

مطالعه زمین‌شناسی و پترولوژی سنگهای آتشفشانی ترشیری منطقه معدن پرلیت سربیشه (شرق ایران)، با نگرشی بر کاربرد صنعتی آن

سید سعید محمدی*

دانشگاه بیرجند، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی

دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۶/۳، پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۱۱

چکیده

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب سربیشه در استان خراسان جنوبی و در حاشیه شرقی بلوک لوت واقع شده است. در این منطقه، سنگهای آتشفشانی ترشیری (ائوسن- الیگوسن تا پلیوسن) با ترکیب آندزیت بازالتی، داسیت، ریوداسیت، ریولیت شیشه‌ای گاهی پرلیتی، توف و ایگنمبریت رخنمون دارد. در کوه دغار، سه لایه پرلیت A، B و C به ترتیب با ضخامت ۱۰۲، ۷ و ۵۸ متر به صورت متناوب با سنگهای آتشفشانی- آذرآوری وجود دارد. منطقه‌بندی، بافت غربالی و خوردگی خلیجی در فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و گرد شدگی کانیها از ویژگیهای سنگهای گدازه‌ای بوده که حاکی از وجود شرایط عدم تعادل حین انجماد ماگما می‌باشد. از لحاظ خصوصیات شیمیایی، متآلومین، کالک‌آلکانل پتاسیم متوسط تا بالا، دارای غنی‌شدگی LILE و آنومالی منفی Nb و Ti هستند. ریولیت‌ها در مقایسه با داسیت‌ها و آندزیت بازالتی، تهی‌شدگی بیشتری در Sr، Ba، P و Ti دارند. نمودار عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت، حاکی از غنی‌شدگی LREE در مقایسه با HREE ($(La/Yb)_N = 9/14 - 12/64$)، آنومالی منفی ضعیف Eu برای آندزیت بازالتی ($Eu/Eu^* = 0/91$) و داسیت‌ها ($Eu/Eu^* = 0/78 - 0/87$) و آنومالی منفی قوی Eu برای ریولیت‌ها ($Eu/Eu^* = 0/18 - 0/35$) می‌باشد. وجود آنومالی منفی Eu مؤید ماهیت کالک‌آلکانل برای سنگهای مورد مطالعه است. این سنگها، براساس خصوصیات شیمیایی و پذیرفتاری مغناطیسی در رده I قرار می‌گیرند. از دیدگاه موقعیت تکتونیکی به محیط فرورانش و حاشیه قاره‌ای فعال تعلق داشته و ماگمای مادر آنها از ذوب بخشی گوشته غنی‌شده حاصل و سپس در حین تفریق، آلودگی پوسته‌ای را تحمل نموده است. داسیت‌های منطقه سربیشه دارای $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه بین ۰/۷۰۴۸ و ۰/۷۰۵۰ (میانگین ۰/۷۰۴۹) بوده که منشأ گوشته‌ای را برای ماگمای سازنده آنها تأیید می‌کند. شیشه‌های آتشفشانی با ترکیب ریولیتی در اثر آب‌گیری (احتمالاً آبهای جوی)، به پرلیت تبدیل شده است. آزمایشهای فیزیکی و تجزیه شیمیایی نشان داد که پرلیت سربیشه به عنوان ماده اولیه برای تولید پرلیت منبسط مناسب است.

واژه‌های کلیدی: ترشیری، لوت، حاشیه فعال قاره‌ای، سربیشه، پرلیت.

مقدمه

آسیا تشکیل شده است [۳-۶]. سنگهای آتشفشانی آندزیتی همراه داسیت و ریوداسیت‌ها طی فاصله زمانی ۵۰ میلیون سال از کرتاسه تا نئوژن زیرین فوران نموده است. به نظر می‌رسد که شدت فعالیت آتشفشانی طی این مدت به میزان قابل توجهی متغیر بوده است [۱]. در شمال غربی سربیشه، رخنمون قابل توجهی از فعالیت‌های آتشفشانی ترشیری (ائوسن- الیگوسن تا پلیوسن) با ترکیب حدواسط تا اسیدی به همراه نهشته‌های آذرآوری مشاهده می‌شود. وجود گدازه‌های ریولیتی شیشه‌ای دارای اختصاصات پرلیتی از مشخصات بارز این مجموعه بوده که بخشی از آنها به عنوان یک معدن پرلیت

منطقه مورد مطالعه در فاصله ۱۰ کیلومتری شمال غربی سربیشه دارای موقعیت جغرافیایی $30^{\circ} 40' 52''$ تا $44^{\circ} 40' 32''$ عرض شمالی، در حاشیه شرقی بلوک لوت [۱-۳] واقع است. فعالیت ماگمایی در بلوک لوت در ژوراسیک میانی (۱۶۵-۱۶۲ میلیون سال) شروع شده [۳] و در ترشیری به اوج خود رسیده است [۳، ۱]. سنگهای آتشفشانی و نیمه‌عمیق ترشیری بیش از نیمی از بلوک لوت را با ضخامت بیش از ۲۰۰۰ متر پوشانده و در اثر فرورانش، پیش از برخورد صفحات عربی و

را نشان می‌دادند انتخاب و در آزمایشگاه SGS کانادا به روش ICP (برای عناصر اصلی) و ICP-MS (برای عناصر کمیاب و نادر خاکی) آنالیز گردید. علاوه بر این، از نتایج تجزیه عناصر اصلی نمونه‌های Lu304 و Lu307 به روش XRF [۱]، مربوط به منطقه مورد مطالعه استفاده شد. پذیرفتاری مغناطیسی سنگهای مورد مطالعه با استفاده از دستگاه حساسیت‌سنج مغناطیسی مدل GMS-2 در دانشگاه فردوسی مشهد مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. آزمایشهای مربوط به خصوصیات فیزیکی نمونه‌های پرلیت، در شرکت پرلیت (تهران) انجام شد.

زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سربیشه [۲] قرار گرفته است. واحدهای سنگی عمده شامل سنگهای آتشفشانی و آذرآواری متعلق به تشریری بوده که به صورت گنبد رخنمون دارند. این سنگها شامل آندزیت بازالتی، پیروکسن آندزیت، داسیت، ریوداسیت، گدازه‌های ریولیتی شیشه‌ای (پرلیت)، توف و ایگنمبریت می‌باشند (شکل ۱). پرلیت در گستره‌ای به وسعت تقریبی ۱۲ کیلومتر مربع به صورت پراکنده و متناوب با سایر واحدهای سنگی رخنمون دارد. بررسیهای صحرایی نشان داد که در کوه دغار (شمال معدن پرلیت سربیشه) سه لایه پرلیت به صورت متناوب با سنگهای آتشفشانی-آذرآواری میزبان وجود دارد که لایه‌های A، B و C نامیده شده است (شکل ۲). به منظور محاسبه ضخامت واقعی واحدهای سنگی در توالی آتشفشانی-آذرآواری، طی برداشتهای صحرایی، موقعیت فضایی واحدهای مختلف برداشت گردید. سپس پیمایش در جهت عمود بر امتداد (در جهت N15W) در زمین غیر مسطح (بر روی نشیب) انجام گردید. فاصله بین سطوح تحتانی و فوقانی هر واحد با متر اندازه‌گیری و سپس بر اساس نشیب سطح زمین، ضخامت واقعی هر واحد محاسبه گردید. بر این اساس، ضخامت واقعی سه لایه پرلیت A، B و C به ترتیب ۱۰۲، ۷ و ۵۸ متر تعیین و ستون چینه سنگی توالی ترسیم شد (شکل ۳). واحدهای توالی سنگی محدوده معدن پرلیت سربیشه از پایین به بالا عبارتند از: (۱) پرلیت (لایه A)، خاکستری با ضخامت ۱۰۲ متر، (۲) ریولیت-داسیت با ویژگی توفی-ایگنمبریتی، قهوه‌ای روشن مایل به صورتی (۳) پرلیت (لایه B)، خاکستری تیره با ۷ متر ضخامت، (۴) ریوداسیت

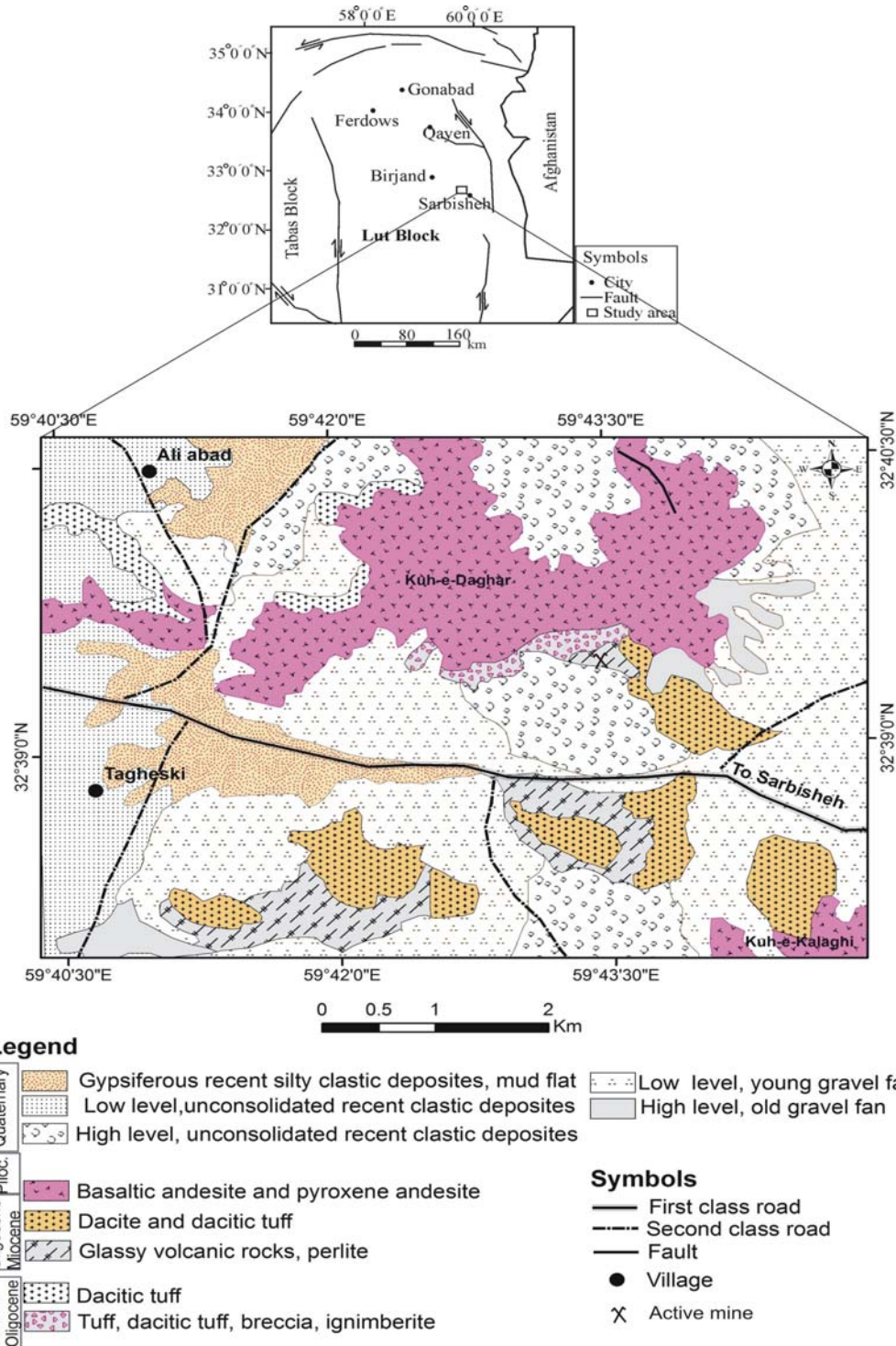
فعال بهره‌برداری می‌شود. پرلیت سنگ آتشفشانی اسیدی غنی از شیشه آب دار (۲-۵ درصد)، دارای شکستگیهای قوسی، منحنی و متحدالمرکز بوده که وجود این ترکها سبب پیدایش اشکال کروی با اندازه چند میلی متر در سنگ می‌شود [۷-۱۲]. این سنگ عموماً به صورت جریانهای گدازه یا سنگهای نفوذی کم عمق در نتیجه انتشار آب به درون شیشه‌های آتشفشانی جامد (آب‌گیری) پس از جایگزینی و اغلب در نهشته‌های اَبسیدین سیلیسی همراه طیفی از ترکیبات شیشه‌ای مشاهده می‌شود [۱۱، ۱۳]. به اعتقاد [۱۴] سطح خارجی توده که در معرض آب قرار داشته و یا ترکهای نافذ و شبکه شکستگیها، مسیر مناسب برای نفوذ سیالات و پیشرفت آب‌گیری را فراهم می‌نماید. در این فرآیند، آب از سیالات هیدروترمال، مخازن آبهای زیرزمینی یا سطحی، منشأ گرفته و به درون گسیختگیهای شیشه که ناشی از برداشته شدن فشار است نفوذ می‌نماید [۱۳، ۱۴]. اغلب ذخایر پرلیت با ارزش اقتصادی دنیا عمدتاً در سرزمینهای آتشفشانی تشریری و کوآترنری که با ولکانیسم شدیداً سیلیسی همراهند، رخنمون دارند [۱۲]. پرلیت منبسط به دلیل چگالی کم و قیمت نسبتاً پایین، کاربردهای تجاری متعددی دارد که شامل پشم‌سنگ، کود شیمیایی، پرکننده، رنگ‌کاری، عایق‌کاری، نامسازی ساختمانها، سیمان‌کاری چاهها، جذب‌کننده و حامل، صنایع فولاد و ریخته‌گری و ... می‌باشد [۱۲، ۱۵]. تاکنون تحقیقاتی توسط پژوهشگران مختلف در مورد سنگهای آتشفشانی منطقه مود-سربیشه انجام شده است [۱۶-۱۹]. با وجود این که به دلیل شرایط زمین‌شناسی مناسب در شرق ایران و منطقه مورد مطالعه، زمینه خوبی برای مطالعه و پی‌جویی ذخایر پرلیت وجود دارد، اما مطالعه جامعی در این زمینه انجام نشده است. هدف از این پژوهش، مطالعه زمین‌شناسی، پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز مجموعه آتشفشانی شمال غرب سربیشه با نگرش ویژه به پرلیت است که می‌تواند در رابطه با شناخت فعالیتهای ماگمایی و پتانسیل‌های اقتصادی بلوک لوت مفید باشد.

روش تحقیق

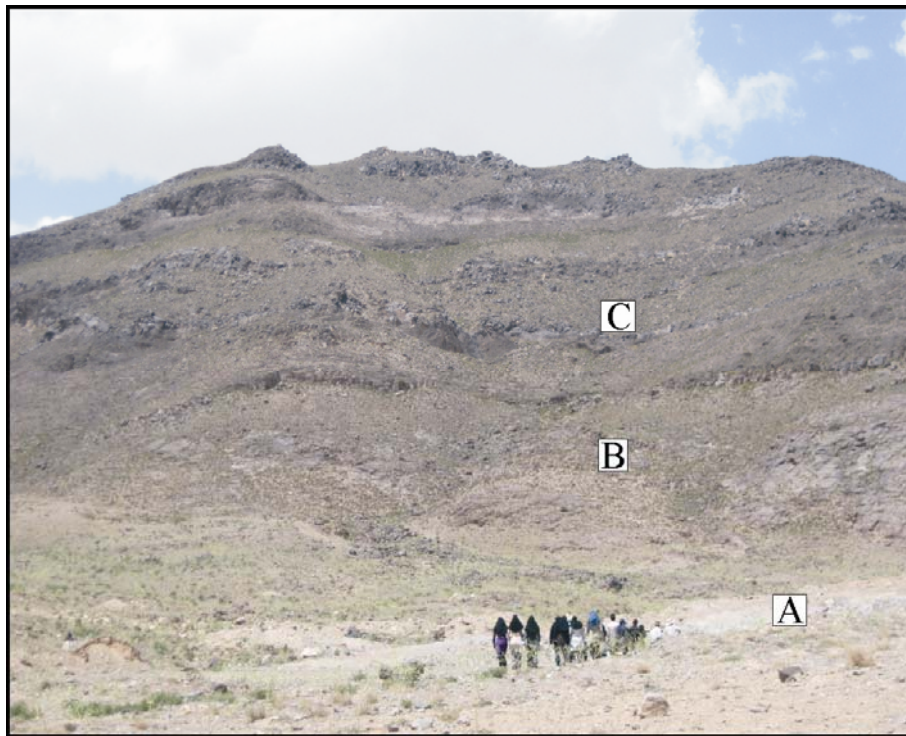
این پژوهش بر مبنای مطالعات صحرایی، نمونه‌برداری از واحدهای سنگی، تهیه و مطالعه مقاطع نازک و نتایج تجزیه شیمیایی ۱۳ نمونه سنگی انجام شده است. تعداد ۱۱ نمونه از سنگهای آتشفشانی شمال غربی سربیشه که حداقل دگرسانی

دارای ساخت ستونی و به طرف بالا دارای بافت حفره‌ای.

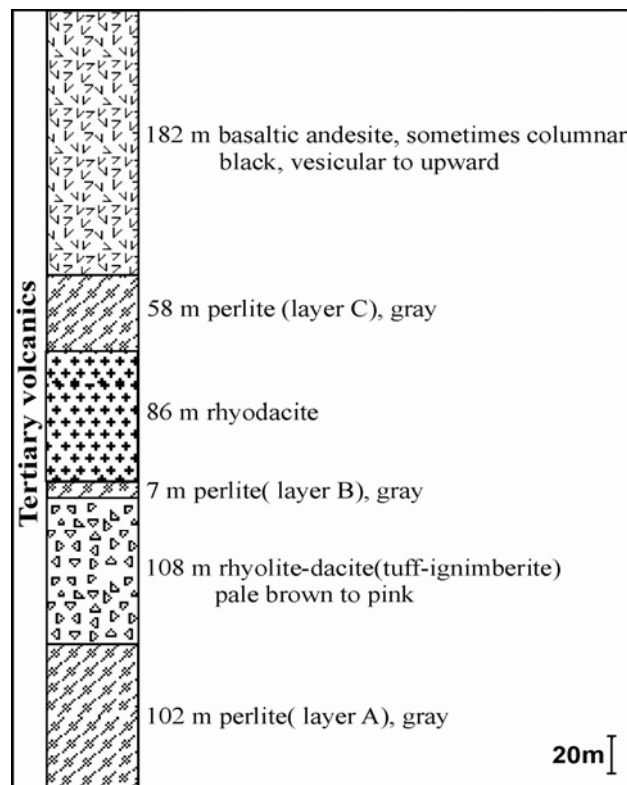
خاکستری روشن، ۵) پرلیت (لایه C)، خاکستری با ۵۸ متر ضخامت و ۶) آندزیت بازالتی، پیروکسن آندزیت، سیاه، گاهی



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه [۲]، با اصلاحات و ترسیم مجدد، محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه ساده بلوک لوت [۳] با علامت مستطیل نشان داده شده است.



شکل ۲. تصویر صحرایی نشان‌دهنده توالی سنگهای آتشفشانی- آذرآواری شمال معدن پرلیت سربیشه که در بر گیرنده سه لایه پرلیت (A، B و C) می‌باشد (دید به سمت شمال).



شکل ۳. مقطع چینه‌شناسی توالی سنگهای آتشفشانی- آذرآواری شمال معدن پرلیت سربیشه که در بر گیرنده سه لایه پرلیت (A، B و C) می‌باشد.

خمیره میکروکریستالین و اسفرولیتی می‌باشند. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز نیمه شکل‌دار- بی‌شکل تا ۲ میلی‌متر و دارای ماکل آلبیتی شکل (۵ الف) از نوع آلبیت تا الیگوکلاز، حدود ۱۰-۱۵ درصد حجم سنگ را تشکیل داده است. وجود منطقه‌بندی، خوردگی خلیجی و بافت غربالی شکل (۵ ب) از ویژگی‌های بارز فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در این سنگها است. محتوای آب مذاب و دما از عوامل مهم تأثیرگذار در ترکیب و پایداری پلاژیوکلاز است. از دست دادن سریع مواد فرار در حین فوران یا نشت آب از ماگما‌های آب‌دار یکی از عوامل تجزیه پلاژیوکلازها است [۲۲، ۲۱]. منطقه‌بندی، بافت غربالی و خوردگی خلیجی در پلاژیوکلازها از نشانه‌های وجود شرایط عدم تعادل حین انجماد ماگما بوده و احتمالاً در اثر صعود سریع ماگما، افزایش فشار بخار آب، فرایندهای آلیش و هضم و کاهش فشار حاکم بر ماگما ایجاد شده‌اند [۲۱، ۲۳-۲۵]. فنوکریست‌های کوارتز دارای حاشیه خلیجی شکل (۵ پ) و گاهی گرد شده حدود ۱۰ درصد و سانیدین نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل شکل (۵ ت) به میزان حدود ۵-۷ درصد مشاهده می‌شود. بیوتیت به صورت بلورهای نسبتاً ریز نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل با چند رنگی قهوه‌ای تیره تا سیاه کمتر از ۵ درصد، آمفیبول و پیروکسن به مقدار کم، دیگر کانیهای مافیک سنگ می‌باشند. زمینه سنگ عمدتاً از میکروکریستال‌های کوارتز و فلدسپار گاهی به همراه شیشه تبلور مجدد یافته (بافت اسفرولیتی) تشکیل شده و حدود ۷۰ درصد حجم سنگ را تشکیل داده است.

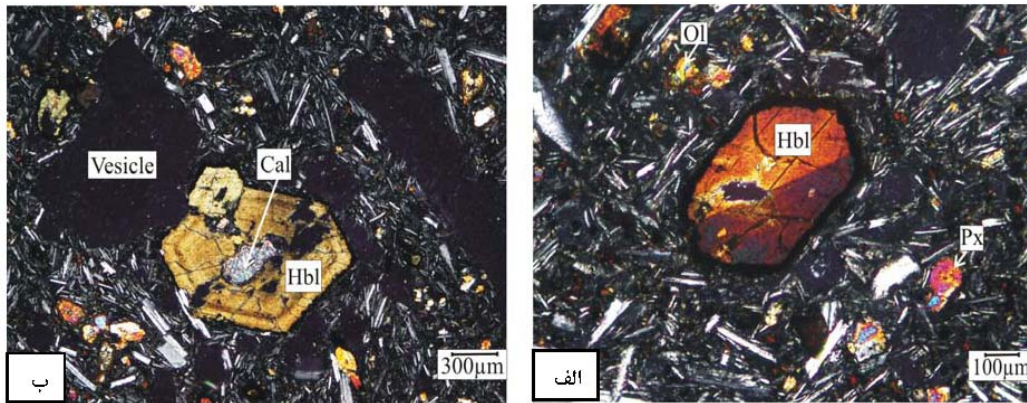
ریولیت شیشه‌ای (پرلیت): این سنگ به رنگ خاکستری روشن تا تیره مایل به سیاه و دارای جلای مرواریدی در بخشهای مختلف منطقه مورد مطالعه به صورت پراکنده و گاهی متناوب با سایر واحدهای آتشفشانی دیده می‌شود. سنگهای پرلیتی عمدتاً از فنوکریست و خمیره سیلیسی آمورف تشکیل شده‌اند. بافت این سنگها پورفیری با خمیره شیشه‌ای پرلیتی شکل (۶ الف و ب)، شیشه‌ای جریان‌ی شکل (۶ ب و پ) و کریپتوکریستالین است. شکستگیهای پرلیتی به دگرشکلی حرارتی در حین سرد شدن و انقباض شیشه نسبت داده می‌شود، به طوری که شبکه متراکمی از شکستگیها در بخش بالایی سریع سرد شده توده، ایجاد می‌شود [۲۶، ۲۷].

در شرق شهر مود در ۳۰ کیلومتری غرب سریشه، یک توالی ضخیم بازالتی با سن ۳۱/۴ میلیون سال [۱] بر روی رسوبات کنگلومرایی قرار گرفته است. این بازالت‌ها توسط توف‌های آندزیتی-داسیتی، برش و جریانهای گدازه ضخیم آندزیتی-داسیتی تا ریوداسیتی که به طرف شرق به محدوده مطالعاتی متصل می‌شود، پوشیده شده است. براین اساس، سنگهای آتشفشانی منطقه مورد مطالعه، پوشاننده بازالت‌های مود بوده و لذا جوانتر از آنها می‌باشند.

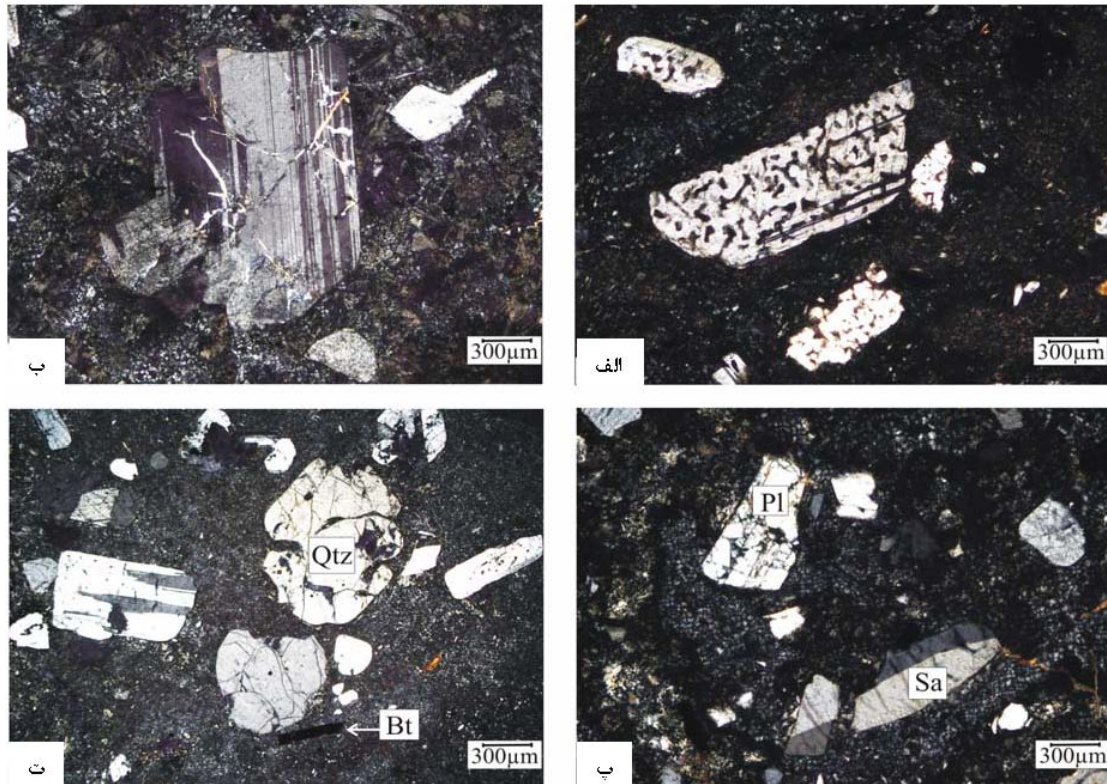
پتروگرافی

آندزیت بازالتی- پیروکسن آندزیت: این سنگها به رنگ تیره، آفانیتیک و گاهی حفره‌ای دیده می‌شوند. در مقاطع نازک دارای بافت‌های پورفیری با خمیره میکرولیتی، سری‌ایت و حفره‌ای هستند. بلورهای نسبتاً درشت نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار پلاژیوکلاز با اندازه ۰/۸ تا یک میلی‌متر و ترکیب آندزین، تفاوت چندانی از نظر اندازه با میکرولیت‌های زمینه ندارند (شکل ۴ الف و ب). پلاژیوکلازها حدود ۷۰-۷۵ درصد حجم سنگ را تشکیل داده‌اند. فنوکریست‌های هورنبلند شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار دارای چندرنگی قهوه‌ای، منطقه‌بندی شکل (۴ الف)، حاشیه اپاسیتی شده، گاهی خوردگی خلیجی و ماکل شکل (۴ ب)، ۱۰-۱۵ درصد سنگ را تشکیل داده است. به اعتقاد [۲۰] منطقه‌بندی در هورنبلند نشانه تغییرات ترکیب شیمیایی بوده، به طوری که بخشهای دارای Si و Mg بیشتر به رنگ روشن و بخشهای دارای Fe و Al به رنگ تیره دیده می‌شوند. برخی بلورهای آمفیبول در مرکز کربناتی شده‌اند (شکل ۴ الف). بلورهای نسبتاً ریز نیمه‌شکل‌دار و بی‌شکل پیروکسن که از حاشیه کلریتی شده‌اند، ۵-۷ درصد سنگ را می‌سازند (شکل ۴ ب). بیوتیت ریز اکسید شده، دیگر کانی مافیک سنگ است که به میزان حدود ۵ درصد در زمینه سنگ پراکنده می‌باشد. الیوین‌های نسبتاً ریز دارای حاشیه‌های ایدنگزیتی شده به مقدار کم وجود دارد (شکل ۴ ب). کانی کدر ریز به عنوان کانی فرعی در سنگ مشاهده می‌شود.

داسیت - ریوداسیت: در بیشتر جاها به رنگ صورتی مایل به خاکستری و دارای بافت آفانیتیک در مجاورت شیشه‌های آتشفشانی (پرلیت) وجود دارد. بافت‌های غالب شامل پورفیری با



شکل ۴. الف) فنوکریست هورنبلند شکل‌دار دارای حاشیه‌های اپاسیتی شده و ماکل، پیروکسن و الیون نسبتاً ریز دارای حاشیه‌های ایدنگزیتی شده در آندزیت‌های بازالتی شمال‌غربی سریش، ب) وجود بافت‌های پورفیری با خمیره میکرولیتی و حفره‌ای، هورنبلند دارای منطقه بندی و کربناتیزه شده، (XPL)، علائم اختصاری کانیها شامل Hbl: هورنبلند، Cal: کلسیت، Px: پیروکسن و Ol: الیون می‌باشد.



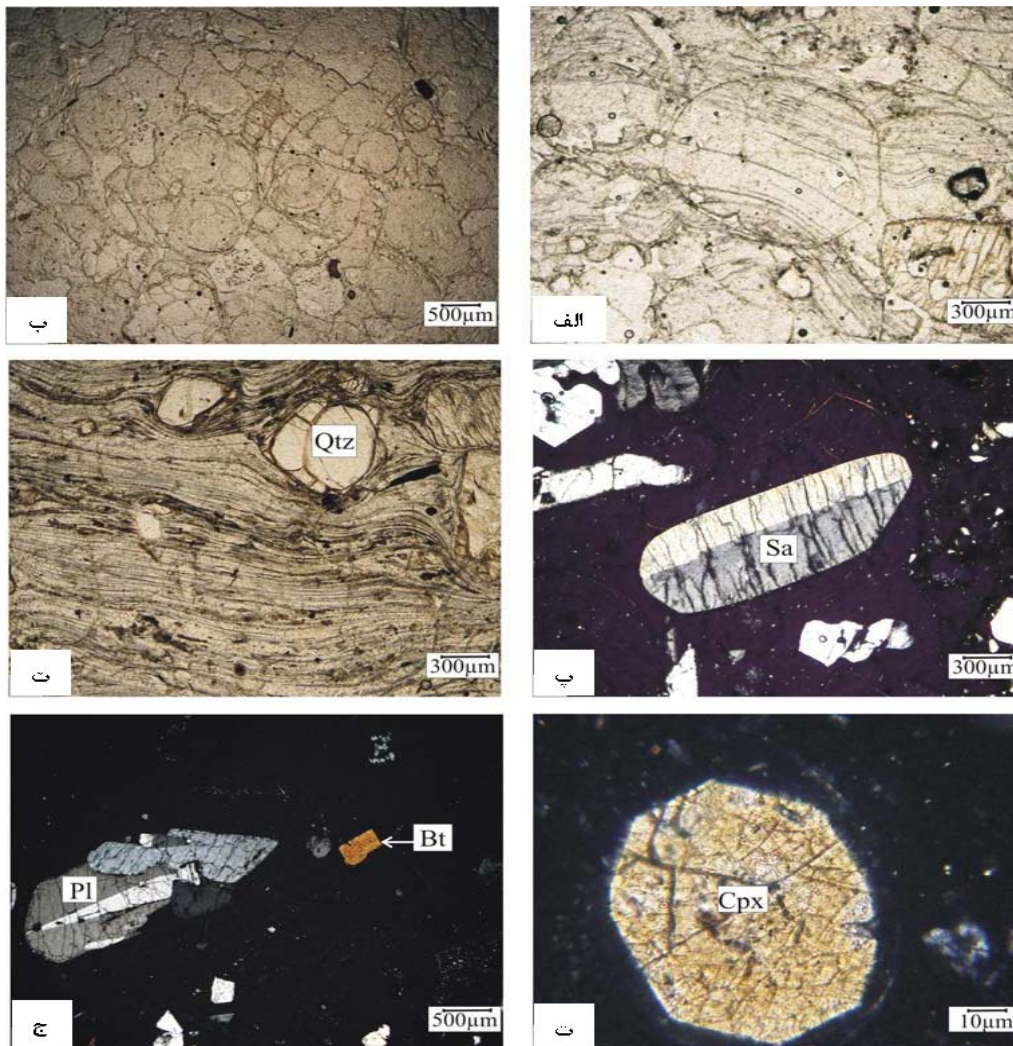
شکل ۵. ویژگی‌های پتروگرافی داسیت. ریوداسیت‌های مورد مطالعه: الف) وجود بافت غربالی در فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، ب) بافت‌های پورفیری با خمیره میکروکریستالین و اسفرولیتی پ، فنوکریست‌های نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل سانیدین و پلاژیوکلاز، ت) کوارتز دارای حاشیه خلیجی و بیوتیت ریز اکسید شده (XPL)؛ علائم اختصاری کانیها شامل Qtz: کوارتز، Bt: بیوتیت، Pl: پلاژیوکلاز و Sa: سانیدین می‌باشد.

شکستگی و خوردگی خلیجی می‌باشد. پلاژیوکلازها شکل (۶) بر مبنای اندازه‌گیری زاویه خاموشی، آلبیت و به ندرت الیگوکلاز تعیین گردید. وجود منطقه بندی و حاشیه خلیجی در این کانی رایج است. درصد مودال فلدسپارها بین ۲۰-۲۵

فنوکریست‌ها شامل فلدسپارها، کوارتز، بیوتیت، آمفیبول و پیروکسن می‌باشند. فلدسپارها فراوانترین فنوکریست، نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل و از نظر اندازه تا ۲ میلی متر می‌رسند. آکالی فلدسپار عمدتاً سانیدین بوده شکل (۶ ت)، گاهی دارای

خوردگی خلیجی و حاشیه‌های تیره در این کانی معمول است. با توجه به زاویه خاموشی و چندرنگی ضعیف، به نظر می‌رسد که پیروکسن از نوع اژیرین- اوژیت می‌باشد. این کانی یکی از اختصاصات سنگهای آذرین غنی از سدیم است [۲۹]. کانی کدر (اکسیدهای آهن) به مقدار کم (۱-۲ درصد) وجود دارد. هماتیت احتمالاً از دگرسانی کانیهای مافیک از جمله بیوتیت حاصل شده است. زمینه پرلیت که بخش عمده سنگ (۶۵-۷۰ درصد) را تشکیل داده، عمدتاً از سیلیس آمورف تشکیل شده است. در برخی نمونه‌ها، بلورهای بسیار ریز پلاژیوکلاز همراه بیوتیت در زمینه مشاهده می‌شود.

متغیر است. کوارتز با درصدهای مختلف (حدود ۵ درصد)، به صورت بلورهای بی‌شکل، شکسته شده و دارای خوردگی خلیجی مشاهده می‌شود. شکستگی فنوکریست‌ها نتیجه انتقال متلاطم ماگما در حین فوران یا بیرون ریزی ماگما می‌باشد [۲۸، ۱۲]. بیوتیت به صورت بلورهای ریز شکل (۶ ث)، نیمه‌شکل دار تا بی‌شکل، دارای چندرنگی شدید قهوه‌ای مایل به قرمز و برخی بلورها کدر، به میزان ۲ تا ۳ درصد وجود دارد. آمفیبول نیمه شکل‌دار، گاهی دارای ماکل، با چندرنگی قهوه‌ای مایل به سبز تیره به مقدار بسیار کم دیده می‌شود. فنوکریست ریز نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار پیروکسن با مقاطع هشت ضلعی شکل (۶ ج) به مقدار کم (۱-۲ درصد) وجود دارد.



شکل ۶. اختصاصات پتروگرافی پرلیت شمال غربی سربیشه: الف و ب) وجود شکستگیهای پرلیتی، پ) فنوکریست سانیدین در زمینه شیشه‌ای، ت) بافت پورفیری با خمیره شیشه‌ای جریان‌ی (ث) پیروکسن ریز شکل‌دار با مقاطع هشت ضلعی و ج) پلاژیوکلاز درشت و بیوتیت ریز (شکل‌های الف، ب و پ در PPL و بقیه در XPL می‌باشند).

ژئوشیمی

۷۵/۹۹ درصد متغیر بوده و در نمودار مجموع آلکانل در مقابل سیلیس [۳۰،۳۱] در محدوده‌های آندزیت بازالتی، داسیت و ریولیت قرار می‌گیرند (شکل ۷ الف).

نتایج آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) آورده شده است. میزان سیلیس سنگهای آتشفشانی شمال غربی سریشه بین ۵۳/۹۸ تا

جدول ۱. نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب سنگهای آتشفشانی شمال غربی سریشه (نتایج نمونه‌های Lu304 و Lu307 از [۱] می‌باشد. علایم اختصاری سنگها در جدول عبارتند از: Rh=Rhyolite .Rh(per)=Rhyolite(perlitic) .Da=Dacite .Ba=Basaltic andesite

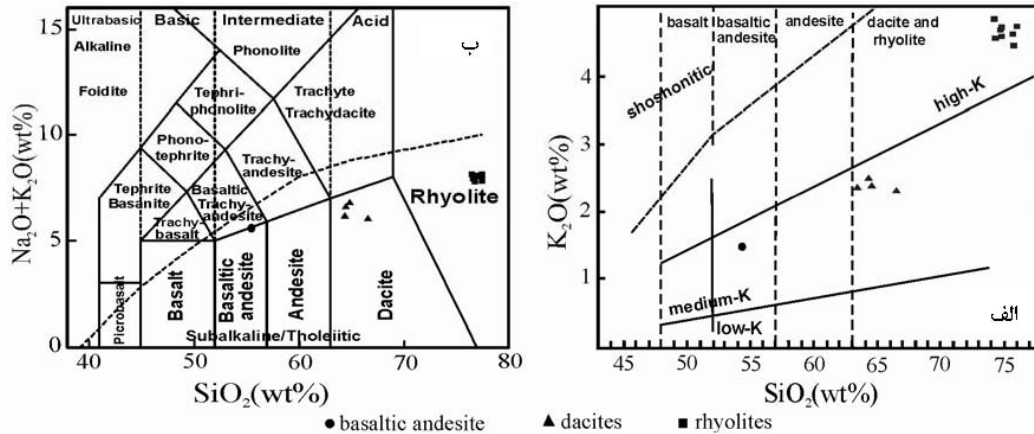
Sample	P-33	P-34	Sb-2	Sb-6	Sb-7	Sb-10	Sb-15
Rock type	Rh(per)	Rh	Da	Rh	Rh(per)	Ba	Rh(per)
Sample location	X ۵۹° ۴۴' ۱۱/۶"	۵۹° ۴۴' ۱۱"	۵۹° ۴۱' ۳۹/۹"	۵۹° ۴۱' ۴۶/۶"	۵۹° ۴۱' ۴۸/۵"	۵۹° ۴۱' ۵۳/۹"	۵۹° ۴۲' ۴/۶"
	Y ۳۲° ۳۹' ۰/۵"	۳۲° ۳۹' ۱"	۳۲° ۳۹' ۲۹"	۳۲° ۳۸' ۲۲/۹"	۳۲° ۳۸' ۲۲/۴"	۳۲° ۳۸' ۲۲/۷"	۳۲° ۳۸' ۲۷/۴"
(%)							
SiO ₂	۷۴/۶۷	۷۵/۶۵	۶۳/۷۰	۷۵/۷۶	۷۴/۳۱	۵۳/۹۸	۷۴/۷۳
TiO ₂	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۵	۱/۱۵	۰/۱۲
Al ₂ O ₃	۱۲/۰۲	۱۱/۹۵	۱۶/۸۴	۱۲/۲۰	۱۲/۲۵	۱۶/۷۰	۱۱/۹۸
TFeO	۱/۲۲	۱/۲۹	۴/۴۱	۱/۶۲	۱/۳۶	۶/۱۷	۱/۱۳
MnO	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۳
MgO	۰/۱۳	۰/۱۰	۱/۴۱	۰/۱۶	۰/۲۲	۴/۰۰	۰/۱۰
CaO	۰/۶۲	۱/۲۵	۴/۶۹	۰/۹۹	۰/۸۷	۹/۱۸	۰/۵۴
Na ₂ O	۲/۸۵	۳/۲۳	۴/۰۸	۳/۲۵	۳/۱۶	۴/۰۷	۳/۱۵
K ₂ O	۴/۶۸	۴/۶۱	۲/۴۳	۴/۴۴	۴/۵۵	۱/۴۹	۴/۷۱
P ₂ O ₅	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۶	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۴۱	۰/۰۲
LOI	۳/۵۱	۰/۸۰	۱/۰۲	۰/۶۹	۲/۹۵	۲/۵۵	۲/۹۳
Total	۹۹/۸۸	۹۹/۱۶	۹۹/۷۳	۹۹/۳۴	۹۹/۸۹	۹۹/۸۲	۹۹/۴۴
A/CNK	۱/۱۰	۰/۹۴	۰/۹۴	۱/۰۲	۱/۰۴	۰/۶۷	۱/۰۶
(ppm)							
Ba	۱۰۰	۱۰۰	۷۴۰	۲۵۰	۱۹۰	۷۸۰	۸۰
Rb	۲۱۵	۲۰۵	۸۰	۱۶۵	۱۸۳	۴۰	۲۰۷
Sr	۳۰	۴۰	۵۶۰	۷۰	۵۰	۷۷۰	۲۰
Zr	۱۱۳	۹۸	۲۳۴	۱۱۹	۱۲۶	۱۹۲	۹۸
Nb	۱۳	۱۳	۱۴	۱۳	۱۲	۱۷	۱۴
Y	۲۰/۵	۱۷/۹	۲۱/۷	۱۶/۳	۱۷/۹	۱۸/۷	۱۹/۸
Ni	۷	۷	۱۴	۷	۱۲	۵۵	۵
V	۱۱	۱۱	۶۶	۱۴	۱۷	۱۳۷	۱۰
Zn	۲۷	۲۲	۶۱	۲۴	۳۰	۷۷	۲۴
Cs	۲۲/۵	۲۰/۸	۵	۱۴/۳	۱۸/۶	۲/۵	۲۲/۶
Ta	۱/۶	۱/۶	۰/۹	۱/۲	۱/۳	۱	۱/۶
Hf	۴	۳	۵	۴	۴	۴	۴
Th	۳۵/۱	۳۵/۲	۱۲/۶	۳۲/۴	۳۲/۳	۵/۱	۳۵/۸
U	۷/۹۲	۵/۵۸	۲/۵۹	۵/۵۵	۶/۹	۱/۳۷	۷/۹۷
W	۶	۴	۲	۳	۴	۱	۵
Sn	۶	۷	۲	۵	۶	۲	۶
Ga	۱۳	۱۳	۱۷	۱۳	۱۳	۱۸	۱۳
Cu	۳۲	۲۹	۲۷	۱۷	۳۵	۵۳	۱۱
La	۳۶/۵	۳۵/۴	۳۲/۳	۳۵/۴	۳۶/۲	۲۶	۳۵/۶
Ce	۶۴/۳	۶۲/۵	۵۹/۴	۶۰/۹	۶۱/۵	۴۹/۷	۶۳
Pr	۶/۰۴	۵/۹۵	۶/۳۳	۵/۷۸	۵/۹۶	۵/۸	۶/۱۱
Nd	۱۸/۳	۱۸/۳	۲۲/۹	۱۷/۵	۱۷/۷	۲۲/۲	۱۸/۲
Sm	۳	۳/۱	۴/۲	۳	۳	۴/۳	۳
Eu	۰/۱۹	۰/۱۹	۱/۱۳	۰/۳۱	۰/۲۹	۱/۲	۰/۱۷
Gd	۲/۶۴	۲/۶۳	۳/۷۸	۲/۴۸	۲/۵۱	۳/۷۶	۲/۶۹
Tb	۰/۴۸	۰/۴	۰/۶۲	۰/۳۹	۰/۴۴	۰/۵۹	۰/۴۴
Dy	۳/۱۳	۲/۷۷	۳/۷۸	۲/۵۹	۲/۸۸	۳/۵	۳/۰۸
Ho	۰/۶۷	۰/۵۹	۰/۷۹	۰/۵۴	۰/۶	۰/۶۷	۰/۶۹
Er	۲/۰۴	۱/۹۴	۲/۲۴	۱/۶۷	۱/۸۸	۱/۹۶	۲/۱۲
Tm	۰/۳۴	۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۳۳
Yb	۲/۳	۲/۱	۲/۳	۱/۹	۲/۱	۱/۷	۲/۴
Lu	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۳۶
Eu/Eu*	۰/۳۱	۰/۲۰	۰/۸۷	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۹۱	۰/۱۸
(La/Yb) _N	۱۰/۷۰	۱۱/۳۶	۹/۴۷	۱۲/۶۴	۱۱/۶۲	۱۰/۳۲	۱۰

ادامه جدول ۱.

Sample	Sb-19	Sb-21	Sp-26	Sp-27	Lu304	Lu307	
Rock type	Rh(per)	Rh	Rh(per)	Da	Da	Da	
Sample location	X	۴۲° ۵۱' ۸"	۴۲° ۵۱' ۸"	۵۹° ۴۳' ۱۳/۱"	۵۹° ۴۳' ۱۳/۶"	۱۲ کیلومتری شمال غرب سربیشه	۵ کیلومتری شرق مود
	Y	۳۲° ۳۸' ۳۰/۸"	۳۸' ۳۲"	۳۲° ۳۹' ۲۴/۶"	۳۲° ۳۹' ۳۲/۶"		
(%)							
SiO ₂	۷۴/۱۷	۷۵/۹۹	۷۴/۷۴	۶۲/۸۹	۶۲/۷۹	۶۵/۹۰	
TiO ₂	-/۱۵	-/۱۲	-/۱۳	-/۸۴	-/۷۷	-/۵۶	
Al ₂ O ₃	۱۲/۳۳	۱۲/۰۷	۱۲/۰۵	۱۶/۵۸	۱۶/۰۸	۱۵/۸۹	
TFeO	۱/۴۱	۱/۱۵	۱/۲۰	۴/۵۴	۴/۳۶	۳/۵۹	
MnO	-/۰۳	-/۰۲	-/۰۳	-/۰۸	-/۰۸	-/۰۷	
MgO	-/۲۰	-/۲۳	-/۱۴	۱/۵۳	۲/۳۲	۲/۱۵	
CaO	-/۷۱	-/۹۱	-/۵۸	۴/۰۵	۴/۸۰	۴/۶۶	
Na ₂ O	۳/۰۶	۳/۲۵	۳/۰۶	۴/۳۵	۳/۷۲	۳/۷۳	
K ₂ O	۴/۸۳	۴/۷۲	۴/۵۷	۲/۳۲	۲/۲۹	۲/۲۴	
P ₂ O ₅	-/۰۳	-/۰۲	-/۰۲	-/۲۵	-/۲۱	-/۱۸	
LOI	۲/۸۹	-/۷۹	۳/۴۲	۱/۳۵	۱/۹۱	-/۴۳	
Total	۹۹/۸۱	۹۹/۲۷	۹۹/۹۶	۹۹/۷۸	۹۹/۳۳	۹۹/۴۰	
A/CNK	۱/۰۶	-/۹۹	۱/۰۹	-/۹۷	-/۹۳	-/۹۳	
(ppm)							
Ba	۱۷۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۰۰	۳۶۳	۴۴۷	
Rb	۱۸۶	۲۱۰	۲۰۶	۹۹	۱۰۵	۶۸	
Sr	۵۰	۵۰	۳۰	۳۵۰	۳۴۱	۳۵۵	
Zr	۱۱۹	۹۸	۱۰۷	۲۵۰	۲۶۴	۱۹۲	
Nb	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۸	
Y	۱۸/۱	۱۷/۹	۲۰/۳	۲۳/۹	۳۵	۱۹	
Ni	۱۷	۶	۲۰	۱۱	۶	۱۹	
V	۲۲	۱۶	۲۳	۷۵	۷۸	۶۳	
Zn	۲۹	۲۰	۲۸	۵۸	---	---	
Cs	۱۹/۸	۱۷/۴	۲۱/۹	۹/۹	---	---	
Ta	۱/۳	۱/۵	۱/۴	۱/۱	---	---	
Hf	۴	۳	۴	۵	---	---	
Th	۳۳/۹	۳۵/۵	۳۴/۵	۱۴/۸	---	---	
U	۷/۰۹	۴/۹	۷/۶۷	۳/۳۷	---	---	
W	۴	۴	۴	۲	---	---	
Sn	۶	۵	۷	۴	---	---	
Ga	۱۳	۱۳	۱۴	۱۷	---	---	
Cu	۱۷	۱۷	۸	۲۱	---	---	
La	۳۷/۷	۳۴/۷	۳۶/۴	۳۳/۹	۴۶	۳۴	
Ce	۶۲/۸	۶۰/۳	۶۲/۱	۶۳/۶	۸۰	۲۳	
Pr	۶/۰۷	۵/۹۲	۶/۱	۶/۷۱	---	---	
Nd	۱۸/۶	۱۷/۷	۱۸/۷	۲۴/۳	۳۰	۱۴	
Sm	۳/۲	۳/۹	۳/۳	۴/۵	---	---	
Eu	-/۲۸	-/۱۷	-/۲۱	۱/۱۲	---	---	
Gd	۲/۵۹	۲/۴۷	۲/۷۴	۴/۲۵	---	---	
Tb	-/۴۵	-/۴۱	-/۴۶	-/۶۹	---	---	
Dy	۲/۸۷	۲/۹۴	۳/۰۱	۴/۲۳	---	---	
Ho	-/۶	-/۶	-/۶۴	-/۸۲	---	---	
Er	۱/۸۷	۱/۷۵	۱/۹۷	۲/۴۹	---	---	
Tm	-/۲۹	-/۲۸	-/۲۸	-/۳۶	---	---	
Yb	۲/۱	۲/۱	۲/۳	۲/۵	---	---	
Lu	-/۳۲	-/۳۲	-/۳۶	-/۴	---	---	
Eu/Eu*	-/۳۰	-/۱۹	-/۲۱	-/۷۸	---	---	
(La/Yb) _N	۱۲/۱۰	۱۱/۱۴	۱۰/۶۷	۹/۱۴	---	---	

داسیت‌ها در قلمرو کالک‌آلکان پتاسیم متوسط و ریولیت‌ها در محدوده پتاسیم بالا واقع می‌شوند (شکل ۷ ب).

این سنگها بر اساس خط جداکننده محدوده‌های آلکان و ساب آلکان/ تولیتی دارای ماهیت غیر آلکان هستند. در نمودار K_2O در مقابل SiO_2 [۳۲،۳۱]، نمونه آندزیت بازالتی و



شکل ۷. موقعیت قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در (الف) نمودار K_2O در مقابل SiO_2 [۳۱،۳۲].
 (ب) نمودار مجموع آلکان در مقابل سیلیس [۳۰،۳۱]

کندریت [۳۹] برای سنگهای آتشفشانی شمال غربی سربیشه در شکل (۸) نشان داده شده است. سنگهای مورد مطالعه، غنی شدگی LILE (به استثنای Ba) و آنومالی منفی Nb نشان می‌دهند شکل (۸ الف) که از خصوصیات عمده ماگماهای وابسته به زون فرورانش می‌باشد [۴۱،۴۰،۳۳]. ریولیت‌ها در مقایسه با داسیت‌ها و آندزیت بازالتی، تهی‌شدگی بیشتری در P، Sr، Ba و Ti دارند (شکل ۸ الف). آنومالی منفی Ba در فازهای اسیدی، می‌تواند بیانگر تفریق فلدسپارها [۴۲] و یا نقش پوسته قاره‌ای بالایی در فرآیندهای ماگمایی [۴۱] باشد. Sr در حین فرآیندهای ماگمایی، وارد بخشهای جدا شده در مرحله میانی گردیده و لذا در سنگهای حدواسط غنی می‌شود. همان‌گونه که انتظار می‌رود، بیشترین میزان Sr در سنگهای مورد مطالعه مربوط به نمونه آندزیت بازالتی است. تهی‌شدگی بارز P و Ti در ریولیت‌ها به تفریق آپاتیت و تیتانومگنتیت و غنی شدگی Th و U در این سنگها شکل (۸ الف) احتمالاً به آلودگی پوسته‌ای یا خصوصیات منشأ وابسته است [۴۱]. نمودار عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت [۳۹] برای سنگهای آتشفشانی مورد مطالعه شکل (۸ ب)، الگوی مشابهی را برای آندزیت بازالتی و داسیت‌ها نشان داده، با غنی شدگی LREE در مقایسه با HREE و آنومالی منفی ضعیف Eu مشخص می‌گردد. آنومالی منفی Eu برای

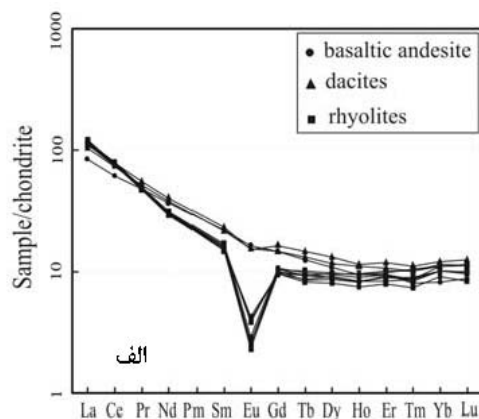
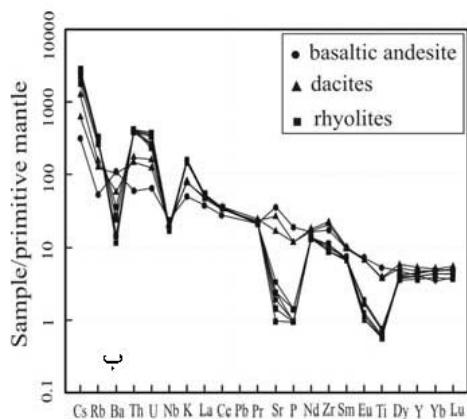
سنگهای آتشفشانی کالک‌آلکان (آندزیت- داسیت- ریولیت) محصولات عمده محیطهای تکتونیکی مرزهای صفحات همگرا می‌باشند [۳۳]. بررسی عناصر اصلی ۵ نمونه از ریولیت‌های شیشه‌ای (پرلیت) شمال غربی سربیشه که در جدول (۱) آمده، بیانگر محتوای سیلیس بالا (میانگین ۷۴/۵۲ درصد)، Al_2O_3 (۱۲/۳۳-۱۱/۹۸٪)، Fe_2O_3 (۱/۴۱-۱/۱۳٪)، CaO (۰/۸۷-۰/۵۴٪)، Na_2O (۲/۸۵-۳/۱۶٪)، K_2O (۴/۵۵-۴/۸۳٪) و میزان LOI (۳/۵۱-۲/۸۹٪) می‌باشد. با توجه به این که میزان کانیهای آب دار در این سنگها کم است، می‌توان ادعا کرد که بخش عمده LOI، عبارت از آب موجود همراه شیشه است. محتوای عناصر اصلی و آب، تعیین کننده خصوصیات شیمیایی پرلیت بوده و در تعیین کاربردهای صنعتی آن دخالت دارد. پرلیت صنعتی خوب دارای بیش از ۶۵ درصد سیلیس و آب میانگین حدود ۲/۵ درصد می‌باشد [۱۵،۱۲]. در جدول (۲)، مقادیر میانگین تعدادی از عناصر اصلی ۵ نمونه پرلیت از منطقه سربیشه با ترکیب شیمیایی پرلیت گناباد و نمونه‌هایی از مناطق مختلف دنیا مقایسه گردیده است. بررسی نتایج، حاکی از مشابهت محتوای عناصر مهم سنگهای پرلیتی سربیشه با پرلیت‌های صنعتی گناباد در جنوب خراسان رضوی و سایر نقاط دنیا است. الگوهای عناصر کمیاب بهنجار شده با گوشته اولیه [۳۸] و عناصر نادر خاکی بهنجار شده با

می‌دهند که ویژگی اخیر، شاهدی از تفریق فلدسپارهاست. وجود آنومالی منفی Eu از ویژگیهای گدازه‌های کالک‌آلکان است [۴۳].

آندزیت بازالتی ($Eu/Eu^*=0.91$) و برای داسیت‌ها (0.87) - $Eu/Eu^*=0.78$) می‌باشد. ریولیت‌ها در مقایسه با داسیت‌ها و آندزیت بازالتی، غنی‌شدگی بیشتر عناصر نادر خاکی سبک و آنومالی منفی قوی Eu ($Eu/Eu^*=0.18-0.35$) را نشان

جدول ۲. مقایسه میانگین ترکیب شیمیایی پرلیت شمال غربی سریش با نمونه‌های پرلیت مناطق مختلف دنیا.

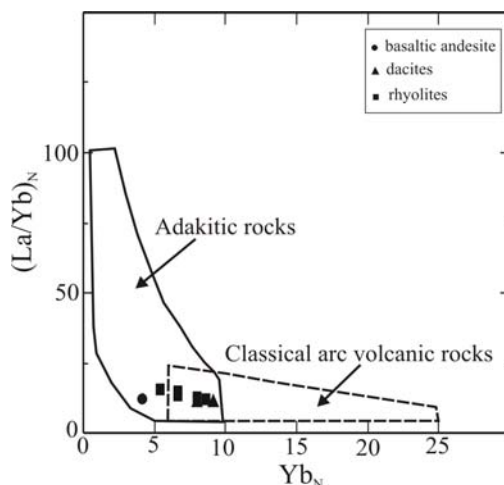
محل اکسید %	یوگسلاوی [۳۴]	کره [۳۵]	نیوسکزیکو [۳۶]	آریزونا [۳۶]	کالیفرنیا یا [۳۶]	ژاپن [۳۶]	بلغارستان [۳۶]	آرژانتین [۳۶]	یمن (میاتگین نمونه ۵) [۱۲]	گناباد-ایران [۳۷]	میاتگین ۵ نمونه از پرلیت های مورد مطالعه
SiO ₂	۷۱/۷۳	۶۹/۰۱	۷۲/۱۰	۷۳/۶۰	۷۳/۶۰	۷۴/۲۰	۷۳/۸	۷۲/۳۰	۶۹/۶	۷۱/۵	۷۴/۵۲
Al ₂ O ₃	۱۳/۶۴	۱۴/۲۱	۱۳/۵۰	۱۲/۷۰	۱۳/۲۰	۱۲/۹۰	۱۲/۸	۱۳/۴۰	۱۱/۱۵	۱۱/۷	۱۲/۱۳
TiO ₂	n.d.	۰/۲۲	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۸	n.d.	۰/۱۸	۰/۱۴
Fe ₂ O ₃	۱/۷۱	۱/۴۵	۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۸۰	۰/۶۸	۰/۵۶	۱	۳/۰۷	۱/۴۵	۱/۲۶
MgO	۰/۵۶	۰/۳۹	۰/۵۰	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۳۰	۰/۶۴	۰/۱۲	۰/۱۶
CaO	n.d.	۱/۵۷	۰/۸۹	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۴۵	۰/۱۵	۰/۵۹	۱/۴	<۱/۳	۰/۶۶
Na ₂ O	۳/۵۵	۳/۲	۴/۶۰	۳/۲۰	۴/۱۰	۴/۱۰	۳	۳/۴۰	۳/۸۶	۳/۵۹	۳/۰۶
K ₂ O	۴/۱۵	۳/۹۴	۴/۴۰	۵	۴/۱۰	۴	۴/۹	۴/۷۰	۳/۷۸	۴/۶۳	۴/۶۷
LOI	۳/۴۷	۵/۷۷	۳/۰۰	۳/۸۰	۳/۳۰	۳/۳۰	۴	۳/۷۰	۲/۱۵	۴/۵۸	۳/۱۴



شکل ۸. الف) الگوی عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت [۳۹]، ب) نمودار عناصر کمیاب بهنجار شده با گوشته اولیه [۳۸] برای سنگهای آتشفشانی شمال غربی سریش.

این مورد از نمودار $(La/Yb)_N$ در مقابل Yb_N [۴۴، ۴۳] استفاده گردید. بر این اساس، اغلب سنگهای مورد مطالعه در قلمرو مشترک آداکیت‌ها و سنگهای کالک‌آلکان معمولی قرار گرفته‌اند (شکل ۹).

با وجود این که سنگهای گدازه‌های شمال غربی سریش دارای ترکیب آندزیتی تا ریولیتی بوده و از این دیدگاه قابل مقایسه با آداکیت‌ها [۴۳] می‌باشند، اما بررسی عناصر اصلی و کمیاب آنها نشان می‌دهد که شباهت چندانی (به استثنای میزان SiO_2) با آداکیت‌ها ندارند. برای نتیجه‌گیری بهتر در



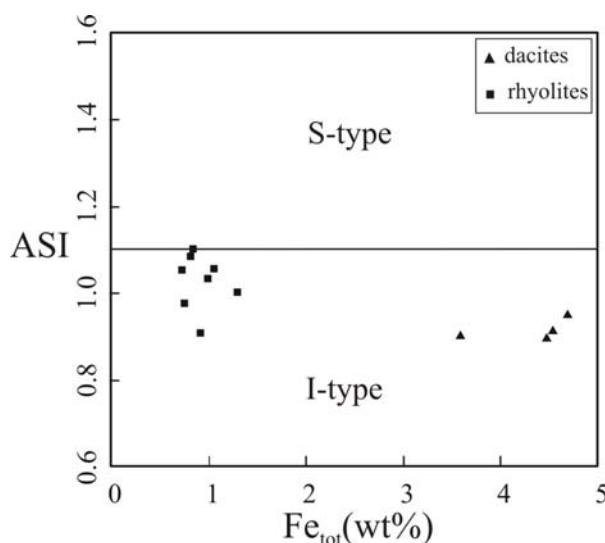
شکل ۹. موقعیت سنگهای گدازه‌ای شمال غربی سربیشه در نمودار $(La/Yb)_N$ در مقابل Yb_N [۴۳، ۴۴].

بحث

خصوصیات منشأ

مقادیر شاخص اشباع از آلومین $ASI = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ برای سنگهای مورد مطالعه ۰/۶۷ - ۱/۱ بوده که بیانگر ماهیت متآلومین آنهاست. برای تعیین منشأ سنگهای اسیدی شمال غرب سربیشه از نمودار ASI در مقابل درصد وزنی Fe_{tot} [۴۵] استفاده گردید. همان گونه که در شکل (۱۰) دیده می‌شود، این سنگها در قلمرو سنگهای اسیدی نوع I قرار گرفته‌اند. پذیرفتاری مغناطیسی گرانیتوئیدهای سری ایلمنیت در محدوده SI 10^{-5} تا 10^{-4} و گرانیتوئیدهای سری مگنتیت در

قلمرو SI 10^{-3} تا 10^{-2} می‌باشد [۴۶-۴۸]. سنگهای آتشفشانی اسیدی دارای پذیرفتاری مغناطیسی ۱۰۰ تا SI 5.00×10^{-5} ، انواع حدواسط اغلب دارای مقادیر بیشتر از ۲۰۰ تا SI 1.000×10^{-5} و پذیرفتاری مغناطیسی سنگهای بازیگ در محدوده ۵۰۰ تا SI 2.000×10^{-5} می‌باشد [۴۹]. نتایج پذیرفتاری مغناطیسی سنگهای مورد مطالعه در جدول (۳) آورده شده است. مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی این سنگها در قلمرو سنگهای آتشفشانی اسیدی- حدواسط و قابل مقایسه با گرانیتوئیدهای سری مگنتیت بوده که منشأ I را برای آنها تأیید می‌نماید.



شکل ۱۰. رابطه بین ASI و درصد وزنی Fe_{tot} [۴۵] برای سنگهای آتشفشانی اسیدی شمال غربی سربیشه. خط $ASI=1/1$ ، نمودار را به دو بخش سنگهای اسیدی نوع I و S تقسیم نموده است.

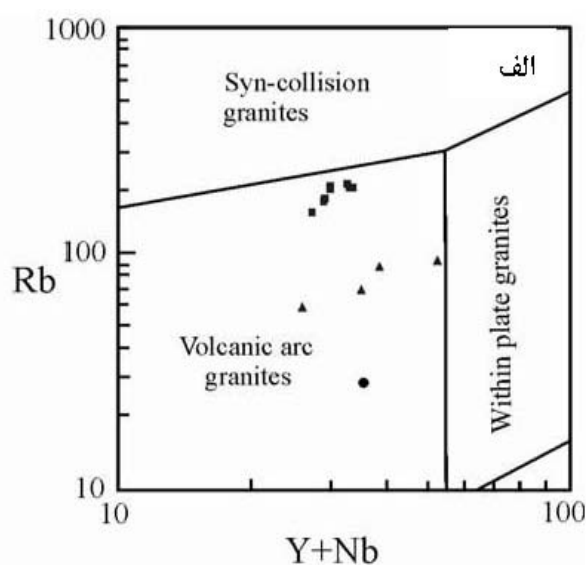
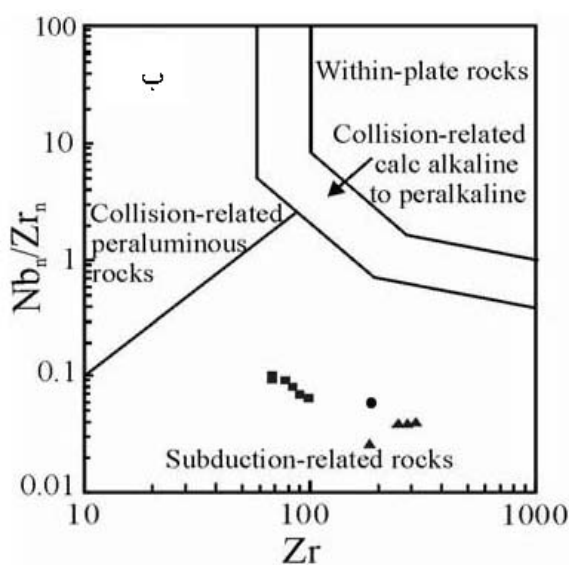
جدول ۳. مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی سنگهای مورد مطالعه با استفاده از دستگاه حساسیت سنج مغناطیسی مدل GMS-2.

Rock type	Susceptibility(SI Units)
ریولیت	1.04×10^{-5}
ریولیت	1.82×10^{-5}
داسیت	1.58×10^{-5}
داسیت	3.91×10^{-5}
آندزیت	5.08×10^{-5}

محیط تکتونیکی

آندزیت، داسیت و ریولیت‌ها در محیطهای مختلف تکتونیکی یافت می‌شوند، اما عمدتاً در مناطق فرورانش (قوس جزیره و حاشیه‌های قاره‌ای فعال) وجود داشته و ترکیب آنها در این گونه محیطها به فرآیندهای داخلی در مرزهای همگرا بستگی دارد [۵۰]. فورانهای عظیم ماگمای سیلیسی از آتشفشانهای کمان معمولاً بیانگر تخلیه حجره ماگمایی سطح بالا بوده که ماگمای سیلیسی از تفریق ماگمای مادر بازالتی یا آندزیتی یا در اثر ذوب پوسته‌ای، تجمع و تکامل پیش از فوران، حاصل می‌شود [۵۱]. خصوصیات شیمیایی سنگهای آتشفشانی

شمال غربی سربیشه نظیر غنی‌شدگی LILE، LREE و آنومالی منفی Nb و Ti بیانگر ماگماهای وابسته به فرورانش است [۵۲، ۴۱، ۴۰، ۳۳، ۳۲]. نمودار Nb_n/Zr_n در مقابل Zr [۵۳] که در آن محتوای Nb و Zr نمونه‌ها نسبت به مقادیر Nb و Zr گوشته اولیه [۵۴] بهنجار شده، حاکی از وابستگی آنها به محیط فرورانش شکل (۱۱ الف) و نمودار Rb در مقابل $Y+Nb$ [۵۵] بیانگر موقعیت کمان آتشفشانی شکل (۱۱ ب) برای آنها است.

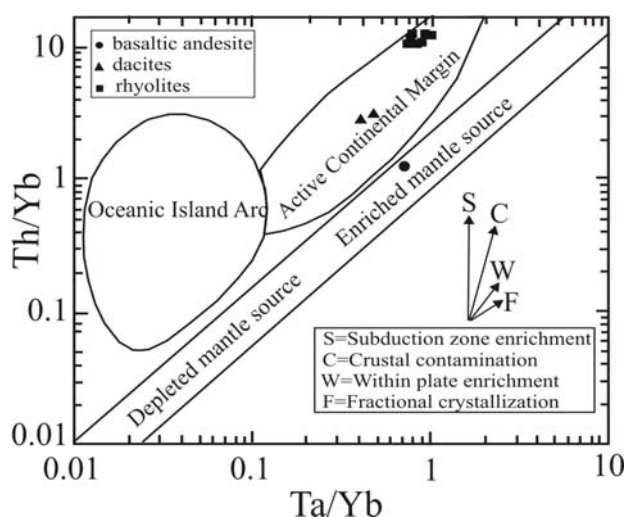


● basaltic andesite ▲ dacites ■ rhyolites

شکل ۱۱. الف) نمودار Rb در مقابل $Y+Nb$ [۵۵] (ب) نمودار Nb_n/Zr_n در مقابل Zr [۵۳]؛ محتوای Nb و Zr نمونه‌ها نسبت به مقادیر Nb و Zr گوشته اولیه [۵۴] بهنجار شده است برای سنگهای مورد مطالعه.

دار (فوق بحرانی) یا مذابهای بخشی اولیه حاصل از رسوبات و یا پوسته بازالتی فرورانده شده به گوه گوشته‌ای بوده که سبب پایین آوردن سالییدوس گوشته و تولید ماگمای می‌شود [۵۷،۳۳]. نسبت $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ همراه با سایر پارامترهای ژئوشیمیایی برای نتیجه‌گیری درباره منشأ ماگما و تغییرات بعدی آن در حین بالا آمدن ماگما مفید است. داسیت‌های منطقه سربیشه دارای $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ پایین ۰/۷۰۴۹ و ۰/۷۰۵۴ (میانگین ۰/۷۰۵۲) می‌باشند [۱]. با توجه به این که سنگهای مورد مطالعه بر روی بازالت‌های مود با سن ۳۱/۴ میلیون سال قرار گرفته اند (فرض حداقل سن ۳۱ میلیون سال)، نسبتهای اولیه باید بین ۰/۷۰۴۸ و ۰/۷۰۵۰ (میانگین ۰/۷۰۴۹) باشد [۱]. بنابراین، می‌توان منشأ گوشته‌ای را برای ماگمای سازنده آنها در نظر گرفت.

برای تشخیص این که سنگهای آتشفشانی شمال غربی سربیشه در محیط قوس جزیره اقیانوسی یا در جایگاه تکتونیکی حاشیه قاره‌ای فوران نموده‌اند، از نمودار Th/Yb در مقابل Ta/Yb [۵۶،۳۲] استفاده گردید. بر پایه این نمودار، مشخص گردید که این سنگها متعلق به حاشیه قاره‌ای فعال بوده شکل (۱۲) و ماگمای مادر آنها در اثر ذوب بخشی منشأ گوشته غنی شده حاصل شده است. همان گونه که ملاحظه می‌گردد، نسبت Th/Yb برای داسیت‌ها و ریولیت‌ها نسبت به گوشته، بالاتر بوده که به فرآیندهای وابسته به فرورانش نسبت داده می‌شود. ماگمای کمان عمدتاً در اثر ذوب بخشی در گوه گوشته‌ای وابسته به فرورانش، به دلیل اضافه شدن اجزای متاسوماتیک آزاد شده از لیتوسفر اقیانوسی فرورونده به وجود می‌آیند. شاره‌های متاسوماتیک ممکن است شامل سیال آب



شکل ۱۲. نمودار Th/Yb در مقابل Ta/Yb [۳۲،۵۶] و موقعیت سنگهای مورد مطالعه.

یا گروههای هیدروکسیل مطرح می‌باشند. میزان آب‌گیری شیشه‌ها به عواملی نظیر PH، حضور کاتیون‌ها در آب، رطوبت، نوع شیشه، دما، نفوذپذیری (وابسته به درزه‌ها و گسلها) بستگی دارد [۵۹،۶۰]. بررسی نمونه‌های پرلیت نشان داده است که با پیشرفت فرآیند پرلیتی شدن، محتوای مواد فرآر کل افزایش می‌یابد که مؤید پرلیتی شدن در اثر ورود آبهای خارجی است [۵۸]. مقدار LOI نمونه‌های پرلیت شمال غرب سربیشه ۲/۸۹ تا ۳/۵۱ درصد بوده جدول (۱) که با افزایش کیفیت نمونه‌ها، بر مقدار آن افزوده شده و مؤید رخداد آب‌گیری شیشه‌ها در منطقه است. با توجه به این که برخی از پژوهشگران منشأ ماگمایی را نیز برای آب موجود در پرلیت

این ادعا به کمک مقادیر بالای پذیرفتاری مغناطیسی سنگهای مورد مطالعه نیز تأیید می‌گردد. فوران انفجاری ماگمای ریولیتی و سرد شدن سریع آن، برش‌های آتشفشانی و شیشه سنگهای اسیدی را تشکیل داده است. شیشه‌های آتشفشانی با ترکیب ریولیتی و داسیتی می‌تواند در اثر آب‌گیری، دگرسان شده و پرلیت را تشکیل دهد که دارای ترکیب فراوان متقاطع و منحنی بوده و هسته‌هایی از شیشه سالم را احاطه می‌نماید [۵۸]. فرآیند پرلیتی شدن نوعی دگرسانی دمایی پایین (حدود ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) شیشه (ابسیدین- ویتروفیر) به وسیله آبهای جوی می‌باشد [۶۰-۱۲، ۵۸]. آبهای جوی، بسته به محتوای آب کل و دمایی آب‌گیری به صورت آب مولکولی

جدول (۴) آورده شده است. همچنین، مقداری از نمونه تبدیل به پودر حدود ۰/۵ میلی متر گردید که پس از پختن در کوره مخصوص، کاملاً شکوفا شده و پرلیت منبسط با وزن مخصوص 0.38 gr/cm^3 ایجاد شد. نتایج به دست آمده از آزمایشهای فیزیکی و تجزیه شیمیایی، نشان می‌دهد که این نمونه‌ها می‌تواند به عنوان مواد اولیه برای تولید پرلیت منبسط به کار گرفته شود. زیرا مقدار آب حبس شده در آن در حدی است (میانگین ۳ درصد) که بتواند در حرارت حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد به صورت بخار متراکم در آمده و پس از فرار از داخل ذرات، پرلیت با خلل و فرج فراوان ایجاد نماید. بر این اساس، پرلیت سربیشه از نوع پرلیت مرغوب بوده و قابلیت کاربرد در صنایع مختلف را دارد.

مطرح کرده‌اند [۱۲]، مطالعات ایزوتوپی هیدروژن و اکسیژن آب ترکیب شده در ساختار پرلیت برای تعیین منشأ آن ضروری به نظر می‌رسد.

بررسی خصوصیات فیزیکی و کاربرد صنعتی پرلیت سربیشه
یکی از خصوصیات مهم پرلیت این است که به هنگام حرارت دادن، حجم آن تا حدود ۲۰ برابر حجم اولیه افزایش یافته و به دانه‌های سفید رنگ و خیلی سبک تبدیل می‌شود. عامل مهم انبساط، وجود ۲ تا ۵ درصد آب ترکیبی می‌باشد. از ویژگیهای پرلیت منبسط، چگالی پایین، هدایت حرارتی پایین و قابلیت جذب بالاست [۱۲، ۳۴]. این ویژگیها سبب کاربردهای متعدد پرلیت در صنایع گوناگون گردیده که در مقدمه به برخی از آنها اشاره شد. به منظور بررسی ویژگیهای فیزیکی پرلیت سربیشه، ۲ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آن در

جدول ۴. نتایج آزمایشات فیزیکی نمونه‌های پرلیت معدن شمال غرب سربیشه.

درجه حرارت پیش گرم: ۳۰۰ درجه سانتی گراد درجه حرارت پخت: ۷۰۵ درجه سانتی گراد حجم نمونه‌ها در استوانه مدرج ۱۰۰ سی سی انتخاب شده است.			
شماره نمونه	نمونه I	نمونه II	
وزن پرلیت خام	۱۱۳/۶۸	۱۱۴/۲۱	
وزن پرلیت پخته	۱۰/۸۳	۱۰/۵۴	
چگالی پرلیت خام gr/cc	۱/۱۳۶۸	۱/۱۴۲۱	dm=۱/۱۴ میانگین چگالی پرلیت خام
چگالی پرلیت پخته gr/cc	۰/۱۰۸۳	۰/۱۰۵۴	dm'=۰/۱۱ میانگین چگالی پرلیت پخته
ER= dm/ dm'= ۱/۱۴ / ۰/۱۱ = ۱۰/۴ ضریب انبساط حجمی			

نتیجه‌گیری

فعالیت‌های آتشفشانی ترشیری (ائوسن- الیگوسن تا پلیوسن) در شمال غربی سربیشه به صورت گندهایی با ترکیب حدواسط تا اسیدی به همراه نهشته‌های آذرآوری شامل توف و ایگنمبریت رخنمون دارند. مشاهدات صحرائی بیانگر این است که سنگهای آتشفشانی مورد مطالعه، پوشاننده بازالت‌های مود با سن ۳۱/۴ میلیون سال بوده و لذا جوانتر از آنها می‌باشند. گدازه‌های ریولیتی شیشه‌ای، فرآیند پرلیتی شدن را تحمل نموده و دارای ترکهای کروی و منحنی بوده که هسته‌هایی از شیشه سالم را احاطه نموده است. با پیشرفت فرآیند پرلیتی شدن (افزایش کیفیت نمونه‌ها)، مقدار LOI نمونه‌های پرلیت افزایش یافته که مؤید رخداد آب‌گیری شیشه‌هاست. ستون

چینه سنگی محدوده معدن پرلیت سربیشه از پایین به بالا شامل پرلیت (لایه A)، ریولیت- داسیت با ویژگی توفی- ایگنمبریتی، پرلیت (لایه B)، ریوداسیت، پرلیت (لایه C) و آندزیت بازالتی- پیروکسن آندزیت است. وجود بافت‌های عدم تعادل در کانیهای سنگهای مورد مطالعه احتمالاً ناشی از صعود سریع ماگما، کاهش فشار حاکم بر ماگما، از دست دادن سریع مواد فرار در حین فوران و فرایندهای آلابش می‌باشد. مقایسه مقادیر عناصر اصلی نمونه‌های پرلیت سربیشه با نمونه‌هایی از ایران و مناطق مختلف دنیا، حاکی از کیفیت مطلوب و مشابهت آنها با پرلیت‌های تجاری است. خصوصیات شیمیایی سنگهای آتشفشانی شمال غربی سربیشه نظیر غنی‌شدگی LREE، LILE، و آنومالی منفی Nb و Ti بیانگر

Geological Survey and Mineral Resources Board, Sana'a Yemen (2003) Report 47-52.

[10] Kogel J. E., Trivedi N. C., Barker J. M., Krukowski S. T., "Industrial Minerals and rocks, commodities, markets and uses", Society for mining, metallurgy and exploration, Inc (SME) (2006) 685-702.

[11] Tait M. A., Cas R. A. F., Viramonte J. G., "The origin of an unusual tuff ring of perlitic rhyolite pyroclasts: The last explosive phase of the Ramadas Volcanic Centre, Andean Puna, Salta, NW Argentina", Journal of Volcanology and Geothermal Research 183 (2009) 1-16.

[12] Al-Mashaikie Sa'ad Z. A. K., Al-Hawbanie Ali M., "Petrography and Geochemical Study of the Perlite Rocks from Bait Al-Qeyarie, Kawlan Area, Yemen", JAKU: Earth Science Vol 21 No 2(2010) 195-217.

[13] Davis B. K., McPhie J., "Spherulites, quench fractures and relict perlite in a Late Devonian rhyolite dyke, Queensland, Australia", Journal of Volcanology and Geothermal Research 71 (1) (1996) 1-11.

[14] McPhie J., Doyle M., Allen R., "Volcanic Textures; A Guide to the Interpretation of Textures in Volcanic Rocks", University of Tasmania, Launceston (1993) 196.

[15] Jessica E. K., Nikhil C. T., James M. B., Stanley T. K., "Industrial Minerals and Rocks, Commodities, Markets and Uses. 7th edition", Published by Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc (SEM), Littleton, Colorado USA (2006) 685-702.

[۱۶] وثوقی عابدینی م.، "بررسی پترولوژیکی و تکتونوماگمایی بازالت‌های سنوزوئیک خاور ایران (خراسان)"، مجله علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۲۴-۲۳ (۱۳۷۶) ص ۱۶-۳۱.

[۱۷] قربانی ق.، "بررسی ژئوشیمیایی و پتروژنتیکی ولکانیک های جوان (نتوژن-کواترنر) منطقه بیرجند"، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۷۷).

[۱۸] محمدی س. س.، نخعی م.، "معرفی ذخایر پرلیت منطقه بیرجند"، همایش شناخت توانمندیهای معدنی شرق کشور، دانشگاه صنایع و معادن ایران- مرکز بیرجند (۱۳۷۸).

[۱۹] قربانی ق.، "بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی الیوین بازالت‌های منطقه مود (شرق بیرجند)"، چهاردهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه بیرجند (۱۳۸۵).

وابستگی ماگمای سازنده آنها به مناطق فرورانش است. آنومالی منفی Ba در فازهای اسیدی، می‌تواند بیانگر تفریق فلدسپارها و یا نقش پوسته قاره‌ای بالایی در فرآیندهای ماگمایی باشد. همان گونه که انتظار می‌رفت، بیشترین میزان Sr در سنگهای مورد مطالعه مربوط به نمونه آندزیت بازالتی است. تهی‌شدگی بارز P و Ti در ریولیت‌ها به تفریق آپاتیت و تیتانومگنتیت و غنی‌شدگی Th و U در این سنگها احتمالاً به آلودگی پوسته‌ای یا خصوصیات منشأ وابسته است. مطالعات ایزوتوپی هیدروژن و اکسیژن آب ترکیب شده در ساختار پرلیت، برای تعیین منشأ آن ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

[1] Jung D., Keller J., Khorasani R., Marcks Chr., Baumann A., Horn P., "Petrology of the Tertiary magmatic activity the northern Lut area, East of Iran", Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran No 51(1983) 285-336.

[2] Nazari H., Salamati R., "Geological map of Sarbisheh(1/100000)", Sheet 7955 Geological survey of Iran(1999).

[3] Karimpour M. H., Stern C. R., Farmer L., Saadat S., Malekezadeh A., "Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran", JGeope 1 (1) (2011) 19-36.

[4] Camp V., Griffis R., "Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran", Lithos 15(1982) 221-239.

[5] Tirrul R., Bell I. R., Griffis R. J., Camp V. E., "The Sistan suture zone of eastern iran", Geological Society of America Bulletin 94 (1983) 134-156.

[6] Berberian F., Muir I. D., Pankhurst R. J., Berberian M., "Late Cretaceous and early Miocene Andean type plutonic activity in northern Makran and Central Iran", Journal of the Geological Society 139(1982) 605-614.

[7] Meisinger A. C., "Perlite, Mineral Facts and Problems", Bulletin 671(1980), US Bureau of mines 1-12.

[8] Breese R. O. Y., Barker J. M., "Industrial Minerals and Rocks, 6th Edition", Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc (1994) 735-749.

[9] Al-Ta'ae S. J., "Introduction to Industrial Usages for Yemeni Non-metallic Ores",

- [31] Le Maitre R. W., "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 (2002) 236.
- [32] Helvacı C., Ersoy E. Y., Sözbilir H., Erkül F., Sümer Ö., Uzel B., "Geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 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 (2009) 181–202.
- [33] Harangi S., Downes H., Thirlwall M., Gmeling K., "Geochemistry, Petrogenesis and Geodynamic Relationships of Miocene Calc-alkaline Volcanic Rocks in the Western Carpathian Arc, Eastern Central Europe", Journal of petrology volume 48 number 12 (2007) 2261–2287.
- [34] Zafirovski S., Jasmakovski B., Zlatanovic V., Pavlovski B., "Use of perlitites in the ceramic industry", 2nd Int. Conf. on Natural Glasses Prague (1987) 169–175.
- [35] Noh J. H., Boles J. R., "Diagenetic alteration of perlite in the Guryongpo area, Republic of Korea", Clays and Clay Minerals 37 (1) (1989) 47–58.
- [36] Breese R. O. Y., Barker J. M., "Perlite, In: Industrial Minerals and Rocks", 6th Edition, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc (1994) 735–749.
- [۳۷] مظلومی ع، کریم پور م. ح، "پرلیت‌های شرق ایران و کاربرد آنها در صنایع ساختمان، کشاورزی، سرامیک و بخش انرژی"، همایش شناخت توانمندیهای معدنی شرق کشور، دانشگاه صنایع و معادن ایران- مرکز بیرجند (۱۳۷۸).
- [38] Sun S. S., McDonough W. F., "Chemical and isotopic systematic of ocean basalts: implications for mantle composition and process. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*", Geological Society (London) 42 (1989) 313–345.
- [39] Boynton W. V., "Cosmochemistry of rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*", Elsevier Amsterdam (1984) 63–114.
- [40] Barth M. G., McDonough W. F., Rudnick R. L., "Tracking the budget of Nb and Ta in the
- [20] Rutherford M. J., Devine J. D., "Magmatic conditions and magma ascent as indicated by hornblende phase equilibria and reactions in the 1995-2002 Sufriere Hills magma", Journal of petrology, volume 44, number 8 (2003) 1433–1454.
- [21] Singer B. S., Dungan M. A. and Layne G. D., "Textures and Sr, Ba, Mg, Fe, K, and Ti compositional profiles in volcanic plagioclase: clues to the dynamics of calcalkaline magma chambers", American Mineralogist 80 (1995) 776–798.
- [22] Monfaredi B., Masoudi F., Tabbakh Shabani A. A., "Magmatic Interaction as Recorded in Texture and Composition of Plagioclase Phenocrysts from the Sirjan Area, Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc, Iran", Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 20 (3) (2009) 243–251.
- [23] Tsuchiyama A., "Dissolution kinetics of plagioclase in the melt of the system diopside – albite-anorthite and origin of dusty plagioclase in andesite", Contributions to Mineralogy and Petrology 89 (1985) 1–16.
- [24] Nelson S.T., Montana A., "sieve –textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression", American Mineralogist 77 (1992) 1242–1249.
- [25] Zellmer G. F., Sparks R. S. G., Hawksworth C. J., Wiedenbeck M., "Magma emplacement and remobilization timescale beneath Montserrat: Insight from Sr and Ba zonation in plagioclase phenocrysts", Journal of Petrology 44 (8) (2003) 1413–1431.
- [26] Wilson C. J. N., "Pyroclastic flows and ignimbrites", Science Progress 70 (Part 2) (278) (1986) 171–207.
- [27] McArthur A. N., Cas R. A. F., Orton G. J., "Distribution and significance of crystalline, perlitic and vesicular textures in the Ordovician Garth Tuff (Wales)", Bulletin of Volcanology 60 (4) (1998) 260–285.
- [28] Allen S. R., McPhie J., "Phenocryst fragments in rhyolitic lavas and lava domes", Journal of Volcanology and Geothermal Research 126 (2003) 263–283.
- [29] Perkins d., "Mineralogy, 2nd edition", Pearson Education, Inc. (Singapore) (2002) 483.
- [30] Le Bas M. J., Le Maitre R. W., Streckeisen A., Zanettin B., "A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram", Journal of Petrology 27 (1986) 745–750.

- NE Japan*", Journal of Volcanology and Geothermal Research 167 (2007) 119–133.
- [52] Wilson M., "Igneous Petrogenesis", Springer Verlag (2007) 466.
- [53] Ivanova R., "Volcanology and petrology of acid volcanic rocks from the Paleogene Sheinovets caldera, Eastern Rhodopes", Bulgarian Academy of sciences, Geochemistry Mineralogy and Petrology 42 (2005) 23-45.
- [54] Hofmann A. W., "Chemical differentiation of the Earth. The relationship between mantle, continental crust and oceanic crust", Earth and Planetary Science Letters 90 (1988) 297-314.
- [55] Pearce J. A., Harris N. B., Tindell A. G., "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks" Journal of Petrology 25 (1984) 956-983.
- [56] Siddiqui R. H., Asif Khan M., Qasim Jan M., "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", Journal of Himalayan Earth Sciences 40 (2007) 1-23.
- [57] Hoang N., Itoh J., Miyagi I., "Subduction components in Pleistocene to recent Kurile arc magmas in NE Hokkaido, Japan", Journal of Volcanology and Geothermal Research 200 (2011) 255-266.
- [58] Denton J. S., Tuffen H., Gilbert J. S., Odling N., "The hydration and alteration of perlite and rhyolite", Journal of the Geological Society, London, Vol 166 (2009) 895–904.
- [59] Dickens A. K., "Obsidian hydration and its consequences for the Ar-Ar dating method", submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of science in geology, New Mexico Institute of Mining and Technology, Department of earth and environmental science, Socorro, New Mexico (2007) 169.
- [60] Emery W. D., "Geology and eruptive history of the Oligocene Nathrop volcanics, Central Colorado volcanic field", a thesis Submitted to the Graduate College of Bowling Green State university in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of science (2011) 88.
- continental crust*", Chemical Geology 165 (2000) 197–213.
- [41] Gencalioglu Kuscü G., Geneli F., "Review of post-collisional volcanism in the central Anatolian volcanic province (Turkey), with special reference to the Tepekoy volcanic complex", International Journal of Earth Sciences 99 (2010) 593-621.
- [42] Arsalan M., Aslan Z., "Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, Turkey", Journal of Asian Earth Sciences 27 (2006) 177-193.
- [43] Martin H., "Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids", Lithos 46 (1999) 411–429.
- [44] Eyuboglu Y., Santosh M., Chung S. L., "Crystal fractionation of adakitic magmas in the crust–mantle transition zone: Petrology, geochemistry and U–Pb zircon chronology of the Seme adakites, eastern Pontides, NE Turkey", Lithos 121 (2011) 151–166.
- [45] Karapetian S. G., Jrbashian R. T., Mnatsakanian A. Kh., "Late collision rhyolitic volcanism in the north-eastern part of the Armenian Highland", Journal of Volcanology and Geothermal Research 112 (2001) 189-220.
- [46] Ishihara S., "The Magnetite-series and Ilmenite-series granitic rocks", Mining Geology 27 (1977) 293-305.
- [47] Gregorova D., Hroudá F., Kohyt M., "Magnetic susceptibility and Geochemistry of Variscan West Carpathian granites: implications for tectonic setting", Physics and Chemistry of the Earth 28 (2003) 729-734.
- [48] Goutham M. R., Sandhya R., Madhusudhan Rao B., Patil S. K., Murthy B. V. S., "Rock magnetic and Palaeomagnetic Study of the Archaean Granites from Hyderabad, India", Journal of Indian Geophysical Union Vol 14 No 1 (2010) 67-74.
- [49] He Z., Yunxiang L., Xiaodong S., Weibin D., "Application of Magnetic Prospecting in Recognition of Volcanic Reservoirs", Canadian Society of Exploration Geophysicists (2008) 45-48.
- [50] Gill R., "Igneous rocks and processes", Wiley-Blackwell (2010) 428.
- [51] Yamamoto T., "A rhyolite to dacite sequence of volcanism directly from the heated lower crust: Late Pleistocene to Holocene Numazawa volcano,