

پتروژنر سنگ‌های آتشفسانی پلیوسن- کواترنری در استان اصفهان: با نگرشی بر مagma تیسم آدکیتی

موسی نقره‌ئیان^۱، مهناز خدامی^{۲*}، علیرضا داوودیان دهکردی^۳، ناهید شبانیان بروجني^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات

۳- دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

(دریافت مقاله: ۸۹/۳/۲۹، نسخه نهایی: ۸۹/۸/۱۵)

چکیده: سنگ‌های آتشفسانی پلیوسن- کواترنری در دو منطقه مجزا در جنوب خاوری- شمال باختり اصفهان با ترکیب آندزیت و داسیت بروزند دارند. بررسی داده‌های ژئوشیمیایی این سنگ‌ها و الگوی عناصر نادر و نادر خاکی نشان می‌دهند که این مواد آتشفسانی را مجموعه‌ای از سنگ‌های آهکی- قلیایی متوسط تا بالا تشکیل داده‌اند و از عناصر LREE و LILE غنی و از Nb, Ti, Y و MgO, Sr/Y و La/Yb و مقادیر پائین Tr و Yb نسبت به سنگ‌های آتشفسانی آهکی- قلیایی معمولی هستند و نشانی از ویژگی‌های آدکیتی نیز در آن‌ها دیده می‌شود. بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی، این سنگ‌ها می‌توانند در اثر گداخت بخشی پوسته‌ی پائینی قاره‌ای یا ضخیم شده، و یا قطعه‌ی فرورانده آن در عمق به آمفیبول اکلوژیت تا گارنت- آمفیبولیت تبدیل شوند. تهی شدگی از عناصر نادر خاکی سنگین نشان دهنده‌ی یک فاز باقیمانده از گداخت حاوی گارنت و هورنبلند است.

واژه‌های کلیدی: آدکیت؛ سنگ‌های آتشفسانی؛ آهکی- قلیایی؛ اصفهان.

ماگمایی پس از برخورد [۴-۸] که از اواخر میوسن شروع شده تا کواترنر ادامه یافته است. با توجه به اینکه در محیط‌های فرورانش چگونگی شکل‌گیری ماگمایی پیچیده‌تر بوده و شامل دگرشكلي‌های چندگانه، دوره‌های ماگمایی متعدد، تغییرات ضخامت پوسته و چندگانی آن است، شاهد تولید گدازه‌ی با گستره ترکیب بزرگتری از گدازه‌های گوشه‌ی استنسوفری هستیم. تنوع سنگ‌شناسی ماگماها در ارومیه دختر علاوه بر چندگانی پوسته، می‌تواند به چگونگی ایجاد و عمق چشمۀ گرمایی برای ذوب قطعه فرورانده، گوهی گوشه‌ای یا پوسته قاره‌ای وابسته باشد. برای توجیه ماگماتیسم در این مناطق

مقدمه
کمریند ماگمایی ارومیه دختر با روند شمال غربی- جنوب شرقی به موازات پهنه‌ی زاگرس و سندنج - سیرجان با پهنه‌ی ۵۰ تا ۱۰۰ کیلومتر و طول ۱۸۰۰ کیلومتر از شمال غربی به جنوب شرقی کشیده شده [۲، ۱] و بخشی از استان اصفهان را نیز در بر می‌گیرد. بسیاری از زمین‌شناسان ماهیت سنگ‌های ماگمایی این پهنه را به فرورانش صفحه‌ی عربی به زیر اورازیا [اوراسیا] وابسته می‌دانند [۳-۶] و معتقدند برخورد دو صفحه در اثوسن بالایی- میوسن پایان یافته است، هرچند درباره‌ی زمان برخورد اتفاق نظر وجود ندارد با این وجود فعالیت

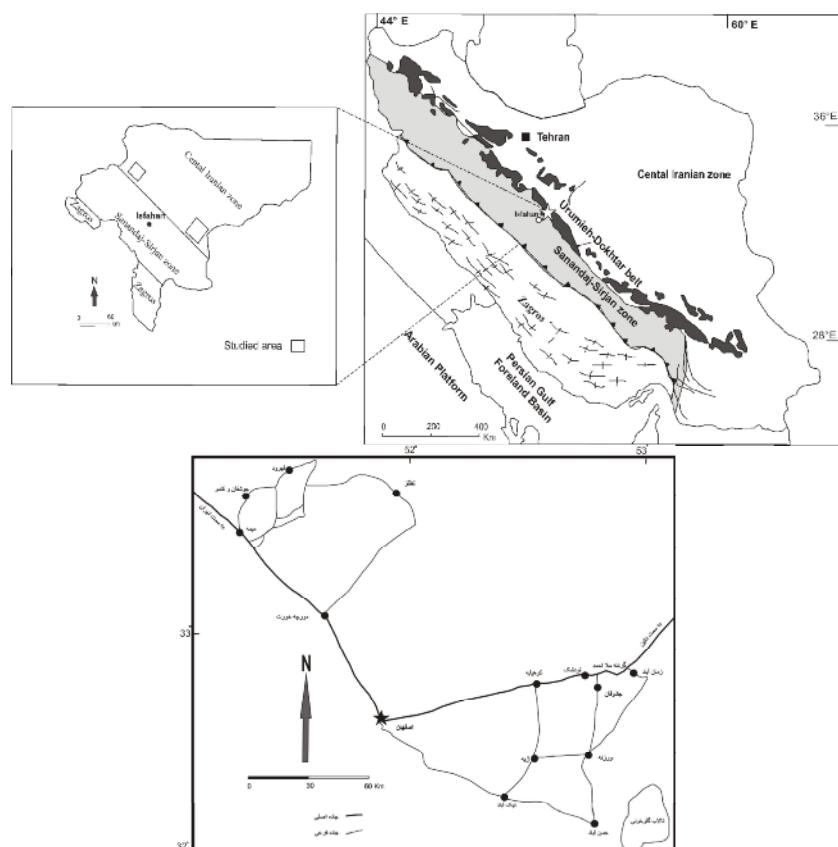
* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۳۲۷۴۵۲۹، پست الکترونیکی: mahnaz.khodami@gmail.com

بررسی‌های سنگ‌شناسی در دو منطقه مجزا واقع در شمال غربی و جنوب شرقی اصفهان انتخاب شدند (شکل ۱). متناسبانه اطلاعاتی از سن مطلق این سنگ‌ها در دست نیست و سن ارائه شده بر پایه‌ی مستندات چینه‌شناسی و نقشه زمین‌شناسی است. چینه‌نگاری رخنمون‌های سنگی منطقه بیشتر به مزوژوئیک و سنوزوئیک وابسته بوده و همگی روند شمال غربی - جنوب شرقی دارند. بروزندهای کوچکی از شیل، ماسه سنگ و آهک تریاس و سنگ‌های کرتاسه (مارن، آهک و کنگلومرا، سنگ‌های آتشفسانی کمی دگرگون شده همراه با لایه‌های سنگ‌های آهکی اوربیتولین‌دار کرتاسه پیشین)، گذارهای سنگ‌های آذرآواری و توف با میان لایه‌های رسوبی وابسته به اتوسن، نفوذی‌های میوسن، سازند قرمز زیرین به سن اولیگومیوسن، سازند قم به سن اولیگومیوسن و سازند قرمز بالایی به سن میوسن بالایی از جمله واحدهای سنگی موجود در منطقه‌ی مورد بررسی هستند [۱۴، ۱۳] (شکل ۲ و ۳). سنگ‌های مورد بررسی سازند قرمز بالایی را قطع کرده‌اند و شامل آندزیت و داسیت و به مقدار کمتر ریوداسیت هستند.

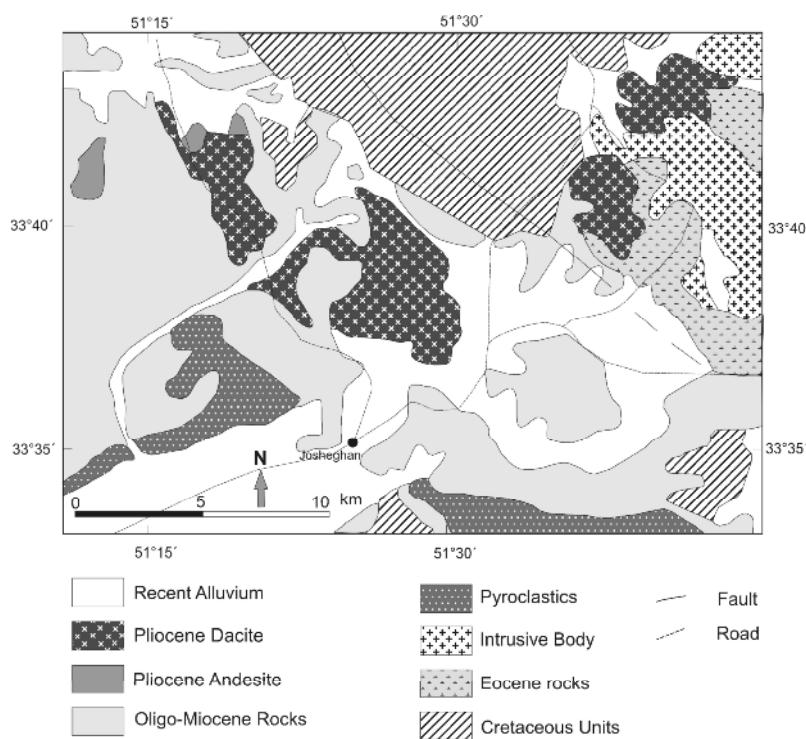
سازو کارهای مختلفی پیشنهاد شده‌اند که از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد: ذوب قطعه فرورانده، ذوب پوسته‌ی پائینی در اثر نفوذ گدازه‌های زیرین یا ذوب بخشی بخش‌های پائینی پوسته که در اثر افزایش چگالی ناشی از ضخیم شدگی پوسته بداخل گوشه‌های فرو افتاده‌اند و ذوب گوهی گوشه‌های در اثر شاره‌های محیط فرورانش دستخوش دگرنهادی شده است [۱۰، ۹]. یافته‌های به دست آمده توسط پژوهشگران دیگر درباره ماقماییسم پس از برخورد این کمربند ماقمایی، نشان می‌دهد که ذوب پوسته‌ی اقیانوسی فرورانده در این مناطق در عمق زیاد تولید ماقمای آداسیتی کرده است [۱۲، ۱۱، ۷]. در این پژوهش به بررسی سنگ‌های آتشفسانی پلیوسن - کواترنری در بخش‌های مرکزی کمربند ماقمایی ارومیه دختر، خاستگاه و سازو کارهای احتمالی تولید گدازه در آن پرداخته می‌شود.

موقعیت زمین‌شناسی

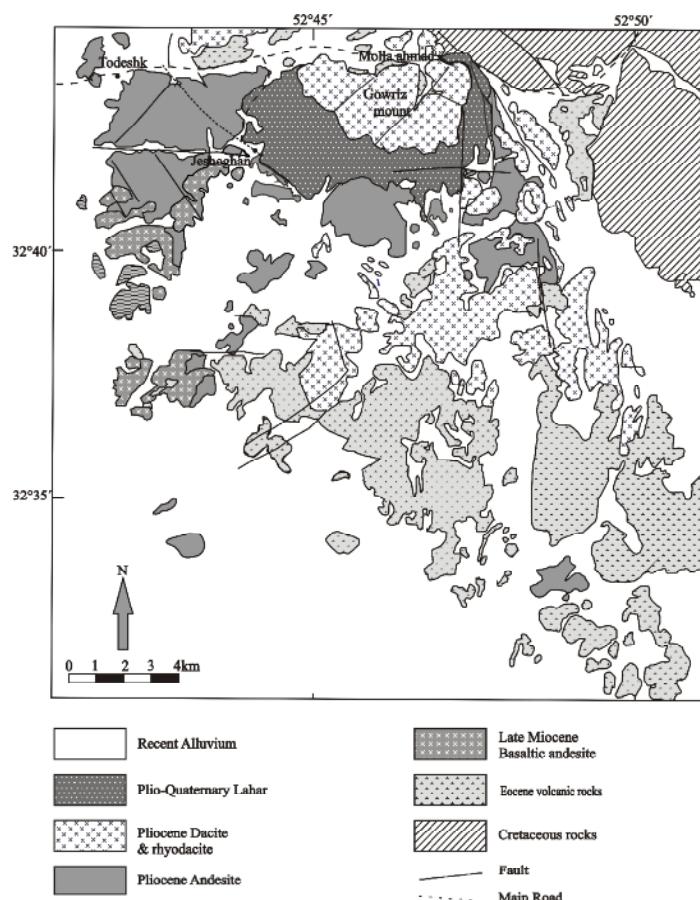
سنگ‌های ماقمایی پهنه‌ی ارومیه دختر در اصفهان بروزندهای منحصر بفرد و متنوعی را فراروی زمین‌شناسان قرار داده‌اند، که از این میان سنگ‌های آتشفسانی پلیوسن - کواترنری برای



شکل ۱ نقشه‌ی مناطق زمین ساختاری ایران که منطقه مورد بررسی در آن با \star مشخص شده است و موقعیت این مناطق در استان اصفهان و راه‌های دسترسی به رخنمون‌ها [۶، ۱].



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره‌ی مورد بررسی در شمال غربی اصفهان [۱۴] (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشان، با تغییرات).



شکل ۳ نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره‌ی مورد بررسی در جنوب شرق اصفهان [۱۳] (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کاجان، با تغییرات).

Al₂O₃, ۱>TiO₂, ۶۷/۴۸٪ متغیر است. در این نمونه‌ها مقادیر K₂O, ۴,۱۷-۳,۲۶٪ Na₂O, ۷,۸۴-۳,۴۵٪ CaO, ۱۷,۴۳-۱۴,۶۷-۱۰,۳۹٪ Sr, ۴,۷۱-۱۲۸۳٪ Ba, ۰,۳۵>P₂O₅, ۱,۱-۲,۹٪ La, ۹,۶>Cr, ۳,۰>Ni, ۱,۰-۴Nb, ۹,۳-۱۷,۵٪ Zr, ۴,۹۴٪ Y, ۲,۰ ppm است. الگوی عناصر نادر نمونه‌ها در نمودار عنکبوتی بهنجار شده با بازالت پشتی میان اقیانوسی روند مشابهی نشان می‌دهند، بهطوری که از LILE (Th, Ba, Rb, HFSE (Ta, Nb, Ti), Zr, Hf, Y, Yb غنی و از K, Sr, Pb تهی شده‌اند [۱۸]. در این نمودار بی‌هنچاری منفی مشخصی برای Nb, Ti و بی‌هنچاری شدیداً مشبی از Pb دیده می‌شود که مشابه مagmaهای وابسته به فروزانش است [۲۰, ۱۹]. نتایج حاصل از داده‌های عناصر نادر خاکی در سنگ‌های آتشفسانی منطقه که با کندریت بهنجار شده‌اند، غنی‌شدگی از LREE بدون بی‌هنچاری منفی اوروپیوم را نشان می‌دهد [۲۱] (شکل ۸). در نمودارهای Y/REE نسبت به Sr/Y [۲۲] و نمودار Yb_N نسبت به La_N/Yb_N (بهنجارشده با کندریت) [۲۳, ۲۱] نیز در نمودار La_N/Sm_N (بهنجار شده با گوشه‌های اولیه) نسبت به Nb/Th [۲۴] که برای جدایی سنگ‌های آهکی-قلیایی عادی و آداسیتی ارائه شده، اغلب نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی آداسیت و تعدادی نیز در مرز مشترک این دو گروه قرار می‌گیرند (شکل‌های ۱۱-۹). آداسیت‌ها شامل سنگ‌های اسیدی تا حد واسط آهکی-قلیایی با گستره‌ی ترکیبی از آندزیت تا داسیت هستند که از تبلور magmaهای حاصل از ذوب بخشی قطعه فروزانده داغ و جوان در عمق معادل با فشار رخساره‌ی اکلوژیت-آمفیبولیت به وجود می‌آیند [۲۲]. با این وجود الگوهای دیگری برای تولید سنگ‌های آداسیتی ارائه شده که شامل این موارد است: ۱- فرآیند جدایش بلورین و هضم در یک گدازه‌ی بازالتی [۲۵]-۲- گداخت بخشی پوسته‌ی قاره‌ای پائینی که به‌خاطر افزایش چگالی بداخل گوشه فروافتاده [۲۷, ۲۶]-۳- ذوب بخشی پوسته‌ی پائینی در اثر بازالت‌های داغ زیرین [۲۸]. همچنین این سنگ‌ها در محیط‌های برخورد قاره‌ای و یا نا وابسته به فروزانش همزمان نیز گزارش شده‌اند. به همین جهت به سنگ‌هایی با ویژگی‌های آداسیتی که وابستگی مشخصی با فروزانش همزمان ندارند، آداسیتی یا شبه آداسیت گفته می‌شود [۲۹, ۲۵]. آداسیت‌ها با مقادیر استرانسیوم بالا K₂O/Na₂O~۰,۴۲٪, Yb<۱,۹٪, Sr>۳۰۰ ppm و SiO₂>۵۶٪ Na₂O≤۷,۵٪ Al₂O₃≥۱۵٪ مشخص می‌شوند. در نمودارهای بهنجار شده با کندریت دارای شب

روش بررسی

پس از برداشت صحرایی، تهیه‌ی مقاطع میکروسکوپی و بررسی آن‌ها، نمونه‌های مناسب که نماینده‌ی کل سنگ‌های منطقه بودند برای بررسی‌های ژئوشیمیایی انتخاب شدند. برای تعیین دقیق عناصر اصلی و جزئی نادر خاکی آزمایش‌های طیف‌سنجی ICP-emission ICP-mass شرکت ACME کانادا انجام شدند. برای ترسیم و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی از نرم‌افزارهای زمین‌شناسی استفاده شد.

بحث

سنگ‌شناسی

سنگ‌های مورد بررسی به‌طور کلی عبارتند از آندزیت، داسیت و ریوداسیت. گذازه‌های آندزیتی تنوع بیشتری از نظر کانی‌شناسی دارند، بهطوری که در گروهی از آن‌ها پیروکسن اصلی‌ترین کانی تیره بوده و در انواع سیلیسی‌تر آمفیبول و حتی بیوتیت جای آن را می‌گیرد. در این سنگ‌ها، پلازیوکلاز اصلی‌ترین کانی است که بیشتر به‌صورت درشت بلور و میکرولیت دیده می‌شود. بافت این سنگ‌ها از پورفیری میکرولیتی، گلومرپورفیری، هیالوپورفیری تا پورفیری جریانی متغیر است. بخش بزرگی از سنگ‌های آتشفسانی منطقه را سنگ‌های اسیدی از جمله داسیت‌ها تشکیل داده‌اند. داسیت‌ها که بیشتر به‌صورت گنبد و گاهی به‌صورت جریان گذازه درمنطقه مشاهده می‌شوند، بافت هیالوپورفیری و یا هیالوپلیتیک تا پورفیری فلستی و میکروفلستی دارند. پلازیوکلاز، آمفیبول، بیوتیت، پیروکسن و کوارتز کانی‌های اصلی این سنگ‌ها هستند. کوارتز به‌صورت درشت بلورهای بی‌شک با خودگی خلیجی و یا در زمینه‌ی ریزدانه فلستی وجود دارند. ریوداسیت‌ها در کنار داسیت‌ها و واحد مجزایی را ایجاد نمی‌کنند. کانی‌شناسی ریوداسیت‌ها شبیه داسیت‌هاست ولی حاوی بلورهای سانیدین هستند.

ژئوشیمی

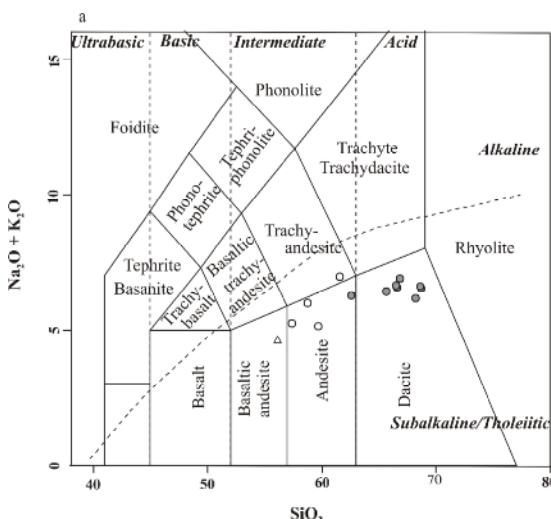
ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس نتایج آنالیزهای شیمیایی، این سنگ‌ها در نمودار ترکیب کل قلیایی نسبت به سیلیس [۱۵] در گستره‌ی آندزیت و داسیت (و یک نمونه تراکی آندزیت) قرار می‌گیرند (شکل ۴) و با توجه به نمودارهای ژئوشیمیایی، این سنگ‌های آهکی-قلیایی با پتابسیم متوسط تا بالا هستند (شکل‌های ۵ و ۶). درصد سیلیس نمونه‌های آنالیزشده از ۰,۵۵-۰,۶٪ تا ۱۷,۱۶٪.

فرورانش از LILE (Th, Ba, Rb, K, Sr), Pb بی‌هنجری منفی مشخصی از اوروبیوم هستند و از عناصر نادر HFSE (Ta, Nb, Ti), Zr, Hf, Y, Yb شده‌اند.
[۲۵,۲۳,۲۲]

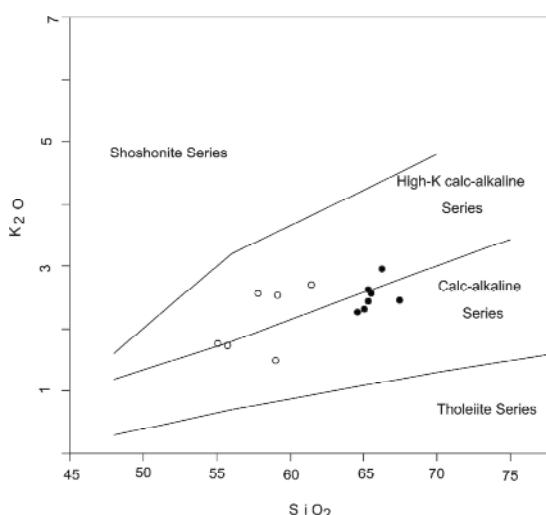
مایمی از عناصر نادر خاکی سبک به سمت سنگین‌ترها بدون خاکی سنگین تهی‌شدگی نشان می‌دهند. در نمودار بنهنجار شده با بازالت پشتہ‌ی میان اقیانوسی مانند ماگماهای وابسته به

جدول ۱ مقادیر اندازه‌گیری شده عناصر اصلی، فرعی و نادر خاکی سنگ‌های آتشفشنای پلیوسن اصفهان.

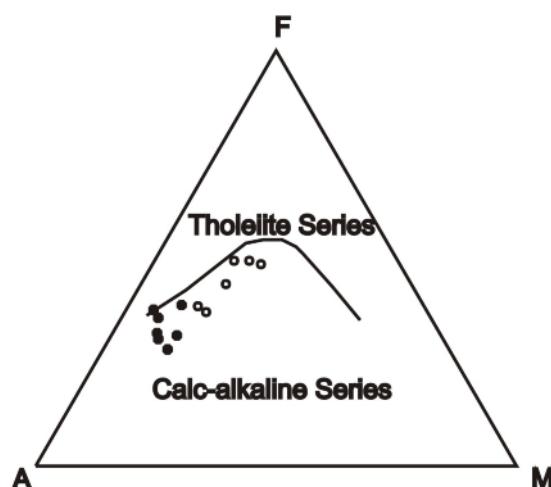
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13
SiO ₂	۵۹	۶۴,۶	۶۵,۱	۵۷,۸	۵۵,۱	۶۵,۵	۵۹,۲	۶۶,۳	۶۱,۵	۶۵,۳	۶۷,۵	۶۵,۳	۵۵,۷
TiO ₂	۰,۶	۰,۵	۰,۵	۰,۶	۰,۶	۰,۳	۰,۵	۰,۳	۰,۵	۰,۵	۰,۴	۰,۴	۰,۶
Al ₂ O ₃	۱۷,۱	۱۵,۸	۱۵,۴	۱۷,۴	۱۶,۳	۱۴,۷	۱۶,۴	۱۴,۷	۱۶,۳	۱۵,۸	۱۵,۳	۱۵,۹	۱۸,۳
Fe ₂ O ₃	۸,۲	۵,۴	۲,۹	۷,۵	۹	۴,۲	۶,۱	۴,۷	۵,۸	۴,۲	۳,۷	۳,۶	۸,۶
MnO	۰,۰۹	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۰۵	۰,۱۸	۰,۰۳	۰,۰۸	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۱۲
MgO	۲,۵	۱,۴	۱	۲,۷	۳,۲	۰,۸	۲,۱	۰,۶	۲,۴	۱,۶	۱,۱	۱,۶	۲,۷
CaO	۶,۱	۴,۲	۵,۲	۶,۱	۶,۴	۴,۴	۴,۷	۳,۴	۵	۴,۱	۳,۵	۳,۹	۷,۶
Na ₂ O	۳,۶	۴,۱	۴,۱	۳,۳	۳,۳	۳,۴	۴,۲	۳,۴	۳,۸	۴,۱	۴,۰	۴,۱	۲,۸
K ₂ O	۱,۵	۲,۳	۲,۳	۲,۶	۱,۸	۲,۶	۲,۵	۳	۲,۷	۲,۴	۲,۵	۲,۶	۱,۷
P ₂ O ₅	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۳	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۱	۰,۲	۰,۲	۰,۱	۰,۲	۰,۲
LOI	۰,۹	۱,۳	۲,۱	۱,۳	۳,۷	۳,۶	۳,۶	۳,۴	۱,۵	۱,۵	۱,۵	۲,۱	۰,۵
Total	۹۹,۷۹	۹۹,۸۶	۹۹,۸۴	۹۹,۷۱	۹۹,۷۲	۹۹,۷۵	۹۹,۶۸	۹۹,۹۳	۹۹,۷۸	۹۹,۷۵	۹۹,۶۵	۹۹,۷۳	۹۹,۸۲
Mg#	۲۳,۳	۲۰	۲۰,۴	۲۶,۶	۲۶,۴	۱۶	۲۵,۱	۱۱,۹	۲۸,۹	۲۸	۲۳	۳۰	۲۹,۳
Ba	۴۷۱	۹۵۰	۷۷۱	۶۵۶	۸۴۸	۱۲۰	۱۰۵۵	۱۱۰۷	۱۲۸۳	۷۵۳	۸۶۹	۷۷۲	۵۱۸
Rb	۳۷	۶۰	۶۶	۶۹	۵۲	۷۸	۷۹	۸۴	۸۳	۶۴	۸۰	۸۳	۴۷,۵
Sr	۵۶۰	۵۹۷	۵۵۴	۱۰,۳۹	۶۳۳	۴۸۴	۷۲۰	۴۹۴	۹۲۴	۵۵۱	۵۱۲	۵۲۲	۹۶۸
Zr	۹۳	۱۲۳	۱۲۹	۱۰,۷	۱۲۰	۱۶۷	۱۳۹	۱۷۵	۱۶۲	۱۲۴	۱۳۷	۱۴۵	۱۰۵
Nb	۴	۷	۷	۷	۷	۹	۷	۱۰	۹	۷	۶	۸	۵
Ni	۲۱	۱۸	۱۰	۱۳	۲۹	۷	۱۱	۱۰	۱۲	۱۸	۹	۱۱	۱۷
Cr	۳۴	۲۷	۲۰	۲۰	۵۵	۷	۲۰	۱۴	۳۴	۲۷	۲۰	۲۰	۳۴
Cs	۳	۲	۲	۳	۱	۳	۱	۲	۱	۲	۲	۳	۱
Ta	۰,۴	۰,۶	۰,۸	۰,۸	۱,۲	۱,۹	۰,۶	۱	۰,۹	۱,۸	۰,۵	۰,۵	۰,۵
Hf	۳	۴	۳	۳	۳	۴	۴	۵	۴	۴	۴	۴	۳
Th	۳	۱۰	۹	۸	۱۳	۲۲	۱۵	۲۶	۲۳	۱۳	۱۱	۱۱	۵
U	۱	۳	۴	۲	۵	۷	۴	۸	۷	۴	۳	۴	۱
Pb	۴۳	۷۴	۳۳	۲۲۴	۹۱	۳۴	۱۹۰	۲۰	۴۰	۳۳	۲۹	۱۲	۵۶
La	۱۴,۵	۲۶,۹	۲۵,۵	۱۹	۳۰,۹	۴۳,۴	۳۳,۹	۴۶,۱	۴۴,۹	۲۶,۶	۲۸,۴	۲۵,۸	۱۴
Ce	۲۸	۵۱,۴	۴۷,۶	۲۹,۳	۵۹,۲	۷۶,۹	۶۳,۳	۸۲,۱	۸۲,۴	۴۸	۵۰,۸	۴۸	۲۹,۳
Pr	۳,۲	۵,۵	۵,۱	۴,۷	۶,۲	۷,۲	۶,۴	۷,۹	۸,۱	۴,۹	۵,۵	۵,۵	۳,۶
Nd	۱۲,۵	۲۰,۷	۱۸,۲	۱۸,۷	۲۲,۵	۲۵,۲	۲۴,۳	۲۶,۳	۲۸,۳	۱۹,۹	۱۹,۶	۱۹,۷	۱۵,۳
Sm	۲,۷	۳,۱	۳	۳,۸	۴,۳	۳,۵	۴,۲	۳,۳	۴,۳	۳,۱	۳	۳,۳	۳,۲
Eu	۰,۸	۰,۹	۰,۸	۱,۰	۱,۱	۰,۹	۱,۰	۰,۷	۱,۲	۰,۸	۰,۸	۰,۹	۰,۹
Gd	۲,۵	۲	۲	۳,۵	۳,۵	۲,۲	۲,۸	۱,۹	۳,۱	۲	۲	۲,۴	۲,۷
Tb	۰,۴	۰,۳	۰,۳	۰,۵	۰,۵	۰,۳	۰,۴	۰,۳	۰,۵	۰,۳	۰,۳	۰,۳	۰,۴
Dy	۲,۰	۱,۲	۱,۶	۳,۱	۲,۷	۱,۹	۲,۶	۱,۸	۲,۷	۱,۳	۱,۲	۱,۶	۲,۵
Ho	۰,۴	۰,۲	۰,۳	۰,۶	۰,۶	۰,۴	۰,۵	۰,۳	۰,۶	۰,۲	۰,۲	۰,۳	۰,۵
Er	۱,۱	۰,۵	۰,۷	۱,۷	۱,۶	۱,۱	۱,۲	۰,۹	۱,۵	۰,۸	۰,۶	۰,۶	۱,۴
Tm	۰,۲	۰,۱	۰,۱	۰,۳	۰,۲	۰,۱	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۱	۰,۱	۰,۱	۰,۲
Yb	۱,۱	۰,۵	۰,۷	۱,۸	۱,۳	۱,۱	۱,۳	۱,۱	۱,۴	۰,۶	۰,۶	۰,۶	۱,۲
Lu	۰,۲	۰,۱	۰,۱	۰,۳	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۱	۰,۲	۰,۱	۰,۱	۰,۱	۰,۲
Y	۱۳	۶,۹	۸	۱۹,۵	۱۶	۱۱,۶	۱۳,۸	۹,۷	۱۶	۷,۵	۷,۴	۸,۴	۱۴,۱
Pb	۴۳	۷۴	۳۳	۲۲۴	۹۱	۳۴	۱۹۰	۲۰	۴۰	۳۳	۲۹	۱۲	۵۵,۷



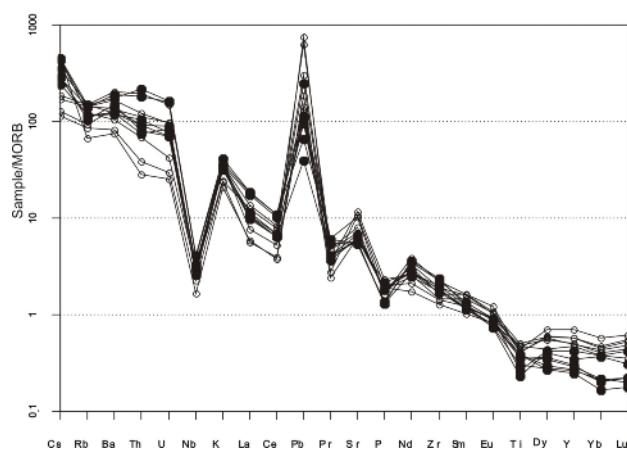
شکل ۴ نمودار [۱۵] نامگذاری سنگ‌های آتشفشاری و موقعیت سنگ‌های مورد بررسی در آن. داسیت‌ها با \bullet و آندزیت‌ها با \circ و آندزیت‌ها با \triangle در همه نمودارها مشخص شده‌اند.



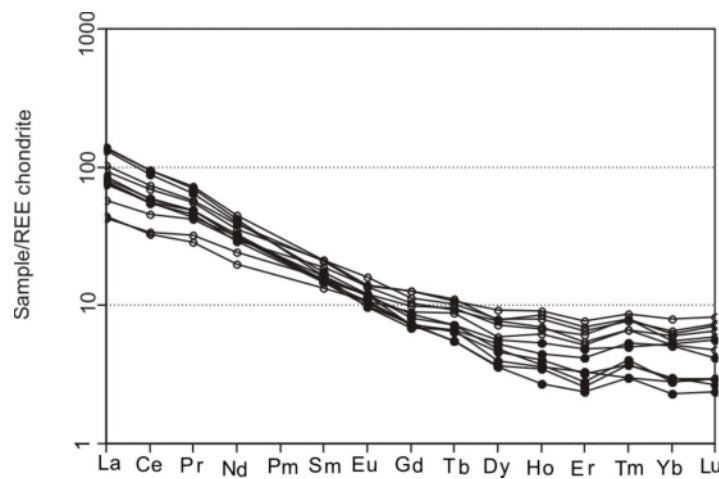
شکل ۵ نمودار K_2O نسبت به SiO_2 و قرارگیری نمونه‌ها در گستره‌ی آهکی-قليابي پتابسيم بالا [۱۶].



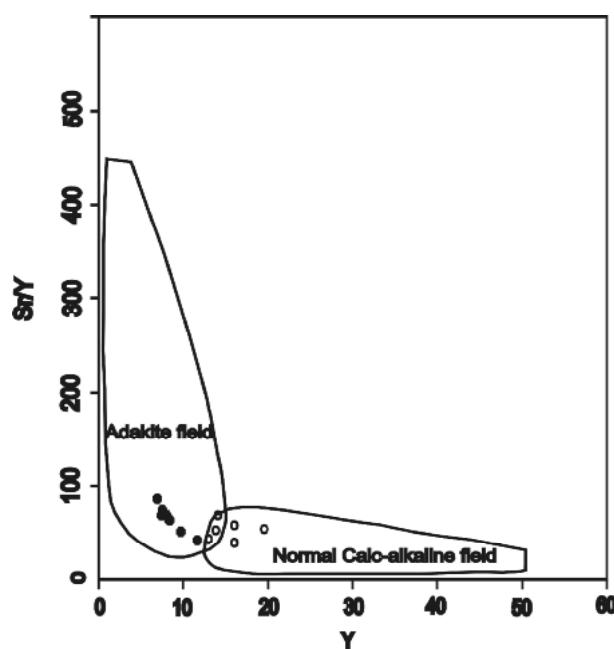
شکل ۶ نمودار ابروین و باراگار و موقعیت سنگ‌های مورد بررسی در آن [۱۷].



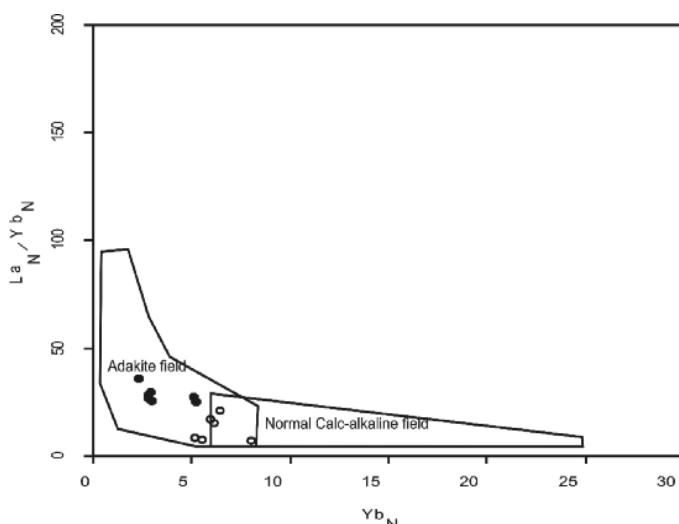
شکل ۷ نمودار عنکبوتی بهنجار شده با بازالت پشتہ میان اقیانوسی [۱۸].



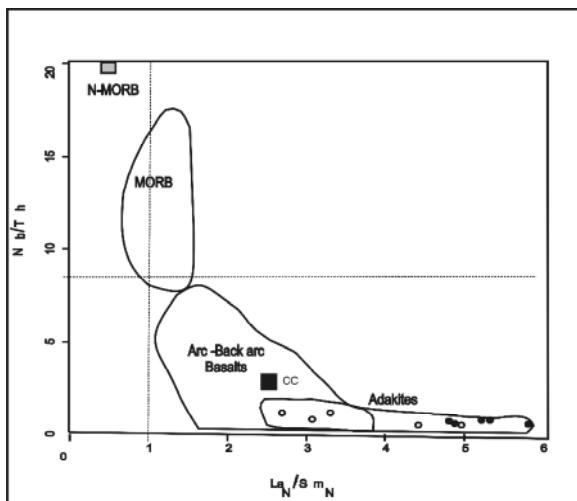
شکل ۸ نمودار عنکبوتی بهنجار شده با کندرت [۲۱].



شکل ۹ نمودار Y نسبت به Sr/Y [۲۲] برای جدایش سنگ‌های آهکی-قلیابی عادی از آدکیت‌ها و موقعیت سنگ‌های مورد بررسی در آن.



شکل ۱۰ نمودار LaN/YbN نسبت به YbN بهنجارشده با کندریت برای جدایش سنگ‌های آهکی-قليایی عادی از آداکیت‌ها و موقعیت سنگ‌های مورد بررسی در آن، [۲۳، ۲۱]



شکل ۱۱ نمودار LaN/SmN بهنجار شده با گوشته اولیه نسبت به Nb/Th [۲۴]، متوسط پوسته قاره‌ای [۳۴] متوسط N-MORB [۱۸]، گسترده‌ی بازالت‌های پشت‌های میان اقیانوسی، بازالت‌های قوس و پشت قوس، و آداکیت‌ها مشخص شده‌اند.

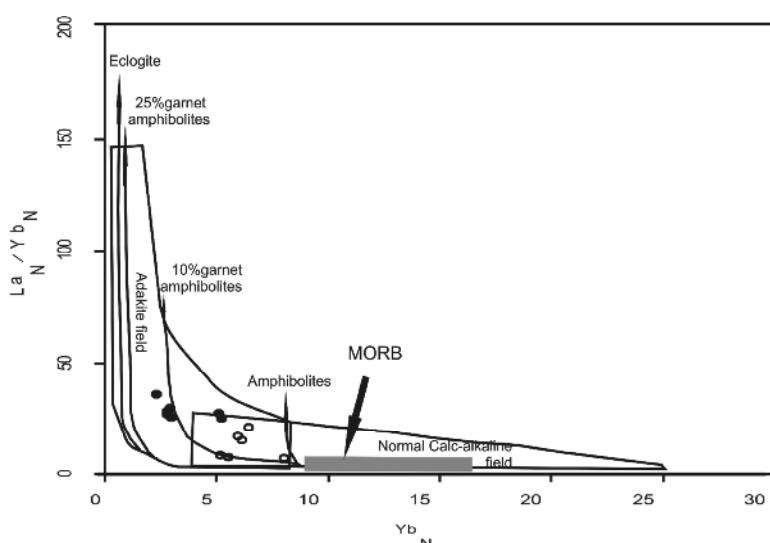
نقش پلازیوکلازها، آمفیبول‌ها، گارنت و کانی‌های تیتانیومدار اشاره کرد. ذوب در شرایط ناپایداری پلازیوکلاز باعث خروج این کانی و غیبت آن در باقیمانده ذوب می‌شود که این امر خود موجب افزایش استرانسیوم و نبود بی‌هنجاری منفی اوروپیوم در گدازه حاصل می‌شود. بررسی‌های تجربی نشان داده‌اند که وجود گارنت در باقیمانده گداخت باعث تمی شدن گدازه حاصل از عناصر نادر سنگین می‌شود و هورنبلند و یا اکسیدهای آهن و تیتانیوم مانند روتیل و ایلمنیت عموماً فاز باقیمانده ذوب هستند که قادرند بی‌هنجاری منفی تیتانیوم-نيوبیوم و تانتالیوم در گدازه ایجاد کنند [۲۹، ۲۳، ۲۲]. بنابراین تمی شدگی از عناصر نادر خاکی سنگین و ایتریوم نشانه‌ی ذوب

تفسیر نتایج

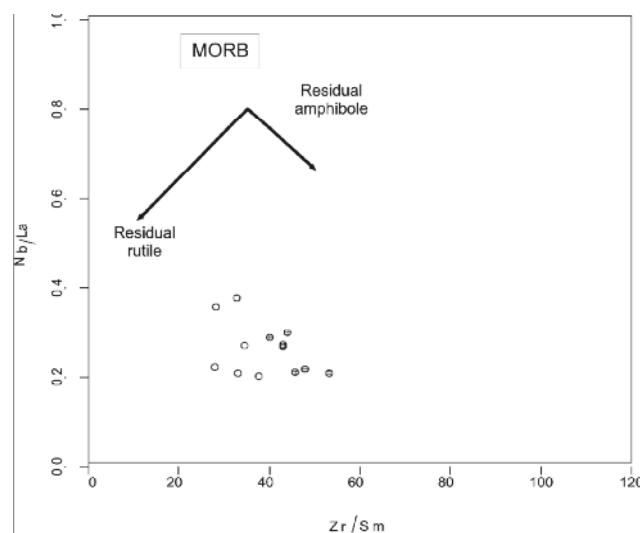
نتایج بررسی‌های ژئوشیمیابی سنگ‌های آتشفسانی پلیوسن-کواترنری اصفهان نشان می‌دهد این سنگ‌ها ماهیت آداکیتی دارند و تغییرات عناصر در آن‌ها بیش از اینکه متأثر از فرآیندهای تحول ماقمایی باشد به خاستگاه ماقما وابسته است. بالا بودن مقادیر عناصر لیتوفیل بزرگ یون ناشی از نقش شاره‌ها در محیط‌های فرورانش است که می‌توانند این عناصر را با خود حمل کنند و خاستگاه گدازه را از این عناصر غنی سازند [۲۹، ۲۰، ۱۹]. غیبت یا حضور برخی کانی‌های حامل عناصر نادر خاکی در فرایند گداخت خاستگاه نیز عامل موثر دیگر در تغییرات این عناصر در سنگ‌هاست که از این میان می‌توان به

ایتریوم و عناصر نادر خاکی سنگین را در آداسیت‌ها توجیه می‌کند. چنین فشاری برای گداخت مواد مافیک پوسته در عمق کمی بیشتر از ۴۰ کیلومتر مهیا است [۳۰، ۲۳]. از این‌رو می‌توان یک سنگ خاستگاه گارنت آمفیبولیتی یا اکلوژیت آمفیبولدار برای این ماقماها در نظر گرفت. از سوی دیگر نمونه‌های آنالیز شده در نمودار شکل ۱۲، با ذوب خاستگاه آمفیبولیتی با حدود ۱۰٪ یا کمتر گارنت هم‌خوانی دارند [۳۱] و با توجه به نسبت $Zr/Sm, Nb/La$ [۳۲] (شکل ۱۳) کانی تیتانیوم‌دار در باقیمانده‌ی گداز، بیشتر هورنبلند است.

در شرایط پایداری گارنت و حضور آن (و احتمالاً هورنبلند) در باقیمانده‌ی ذوب است. بی‌هنجری منفی مشخص برای Ti , Nb نیز حاکی از وجود یک فاز تیتانیوم‌دار مانند روتیل یا هورنبلند در باقیمانده‌ی ذوب است [۲۳، ۷]. نتایج بررسی‌های تجربی نشان می‌دهند که ذوب مواد مافیک تولید کننده ماقماهای آداسیتی در فشار حدود ۱ گیگاپاسکال با فاز باقیمانده گارنت و بدون فاز باقیمانده پلازیوکلاز، گدازه‌های غنی از سیلیس با فاز باقیمانده‌ی جامد عاری از پلازیوکلاز و غنی از آمفیبول و گارنت ایجاد می‌کند که بالا بودن سیلیس و استرانسیوم و کمبود



شکل ۱۲ نمودار LaN/YbN نسبت به YbN برای جدایش سنگ‌های آهکی-قلیایی عادی از آداسیت‌ها و موقعیت سنگ‌های مورد بررسی در آن‌ها همراه با منحنی‌های ذوب آمفیبولیت و اکلوژیت و موقعیت متوسط بازالت پشتی میان اقیانوسی [۱۸]



شکل ۱۳ نمودار Nb/Sm نسبت به Nb/La [۳۲] برای تشخیص گدازه‌ی با باقی مانده آمفیبول یا روتیل که نمونه از روند گدازه‌های با آمفیبول باقی مانده پیروی می‌کند.

۳) از سوی دیگر قطعات پوسته‌ی اقیانوسی فرورانده به زیر پوسته‌ی قاره‌ای در اثر شکسته شدن در عمق و دمای بیشتری قرار گرفته و پس از تغییر به اکلوزیت یا گارنت آمفیبولیت و گداخت، ماقمای آداسیتی ایجاد می‌کنند [۲۵]. گدازه‌های حاصل از میان لیتوسفر عبور کرده و در حین صعود از این سنگ‌ها تاثیر بیشتری می‌گیرند. این مدل توسط برخی پژوهشگران برای بخش‌های دیگر پهنه‌ی ارومیه دختر ارائه شده است [۱۰-۱۲]. پائین بودن مقادیر نیکل، کروم و MgO در سنگ‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که این گدازه‌ها تاثیر کمی از گوشته گرفته‌اند. گدازه‌های حاصل از ذوب قطعه فرورانده در حین بالا آمدن در افق‌های بالاتر خود به عنوان یک چشمی گرمایی عمل می‌کنند و مناطق داغی را در پوسته ایجاد می‌کنند که باعث تولید گدازه‌هایی با ترکیب متعدد در پوسته می‌شوند.

برداشت

نتایج حاصل از پژوهش روی سنگ‌های آتشفسانی پلیوسن تا کواترنری در منطقه‌ی اصفهان را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱) سنگ‌های آتشفسانی پلیوسن بررسی شده در شمال غربی و جنوب شرقی اصفهان یک سری ماقمایی آهکی- قلیایی با پتاسیم متوسط تا بالا هستند.

۲) این سنگ‌های آتشفسانی دارای مقادیر بالاتری از SiO₂ و Yb و La/Yb و Sr/Y و MgO و مقادیر پائین‌تری از Y و Sr نسبت به سنگ‌های آتشفسانی آهکی- قلیایی معمولی هستند. این سنگ‌ها در نمودارهای عنکبوتی از عناصر LILE و REE غنی شدگی و از Nb, Ti, Te تهی شدگی نشان می‌دهند و قادر به هنجاری منفی اوروپیوم هستند.

۳) در نمودارهای تعیین‌کننده‌ی آداسیت‌ها، این سنگ‌ها در گستره‌ی آداسیتی قرار می‌گیرند. با توجه به مقادیر استرانسیوم، سیلیس، ایتروپیوم و عناصر نادر خاکی سنگین، نبود بی‌هنجاری منفی اوروپیوم، الگوی عناصر نادر و نمودارهای تعیین‌کننده موقعیت آداسیت‌ها، سنگ‌های آتشفسانی پلیوسن این منطقه را می‌توان آداسیتی نامید.

۴) با استناد به داده‌های ژئوشیمیابی خاستگاه این سنگ‌ها آمفیبول اکلوزیت تا گارنت- آمفیبولیت با فاز گارنت باقیمانده گدازه به همراه یک فاز تیتانیوم دار و احتمالاً هورنبلنده است.

از میان راههای مختلف تولید ماقماهای آداسیتی می‌توان به این موارد اشاره کرد؛ فرآیند تبلور بخشی همراه با هضم، ذوب بخشی پوسته‌ی اقیانوسی فرورانده، ذوب بخشی پوسته‌ی پائینی قاره‌ای در فشار بالا [۲۵] که با توجه به فقدان شواهد جدایشی در این سنگ‌ها سه سازوکار دیگر برای تولید آن‌ها را بررسی می‌کنیم:

۱) ذوب پوسته‌ی قاره‌ای پائینی که در اثر افزایش ضخامت پس از برخورد سنگ‌های مافیک پوسته‌ی تحتانی تا رخساره‌ی آمفیبولیت یا اکلوزیت دگرگون می‌شود و در این حالت به خاطر این تغییرات، چگالی بیشتری نسبت به گوشته‌ی زیرین خود داشته و به همین خاطر دستخوش شکستگی شده و به درون گوشته‌ی زیرین فرو می‌افتد. این عمل باعث به مریختگی دمایی زیر پوسته و گدازه می‌شود [۲۵، ۲۷] پس از این رخداد نازک‌شدگی در لیتوسفر رخ می‌دهد. ضخامت فعلی پوسته در بررسی‌های جدید حدود ۴۳-۴۸ کیلومتر برآورده شد [۳۳] که کمی بیشتر از ضخامت معمولی پوسته است و با فرآیند نازک شدگی همخوانی ندارد.

۲) ذوب بخشی پوسته‌ی پائینی که در اثر افزایش ضخامت ناشی از برخورد قاره‌ای به رخساره اکلوزیت یا آمفیبولیت گارنت‌دار تغییر کرده است. که در این حالت ذوب در عمق بیش از ۴۰ کیلومتر می‌تواند گدازه‌هایی با گارنت باقیمانده ایجاد کند. دمای لازم برای این ذوب ناشی از گدازه‌های بازالتی است که از گوشته به زیر پوسته نفوذ کرده و بدام افتاده‌اند [۳۰]. افزایش ضخامت پوسته‌ی قاره‌ای پس از برخورد صفحه‌ی عربی و ایران دور از انتظار نیست. این ضخیم‌شدگی باعث تغییر فازی در سنگ‌های پوسته‌ی پائینی قاره‌ای می‌شود و آن‌ها را به گارنت آمفیبولیت و حتی اکلوزیت تغییر می‌دهد. ذوب در این سنگ‌ها باید در عمقی صورت گیرد که پلازیوکلаз ناپایدار و گارنت پایدار باشد. حداقل فشار و عمق محاسبه برای این منظور حدود ۴۰ کیلومتری و فشار ۱/۲ ژیگاپاسکال است [۳۰، ۲۳]. ماقماییسم در محیط پر تکاپوی ارومیه دختر و حرکت آن‌ها به زیر پوسته می‌تواند باعث ذوب پوسته در گستره‌ی پایداری گارنت شود. این مدل مقادیر نسبتاً پائین نیکل، کروم و MgO در این سنگ‌ها و مشابهت ژئوشیمیابی آن‌ها با پوسته تحتانی را نیز توجیه می‌کند. اما با توجه به عمق ارائه شده برای مoho در این مناطق [۳۳] به داده‌های ژئوفیزیکی بیشتری نیاز است و داده‌های فعلی قطعیت کافی برای اثبات این موضوع را ندارند.

accretion complex: an alternative model for collision-related volcanism in eastern Anatolia, Turkey", Geophysical Research Letters, 30 (2003) 8046.

[11] Jahangiri A., "Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: Geochemical and geodynamic implications", *Journal of Asian Earth Sciences* 30(2007)433-447.

[12] Ghadami G., Shahre Babaki A.M., Mortazavi M., "Post-Collisional Plio-Pleistocene Adakitic Volcanism in Central Iranian Volcanic Belt: Geochemical and Geodynamic Implications", *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 19 (2008) 223-235.

[13] Emami H., Amini B., Amini Chehraghi M.R., "Geological map of Kajan (1:100000)", Geological Survey of Iran (2001).

[14] Amidi S. M., Zahedi M., Emami M.H., "Geological map of Kashan (1:250000)", Geological Survey of Iran (1991).

[15] 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.

[16] Peccerillo A., Taylor S.R., "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey", *Contrib. Mineral. Petrol.* 58(1976) 63-91.

[17] Irvine T.N., Baragar W.R.A., "A guide to the chemical classification of common volcanic rocks", *Canadian Journal of Earth Science* 8(1971) 523-548.

[18] Sun S.S., McDonough W.F., "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes", In: Saunders, A.D. and Norry, M.J. (Eds.), "Magmatism in the Ocean Basins", The Geological Society of London 42(1989) 313-345.

[19] Gill J.B., "Orogenic Andesites and plate tectonic", Springer-Verlag, Berlin (1981) 390p.

[20] Wilson M., "Igneous Petrogenesis a global tectonic approach", Chapman & Hall, London(1989) 466 p.

[21] Nakamura N., "Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38(1974)757-775.

[22] Defant M. J., Drummond M.S., "Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere", *Nature* 347(1990) 662-665.

(۵) سنگ‌های آدکیتی پلیوسن- کواترنری اصفهان در اثر گدازه‌ی پوسته‌ی اقیانوسی فروزانده در اثر فروزانش بین صفحه عربی و ایران ایجاد شده‌اند.

قدرتمندی

این پژوهش با حمایت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان انجام گرفته است که بدینوسیله از معاونت محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان تشکر می‌گردد.

مراجع

- [1] Alavi M., "Tectonostratigraphic evolution of Zagrosides of Iran", *Geology* 8 (1980) 144-149.
- [2] Alavi M., "Tectonics of Zagros orogenic belt of Iran, new data and interpretation", *Tectonophysics* 229 (1994) 211-238.
- [3] Berberian F., Berberian M., "Tectono-plutonic episodes in Iran. In: Gupta, H.K. and Delany, F.M. (Eds.), Zagros, Hindukosh, Himalaya Geodynamic Evolution", American Geophysical Union, Washington DC (1981) 5-32.
- [4] 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 Geological Society of London* 139(1982) 605-614.
- [5] Hassanzadeh J., "Metallogenetic and tectonomagmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of Iran (Shahre Babak area, Kerman Province)", Ph.D thesis, University of California, Los Angeles (1993) 204p.
- [6] Mohajjal M., Fergusson C.L., Sahandi M.R., "Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran", *Journal of Asian Earth Sciences* 21(2003) 397-412.
- [7] Omrani J., Agard P., Whitechurch H., Benoit M., Prouteau G., Jolivet L., "Arc-magma and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences", *Lithos* 106(2008) 380–398.
- [8] Ghasemi A., Talbot C.J., "A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*", 26(2005) 683–693.
- [9] Annen C., Blundy J. D., Sparks R.S.J., "The Genesis of Intermediate and Silicic Magmas in Deep Crustal Hot Zones", *Journal of Petrology*, 47(2006) 505-539.
- [10] Keskin M., "Magma generation by slab steeping and break-off beneath a subduction-

- Panaiotu C. E., Nedelcu L., "Extension-related Miocene calc-alkaline magmatism in the Apuseni Mountains, Romania: Origin of magmas", Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen 84(2004) 153-172.
- [30] Rapp R.P., Watson E.B., "Dehydration melting of metabasalt at 8–32 kbar: implications for continental growth and crust–mantle recycling", Journal of Petrology 36(1995) 891–931.
- [31] Qiang W., Jifeng X., jianxin W., Zhenhua Z., Renjing W., Jiaxiang Q., Xiaolin X., Longkang S., Lianhong P., "The recognition of adakite-type gneisses in the North Dabie Mountain and its implication to ultrahigh pressure metamorphic geology", Chinese Science Bulletin 45(2000)1927-1933.
- [32] Munker C., Wornerb G., Yogodzinskic G., Churikova T., "Behaviour of high field strength elements in subduction zones:constraints from Kamchatka–Aleutian arc lavas", Earth and Planetary Science Letters 224 (2004) 275– 293.
- [۳۳] علیخانی ز., "تعیین عمق پوسته در منطقه اصفهان با استفاده از داده‌های کوتاه دوره‌ی دوربرز", پایان نامه کارشناسی ارشد، واحد علوم تحقیقات، (۱۳۸۶) ۸۰ صفحه.
- [34] Taylor S.R., McLennan S.M., "The Continental Crust: Its Composition and Evolution", Blackwell, Oxford (1985) 312 p.
- [23] Martin H., "Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids", Lithos 46(1999) 411-429.
- [24] Wang Z., Wilde S. A., Wang K., Yu L., "A MORB-arc basalt–adakite association in the 2.5 Ga Wutai greenstone belt: late Archean magmatism and crustal growth in the North China Craton", Precambrian Research 131 (2004) 323–343
- [25] Castillo P.R., "An overview of adakite petrogenesis", Chinese Science Bulletin 51 (2006) 257-268.
- [26] Xu J., Shinjo R., Defant M.J., Wang Q., Rapp R.P., "Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: partial melting of delaminated lower continental crust?", Geological Society of America 30(2002) 1111-1114.
- [27] Xu W.L., Wang Q.H., Wang D.Y., Guo J.H., Pei F.P., "Mesozoic adakitic rocks from the Xuzhou-Suzhou area, eastern China: evidence for partial melting of delaminated lower continental crust", Journal of Asian Earth Science 27(2006) 454-464.
- [28] Rapp R.P., Long X., Shimizu N., "Experimental constraints on the origin of potassium-rich adakites in eastern China", Acta Petrologica Sinica 18(2002) 293–302.
- [29] Rosu E., Seghedi I., Downes H., Alderton D.H.M., Szakács A., Pécskay Z., Panaiotu C.,