



نقش تفریق ماگمایی و ذوب بخشی پوسته در تکوین سنگهای آتشفشانی

اسیدی، جنوب دانسفهان

نوشته: دکتر محمدرضا قربانی*

The Role of Magmatic Differentiation and Crustal Partial Melting in the Genesis of Acidic Volcanic Rocks, South of Danesfahan

By: Dr. M.R. Ghorbani*

چکیده

ویژگیهای زمین شیمیایی و سنگ نگاری سنگهای آتشفشانی اسیدی جنوب دانسفهان گویای آن است که این سنگها محصول فرایندهای سنگ زادی متفاوتی هستند. فرایند اصلی که در تکوین بیشتر این سنگهای اسیدی ایفای نقش کرده، تفریق ماگمایی از راه تبلور بخشی است. این دسته از سنگها، ریولیتهایی با ویژگیهای زیر را شامل می‌شوند: 1) بافت آنها پرفیری است، 2) دارای بی‌هنجاری منفی Eu هستند و 3) همراه با افزایش SiO₂، محتوی LILE در این سنگها کاهش و REE آنها افزایش می‌یابد. اندکی از سنگهای اسیدی این ناحیه ویژگیهایی را داراست که گویای پدید آمدن از راه ذوب بخشی سنگهای پوسته بالایی است. این دسته از سنگها، ریولیتهایی رادر برمی‌گیرد که دارای این مشخصات است: 1) بافت آنها شیشه‌ای یا پرلیتی است، 2) فاقد بی‌هنجاری منفی Eu هستند، 3) دارای بالاترین نسبتهای LILE/REE و LREE/HREE در میان سنگهای اسیدی است.

کلید واژه‌ها: ماگما، تبلور، ذوب، پوسته، سنگهای آتشفشانی اسیدی، زمین شیمی، دانسفهان.

Abstract

Geochemical characteristics and petrography of the acidic volcanic rocks from the South of Danesfahan indicate that these rocks are products of different petrogenetic processes. Magmatic differentiation through fractional crystallization has played the main role in the evolution of majority of acidic rocks. These rocks include the rhyolites with the following features: 1) porphyritic texture, 2) negative anomaly of Eu, and 3) decreasing LILE and increasing REE contents with increasing silica. A few of acidic rocks from the study area show characteristics implying their generation through partial melting of the upper crustal rocks. These include the rhyolites with the following features: 1) vitrophyric or perlitic texture, 2) lack of negative anomaly of Eu, and 3) the highest LILE/REE and LREE/HREE ratios amongst the acidic volcanic rocks.

Key words: Magma, Crystallisation, Melting, Crust, Acidic volcanic rocks, Geochemistry, Danesfahan.

مقدمه

مروری بر پژوهش‌های انجام شده درباره چگونگی تشکیل سنگهای آتشفشانی اسیدی نشان می‌دهد که دو مدل ماگمایی بسیار متفاوت در این مورد وجود دارد. در مدل اول، ماگمای اسیدی از راه تبلور بخشی از یک ماده مذاب بازی پدید می‌آید (Eggins & Druitt, 1988). در مدل دوم، ماده مذاب بازی، گرمای لازم برای ذوب بخشی سنگهای پوسته و تشکیل ماده مذاب اسیدی را فراهم می‌آورد (Bullen & Clynne, 1990; Borg & Clynne, 1998). نقش این مدلها در تکوین سنگهای آتشفشانی اسیدی، نیازمند مطالعات زمین‌شیمیایی جامع مشتمل بر طیف وسیعی از عناصر جزئی در این سنگهاست. در گذشته به دلیل عدم دسترسی گسترده به امکانات تجزیه شیمیایی ویژه در مورد عناصر جزئی، چگونگی تشکیل سنگهای اسیدی در مجموعه‌های آتشفشانی ایران به ندرت مورد بررسی دقیق قرار گرفته‌است (برای نمونه، قربانی، 1380). این

مروری بر پژوهش‌های انجام شده درباره چگونگی تشکیل سنگهای آتشفشانی اسیدی نشان می‌دهد که دو مدل ماگمایی بسیار متفاوت در این مورد وجود دارد. در مدل اول، ماگمای اسیدی از راه تبلور بخشی از یک ماده مذاب بازی پدید می‌آید (Eggins & Druitt, 1988). در مدل دوم، ماده مذاب بازی، گرمای لازم برای ذوب بخشی سنگهای پوسته و تشکیل ماده مذاب اسیدی را فراهم می‌آورد (Bullen & Clynne, 1990; Borg & Clynne, 1998). نقش این مدلها در تکوین سنگهای آتشفشانی اسیدی، نیازمند مطالعات زمین‌شیمیایی جامع مشتمل بر طیف وسیعی از عناصر جزئی در این سنگهاست. در گذشته به دلیل عدم دسترسی گسترده به امکانات تجزیه شیمیایی ویژه در مورد عناصر جزئی، چگونگی تشکیل سنگهای اسیدی در مجموعه‌های آتشفشانی ایران به ندرت مورد بررسی دقیق قرار گرفته‌است (برای نمونه، قربانی، 1380). این





آتشفشانی و سنگهای آذرآواری بازی- حدواسط ائوسن قرار دارند. بر این اساس، سنگهای آتشفشانی اسیدی مذکور به ائوسن پسین- الیگوسن نسبت داده شده‌اند.

سنگهای آتشفشانی جنوب دانسفهان پیش‌تر توسط خان‌ناظر (1359) و مسعودی (1369) مطالعه شده‌اند. در بین تجزیه‌های شیمیایی ارائه شده توسط مسعودی، تعداد قابل ملاحظه‌ای سنگ آتشفشانی اسیدی دیده می‌شود. این محقق، تکوین سنگهای آتشفشانی اسیدی مذکور را محصول فرایند تفریق ماگمایی از راه تبلور بخشی تلقی کرده است. تجزیه شیمیایی عناصر جزئی این مؤلف به روش طیف سنجی صورت گرفته و محدود به عناصر Zr, V, Y, Ga, Sc, Ba, Ce, Co بوده است. در بخش دیگری از این مقاله، تجزیه شیمیایی سنگهای آتشفشانی اسیدی به دست آمده توسط مسعودی با نمونه‌های حاصل از مطالعه حاضر، مقایسه شده‌اند.

داده‌های سنگ نگاری و زمین شیمیایی

سنگهای آتشفشانی اسیدی جنوب دانسفهان دارای ترکیب ریولیتی بوده (شکل 2) و از آنجا که دارای کربندوم نورماتیو هستند (جدول 1)، ترکیب پرآلومین دارند. در بررسی سنگ نگاری این سنگهای آتشفشانی اسیدی، دو بافت از یکدیگر متمایز می‌شوند. بیشتر نمونه‌ها دارای بافت پرفیری با زمینه ریزبلورین تا نهران بلورین هستند. درشت بلور این سنگها، بیشتر فلدسپار و تعدادی کوارتز است. نوع دوم بافت که در آن سنگ دارای زمینه کاملاً شیشه‌ای است، در تعداد اندکی از نمونه‌ها مشاهده می‌شود. در این دسته از سنگها، بافت پرلیتی آشکارا توسعه یافته است. بر روی نمودارهای تغییرات هارکر، تفاوت چشمگیری بین فراوانی عناصر جزئی نمونه‌های دارای بافت پرفیری و نمونه پرلیتی دیده می‌شود. سنگهای پرفیری نسبت به نمونه پرلیتی دارای K, Rb و Ba کمتر و Ti, Nb, Zr بیشتری هستند. سنگهای اسیدی دارای بافت پرفیری، در ادامه روند تفریق سنگهای بازی- حدواسط ظاهر می‌شوند، حال آنکه دیگر سنگهای اسیدی (با بافت پرلیتی) در فاصله زیادی از این روند خودنمایی می‌کند. این مطلب بویژه بر روی نمودارهای تغییرات سیلیس در برابر Zr و Y به خوبی آشکار است (شکل 3).

دوگانگی بافتی و ترکیبی

گفته شد سنگهای آتشفشانی اسیدی جنوب دانسفهان، دو بافت متمایز پرفیری و پرلیتی را به نمایش می‌گذارند. این پدیده ممکن است بازتاب فرایندهای کاملاً متفاوتی باشد که در شکل‌گیری این سنگهای اسیدی دخالت داشته‌اند. بررسی زمین شیمیایی سنگهای مذکور این مطلب را تأیید می‌کند.

مؤلف با مرور مطالعات صورت گرفته در مورد سنگهای آتشفشانی اسیدی چهارگوش ساوه، دلایل ارائه شده از طرف برخی پژوهشگران مبنی بر نقش اصلی ذوب بخشی پوسته در شکل‌گیری سنگهای اسیدی را نقد کرده است.

در مطالعه حاضر برای نخستین بار شاخصهای تمیز بین سنگهای آتشفشانی اسیدی حاصل از فرایند تبلور بخشی ماگمای بازی- حدواسط و سنگهای اسیدی حاصل از ذوب بخشی پوسته در بخشی از زون ماگمایی ارومیه- دختر، در جنوب دانسفهان، تعیین و ارائه شده است. این پژوهش با تکیه بر تجزیه‌های شیمیایی نسبتاً کامل صورت پذیرفته است که در بردارنده عناصر اصلی و جزئی (از جمله عناصر خاکی کمیاب) با دقت بسیار بالاست. تجزیه شیمیایی عناصر اصلی و جزئی Rb, Sr, Ba, Nb, Zr, Y, U, Mo, V, Cd, Co, Ni, Zn, Cu (جدول 1) به روش XRF در دانشگاه نیوساتولز، استرالیا با یک دستگاه طیف سنج Phillips PW2400 صورت پذیرفته است. حد پایینی آشکارسازی (LLD) و دقت نتایج حاصل، در جدول 1 در پراتز ذکر شده است. تجزیه شیمیایی عناصر جزئی La, Ce, Nd, Ta, Hf, Cr, Sc, Th, Sm, Eu, Tb, Ho, Yb (جدول 1) به روش NAA در سازمان انرژی اتمی شهر سیدنی، استرالیا با استفاده از راکتور HIFAR صورت پذیرفته است. حد پایینی آشکارسازی (LLD) و دقت نتایج حاصل در جدول 1 در پراتز ذکر شده است.

زمین‌شناسی ناحیه

منطقه مورد مطالعه بخشی از نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ساوه (عمیدی، 1363) و نقشه زمین‌شناسی دانسفهان (اقلمی و دیگران، 1378) است (شکل 1-a,c,d). سنگهای آتشفشانی جنوب دانسفهان بخشی از شمالی‌ترین رخنمونهای یک واحد زمین ساختمانی ماگمایی مهم با عنوان مجموعه ماگمایی ارومیه- دختر هستند (شکل 1-b). این سنگها نتیجه ماگماتیسم جزیره کمانی در جریان فروانش لبه اقیانوسی نوتتیس به سمت شمال در مزوزویک پیشین- سنوزویک تلقی شده است (Alavi, 1996). باور بر آن است که چهارجوب آتشفشانی پدیدآورنده این مجموعه، یک کمان ماگمایی از نوع آندی با ویژگی کلسیمی- فلیایی بوده است (Alavi, 1994; Berberian et al., 1982). نمونه سنگهای آتشفشانی اسیدی مورد بحث در این مقاله، متعلق به یک توالی از سنگهای آتشفشانی و سنگهای آذرآواری اسیدی (واحد - EOrd، شکل 1-d) است که در حوالی روستای مرادیکلو (در جنوب دانسفهان) رخنمون دارند. این توالی بر روی زمین، به صورت یک گستره روشن رنگ (خاکستری، سبز تا متمایل به سفید) قابل مشاهده است که بر روی سنگهای





پرلیتی منطقه مورد مطالعه همخوانی دارد. الگوی بهنجار شده خاکهای کمیاب نمونه پرلیتی (شکل 4) به موازات الگوهای خاکهای کمیاب دیگر نمونه‌های اسیدی (با بافت پرفیری) نیست. این پدیده، گویای تفاوت فرایندهای سنگ زادی دیگر در شکل‌گیری این سنگهاست. الگوهای بهنجار شده عناصر جزئی نمونه پرلیتی، بیشترین شب و کمترین تفریق یافتگی در بین سنگهای آتشفشانی اسیدی را دارد (شکل‌های 4 و 5). این مشخصات، دلایل محکمی مبنی بر شکل‌گیری نمونه پرلیتی از یک مذاب بخشی پوسته است. همچنین بر روی نمودار Qz-Ab-Or (شکل 6) ترکیب نورماتیو نمونه پرلیتی نسبت به نمونه‌های پرفیری، در نزدیکی نقطه شروع ذوب بخشی قرار می‌گیرد. این ویژگی، تشکیل سنگ آتشفشانی اسیدی پرلیتی، از راه ذوب بخشی سنگهای پوسته را تأیید می‌کند.

در مورد به کارگیری تجزیه شیمیایی نمونه پرلیتی باید احتیاط کرد، چرا که ممکن است در صورت آگیری گسترده، ترکیب شیمیایی عناصر جزئی نمونه پرلیتی نیز دستخوش تغییرات قابل ملاحظه‌ای شود. بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری، نمونه پرلیتی مطالعه حاضر، فاقد تبدیل شدگی است و میزان اندک اجزای فرار موجود در آن نیز مؤید این مطلب است (بر اساس جدول 1، نمونه پرلیتی دارای 0/9 درصد وزنی اجزای فرار است حال آنکه یکی از نمونه‌های پرفیری دارای 2/6 درصد وزنی اجزای فرار می‌باشد). بنابراین، بالا بودن میزان عناصر نادر Rb و Ba در نمونه با بافت پرلیتی، یک مشخصه نامربوط با تبدیل شدگی و مرتبط با فرایندهای ماگمایی پدیدآورنده آن است.

مقایسه نمونه‌های مورد مطالعه با داده‌های پیشین

نمونه سنگهای آتشفشانی اسیدی که توسط مسعودی (1369) تجزیه شیمیایی شده، روندی مشابه روند تفریق ماگمایی حاصل از مطالعه حاضر را نشان می‌دهد (شکل 3). تعداد نمونه‌های ایشان، بیشتر بوده و طیف ترکیبی وسیع‌تری را می‌پوشاند. فراوانی و روند تغییرات عناصر اصلی و جزئی در نمونه سنگهای اسیدی مسعودی، نشان می‌دهد که تفریق ماگمایی در شکل‌گیری آنها نقش اصلی داشته است. مسعودی (1369) نیز شکل‌گیری سنگهای آتشفشانی اسیدی این منطقه را محصول تبلور بخشی دانسته است. یکی از اسیدی‌ترین نمونه‌های مسعودی (که در شکل 3 با دو دایره نشان داده شده) در مقایسه با نمونه مجاور، دارای K بالاتر و Ti، Zr و Y پایین‌تری است. ممکن است این نمونه از یک ماگمای حاصل از ذوب بخشی پدید آمده باشد.

در ادامه، اثر تبلور بخشی و ذوب بخشی در تکوین این سنگهای آتشفشانی اسیدی، به تفکیک بحث می‌شود.

اثر زمین شیمیایی تبلور بخشی یک ماگمای اسیدی

در یک ماگمای اسیدی، فاز اصلی که متحمل تبلور بخشی می‌شود، فلدسپات قلیایی است. این کانی دارای ضریب توزیع بالایی برای K، Rb و Ba است (Smith and Johnson, 1999; Nono et al., 1981). بنابراین جدایش فلدسپات قلیایی از این ماگما، سبب کاهش سریع این عناصر می‌شود. از سوی دیگر، فلدسپات قلیایی دارای ضریب توزیع پایینی برای عناصر خاکی کمیاب یا REE (به جز Eu) است. در نتیجه تبلور بخشی این کانی، سبب افزایش موزون این دسته از عناصر جزئی در سنگهای اسیدی می‌شود. الگوهای موازی عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های پرفیری منطقه مورد مطالعه، که در بین آنها نمونه تفریق‌یافته‌تر (DS9) دارای مقدار REE بالاتری است، تأیید کننده این مطلب می‌باشد (شکل 4). در شکل 5 دیده می‌شود که همین نمونه تفریق یافته (DS9)، دارای LILE (برای نمونه K، Rb و Ba) پایین‌تری است که گواه دیگری بر تبلور بخشی فلدسپار در تفریق ماگمایی نمونه‌های پرفیری می‌باشد. شکل‌های 4 و 5، به ترتیب الگوهای بهنجار شده خاکهای کمیاب و الگوهای بهنجار شده عناصر جزئی (از جمله خاکهای کمیاب) در سنگهای اسیدی جنوب دانسفهان را نشان می‌دهد. بی‌هنجاری منفی Eu مشاهده شده در الگوهای بهنجار شده خاکهای کمیاب سنگهای اسیدی پرفیری (شکل 4) را نیز می‌توان به تأثیر تبلور بخشی فلدسپار در تکوین این سنگها نسبت داد. مذابهای بخشی حاصل از پوسته ممکن است در تکوین این سنگهای پرفیری از یک نقش فرعی برخوردار باشند. اثبات این مطلب نیازمند بررسی نسبت‌های ایزوتوپی سنگ‌کل است.

شواهد زمین‌شیمیایی ذوب بخشی پوسته در تولید ماگمای اسیدی

نخستین ماده مذاب که در جریان ذوب بخشی سنگهای پوسته بالایی پدید می‌آید، حاصل تحلیل رفتن و ذوب فلدسپار قلیایی و کوارتز موجود در سنگ است. فلدسپار قلیایی، دارای K، Rb و Ba بالایی است، لذا ماده مذاب اولیه دارای مقادیر بالایی از این عناصر می‌باشد. از آنجا که فلدسپار و کوارتز فاقد عناصری همچون Ti، Zr، Nb و Y هستند، در نتیجه این ماده مذاب، بسیار فقیر از این عناصر کمیاب است. این ویژگی‌های مذاب بخشی، با اختصاصات زمین شیمیایی نمونه





نتیجه‌گیری

حدواسط در اعماق بیشتر پوسته است. این سنگها دارای درشت بلور هستند و در طی تفریق، از عناصری همچون Zr و Y غنی شده‌اند. مذابهایی بخشی حاصل از پوسته، ممکن است در تکوین این سنگهای دارای درشت بلور (پرفیری) نقشی فرعی داشته باشند. اثبات این مطلب نیازمند بررسی نسبتهای ایزوتوپی سنگ کل است.

سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از نتایج طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه تربیت مدرس است و بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تقدیر می‌نمایم. نقطه نظرات ارائه شده توسط داوران محترم نیز بسیار سودمند بوده و از آنها تشکر می‌کنم.

ماگمای بازی به دام افتاده در سطوح بالایی پوسته، منبع احتمالی گرما برای ذوب سنگهای پیرامون و شکل‌گیری مذاب بخشی اسیدی بوده است. این مذاب بخشی با فاصله زمانی اندکی از شکل‌گیری به سطح زمین صعود کرده است. صعود سریع، مانع از تبلور این ماگما شده و بافت شیشه‌ای را پدید آورده است. بلورهای اندک، خورده شده و گرد فلدسپار موجود در این سنگ، باید قطعات جدا شده از سنگ منشأ ماگمای اسیدی باشند. سنگهای اسیدی حاصل از این مذاب بخشی، غنی از LILE (همچون K، Rb و Ba) و فقیر از Ti، Zr، Y است. برعکس، سنگهای آتشفشانی اسیدی که تبلور بخشی، فرایند اصلی پدید آورنده آنها بوده است، حاصل تفریق تدریجی (دراز مدت) در محفظه ماگمایی بازی-

جدول 1- تجزیه عناصر اصلی و کمیاب (شامل REE) سه گروه سنگهای اسیدی آتشفشانی از جنوب دانسفهان. ترکیب نورماتو CIPW نیز تهیه شده است. برای تهیه نسبت اکسید آهن به آهن کل (برای محاسبات نورم)، از جدولهای Middlemost (1988) استفاده شده است.

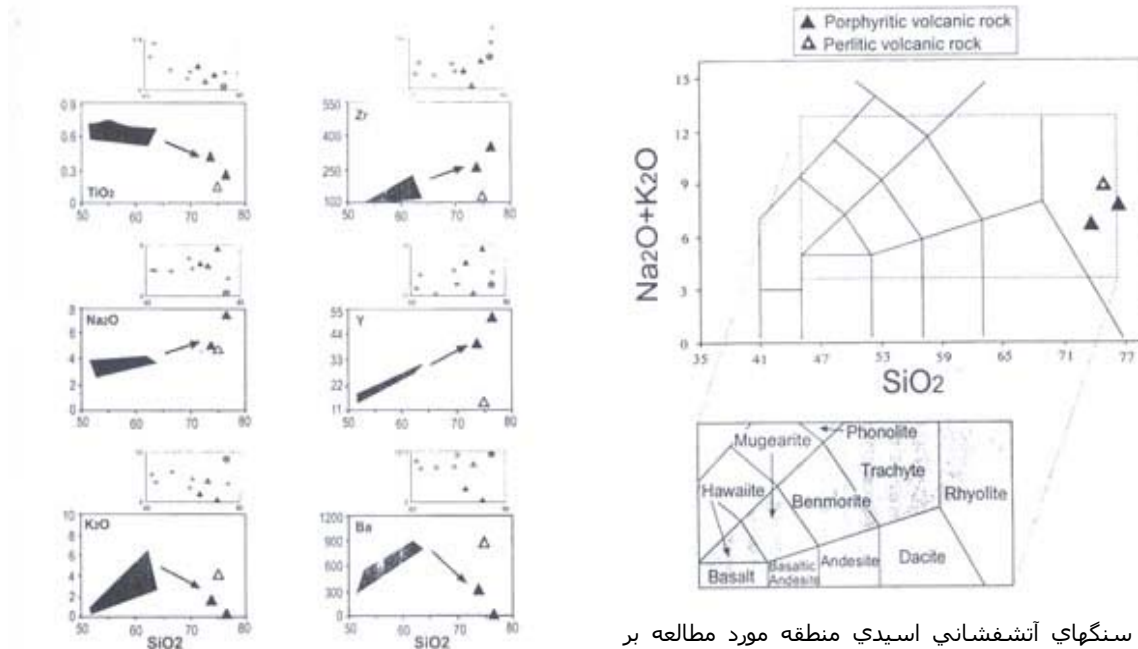
	DS8	DS9	DS10	REE & Trace elements (NAA, ppm)			
SiO ₂	73.67	76.38	74.90	La (0.05, 0.2)	27.5	41	22.8
SiO ₂	0.42	0.26	0.15	Ce (0.5, 0.4)	52.9	78.7	38.8
Al ₂ O ₃	13.91	13.85	13.47	Nd (1.0, 0.4)	25.6	36.2	13.4
FeO	2.84	1.13	1.51	Sm (0.01, 0.04)	5.32	7.86	2.26
MnO	0.08	0.01	0.08	Eu (0.05, 0.01)	0.74	1.57	0.55
MgO	0.62	0.17	0.46	Tb (0.2, 0.1)	0.95	1.44	0.37
CaO	1.50	0.36	0.41	Ho (0.2, 0.1)	1.42	2.22	0.54
Na ₂ O	5.07	7.45	4.76	Yb (0.03, 0.02)	4.22	6.02	1.62
K ₂ O	1.56	0.28	4.15	Lu (0.01, 0.004)	0.62	0.9	0.24
PH ₂ O	0.07	0.04	0.05	Cr (2.0, 0.8)	51.8	62.4	81.9
S	0.07	0.05	0.05	Sc (0.05, 0.1)	8.71	5.68	1.8
Total	100.00	100.00	100.00	Hf (0.2, 0.05)	7.83	9.47	3.69
L.O.I.	2.59	0.81	0.91	Ta (0.5, 0.4)	1.03	1.25	0.72
Mg#	0.36	0.23	0.37	Th (0.2, 0.07)	10.4	8.14	14.8
Trace elements (XRF, ppm)				Norm (CIPW)			
RB (1, 0.9)	57.7	13.6	99.8	Clz	33.56	30.99	29.61
Sr (0.9, 0.8)	297.6	69.1	77.2	Ur	9.22	1.65	24.53
Ba (8, 8)	312.1	23.8	898.2	Ab	42.9	63.04	40.26
Nb (1, 0.2)	13.6	19.1	9.2	An	6.98	1.52	1.71
Zr (1, 0.3)	256.1	346.2	126.7	U	1.32	0.73	0.52
Y (1, 0.6)	40	52	13.3	Di	0.00	0.00	0.00
U (2.9, 0.9)	4.3	4.7	6.1	Hy	2.93	0.59	1.8
Mo (1.6, 0.5)	1.9	1.1	3.1	Wo	0.00	0.00	0.00
V (2.9, 1.4)	41.1	23.1	24	Uj	0.00	0.00	0.00
Cd (3, 2)	0.9	1.3	2.3	MT	2.09	0.83	1.09
Ce (2.9, 0.6)	1.1	-4.9	-2.4	B	0.8	0.49	0.28
Ni (2, 0.9)	3.1		5.7	Ap	0.16	0.09	0.32
Zn (1.8, 0.8)	52.5	14.3	47	Total	99.93	99.93	99.94
Cu (2, 0.8)	25.3	8.1	9	Am%	14	2.36	4.07

Major elements are recalculated to 100% on anhydrous basis. Negative number means less than LLD. Numbers in brackets are lower levels of detection (LLD) and precision respectively. They are in ppm.



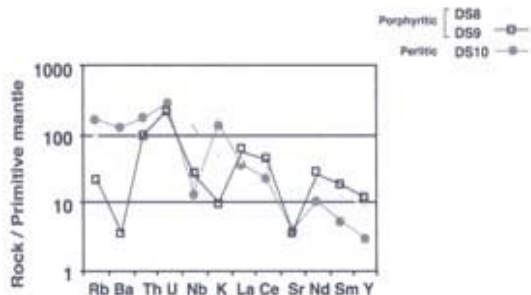
شکل 1- (a) موقعیت چهارگوش ساوه در پهنه ایران زمین (b) واحدهای زمین ساختمانی ماگمایی و ساختمانی مهم پیرامون منطقه مورد مطالعه (برگرفته از Alavi, 1994; Alavi, 1996). UDMA = مجموعه ماگمایی ارومیه- دختر، SSZ = زون سنندج- سیرجان، NTCS = زمین‌دز برخوردی نوتیس، ZS = زمین‌دز زاگرس (c) موقعیت منطقه مورد مطالعه (مستطیل جنوب دانسفهان) در نیمه غربی چهارگوش ساوه. بخشهای خاکستری در این شکل، رخنمونهای آتشفشانی و آذرآواری ترشیری در چهارگوش ساوه است (برگرفته از عمیدی، 1363). (d) نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه (برگرفته از افلیمی و دیگران، 1378).



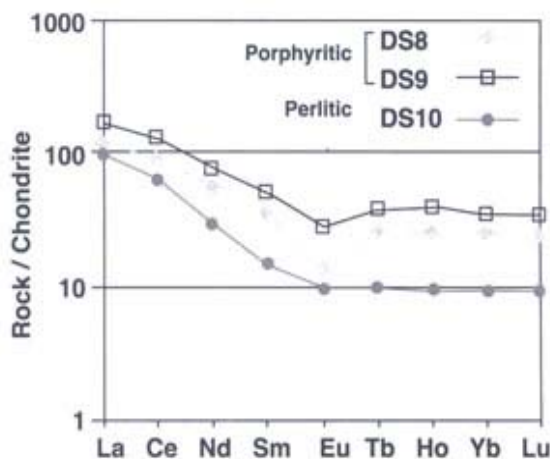


شکل 2- سنگهای آتشفشانی اسیدی منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار "مجموع قلیایی در برابر سیلیس" (Le Bas et al., 1986) در محدوده ریولیت قرار می‌گیرند.

شکل 3- بر روی برخی از نمودارهای هارکر؛ تمایز ترکیب شیمیایی سنگهای آتشفشانی اسیدی پرفیری (مثلث توپر) از پرلیتی (مثلث توخالی) آشکارا دیده می‌شود. روند تفریقی ترکیب بازی- حدواسط (داده‌های منتشر نشده که در سمت چپ نمودار با خاکستری تیره نشان داده شده است) به سمت ترکیب اسیدی، با پیکان نمایش داده شده‌اند. نیمه خاکستری سمت راست نمودارهای بزرگ به صورت نمودارهای کوچک‌تر نمایش داده شده‌اند. در این نمودارهای کوچک، داده‌های مسعودی (1369) با سه نمونه سنگ آتشفشانی مطالعه حاضر، مقایسه شده‌اند. برای توضیح بیشتر، متن مقاله را ببینید.

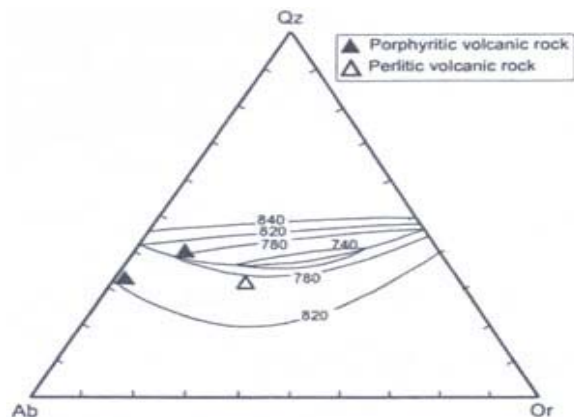


شکل 5- الگوهای بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) عناصر جزئی (از جمله خاکهای کمیاب) سنگهای آتشفشانی اسیدی جنوب دانسفهان.



شکل 4- الگوهای بهنجار شده نسبت به کندریت (Sun & McDonough, 1989) عناصر خاکی کمیاب سنگهای آتشفشانی اسیدی جنوب دانسفهان.





شکل 6- ترکیب نورماتیو-سنگهای آتشفشانی اسیدی جنوب دانسفهان بر روی نمودار مثلثی که نقطه شروع ذوب در سیستم Qz-Or-Ab (Tuttle & Bowen, 1958) را نشان می‌دهد

کتابنگاری

- اقلیمی، ب.، مصوری، ف. و مهرپرتو، م.، 1378- نقشه زمین‌شناسی دانسفهان، مقیاس: 1: 000،100 (نقشه شماره 5961). سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. تهران.
- خان ناظر، ن. ح.، 1359- مطالعه زمین شناسی و پترولوژی ناحیه رزک (چهار گوش ساوه). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- عمیدی، س. م. (گردآوری و تکمیل)، 1363- نقشه چهارگوش زمین‌شناسی ساوه، مقیاس: 1: 000،250 (نقشه شماره E5). سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. تهران.
- قربانی، م. ر.، 1380- سنگهای آتشفشانی اسیدی در چهارگوش ساوه. بیستمین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. تهران.
- مسعودی، ف.، 1369- چینه شناسی، پتروگرافی، ژئوشیمی و پترولوژی سنگهای آتشفشانی جنوب بوئین زهرا. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت معلم.

References

- Alavi, M., 1994- Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229, 211-238.
- Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz Mountain system in northern Iran. Vol. 21, No. 1, pp.1-33. *J. Geodynamics*. 21, 1, 1-33.
- Bacon, C.R., Druitt, T.H., 1988- Compositional evolution of the zoned calcalkaline magma chamber of Mount Mazama, Crater Lake, Oregon. *Contrib. Mineral. Petrol.* 98, 224-256.
- Berberian, F., Muir, I.D., Pankhurst, R.J., Berberian, M., 1982- Late Cretaceous and Early Miocene Andean type plutonic activity in northern Makran and Central Iran. *J. Geol. Soc. Lond.* 139, 605-614.
- Borg, L.E., Clynne, M.A., 1998- The Petrogenesis of Felsic Calc-alkaline Magmas from the Southernmost Cascades, California: Origin by Partial Melting of Basaltic Lower Crust. *J. Petrol.*, 39, 6, 1197-1222.
- Bullen, T.D., Clynne, M.A., 1990- Trace element and isotopic constraints on magmatic evolution at Lassen Volcanic Center. *J. Geophys. Res.* 95, 19671-19691.
- Eggins, J., Hensen, B.J., 1987- Evolution of mantle-derived, augite-hypersthene granodiorites by crystal-liquid fractionation: Barrington Tops batholith, eastern Australia. *Lithos* 20, 295-310
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986- A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica (TAS) diagram. *J. petrol.* Vol. 27, p.745-750.
- Middlemost, E.A.K., 1989- Iron oxidation ratios, norms and the classification of volcanic rocks. *Chem. Geol.* 77, 19-26.
- Nono, A., Deruelle, B., Demaiffe, D., Kambou, R., 1994- Tchabal Nganha volcano in Adamawa (Cameroon): petrology of a continental alkaline lava series. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 60, 147-178.
- Smith, I.E.M., Johnson, R.W., 1981- Contrasting rhyolite suites in the Late Cenozoic of Papua New Guinea. *J. Geophys. Res.* 86, 10257-10272.
- Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D. and Norry, M.J. (Eds.) *Magmatism in the ocean basins*, Geol. Spec. Publ. No.42, 313-345.
- Tuttle, O.F., & Bowen, N.L., 1958- Origin of granite in the light of experimental studies in the system NaAlSi₃O₈-KAlSi₃O₈-SiO₂-H₂O. *Memoir of the Geological Society of America*, 74, 153pp.