

# سنگ‌نگاری، ژئوشیمی و جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه بشگر (شمال باختر سریشه، خراسان جنوبی)

آزاده بهاروندی<sup>۱</sup>، سیدسعید محمدی<sup>۲</sup> و ملیحه نخعی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

<sup>۲</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۳

## چکیده

در منطقه بشگر در ۵۰ کیلومتری شمال باختر سریشه و در حاشیه خاوری بلوک لوت، واحدهای گدازه‌ای ترشیری با ترکیب آندزیت بازالتی، آندزیت و داسیت رخمون دارند. بافت چیره این سنگ‌ها، پورفیری با زمینه میکروولیتی-شیشه‌ای، گلوپورفیری و حفره‌ای است. کانی‌های اصلی در گدازه‌های آندزیتی شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول، بیوتیت و داسیت‌ها شامل پلاژیوکلاز، کوآتز، آمفیبول و بیوتیت هستند. بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها، ماهیت کالک‌آلکانل پتاسیم متوسط تا بالا دارند. غنی‌شدگی Sr، Zr، Cs، Th، K، Nb، Ti، P، Ba و غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE در نمونه‌های بررسی شده، بیانگر شکل‌گیری آنها در محیط وابسته به فرورانش و حاشیه فعال قاره‌ای است. بر پایه نمودار نسبت‌های عناصر کیمیا، سنگ‌های آتشفشانی منطقه بشگر در گستره کمان‌های آتشفشانی جوان یا مراحل آغازین فرورانش واقع شده‌اند. میزان Mg# در سنگ‌های آتشفشانی منطقه بشگر به‌طور میانگین حدود ۴۸ است که بیانگر نقش اجزای گوشته‌ای در تشکیل آنهاست. نسبت پایین Sm/Yb (کمتر از ۲/۵) در گدازه‌های بررسی شده، بیانگر نبود گارنت در منشأ است. نسبت پایین Zr/Ba (میانگین ۰/۳۴) و نسبت La/Nb بالا (۲/۲۲-۳/۱۹) در گدازه‌های منطقه مورد مطالعه، نشان‌دهنده خاستگاه گوشته سنگ‌کره‌ای است. نمودارهای نسبت MREE/HREE، نشان از این دارد که گدازه‌های منطقه بشگر در قلمرو رخساره اسپینل لرزولیت فلوگوپیت‌دار جای می‌گیرند. نسبت پایین Ba/Rb (<۲۰) و نسبت بالای Rb/Sr (>۰/۱)، حضور فلوگوپیت را در منشأ تأیید می‌کند. الگوی یکنواخت عناصر خاکی کیمیا و مقادیر متوسط La<sub>N</sub>/Lu<sub>N</sub> (۸-۱۴) در سنگ‌های حدواسط و اسیدی بشگر، بیانگر ارتباط ژئوتیکتی آنهاست.

**کلیدواژه‌ها:** آندزیت، کالک‌آلکانل، اسپینل لرزولیت، بشگر، بلوک لوت.

\*نویسنده مسئول: سیدسعید محمدی

E-mail: ssmohammadi@birjand.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

در منطقه بشگر، خاستگاه و جایگاه زمین‌ساختی آنها مورد بررسی قرار گیرد که در رابطه با شناخت فعالیت‌های ماگمایی بلوک لوت و خاور ایران اهمیت دارد.

منطقه بشگر در ۵۰ کیلومتری شمال باختر سریشه، میان طول‌های جغرافیایی ۳۰° ۳۸' ۵۹" تا ۳۲° ۴۴' ۱۳" و عرض‌های جغرافیایی ۵۶° ۴۷' ۳۲" تا ۵۲° ۲' ۳۲" شمالی در استان خراسان جنوبی قرار دارد. این منطقه از دیدگاه تقسیم‌بندی ساختاری، در بخش خاوری بلوک لوت و در حدفاصل دو ایالت ساختاری لوت و سیستان جای گرفته است (Karimpour et al., 2011). فعالیت‌های ماگمایی در بلوک لوت از ژوراسیک میانی (۱۶۲ تا ۱۶۵ میلیون سال پیش) با نفوذ باتولیت شاه‌کوه شروع شده (Esmaily et al., 2005) و در ترشیری به‌ویژه در ائوسن میانی (Arjmandzadeh and Santos, 2014) به اوج خود رسیده است. این بلوک شامل پی‌سنگ ژوراسیک پیشین، سنگ‌های رسوبی ژوراسیک و چند نسل سنگ‌های نفوذی-آتشفشانی مزوزویک و سنوزویک است (Tirrul et al., 1983; Camp and Griffis, 1982). رخمون سنگ‌های آذرین بلوک لوت محدوده‌ای به گسترده‌گی ۱۲۰۰۰۰ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد و ممکن است رخمون آن تا باختر افغانستان گسترش داشته باشد (Richards et al., 2012). ۶۵ درصد از رخمون‌های سنگی بلوک لوت را سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی تشکیل می‌دهند (Karimpour et al., 2011). تاکنون، تعدادی پژوهش سنگ‌شناختی در محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (نظری و سلامتی، ۱۳۷۸) صورت گرفته است که فعالیت‌های آتشفشانی ترشیری با ترکیب کلی حدواسط و اسیدی به همراه نهشته‌های آذرآواری را مورد مطالعه قرار داده و گدازه‌ها را دارای ماهیت کالک‌آلکانل و جایگاه زمین‌ساختی وابسته به محیط فرورانش و حاشیه قاره‌ای فعال مرتبط دانسته‌اند (نظری، ۱۳۹۰؛ محمدی، ۱۳۹۱؛ پارسایی، ۱۳۹۱؛ مکی‌پور، ۱۳۹۱؛ گودرزی و همکاران، ۱۳۹۳؛ بیانی، ۱۳۹۴؛ ملکیان دستجردی، ۱۳۹۴؛ ملکیان دستجردی و همکاران، ۱۳۹۵؛ چهکنندی‌نژاد، ۱۳۹۴). در این پژوهش، سعی شده است تا با استفاده از شواهد سنگ‌نگاری و نتایج تجزیه ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی رخمون یافته

## ۲- زمین‌شناسی منطقه

منطقه بشگر در بخش شمال خاوری نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرجند (Vahdati Daneshmand and Eftekharmehzad, 1991) و شمال باختر نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سریشه (نظری و سلامتی، ۱۳۷۸) قرار دارد. واحدهای سنگی که در منطقه رخمون دارند شامل واحدهای رسوبی (شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا)، واحدهای گدازه‌ای (آندزیت‌بازالتی، آندزیت و داسیت) و واحدهای آذرآواری (توف و برش) هستند. واحدهای گدازه‌ای و آذرآواری با سن ائوسن تا میوسن (نظری و سلامتی، ۱۳۷۸) بیشتر رخمون‌های محدوده مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. بر پایه نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه بشگر (شکل ۱)، سه واحد گدازه‌ای شناسایی شد. گدازه‌های آندزیت‌بازالتی در بخش‌هایی از شمال باختر، خاور و جنوب باختری روستای بشگر دیده می‌شود (شکل ۱). این سنگ‌ها با ظاهری تقریباً یکنواخت به رنگ سیاه تا خاکستری تیره دیده می‌شوند. گدازه‌های آندزیتی بیشترین گسترده‌گی را در منطقه دارند و به‌صورت توده‌های منفرد تا پیوسته و گاه به‌صورت توده‌های خرد شده، با رنگ خاکستری تا سیاه در سطح تازه و سرخ در سطح هوازده دیده می‌شوند. بیشترین گسترده‌گی این واحد در جنوب و جنوب باختری روستای بشگر و بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه است (شکل ۱). درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در آندزیت‌ها به‌صورت بلورهای سفید رنگ در نمونه دستی دیده می‌شوند. بخش‌های میانی، دارای دانه‌بندی درشت‌تر و رنگ روشن‌تر هستند و می‌توان درشت‌بلورها را در بیشتر نمونه‌ها دید. درزه‌های انقباضی، ساخت ستونی و بلوک شدن در این واحد دیده می‌شود. داسیت‌ها محدوده کوچکی را در

کلیونپروکسن حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد حجم درشت‌بلورها را تشکیل می‌دهد و دارای حاشیه‌های واچیزی، ماکل ساده (شکل ۲-پ) و تکراری است. بیوتیت ۱۰ تا ۱۵ درصد و آمفیبول (هورنبلند) گاه با حاشیه‌های آپاسیته حدود ۱۰ درصد درشت‌بلورها را تشکیل می‌دهند (شکل ۲-ت). حاشیه‌های واکنشی آمفیبول‌ها برای پی بردن به حرکات ماگما پیش از فوران و به‌طور ویژه برای برآورد آهنگ بالآمدگی ماگما به کار می‌رود (De Anjelis et al., 2015). زمینه‌های آندزیت‌ها را میکروولیت‌های پلاژیوکلاز، آمفیبول و گاه شیشه تشکیل داده است. در برخی مقاطع، کانی‌های تشکیل‌دهنده آندزیت‌ها تنها شامل پلاژیوکلاز و پیروکسن است که با توجه به نظر Gill (1981) چنین سنگ‌هایی در فشارهای نزدیک سطح زمین تشکیل شده و احتمالاً دارای ۲ درصد آب بوده و دمای تشکیل آن در مخزن ماگمایی میان ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است.

#### ۴-۳. داسیت

این سنگ‌ها در ظاهر با دیگر گدازه‌های منطقه بشگز به‌ویژه آندزیت‌ها تفاوت چندانی ندارند؛ زیرا بافت اصلی آنها پورفیری و فراوان‌ترین کانی آنها پلاژیوکلاز است. حضور درشت‌بلورهای کوارتز اولیه موجب تمایز داسیت از آندزیت شده است. این سنگ دارای بافت‌های پورفیری با خمیره ریزدانه، گاه شیشه‌ای جریان‌ی و گلوپورفیری است. کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت و آمفیبول به عنوان کانی‌های اصلی حضور دارند. پلاژیوکلازها (به ابعاد ۰/۳ تا ۳/۴ میلی‌متر) ۴۰ تا ۵۰ درصد حجم درشت‌بلورها را تشکیل می‌دهند و با توجه به زاویه خاموشی از نوع آلپیت تا الیگوکلاز هستند. کوارتز حدود ۱۵ درصد حجم درشت‌بلورها را شامل می‌شود و حاشیه‌های خلیجی (شکل ۲-ث) و گرد شده دارد. آمفیبول و بیوتیت در مجموع حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد حجم درشت‌بلورها را شامل می‌شوند. زمینه حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد حجم سنگ را اشغال کرده و شامل میکروولیت‌های پلاژیوکلاز، ریزبلورهای کوارتز و شیشه است. برخی از نمونه‌های داسیتی بیشتر از درشت‌بلور و خمیره شیشه‌ای تشکیل شده‌اند و بافت آنها پورفیری با خمیره شیشه‌ای جریان‌ی (شکل ۲-ج) و شیشه‌ای پرلیتی است. به باور McArthur et al. (1998) شکستگی‌های پرلیتی به دگرشکلی‌های گرمایی در هنگام سرد شدن و منقبض شدن شیشه نسبت داده می‌شود. به‌طوری که شبکه‌ای از شکستگی‌ها در بخش بالایی سریع سرد شده توده ایجاد می‌شود.

#### ۵- ژئوشیمی

نتایج حاصل از تجزیه ژئوشیمیایی عناصر اصلی (برحسب wt.%) و عناصر کمیاب (برحسب ppm) گدازه‌های منطقه بشگز در جدول ۱ آورده شده است. طیف تغییرات برخی عناصر اصلی و همچنین عناصر فرعی سنگ‌های آتشفشانی منطقه بشگز شامل  $\text{SiO}_2$  (۵۷/۷۷-۶۸/۶۸)،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (۱۵/۳۱-۱۷/۲۷)،  $\text{K}_2\text{O}$  (۱/۱۹-۲/۷۷)،  $\text{Na}_2\text{O}$  (۲/۹۵-۳/۹۲)،  $\text{MgO}$  (۰/۷۷-۶/۰۲)،  $\text{Mg\#}$  (۳۰-۶۳)،  $\text{Ni}$  (۲۰-۱۳۶ ppm)،  $\text{CO}$  (۴/۱-۳۲/۶)،  $\text{La}$  (۲۴/۳-۳۲/۸)،  $\text{Y}$  (۱۴-۲۶/۱)،  $\text{Yb}$  (۱/۴۱-۲/۵۸)،  $\text{Sr}$  (۳۶۹/۵-۶۹۵/۲) است. مذاب‌هایی که از پوسته زیرین منشأ گرفته‌اند؛ صرف نظر از درجه ذوب بخشی، به وسیله  $\text{Mg\#}$  پایین (<۴۰) مشخص می‌شوند. در حالی که مذاب‌های با  $\text{Mg\#}$  بالا (>۴۰) به وسیله اجزای گوشته حاصل شده‌اند (Geng et al., 2009). میزان  $\text{Mg\#}$  در سنگ‌های آتشفشانی منطقه بشگز به‌طور میانگین ۴۸ است که بیانگر نقش اجزای گوشته‌ای در تشکیل آنهاست. سنگ‌های با  $\text{Mg\#}$  بالا دارای محتوای بالاتری از عناصر Ni و CO نسبت به انواع با  $\text{Mg\#}$  پایین هستند (Karlsli et al., 2010; Zhu et al., 2016). مقایسه ترکیب سنگ‌های آتشفشانی منطقه بشگز با مذاب‌های اولیه مشتق شده از گوشته که دارای مقادیر بالاتری Ni (بیش از ۴۰۰ ppm) (Wilson, 1989) و مقادیر بالای  $\text{Mg\#}$  (Sharma, 1997) هستند؛ نشان می‌دهد که این سنگ‌ها اولیه نیستند و در طول تاریخ تحول خود دچار تغییراتی شده‌اند.

برای نام‌گذاری گدازه‌های بشگز از نمودار مجموع آلکالی ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) در برابر  $\text{SiO}_2$  (Le Maiter, 2002) استفاده شد که بر پایه آن ترکیب سنگ‌های منطقه

خاور و جنوب خاور روستای بشگز و همچنین در جنوب محدوده مورد مطالعه دربر می‌گیرند (شکل ۱) که روی واحد آندزیتی قرار دارد. گاه در قاعده واحد داسیتی، پرلیت دیده می‌شود؛ که سطح هوازده آن خاکستری روشن تا تیره مایل به سیاه با جلای مرواریدی و دارای بافت پورفیری است. واحدهای آذرآواری شامل توف و برش هستند. این سنگ‌ها در بخش‌های مختلف منطقه بررسی شده، در زیر گدازه‌ها دیده شده و حجم قابل توجهی را به خود اختصاص داده‌اند. توف‌ها گسترده‌تری بیشتری دارند و بر اثر دگرسانی به کانی‌های رسی از جمله بنتونیت تبدیل شده‌اند. عملکرد گسل‌ها در این منطقه، سبب ایجاد شکستگی و خردشدگی واحدهای سنگی شده که در انتقال سیال‌ها و رخداد پدیده‌های دگرسانی به‌ویژه از نوع سیلیسی و آرزلیکی نقش مؤثری داشته است.

#### ۳- روش پژوهش

پس از گردآوری اطلاعات موجود درباره فعالیت ماگمایی محدوده مورد مطالعه، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سریبشه و تعیین مسیرهای پیمایش، نمونه‌برداری از واحدهای منطقه مورد مطالعه انجام شد. در مجموع، بیش از ۱۸۰ نمونه سنگی گردآوری و از میان آنها ۸۵ نمونه، مقطع نازک تهیه شد و مورد بررسی سنگ‌نگاری قرار گرفت. سپس ۱۵ نمونه با کمترین دگرسانی انتخاب و به شرکت ACME کانادا فرستاده شد؛ عناصر اصلی به روش ICP-AES و عناصر کمیاب به روش ICP-MS تجزیه شدند. نمودارهای مورد نیاز به وسیله نرم‌افزارهای Corel و GCDkit رسم و سپس تعبیر و تفسیر شد. همچنین نقشه زمین‌شناسی منطقه بر پایه تصاویر ماهواره‌ای، مطالعات صحرائی، سنگ‌نگاری و نتایج حاصل از تجزیه ژئوشیمیایی با نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد.

#### ۴- سنگ‌نگاری

واحدهای گدازه‌ای منطقه بشگز شامل سنگ‌های آندزیت بازالتی، آندزیت و داسیت هستند که در ادامه به بررسی ویژگی‌های سنگ‌نگاری آنها پرداخته شده است.

#### ۴-۱. آندزیت بازالتی

بافت چیره این سنگ‌ها پورفیری با خمیره میکروولیتی و میکروولیتی-شیشه‌ای (شکل ۲-الف) تا مگاپورفیری و گلوپورفیری و درشت‌بلورهای چیره آن شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن و گاه الیون است. زمینه حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهد. پلاژیوکلاز (به ابعاد ۰/۲ تا ۳/۴ میلی‌متر) ۵۵ تا ۶۵ درصد حجم درشت‌بلورها را شامل می‌شود. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز بر پایه زاویه خاموشی و ضریب شکست بیشتر از نوع آندزین تا الیگوکلاز هستند. حاشیه‌های شکسته و خورده شده، منطقه‌بندی، بافت غربالی و حاشیه‌های واچیزی که از نشانه‌های عدم تعادل هستند، در این کانی‌ها مشاهده می‌شود. ایجاد تغییرات ناگهانی در دما، فشار و یا در ترکیب ماگما را عامل ظهور منطقه‌بندی می‌دانند (Ustunisik et al., 2014). پیروکسن‌ها بیشتر به‌صورت درشت‌بلور و گاه به‌صورت ریزبلور در زمینه سنگ وجود دارند و ۲۰ تا ۲۵ درصد درشت‌بلورها را به خود اختصاص می‌دهند. پیروکسن‌ها از لحاظ رنگ بسیار گوناگون هستند و به رنگ‌های سبز، آبی، سرخ و زرد دیده می‌شوند که از ویژگی‌های کلیونپروکسن است. ماکل ساده و نواری و بافت غربالی از ویژگی‌های کانیایی دیده شده در کلیونپروکسن است. در برخی مقاطع، الیون به میزان حدود ۵ درصد حجم درشت‌بلورها را شامل می‌شود.

#### ۴-۲. آندزیت

حجم قابل توجهی از گدازه‌های مورد بررسی، مربوط به آندزیت‌هاست. بافت چیره این سنگ، مگاپورفیری تا پورفیری، میکروولیتی جریان‌ی، گلوپورفیری و حفره‌ای (شکل ۲-ب) است. کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، بیوتیت و آمفیبول هستند. پلاژیوکلاز به میزان ۵۵ تا ۶۵ درصد حجم درشت‌بلورها، در اندازه‌های ۰/۱ تا ۴/۱ میلی‌متر دارای حاشیه‌های گرد شده، مضرس و همچنین حاشیه‌های انحلالی هستند. پلاژیوکلازها به‌صورت میکروولیت در زمینه سنگ نیز دیده می‌شوند.

(Brown et al., 1984) نیز سنگ‌های آتشفشانی منطقه بشگر در گستره کمان‌های آتشفشانی جوان یا مراحل آغازین فرورانش جانمایی شدند (شکل ۵-ب). یکی از عوامل مؤثر در خاستگاه سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، رسوبات فرورانده شده هستند. Th یکی از عناصر HFS است که رفتاری همانند عناصر کم تحرک دارد؛ اما در محیط‌های فرورانش، مانند عناصر متحرک رفتار می‌کند و از مواد رسوبی صفحه فرورونده حاصل می‌شود (Gorton and Schandl, 2000). بنابراین، فراوانی این عنصر می‌تواند نشان‌دهنده ترکیب سنگ منشأ و یا هضم سنگ‌های پوسته توسط ماگما باشد. بر پایه نمودار Th/Yb در برابر Ta/Yb (Pearce, 1983) (شکل ۶) مشخص می‌شود که سنگ‌های منطقه مورد مطالعه به حاشیه فعال قاره‌ای وابسته هستند. نسبت Th/Yb نمونه‌ها نسبت به گوشته بالاتر است که به فرایندهای وابسته به فرورانش نسبت داده می‌شود (Helvacı et al., 2009). نسبت بالای Th/Yb می‌تواند بیانگر یک منشأ متاسوماتیسم شده طی غنی‌شدگی فرورانش و یا مرتبط با آلاینش پوسته یا هر دو فرایند باشد (Kuscu and Genel, 2010).

#### ۶-۲. منشأ

الگوی عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده با کندریت که غنی‌شدگی پایین تا متوسط LaN/LuN (۱۷-۹) دارند بیانگر شواهد منشأ سنگ‌هاست (Aydınçakır, 2016). این نسبت در گدازه‌های حدوداً-اسیدی منطقه بشگر ۸ تا ۱۴ است که شباهت منشأ گدازه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. نسبت Sm/Yb، برای شناسایی کانی‌شناسی منشأ مورد استفاده قرار می‌گیرد. ذوب بخشی یک منبع گارنت‌دار، مذای با مقادیر Sm/Yb بالاتر از ۲/۵ تولید می‌کند (Aldanmaz et al., 2000). بنابراین، نسبت‌های این عناصر می‌تواند نشان‌دهنده حضور و یا عدم حضور گارنت در ناحیه منشأ ماگما باشد؛ زیرا Yb در گارنت سازگار است (Alici et al., 2004). با توجه به اینکه نمونه‌های سنگی مورد مطالعه دارای نسبت‌های Sm/Yb کمتر از ۲/۵ هستند؛ نبود گارنت در ناحیه منشأ تأیید می‌شود. برخی از پژوهشگران بر این باورند که غنی‌شدگی سنگ‌های ماگمایی کمان از LILE و LREE ناشی از متاسوماتیسم گوشته‌ای با سیال‌های ناشی از آزدایی صفحه اقیانوسی است (Goss and Kay, 2009)؛ در حالی که برخی دیگر (Proueteau et al., 2001) علت غنی‌شدگی را آلاینش ماگما با پوسته قاره‌ای می‌دانند.

(Lee and Bachman, 2014) در مورد منشأ آندزیت‌ها فرضیه‌هایی بیان کردند که عبارتند از: (۱) ذوب مستقیم گوشته در شرایط اشباع از آب، (۲) ذوب بخشی پوسته بازالتی دگرسان، (۳) تفریق بلوری از بازالتهای کمان در بخش‌هایی از ماگما، (۴) مخلوط ماگماهای مافیک با ماگما یا پوسته غنی از Si. در نمودار Nb/La در برابر Ba/La (Kuscu and Genel, 2010) (شکل ۷-الف)، نمونه‌ها در قلمرو آندزیت‌های کوهزایی جانمایی شده‌اند که مربوط به حاشیه قاره‌ای فعال (Pearce, 1983; Siddiqui et al., 2007) هستند. نسبت‌های Ba/La (>۱۶)، La/Ta (>۲۵) و همچنین نسبت Ba/Ta (>۴۵) تأثیر صفحه فرورانده شده روی ماگماهای کمان را نشان می‌دهد (Litvak et al., 2016). میانگین این نسبت‌ها در نمونه‌های منطقه بشگر، به ترتیب ۲۴، ۳۷ و ۸۶۷ است که تأثیر صفحه فرورانده شده بر ماگما را تأیید می‌کند.

نسبت Zr/Ba به عنوان یک متغیر مؤثر برای تشخیص منشأ گوشته سنگ‌کره‌ای (Kürkcüoğlu, 2010) است (Zr/Ba > ۰/۵). میانگین این نسبت در گدازه‌های بررسی شده ۰/۳۴ است که نشان‌دهنده خاستگاه گوشته سنگ‌کره‌ای برای آن‌هاست. نمودار تغییرات La در برابر Nb (Gusev and Korobeinikov, 2009) (شکل ۷-ب) نیز نشان می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی منطقه بشگر با نسبت La/Nb بالا (۲/۲۲-۳/۱۹)، ویژگی‌های گوشته سنگ‌کره‌ای را نشان می‌دهند. به باور Fu et al. (2016) ویژگی‌های یادشده نشان می‌دهد که چنین سنگ‌هایی از ذوب یک منبع هتروژن شامل گوه گوشته‌ای سنگ‌کره‌ای متاسوماتیسم شده، مشتق شده‌اند. نمودار  $Al_2O_3 + Fe_2O_3 + MgO + TiO_2$  در برابر  $Al_2O_3 / (Fe_2O_3 + MgO + TiO_2)$  (Geng et al., 2009) نشان می‌دهد که مذاب‌های تشکیل شده در شرایط فشار بالا، دارای نسبت‌های بالاتر

مورد مطالعه از آندزیت‌بازالتی تا آندزیت و داسیت تغییر می‌کند (شکل ۳-الف). برای تعیین سری ماگمایی از نمودار  $SiO_2$  در برابر  $K_2O$  (Peccerillo and Taylor, 1976) استفاده شد که نمونه‌های سنگی منطقه بشگر در محدوده پتاسیم متوسط تا پتاسیم بالا قرار گرفتند (شکل ۳-ب). بر پایه شواهد ژئوشیمیایی، مذاب‌های شوشونیتی احتمالاً از ذوب بخشی درجه پایین گوشته سنگ‌کره‌ای زیر قاره‌ای مشتق می‌شوند؛ در حالی که مذاب‌های کالک‌آلکانل پتاسیم بالا در اثر ذوب بخشی درجه بالای پوسته اقیانوسی فرورونده در حضور سیال‌ها و یا نقش رسوبات مشتق می‌شوند (Aydınçakır, 2016).

#### ۵-۱. عناصر کمیاب و خاکی کمیاب

الگوی تغییرات عناصر کمیاب بهنجار شده با گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) برای نمونه‌های مورد مطالعه در شکل ۴-الف آورده شده است. غنی‌شدگی قابل ملاحظه Nb, Ba, P, Ti و بی‌هنجاری منفی K, Th, Cs, Zr, Sr در نمونه‌های منطقه دیده می‌شود. چنین ویژگی‌های ژئوشیمیایی مربوط به مناطق کمان هستند که شکل‌گیری آنها با گوشته سنگ‌کره‌ای متاسوماتیسم شده، فرورانش و حاشیه فعال قاره‌ای در ارتباط است (Chashchin et al., 2016; Yu et al., 2016). بی‌هنجاری منفی Nb از ویژگی‌های آشکار سنگ‌های قاره‌ای است. بنابراین بی‌هنجاری منفی ماگماهای گوشته‌ای از این عنصر می‌تواند ناشی از آلاینش ماگما با مواد پوسته‌ای در هنگام بالا آمدگی یا جایگزینی و یا غنی‌شدگی به وسیله شاره‌ها در منطقه فرورانش باشد (Sun and McDonough, 1989). بی‌هنجاری منفی Ti و Nb در نمونه‌های اسیدی و حدوداً از خصلت‌های مناطق فرورانش است (Pearce, 2008; Kuscu and Genel, 2010). به باور Rollinson (1993)، تپی‌شدگی از Nb و Ti را می‌توان از یک سو به مشارکت گوشته سنگ‌کره‌ای متاسوماتیسم شده در ذوب بخشی و از سوی دیگر به آلودگی پوسته‌ای نسبت داد. بی‌هنجاری منفی Ba در فازهای اسیدی می‌تواند بیانگر تفریق فلدسپارها (Arslan and Aslan, 2006) و یا نقش پوسته قاره‌ای بالایی در فرایندهای ماگمایی باشد (Kuscu and Genel, 2010). الگوی تغییرات عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده با کندریت (Boynton, 1984) برای نمونه‌های مورد مطالعه در شکل ۴-ب آورده شده است. همه نمونه‌های مورد مطالعه، از عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE)، غنی‌شدگی و از عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE)، تپی‌شدگی نشان می‌دهند. تپی‌شدگی عناصر از چپ به راست در این نمودارها از ویژگی‌های آشکار نواحی کوهزایی است و نیز غنی‌شدگی LREEها از ویژگی‌های سری کالک‌آلکانل است (Castillo, 2006). غنی‌شدگی عناصر خاکی کمیاب سبک نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین به عوامل مختلفی نسبت داده می‌شود. این عوامل عبارتند از: آلاینش ماگما توسط سنگ‌های پوسته‌ای، درجه پایین ذوب بخشی منبع گوشته‌ای (Almeida et al., 2007) و تشکیل سنگ‌ها در مناطق فرورانش (Winter, 2001). مقدار  $Eu/Eu^*$  برای گدازه‌های منطقه بشگر از ۰/۷۱ تا ۰/۹۸ تغییر می‌کند که نشان‌دهنده بی‌هنجاری منفی است. وجود بی‌هنجاری منفی Eu از ویژگی‌های ماگمای کالک‌آلکانل وابسته به فرورانش و بیانگر حضور پلاژیو کلاز در خاستگاه ماگماست (Yang and Li, 2008).

#### ۶-۲. بحث

##### ۶-۱. تعیین محیط زمین‌ساختی

مقدار عناصر اصلی و کمیاب سنگ‌های آذرین در جایگاه‌های زمین‌ساختی مختلف، تفاوت‌هایی دارند. به همین دلیل جایگاه زمین‌ساختی در حل مسائل زایش سنگ‌ها اهمیت دارد. در این پژوهش، از نمودارهایی بر پایه فراوانی عناصر کمیاب کم تحرک در برابر فرایندهای دگرسانی و نیز عناصر اصلی برای ارزیابی جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌ها استفاده شده است. در نمودار نسبت‌های  $Zr/Al_2O_3$  در برابر  $TiO_2/Al_2O_3$  (Muller et al., 1992) که برای تفکیک محیط‌های درون صفحه‌ای و کمان‌های آتشفشانی استفاده می‌شود؛ همه نمونه‌های منطقه بشگر در گستره وابسته به کمان‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل ۵-الف). بر پایه نمودار نسبت‌های Rb/Zr در برابر Nb



مذاب‌های رخساره اسپینل تغییرات کمی از نسبت Dy/Yb نسبت به منبع گوشته‌ای و همچنین تغییر کمی از Dy/Yb در برابر La/Yb نشان می‌دهند. در برابر آن، مذاب‌های رخساره گارنت تغییرات زیادی در نسبت‌های Dy/Yb نشان می‌دهند. نمودار Dy/Yb در برابر La/Yb (Thirlwall et al., 1994) (شکل ۹-الف)، خاستگاه ذوب بخشی اسپینل- لرزولیت را برای نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. بر پایه نمودار دوتایی Dy/Yb در برابر Dy، با استفاده از دو مجموعه کانی‌شناسی متفاوت گوشته شامل رخساره گارنت لرزولیت و رخساره اسپینل لرزولیت فلوگوپیت‌دار (McDonough and Sun, 1995) نیز، گدازه‌های منطقه بشگز در قلمرو رخساره اسپینل لرزولیت فلوگوپیت‌دار جای می‌گیرند (شکل ۹-ب).

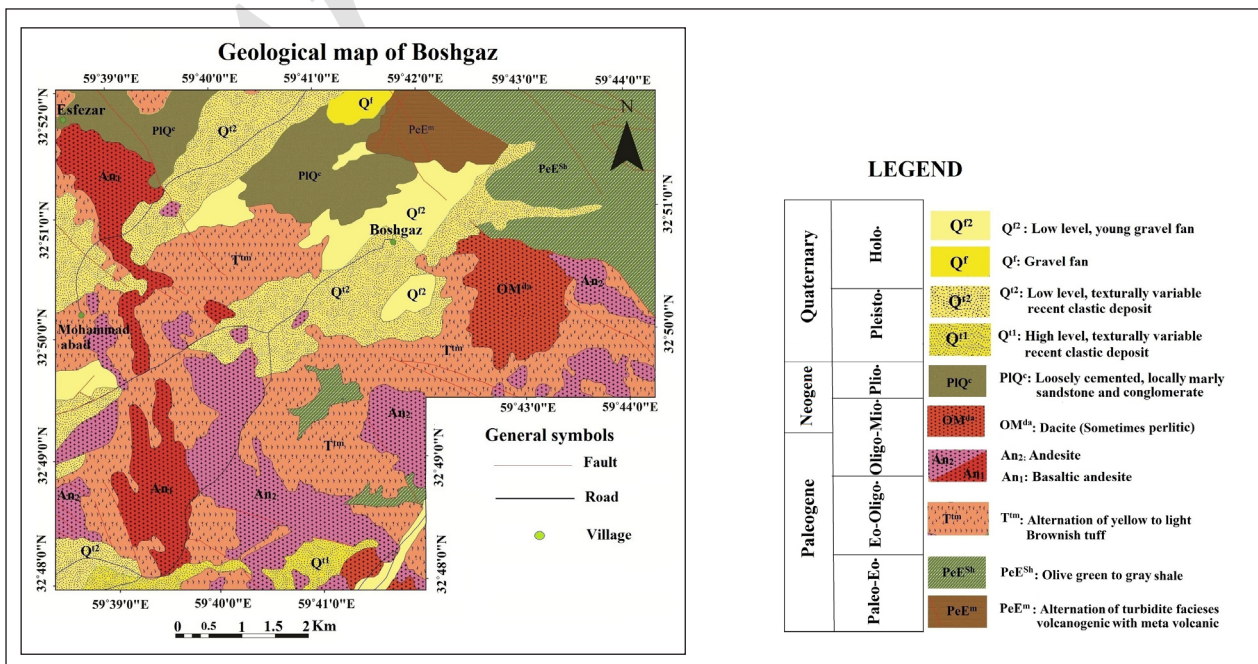
## ۷- نتیجه‌گیری

سنگ‌های آتشفشانی تشریری منطقه بشگز شامل گدازه‌های آندزیت بازالتی، آندزیت و داسیت با ویژگی کالک‌آلکان پتاسیم متوسط تا بالا هستند که روی سنگ‌های آذرآواری معادل ترکیبی خود قرار گرفته‌اند. عملکرد گسل‌ها سبب ایجاد شکستگی و خردشدگی در این واحدهای سنگی و در نتیجه انتقال سیال‌ها و رخداد پدیده‌های دگرسانی از نوع سیلیسی و آرزلیک شده است. توف‌ها گسترده‌تری قابل توجهی دارند و بر اثر دگرسانی به کانی‌های رسی از جمله بنتونیت تبدیل شده‌اند. در اثر سرد شدن سریع گدازه‌های اسیدی، داسیت با زمینه شیشه‌ای تشکیل شده است که ویژگی‌های پرلیت را نشان می‌دهد. حاشیه‌های خورده شده، منطقه‌بندی، بافت غربالی و حاشیه‌های جذب‌ی در بلورهای پلازیوکلاز، از نشانه‌های عدم تعادل هنگام انجماد ماگما هستند. غنی‌شدگی LREE و LILE به همراه تهی‌شدگی HREE و HFSE و نسبت بالای Th/Yb بیانگر تشکیل سنگ‌های مورد مطالعه در محیط وابسته به فرورانش و حاشیه فعال قاره‌ای است. سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه، دارای مقادیر متوسط از نسبت  $Al_2O_3/(Fe_2O_3+MgO+TiO_2)$  (۳/۵۰-۱/۱۸) هستند و در قلمرو فشار متوسط جای می‌گیرند که نشان از برهم کنش گوشته-سنگ‌کره در هنگام تشکیل آنها دارد. سنگ‌های آتشفشانی منطقه بشگز از ذوب بخشی یک منبع اسپینل لرزولیت فلوگوپیت‌دار غنی شده به وجود آمده است. غنی‌شدگی گوشته را می‌توان به فرورانش اسلب فرورونده نسبت داد. حضور فلوگوپیت در منشأ نشان می‌دهد که ماگمای سازنده سنگ‌های بررسی شده، در ژرفای حدود ۹۰ تا ۱۰۰ کیلومتری تشکیل شده است.

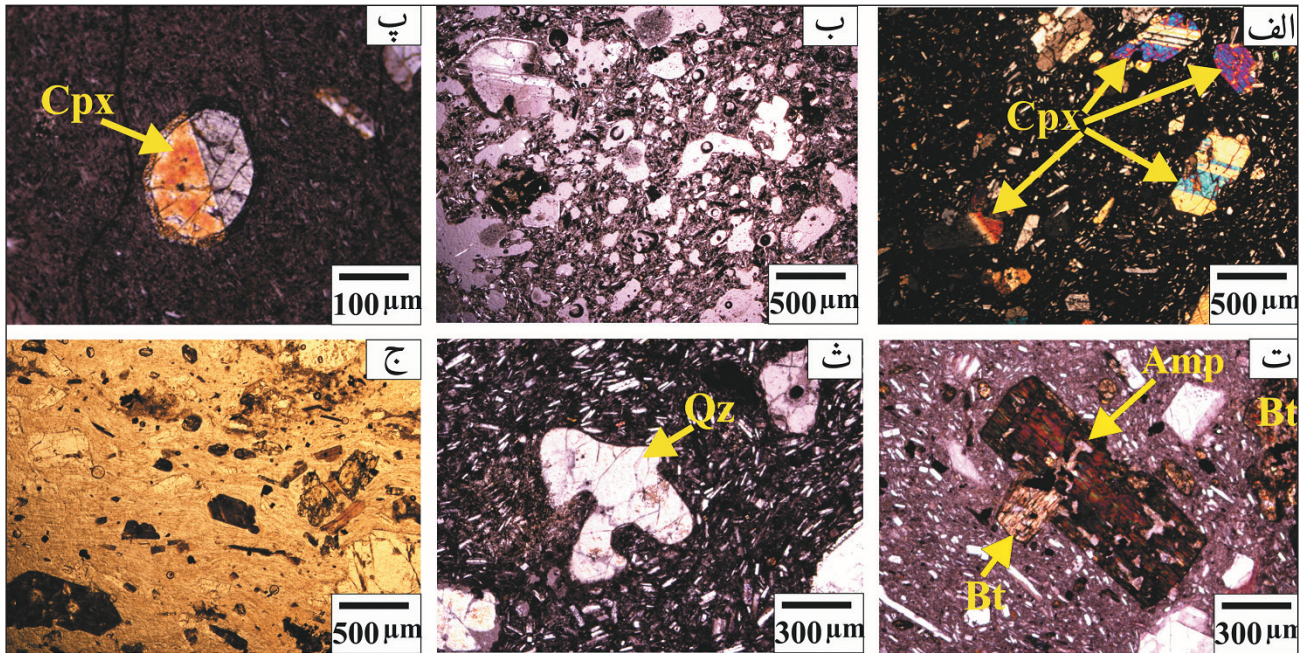
گوشته-سنگ‌کره در محدوده میان منحنی‌های فشار بالا و پایین جای می‌گیرند (Geng et al., 2009). سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه، دارای مقادیر متوسط از نسبت مورد اشاره هستند (۳/۵۰-۱/۱۸) و در محدوده میان منحنی‌های فشار بالا و فشار پایین جای می‌گیرند (شکل ۷-پ) که نشان از برهم کنش گوشته-سنگ‌کره در هنگام تشکیل آنها دارد. آندزیت‌ها و سنگ‌های نفوذی وابسته، اطلاعاتی در رابطه با برهم کنش گوشته و پوسته فراهم می‌کنند (Terentiev et al., 2016).

به باور Chen et al. (2016) آندزیت‌ها به دو گروه با ترکیب ژئوشیمیایی متفاوت تقسیم‌بندی می‌شوند؛ گروه I به‌طور نسبی گسترش بیشتری دارد و از ذوب بخشی منبع گوشته‌ای غنی شده شامل مقدار زیادی فلوگوپیت حاصل می‌شود؛ در حالی که گروه II گسترش کمتری دارد و حاصل ذوب بخشی منبع گوشته تهی شده شامل مقدار کمتری فلوگوپیت است. بر طبق نظر Furman and Graham (1999) و Chen et al. (2016) شکسته شدن فلوگوپیت که مربوط به گروه I آندزیت‌هاست؛ سبب کاهش نسبت Ba/Rb و افزایش نسبت‌های Rb/Sr می‌شود ( $Rb/Sr > 0.1$ ;  $Ba/Rb < 20$ )؛ در حالی که در گروه II آندزیت‌ها که آمفیبول‌ها تجزیه می‌شوند؛ عکس این حالت دیده می‌شود ( $Rb/Sr < 0.6$ ;  $Ba/Rb > 20$ ). به عبارت دیگر، مواد مذاب در تعادل با فلوگوپیت دارای نسبت بالایی از Rb/Sr و مقادیر کم Ba/Rb نسبت به مذاب تشکیل شده از منبع آمفیبول‌دار است (Furman and Graham, 1999). در نمودارهای نسبت Rb/Sr در برابر Nb/Th (شکل ۸-الف) و همچنین Rb/Sr در برابر Ba/Rb (شکل ۸-ب) (Furman and Graham, 1999)، روند تغییرات عناصر، حضور فلوگوپیت را تأیید می‌کند. بنابراین، نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در رده آندزیت‌های گروه I قرار می‌گیرند. از این شاخص (حضور فلوگوپیت در منشأ) می‌توان برای برآورد فشار در هنگام شکل‌گیری ماگما و در نتیجه تعیین ژرفای تشکیل آن بهره گرفت. آزمایش‌های تجربی برای تعیین محدوده دارای فلوگوپیت، نشان‌دهنده پایداری این فاز در فشارهای نزدیک به ۳۰ تا ۳۵ کیلو بار، یعنی در ژرفای حدود ۹۰ تا ۱۰۰ کیلومتری است (Olafsson and Eggler, 1983).

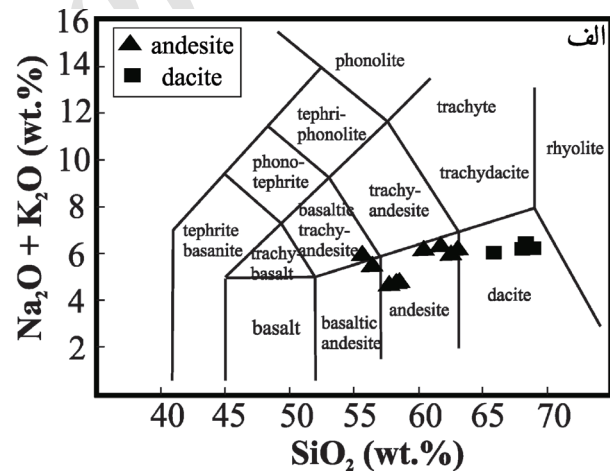
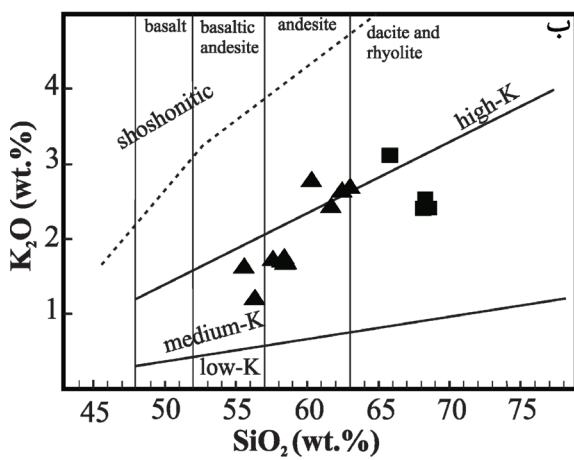
یک روش مفید برای شناخت مدل ذوب، استفاده از نسبت MREE/HREE در برابر LREE/HREE، برای نمونه Dy/Yb در برابر La/Yb است که متمایز کننده خاستگاه ذوب گارنت-لرزولیت یا اسپینل-لرزولیت است. این نمودار به‌طور ویژه برای تشخیص مذاب‌های اسپینل و گارنت مفید است (Thirlwall et al., 1994).



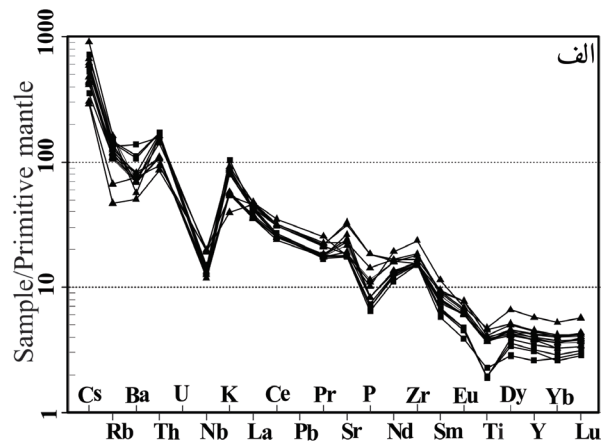
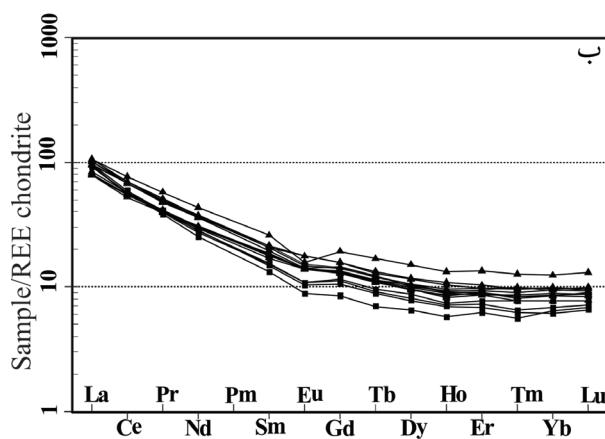
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه بشگز بر پایه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ (سربیشه (نظری و سلامتی، ۱۳۷۸).



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی از گدازه‌های منطقه بشگر: الف) بافت پورفیری در آندزیت‌بازالتی؛ ب) بافت حفره‌ای در آندزیت‌ها؛ پ) پیروکسن با ماکل ساده در آندزیت‌ها؛ ت) درشت‌بلورهای آمفیبول و بیوتیت در آندزیت‌ها؛ ث) کوارتز با حاشیه خلیجی در داسیت‌ها؛ ج) بافت شیشه‌ای جریان‌ی در داسیت پرلیتی (نور در همه شکل‌ها به جز شکل ج در حالت XPL است. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از (Withney and Evans (2010).

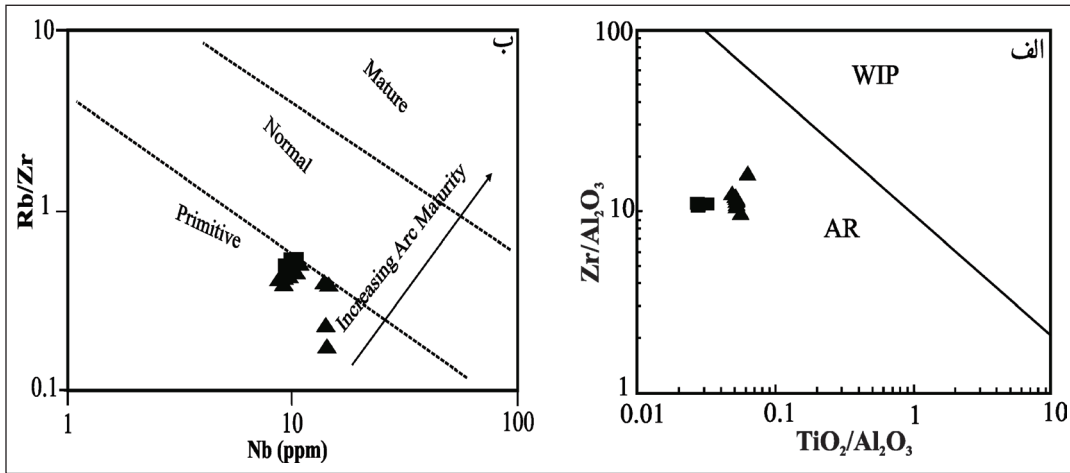


شکل ۳- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه بشگر روی: الف) نمودار رده‌بندی  $(Na_2O + K_2O)$  در برابر  $SiO_2$  (Le Maiter, 2002)؛ ب) نمودار رده‌بندی  $K_2O$  در برابر  $SiO_2$  (Peccerillo and Taylor, 1976).

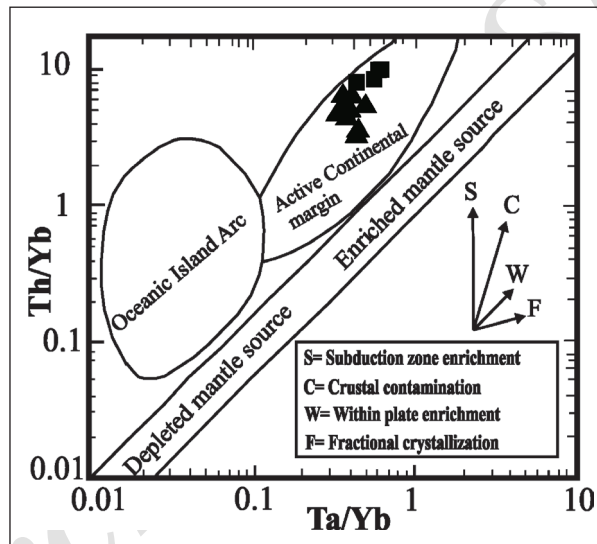


شکل ۴- موقعیت نمونه‌های منطقه بشگر روی: الف) نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب بهنجار شده با گوشه اولیه (Sun and McDonough, 1989)؛ ب) نمودار عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده با کندریت (Boynton, 1984) (نشانه‌ها مشابه شکل ۳).

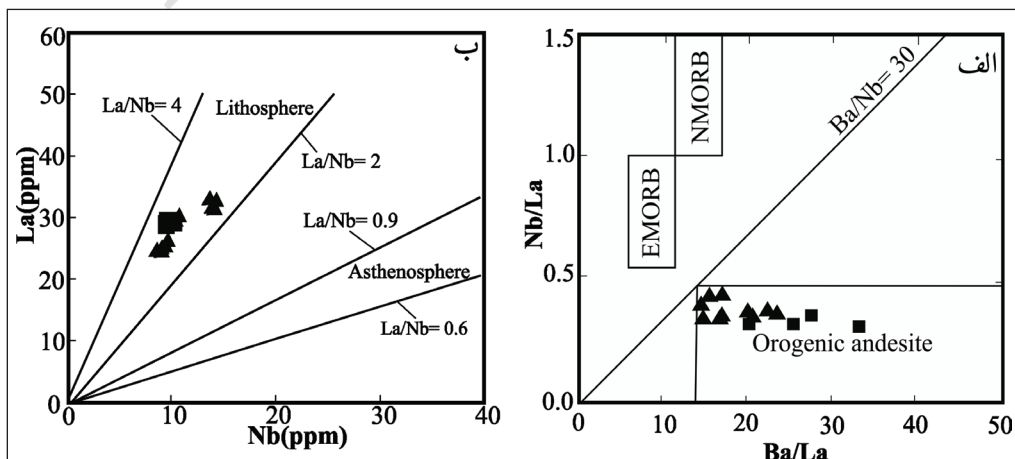




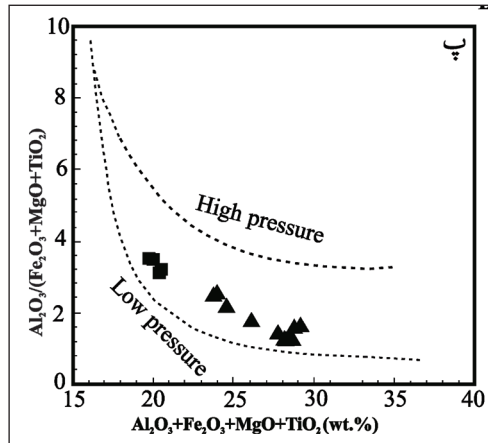
شکل ۵- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه بشگز روی: الف) نمودار  $Zr/Al_2O_3$  در برابر  $TiO_2/Al_2O_3$  (Muller et al., 1992) (موقعیت درون صفحه‌ای، AR؛ وابسته به کمان‌های آتشفشانی)؛ ب) نمودار  $Rb/Zr$  در برابر  $Nb$  (Brown et al., 1984) (نشانه‌ها مشابه شکل ۳).



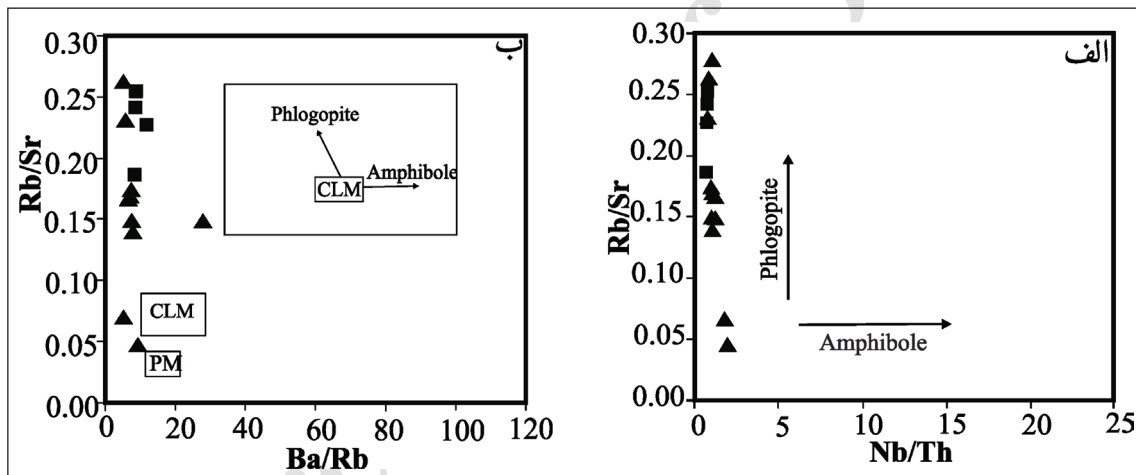
شکل ۶- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه بشگز روی نمودار  $Th/Yb$  در برابر  $Ta/Yb$  (Pearce, 1983) (نشانه‌ها مشابه شکل ۳).



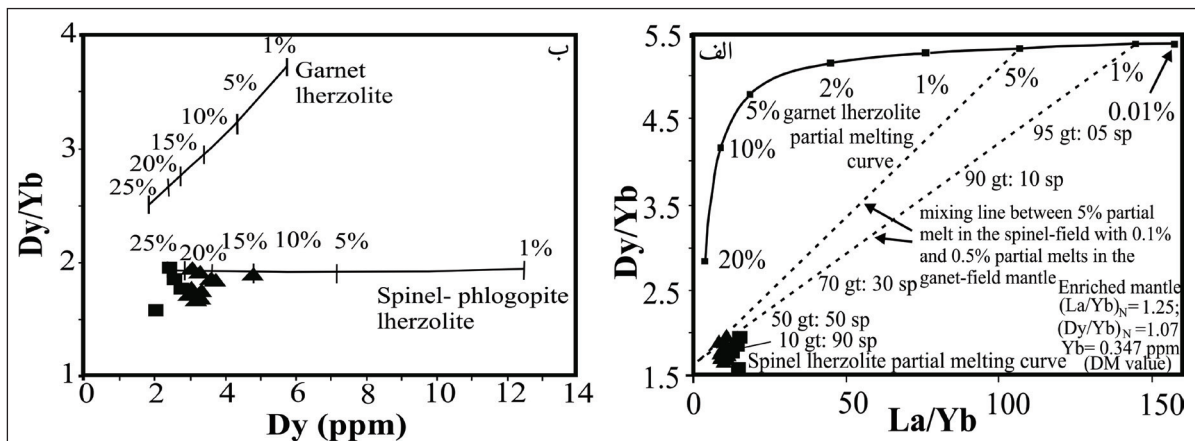
شکل ۷- موقعیت نمونه‌های منطقه بشگز روی: الف) نمودار  $Nb/La$  در برابر  $Ba/La$  (Kuscu and Geneli, 2010)؛ ب) نمودار تغییرات  $La$  در برابر  $Nb$  (Gusev and Korobeinikov, 2009)



شکل ۷- موقعیت نمونه‌های منطقه بشگر روی: (پ) نمودار  $Al_2O_3/(Fe_2O_3+MgO+TiO_2)$  در برابر  $Al_2O_3+Fe_2O_3+MgO+TiO_2$  (Geng et al., 2009) (نشانه‌ها مشابه شکل ۳).



شکل ۸- موقعیت نمونه‌های منطقه بشگر روی: (الف) نمودار Rb/Sr در برابر Nb/Th (Furman and Graham, 1999)؛ (ب) نمودار Rb/Sr در برابر Ba/Rb (Furman and Graham, 1999) (نشانه‌ها مشابه شکل ۳).



شکل ۹- مدل ذوب برای نمونه‌های مورد مطالعه در: (الف) نمودار Dy/Yb در برابر La/Yb (Thirlwall et al., 1994)؛ (ب) نمودار Dy/Yb در برابر Dy (ppm) (McDonough and Sun, 1995) (نشانه‌ها مشابه شکل ۳).

جدول ۱- نتایج تجزیه ژئوشیمی عناصر اصلی (برحسب wt. %) و کمیاب (برحسب ppm) نمونه‌های منطقه بشگز.

Sample name	E19	E17	E2	X7	B13	E5	E7	X12
Rock type	آندزیت‌بازالتی	آندزیت‌بازالتی	آندزیت	آندزیت	آندزیت	آندزیت	آندزیت	آندزیت
Sample location	E59° 39' 02"	E59° 39' 11"	E59° 40' 14"	E59° 38' 37"	E59° 25' 41"	E59° 39' 52"	E59° 57' 39"	E59° 50' 38"
	N32° 48' 49"	N32° 49' 07"	N32° 49' 28"	N32° 51' 18"	N32° 49' 17"	N32° 49' 32"	N32° 50' 08"	N32° 50' 48"
SiO <sub>2</sub>	56/41	55/67	57/55	58/54	60/4	58/48	58/32	58/53
TiO <sub>2</sub>	0/89	0/99	0/83	0/81	1/02	0/79	0/8	0/81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17/27	17/9	16/06	15/44	16/52	15/34	15/53	15/58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	6/22	6/14	5/82	6/14	5/77	6/15	6/25	6/32
MnO	0/11	0/1	0/11	0/09	0/08	0/11	0/09	0/1
MgO	4/32	4/11	5/04	5/74	2/78	6/02	5/91	5/91
CaO	6/66	7/3	6/82	6/22	5/42	6/27	6/45	6/32
Na <sub>2</sub> O	4/31	4/33	2/95	1/69	3/4	2/99	3/07	3/12
K <sub>2</sub> O	1/19	1/62	1/72	3/12	2/77	1/74	1/7	1/67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0/4	0/4	0/18	0/18	0/22	0/18	0/18	0/18
L.O.I	1/19	1/62	2/4	1/6	1/4	1/6	0/14	1/1
Total	99/68	99/76	99/68	99/54	99/74	99/67	99/7	99/64
Mg#	55	54	61	62	46	63	62	62
Ni	56	48	87	104	<20	133	136	115
Sc	14	14	16	17	14	18	18	17
Ba	527	354	575	208	396	550	480	494
Co	19/4	21/5	24/1	22/3	12/9	32/6	31/8	34
Cs	2/4	0/4	3/4	3/8	7/2	3/3	3/4	3/5
Ga	15/2	15/7	15/2	14	19/5	14/8	14/2	15/3
Hf	4/2	4	4/1	4/2	6/1	4/1	4	4
Nb	13/8	14	9	9/5	13/6	9/3	9	8/5
Rb	42/3	29/7	76/2	74/6	102/9	81/8	66/8	69/5
Sn	1	1	2	1	4	1	1	2
Sr	665	695/2	554/1	509/8	371/6	488/7	455/1	403/2
Ta	0/9	0/9	0/6	0/7	1	0/7	0/6	0/6
Th	7/9	7/3	8/9	9/1	13/7	9/3	9/3	9/2
U	1/9	1/8	1/9	2/2	2/7	2	1/8	1/8
V	106	111	120	118	89	119	115	118
W	0/5	0/5	1	0/8	1/6	1	1/1	1
Zr	187/4	174	169/3	177/5	263/7	175/9	175	174/2
Y	20/3	20/5	17/3	18	26/1	17/8	17/4	17/2
La	31/5	31/2	24/8	26	32/8	25	24/3	24/4
Ce	45/3	43/9	44/7	46/1	62	44/8	43/9	42/4
Pr	6/11	5/95	4/87	5/06	7/02	4/96	4/9	4/8
Nd	22/5	21/9	17/7	18/3	26/1	17/9	18/4	18/2
Sm	4/18	4/03	3/32	3/6	5/06	3/52	3/55	3/44
Eu	1/3	1/3	1/01	1/01	1/16	1/02	1/01	1/03
Gd	4/03	4/08	3/32	3/48	4/99	3/38	3/34	3/41
Tb	0/61	0/63	0/71	0/54	0/85	0/61	0/53	0/52
Dy	3/68	3/76	3/1	3/17	4/84	3/33	3/08	3/03



Sample name	E19	E17	E2	X7	B13	E5	E7	X12
Rock type	آندزیت بازالتی	آندزیت بازالتی	آندزیت	آندزیت	آندزیت	آندزیت	آندزیت	آندزیت
Sample location	E59° 39' 02"	E59° 39' 11"	E59° 40' 14"	E59° 38' 37"	E59° 25' 41"	E59° 39' 52"	E59° 57' 39"	E59° 50' 38"
	N32° 48' 49"	N32° 49' 07"	N32° 49' 28"	N32° 51' 18"	N32° 49' 17"	N32° 49' 32"	N32° 50' 08"	N32° 50' 48"
Ho	0.74	0.78	0.59	0.64	0.95	0.65	0.61	0.62
Er	2.03	2.16	1.8	1.8	2.82	1.9	1.89	1.85
Tm	0.32	0.31	0.25	0.28	0.41	0.27	0.26	0.27
Yb	2	2.06	1.61	1.84	2.58	1.76	1.76	1.79
Lu	0.32	0.31	0.25	0.28	0.42	0.29	0.27	0.28
(La/Yb) <sub>N</sub>	10.61	10.20	10.38	9.53	8.57	9.57	9.30	9.19
(La/Sm) <sub>N</sub>	4.74	4.87	4.7	4.54	4.08	4.47	4.31	4.46
<sup>147</sup> Sm/ <sup>147</sup> Sm	0.97	0.98	0.93	0.92	0.71	0.9	0.9	0.87

Sample name	A6	L4	L5	G10	F15	G24	F19
Rock type	آندزیت	آندزیت	داسیت	داسیت	داسیت	داسیت	داسیت
Sample location	E59° 43' 40"	E59° 40' 00"	E59° 40' 18"	E59° 43' 00"	E59° 43' 05"	E59° 43' 31"	E59° 42' 59"
	N32° 49' 53"	N32° 48' 39"	N32° 48' 18"	N32° 50' 34"	N32° 49' 50"	N32° 50' 16"	N32° 50' 02"
SiO <sub>2</sub>	61.8	62.56	63.09	65.9	68.23	68.39	68.68
TiO <sub>2</sub>	0.8	0.87	0.85	0.49	0.42	0.41	0.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.68	17.11	16.81	15.37	15.58	15.46	15.31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	5.04	4.36	4.41	3.31	3.39	3.26	3.18
MnO	0.07	0.06	0.07	0.05	0.04	0.05	0.03
MgO	2.01	1.59	1.63	1.16	1.05	0.82	0.77
CaO	4.59	5.07	4.93	3.4	3.77	3.4	3.72
Na <sub>2</sub> O	3.91	3.34	3.52	2.96	3.86	3.92	3.86
K <sub>2</sub> O	2.42	2.62	2.68	3.12	2.41	2.55	2.42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.31	0.25	0.24	0.14	0.16	0.15	0.15
L.O.I	2	2	1.6	3.9	0.9	1	1.2
Total	99.83	99.82	98.23	99.8	99.81	99.75	99.74
Mg#	41	39	40	38	35	31	30
Ni	31	20	20	20	20	20	20
Sc	9	9	9	6	6	6	6
Ba	494	495	482	782	565	746	966
Co	11.7	8.9	9.1	5.6	6	5.8	3/4
Cs	4.7	5.3	4.9	5.7	2.8	4.5	4.2
Ga	14.3	15.3	16	14.7	13.6	13.6	14.6
Hf	4.5	4.7	4.9	4.2	4.1	4	4.1
Nb	14.2	10.6	10.2	10.3	9.2	9.6	9.2
Rb	79.1	102.8	89.1	93.3	70.6	90	84.7
Sn	3	2	2	2	6	1	1
Sr	480.8	393.8	388.5	369.5	378.6	371.9	372.1
Ta	1	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8
Th	12.1	13.8	13.8	14.5	14.3	14.5	13.5
U	3	2.5	2.8	3.7	3	3.3	3.3

ادامه جدول ۱

Sample name	A6	L4	L5	G10	F15	G24	F19
Rock type	آندزیت	آندزیت	داسیت	داسیت	داسیت	داسیت	داسیت
Sample location	E59° 43' 40"	E59° 40' 00"	E59° 40' 18"	E59° 43' 00"	E59° 43' 05"	E59° 43' 31"	E59° 42' 59"
	N32° 49' 53"	N32° 48' 39"	N32° 48' 18"	N32° 50' 34"	N32° 49' 50"	N32° 50' 16"	N32° 50' 02"
V	۷۵	۸۳	۸۳	۵۸	۴۸	۴۲	۴۸
W	۱/۳	۱/۴	۱/۴	۲/۳	۱	۱/۳	۱/۱
Zr	۲۰۷/۴	۲۰۲/۱	۲۰۱/۵	۱۷۰/۸	۱۶۹/۹	۱۷۲/۳	۱۶۹/۷
Y	۱۹/۳	۱۹/۱	۱۸/۸	۱۱/۸	۱۴	۱۵/۷	۱۴/۴
La	۳۲/۶	۳۰	۲۹/۳	۲۸/۷	۲۸/۴	۲۹/۷	۲۹/۴
Ce	۴۶/۱	۵۴/۶	۴۲/۴	۴۵/۹	۴۵/۳	۵۴/۶	۴۴/۸
Pr	۶/۲۳	۵/۸	۵/۹۱	۴/۶۴	۴/۸۴	۵	۴/۸۳
Nd	۲۲/۴	۲۱/۵	۲۱/۵	۱۵/۱	۱۷/۲	۱۶/۹	۱۶/۴
Sm	۴/۰۲	۳/۸۱	۴/۱۴	۲/۵۶	۲/۸۹	۳/۰۱	۲/۹۴
Eu	۱/۰۹	۱/۰۴	۱/۱۲	۰/۶۵	۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۷۹
Gd	۳/۶۷	۳/۷۳	۳/۷۲	۲/۱۹	۲/۷۳	۳	۲/۹
Tb	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۶۷	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۷۲
Dy	۳/۳۷	۳/۲۳	۳/۳۷	۲/۰۹	۲/۴۹	۲/۸۲	۲/۶۲
Ho	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۵	۰/۵۳	۰/۵۱
Er	۲/۰۳	۱/۹۵	۱/۹۷	۱/۳	۱/۴۴	۱/۶۱	۱/۵۳
Tm	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۱
Yb	۲/۰۲	۱/۹۶	۱/۹۵	۱/۳۳	۱/۲۸	۱/۶	۱/۴۲
Lu	۰/۳۱	۰/۳	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۲۳
(La/Yb) <sub>N</sub>	۱۰/۸۷	۱۰/۳۱	۱۰/۱۳	۱۴/۵۵	۱۴/۹۶	۱۲/۵۰	۱۳/۹۶
(La/Sm) <sub>N</sub>	۵/۱	۴/۹۵	۴/۴۵	۷/۰۵	۶/۱۸	۶/۲۱	۶/۲۹
Eu/Eu*	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۸۳	۰/۸	۰/۸۳

### کتابنگاری

- بیانی، ر.، ۱۳۹۴- پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی تشریری منطقه شوشک (شرق سربیشه) با نگرشی بر پتانسیل اقتصادی آنها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه بیرجند، ۱۳۱ص.
- پارسایی، م.، ۱۳۹۱- مطالعه زمین‌شناسی، دگرسانی و پترولوژی سنگ‌های آذرین خاور مود (جنوب خاور بیرجند)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه بیرجند، ۱۱۵ص.
- چهکندی‌نژاد، م.، ۱۳۹۴- پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی تشریری منطقه آسفیح (جنوب باختر سربیشه) با نگرشی بر پتانسیل اقتصادی آنها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه بیرجند، ۸۴ص.
- گودرزی، م.، محمدی، س. س. و زرین کوب، م. ح.، ۱۳۹۳- سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی تشریری سلم‌آباد (جنوب خاور سربیشه)، خاور ایران. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۶، شماره ۲، صص. ۲۱۷ تا ۲۳۴.
- محمدی، س. س.، ۱۳۹۱- مطالعه زمین‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی تشریری منطقه معدن پرلیت سربیشه با نگرشی بر کاربرد صنعتی آن. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۴، شماره ۱، صص. ۵۹ تا ۷۶.
- مکی پور، م.، ۱۳۹۱- مطالعه زمین‌شناسی، دگرسانی و پترولوژی سنگ‌های آذرین منطقه گلاب (سربیشه، خاور ایران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه بیرجند، ۱۱۷ص.
- ملکیان دستجردی، م.، ۱۳۹۴- پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی منطقه کنگان (شمال شرق سربیشه)، استان خراسان جنوبی، با نگرشی بر اهمیت اقتصادی آنها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه بیرجند، ۱۳۱ص.
- ملکیان دستجردی، م.، محمدی، س. س.، نعیمی، م. و زرین کوب، م. ح.، ۱۳۹۵- ژئوشیمی و جایگاه تکتونوماگمایی سنگ‌های آتشفشانی تشریری منطقه کنگان، شمال خاور سربیشه، خراسان جنوبی، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۸، شماره ۲، صص. ۵۵۳ تا ۵۶۸.
- نظری، ح. و سلامتی، ر.، ۱۳۷۸- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهار گوش سربیشه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نظری، ز.، ۱۳۹۰- بررسی زمین‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی شمال باختر سربیشه (خاور ایران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه بیرجند، ۱۲۳ص.

## References

- Aldanmaz, E., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F. and Mitchell, J. G., 2000- Petrogenetic evolution of late Cenozoic, postcollisional volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 102: 67– 95.
- Alici, Sen P., Temel, A. and Gourgaud, A., 2004- Petrogenetic modeling of Quaternary postcollisional volcanism: a case study of central and eastern Anatolia. *Geological Magazine* 141: 81-98.
- Almeida, M. E., Macambira, M. J. B. and Oliveira, E. C., 2007- Geochemistry and zircon geochronology of the I-type high-K calc-alkaline and S-type granitoid rocks from southeastern Roraima, Brazil: Orosirian collisional magmatism evidence (1.97-1.96 Ga) in Central portion of Guyana shield. *Precambrian Research* 15: 69-97.
- Arjmandzadeh, R. and Santos, J. F., 2014- Sr-Nd isotope geochemistry and tectonomagmatic setting of the Dehsalm Cu-Mo porphyry mineralizing intrusives from Lut Block, eastern Iran. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 103: 123-140.
- Arslan, M. and Aslan, Z., 2006- Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 27: 177-193.
- Aydınçakır, E., 2016- Subduction-related Late Cretaceous high-K volcanism in the Central Pontides orogenic belt: constraints on geodynamic implications. *Geodinamica Acta* 28: 1-33.
- Boynton, W. V., 1984- Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. *Rare Earth Element Geochemistry* 16: 63-114.
- Brown, G. C., Thorpe, R. S. and Webb, P. C., 1984- The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. *Journal of Geological Society London* 141: 413-426.
- Camp, V. E. and Griffis, R. J., 1982- Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran. *Lithos* 15: 221-239.
- Castillo, P. R., 2006- An overview of adakite petrogenesis: *Chinese Science Bulletin* 51: 257-268.
- Chashchin, A. A., Sorokin, A. A., Lebedev, V. A. and Blokhin, M. G., 2016- Age, Main Geochemical Characteristics, and Sources of Late Cenozoic Volcanic Rocks in the Udurchukan Volcanic Area (Amur Region), published in *Tikhookeanskaya* 35: 3-13.
- Chen, L., Zheng, Y. F. and Zhao, Z. F., 2016- Geochemical constraints on the origin of Mesozoic andesites from the Ningwu basin in the Middle-Lower Yangtze Valley, South China. *Lithos* 254: 94-117.
- De Angelis, S. H., Larsena, J., Dunna, A. and Haydenc, L., 2015- Amphibole reaction rims as a record of pre-eruptive magmatic heating: An experimental approach. *Earth and Planetary Science Letters* 426: 235-245.
- Esmaily, D., Nedelec, A., Valizadeh, M. V., Moore, F. and Cotton, J., 2005- Petrology of the Jurassic Shah-Kuh granite (eastern Iran), with reference to tin mineralization. *Journal of Asian Earth Sciences* 25: 961-980.
- Fu, D., Bo, H., Songbai, P., Timothy, M. K., Wenxiao, Z. and Mengchun, G., 2016- Geochronology and Geochemistry of Late Carboniferous Volcanic Rocks from Northern Inner Mongolia, North China: Petrogenesis and Tectonic Implications. *Gondwana Research* 36: 545-560.
- Furman, T. and Graham, D., 1999- Erosion of lithospheric mantle beneath the East African Rift system: geochemical evidence from the Kivu volcanic province. *Developments in Geotectonics* 24: 237-262.
- Geng, H., Sun, M., Yuan, C., Xiao, W. J., Xian, W. S., Zhao, G. C., Zhang, L. F., Wong, K. and Wu, F. Y., 2009- Geochemical, Sr–Nd and zircon U–Pb–Hf isotopic studies of Late Carboniferous magmatism in the West Junggar, Xinjiang: implications for ridge subduction?. *Chemical Geology* 26: 364–389.
- Gill, J. B., 1981- *Orogenic Andesites and plate tectonic*. Springer-Verlag, Berlin, 390
- Gorton, M. P. and Schandl, E. S., 2000- From continental to island arc: A geochemical index of tectonic setting for arc - related and within plate felsic to intermediate volcanic rocks. *The Canadian Mineralogist* 38:1065- 1073.
- Goss, A. R. and Kay, S. M., 2009- Extreme high field strength element (HFSE) depletion and nearchondritic Nb/Ta ratio in Central Andean adakite-like lavas ( 28°S, 68° W). *Earth and Planetary Science Letters* 279: 97-109.
- Gusev, A. I. and Korobeinikov, A. F., 2009- Mantle–crustal interaction in the generation of different types of mineralization: geophysical and petrological aspects, *Izv. Tomsk. Politekh. Unive* 315(1): 18-25.
- Helvacı, C., Ersoy, E. Y., Sözbilir, H., Erkül, F., Sümer, Ö. and Uzel, B., 2009- Geochemistry and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology of Miocene volcanic rocks from the Karaburun Peninsula: Implications for amphibole-bearing lithospheric mantle source, Western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 185: 181–202.
- Karimpour, M. H., Stern, C. R., Farmer, L., Saadat, S. and Malekzadeh, A., 2011- A review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut block, Eastern Iran. *Journal of Geopersia*: 19-36.
- Karsli, O., Dokuz, A., Uysal, I., Kandemir, R. and Wijbrans, J., 2010- Generation of the Early Cenozoic adakitic volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: Implications for crustal thickening to delamination. *Lithos* 114: 109-120.
- Kürkcüoğlu, B., 2010- Geochemistry and petrogenesis of basaltic rocks from the Develida\_g volcanic complex, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 37, 42-51.
- Kuscu, G. G. and Geneli, F., 2010- Review of post-collisional volcanism in the central Anatolian volcanic province (Turkey), with special reference to the Tepekey volcanic complex. *International Journal of Earth Sciences* 99: 593-621.

- Le Maitre, R. W., 2002- Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences. Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press: 236p.
- Lee, C. T. A. and Bachmann, O., 2014- How Important Is the Role of Crystal Fractionation in Making Intermediate Magmas? Insights from Zr and P Systematics. *Earth and Planetary Science Letters* 393: 266-274.
- Litvak, V. D., Spagnuolo, M. G., Folguera, A., Poma, S., Jones, R. E. and Ramos, V. A., 2016- Late Cenozoic calc-alkaline volcanism over the Payenia shallow subduction zone, South-Central Andean back-arc (34°30'-37°S), Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 64:365-380.
- McArthur, A. N., Cas, R. A. F. and Orton G. J., 1998- Distribution and significance of crystalline, perlitic and vesicular textures in the Ordovician Garth Tuff (Wales). *Bulletin of Volcanology* 60: 260-285.
- McDonough, W. F. and Sun, S. S., 1995- Composition of the Earth. *Chemical Geology* 120: 223-253.
- Müller, D., Rock, N. M. S. and Groves, D. I., 1992- Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic settings: a pilot study. *Mineralogy and Petrology* 46: 259-289.
- Olafsson, M. and Eggler, D. H., 1983- Phase relations of amphibole, amphibole-carbonate and phlogopite-carbonate peridotite: petrologic constraints on the asthenosphere: *Earth and Planetary Science Letters* 64: 305-315.
- 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.). Shiva, Nantwich: 230-249.
- Pearce, J. A., 2008- Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with application to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos* 100:14-48.
- 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. and Pichavant, M., Maury R., 2001- Evidence for mantle metasomatism by hydrous silicic melts derived from subducted oceanic crust: *Nature* 410: 197-200.
- Richards, J. P., Spell, T., Rameh, E., Raziq, A. and Fletcher, T., 2012- High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu ± Mo ± Au potential: examples from the Tethyan Arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan. *Economic Geology* 107:295-332
- Rollinson, H., 1993- *Rising geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman John Wiley and Sons, New York, 352 p.
- Sharma, M., 1997- Siberian traps. In: *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism* (Eds. Mahoney, J. J. and Coffin, M. F.). American Geophysical Union: 273-295.
- Siddiqui, R. H., Asif Khan, M. and Qasim Jan, M., 2007- Geochemistry and petrogenesis of the Miocene alkaline and sub-alkaline volcanic rocks from the Chagai arc, Baluchistan, Pakistan: Implications for porphyry Cu-Mo-Au deposits: *Himalayan Earth Sciences* 40: 1-23.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle compositions and processes In: Sanders A.D. and Norry M.J. (Eds), *Magmatism in Ocean basins*. Geological Society London Special Publications 42: 313-345.
- Terentiev, R. A., Savko, K. A. and Santosh, M., 2016- Paleoproterozoic crustal evolution in the East Sarmatian Orogen: Petrology, geochemistry, Sr-Nd isotopes and zircon U-Pb geochronology of andesites from the Voronezh massif, Western Russia. *Lithos* 246-247: 61-80.
- Thirlwall, F. M., Upton, B. G. J. and Jenkins, C., 1994- Interaction between continental lithosphere and Iceland plume-Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of Tertiary basalts, NE Greenland. *J. Petrol.* 35: 839-879.
- Tirrul, R., Bell, L. R., Griffis, R. J. and Camp, V. E., 1983- The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America bulletin* 84:134-140.
- Ustunisik, G., Attila, K. and Roger, L. N., 2014- New Insights into the Processes Controlling Compositional Zoning in Plagioclase. *Lithos* 200: 80-93.
- Vahdati Daneshmand, F. and Eftekharneshad, J., 1991- Basement rock map of the Birjand, scale 1:250000, 1 sheet
- Wilson, M., 1989- *Igneous petrogenesis a global tectonic approach*: Department of earth Science. University of Leeds: 466.
- Winter, J. D., 2001- *An introduction to igneous and metamorphic petrology*. Prentice Hall publication, New Jersey, 699p.
- Withney, D. and Evans, B., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals, *American Mineralogist* 95: 185-187.
- Yang, W. and Li, Sh., 2008- Geochronology and geochemistry of the Mesozoic volcanic rocks in Liaoning: Implications for lithospheric thinning of the North China Craton. *Lithos* 102: 88-17.
- Yu, Q., Ge, W.C., Zhang, J., Zhao, G. C., Zhang, Y. L. and Yang, H., 2016- Geochronology, Petrogenesis and Tectonic Implication of Late Paleozoic Volcanic Rocks from the Dashizhai Formation in Inner Mongolia, Ne China. *Gondwana Research* 47: 164-177.
- Zhu, W. G., Zhong, H., Li, Z. X., Bai, Z. J. and Yang, Y. J., 2016- SIMS zircon U-Pb ages, geochemistry and Nd-Hf isotopes of ca. 1.0 Ga mafic dykes and volcanic rocks in the Huili area, SW China: Origin and tectonic significance. *Precambrian Research* 237: 67-89.