

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

سید سعید محمدی\*

دانشگاه بیرجند، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی

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

### 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 آتشفسانی ترشیری (ائوسن-الیگومن 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 آتشفسانی-آذرآواری وجود دارد. منطقه‌بندی، بافت غربالی و خوردگی خلیجی در فنوكربیست‌های بلازیوکلاز و گرد شدگی کانی‌ها از ویژگی‌های سنگهای گدازه‌ای بوده که حاکی از وجود شرایط عدم تعادل حین انجماد مانگما می‌باشد. از لحاظ خصوصیات شیمیایی، متابالومین، کالک‌آلکالن پ TASIM متوسط تا بالا، دارای غنی‌شدگی LILE و آنومالی منفی Nb و Ti هستند. ریولیت‌ها در مقایسه با داسیت‌ها و آندزیت بازالتی، تهی‌شدگی بیشتری در Ti، P و Ba دارند. نمودار عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت، حاکی از غنی‌شدگی LREE در مقایسه با HREE (La/Yb)<sub>N</sub>=۹/۱۴-۱۲/۶۴)، آنومالی منفی ضعیف Eu برای آندزیت بازالتی (Eu/Eu<sup>\*</sup>=۰/۹۱) و داسیت‌ها (Eu/Eu<sup>\*</sup>=۰/۸۷) و آنومالی منفی قوی Eu برای ریولیت‌ها (Eu/Eu<sup>\*</sup>=۰/۱۸-۰/۳۵) می‌باشد. وجود آنومالی منفی Eu مؤید ماهیت کالک‌آلکالن برای سنگهای مورد مطالعه است. این سنگ‌ها، براساس خصوصیات شیمیایی و پذیرفتاری مغناطیسی در ردۀ I قرار می‌گیرند. از دیدگاه موقعیت تکتونیکی به محیط فرورانش و حاشیه قاره‌ای فعال تعلق داشته و مانگما مادر آنها از ذوب بخشی گوشته غنی‌شده حاصل و سپس در حین تفریق، آلودگی پوسته‌ای را تحمل نموده است. داسیت‌های منطقه سربیشه دارای <sup>۸۷</sup>Sr/<sup>۸۶</sup>Sr اولیه بین ۰/۷۰۴۸ و ۰/۷۰۵۰ (میانگین ۰/۷۰۴۹) بوده که منشاء گوشته‌ای را برای مانگما سازنده آنها تأیید می‌کند. شیشه‌های آتشفسانی 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 مناسب است.

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

آسیا تشکیل شده است [۳-۶]. سنگهای آتشفسانی 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 آتشفسانی طی این مدت به میزان قابل توجهی متغیر بوده است [۱]. در شمال غربی سربیشه، رخنمون قابل توجهی از فعالیت‌های آتشفسانی ترشیری (ائوسن-الیگومن تا پلیوسن) با ترکیب حدوداً تا اسیدی به همراه نهشت‌های آذرآواری مشاهده می‌شود. وجود گدازه‌های ریولیتی شیشه‌ای دارای اختصاصات پرلیتی از مشخصات بارز این مجموعه بوده که بخشی از آنها به عنوان یک معدن پرلیت

### مقدمه

منطقه مورد مطالعه در فاصله ۱۰ کیلومتری شمال غربی سربیشه دارای موقعیت جغرافیایی "۳۰° ۴۰' ۵۹" تا "۵۲° ۴۴' ۵۹" طول شرقی و "۳۰° ۳۲' ۵۰" تا "۳۰° ۴۰' ۳۷" عرض شمالی، در حاشیه شرقی بلوک لوت [۳-۱] واقع است. فعالیت مانگما ای در بلوک لوت در ژوراسیک میانی (۱۶۵-۱۶۲ میلیون سال) شروع شده [۲] و در ترشیری به اوج خود رسیده است [۳، ۱]. سنگهای آتشفسانی و نیمه عمیق 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 ۱۰۰۰۰۱/۲ سربیشه [۲] قرار گرفته است. واحدهای سنگی عمده شامل سنگهای آتشفسانی و آذرآواری متعلق به ترشیری بوده که به صورت گنبد رخنمون دارند. این سنگها شامل آندزیت بازالتی، پیروکسن آندزیت، داسیت، ریوداسیت، گدازه‌های ریولیتی شیشه‌ای (پرلیت)، توف و ایگنمریت 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 آتشفسانی-آذرآواری میزبان وجود دارد که لایه‌های A، B و C نامیده شده است (شکل ۲). به منظور محاسبه ضخامت واقعی واحدهای سنگی در توالی آتشفسانی-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 ۷، ۵۸ و ۱۰۲ 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 توفری- ایگنمریتی، قهقهه‌ای روش مایل به صورتی (۳) پرلیت (لایه B)، خاکستری تیره با ۷ متر ضخامت، ۴) ریوداسیت

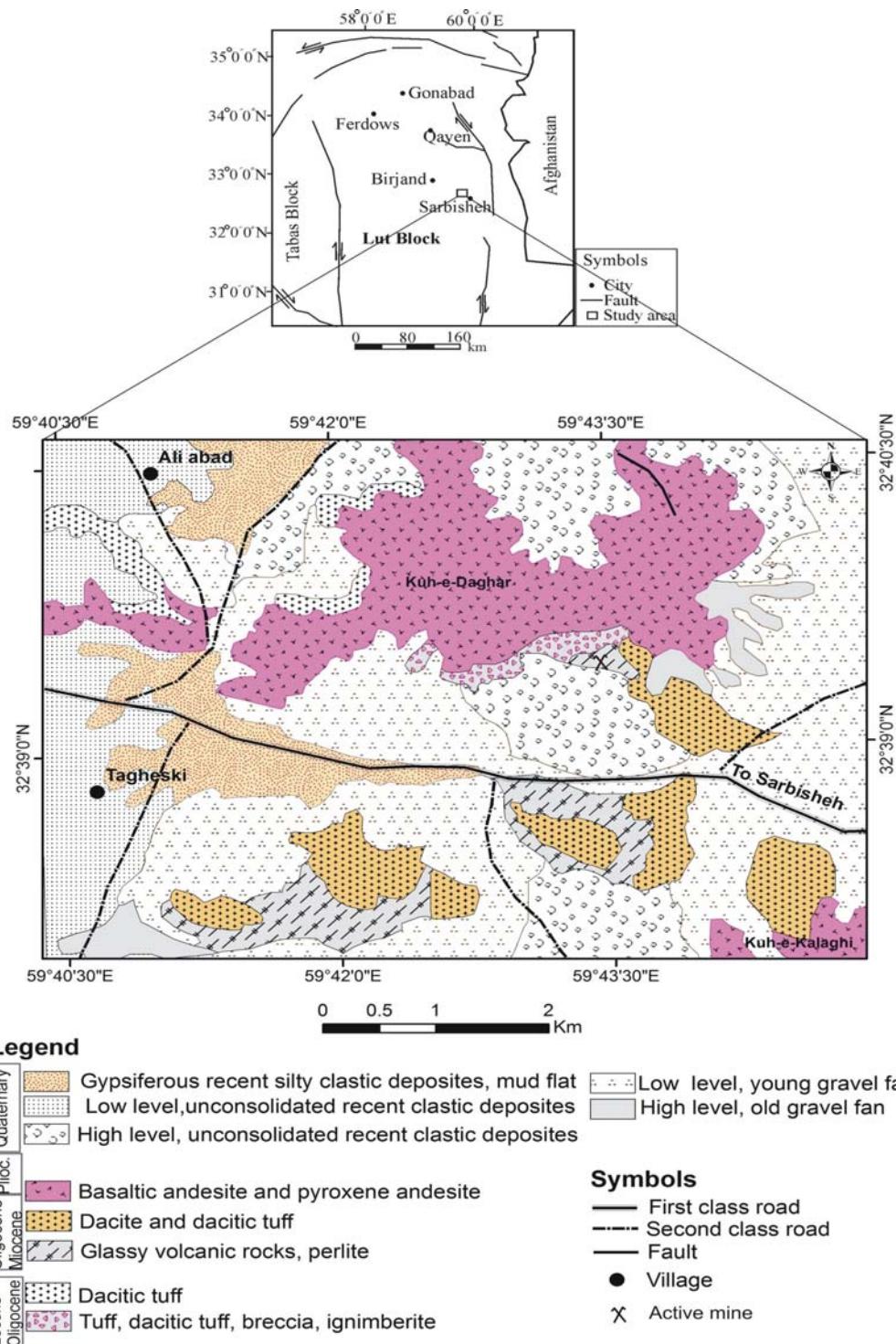
فعال بهره‌برداری می‌شود. پرلیت سنگ آتشفسانی اسیدی غنی از شیشه آب دار (۲-۵ درصد)، دارای شکستگیهای قوسی، منحنی و متعددالمرکز بوده که وجود این ترکها سبب پیدایش اشکال کروی با اندازه چند میلی متر در سنگ می‌شود [۱۲-۷]. این سنگ عموماً به صورت جریانهای گدازه یا سنگهای نفوذی کم عمق در نتیجه انتشار آب به درون شیشه‌های آتشفسانی جامد (آب گیری) پس از جایگزینی و اغلب در نهشته‌های ابسیدین سیلیسی همراه طیفی از ترکیبات شیشه‌ای مشاهده می‌شود [۱۳، ۱۱]. 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 آب گیری را فراهم می‌نماید. در این فرآیند، آب از سیالات هیدرотرمال، مخازن آبهای زیرزمینی یا سطحی، منشاء گرفته و به درون گسیختگیهای شیشه که ناشی از برداشته شدن فشار است نفوذ می‌نماید [۱۴، ۱۳]. اغلب ذخایر پرلیت با ارزش اقتصادی دنیا عمدتاً در سرزمینهای آتشفسانی ترشیری و کواترنری 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، نمازی ساختمانهای سیمان‌کاری چاهها، جذب‌کننده و حامل، صنایع فولاد و ریخته‌گری و ... می‌باشد [۱۵، ۱۲]. تاکنون تحقیقاتی توسط پژوهشگران مختلف در مورد سنگهای آتشفسانی منطقه مود- سربیشه انجام شده است [۱۹-۱۶]. 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 پتروژئنز مجموعه آتشفسانی شمال غرب سربیشه با نگرش ویژه به پرلیت است که می‌تواند در رابطه با شناخت فعالیتهای ماگمایی و پتانسیل‌های اقتصادی بلوك لوت مفید باشد.

#### روش تحقیق

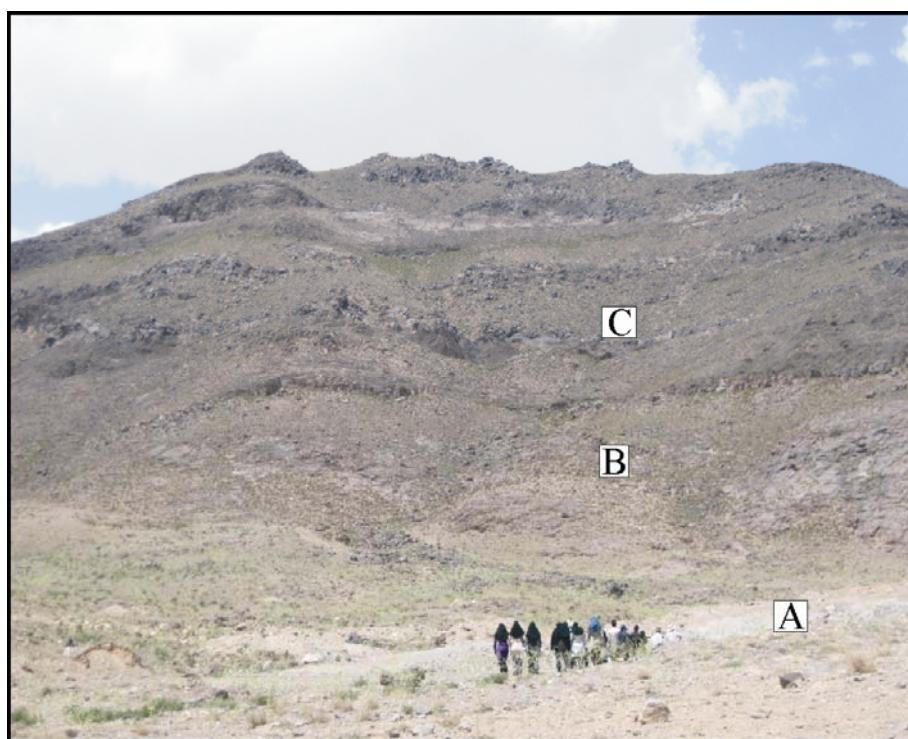
این پژوهش بر مبنای مطالعات صحرایی، نمونه‌برداری از واحدهای سنگی، تهیه و مطالعه مقاطع نازک و نتایج تجزیه شیمیایی ۳ نمونه سنگی انجام شده است. تعداد ۱۱ نمونه از سنگهای آتشفسانی شمال غربی سربیشه که حداقل دگرسانی

دارای ساخت ستونی و به طرف بالا دارای بافت حفره‌ای.

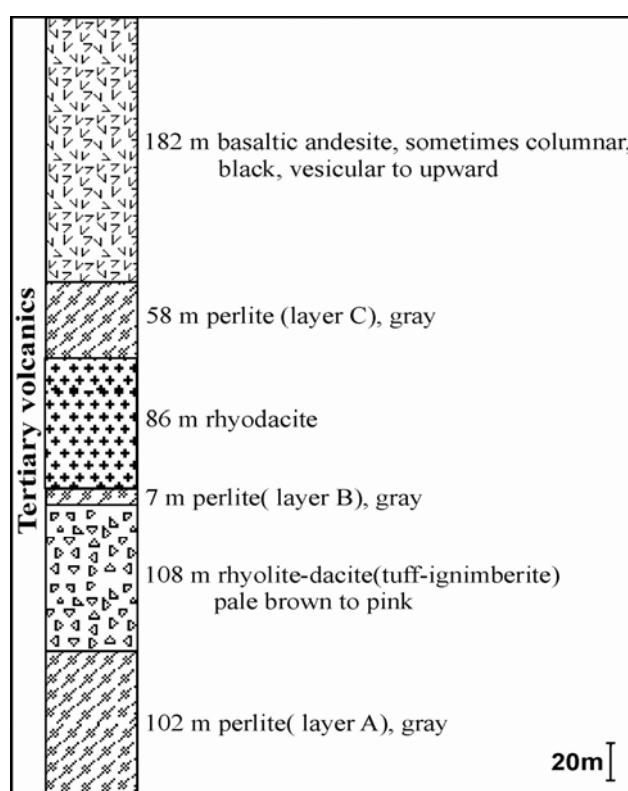
خاکستری روشن، ۵) پرلیت (لایه C)، خاکستری با ۵۸ متر ضخامت و ۶) آندزیت بازالتی، پیروکسن آندزیت، سیاه، گاهی



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 آتشفشاری-آذرآواری شمال معدن پرلیت سربیشه که در بر گیرنده سه لایه پرلیت (C و B، A) می‌باشد (دید به سمت شمال).



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

خمیره میکروکریستالن و اسفرومیتی می‌باشند. فنوکریستهای پلازیوکلاز نیمه شکل دار- بی‌شکل تا ۲۰ میلی متر و دارای ماکل آلبیتی شکل (۵ الف) از نوع آلبیت تا الیگوکلاز، حدود ۱۵-۱۰ درصد حجم سنگ را تشکیل داده است. وجود منطقه‌بندی، خوردگی خلیجی و بافت غربالی شکل (۵ ب) از ویژگیهای بارز فنوکریستهای پلازیوکلاز در این سنگها است. محتوای آب مذاب و دما از عوامل مهم تأثیرگذار در ترکیب و پایداری پلازیوکلاز است. از دست دادن سریع مواد فرآر در حين فوران یا نشت آب از مagmaهای آب دار یکی از عوامل تجزیه پلازیوکلазهاست [۲۱، ۲۲]. منطقه‌بندی، بافت غربالی و خوردگی خلیجی در پلازیوکلازها از نشانه‌های وجود شرایط عدم تعادل حين انجماد magma بوده و احتمالاً در اثر صعود سریع magma، افزایش فشار بخار آب، فرایندهای آلایش و هضم و کاهش فشار حاکم بر magma ایجاد شده‌اند [۲۳، ۲۵]. فنوکریستهای کوارتز دارای حاشیه خلیجی شکل (۵ پ) و گاهی گرد شده حدود ۱۰ درصد و سانیدین نیمه شکل دار تا بی‌شکل شکل (۵ ت) به میزان حدود ۷-۵ درصد مشاهده می‌شود. بیوتیت به صورت بلورهای نسبتاً ریز نیمه شکل دار تا بی‌شکل با چند رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه کمتر از ۵ درصد، آمفیبول و پیروکسن به مقدار کم، دیگر کانیهای مافیک سنگ می‌باشد. زمینه سنگ عمدتاً از میکروکریستالهای کوارتز و فلدسپار گاهی به همراه شیشه تبلور مجدد یافته (بافت اسفرومیتی) تشکیل شده و حدود ۷۰ درصد حجم سنگ را تشکیل داده است.

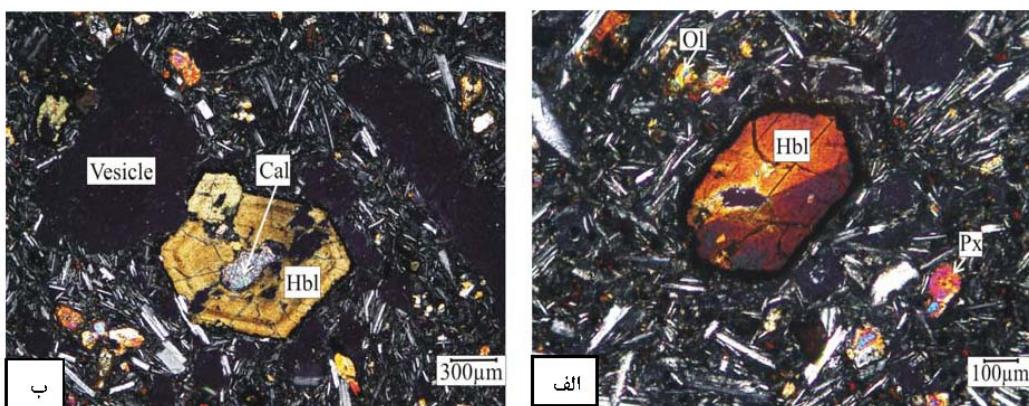
ریولیت شیشه‌ای (پرلیت): این سنگ به رنگ خاکستری روشن تا تیره مایل به سیاه و دارای جلای مرواریدی در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه به صورت پراکنده و گاهی متناوب با سایر واحدهای آتشفشاری دیده می‌شود. سنگهای پرلیتی عمدتاً از فنوکریست و خمیره سیلیسی آمورف تشکیل شده‌اند. بافت این سنگها پورفیری با خمیره شیشه‌ای پرلیتی شکل (۶ الف و ب)، شیشه‌ای جریانی شکل (۶ ب و پ) و کریپتوکریستالن است. شکستگیهای پرلیتی به دگرشکلی حرارتی در حين 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 سربیشه، یک توالی ضخیم بازالتی با سن  $31/4$  میلیون سال [۱] بر روی رسوبات کنگلومراپی 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 آتشفشاری منطقه مورد مطالعه، پوشاننده بازالت‌های مود بوده و لذا جوانتر از آنها می‌باشند.

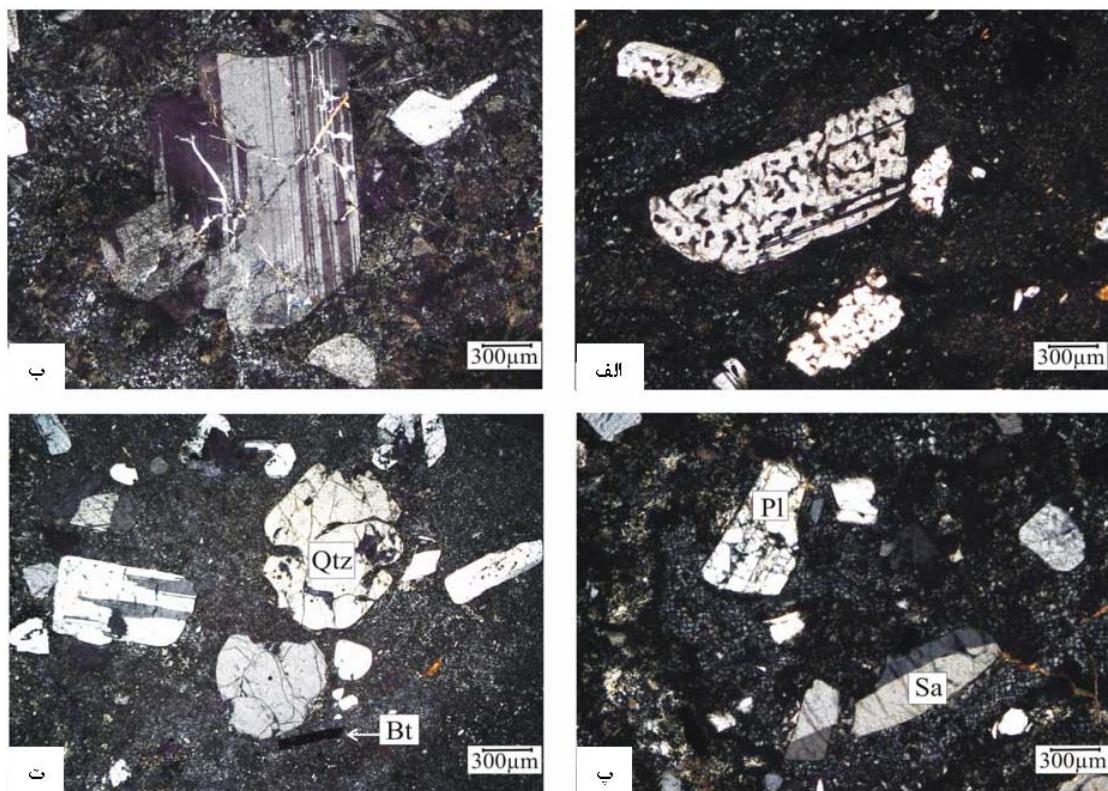
### پتروگرافی

آنذزیت بازالتی- پیروکسن آندزیت: این سنگها به رنگ تیره، آفانیتیک و گاهی حفره‌ای دیده می‌شوند. در مقاطع نازک دارای بافت‌های پورفیری با خمیره میکرومیتی، سری‌ایت و حفره‌ای هستند. بلورهای نسبتاً درشت نیمه شکل دار تا شکل دار پلازیوکلاز با اندازه  $0/8$  تا یک میلی متر و ترکیب آندزین، تفاوت چندانی از نظر اندازه با میکرومیت‌های زمینه ندارند (شکل ۴ الف و ب). پلازیوکلازها حدود ۷۰-۷۵ درصد حجم سنگ را تشکیل داده‌اند. فنوکریستهای هورنبلند شکل دار تا نیمه شکل دار 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 نیمه‌شکل دار و بی‌شکل پیروکسن که از حاشیه کلریتی شده‌اند، ۷-۵ 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 ایدنگریتی 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 آتشفشاری (پرلیت) وجود دارد. بافت‌های غالب شامل پورفیری با



شکل ۴. الف) فوکریست هورنبلند شکل دار دارای حاشیه اپاسیتی شده و ماکل، پیروکسن و الیوین نسبتاً ریز دارای حاشیه های ایدنگزیتی شده در آندزیت های بازالتی شمال غربی سریش، ب) وجود بافت های پورفیری با خمیره میکرولیتی و حفره ای، هورنبلند دارای منطقه بندی و کربناتیزه شده، عالیم اختصاری کانیها شامل Hbl: هورنبلند، Cal: کلسیت، Px: پیروکسن و Ol: الیوین می باشد.



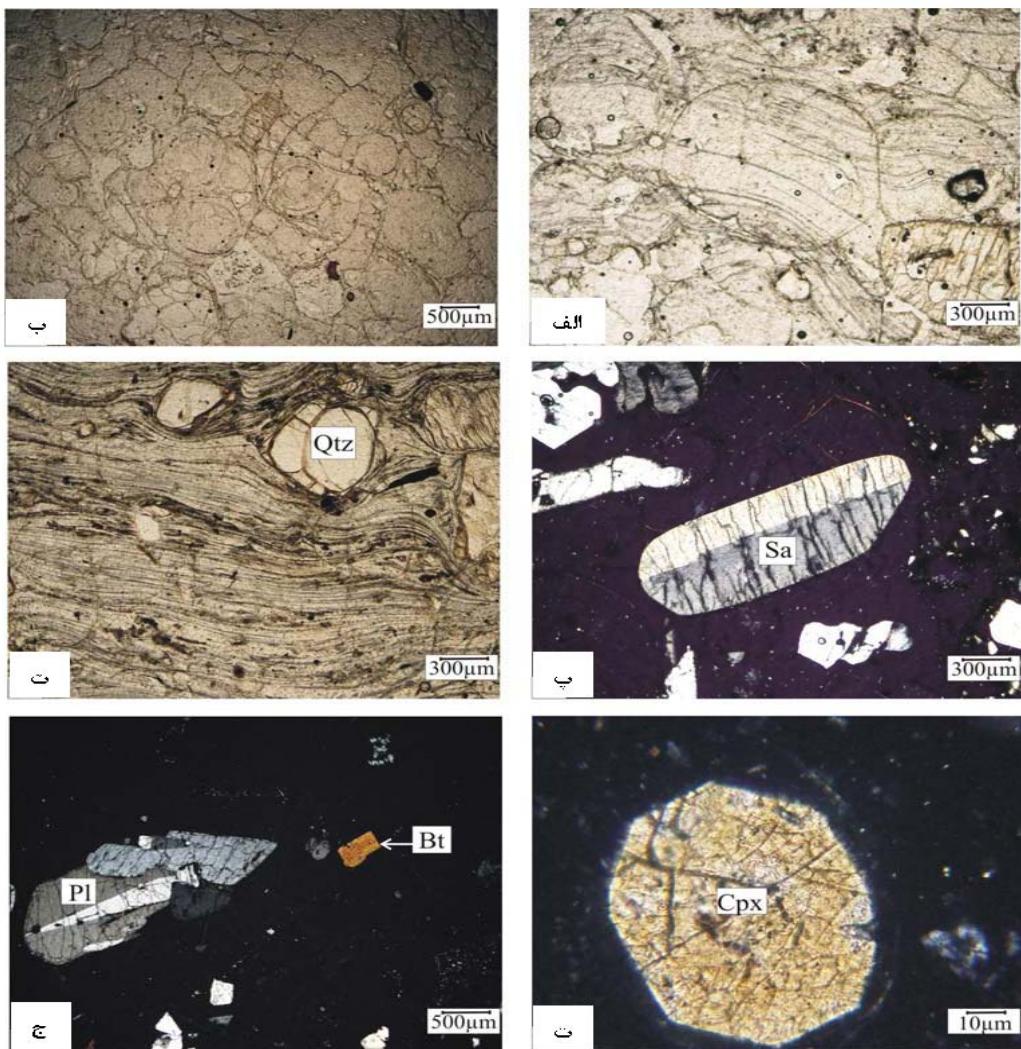
شکل ۵. ویژگی های پتروگرافی داسیت. ریوداسیت های مورد مطالعه: الف) وجود بافت غربالی در فنوکریست های پلازیوکلاز، ب) بافت های پورفیری با خمیره میکروکریستالن و اسferولیتی پ)، فوکریست های نیمه شکل دار تا بی شکل سانیدین و پلازیوکلاز، ت) کوارتز دارای حاشیه خلیجی و بیوتیت ریز اکسید شده (XPL)، عالیم اختصاری کانیها شامل Qtz: کوارتز، Bt: پلازیوکلاز و Sa: سانیدین می باشد.

شکستگی و خوردگی خلیجی می باشد. پلازیوکلازها شکل (۶) بر مبنای اندازه گیری 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%

فوکریست ها شامل فلدسپارها، کوارتز، بیوتیت، آمفیبول و پیروکسن می باشند. فلدسپارها فراوانترین فنوکریست، نیمه شکل دار تا بی شکل و از نظر اندازه تا ۲ میلی متر می رساند. آلکالی فلدسپار عمدهاً 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 ازبرین- 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 عمدی سنگ تشکیل شده است. در برخی نمونه‌ها، بلورهای بسیار ریز پلازیوکلаз 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 ماغما در حین فوران یا بیرون ریزی ماغما می‌باشد [۲۸، ۲۹]. 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 نیمه‌شکل دار، گاهی دارای ماکل، با چندرنگی قهوه‌ای مایل به سبز تیره به مقدار بسیار کم دیده می‌شود. فنوکریست ریز نیمه‌شکل دار پیروکسن با مقاطع هشت‌ضلعی شکل (۶ ج) به مقدار کم (۱-۲ درصد) وجود دارد.



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

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

**ژئوشیمی**  
نتایج آنالیز ژئوشیمیابی عناصر اصلی و کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) آورده شده است. میزان سیلیس سنگهای آتشفسانی شمال غربی سرپیشه بین ۵۳/۹۸ تا

جدول ۱. نتایج آنالیز شیمیابی عناصر اصلی و کمیاب سنگهای آتشفسانی شمال غربی سرپیشه (نتایج نمونه‌های Lu304 و Lu307 از [۱] می‌باشد.  
Ba=Basaltic andesite .Da=Dacite .Rh(per)=Rhyolite(perlitic) .Rh=Rhyolite

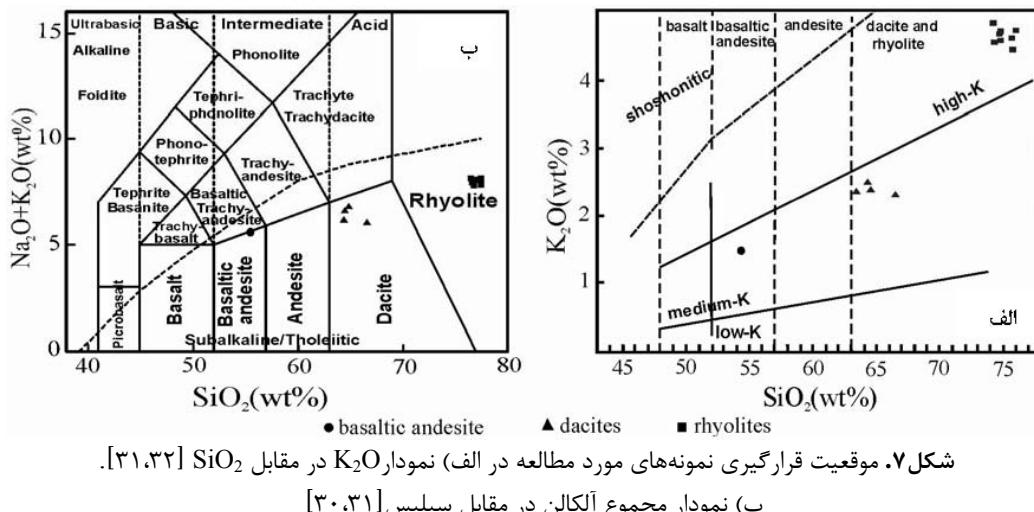
Sample	P-33	P-34	Sb-2	Sb-6	Sb-7	Sb-10	Sb-15
Rock type	Rh(per)	Rh	Da	Rh	Rh(per)	Ba	Rh(per)
Sample X	۵۹۰ ۴۴' ۱۱/۶"	۵۹۰ ۴۴' ۱۱"	۵۹۰ ۴۱' ۳۹/۹"	۵۹۰ ۴۱' ۴۶/۶"	۵۹۰ ۴۱' ۴۸/۵"	۵۹۰ ۴۱' ۵۳/۹"	۵۹۰ ۴۲' ۴/۶"
location Y	۲۲۰ ۳۹' ۰/۵"	۲۲۰ ۳۹' ۱"	۲۲۰ ۳۹' ۲۹"	۲۲۰ ۳۸' ۲۲/۹"	۲۲۰ ۳۸' ۲۲/۴"	۲۲۰ ۳۸' ۲۲/۷"	۲۲۰ ۳۸' ۲۷/۴"
(%)							
SiO <sub>2</sub>	۷۴/۶۷	۷۵/۶۵	۶۳/۷۰	۷۵/۷۶	۷۴/۳۱	۵۳/۹۸	۷۴/۷۳
TiO <sub>2</sub>	+/۱۲	+/۱۲	+/۸۱	+/۱۶	+/۱۵	۱/۱۵	+/۱۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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	+/۰۳	+/۰۳	+/۰۸	+/۰۳	+/۰۳	+/۱۱	+/۰۳
MgO	+/۱۳	+/۱۰	۱/۴۱	+/۱۶	+/۲۲	۴/۰۰	+/۱۰
CaO	+/۶۲	۱/۲۵	۴/۶۹	+/۹۹	+/۸۷	۹/۱۸	+/۵۴
Na <sub>2</sub> O	۲/۸۵	۳/۲۳	۴/۰۸	۳/۲۵	۳/۱۶	۴/۰۷	۳/۱۵
K <sub>2</sub> O	۴/۶۸	۴/۶۱	۲/۴۳	۴/۴۴	۴/۵۵	۱/۴۹	۴/۷۱
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	+/۰۲	+/۰۲	+/۲۶	+/۰۳	+/۰۳	+/۴۱	+/۰۲
LOI	۳/۵۱	+/۱۰	۱/۰۲	+/۶۹	۲/۹۵	۲/۵۵	۲/۹۳
Total	۹۹/۸۸	۹۹/۱۶	۹۹/۷۳	۹۹/۳۴	۹۹/۱۹	۹۹/۸۲	۹۹/۴۴
A/CNK	۱/۱۰	+/۹۴	+/۹۴	۱/۱۰	۱/۰۴	+/۹۷	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	۲۲۴	۱۱۹	۱۲۶	۱۹۴	۹۸
Nb	۱۳	۱۳	۱۴	۱۲	۱۲	۱۷	۱۴
Y	۲۰/۵	۱۷/۹	۲۱/۷	۱۶/۲	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	۱۴/۲	۱۸/۶	۲/۵	۲۲/۶
Ta	۱/۶	۱/۶	+/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	۲۲	۲۹	۲۷	۱۷	۳۵	۵۳	۱۱
La	۳۶/۵	۳۵/۴	۲۲/۳	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	+/۱۹	+/۱۹	۱/۱۳	+/۳۱	+/۲۹	۱/۲	+/۱۷
Gd	۲/۵۴	۲/۵۳	۲/۷۸	۲/۴۸	۲/۰۱	۳/۷۶	۲/۶۹
Tb	+/۴۸	+/۴	+/۶۲	+/۴۹	+/۴۴	+/۵۹	+/۴۴
Dy	۳/۱۳	۲/۷۷	۲/۷۸	۲/۵۹	۲/۸۸	۲/۵	۳/۱۰۸
Ho	+/۶۷	+/۵۹	+/۷۹	+/۵۴	+/۶	+/۶۷	+/۶۹
Er	۲/۰۴	۱/۹۴	۲/۲۴	۱/۶۷	۱/۸۸	۱/۹۶	۲/۱۲
Tm	+/۳۴	+/۲۷	+/۳۳	+/۲۴	+/۲۸	+/۲۶	+/۲۳
Yb	۲/۳	۲/۱	۲/۳	۱/۹	۲/۱	۱/۷	۲/۴
Lu	+/۳۶	+/۲۲	+/۳۷	+/۲۷	+/۳۱	+/۲۸	+/۳۶
Eu/Eu*	+/۲۱	+/۲۰	+/۸۷	+/۳۵	+/۳۲	+/۹۱	+/۱۸
(La/Yb) <sub>N</sub>	۱+/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	۵۹° ۴۲' ۵/۸"	۴۲' ۵/۸"	۵۹° ۴۲' ۱۳/۱"	۵۹° ۴۲' ۱۳/۶"	۱۲ کیلومتری شمال غرب سریشه	۵ کیلومتری شرق مود		
	Y	۳۲° ۳۸' ۳۰/۸"	۳۸' ۳۲"	۳۲° ۳۹' ۲۴/۸"	۳۲° ۳۹' ۳۲/۸"				
(%)									
$\text{SiO}_2$									
		۷۴/۱۷	۷۵/۹۹	۷۴/۷۴	۶۳/۸۹	۶۲/۷۹	۶۵/۹۰		
		-/۱۵	-/۱۲	-/۱۳	-/۸۴	-/۷۷	-/۵۶		
		۱۲/۲۳	۱۲/۰۷	۱۲/۰۵	۱۶/۵۸	۱۶/۸	۱۵/۸۹		
		۱/۴۱	۱/۱۵	۱/۲۰	۴/۵۴	۴/۳۶	۳/۵۹		
		-/۰۳	-/۰۲	-/۰۳	-/۰۸	-/۰۸	-/۰۷		
		-/۲۰	-/۲۳	-/۱۴	۱/۰۳	۲/۳۲	۲/۱۵		
		-/۷۱	-/۹۱	-/۵۸	۴/۰۵	۴/۸۰	۴/۶۶		
		۳/۰۶	۳/۲۵	۳/۰۶	۴/۳۵	۳/۷۲	۳/۷۳		
		۴/۸۳	۴/۷۲	۴/۵۷	۲/۱۲	۲/۲۹	۲/۲۴		
		-/۰۳	-/۰۲	-/۰۲	-/۲۵	-/۱۱	-/۱۸		
		۲/۸۹	-/۷۹	۳/۲۲	۱/۲۵	۱/۹۱	-/۴۳		
	Total	۹۹/۸۱	۹۹/۲۷	۹۹/۹۸	۹۹/۷۸	۹۹/۳۳	۹۹/۴۰		
	A/CNK	۱/۰۶	-/۹۹	۱/۰۹	-/۹۷	-/۹۳	-/۹۳		
(ppm)									
	Ba	۱۷-	۱۰۰	۱۰۰	۴۰۰	۳۶۳	۴۴۷		
	Rb	۱۸۶	۲۱-	۲۰۶	۹۹	۱۰۵	۶۱		
	Sr	۵۰-	۵۰	۳۰-	۳۵۰	۲۴۱	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	۱۶/۸	---	---		
	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	۴۴		
	Ce	۶۲/۸	۶۰/۳	۶۲/۱	۶۳/۶	۸-	۲۳		
	Pr	۶/۰۷	۵/۹۲	۶/۱	۶/۷۱	---	---		
	Nd	۱۸/۶	۱۷/۷	۱۸/۷	۲۴/۳	۳-	۱۴		
	Sm	۳/۲	۲/۹	۲/۳	۴/۵	---	---		
	Eu	-/۲۸	-/۱۷	-/۲۱	۱/۱۲	---	---		
	Gd	۲/۵۹	۲/۴۷	۲/۷۴	۴/۲۵	---	---		
	Tb	-/۴۵	-/۴۱	-/۴۶	-/۹۹	---	---		
	Dy	۲/۸۷	۲/۹۴	۲/۰۱	۴/۲۲	---	---		
	Ho	-/۸	-/۸	-/۸۴	-/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) <sub>N</sub>	۱۲/۱۰	۱۱/۱۴	۱-۰۷۷	۹/۱۴	---	---		

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

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



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

کندریت [۳۹] برای سنگ‌های آتشفشاری شمال غربی سریبشه 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 عمدۀ ماگماهای وابسته به زون فرورانش می‌باشد [۴۰، ۳۳]. ریولیت‌ها در مقایسه با داسیت‌ها و آندزیت بازالتی، تهی شدگی بیشتری در Ba، Sr و Ti پر دارند (شکل ۸ الف). آنومالی منفی در فازهای اسیدی، می‌تواند بیانگر تفرق 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. همان گونه که انتظار می‌رود، بیشترین میزان Sr در سنگ‌های مورد مطالعه مربوط به نمونه آندزیت بازالتی است. تهی شدگی بازز P و Ti در ریولیت‌ها به تفرق آپاتیت و تیتانومگنتیت و غنی شدگی Th و U در این سنگ‌ها شکل (۸ الف) احتمالاً به آلودگی پوسته ای یا خصوصیات منشأ وابسته است [۴۱]. نمودار عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت [۳۹] برای سنگ‌های آتشفشاری 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

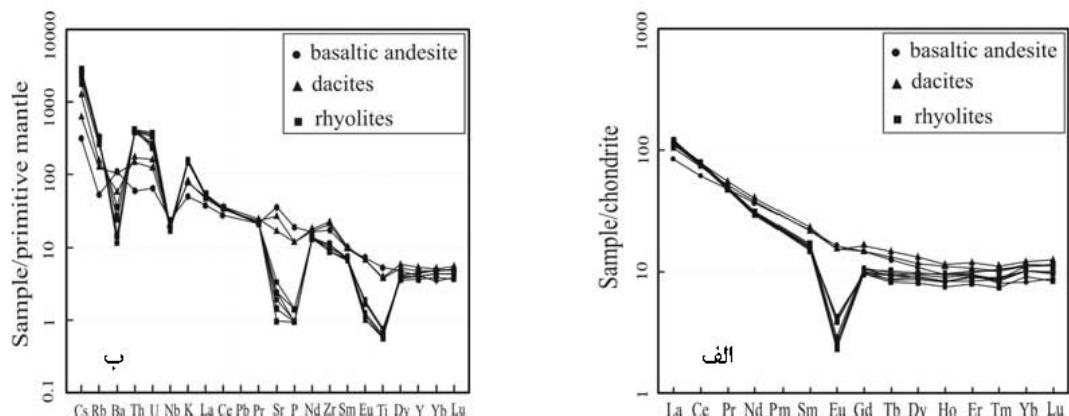
سنگ‌های آتشفشاری کالک‌آلکالن (آنزیت- داسیت- ریولیت) محصولات عمدۀ محیط‌های تکتونیکی مرزهای صفحات همگرا می‌باشند [۳۲]. بررسی عناصر اصلی ۵ نمونه از ریولیت‌های شیشه‌ای (پرلیت) شمال غربی سریبشه که در جدول (۱) آمده، بیانگر محتوای سیلیس بالا (میانگین ۷۴/۵۲ درصد)،  $Al_2O_3$  -۰/۸۷ ( $CaO$  ۱۱/۹۸-۱۲/۳۳)،  $Fe_2O_3$  (۱/۱۳-۱/۴۱)،  $K_2O$  ۰/۴۵۵-۴/۸۳ ( $Na_2O$  ۰/۲/۸۵-۳/۱۶) و میزان LOI ۰/۰۵۴ (۰/۲/۸۹-۳/۵۱) می‌باشد. با توجه به این که میزان کانیهای آب دار در این سنگ‌ها کم است، می‌توان ادعا کرد که بخش عمدۀ 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)، مقدادیر میانگین تعدادی از عناصر اصلی ۵ نمونه پرلیت از منطقه سریبشه با ترکیب شیمیایی پرلیت گتاباد و نمونه‌هایی از مناطق مختلف دنیا مقایسه گردیده است. بررسی نتایج، حاکی از مشابهت محتوای عناصر مهم سنگ‌های پرلیتی سریبشه با پرلیت‌های صنعتی گتاباد در جنوب خراسان رضوی و سایر نقاط دنیا است. الگوهای عناصر کمیاب بهنجارشده با گوشته اولیه [۳۸] و عناصر نادر خاکی بهنجار شده با

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

آندرزیت بازالتی ( $\text{Eu/Eu}^* = 0.91$ ) و برای داسیت‌ها ( $\text{Eu/Eu}^* = 0.87$ ) می‌باشد. ریولیت‌ها در مقایسه با داسیت‌ها و آندرزیت بازالتی، غنی‌شده‌گی بیشتر عناصر نادر خاکی سبک و آنومالی منفی قوی Eu ( $\text{Eu/Eu}^* = 0.85 - 0.88$ ) را نشان

جدول ۲. مقایسه میانگین ترکیب شیمیایی پرلیت شمال‌غربی سربیشه با نمونه‌های پرلیت مناطق مختلف دنیا.

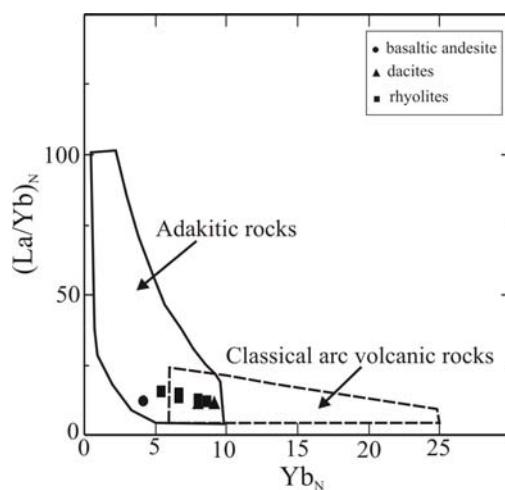
محل کسید٪	یوگسلاوی [۳۴]	گره [۳۵]	نیوسکریکو [۳۶]	آریزوتا [۳۶]	کالیفرنیا [۳۶]	ژاپن [۳۶]	بلغارستان [۳۶]	آرژانتین [۳۶]	یمن (سیانگین ۵ نمونه) [۱۲]	گناباد-ایران [۳۷]	سیانگین ۵ نمونه از پرلیت‌های مورد مطالعه
$\text{SiO}_2$	۷۱/۷۳	۶۹/۰۱	۷۲/۱۰	۷۳/۶۰	۷۳/۶۰	۷۴/۲۰	۷۳/۸	۷۲/۲۰	۶۹/۶	۷۱/۵	۷۴/۵۲
$\text{Al}_2\text{O}_3$	۱۳/۶۴	۱۴/۲۱	۱۳/۵۰	۱۲/۷۰	۱۳/۲۰	۱۲/۹۰	۱۲/۸	۱۳/۴۰	۱۱/۱۵	۱۱/۷	۱۲/۱۳
$\text{TiO}_2$	n.d.	+/۲۲	+/۰۶	+/۱۰	+/۰۷	+/۰۶	+/۰۷	+/۰۸	n.d.	+/۱۸	+/۱۴
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	۱/۷۱	۱/۴۵	+/۸۰	+/۷۰	+/۸۰	+/۶۸	+/۵۶	۱	۲/۰۷	۱/۴۵	۱/۲۶
$\text{MgO}$	۰/۵۶	۰/۳۹	۰/۵۰	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۳۰	۰/۶۴	۰/۱۲	۰/۱۶
$\text{CaO}$	n.d.	۱/۵۷	+/۸۹	+/۶۰	+/۶۰	+/۴۵	+/۵	+/۵۹	۱/۴	<۱/۳	+/۶۶
$\text{Na}_2\text{O}$	۲/۵۵	۲/۲	۴/۶۰	۲/۲۰	۴/۱۰	۴/۱۰	۳	۳/۴۰	۳/۸۶	۳/۵۹	۳/۰۶
$\text{K}_2\text{O}$	۴/۱۵	۴/۹۴	۴/۴۰	۴	۴/۱۰	۴	۴/۹	۴/۷۰	۴/۷۸	۴/۶۳	۴/۶۷
LOI	۲/۴۷	۵/۷۷	۳/۰۰	۲/۸۰	۲/۳۰	۲/۳۰	۴	۳/۷۰	۲/۱۵	۴/۵۸	۲/۱۴



شکل ۸. (الف) الگوی عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت [۳۹]، (ب) نمودار عناصر کمیاب بهنجار شده با گوشته اولیه [۳۸] برای سنگهای آتشفسانی شمال‌غربی سربیشه.

این مورد از نمودار  $\text{Yb}_N$  (La/Yb) در مقابل  $\text{Yb}_N$  [۴۴, ۴۳] استفاده گردید. بر این اساس، اغلب سنگهای مورد مطالعه در قلمرو مشترک آداسیت‌ها و سنگهای کالک‌آلکالن معمولی قرار گرفته‌اند (شکل ۹).

با وجود این که سنگهای گدازه‌ای شمال‌غربی سربیشه دارای ترکیب آندرزیتی تا ریولیتی بوده و از این دیدگاه قابل مقایسه با آداسیت‌ها [۴۳] می‌باشند، اما بررسی عناصر اصلی و کمیاب آنها نشان می‌دهد که شباهت چندانی (به استثنای  $\text{SiO}_2$ ) با آداسیت‌ها ندارند. برای نتیجه‌گیری بهتر در



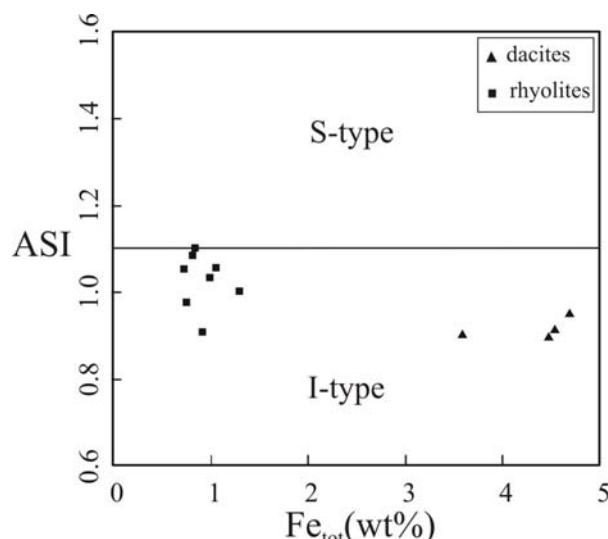
شکل ۹. موقعیت سنگهای گدازهای شمال غربی سریش در نمودار  $[La/Yb]_N$  در مقابل  $Yb_N$  [۴۳، ۴۴].

قلمره  $10^{-3}$  تا  $10^{-2}$  می باشد [۴۶-۴۸]. سنگهای آتشفشاری اسیدی دارای پذیرفتاری مغناطیسی  $10^0$  تا  $500 \times 10^{-5}$ ، انواع حدوداً اغلب دارای مقادیر بیشتر از  $200 \times 10^{-5}$  SI و پذیرفتاری مغناطیسی سنگهای بازیک در محدوده  $500 \times 10^{-5}$  تا  $2000 \times 10^{-5}$  SI می باشد [۴۹]. نتایج پذیرفتاری مغناطیسی سنگهای مورد مطالعه در جدول (۳) آورده شده است. مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی این سنگها در قلمرو سنگهای آتشفشاری اسیدی- حدواتر و قابل مقایسه با گرانیتوئیدهای سری مگنتیت بوده که منشأ I را برای آنها تأیید می نماید.

#### بحث

#### خصوصیات منشأ

مقادیر شاخص اشبع از آلومین (ASI=  $Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O$ ) برای سنگهای مورد مطالعه ۱۱-۰/۶۷ بوده که بیانگر ماهیت متالومین آنهاست. برای تعیین منشأ سنگهای اسیدی شمال غرب سریش از نمودار ASI در مقابل درصد وزنی  $Fe_{tot}$  [۴۵] استفاده گردید. همان گونه که در شکل (۱۰) دیده می شود، این سنگها در قلمرو سنگهای اسیدی نوع I قرار گرفته اند. پذیرفتاری مغناطیسی گرانیتوئیدهای سری ایلمنیت در محدوده  $10^{-4}$  تا  $10^{-3}$  SI و گرانیتوئیدهای سری مگنتیت در



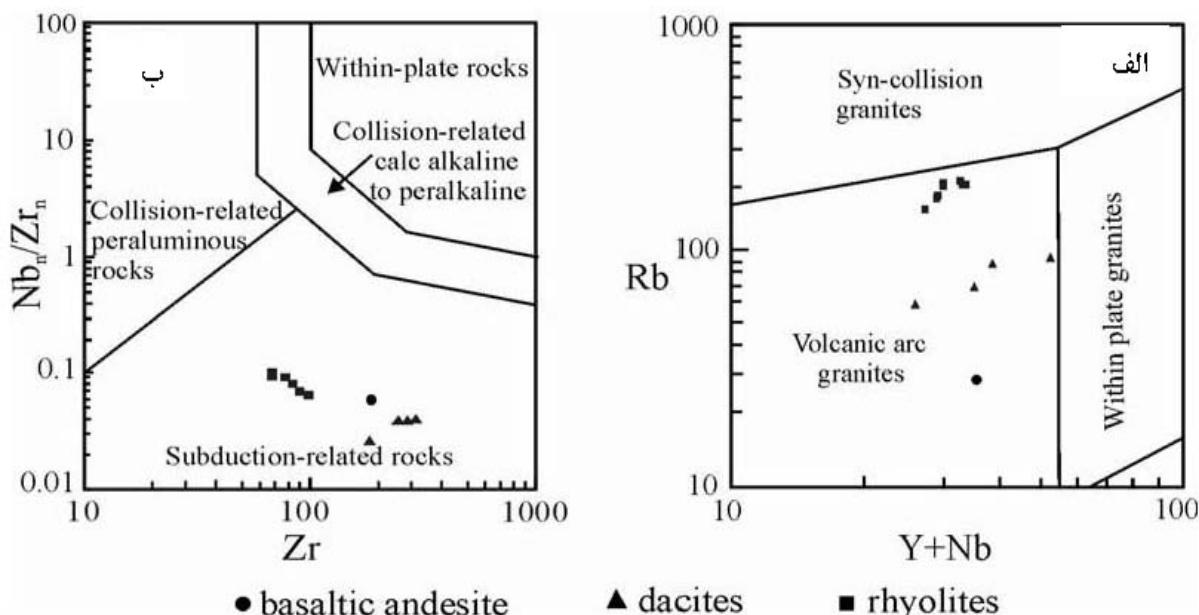
شکل ۱۰. رابطه بین ASI و درصد وزنی  $Fe_{tot}$  [۴۵] برای سنگهای آتشفشاری اسیدی شمال غربی سریش. خط  $1/1$  نمودار را به دو بخش سنگهای اسیدی نوع I و S تقسیم نموده است.

جدول ۳. مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی سنگهای مورد مطالعه با استفاده از دستگاه حساسیت سنج مغناطیسی مدل ۲-GMS.

Rock type	Susceptibility(SI Units)
ریولیت	$104 \times 10^{-5}$
ریولیت	$182 \times 10^{-5}$
داسیت	$158 \times 10^{-5}$
داسیت	$391 \times 10^{-5}$
آندرزیت	$508 \times 10^{-5}$

شمال غربی سربیشه نظیر غنی شدگی LREE، LILE و آنومالی منفی Nb و Ti بیانگر مagmaهای وابسته به فرورانش است [۵۳] [Zr/Nb<sub>n</sub>] در مقابل Zr<sub>n</sub>/Zr است [۵۲، ۴۱، ۴۰، ۳۳، ۳۲]. نمودار Nb<sub>n</sub>/Zr<sub>n</sub> در مقابل Zr که در آن محتوای Nb و Zr نمونه‌ها نسبت به مقادیر Nb و Zr گوشتی اولیه [۵۴] بهنجار شده، حاکی از وابستگی آنها به محیط فرورانش شکل (۱۱الف) و نمودار Rb در مقابل Y+Nb در مقابل Zr در مقابله با آنها [۵۵] بیانگر موقعیت کمان آتشفشاری شکل (۱۱ب) برای آنهاست.

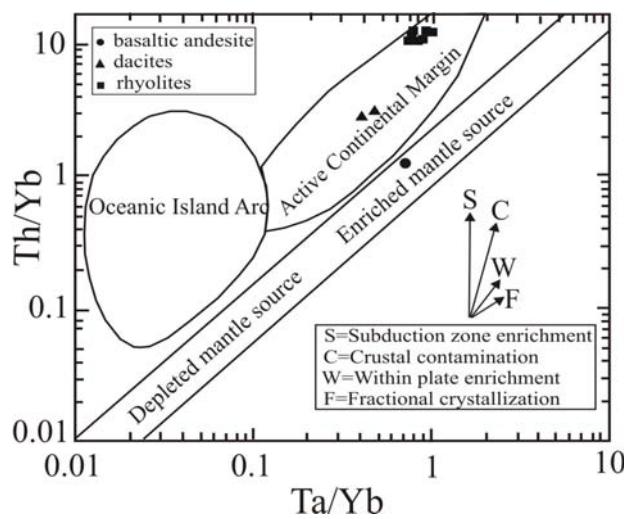
محیط تکتونیکی آندزیت، داسیت و ریولیت‌ها در محیط‌های مختلف تکتونیکی یافت می‌شوند، اما عمدتاً در مناطق فرورانش (قوس جزیره و حاشیه‌های قاره‌ای فعال) وجود داشته و ترکیب آنها در این گونه محیط‌ها به فرآیندهای داخلی در مرزهای همگرا بستگی دارد [۵۰]. فرانهای عظیم magma مای سیلیسی از آتشفشارهای کمان معمولاً بیانگر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



شکل ۱۱. الف) نمودار Rb در مقابل Y+Nb [۵۵] [۵۳] (ب) نمودار Nb<sub>n</sub>/Zr<sub>n</sub> در مقابل Zr؛ محتوای Nb و Zr نمونه‌ها نسبت به مقادیر Nb و Zr گوشتی 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 گوشه‌ای بوده که سبب پایین آوردن سالیدوس گوشه و تولید ماغما می‌شود [۵۳،۵۷]. نسبت  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  همراه با سایر پارامترهای ژئوشیمیایی برای نتیجه‌گیری درباره منشأ ماغما و تعییرات بعدی آن در حین بالا آمدن ماغما مفید است. داسیت‌های منطقه سربیشه دارای  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  بین  $0.7049$  و  $0.7054$  (میانگین  $0.7052$ ) می‌باشند [۱]. با توجه به این که سنگهای مورد مطالعه بر روی بازالت‌های مود با سن  $31/4$  میلیون سال قرار گرفته اند (فرض حداقل سن  $31$  میلیون سال)، نسبت‌های اولیه باید بین  $0.7048$  و  $0.7050$  (میانگین  $0.7049$ ) باشد [۱]. بنابراین، می‌توان منشأ گوشه‌ای را برای ماغمای سازنده آنها در نظر گرفت.

برای تشخیص این که سنگهای آتشفشاری شمال غربی سربیشه در محیط قوس جزیره اقیانوسی یا در جایگاه تکتونیکی حاشیه قاره‌ای فوران نموده‌اند، از نمودار  $\text{Th/Yb}$  در مقابل  $\text{Ta/Yb}$  [۳۲،۵۶] استفاده گردید. بر پایه این نمودار، مشخص گردید که این سنگها متعلق به حاشیه قاره‌ای فعال بوده شکل (۱۲) و ماغمای مادر آنها در اثر ذوب بخشی منشأ گوشه‌غذی شده حاصل شده است. همان گونه که ملاحظه می‌گردد، نسبت  $\text{Th/Yb}$  برای داسیت‌ها و ریولیت‌ها نسبت به گوشه، بالاتر بوده که به فرآیندهای وابسته به فرورانش نسبت داده می‌شود. ماغمای کمان عمده‌اً در اثر ذوب بخشی در گوه گوشه‌ای 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  $\text{Th/Yb}$  در مقابل  $\text{Ta/Yb}$  [۳۲،۵۶] و موقعیت سنگهای مورد مطالعه.

یا گروههای هیدروکسیل مطرح می‌باشند. میزان آب گیری شیشه‌ها به عواملی نظیر PH، حضور کاتیون‌ها در آب، رطوبت، نوع شیشه، دما، نفوذپذیری (وابسته به درزهای و گسلهای) بستگی دارد [۵۰،۵۹]. 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  $2/89$  درصد بوده جدول (۱) که با افزایش کیفیت نمونه‌ها، بر مقدار آن افزوده شده و مؤید رخداد آب گیری شیشه‌ها در منطقه است. با توجه به این که برخی از پژوهشگران منشأ ماغمایی را نیز برای آب موجود در پرلیت

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

جدول (۴) آورده شده است. همچنین، مقداری از نمونه تبدیل به پودر حدود ۵/۰ میلی متر گردید که پس از پختن در کوره مخصوص، کاملاً شکوفا شده و پرلیت منبسط با وزن مخصوص  $38 \text{ gr/cm}^3$  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 ۳درصد) 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.

طرح کردہ‌اند [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 انساط، وجود ۵ 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 II	نمونه I	
وزن پرلیت خام	۱۱۳/۶۸	۱۱۴/۲۱	
وزن پرلیت پخته	۱۰/۸۳	۱۰/۵۴	
چگالی پرلیت خام dm= ۱/۱۴	۱/۱۴۲۱	۱/۱۳۶۸	gr/cc
چگالی پرلیت خام dm'= ۰/۱۱	۰/۱۰۵۴	۰/۱۰۸۳	gr/cc
ضریب انساط حجمی ER= dm/ dm'= ۱/۱۴ / ۰/۱۱ = ۱۰/۴			

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 مagma، کاهش فشار حاکم بر magma، از دست دادن سریع مواد فرآر در حین فوران و فرایندهای آلایش می‌باشد. مقایسه مقادیر عناصر اصلی نمونه‌های پرلیت سربیشه با نمونه‌هایی از ایران و مناطق مختلف دنیا، حاکی از کیفیت مطلوب و مشابه آنها با پرلیت‌های تجاری است. خصوصیات شیمیایی سنگهای آتشفشانی شمال غربی سربیشه نظیر غنی‌شدگی LREE، LILE و آنومالی منفی Nb و Ti بیانگر

نتیجه گیری  
فعالیتهای آتشفشانی ترشیری (اووسن- الیگوسن تا پلیوسن) در شمال غربی سربیشه به صورت گنبدی‌هایی با ترکیب حدواتسط تا اسیدی به همراه نهشته‌های آذرآواری شامل توف و ایگنبریت رخمنون دارند. مشاهدات صحرایی 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 آب گیری شیشه‌های است. ستون

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

[10] Kogel J. E., Trivedi N. C., Barker J. M., Kruckowski S. T., "Industrial Minerals and rocks, commodities, markets and uses", Society for mining, metallurgy and exploration, Inc(SME) (2006) p685-702.

[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) p 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 p.

[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) p 685-702.

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

[۱۷] قربانی ق., "بررسی ژئوشیمیایی و پتروزنیکی و لکانیک های جوان(نیوزن-کواتررن) منطقه بیرجند", دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۷۷).

[۱۸] محمدی س. س., "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 ماقمای سازنده آنها به مناطق فروزانش است. آنومالی منفی Ba در فازهای اسیدی، می‌تواند بیانگر تفریق فلدسپارها و یا نقش پوسته قاره‌ای بالایی در فرآیندهای ماقمایی باشد. همان گونه که انتظار می‌رفت، بیشترین میزان Sr در سنگهای مورد مطالعه مربوط به نمونه آندزیت بازالتی است. تهی شدگی باز P و Ti در ریولیت‌ها به تفریق آپاتیت و تیتانومگنتیت و غنی شدگی 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) p 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] Tirrell 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 p 1-12.
- [8] Breese R. O. Y., Barker J. M., "Industrial Minerals and Rocks, 6th Edition", Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc (1994) p 735-749.
- [9] Al-Ta'ae S. J., "Introduction to Industrial Usages for Yemeni Non-metallic Ores",

- diagram", Journal of Petrology 27 (1986) 745-750.*
- [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 p.
- [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 perlites 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) p 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 معدن ایران- مرکز بیرونی (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) p 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, volume44, number8(2003) p 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 calc-alkaline 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., Hawkesworth 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 p.
- [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

- NE Japan", Journal of Volcanology and Geothermal Research* 167 (2007) 119–133.
- [52] Wilson M., "Igneous Petrogenesis", Springer Verlag (2007) 466 p.
- [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., Tindel 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) p 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 p.
- [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) 88p.

- continental crust", Chemical Geology* 165 (2000) 197–213.
- [41] Gencalioglu Kuscu G., Geneli F., "Review of post-collisional volcanism in the central Anatolian volcanic province(Turkey), with special reference to the Tepekoval 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., Jrashian 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., Hrouda 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) p 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) p 45-48.
- [50] Gill R., "Igneous rocks and processes", Wiley-Blackwell (2010) 428 p.
- [51] Yamamoto T., "A rhyolite to dacite sequence of volcanism directly from the heated lower crust: Late Pleistocene to Holocene Numazawa volcano,