمایشگاه زرآرما ارسال شده‌اند. جهت بررسی نتایج آنالیز از نرم افزار GCDkit استفاده شده است.

موقعیت زمین شناسی

منطقه مورد مطالعه بخشی از سری دزو بوده که در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ راور [۷] واقع گردیده است. منطقه مورد مطالعه از دیدگاه تقسیم بندی پهنه‌های ساختاری ایران در زون ایران مرکزی، سری دزو قرار دارد، رخنمون واحدهای سنگی دزو شبیه به ساختار گنبد‌های نمکی سری هرمز و سری راور است. در این آمیزه بخش‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی به طور نامنظم در میان یک خمیر عمدتاً گچی قرار گرفته‌اند. عمده سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه از نوع بازی و حد واسط است. از میان سنگ‌های بازی، بازالت‌ها بیشترین فراوانی را دارند. سنگ‌های رسوبی شامل گچ، آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ و شیل می‌باشد. حد تماس بین واحدهای مختلف سنگی عمدتاً رسوبی می‌باشد. به طور کلی زمینه منطقه بیشتر از سنگ‌های آذرین بازی تا حد واسط می‌باشد که دچار فرسایش و هم‌چنین دگرسانی‌های اپیدوتی و کلریتی شده‌اند.

شهرستان راور از شمال به دشت لوت و استان‌های یزد و خراسان جنوبی، از طرف جنوب به کرمان، از طرف شرق و جنوب شرق به کرمان و شهداد و از طرف غرب به زرنند و کوهبنان محدود می‌باشد. در جاده راور پس از طی کردن مسیر اصلی، امکان دسترسی به منطقه مورد مطالعه از مسیر فرعی نشان داده شده در شکل امکان پذیر است (شکل ۱).

روستای بغیجان در مجاورت مجموعه بغیجان در جنوب شهرستان راور و در مسیر روستای خورند و تاشک واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در بین طول‌های جغرافیایی $46^{\circ} 56'$ تا $50^{\circ} 56'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $31^{\circ} 01'$ تا $31^{\circ} 05'$ به مساحتی حدود ۱۹۰۰ کیلومتر مربع قرار دارد (شکل ۲).

پتروگرافی

بر اساس بررسی‌های صحرایی، مطالعات مقاطع نازک و تعیین درصد حجمی کانی‌ها و بر اساس [۸] سنگ‌های مورد مطالعه در این محدوده، عمدتاً شامل سنگ‌های آتشفشانی از نوع بازالت، آندزیت-بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت و به میزان کمتر تراکیت، داسیت و ریولیت، سنگ‌های آذرآواری و شامل سنگ‌های نفوذی مونزونیت و گرانودیوریت می‌باشند. سنگ‌های آتشفشانی مانند بازالت، آندزیت-بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت، تراکیت، داسیت و ریولیت معمولاً مربوط به دوره مزوزوئیک (عمدتاً کرتاسه) تا سنوزوئیک

(ترشیاری) هستند. این سنگ‌ها اغلب با فعالیت‌های ماگمایی مرتبط با فرآیندهای تکتونیکی منطقه (مانند فرورانش) تشکیل شده‌اند. توده‌های نفوذی مانند مونزونیت و گرانودیوریت معمولاً جوان‌تر از سنگ‌های آتشفشانی هستند و ممکن است مربوط به دوره سنوزوئیک (ترشیاری) باشند. توده‌های نفوذی (مانند مونزونیت و گرانودیوریت) معمولاً در داخل سنگ‌های آتشفشانی قدیمی‌تر (بازالت، آندزیت و ریولیت) یا سنگ‌های رسوبی (مانند آهک، ماسه‌سنگ و شیل) نفوذ کرده‌اند. این واحدهای میزبان ممکن است مربوط به دوره مزوزوئیک (کرتاسه) یا حتی قدیمی‌تر باشند. سنگ‌های آذرآواری (مانند توف و برش‌های آتشفشانی) معمولاً هم‌زمان با فعالیت‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند و سن آن‌ها مشابه سن سنگ‌های آتشفشانی منطقه است (یعنی مزوزوئیک تا سنوزوئیک).

بازالت: این سنگ‌ها در نمونه دستی دارای رنگ سیاه و کمتر دگرسان شده دیده می‌شوند. پیروکسن کانی اصلی است که به صورت فنوکریست و دانه ریز در زمینه با مقدار تقریباً ۳۰ درصد مشاهده می‌شود. بلورهای پیروکسن به صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل هستند و معمولاً دگرسانی اورالیتی را نشان می‌دهند. میکرولیت‌های پلاژیوکلاز زمینه سنگ را تشکیل داده و بافت جریانی را باعث شده‌اند. میکرولیت‌های پلاژیوکلاز کمتر تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند و ماکل پلی‌سنتیک را به خوبی نشان می‌دهند. بافت‌های میکرولیتی پورفیری، جریانی و دلریتی در بازالت‌های این منطقه قابل مشاهده می‌باشند (شکل ۳ الف و ب). کانی پیروکسن مشاهده‌شده در این سنگ‌ها کلینوپیروکسن بوده و الیوین در در نمونه‌ها مشاهده نشده است.

آندزیت-بازالت: این سنگ‌ها در نمونه دستی تیره رنگ و دارای کانی روشن پلاژیوکلاز و کانی تیره پیروکسن می‌باشند. از جمله کانی‌های اصلی آن پلاژیوکلاز است که عمدتاً شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و ۴۵ درصد حجم سنگ مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. ماکل عمده این کانی‌ها، کارلسباد-آلبیت و پلی‌سنتیک می‌باشد و منطقه‌بندی نیز از دیگر ویژگی‌های آنها می‌باشد. از ویژگی‌های مهم برخی از این درشت بلورها، داشتن بافت غربالی است. اغلب پلاژیوکلازها دگرسانی سوسوریتی شدن را تحمل کرده‌اند (شکل ۳ پ و ت). بلورهای کلینوپیروکسن یکی دیگر از کانی‌های اصلی این سنگ‌ها است که به صورت درشت بلور و یا ریز بلور در زمینه‌ی این سنگ‌ها قابل مشاهده هستند. این بلورها حداکثر ۱۰ درصد از حجم سنگ را در بر می‌گیرند. درشت بلورهای کلینوپیروکسن به صورت نیمه شکل‌دار قابل مشاهده‌اند. این بلورها دارای شکستگی زیاد بوده و گاهی دگرسانی شدیدی را در امتداد این شکستگی‌ها نشان می‌دهند. در اثر این دگرسانی اغلب کلینوپیروکسن‌ها به کانی‌های کلریت، اپیدوت و گاهی کانی کدر تبدیل شده‌اند (شکل ۳ پ و ت). بافت پورفیری و گلومروپورفیری در این واحد سنگی مشاهده می‌شود که نشان از دو مرحله سرد شدن ماگما در طی صعود می‌باشد. از مهم‌ترین کانی‌های فرعی می‌توان کانی‌های اوپاک را نام برد. این کانی‌ها شکل‌دار تا بی‌شکل بوده، و با حداکثر اندازه ۰/۷ میلی‌متر، حدود ۲ درصد از حجم سنگ را تشکیل می‌دهند.

آندزیت: آندزیت‌ها در نمونه دستی خاکستری روشن می‌باشد. کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها شامل درشت بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول به همراه کانی‌های ثانویه نظیر کلریت و اپیدوت و کانی‌های اوپاک می‌باشد. بلورهای پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی در سنگ‌های آندزیتی می‌باشند و به دو صورت درشت بلور و ریز بلور در زمینه دیده می‌شوند و حدود ۴۵ درصد از حجم سنگ را در برمی‌گیرد. بلورهای پلاژیوکلاز موجود در این نمونه سنگی به دو گروه تقسیم می‌شوند: گروه اول بلورهایی با ماکل پلی سنتتیک. گروه دوم با دگرسانی سوسوریتی و سریسیتی (هر دو فرآیند مرتبط با تغییرات در فلدسپات‌ها (به ویژه پلاژیوکلاز) هستند و در شرایط مشابه زمین‌شناسی تشکیل می‌شوند. این دو نوع دگرسانی اغلب در سنگ‌های آذرین یا دگرگونی که تحت تأثیر سیالات هیدروترمال یا دگرگونی درجه پایین قرار گرفته‌اند، مشاهده می‌شوند. و بافت غربالی از ویژگی‌های بارز این بلورها می‌باشد. ریز بلورهای پلاژیوکلاز در بیشتر موارد سالم بوده و نسبت به درشت بلورها دگرسانی کمتری دارند. کانی پلاژیوکلاز در برخی مناطق به صورت بافت گلمروپورفیریک (خوشه‌های بهم چسپیده) و سریسیتی شده دیده می‌شوند (شکل ۳ و ج). زمینه این سنگ‌ها نزدیک به ۳۰ تا ۳۵ درصد از حجم سنگ را تشکیل داده و از ریز بلورهای پلاژیوکلاز، بیوتیت ثانویه، آمفیبول، کوارتز ثانویه و کانی‌های اوپاک تشکیل شده است. اگرچه بافت پورفیری بافت غالب در این مجموعه سنگی می‌باشد، اما ریز بلورهای پلاژیوکلاز گاهی حالت جریان‌ی داشته و معمولاً در فضای تشکیل شده بین خود، بلورهای ریز کلینوپیروکسن، آمفیبول، بیوتیت و کانی‌های اوپاک را در بر می‌گیرند. بافت بادامکی نیز حاصل پرشدگی حفره‌های مدور و بیضوی موجود در این سنگ‌ها است که توسط کانی‌های ثانویه‌ای چون کلاسیت، کلریت و کوارتز، اشغال شده‌اند. همچنین بافت‌های غربالی و پوئی‌کیلینیک در کانی‌های این مجموعه سنگی به چشم می‌خورد. بلورهای آمفیبول یا به صورت درشت بلور و یا به صورت ریز بلور در زمینه دیده می‌شوند و با ابعادی حداکثر ۲ میلی‌متر حدود ۱۵ درصد از حجم سنگ را در بر می‌گیرند. بلورهای آمفیبول اغلب کشیده و به ندرت به اشکال لوزی مشاهده می‌شوند. این درشت بلورها به ندرت تماماً کلریتی شده و در مواردی قالب لوزی شکل آن باقی مانده است. بیوتیت با اندازه حداکثر ۰/۵ میلی‌متر حدود ۵ درصد از حجم سنگ را به خود اختصاص می‌دهد و به دو شکل درشت بلور و ریز بلور در سنگ مشاهده می‌شود و در برخی موارد اپاسیتی شده است. کانی‌های فرعی شامل بلورهای اوپاک نیمه شکل دار عمدتاً در زمینه سنگ تشکیل شده‌اند.

تراکی آندزیت: این واحد آتشفشانی در منطقه مورد مطالعه دارای رنگ قهوه‌ای تا خاکستری روشن دیده می‌شود. بلورهای پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی در سنگ‌های تراکی آندزیتی می‌باشند و به دو صورت درشت بلور و ریز بلور در زمینه دیده می‌شوند. حدود ۴۵ درصد از حجم سنگ را در برمی‌گیرد. سنگ مورد نظر دارای بافت‌های هالیومیکرولیتی پورفیری جریان‌ی، بافت گلمروپورفیری و پورفیری می‌باشد (شکل ۴ الف و ب). بلورهای آهن و منیزیم‌دار احتمالاً پیروکسن (قالب شکل بلوری) تماماً به کلریت و اپیدوت تبدیل شده‌اند

(شکل ۴ پ و ت). بلورهای پلاژیوکلاز سریسیتی و کربناتی شده‌اند. زمینه سنگ شامل کلریت و سریسیت حاصل از دگرسانی و نیز مقدار فراوان کانی مافیک اپاسیتی شده و کانی اپاک نیمه شکل‌دار می‌باشد. بلورهای بیوتیت با اندازه حداکثر ۰/۵ میلی‌متر حدود ۵ درصد از حجم سنگ را به خود اختصاص داده و به دو شکل درشت بلور و ریز بلور در سنگ مشاهده می‌شوند. بیوتیت در برخی موارد اپاسیتی شده است.

تراکیت: سنگ ولکانیک ریز بلور است که عمدتاً به رنگ قهوه‌ای روشن در تراکیت‌های معمولی تا رنگ قهوه‌ای تیره در تراکیت‌های قلیایی تغییر می‌کند. بافت جریانی یا تراکیتی مشخصه اصلی این سنگ‌ها می‌باشد (شکل ۴ ث و ج). بیش‌ترین حجم سنگ متعلق به پلاژیوکلاز به صورت ریز بلور در زمینه و فنوکریست می‌باشد. اندازه این بلورها حداکثر ۰/۵ میلی‌متر بوده و حدود ۵۵ درصد از حجم سنگ را در برمی‌گیرد. بلورهای بیوتیت با اندازه حداکثر ۰/۵ میلی‌متر حدود ۲ تا ۵ درصد از حجم سنگ را به خود اختصاص می‌دهند و به دو شکل درشت بلور و ریز بلور در سنگ مشاهده می‌شوند. بیوتیت در برخی موارد اپاسیتی شده است. کانی‌های فرعی شامل بلورهای اپاک نیمه شکل‌دار که عمدتاً در زمینه سنگ قرار دارند می‌باشد.

داسیت: بیش‌ترین حجم سنگ داسیت مورد مطالعه کوارتز (۴۰ درصد) می‌باشد. اندازه بلورهای کوارتز تقریباً ۰/۲ میلی‌متر و ریز بلور می‌باشد. بلورهای پلاژیوکلاز دارای بافت فلسیتی پورفیری می‌باشند. بلورهای درشت پلاژیوکلاز (با ماکل پلی‌سنتتیک ظریف) و کوارتز به صورت ریز بلور در زمینه دیده می‌شوند. بافت پورفیری، بافت غالب در این نمونه می‌باشد. زمینه دارای بافت فلسیتی است. این سنگ تحت تاثیر دگرسانی کربناتی و سیلیسی قرار گرفته است. درجه دگرسانی در زمینه سنگ کم و درجه هم‌رشدی بلورهای کوارتز و فلدسپار در زمینه بالا است (بافت فلسیتی). بلورهای فنوکریست پلاژیوکلاز با کانی‌های ثانویه از جمله کربنات، سیلیس و سریسیت جایگزین شده‌اند. فرایند آرژیلیک و سریسیتی شدن بر روی فلدسپارهای فنوکریست رخ داده است. زمینه نیز به طور گسترده سیلیسی و کربناتی شده است. بافت گلوپورپورفیریک نیز در این سنگ مشاهده می‌شود. این بافت حاصل تجمع کانی‌های تیره با پلاژیوکلاز به صورت فنوکریست می‌باشد (شکل ۵ الف و ب). کانی‌های اپاک از جمله کانی‌های فرعی در این نمونه هستند.

ریولیت: واحد ریولیتی در منطقه مورد مطالعه به رنگ خاکستری تیره دیده می‌شود. اندازه آن ۰/۲ میلی‌متر و ریز بلور می‌باشد. ۴۵ درصد سنگ از کوارتز تشکیل شده است. بلورهای کوارتز و ساندین در زمینه شیشه‌ای کاملاً از حالت شیشه‌ای خارج شده‌اند (devitrification). فلدسپار پتاسیم بعد از کوارتز بیش‌ترین حجم سنگ را تشکیل داده است. این کانی در اثر دگرسانی به کانی‌های رسی تبدیل شده و به صورت غبارآلود در نور ساده مشاهده می‌شود (شکل ۵ پ و ت).

مونزونیت: مونزونیت یک سنگ آذرین دانه درشت و خاکستری رنگ است. پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار و با میانگین اندازه ۲ میلی‌متر و فراوانی ۶۵٪ در متن سنگ مشاهده می‌شود. از محصولات دگرسانی این پلاژیوکلازها می‌توان به سریسیت، کلسیت و کمی کانی‌های

رسی اشاره نمود. بیوتیت‌های اپاسیتی به میزان ۱۰ درصد در این سنگ وجود دارند. فلدسپار پتاسیم به صورت شکل‌دار و با میانگین اندازه ۰/۵ میلی‌متر و به میزان ۱۰٪ در متن سنگ مشاهده می‌شود. این کانی دارای دگرسانی و ماکل دوتایی کارلسباد به طور کامل قابل تشخیص است. از کانی‌های فرعی می‌توان به کانی‌های اوپاک با میانگین اندازه ۰/۱ میلی‌متر که به طور مستقل در متن سنگ پراکنده‌اند اشاره نمود. کانی‌های حاصل از دگرسانی در این سنگ شامل سربیسیت و اورالیت هستند. واحد سنگی مونزونیت دارای بافت‌های گرانولار، اینترگرانولار و ساب افکتیک می‌باشد (شکل ۶الف و ب).

گرانودیوریت: گرانودیوریت از جمله سنگ‌های حد واسط و با رنگ روشن است که از نظر میکروسکوپی به صورت ریز تا متوسط بلور و دارای بافت گرانولار می‌باشد. کوارتز به صورت بی‌شکل (با ظاهری کشیده و نیمه‌گرد) و با میانگین اندازه ۱/۵ میلی‌متر و به میزان ۲۵ تا ۳۰ درصد حجمی در متن سنگ مشاهده می‌شود. از ویژگی کوارتزها می‌توان به خاموشی موجی و پدیده‌های مرتبط با دگرشکلیدینامیکی اشاره کرد. از هم‌رشدی کوارتز با پلاژیوکلاز بافت میرمکیت ایجاد شده است که از بافت‌های مهم در گرانودیوریت‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد. پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار و با میانگین اندازه ۲ میلی‌متر و به میزان ۳۰ تا ۴۰ درصد حجمی در متن سنگ مشاهده می‌شود. این پلاژیوکلازها کمتر دگرسان شده‌اند و دارای ماکل آلبیت-پریکلین می‌باشند. از محصولات دگرسانی پلاژیوکلازها می‌توان به کلریت و سربیسیت اشاره نمود. بلورهای بیوتیت به رنگ قهوه‌ای تا بی‌شکل و به صورت ثانویه با میانگین اندازه ۰/۱ میلی‌متر، با پراکندگی حدوداً ۱۰٪ حجمی در متن سنگ مشاهده می‌شوند. این بلورها دچار دگرسانی شده و کلریت حاصل شده است. کانی‌های فرعی اوپاک با میانگین اندازه ۰/۱ میلی‌متر به طور مستقل در متن سنگ پراکنده شده‌اند. علاوه بر کانی‌های رسی، کلریت، کلسیت و سربیسیت، کانی‌های کوارتز، موسکویت و کانی‌های اوپاک حاصل دگرسانی در این سنگ‌ها می‌باشند (شکل ۶پ و ت).

ژئوشیمی سنگ‌کل

زمین‌شیمی به عنوان یک ابزار کاربردی جهت پی‌بردن به روند ژن و تحولات ماگمایی شناخته شده است. با استمداد از پترولوژی سنگ‌های آذرین و داده‌های ژئوشیمی (جدول ۱ و ۲) می‌توان به بررسی گسترده ویژگی‌های ماگما نظیر محل منشاء، درجه ذوب و تبلور تفریقی، اختلاط و آرایش ماگماها پرداخت و همچنین به درک بهتری از جایگاه زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه دست یافت. طبقه‌بندی‌های زمین‌شناسی متعددی برای سنگ‌های آذرین ارائه شده است که براساس تغییرات اکسید سیلیس در برابر اکسیدهای اصلی می‌باشند [۹-۱۱]. یکی از معمول‌ترین روش‌های رده‌بندی سنگ‌های آتشفشانی استفاده از نمودار TAS است که در آن مجموع مقادیر $K_2O + Na_2O$ در مقابل SiO_2 مورد بررسی قرار می‌گیرند که توسط داده‌های زمین‌شیمیایی سنگ به صورت درصد وزنی اکسید ترسیم می‌شود [۱۱]. سنگ‌های آذرین منطقه براساس نمودار TAS [۱۱]، ترکیب بازالتی و آلکالی بازالتی دارند و اغلب در

محدوده آلکالن قرار گرفته‌اند (شکل ۷الف) که نشان دهنده روند سری‌های ماگمایی شاخص آلکالن تا ساب آلکالن است. با توجه به اینکه میزان آلتراسیون و تغییرات کانی‌شناسی و شیمیایی سنگ‌های بیرونی بیش از سنگ‌های درونی است، از عناصر ناسازگار نظیر P, Ti, Nb, Y, Z و HREE و فلزات انتقالی که طی دگرسانی ثانویه نامتحرک هستند، در طبقه‌بندی ژئوشیمیایی سنگ‌ها بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۲-۱۳]. در نمودار Zr/Ti در برابر Nb/Y، سنگ‌های مطالعاتی غالباً در محدوده آلکالی بازال، بازال و یک نمونه در محدوده آندزیت با تمایل بیشتر به سمت آلکالن قرار گرفته‌اند (شکل ۷ب).

در نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه، بیشتر نمونه‌ها غنی‌شدگی در عناصر نادر خاکی سبک LREE و مقادیر غنی‌شدگی کمتری در HREE نشان می‌دهند (شکل ۷پ). در نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه، غنی‌شدگی قابل توجه در LREE، LILE و عدم تهی‌شدگی HFSE در ارتباط با گوشته اولیه هستند. این سنگ‌ها از Nb, Pb و P غنی‌شدگی و Rb, Y, Yb تهی‌شدگی نشان می‌دهند.

در نمودارهای الگوی عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت (شکل ۷ت) مشاهده می‌شود سنگ‌های مورد مطالعه از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) غنی‌شدگی شدیدی نشان می‌دهند. غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE با نسبت ۱۱ برای تمام نمونه‌ها دیده می‌شود. طی تفریق، مقادیر Eu/Eu^* به صورت تدریجی افزایش می‌یابد. عناصر نادر خاکی سبک با شیب نسبتاً زیادی به عناصر نادر خاکی متوسط می‌رسند و شیب نسبتاً ثابتی را در عناصر نادر خاکی سنگین نمایان می‌سازند. بررسی اکسیدهای عناصر اصلی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه حاکی از این است که با افزایش میزان SiO_2 در سنگ، میزان اکسیدهای عناصر اصلی CaO و Fe_2O_3 ، TiO_2 ، MgO روند کاهشی دارند که مبین تفریق و تبلور عادی ماگما می‌باشد.

بحث

معمولاً ماگماتیسم آلکالن در خاستگاه‌های تکتونیکی متفاوتی نظیر ریف‌ت قاره‌ای یا درون صفحات قاره‌ای و اقیانوسی تشکیل می‌شود که در ارتباط با ذوب بخشی گوشته استنوسفری هستند [۱۴ و ۱۵] و در خاستگاه تکتونیک کششی تشکیل می‌شوند که شاهدهی بر شکسته شدن قاره‌ها می‌باشند. براساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر نامتحرک ناسازگار و نسبت آنها در نمودارهای متمایز کننده محیط تکتونیکی، می‌توان خاستگاه تکتونیکی سنگ‌های مورد مطالعه را شناسایی نمود. نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌ها از مشخصات بازالت‌های جزایر اقیانوسی و سنگ‌های ماگمایی آلکالن درون قاره‌ای است و از نظر ژئوشیمیایی سنگ‌های مورد مطالعه مشابه بازالت‌های جزایر اقیانوسی و سنگ‌های آلکالن مربوط به ریف‌ت‌های درون قاره‌ای هستند (به دلیل منشأ ماگما، ویژگی‌های

ژئوشیمیایی، فرآیندهای تکتونیکی و نمودارهای تشخیصی) [۱۶-۱۸]. نمونه‌ها شباهت بسیاری با ماگماهای نوع OIB دارند و نشان می‌دهند که مذاب اولیه از منشاء گوشته‌ای حاصل شده است [۱۹]. غنی‌شدگی مشخص از P که در برخی نمونه‌ها مشاهده شده است از ویژگی سنگ‌های مناطق درون قاره‌ای و OIB است [۲۰]. برای تمام نمونه‌ها نشان از درجات پایین ذوب بخشی وجود دارد [۲۱] و بیانگر فرآیند تفریق ماگمایی است. غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE از ویژگی‌های شاخص الگوی REE سنگ‌های آلتالین، ساب‌آلتالین و ساب‌آلتالین تولیت است. تهی‌شدگی HREE در ارتباط با عمق بیش‌تر تشکیل ماگما و حضور گارنت در محل منشاء است. آنومالی منفی یوروپیم شاخصی از فوگاسیته اکسیژن پایین در ناحیه منشاء [۲۲ و ۲۳] یا کاهش فوگاسیته اکسیژن طی فرآیندهای ماگمایی مختلف و نشانگر نقش پلاژیوکلاز طی تفریق است [۲۴-۲۷]. در نمودار Zr/Y در برابر Zr اغلب نمونه‌ها در محدوده ولکانیک‌های درون صفحه‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۷). نسبت عناصر نامتحرک Zr/Nb در برابر Zr/Y [۲۸] نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد مطالعه اغلب در محدوده ریفتهای قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۷ج). این نمودار نشان می‌دهد سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده بازالت‌های جزایر اقیانوسی و در مجاورت بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی با منشاء گوشته (P-MORB) قرار می‌گیرند [۲۹ و ۳۰]. داده‌های عناصر فرعی نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی مشابه با بازالت‌های جزایر اقیانوسی که این فاز ماگمایی به عنوان شاهدهی از خاستگاه تکتونیکی درون قاره‌ای مرتبط با ریفتهای محسوب می‌گردد [۳۱-۳۵]. براساس بررسی‌های صورت گرفته و خصوصیات ژئوشیمیایی، سنگ‌های ولکانیکی مورد مطالعه در ارتباط با ریفتهای درون قاره‌ای هستند که در محیط تکتونیکی کششی فوران کرده‌اند و ماگماتیسم پس از برخورد (در ارتباط با فرورانش) را نشان می‌دهند.

نتیجه‌گیری

۱. براساس مطالعات میکروسکوپی صورت گرفته سنگ‌های مورد مطالعه، شامل دو گروه اصلی سنگ‌های آذرین بیرونی (آتشفشانی) و درونی (نفوذی) می‌باشند. سنگ‌های آتشفشانی بررسی شده شامل مجموعه‌ای از بازالت، آندزیت-بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت، تراکیت که همراه با کانی‌های اصلی پیروکسن و پلاژیوکلاز هستند. همچنین سنگ‌های آتشفشانی تراکیت، ریولیت و داسیت به طور عمده از کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز و فلدسپار پتاسیم تشکیل شده‌اند. سنگ‌های مونزونیت و گرانودیوریت نیز به عنوان سنگ‌های نفوذی تشکیل دهنده این منطقه حضور دارند که کانی‌های درشت پلاژیوکلاز به عنوان کانی‌های اصلی در این سنگ‌ها می‌باشند. براساس مطالعات میکروسکوپی صورت گرفته بافت‌های پورفیریک، گلومروپورفیریک، غربالی، جریان‌ی، اینترگرانولار و بافت میرمکیت از مهم‌ترین بافت‌های تشکیل دهنده سنگ‌های آذرین (اعم از نفوذی و آتشفشانی) مجموعه بغیجان می‌باشند.

۲. براساس ترکیب عناصر اصلی و فرعی، سنگ‌های مورد مطالعه دارای ترکیب بازالتی و آکالی بازالت هستند و اغلب در محدوده آکالن قرار گرفته‌اند که نشان دهنده روند سری‌های ماگمایی شاخص آکالن تا ساب آکالن است.
۳. بررسی اکسیدهای عناصر اصلی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه حاکی از این است که با افزایش میزان SiO_2 در سنگ، میزان اکسیدهای عناصر اصلی CaO و Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO روند کاهشی دارند که مبین تفریق و تبلور عادی ماگما می‌باشد.
۴. براساس نمودارهای ترسیم شده برای نمونه‌هایی مورد مطالعه نسبت به گوشته اولیه، بیشتر نمونه‌ها غنی‌شدگی در عناصر نادر خاکی سبک (LREE) مانند Zr و Nb , Ti و مقادیر غنی‌شدگی کمتری در HREE نشان می‌دهند که از مشخصات بازالت‌های جزایر اقیانوسی و سنگ‌های ماگمایی آکالن درون قاره‌ای است و از نظر ژئوشیمیایی سنگ‌های مورد مطالعه مشابه بازالت‌های جزایر اقیانوسی و سنگ‌های آکالن مربوط به ریف‌های درون قاره‌ای هستند. براساس نمودار ترسیم شده برای نمونه‌هایی مورد مطالعه نسبت به کندریت سنگ‌های مورد مطالعه از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) غنی‌شدگی شدیدی نشان می‌دهند که از ویژگی‌های شاخص الگوی REE سنگ‌های آکالن، ساب آکالن و ساب آکالن تولیت است. غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE برای تمام نمونه‌ها نشان از درجات پایین ذوب بخشی دارد و بیانگر فرآیند تفریق ماگمایی است.
۵. بررسی نسبت عناصر نامتحرک نظیر Zr/Nb در برابر Zr/Y نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد مطالعه اغلب در محدوده ریف‌های قاره‌ای قرار می‌گیرند. بررسی داده‌های عناصر فرعی نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی مشابه با بازالت‌های جزایر اقیانوسی دارند که این فاز ماگمایی به عنوان شاهدهی از خاستگاه تکتونیکی درون قاره‌ای مرتبط با ریف محسوب می‌گردد. این خاستگاه تکتونیکی با سایر مطالعات انجام شده در محدوده‌های نزدیک به منطقه مورد مطالعه در تطابق است.
۶. براساس بررسی‌های صورت گرفته و خصوصیات ژئوشیمیایی، سنگ‌های ولکانیکی مورد مطالعه در ارتباط با ریف‌های درون قاره‌ای هستند که در محیط تکتونیکی کششی فوران کرده‌اند و ماگماتیسیم پس از برخورد را نشان می‌دهند.

قدردانی

از اساتید محترم گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند و همچنین خانم دکتر افسانه ناصری اسفندقه فارغ التحصیل دانشگاه شهید بهشتی تهران بابت مشاوره‌های علمی تقدیر و تشکر می‌شود.

Reference

Reference

- [1] Mehrabi, A., Dastanpour, M., Radfar, S., Vaziri, M., Derakhshani, R., “*Detection of fault lineaments of the Zagros fold-thrust belt based on Landsat imagery interpretation and their spatial relationship with Hormoz Series salt dome locations using GIS analysis*”, *Geosciences*, 24 (2015), 17-32.
- [2] Ahmadzadeh Heravi, M., Houshmandzadeh, A., Nabavi, M.H., “*New concepts of the stratigraphy of the Hormuz Formation and the problem of diapirism in the salt domes of southern Iran*”, *Ministry of Mines and Metals*, 1 (1980), 1-22.
- [3] Callot, J.P., Trocmé, V., Letouzey, J., Albouy, E., Jahani, S., Sherkati, S., “*Pre-existing salt structures and the folding of the Zagros mountains*”, *Geological Society, London*, 363 (2012), 545- 561.
- [4] Letouzey, J., Sherkati, S., “*Salt movement, tectonic events, and structural style in the central Zagros fold and thrust belt (Iran)*”, *ISalt-sediment interactions and hydrocarbon prospectivity: 24th Annual Research Conference, Gulf Coast Section, SEPM Foundation*, (2004), 444-463.
- [5] Aghanabati, A., “*Geology of Iran, Geology and Mineral Exploration Organization of the Country*”, (2004) 584.
- [6] Sadoughi, M., “*Petrography, geochemistry and petrogenesis of Dezo series igneous rocks in the Tashak area, south of Ravar*”, *Master's thesis, Islamic Azad University, Zarand Branch*, (2011).
- [7] Hajj Molla Ali, “*preparation of a geological map of Rawar with a scale of 1: 100,000*”, *Geology and Mineral Exploration Organization of the Country* (1994).
- [8] Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Le Bas, M.J., SaBine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R., Zanettin, B., “*A classification of igneous rock and glossary of terms*” *Blackwell, Oxford*, (1989), 193.
- [9] Cox, K.G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J., “*The interpretation of igneous rocks, George, Allen and Unwin*”, *London*, (1979), 450.
- [10] Middlemost, E.A.K., “*Naming materials in the magma/igneous rock system*”, *Earth Science Reviews*, 37(1994), 215-224.
- [11] Le Bas, M.J., LeMaitre, N., Streckeisen, S., Zanettin, A., “*Chemical classification of volcanic rocks Based on the total alkali- silica diagram*”, *Journal of Petrology*, 27 (1986), 375-750.
- [12] Gust, D.A., and Perfit, M.R., “*Phase relations of a high –Mg basalt from the Aleutian Island Arc, Implications for primary island arc basalts and High-Al basalts*”, *Contribution Mineral and Petrology*, 97 (1987), 7-18.

- [13] Farahat, E.S., El Mahalawi, M.M., Hoinkes, G., Abdel Aal, A.Y., “*Continental backarc basin origin of some ophiolites from the Eastern Desert of Egypt*”, *Journal of Mineral. Petrology*, 82 (2004), 81–104.
- [14] Zhang, G., Zhang, J., Wang, S., Zhao, J., “*Geochemical and chronological constraints on the mantle plume origin of the Caroline Plateau*”, *Journal of Chemical Geology*, (2020), 540, 1-14.
- [15] Rooney, T.O., Nelson, W.R., Dosso, L., Furman, T., Hanan, B., “*Geochemical and chronological constraints on the mantle plume origin of the Caroline Plateau*”, *Journal of Geology*, 42(2014), 419-422.
- [16] Saadat, S., and Stern, C.R., “*Petrochemistry of a xenolith-bearing Neogene alkali olivine basalt from northeastern Iran*”, *Journal of Volcanol. Geotherm. Research*, 225 (2012), 13–29.
- [17] Pang, K.N., Chung, S.L., Zarrinkoub, M.H., Mohammadi, S.S., Yang, H.M., Chu, C.H., Lee, H.Y., Lo, C.H., “*Age, geochemical characteristics and petrogenesis of Late Cenozoic intraplate alkali basalts in the Lut–Sistan region, eastern Iran*”, *Journal of Chemical Geology*, 306 (2012), 40–53.
- [18] Ghasempour, M.R., Davoudian, A.R., Shabanian, N., Moeinzadeh, H., Nakashima, K., “*Geochemistry and mineral chemistry of gabbroic rocks from Horjand of Kerman province, Southeast of Iran: Implications for rifting along the northeastern margin of Gondwana*”, *Journal of Geodynamics*, (2020), 133, 1-21.
- [19] Dai, J., Wang, C., Hebert, R., Li, Y., Zhong, H., Guillaume, R., Bezard, B., and Wei, Y., “*Late Devonian OIB alkaline gabbro in the Yarlung Zangbo suture zone: remnants of the Paleo-tethys?*” *Journal of Gondwana Research*, 19 (2011), 232–243.
- [20] Bianchini, G., Clocchiatti, R., Coltorti, M., Joron, J.L., “*European Journal of Mineralogy-Ohne Beihefte*”, *Journal of Petrology*, 23 (1998), 447- 504.
- [21] Wilson, M., Downes, H., “*Tertiary/Quaternary intra-plate magmatism in Europe and its relationship to mantle dynamics. In: Stephenson, R. A. & Gee, D. (eds) European Lithosphere Dynamics*”, Geological Society, London, Memoirs 32 (2006), 147-166.
- [22] Wilson, M., “*Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*”, Harper Collins Academic, (1989), 466.
- [23] Martin, H., “*Adakitic magmas: modern analogous of Archean granitoids*”, *Lithos* 46 (1999), 429.
- [24] Drake, M.J., Weill, D.F., “*Partition of Sr, Ba, Ca, Y, Eu^{2+} , Eu^{3+} and other REE between plagioclase feldspar and magmatic liquid: an experimental study*”, *Geochim. Acta*, 39 (1975), 689-712.
- [25] Tang, M., Erdman, M., Eldridge, G., Lee, C.A., “*The redox “filter” beneath magmatic orogens and the formation of continental crust*”, *Sci. Adv*, 4 (2018).
- [26] Cox, G.M., Halverson, G.M., Minarik, W.G., Le, H.D.P., Macdonald, F.A., Bellefroid, E.J., Strauss, J.V., “*Neoproterozoic iron formation: an evaluation of its temporal, environmental and tectonic significance*”, *Chem. Geol.* 362 (2013), 232–249.

- [27] Heidarian, H., Alirezaei, S., Lentz, D.R., “*Chadormalu Kiruna-type magnetite apatite deposit, Bafq district, Iran: insights into hydrothermal alteration and petrogenesis from geochemical, fluid inclusion, and sulfur isotope data*”, *Ore Geol. Rev.* 83 (2017), 43–62.
- [28] Fitton, J. G., “*The OIB paradox*”, *Special Papers-Geological Society of America*, 430 (2007), 387.
- [29] Menzies, M.A., and Kyle, R., “*Continental volcanism: a crust-mantle probe. In: Menzies, M.A. (Ed.), Continental mantle*”, Oxford Science Publishers, Oxford, (1990), 157–177.
- [30] Melluso, L., Beccaluva, L., Brotzu, P., Gregnanin, A., Gupta, A.K., Morbidelli, L., and Traversa, G., “*Constraints on the mantle sources of the Deccan Traps from the petrology and geochemistry of the basalts of Gujarat State (Western India)*”, *Journal of Petrology*, 36 (1995), 1393–1432.
- [31] Brunet, M.F., Maxim, V.K., Ershov, A.V., Nikishin, A.M., “*The South Caspian basin: a review of its evolution from subsidence modelling. In: Brunet M.F. & Cloething S. (Eds), Integrated PeriTethyan Basins Studies (Peri-Tethys Programme)*”, *Sedimentary Geology*, 156 (2003), 119-148.
- [32] Ernst, A., Kenneth, L., Buchan, A., Ian, H., Campbell, B., “*Frontiers in large igneous province research*”, *Lithos*, 79 (2005), 271-297.
- [33] Ganguly, R., Amit, P.G., Sen, S., Puri, I.K., “*Analyzing ferrofluid transport for magnetic drug targeting, Journal of Magnetism and Magnetic*”, *Materials*, 289 (2005), 331-334.
- [34] Zanchi, A., Berra, F., Mattei, M., Ghassemi, M.R., Sabouri, J., “*Geology Inversion tectonics in central Alborz*”, *Journal of Structural Geology*, 28 (2006), 2023-2037.
- [35] Doroozi, R., Vaccaro, C., Masoudi, F., “*Mesozoic alkaline plutonism: Evidence for extensional phase in Alpine-Himalayan orogenic belt in Central Alborz, north Iran*”, *Solid Earth Sciences*, 2 (2017), 91-108.
- [36] Pearce, J.A., “*A user's guide to basalt discrimination diagrams, In: Wyman, D.A., (Eds.), Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: applications for massive sulphide exploration. Short Course Notes*”, *Geological Association of Canada Notes* 12 (1996), 79–113.

Petrology and geochemistry of igneous rocks in the Baghijan complex, South of Ravar, Kerman Province

Mojtaba Sadoughi^{*1}, Seyed Abdolreza Jafari Sadr², Amir Shafiei Bafti³

1 PhD student in Geology, Petrology Department, Islamic Azad University, Zarand Branch, Iran

2 Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Islamic Azad University, Zarand Branch, Iran

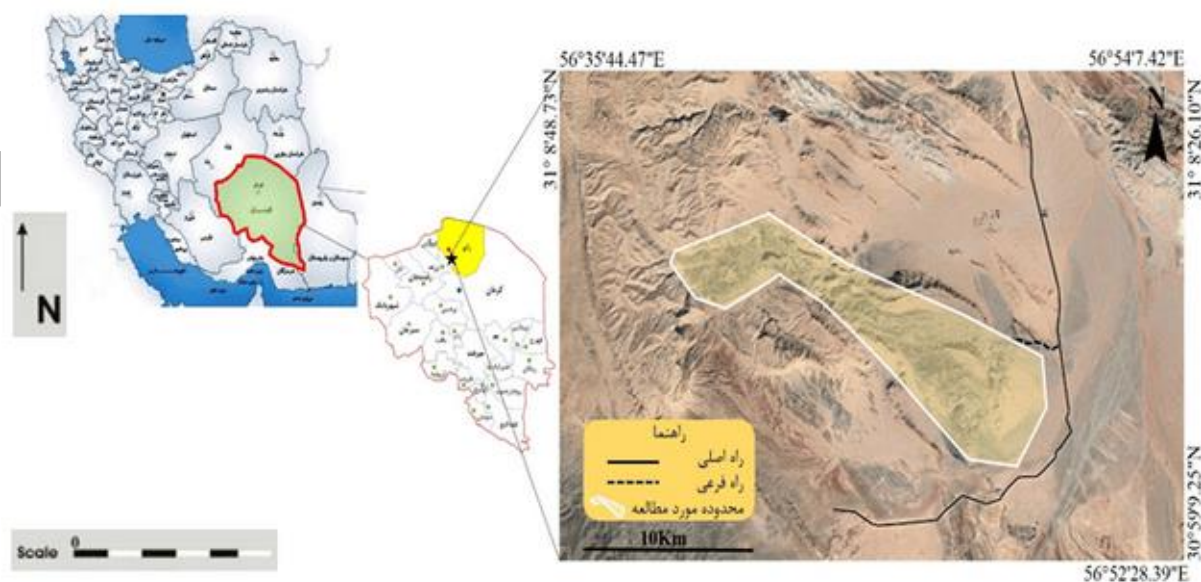
3 Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Islamic Azad University, Zarand Branch, Iran

**M.sedoghi63@gmail.com*

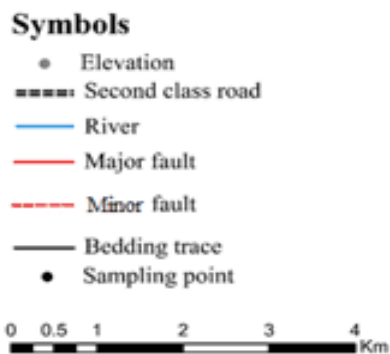
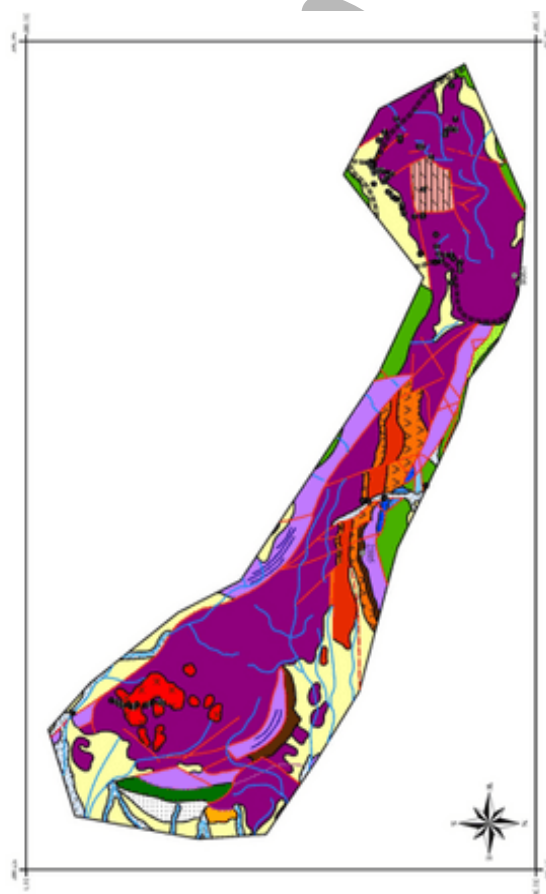
Date of arrangement: 2024/12/15

Abstract: The Baghijan Complex is located south of Ravar city in the Central Iranian structural zone. This complex is fault-bounded and lies adjacent to Cretaceous carbonate rocks, comprising a suite of igneous, metamorphic, and sedimentary rocks. The igneous rocks of this complex mainly include volcanic rocks such as basalt, andesite-basalt, andesite, trachyandesite, and trachyte, predominantly composed of pyroxene and plagioclase minerals. Additionally, volcanic rocks such as trachyte, rhyolite, and dacite are primarily composed of plagioclase, quartz, and potassium feldspar. Monzonite and granodiorite rocks are also present as intrusive rocks in the region, with coarse-grained plagioclase as the main mineral. The most important textures observed in the igneous rocks (both intrusive and volcanic) of the Baghijan Complex include porphyritic, glomeroporphyritic, sieve, flow, intergranular, and myrmekitic textures. Geochemical evidence indicates that the magma forming the rocks of the Baghijan Complex originated from low degrees of partial melting and underwent magmatic differentiation. The major and trace elements of the studied rocks exhibit basaltic and alkali-basalt compositions, predominantly falling within the alkaline range. The use of tectonic discrimination diagrams suggests that the rocks of the Baghijan Complex are oceanic island basalts associated with continental rifts, erupted in an extensional tectonic setting, indicating post-collisional magmatism.

Keywords: Baghijan Complex, Oceanic Island Basalts, Continental Rifts, Central Iran.



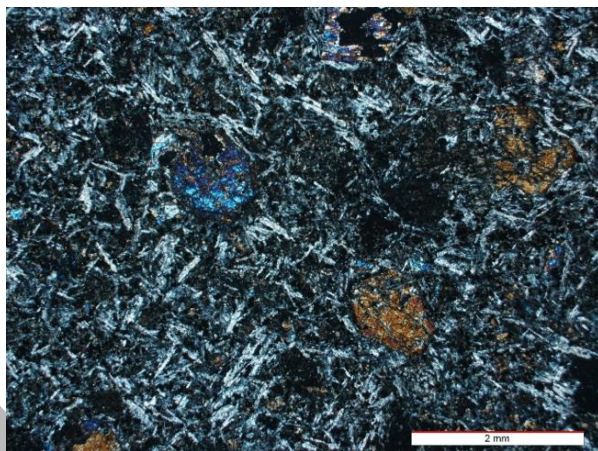
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی، تصویر ماهواره‌ای و راه‌های دسترسی به مجموعه بگیجان.



شکل ۲. نقشه زمین شناسی تهیه شده از واحدهای مختلف سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه [۷].



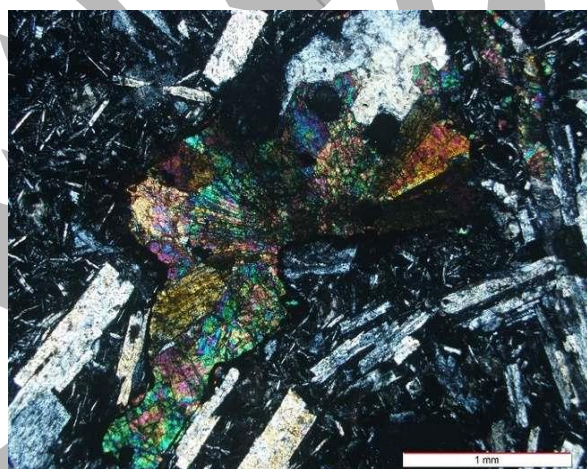
ب



الف



ت



ج

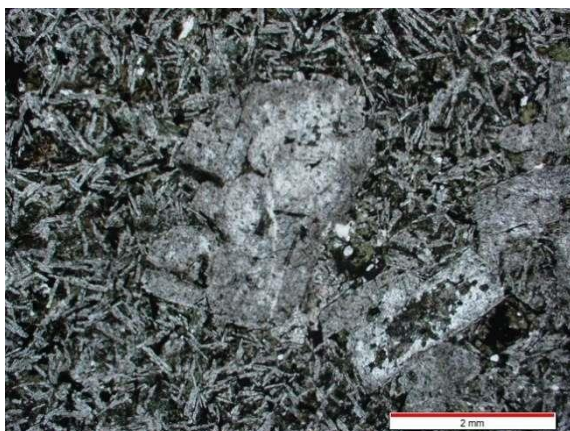


ح



ث

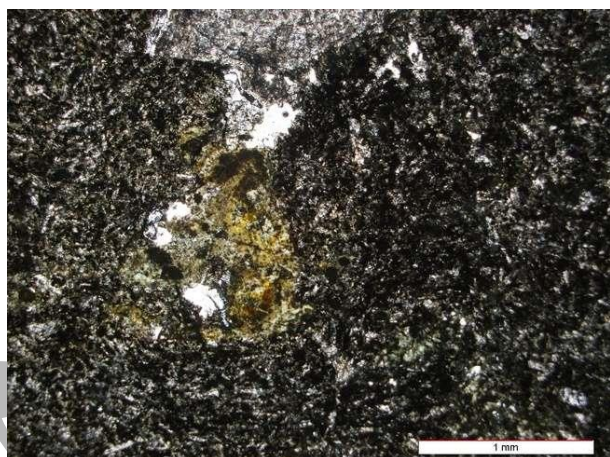
شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی از واحدهای آذرین بغیجان: الف و ب) بلورهای درشت پیروکسن در زمینه از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز در واحد سنگی بازالت در نور متقاطع و عادی (XPL و PPL)؛ پ و ت) بلورهای اپیدوت در بین میکروولیت‌های پلاژیوکلاز در زمینه شیشه‌ای و بلورهای ریز پلاژیوکلاز و اوپاک در واحد سنگی آندزیت-بازالت در نور متقاطع و عادی (XPL و PPL)؛ ث و ج) بافت پورفیری به همراه بلورهای درشت پلاژیوکلاز در زمینه شیشه‌ای، میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و بلورهای دانه ریز اپیدوت در سنگ آندزیت در نور متقاطع و عادی (XPL و PPL).



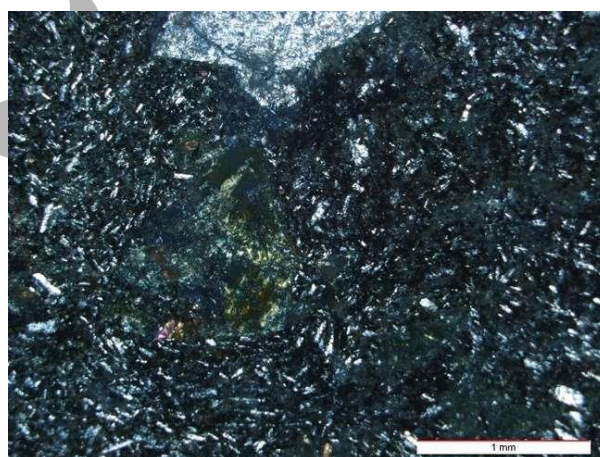
ب



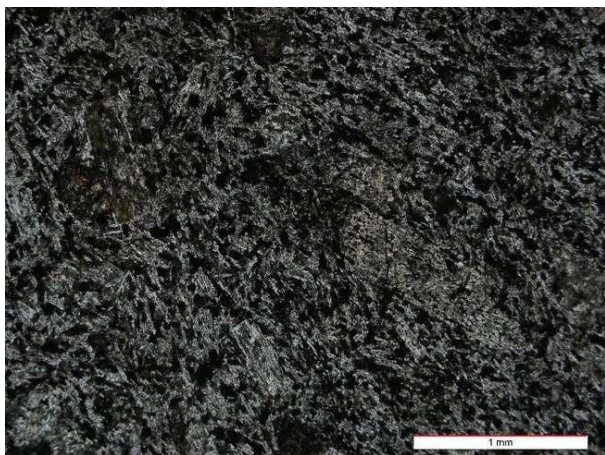
الف



ت



پ



ج

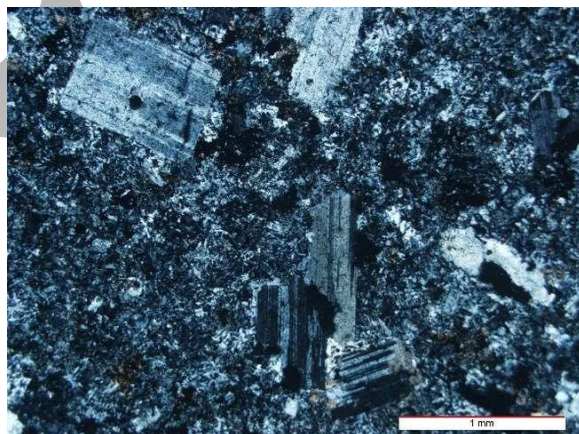


ث

شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی از واحدهای آذرین بغیجان: الف و ب) بلورها و میکروولیت‌های درشت پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از ریز میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و بلورهای دانه ریز اپیدوت و کانی‌های اوپاک در واحد سنگی تراکی آندزیت در نور متقاطع و عادی (XPL و PPL)؛ پ و ت) بافت جریانی به همراه کانیهای ثانویه اپیدوت به صورت دانه درشت و دانه ریز در متن سنگ در واحد سنگی تراکی آندزیت در نور متقاطع و عادی (XPL و PPL)؛ ث و ج) بلورهای درشت و دگرسان شده پلاژیوکلاز به همراه بافت تراکیتی در واحد سنگی تراکیت در نور متقاطع و عادی (XPL و PPL).



ب



الف

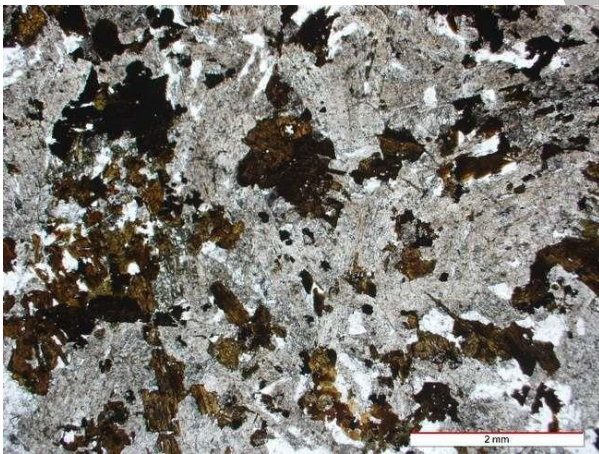


ت

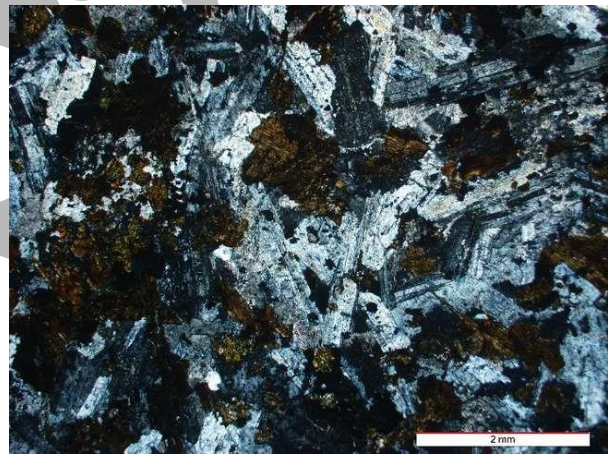


پ

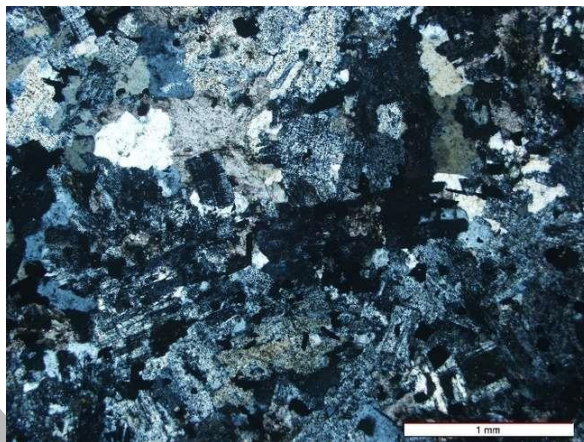
شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی از واحدهای آذرین بغیجان: الف و ب) بلورها پلاژیوکلاز و ارتوکلاز به صورت فنوکریست در زمینه از ریز بلورهای پلاژیوکلاز و ارتوکلاز در واحد سنگی داسیت در نور متقاطع و عادی (XPL و PPL)؛ پ و ت) بلورهای بی شکل کوارتز و نیمه شکل دار پلاژیوکلاز و ارتوکلاز به صورت فنوکریست و ریز بلور در زمینه در واحد ریولیتی در نور متقاطع و عادی (XPL و PPL).



ب



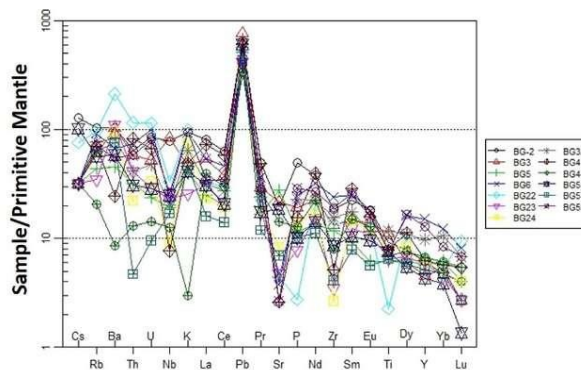
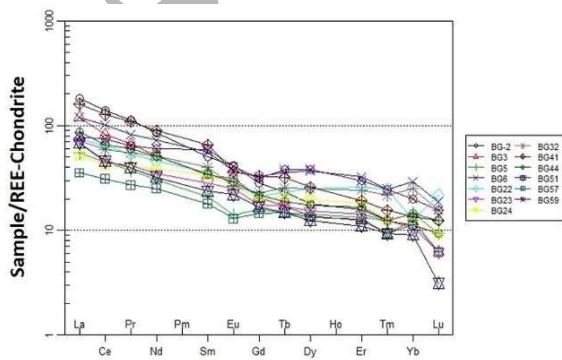
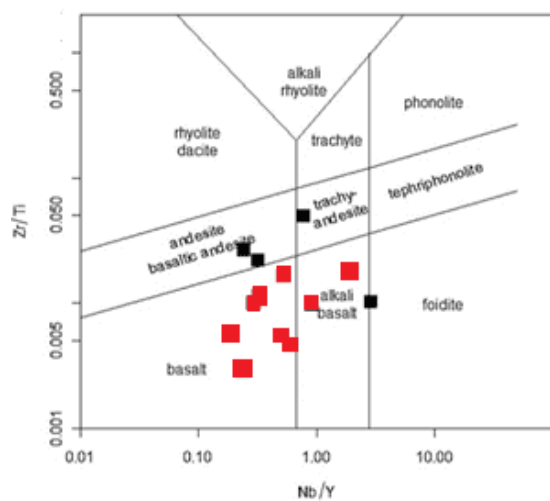
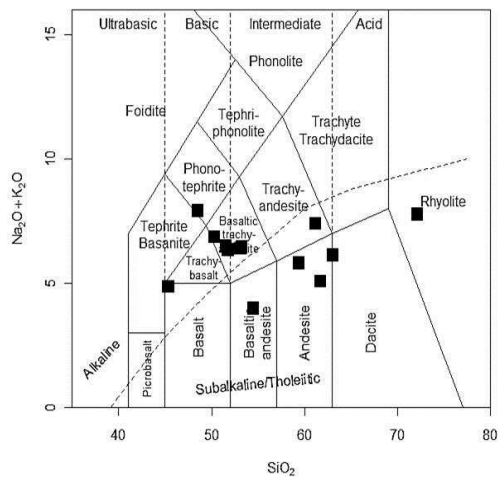
الف



ت

پ

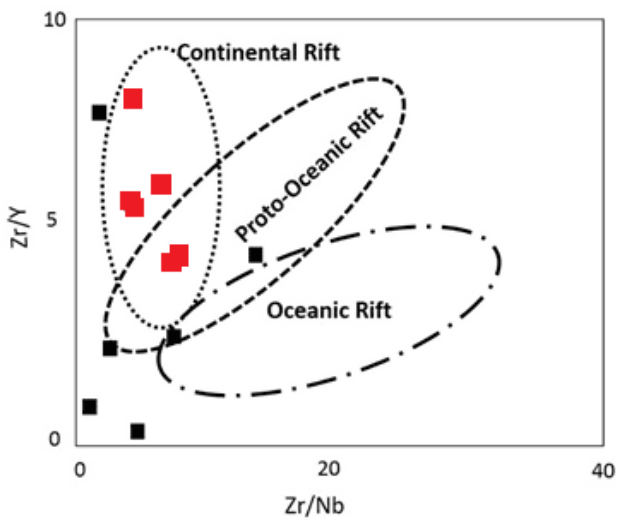
شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی از واحدهای آذرین بغیجان: الف و ب) فنوکریست های پلاژیوکلاز و کانی بیوتیت در واحد مونزونیتی منطقه مورد مطالعه در نور متقاطع و عادی (XPL و PPL)؛ پ و ت) کانی پلاژیوکلاز و کانی کوارتز به صورت فنوکریست و ریز بلور در واحد گرانودیوریت در نور متقاطع و عادی (XPL و PPL).



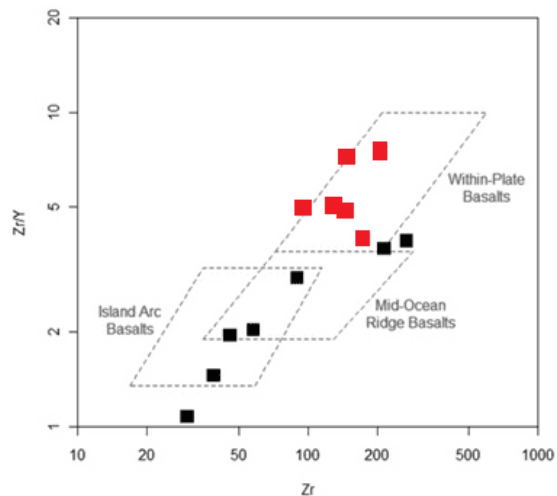
الف

ج

د



ج



ث

شکل ۷. الف) نمودار رده‌بندی شیمیایی و نامگذاری سنگ‌های آذرین منطقه براساس روش [۱۱]؛ ب) نمودار Zr/Ti بر حسب Nb/Y [۳۶] غالباً در محدوده آکالی بازالت و بازالت قرار گرفته‌اند؛ پ) نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه [۲۲]؛ ت) نمودار عناصر نادر خاکی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بهنجار شده نسبت به کندریت؛ ث) نمودار Zr/Y در برابر Zr به منظور تمایز محیط تکتونوماگمایی برای سنگ‌های ولکانیکی مورد مطالعه که در محدوده آکالن‌های درون صفحه‌ای قرار می‌گیرند؛ ج) نمودار تکامل ریفتی براساس تغییرات نسبت‌های Zr/Y در برابر Nb/Y برای سنگ‌های مورد مطالعه که اغلب در محدوده با خاستگاه ریفت‌های قاره‌ای قرار می‌گیرند.

جدول ۱. نتایج آنالیزهای شیمیایی سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه، مقادیر اکسیدهای اصلی بر حسب (wt %) می‌باشند.

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	total	ترکیب سنگی
BG-2	45.24	14.66	11.58	0.15	2.52	8.65	3.53	1.84	1.99	1.07	6.53	100.00	مونزونیت
BG3	43.18	14.14	13.27	0.23	7.66	9.25	3.21	1.4	2.43	0.42	4.45	99.99	دایک میکرو گابروبی
BG5	49.53	16.04	10.01	0.16	6.6	5.68	3.86	1.2	1.34	0.25	4.18	100.01	گدازه تراکی آندزیت
BG6	60.17	13.43	10.89	0.07	1.99	2.33	4.43	2.84	1.68	0.53	1.60	100.01	تراکی آندزیت
BG22	70.12	12.63	3.53	0.05	0.30	2.48	4.58	2.97	0.49	0.06	2.57	100.02	داسیت
BG23	56.61	13.3	9.13	0.1	4.97	4.05	4.76	0.77	1.42	0.17	4.63	100.01	گرانیت
BG24	47.64	16.66	10.37	0.12	5.66	5.67	4.21	1.28	1.75	0.3	5.21	100	آندزیت
BG32	51.77	13.37	13.11	0.21	4.89	4.56	4.31	1.95	2.55	0.5	2.56	100.01	تراکی آندزیت تا آندزیت
BG41	59.98	14.1	11.25	0	4.25	0.67	3.44	1.48	1.69	0.34	2.79	99.99	توف
BG44	49.6	14.67	8.42	0.11	2.93	9.89	4.88	0.09	1.51	0.28	6.63	100.01	تراکی آندزیت
BG51	53.1	13.48	10.58	0.15	6.46	7.93	2.63	1.24	1.64	0.22	2.57	100	گرانیت
BG57	49.21	16.83	8.37	0.17	8.87	4.14	4.79	1.4	1.41	0.22	4.56	100.02	تراکیت
BG59	61.33	12.13	9.51	0.07	3.06	2.98	3.12	2.84	1.64	0.63	2.69	100	تراکی آندزیت

جدول ۲. نتایج آنالیزهای شیمیایی سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه، عناصر کمیاب خاکی بر حسب ppm می‌باشند.

Sample	BG ₂	BG ₃	BG ₅	BG ₆	BG ₂₂	BG ₂₃	BG ₂₄	BG ₃₂	BG ₄₁	BG ₄₄	BG ₅₁	BG ₅₇	BG ₅₉
Li	33	15	19	13	12	27	30	23	41	16	9	48	36
Rb	66	38	28	58	61	22	42	49	45	13	36	40	45
Cs	1	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.5	0.5
Be	2.3	1.6	1.4	3.3	1.9	1.3	1.2	1.5	1.9	0.8	1.2	1.3	1.8
Sr	413.9	455.5	581.4	80.0	94.1	101.2	174.9	91.7	55	298.3	391.1	147.1	56
V	22	289	221	72	3	116	162	368	178	288	152	261	58

Sample	BG ₂	BG ₃	BG ₅	BG ₆	BG ₂₂	BG ₂₃	BG ₂₄	BG ₃₂	BG ₄₁	BG ₄₄	BG ₅₁	BG ₅₇	BG ₅₉
Cr	20	237	180	30	21	220	84	34	31	100	161	88	25
Co	23.2	44.1	33	9	1	24.2	32	19.1	6.2	16.1	33.6	47.3	5.9
Ni	5	105	59	7	6	109	40	16	10	26	130	59	7
Cu	18	47	7	19	4	10	20	13	12	5	55	2	85
Zn	124	213	102	45	14	70	100	107	66	52	124	136	52
Pr	13.67	8.13	4.56	10	6.48	5.07	5.02	6.67	13.35	7.36	4.81	3.3	7.79
Nd	51.1	30.5	18.3	43.4	27.8	21	23.2	30.5	53.7	30.6	19.3	15.1	36.1
Sm	9.9	6.6	4.1	11	6.9	5.5	6.5	7.8	12.7	6.7	4.6	3.5	11.5
Eu	3.06	2.31	1.03	2.68	2.07	1.82	1.96	1.92	2.66	2.16	1.61	0.95	2.99
Gd	7.26	5.3	4.1	8.41	5.45	4.57	5.06	5.94	8.5	5.6	4.33	3.77	8.06
Tb	1.1	0.8	0.7	1.7	1.1	0.8	1	1.2	1.5	0.9	0.7	0.7	1.8
Y	27.9	20.7	26.1	68.7	30.1	26.9	28	44.3	28.6	30.3	19.5	23.6	58.4
Nb	32300	24676	36517	33184	34238	35396	30571	32785	25994	39927	19782	33715	21985
Ta	2	2.2	0.2	<0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0.1	0.4	0.3	0.3
Zr	208	148	131	268	145	39	30	174	58	90	96	46	215
Hf	4.5	4.2	3.3	5	6.9	2.2	2.7	5.2	3.3	3.4	3.4	2.6	6.5
Mo	2	2.3	0.5	2.7	1.7	0.6	0.5	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8
Sn	2.5	1.8	1.2	3.3	2.6	2	1.6	2.2	3	1.1	1.6	1.2	3.4
Tl	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Pb	46	54	36	34	36	30	28	40	43	24	43	31	28
U	1.8	1.1	0.5	2.1	2.4	0.6	0.7	1	1.4	0.3	0.6	0.2	1.7
Th	5.5	4.9	2.7	6.3	9.8	3.5	1.9	3.5	7	1.1	2.6	0.4	4.9
La	56	37	17	37	23	21	16	22	50	27	21	11	24
Ce	113	66	36	82	52	36	34	48	103	53	37	25	60
Dy	5.8	4.4	4.6	11.9	8	4.9	6.3	8.1	8.3	5.6	4	4.3	12.3
Er	3.3	2.6	2.8	6.8	5.4	3	3.8	5.1	4	3.5	2.3	2.7	6.3
Tm	0.4	0.3	0.4	0.8	0.8	0.4	0.4	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.8
Yb	2.34	2.57	3.02	6.06	2.61	2.21	2.39	5.21	2.81	3.01	1.89	2.37	4.16
Lu	0.3	0.2	0.3	0.6	0.7	0.2	0.3	0.5	0.4	0.4	0.1	0.2	0.5

مدراسه
تفصیلی