

سنگ شناسی و زمین شیمی سنگ‌های آذرین مجموعه بغیجان، جنوب راور، استان کرمان

مجتبی صدوقی*، سید عبدالرضا جعفری صدر، امیر شفیعی بافتی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنده، ایران
(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵)

چکیده: مجموعه بغیجان در جنوب شهرستان راور در پهنه ساختاری ایران مرکزی قرار دارد. این مجموعه به صورت گسله در مرز با سنگ‌های کربناتی کرتاسه واقع بوده که شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی است. سنگ‌های آذرین این مجموعه بیشتر آتشفشانی از نوع بازالت، آندزیت-بازالت، آندزیت، تراکیت، تراکیت 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 کانی اصلی در این سنگ‌ها تشکیل شده‌اند. بافت‌های پورفیریک، انبوهه پورفیری، غربالی، جریان، بین دانه‌ای و میرمیکت از مهم‌ترین بافت‌های تشکیل دهنده سنگ‌های آذرین (نفوذی و آتشفشانی) مجموعه بغیجان هستند. شواهد زمین شیمیایی نشان می‌دهند که ماگمای سازنده سنگ‌های مجموعه بغیجان از درجه‌های پایین ذوب بخشی شکل گرفته و همچنین دچار فرآیند جدایش ماگمایی شده است. بر پایه مقادیر عناصر اصلی و فرعی، سنگ‌های مورد بررسی دارای ترکیب بازالتی و قلیایی بازالت هستند و اغلب در گستره قلیایی قرار دارند. براساس نمودارهای تشخیص محیط زمین ساختی، سنگ‌های مجموعه بغیجان بازالت‌های جزایر اقیانوسی در ارتباط با کافت‌های درون قاره‌ای هستند که در محیط زمین ساختی کششی فوران کرده‌اند و فعالیت ماگمایی پس از برخورد را نشان می‌دهند.

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

مقدمه

برای ساختارهای آذرین نیز استفاده شود. شناسایی خاستگاه و ماهیت واحدهای سنگی مختلف موجود در یک مجموعه تراشکافتی کمک شایانی به درک زمین‌شناسی یک منطقه در سطح و گسترده‌تر می‌کند.

بررسی‌های پیشین [۵] نشان می‌دهد که منطقه مورد بررسی به صورت یک تراشکافت با مرز گسله با سنگ‌های کربناتی کرتاسه قرار دارد که شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی است. رشته کوه‌های این منطقه بیشتر از تشکیلات آهکی هستند و در راستای شمال غرب-جنوب شرق شکل گرفته‌اند، که شامل کوه سه پایه با ارتفاع

تراشکافت‌ها از جمله ساختارهای زمین‌شناسی در مناطق مختلف دنیا و ایران هستند که همواره مورد توجه پژوهشگران بوده‌اند. بر پایه گزارش‌های موجود، بیش‌ترین تراشکافت‌ها در مناطق زاگرس و ایران مرکزی هستند [۱]، که اهمیت زمین-شناسی ویژه‌ای در این مناطق دارند. تراشکافت نوعی توده نفوذی زمین‌شناسی است که در آن مواد با قابلیت تحرک و تغییر شکل، سنگ پوشاننده روی خود را شکافته‌اند [۲-۴]. اصطلاح تراشکافت اغلب برای مواد و پدیده‌های غیر آذرین چون گنبد‌های نمکی و گلی به کار می‌رود اما ممکن است که

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۲۴۲۳۴۳۰، پست الکترونیکی: m.sedoghi63@gmail.com



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 هستند. ادامه رشته کوه‌های سهم حسین به سوی شمال شرق تا منطقه پابدانا کشیده می‌شود.

کوه‌های سهم حسین از نظر آهکی بودن ستیغ‌ساز هستند و در کنار ریختار سنگ‌های تبخیری سری دزو بصورت پست و فرو رفته و تراشکافت گونه آنها مرتفع و برجسته در شمال منطقه نمایان هستند. سنگ‌های تبخیری از نظر زمین ساختی ساختاری تاقدیس گونه دارند و به صورت مجموعه‌ی وارخته در جنوب منطقه دیده می‌شوند. از نظر مکان‌نگاری، چهره تراشکافت‌ها بستگی به فراوانی و ویژگی‌های مجموعه سنگ‌های سری دزو دارد. مقدار گچ موجود در این سری از عوامل مهم شکل‌دهی ریختار ظاهری سری دزو است. هرجا که گچ فراوان‌تر باشد، خردشدگی و بهم‌ریختگی و از دست رفتن ارتباط میان واحدها شدیدتر شده و در نتیجه مکان‌نگاری پست و ملایمی ایجاد می‌شود. سنگ‌های با ترکیب بازی به صورت دایک‌های دولریتی و اولیوین گابرویی در این منطقه دیده می‌شوند [۶]. از دیگر عوامل اثر گذار بر وضع پستی و بلندی‌ها، جنس سنگ‌هاست؛ اغلب سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی و کربناتیای دولومیتی بسته به اینکه نیروهای فشارشی و یا کششی را تحمل نموده‌اند نسبت به عوامل فرسایشی مقاوم‌تر و یا سست‌تر عمل نموده و ریختار متفاوتی را پدید آورده‌اند [۶]. در این پژوهش، با بررسی سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی سنگ‌های آذرین مجموعه بغیجان، خاستگاه ماگمایی، فرآیندهای ماگمایی، ویژگی‌های سنگ‌شناسی، ویژگی‌های زمین‌شیمیایی و شرایط تکتونوماگمایی منطقه شناسایی شده است. این کار بر پایه بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری، تجزیه‌های زمین‌شیمیایی (عناصر اصلی و کمیاب)، مدل‌سازی زمین‌شیمیایی، و مقایسه با داده‌های جهانی انجام شده است.

روش بررسی

پس از نمونه‌برداری صحرایی، تهیه تعدادی مقاطع نازک و بررسی‌های میکروسکوپی، نمونه‌هایی که تکامل ویژگی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری را بهتر نشان می‌دادند، انتخاب شدند. به

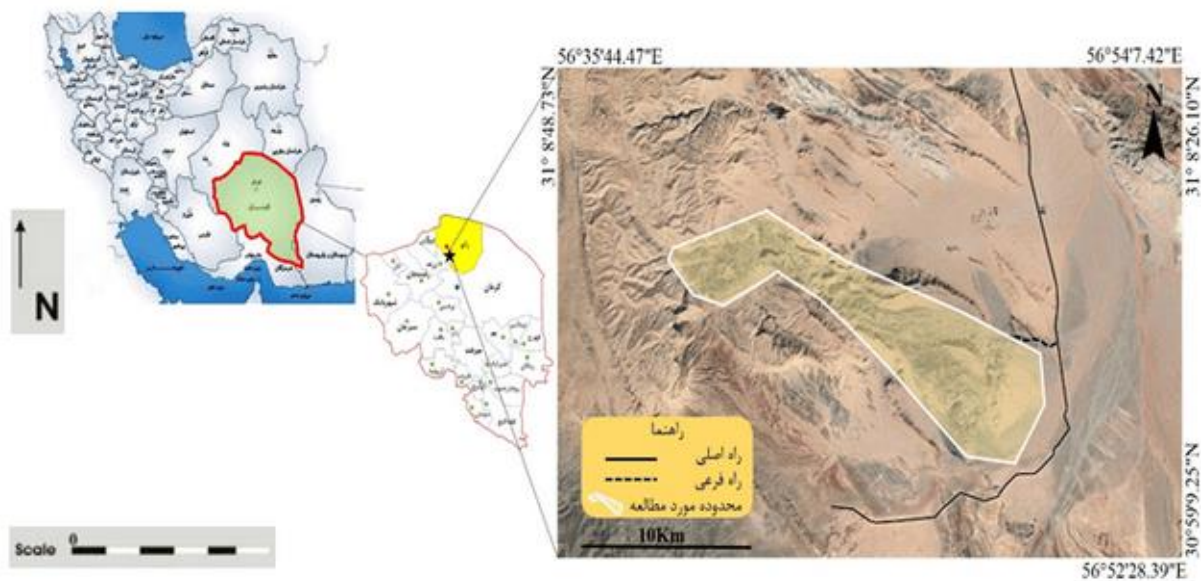
منظور بررسی دقیق رفتار زمین‌شیمیایی عناصر اصلی در ساختار سنگ‌ها و تکمیل بررسی‌های سنگ‌شناسی، تعداد ۱۵ نمونه با کمترین دگرسانی برای آزمایش‌های زمین‌شیمیایی انتخاب و تجزیه به روش‌های طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) و طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) به آزمایشگاه زراژما ارسال شد. برای بررسی نتایج تجزیه از نرم افزار GCDkit استفاده شد.

موقعیت زمین‌شناسی

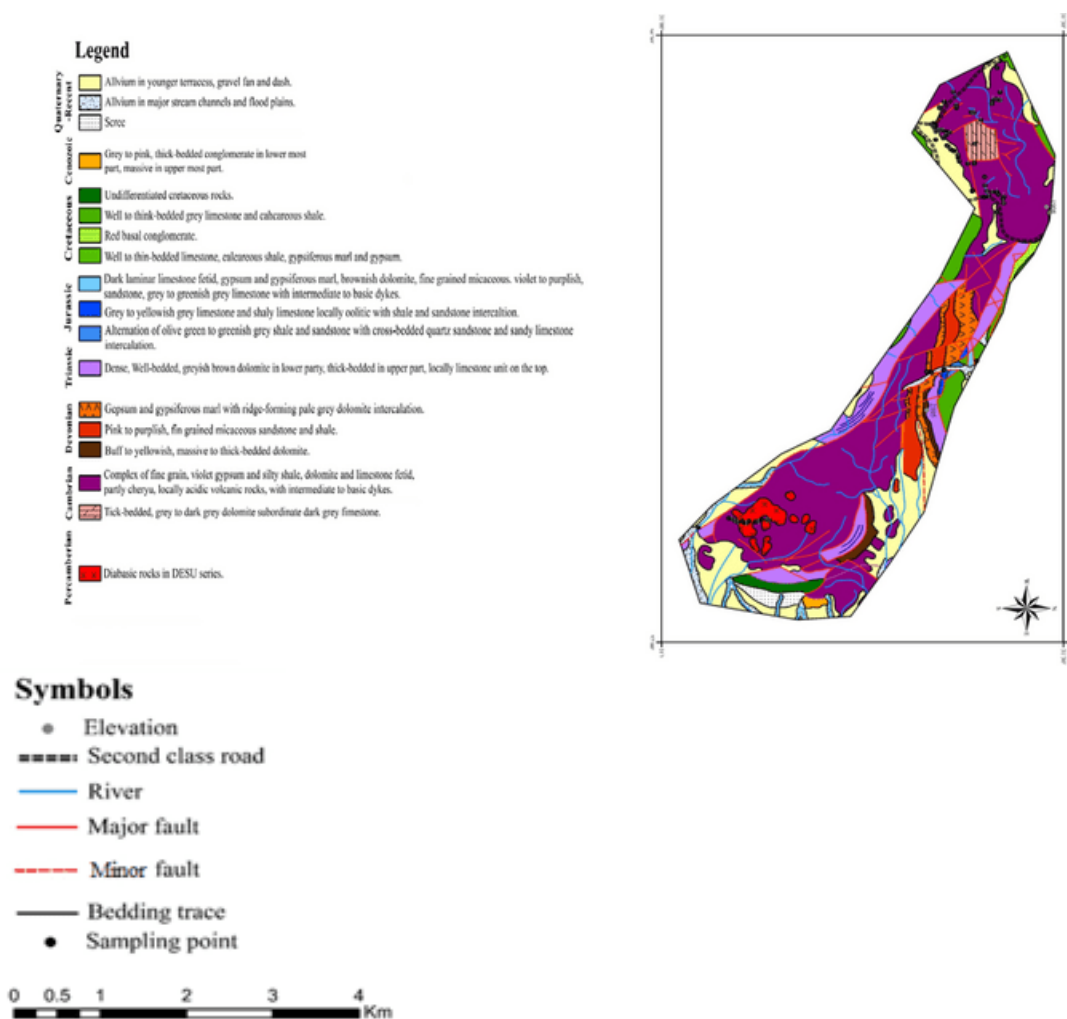
منطقه مورد بررسی بخشی از سری دزو بوده که در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ راور [۷] واقع است. این منطقه از دیدگاه تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران در زون ایران مرکزی، سری دزو قرار دارد. رخنمون واحدهای سنگی دزو شبیه به ساختار گنبد‌های نمکی سری‌های هرمز و راور است. در این آمیزه، بخش‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی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

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

روستای بغیجان در کنار مجموعه بغیجان در جنوب شهرستان راور و در مسیر روستاهای خورند و تاشک واقع است. منطقه مورد بررسی به مساحت حدود ۱۹۰۰ کیلومتر مربع در بین طول‌های جغرافیایی ۴۶° ۵۶' تا ۵۶° ۵۰' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۱° ۰۱' تا ۳۱° ۰۵' قرار دارد (شکل ۲).



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



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از واحدهای مختلف سنگی موجود در منطقه مورد بررسی [۷].

سنگ‌نگاری

بر اساس بازدیدهای صحرایی، بررسی مقاطع نازک و تعیین درصد حجمی کانی‌ها و بر اساس بررسی‌های پیشین [۸] سنگ‌های مورد این منطقه بیشتر شامل سنگ‌های آتشفشانی از نوع بازالت، آندزیت-بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت و به مقدار کم تر تراکیت، داسیت و ریولیت، سنگ‌های آذرآواری و سنگ‌های نفوذی مونزونیت و گرانودیوریت هستند. سنگ‌های آتشفشانی چون بازالت، آندزیت-بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت، تراکیت، داسیت و ریولیت اغلب مربوط به دوره مزوزوئیک (بیشتر کرتاسه) تا سنوزوئیک (ترشیاری) هستند. این سنگ‌ها اغلب با فعالیت‌های ماگمایی در ارتباط با فرایندهای زمین ساختی منطقه (چون فرورانش) تشکیل شده‌اند. توده‌های نفوذی چون مونزونیت و گرانودیوریت اغلب جوان‌تر از سنگ‌های آتشفشانی هستند و شاید مربوط به دوره سنوزوئیک (ترشیاری) باشند. توده‌های نفوذی (چون مونزونیت و گرانودیوریت) اغلب درون سنگ‌های آتشفشانی قدیمی‌تر (بازالت، آندزیت و ریولیت) یا سنگ‌های رسوبی (مانند آهک، ماسه‌سنگ و شیل) نفوذ کرده‌اند. این واحدهای میزبان ممکن است که مربوط به دوره مزوزوئیک (کرتاسه) یا حتی قدیمی‌تر باشند. سنگ‌های آذرآواری (چون توف و برش‌های آتشفشانی) اغلب هم‌زمان با فعالیت‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند و سن آن‌ها نزدیک به سن سنگ‌های آتشفشانی منطقه مزوزوئیک تا سنوزوئیک است.

بازالت: این سنگ‌ها در نمونه دستی با رنگ سیاه و کمتر دگرسان شده دیده می‌شوند. پیروکسن کانی اصلی است که به صورت درشت بلور و دانه ریز حدود ۳۰ درصد زمینه را تشکیل می‌دهد. بلورهای پیروکسن به صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل هستند و اغلب دگرسانی اورالیتی را نشان می‌دهند. ریزسنگ-های پلاژیوکلاز زمینه سنگ را تشکیل داده و بافت جریانی را باعث شده‌اند. ریزسنگ‌های پلاژیوکلاز کمتر دچار دگرسانی شده و ماکل چندریختی را به خوبی نشان می‌دهند. بافت‌های ریزسنگی پورفیری، جریانی و دلریتی در بازالت‌های این منطقه دیده می‌شوند (شکل‌های ۳ الف و ب). کانی پیروکسن دیده شده در این سنگ‌ها کلینوپیروکسن بوده و الیوین در نمونه‌ها دیده نشده است.

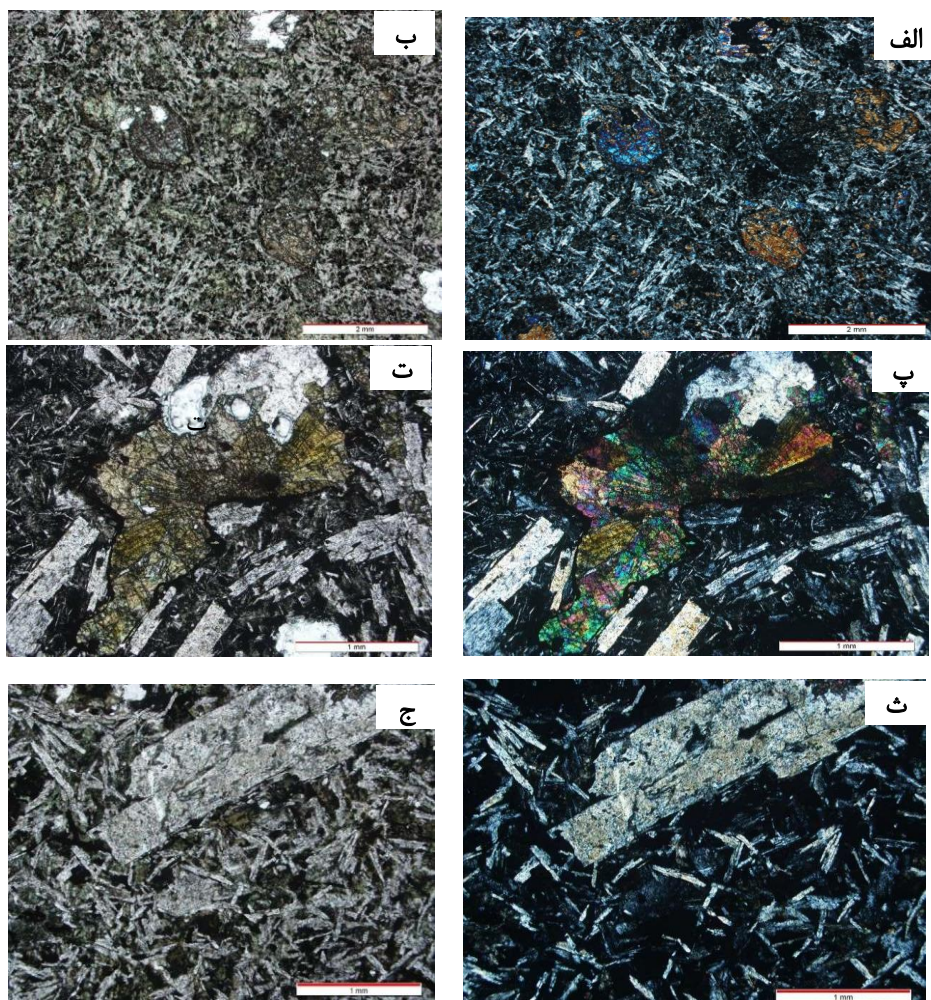
آندزیت-بازالت: این سنگ‌ها در نمونه دستی تیره رنگ و دارای کانی روشن پلاژیوکلاز و کانی تیره پیروکسن هستند. از جمله

کانی‌های اصلی آن‌ها پلاژیوکلاز بوده که بیشتر شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار است و ۴۵ درصد حجم سنگ مورد بررسی را شامل می‌شود. ماکل عمده این کانی‌ها، کارلسباد-آلبیت و چندریختی بوده و منطقه‌بندی نیز از دیگر ویژگی‌های آنهاست. از ویژگی‌های مهم برخی از این درشت بلورها، داشتن بافت غربالی است. اغلب پلاژیوکلازها دچار دگرسانی سوسوریتی شدن گردیده‌اند (شکل‌های ۳ پ و ت). بلورهای کلینوپیروکسن یکی دیگر از کانی‌های اصلی این سنگ‌هاست که به صورت درشت-بلور و یا ریزبلور در زمینه‌ی این سنگ‌ها دیده می‌شود. این بلورها تا ۱۰ درصد از حجم سنگ را در بر می‌گیرند. درشت بلورهای کلینوپیروکسن به صورت نیمه شکل‌دار دیده می‌شوند. این بلورها دارای شکستگی زیاد هستند و گاهی دگرسانی شدیدی را در راستای این شکستگی‌ها نشان می‌دهند. در اثر این دگرسانی اغلب کلینوپیروکسن‌ها به کانی‌های کلریت، اپیدوت و گاهی کانی کدر تبدیل شده‌اند (شکل‌های ۳ پ و ت). بافت پورفیری و انبوهه پورفیری در این واحد سنگی دیده می‌شود که نشانگر دو مرحله سرد شدن ماگما طی صعود است. از مهم‌ترین کانی‌های فرعی می‌توان از کانی‌های کدر نام برد. این کانی‌ها شکل‌دار تا بی‌شکل هستند، و با اندازه تا ۰/۷ میلی‌متر، حدود ۲ درصد از حجم سنگ را تشکیل می‌دهند.

آندزیت: آندزیت‌ها در نمونه دستی خاکستری روشن هستند. کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها شامل درشت بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول به همراه کانی‌های ثانویه چون کلریت و اپیدوت و کانی‌های کدر هستند. بلورهای پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی در سنگ‌های آندزیتی هستند و به دو صورت درشت بلور و ریز بلور در زمینه دیده شده و حدود ۴۵ درصد از حجم سنگ را در برمی‌گیرند. بلورهای پلاژیوکلاز موجود در این نمونه سنگی به دو گروه تقسیم می‌شوند؛ گروه اول بلورهایی با ماکل چندریختی و گروه دوم با دگرسانی‌های سوسوریتی و سریسیتی هستند (و این دو نوع دگرسانی در ارتباط با تغییر در فلدسپات‌ها به ویژه پلاژیوکلاز هستند و در شرایط مشابه زمین‌شناسی تشکیل می‌شوند اغلب در سنگ‌های آذرین یا دگرگونی ناشی از اثر سیال‌های گرمایی یا دگرگونی درجه پایین دیده می‌شوند). بافت غربالی از ویژگی‌های بارز بلورهای گروه دوم است. ریز بلورهای پلاژیوکلاز اغلب سالم هستند و نسبت به درشت بلورها دگرسانی کمتری دارند. کانی پلاژیوکلاز در برخی مناطق با بافت انبوهه پورفیری (خوشه‌های بهم

غربالی و خال خال در کانی‌های این مجموعه سنگی وجود دارند. بلورهای آمفیبول یا به صورت درشت بلور و یا به صورت ریز بلور در زمینه دیده می‌شوند و با اندازه تا ۲ میلی‌متر حدود ۱۵ درصد از حجم سنگ را در بر می‌گیرند. بلورهای آمفیبول اغلب کشیده و به ندرت به شکل‌های لوزی دیده می‌شوند. این درشت بلورها به ندرت کامل کلریتی شده‌اند و گاهی قالب لوزی شکل آن‌ها باقی مانده است. بیوتیت با اندازه تا ۰/۵ میلی‌متر حدود ۵ درصد از حجم سنگ را شامل شده و به دو شکل درشت بلور و ریز بلور در سنگ دیده می‌شود و گاهی کدر شده است. کانی‌های فرعی شامل بلورهای کدر نیمه شکل دار بیشتر در زمینه سنگ تشکیل شده‌اند.

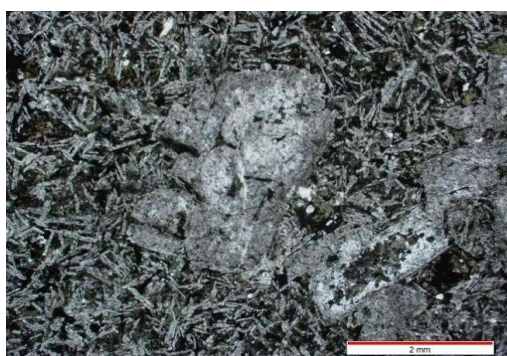
چسپیده و سرسیتی شده دیده می‌شوند (شکل‌های ۳ ث و ج). زمینه این سنگ‌ها نزدیک به ۳۰ تا ۳۵ درصد از حجم سنگ را تشکیل داده و از ریز بلورهای پلاژیوکلاز، بیوتیت ثانویه، آمفیبول، کوارتز ثانویه و کانی‌های کدر تشکیل شده است. اگرچه بافت پورفیری بافت غالب در این مجموعه سنگی است، اما ریز بلورهای پلاژیوکلاز گاهی حالت جریان‌ی دارند و اغلب در فضای تشکیل شده بین خود، بلورهای ریز کلینو-پروکسن، آمفیبول، بیوتیت و کانی‌های کدر را در بر می‌گیرند. بافت بادامکی نیز ناشی از پرشدگی حفره‌های مدور و بیضوی موجود در این سنگ‌هاست که با کانی‌های ثانویه‌ای چون کلسیت، کلریت و کوارتز اشغال شده‌اند. همچنین بافت‌های



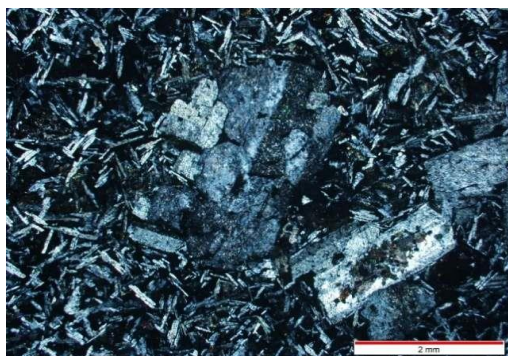
شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از واحدهای آذرین بغیجان: الف و ب) بلورهای درشت پروکسن در زمینه‌ای از ریزسنگ‌های پلاژیوکلاز در واحد سنگی بازالت در نورهای قطبیده متقاطع و صفحه‌ای (XPL و PPL)؛ پ و ت) بلورهای اپیدوت در بین ریزسنگ‌های پلاژیوکلاز در زمینه شیشه‌ای و بلورهای ریز پلاژیوکلاز و کدر در واحد سنگی آندزیت-بازالت در XPL و PPL؛ ث و ج) بافت پورفیری به همراه بلورهای درشت پلاژیوکلاز در زمینه شیشه‌ای، ریزسنگ‌های پلاژیوکلاز و بلورهای دانه ریز اپیدوت در سنگ آندزیت در XPL و PPL.

(قالب شکل بلوری) کامل به کلریت و اپیدوت تبدیل شده‌اند (شکل‌های ۴ پ و ت). بلورهای پلاژیوکلاز سریسیتی و کربناتی شده‌اند. زمینه سنگ شامل کلریت و سریسیت ناشی از دگرسانی و نیز مقدار بسیار کانی مافیک کدر شده و کانی کدر نیمه شکل‌دار است. بلورهای بیوتیت با اندازه تا ۰/۵ میلی‌متر حدود ۵ درصد از حجم سنگ را شامل شده و به دو شکل درشت بلور و ریز بلور در سنگ دیده می‌شوند. بیوتیت گاهی کدر شده است.

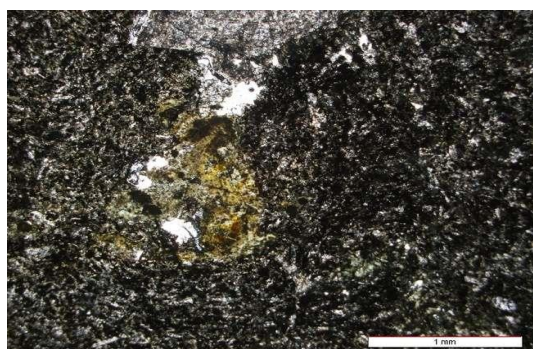
تراکی آندزیت: این واحد آتشفشانی در منطقه مورد بررسی با رنگ قهوه‌ای تا خاکستری روشن دیده می‌شود. بلورهای پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی در سنگ‌های تراکی آندزیتی هستند و به دو صورت درشت بلور و ریز بلور در زمینه دیده می‌شوند. این واحد حدود ۴۵ درصد از حجم سنگ را در برمی‌گیرد. این سنگ‌ها دارای بافت‌های شیشه‌ای ریزسنگی پورفیری جریانی، بافت انبوهه پورفیری و پورفیری هستند (شکل ۴ الف و ب). بلورهای آهن و منیزیم‌دار به احتمال بسیار پیروکسن



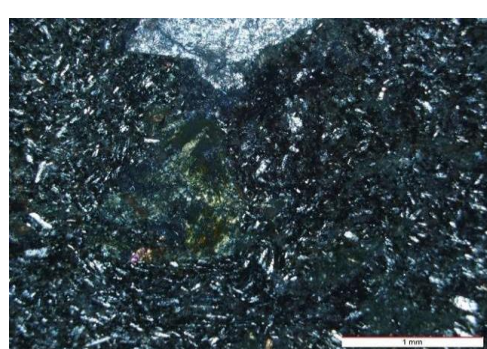
ب



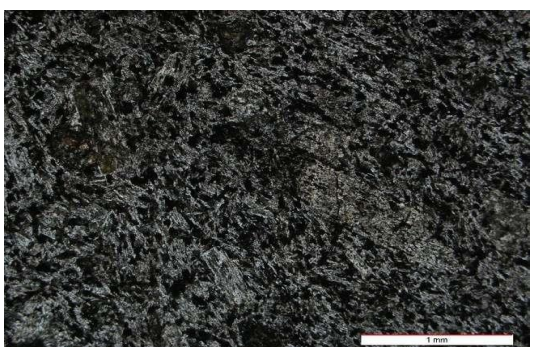
الف



ت



پ



ج



ث

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

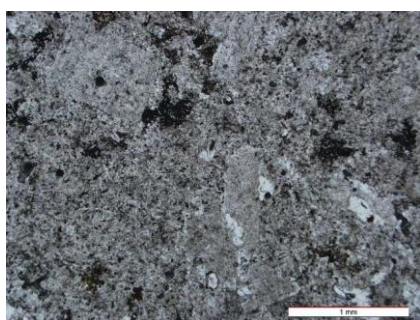
تراکیت: تراکیت سنگ آتشفشانی ریز بلور است که بیشتر به رنگ قهوه‌ای روشن در تراکیت‌های معمولی تا رنگ قهوه‌ای تیره در تراکیت‌های قلیایی تغییر می‌کند. بافت جریانی یا تراکیتی مشخصه اصلی این سنگ‌هاست (شکل‌های ۴ ث و ج). بیش‌ترین حجم سنگ مربوط به پلاژیوکلاز به صورت ریز بلور در زمینه و درشت بلور است. این بلورها با اندازه تا ۰/۵ میلی-متر حدود ۵۵ درصد از حجم سنگ را در برمی‌گیرند. بلورهای بیوتیت با اندازه تا ۰/۵ میلی‌متر حدود ۲ تا ۵ درصد از حجم سنگ را شامل شده و به دو شکل درشت بلور و ریز بلور در سنگ دیده می‌شوند. بیوتیت گاهی کدر شده است. کانی‌های فرعی شامل بلورهای کدر نیمه شکل‌دار هستند که بیشتر در زمینه سنگ قرار دارند.

داسیت: بیش‌ترین حجم سنگ داسیت مورد بررسی کوارتز (۴۰ درصد) است. بلورهای کوارتز با اندازه حدود ۰/۲ میلی‌متر و ریز بلور هستند. بلورهای پلاژیوکلاز دارای بافت فلسیتی پورفیری هستند. بلورهای درشت پلاژیوکلاز (با ماکل چندریختی ظریف) و کوارتز به صورت ریز بلور در زمینه دیده می‌شوند. بافت پورفیری، بافت غالب در این نمونه است. زمینه دارای بافت فلسیتی است. این سنگ دستخوش دگرسانی‌های کربناتی و سیلیسی شده است. درجه دگرسانی در زمینه سنگ کم و درجه هم‌رشدی بلورهای کوارتز و فلدسپار در زمینه بالاست (بافت فلسیتی). درشت بلورهای پلاژیوکلاز با کانی‌های ثانویه از جمله کربنات، سیلیس و سریسیت جایگزین شده‌اند. فرایند آرژلیک و سریسیتی شدن برای فلدسپارهای درشت بلور رخ داده است. زمینه نیز به طور گسترده سیلیسی و کربناتی شده است. بافت انبوه پورفیری نیز در این سنگ دیده می‌شود. این بافت ناشی از انباشت کانی‌های تیره با پلاژیوکلاز به صورت درشت بلور است (شکل ۵ الف و ب). کانی‌های کدر از جمله کانی‌های فرعی در این نمونه هستند.

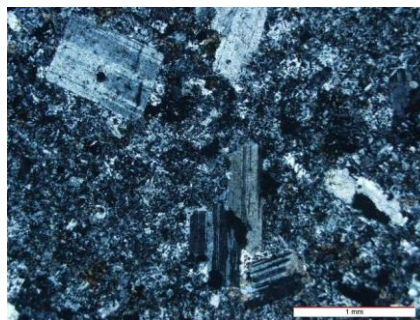
ریولیت: واحد ریولیتی در منطقه مورد بررسی به رنگ خاکستری تیره دیده می‌شود. اندازه آن ۰/۲ میلی‌متر و ریز بلور است. ۴۵ درصد سنگ از کوارتز تشکیل شده است. بلورهای کوارتز و ساندین در زمینه شیشه‌ای کاملاً از حالت شیشه‌ای خارج شده‌اند. فلدسپار پتاسیم پس از کوارتز بیش‌ترین حجم سنگ را تشکیل داده است. این کانی در اثر دگرسانی به کانی-های رسی تبدیل شده است و به صورت غبارآلود در نور ساده دیده می‌شود (شکل‌های 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 دیده می‌شود. از فراورده‌های دگرسانی این پلاژیوکلازها می‌توان به سریسیت، کلسیت و کمی کانی‌های رسی اشاره نمود. بیوتیت‌های کدر شده به مقدار ۱۰ درصد در این سنگ وجود دارند. فلدسپار پتاسیم به صورت شکل‌دار و با میانگین اندازه ۰/۵ میلی‌متر و به مقدار ۱۰٪ در متن سنگ دیده می‌شود. این کانی با دگرسانی و ماکل دوتایی کارلسباد به خوبی قابل تشخیص است. از کانی-های فرعی می‌توان به کانی‌های کدر با میانگین اندازه ۰/۱ میلی‌متر که به طور مستقل در متن سنگ پراکنده‌اند اشاره نمود. کانی‌های برآمده از دگرسانی در این سنگ سریسیت و اورالیت هستند. واحد سنگی مونزونیت دارای بافت‌های دانه ای، بین‌دانه ای و نیمه پوست ماری است (شکل‌های ۶ الف و ب).

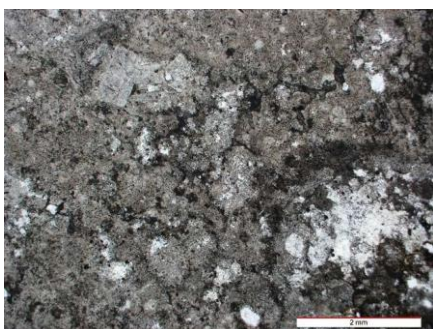
گرانودیوریت: گرانودیوریت از جمله سنگ‌های حد واسط و با رنگ روشن بوده که از نظر میکروسکوپی به صورت ریز تا متوسط بلور و دارای بافت دانه‌ای است. کوارتز به صورت بی-شکل (با ظاهری کشیده و نیمه‌گرد) و با میانگین اندازه ۱/۵ میلی‌متر و به مقدار ۲۵ تا ۳۰ درصد حجمی در متن سنگ دیده می‌شود. از ویژگی‌های کوارتزها می‌توان به خاموشی موجی و پدیده‌های در ارتباط با دگرشکلی پویا اشاره کرد. از هم‌رشدی کوارتز با پلاژیوکلاز بافت میرمیکت ایجاد شده که از بافت‌های مهم در گرانودیوریت‌های منطقه مورد بررسی است. پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار و با میانگین اندازه ۲ میلی‌متر و به مقدار ۳۰ تا ۴۰ درصد حجمی در متن سنگ دیده می‌شود. این پلاژیوکلازها کمتر دگرسان شده‌اند و دارای ماکل آلبیت-پریکلین هستند. از فراورده‌های دگرسانی پلاژیوکلازها می‌توان به کلریت و سریسیت اشاره نمود. بلورهای بیوتیت به رنگ قهوه‌ای تا بی‌شکل و به صورت ثانویه با میانگین اندازه ۰/۱ میلی‌متر، با پراکندگی در حدود ۱۰٪ حجمی متن سنگ دیده می‌شوند. این بلورها دچار دگرسانی شده و کلریت شکل گرفته است. کانی‌های فرعی کدر با میانگین اندازه ۰/۱ میلی‌متر به طور مستقل در متن سنگ پراکنده شده‌اند. افزون بر کانی‌های رسی، کلریت، کلسیت و سریسیت، کانی‌های کوارتز، موسکویت و کانی‌های کدر برآمده از دگرسانی در این سنگ‌ها هستند (شکل‌های ۶ پ و ت).



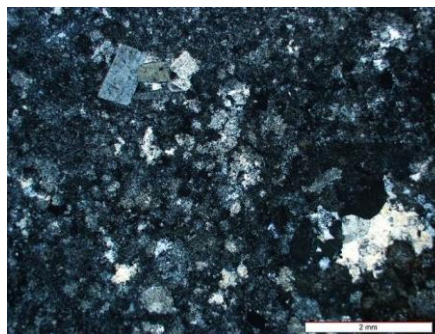
ب



الف

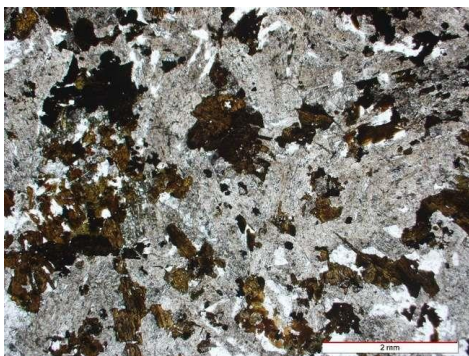


ت

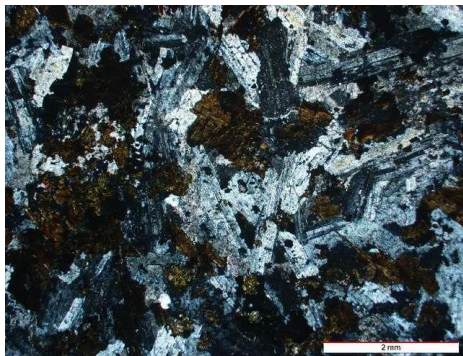


پ

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



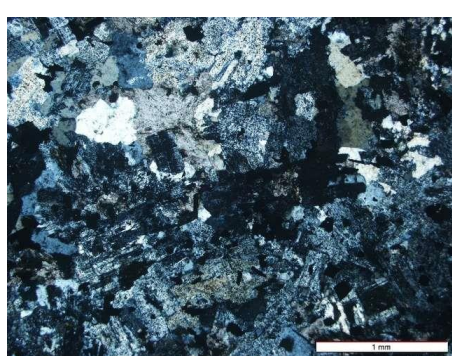
ب



الف



ت



پ

شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی از واحدهای آذرین بغیجان: الف و ب) درشت بلورهای پلاژیوکلاز و کانی بیوتیت در واحد مونزونیتی در XPL و PPL؛ پ و ت) کانی پلاژیوکلاز و کانی کوارتز به صورت درشت بلور و ریز بلور در واحد گرانودیوریت در XPL و PPL.

زمین‌شیمی سنگ‌کل

زمین‌شیمی به عنوان یک ابزار کاربردی برای پی‌بردن به روند شکل‌گیری و دگرگونی‌های ماگمایی شناخته شده است. بر پایه سنگ‌شناسی سنگ‌های آذرین و داده‌های زمین‌شیمی (جدول

های ۱ و ۲) می‌توان ویژگی‌های ماگما چون محل خاستگاه، درجه ذوب و تبلور جدایشی، آمیختگی و آلایش ماگماها را به طور گسترده بررسی کرده و همچنین به درک بهتری از جایگاه زمین‌ساختی منطقه دست یافت.

جدول ۱ نتایج تجزیه‌های شیمیایی سنگ‌های آذرین منطقه مورد بررسی، مقادیر اکسیدهای اصلی بر حسب wt % هستند.

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-۲	۴۵/۲۴	۱۴/۶۶	۱۱/۵۸	۰/۱۵	۲/۵۲	۸/۶۵	۳/۵۳	۱/۸۴	۱/۹۹	۱/۰۷	۶/۵۳	۱۰۰/۰۰	مونزونیت
BG۳	۴۲/۱۸	۱۴/۱۴	۱۳/۲۷	۰/۲۳	۷/۶۶	۹/۲۵	۳/۲۱	۱/۴	۲/۴۳	۰/۴۲	۴/۴۵	۹۹/۹۹	دایک میکرو
BG۵	۴۹/۵۳	۱۶/۰۴	۱۰/۰۱	۰/۱۶	۶/۶	۵/۶۸	۳/۸۶	۱/۲	۱/۳۴	۰/۲۵	۴/۱۸	۱۰۰/۰۱	گدازه تراکی
BG۶	۶۰/۱۷	۱۳/۴۳	۱۰/۸۹	۰/۰۷	۱/۹۹	۲/۳۳	۴/۴۳	۲/۸۴	۱/۶۸	۰/۵۳	۱/۶۰	۱۰۰/۰۱	تراکی آندزیت
BG۲۲	۷۰/۱۲	۱۲/۶۳	۳/۵۳	۰/۰۵	۰/۲۰	۲/۴۸	۴/۵۸	۲/۹۷	۰/۴۹	۰/۰۶	۲/۵۷	۱۰۰/۰۲	داسیت
BG۲۳	۵۶/۶۱	۱۳/۳	۹/۱۳	۰/۱	۴/۹۷	۴/۰۵	۴/۷۶	۰/۷۷	۱/۴۲	۰/۱۷	۴/۶۳	۱۰۰/۰۱	گرانیت
BG۲۴	۴۷/۶۴	۱۶/۶۶	۱۰/۳۷	۰/۱۲	۵/۶۶	۵/۶۷	۴/۲۱	۱/۲۸	۱/۷۵	۰/۳	۵/۲۱	۱۰۰	آندزیت
BG۲۲	۵۱/۷۷	۱۳/۳۷	۱۳/۱۱	۰/۲۱	۴/۸۹	۴/۵۶	۴/۳۱	۱/۹۵	۲/۵۵	۰/۵	۲/۵۶	۱۰۰/۰۱	تراکی آندزیت تا توف
BG۴۱	۵۹/۹۸	۱۶/۱	۱۱/۲۵	-	۴/۲۵	۰/۶۷	۳/۴۴	۱/۴۸	۱/۶۹	۰/۳۴	۲/۷۹	۹۹/۹۹	توف
BG۴۴	۴۹/۶	۱۴/۶۷	۸/۲۲	۰/۱۱	۲/۳۳	۹/۸۹	۴/۸۸	۰/۰۹	۱/۵۱	۰/۲۸	۶/۶۳	۱۰۰/۰۱	تراکی آندزیت
BG۵۱	۴۳/۱	۱۳/۴۸	۱۰/۵۸	۰/۱۵	۶/۴۶	۷/۹۳	۲/۶۳	۱/۲۴	۱/۶۴	۰/۲۲	۲/۵۷	۱۰۰	گرانیت
BG۵۷	۴۹/۲۱	۱۶/۸۳	۸/۳۷	۰/۱۷	۸/۸۷	۴/۱۴	۴/۷۹	۱/۴	۱/۴۱	۰/۲۲	۴/۵۶	۱۰۰/۰۲	تراکی
BG۵۹	۶۱/۳۳	۱۲/۱۳	۹/۵۱	۰/۰۷	۳/۰۶	۲/۹۸	۳/۱۲	۲/۸۴	۱/۶۴	۰/۶۳	۲/۶۹	۱۰۰	تراکی آندزیت

جدول ۲ نتایج تجزیه‌های شیمیایی سنگ‌های آذرین منطقه مورد بررسی (عناصر خاکی نادر بر حسب ppm هستند).

Sample	BG۲	BG۳	BG۵	BG۶	BG۲۲	BG۲۳	BG۲۴	BG۲۲	BG۴۱	BG۴۴	BG۵۱	BG۵۷	BG۵۹
Li	۳۳	۱۵	۱۹	۱۳	۱۲	۲۷	۳۰	۲۳	۴۱	۱۶	۹	۴۸	۳۶
Rb	۶۶	۳۸	۲۸	۵۸	۶۱	۲۲	۴۲	۴۹	۴۵	۱۳	۳۶	۴۰	۴۵
Cs	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۶	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵
Be	۲/۳	۱/۶	۱/۴	۳/۳	۱/۹	۱/۳	۱/۲	۱/۵	۱/۹	۰/۸	۱/۲	۱/۳	۱/۸
Sr	۴۱۳/۹	۴۵۵/۵	۵۸۱/۴	۸۰/۰	۹۶/۱	۱۰۱/۲	۱۷۴/۹	۹۱/۷	۵۵	۲۹۸/۳	۳۹۱/۱	۱۴۷/۱	۵۶
V	۲۲	۲۸۹	۲۲۱	۷۲	۳	۱۱۶	۱۶۲	۳۶۸	۱۷۸	۲۸۸	۱۵۲	۲۶۱	۵۸
Cr	۲۰	۳۲۷	۱۸۰	۳۰	۲۱	۲۲۰	۸۴	۳۴	۳۱	۱۰۰	۱۶۱	۸۸	۲۵
Co	۲۳/۲	۴۴/۱	۲۳	۹	۱	۲۴/۲	۳۲	۱۹/۱	۶/۲	۱۶/۱	۳۳/۶	۴۷/۳	۵/۹
Ni	۵	۱۰۵	۵۹	۷	۶	۱۰۹	۴۰	۱۶	۱۰	۲۶	۱۳۰	۵۹	۷
Cu	۱۸	۴۷	۷	۱۹	۴	۱۰	۲۰	۱۳	۱۲	۵	۵۵	۲	۸۵
Zn	۱۲۴	۲۱۳	۱۰۲	۴۵	۱۴	۷۰	۱۰۰	۱۰۷	۶۶	۵۲	۱۲۴	۱۳۶	۵۲
Pr	۱۳/۶۷	۸/۱۳	۴/۵۶	۱۰	۶/۴۸	۵/۰۷	۵/۰۲	۶/۶۷	۱۳/۳۵	۷/۳۶	۴/۸۱	۳/۳	۷/۷۹
Nd	۵۱/۱	۳۰/۵	۱۸/۳	۴۲/۴	۲۴/۸	۲۱	۲۳/۲	۳۰/۶	۵۳/۷	۳۰/۶	۱۹/۳	۱۵/۱	۳۶/۱
Sm	۹/۹	۶/۶	۴/۱	۱۱	۶/۹	۵/۵	۶/۵	۷/۸	۱۲/۷	۶/۷	۴/۶	۳/۵	۱۱/۵
Eu	۳/۰۶	۲/۲۱	۱/۰۳	۲/۶۸	۲/۰۷	۱/۸۲	۱/۹۶	۱/۹۲	۲/۶۶	۲/۱۶	۱/۶۱	۰/۹۵	۲/۹۹
Gd	۷/۲۶	۵/۳	۴/۱	۸/۴۱	۵/۴۵	۴/۵۷	۵/۰۶	۵/۹۴	۸/۵	۵/۶	۴/۳۳	۳/۷۷	۸/۰۶
Tb	۱/۱	۰/۸	۰/۷	۱/۷	۱/۱	۰/۸	۱	۱/۲	۱/۵	۰/۹	۰/۷	۰/۷	۱/۸
Y	۲۷/۹	۲۰/۷	۲۶/۱	۶۸/۷	۳۰/۱	۲۶/۹	۲۸	۴۴/۳	۲۸/۶	۳۰/۳	۱۹/۵	۲۳/۶	۵۸/۴
Nb	۳۲۳۰۰	۲۴۶۷۶	۳۶۵۱۷	۳۳۱۸۴	۳۴۲۳۸	۳۵۳۹۶	۳۰۵۷۱	۳۲۷۸۵	۲۵۹۹۴	۳۹۹۲۷	۱۹۷۸۲	۳۳۷۱۵	۲۱۹۸۵
Ta	۲	۲/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۵	۰/۳	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۴	۰/۳	۰/۳
Zr	۲۰۸	۱۴۸	۱۳۱	۲۶۸	۱۴۵	۳۹	۳۰	۱۷۴	۵۸	۹۰	۹۶	۴۶	۲۱۵
Hf	۴/۵	۴/۲	۳/۳	۵	۶/۹	۲/۲	۲/۷	۵/۲	۳/۳	۳/۴	۳/۴	۲/۶	۶/۵
Mo	۲	۲/۳	۰/۵	۲/۷	۱/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۸
Sn	۲/۵	۱/۸	۱/۲	۳/۳	۲/۶	۲	۱/۶	۲/۲	۳	۱/۱	۱/۶	۱/۲	۳/۴
Tl	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
Pb	۴۶	۵۴	۳۶	۳۴	۳۶	۳۰	۲۸	۴۰	۴۳	۲۴	۴۳	۳۱	۲۸
U	۱/۸	۱/۱	۰/۵	۲/۱	۲/۴	۰/۶	۰/۷	۱	۱/۴	۰/۳	۰/۶	۰/۲	۱/۷
Th	۵/۵	۴/۹	۲/۷	۶/۳	۹/۸	۳/۵	۱/۹	۳/۵	۷	۱/۱	۲/۶	۰/۴	۴/۹
La	۵۶	۳۷	۱۷	۳۷	۲۳	۲۱	۱۶	۲۲	۵۰	۲۷	۲۱	۱۱	۲۴
Ce	۱۱۳	۶۶	۳۶	۸۲	۵۲	۳۶	۳۴	۴۸	۱۰۳	۵۲	۳۷	۲۵	۶۰
Dy	۵/۸	۴/۴	۴/۶	۱۱/۹	۸	۴/۹	۶/۳	۸/۱	۸/۳	۵/۶	۴	۴/۳	۱۲/۳
Er	۳/۳	۲/۶	۲/۸	۶/۸	۵/۴	۳	۳/۸	۵/۱	۴	۳/۵	۲/۳	۲/۷	۶/۳
Tm	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۸	۰/۸	۰/۴	۰/۴	۰/۷	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۸
Yb	۲/۳۴	۲/۵۷	۳/۰۲	۶/۰۶	۲/۶۱	۲/۲۱	۲/۳۹	۵/۲۱	۲/۸۱	۳/۰۱	۱/۸۹	۲/۳۷	۴/۱۶
Lu	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۶	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۴	۰/۴	۰/۱	۰/۲	۰/۵

است که با افزایش مقدار SiO_2 در سنگ، مقدار اکسیدهای عناصر اصلی CaO ، Fe_2O_3 ، TiO_2 ، MgO روند کاهشی دارند که گویای جدایش و تبلور عادی ماگماست.

بحث

فعالیت ماگمایی اغلب در خاستگاه‌های زمین ساختی متفاوتی چون کافت قاره‌ای یا درون صفحه‌های قاره‌ای و اقیانوسی رخ می‌دهد که در ارتباط با ذوب‌بخشی گوشته سست کره‌ای هستند [۱۴، ۱۵] و در خاستگاه زمین‌ساخت کششی تشکیل می‌شوند که شواهدی بر شکسته شدن قاره‌ها هستند. براساس ویژگی‌های زمین شیمیایی عناصر نامتحرک ناسازگار و نسبت آنها در نمودارهای تفکیک کننده محیط زمین ساختی، می‌توان خاستگاه زمین‌ساختی سنگ‌های مورد بررسی را شناسایی نمود. نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌ها دارای مشخصه‌های بازالت‌های جزایر اقیانوسی و سنگ‌های ماگمایی قلیایی درون قاره‌ای بوده و از نظر زمین شیمیایی، شبیه بازالت‌های جزایر اقیانوسی و سنگ‌های قلیایی مربوط به کافت‌های درون قاره‌ای هستند (به دلیل خاستگاه ماگما، ویژگی‌های زمین شیمیایی، فرآیندهای زمین‌ساختی و نمودارهای تشخیصی) [۱۶-۱۸].

نمونه‌ها شباهت بسیاری با ماگماهای نوع بازالت جزایر اقیانوسی (OIB) دارند و نشان می‌دهند که مذاب اولیه از خاستگاه گوشته‌ای ناشی شده است [۱۹]. غنی‌شدگی مشخص از P که در برخی نمونه‌ها دیده شده است، از ویژگی سنگ‌های مناطق درون قاره‌ای و OIB است [۲۰]. برای همه نمونه‌ها نشان از درجه‌های پایین ذوب بخشی وجود دارد [۲۱] و بیانگر فرآیند جدایش ماگمایی است. غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE از ویژگی‌های شاخص الگوی REE سنگ‌های قلیایی، نیمه‌قلیایی و نیمه قلیایی تولیت است. تهی‌شدگی HREE در ارتباط با عمق بیش‌تر تشکیل ماگما و حضور گارنت در خاستگاه است. ناهنجاری منفی یوروپیم شاخصی از گریزندگی اکسیژن پایین در خاستگاه [۲۲، ۲۳] یا کاهش گریزندگی اکسیژن طی فرآیندهای ماگمایی مختلف و نشانگر نقش پلاژیوکلاز طی جدایش است [۲۴-۲۷]. در نمودار Zr/Y نسبت به Zr ، اغلب نمونه‌ها در گستره آتشفشانی‌های درون صفحه‌ای قرار دارند (شکل ۷ ث). نمودار نسبت عناصر نامتحرک Zr/Nb نسبت به Zr/Y [۲۸] نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد بررسی اغلب در گستره کافت‌های قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۷ ج).

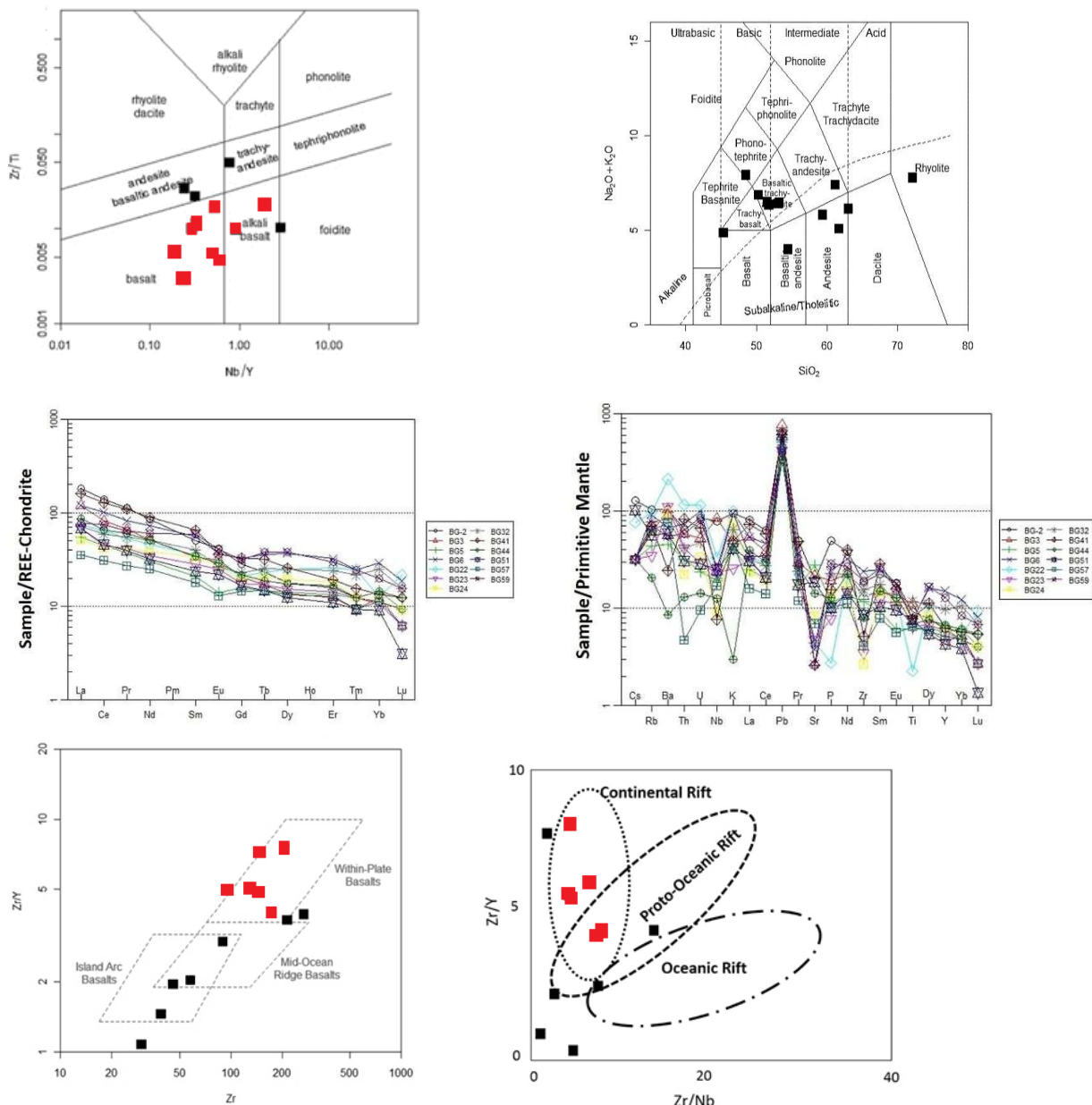
رده‌بندی‌های زمین‌شناسی متعددی برای سنگ‌های آذرین براساس مقادیر اکسید سیلیس نسبت به اکسیدهای اصلی ارائه شده است [۹-۱۱]. یکی از معمول‌ترین روش‌های رده‌بندی سنگ‌های آتشفشانی استفاده از نمودار TAS است که در آن مجموع مقادیر $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ نسبت به SiO_2 رسم شده براساس داده‌های زمین‌شیمیایی سنگ به صورت درصد وزنی اکسید بررسی می‌شود [۱۱]. سنگ‌های آذرین منطقه براساس نمودار TAS [۱۱]، ترکیب بازالتی و بازالتی قلیایی داشته و اغلب در گستره قلیایی قلیایی قرار دارند (شکل ۷ الف) که نشان دهنده روند سری‌های ماگمایی شاخص قلیایی تا نیمه قلیایی است. از آنجا که مقدار دگرسانی و تغییرات کانی‌شناسی و شیمیایی سنگ‌های بیرونی بیش از سنگ‌های درونی است، بیشتر از عناصر ناسازگار چون P, Ti, Nb, Y, Z و عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) و فلزهای واسط انتقالی که طی دگرسانی ثانویه نامتحرک هستند، برای رده‌بندی زمین-شیمیایی سنگ‌ها استفاده می‌شود [۱۲، ۱۳]. در نمودار Zr/Ti نسبت به Nb/Y ، سنگ‌های مورد بررسی اغلب در گستره بازالت قلیایی، بازالت و یک نمونه در گستره آندزیت با تمایل بیشتر به سمت قلیایی قرار گرفته‌اند (شکل ۷ ب).

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

بر پایه نمودارهای الگوی عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت (شکل ۷ ت)، سنگ‌های مورد بررسی از عناصر خاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) غنی‌شدگی شدیدی را نشان می‌دهند. غنی-شدگی LREE نسبت به HREE با نسبت ۱۱ برای همه نمونه‌ها دیده می‌شود. طی جدایش، مقادیر Eu/Eu^* به طور تدریجی افزایش می‌یابد. عناصر خاکی نادر سبک با شیب به نسبت زیادی به عناصر خاکی نادر متوسط می‌رسند و شیب به نسبت ثابتی را در عناصر خاکی نادر سنگین نشان می‌دهند. بررسی اکسیدهای عناصر اصلی سنگ‌های منطقه بیانگر این

خاستگاه زمین ساختی درون قاره‌ای در ارتباط با کافت محسوب می‌گردد [۳۵-۳۱]. براساس بررسی‌های انجام شده و ویژگی‌های زمین‌شیمیایی، سنگ‌های آتشفشانی منطقه در ارتباط با کافت‌های درون قاره‌ای هستند که در محیط زمین ساختی کششی فوران کرده‌اند و فعالیت ماگمایی پس از برخورد (در ارتباط با فرورانش) را نشان می‌دهند.

بر پایه این نمودار، سنگ‌های مورد بررسی در گستره بازالت‌های جزایر اقیانوسی و در کنار بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی با خاستگاه گوشته (P-MORB) قرار دارند [۲۹، ۳۰]. داده‌های عناصر فرعی نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد بررسی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی شبیه بازالت‌های جزایر اقیانوسی را دارند که این فاز ماگمایی به عنوان شاهدهی از



شکل ۷ الف) نمودار رده‌بندی شیمیایی و نامگذاری سنگ‌های آذرین منطقه براساس روش مرجع [۱۱]؛ ب) نمودار Zr/Ti نسبت به Nb/Y [۳۶] که بر پایه آنها بیشتر نمونه‌ها در گستره بازالت قلیایی و بازالت قرار دارند؛ پ) نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه [۲۲]؛ ت) نمودار عناصر خاکی نادر سنگ‌های منطقه بهنجار شده نسبت به کندریت؛ ث) نمودار Zr/Y نسبت به Zr به منظور تفکیک محیط زمین ساختی ماگمایی برای سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی که در گستره قلیایی‌های درون صفحه‌ای قرار می‌گیرند؛ ج) نمودار تکامل کافتی براساس تغییرات مقادیر Zr/Y نسبت به Nb/Y برای سنگ‌های مورد بررسی که اغلب در گستره با خاستگاه کافت‌های قاره‌ای قرار می‌گیرند.

برداشت

۱- براساس بررسی های میکروسکوپی، سنگ‌های مورد بررسی شامل دو گروه اصلی سنگ‌های آذرین بیرونی (آتشفشانی) و درونی (نفوذی) هستند. سنگ‌های آتشفشانی بررسی شده شامل مجموعه‌ای از بازالت، آندزیت-بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت، تراکیت 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 کانی‌های اصلی در این سنگ‌ها هستند. براساس بررسی های میکروسکوپی، بافت‌های پورفیری، انبوهه پورفیری، غربالی، جریان، بین دانه ای و میرمکیت از مهم‌ترین بافت‌های تشکیل دهنده سنگ‌های آذرین (از نفوذی و آتشفشانی) مجموعه بغیجان هستند.

۲- براساس مقادیر عناصر اصلی و فرعی، سنگ‌های مورد بررسی دارای ترکیب بازالتی و بازالت قلیایی هستند و اغلب در گستره قلیایی قرار دارند که نشان دهنده روند سری‌های ماگمایی شاخص قلیایی تا نیمه قلیایی است.

۳- بررسی اکسیدهای عناصر اصلی سنگ‌های منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد که با افزایش مقدار SiO_2 در سنگ، مقدار اکسیدهای عناصر اصلی CaO و Fe_2O_3 ، TiO_2 ، MgO روند کاهشی دارند که بیانگر جدایش و تبلور عادی ماگماست.

۴- براساس نمودارهای رسم شده برای نمونه‌هایی مورد بررسی نسبت به گوشته اولیه، بیشتر نمونه‌ها غنی‌شدگی از عناصر خاکی نادر سبک (LREE) چون Nb، Ti و Zr و مقادیر غنی‌شدگی کمتری از HREE نشان می‌دهند که از مشخصه‌های بازالت‌های جزایر اقیانوسی و سنگ‌های ماگمایی قلیایی درون قاره‌ای است. از نظر زمین شیمیایی سنگ‌های مورد بررسی شبیه بازالت‌های جزایر اقیانوسی و سنگ‌های قلیایی مربوط به کافت‌های درون قاره‌ای هستند. در نمودار رسم شده برای نمونه‌های مورد بررسی نسبت به کندریت، آنها از عناصر خاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) غنی‌شدگی شدیدی نشان می‌دهند که از ویژگی‌های شاخص الگوی REE سنگ‌های قلیایی، نیمه‌قلیایی و نیمه-قلیایی تولیت است. غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE

برای همه نمونه‌ها نشان دهنده درجه‌های پایین ذوب بخشی و بیانگر فرآیند جدایش ماگمایی است.

۵- بررسی نسبت عناصر نامتحرک چون Zr/Nb نسبت به Zr/Y نشان می‌دهد که سنگ‌های منطقه اغلب در گستره کافت‌های قاره‌ای قرار دارند. بررسی داده‌های عناصر فرعی نشان می‌دهد که سنگ‌های منطقه ویژگی‌های زمین شیمیایی مشابه با بازالت های جزایر اقیانوسی دارند که این فاز ماگمایی به عنوان شاهدهی از خاستگاه زمین ساختی درون قاره‌ای در ارتباط با کافت محسوب می‌گردد. این خاستگاه زمین ساختی با نتایج سایر بررسی های انجام شده در گستره‌های نزدیک به منطقه همخوانی دارد.

۶- براساس بررسی‌های انجام شده و ویژگی‌های زمین شیمیایی، سنگ‌های آتشفشانی منطقه در ارتباط با کافت‌های درون قاره‌ای هستند که در محیط زمین ساختی کششی فوران کرده‌اند و فعالیت ماگمایی 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.

مراجع

- [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.

- 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., 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, Eu²⁺, Eu³⁺ 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.
- [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., Pankhrust 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., 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., 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

researchAuthor links open overlay panel Richard", 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

[28] Fitton J. G., "The OIB paradox", *Special Papers-Geological Society of America*, 430 (2007), 387.

[29] Menzies M.A., 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., 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 Peri-Tethyan 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