

# پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن خاور سندج

حسین عزیزی\*<sup>۱</sup> و افشین اکبرپور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه کردستان، سندج، ایران.

<sup>۲</sup> سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۵/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۱/۲۷

## چکیده

سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب عمدتاً آندزیتی در خاور سندج به صورت عدسی‌های پراکنده در داخل رسوباتی که آنها را به ائوسن نسبت داده‌اند رخمون دارند. مشاهدات صحرایی در بسیاری از بخش‌ها، وضعیت بین چینه‌ای آنها را تأیید می‌کند. بررسی مقاطع نازک این سنگ‌ها نشان می‌دهد که بافت آنها پورفیری، گلوپورفیری، میکروولیتی و میکروولیتی پورفیری است. شواهد بافتی مانند حضور اذخالی‌های شیشه در حاشیه و در داخل بسیاری از درشت‌بلورها فلدسپار، تجزیه فلدسپارها و کانی‌های مافیک به کانی‌های آبدار، آمیخته‌شدن گدازه‌ها با رسوبات آهکی نرم کف دریا و نیز خورد شدن بسیاری از درشت‌بلورها بر فعالیت آتشفشانی زیر دریایی و سرد شدن سریع این سنگ‌ها بر اثر برخورد با آب دریا دلالت دارد. مطالعات ژئوشیمی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها در مقایسه با کندریت‌ها، گوشته اولیه و بازالت‌های کف اقیانوسی از عناصری مانند U, Pb, Th غنی‌شدگی و از Nb و Ti تهی‌شدگی نشان می‌دهند. گرچه عواملی مانند هضم سنگ‌های پوسته‌ای، می‌تواند در این تغییرات دخالت داشته باشند، اما به طور معمول چنین تغییراتی را متأثر از ماگماهای منشأ گرفته در بالای زون فرورانش می‌دانند. بنابراین، آتشفشان‌هایی که در این بخش از ایران، آنها را به ائوسن نسبت داده‌اند، می‌تواند سرنوشتی همانند سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در زون ارومیه - دختر داشته باشد.

**کلیدواژه‌ها:** سندج، ائوسن، آتشفشانی، کلسیمی - قلیایی

\*نویسنده مسئول: حسین عزیزی

## ۱- مقدمه

زون سندج - سیرجان در اصل جزئی از ایران مرکزی است که با اختصاصات ویژه‌ای متمایز می‌شود و به صورت نوار طویل دگرگون شده‌ای در امتداد و به موازات روراندگی زاگرس، از ارومیه و سندج در شمال باختری تا سیرجان و اسفندقه در جنوب خاوری کشیده شده است (شکل ۱-ا). از این نوار با نام‌های مختلفی، مانند زون ارومیه - اسفندقه (Takini, 1977)، زاگرس داخلی، و سرانجام زون سندج - سیرجان (Stocklin, 1968) یاد شده است. ادامه این زون در توروس ترکیه و سوریه هم دیده می‌شود. این بخش از نظر رسوبگذاری و ویژگی‌های ساختمانی، مانند ایران مرکزی است، ولی جهت و امتداد کلی آن از امتداد کلی زاگرس پیروی می‌کند، به همین دلیل در مطالعات جدید از آن به عنوان بخشی از نوار کوهزایی زاگرس نام برده می‌شود (Alavi, 1994; Blanc et al., 2003; Mohajjel et al., 2003; Alavi, 2004). زون سندج سیرجان به دلیل پیچیدگی ساختاری، ماگماتیسیم و دگرگونی، مورد توجه بسیاری از زمین‌شناسان است. در خصوص تکامل این زون فرضیات مختلفی وجود دارد برای مثال Alavi (1994) این زون را بخشی از ورقه‌های فلسی روراندگی بین ایران و عربستان می‌داند به طوری که خط درز اصلی ایران و عربستان را در خاور زون سندج - سیرجان می‌داند. Mohajjel et al. (2003) و Ghasemi & Talbot (2006) همانند آنچه که در گذشته فرض شده بود، محل جوش ورقه عربی و ایران را روراندگی زاگرس در نظر گرفته‌اند. افزون بر ساختار، توده‌های گرانیتی این زون، همواره مورد توجه پژوهشگران فراوانی بوده و بیشتر این پژوهشگران گرانیتوئیدهای این کمربند را از نوع M دانسته که در حاشیه‌های فعال شکل گرفته‌اند (سپاهی گرو، ۱۳۷۹؛ Esmaily et al., 2005). در بخش جنوبی زون سندج - سیرجان فعالیت‌های آتشفشانی کرتاسه ناچیز است، اما در بخش شمالی این زون، حجم بسیار وسیعی از آنها از نواوند تا سقز وجود دارد. مطالعات انجام گرفته از تشکیل این سنگ‌ها در حاشیه‌های فعال قاره‌ای دلالت دارد (Azizi & Jahangiri, 2008). در بخش شمالی سندج سیرجان، علاوه بر سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه (خاور سندج، گردنه صلوات‌آباد) ترم‌های حد واسط و در بین بیجار و تکاب ترم‌های اسیدی میوسن (Boccaletti et al., 1978) و سنگ‌های بازائیتی کوآترنر گسترش قابل توجهی دارند.

در این نوشتار سنگ‌های آتشفشانی که آنها را متعلق به ائوسن دانسته‌اند از نظر سنگ‌شناسی مورد بحث قرار می‌گیرد. با این حال، سن این سنگ‌ها هنوز جای بحث دارد. مطالعات انجام شده توسط نگارندگان نشان می‌دهد بین سنگ‌های آتشفشانی که آنها را متعلق به کرتاسه می‌دانند با ائوسن اختلافات زیادی مشاهده می‌شود، برای مثال، مجموعه کرتاسه به سمت بازالت آندزیتی و بازالت و مجموعه آتشفشانی ائوسن به سمت آندزیت گرایش دارند، افزون بر آمفیبول‌های سوخته (هورنبلند بازالتی) در مجموعه آتشفشانی ائوسن فراوان و در کرتاسه کمتر است. از طرف دیگر بلورهای درشت کلینوپیروکسن در مجموعه آتشفشانی کرتاسه فراوان اما در ائوسن وجود ندارند و یا خیلی ناچیز هستند (شکل ۱-ب).

## ۲- زمین‌شناسی عمومی

منطقه مورد مطالعه در باختر ایران و در خاور سندج با مساحتی حدود ۹۰۰ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۴۷° ۰۰' تا ۴۷° ۲۰' و عرض جغرافیایی ۳۵° ۰۱' تا ۳۵° ۲۷' شمالی قرار دارد. روند ارتفاعات برخلاف روند کلی منطقه (شمال باختر - جنوب خاور) شمالی - جنوبی است. این منطقه بر اساس تقسیم‌بندی ساختمانی - رسوبی ایران (Stocklin and Nabavi, 1973) جزئی از زون سندج - سیرجان به شمار می‌آید (شکل ۱-ا) و بر اساس تقسیم‌بندی افتخارنژاد (افتخار نژاد، ۱۳۵۹) در زون همدان - ارومیه قرار می‌گیرد.

قدیمی‌ترین سنگ‌ها، متعلق به پالئوزوئیک (پرمین) در باختر دیواندره گسترش دارند و بیشتر از مرمر با میان‌لایه‌هایی از شیبست تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها به شدت چین‌خورده بوده و محور چین‌ها شمال باختر - جنوب خاور است (زاهدی و همکاران، ۱۳۶۴). رسوبات ژوراسیک و کرتاسه، در جنوب باختر و خاور سندج (جنوب دهگلان بویژه در گردنه صلوات‌آباد) رخمون یافته‌اند که شامل آهک ماسه‌ای، شیل و آهک‌های متبلور است و در بعضی بخش‌ها با میان‌لایه‌های از سنگ‌های آتشفشانی همراه هستند. سنگ‌های رسوبی و آذرین کرتاسه بیشترین

پر شده است (شکل ۶). در بین قطعات پومیس شاردهای شیشه‌ای کشیده و پیچ‌خورده نیز مشاهده می‌شود که توسط کانی‌های ثانوی جایگزین شده‌اند. در بعضی از سنگ‌های آذرآواری، قطعات آهکی دیده می‌شود. به نظر می‌رسد این سنگ‌های آتشفشانی، به داخل حوضه رسوبی ریخته و با گل‌های آهکی کف حوضه مخلوط شده باشند.

ترکیب کانی‌شناسی این سنگ‌ها ساده و بیشتر از پلاژیوکلاز و فلدسپارهای قلیایی تشکیل شده‌اند. درصد کانی‌های مافیک ناچیز است و به‌ندرت در خمیره کلینوپروکسن دیده می‌شود. در بعضی از نمونه‌ها بقایایی از آمفیبول با حاشیه سوخته نیز مشاهده می‌شود. افزون بر آن در بعضی از نمونه‌ها کانی‌های فرعی مانند اسفن، اکسیدهای آهن و لوکوکسن مشاهده می‌شود. در صد کوارتز در این سنگ‌ها ناچیز است. در بعضی از فلدسپارها رشد دو مرحله‌ای دیده می‌شود. افزون بر این، بعضی از پلاژیوکلازها در حاشیه نیز توسط هاله‌ای متشکل از سریسیست و زونیزیت احاطه شده‌اند که می‌تواند نشانه ناپایداری این کانی‌ها باشد (شکل ۷).

#### ۴- ژئوشیمی

پس از مطالعات میکروسکوپی، ۱۲ نمونه از سنگ‌های سالم به روش XRF توسط شرکت AMDEL استرالیا تجزیه شد. در این راستا افزون بر عناصر اصلی و فرعی مقدار LOI نیز اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از این تجزیه در جدول ۱ آورده شده است. مقدار  $\text{SiO}_2$  این سنگ‌ها از ۵۱ تا ۶۳ درصد وزنی و مقدار  $\text{Al}_2\text{O}_3$  آنها بجز یک نمونه از ۱۴ تا ۱۸ درصد متغیر است و در بیشتر آنها میزان  $\text{TiO}_2$  کمتر از یک درصد است. نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار تغییرات عناصر قلیایی در برابر سیلیس (Cox et al., 1979) در قلمرو آندزیت، آندزیت بازالتی و بازالت قرار می‌گیرند (شکل ۹-ا). به دلیل این‌که عناصر قلیایی در طی فرایندهای دگرسانی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند و ممکن است نام‌گذاری سنگ‌ها بر اساس آنها با خطا مواجه شود، بنابراین از نمودارهای دیگری که در آنها عناصر کم‌تحرك مانند Nb, Ti, Zr و Y به کار گرفته شده، برای رده‌بندی استفاده شده است. به‌طوری‌که در نمودار Nb/Y بر حسب نسبت  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  سنگ‌های آتشفشانی منطقه در قلمرو بازالت، بازالت آندزیتی و آندزیت قرار می‌گیرند (شکل ۸-ب).

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن خاور سنندج در نمودار قلیایی - سیلیس در قلمرو نیمه‌قلیایی، و در نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971) بیشتر در قلمرو کلسیمی-قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۹-ا، ب). همچنین در نمودار تغییرات Ti-Zr (Pearce and Cann, 1973) و نمودار سه‌تایی Zr-Ti/100-Sr/2 (Pearce & Cann, 1973) این سنگ‌ها بیشتر در محدوده کلسیمی-قلیایی جای می‌گیرند (شکل ۹-د، ع).

ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی خاور سنندج با بازالتهای اقیانوسی نرمال (Sun and McDonough, 1989)، کندریت‌ها (Sun, 1980) و گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) مقایسه شده‌اند (شکل ۱۰). همان‌گونه که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، بی‌هنجاری مثبت U, Th و Pb و بی‌هنجاری منفی Nb و Ti در این سنگ‌ها مشهود است. بی‌هنجاری منفی از عناصر Nb و Ti و غنی‌شدگی از عناصر گروه LIL و نسبت پایین Nb/U (شکل ۱۱) و بی‌هنجاری مثبت U, Th و Pb در این سنگ‌ها نیز حاکی از آن است که بازالتهای آندزیتی‌های ائوسن خاور سنندج از یک گوه گوشته‌ای سرچشمه گرفته‌اند که در ذوب آنها سیال‌های آزاد شده از پوسته اقیانوسی فرورونده دخالت داشته است. مطالعات انجام گرفته به صورت تجربی در خصوص بی‌هنجاری مثبت عناصر ذکر شده با دیگر عناصر دلیلی بر افزایش آنها توسط سیال‌های آزاد شده از پوسته اقیانوسی فرو رانده شده است (Ayers, 1998; Chung et al., 2001).

گسترش را در منطقه سنندج دارند، به‌طوری‌که بخش باختری چهارگوش سنندج را می‌پوشانند. مطالعات انجام گرفته در چند سال اخیر نشان می‌دهد که این سنگ‌ها از نوع کلسیمی-قلیایی و به ندرت از نوع تولییتی هستند. در همین راستا، تشکیل این مجموعه را متعلق به حاشیه‌های فعال دانسته‌اند (عزیزی و معین وزیری، ۱۳۸۶؛ عزیزی و معین وزیری، ۱۳۸۷؛ Azizi and Jahangiri, 2008). بین رسوبات کرتاسه و ائوسن زیرین ناپیوستگی وجود دارد بدین ترتیب که رسوبات ائوسن به حالت پیشروی با کنگلومرای قرمز شروع می‌شوند.

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن به صورت عدسی‌های باریک و پراکنده به طول حدود ۴۰ کیلومتر و عرض حدود ۲۰ کیلومتر در راستای شمالی - جنوبی در خاور سنندج (گردنه صلوات‌آباد) رخنمون یافته‌اند. جاده سنندج - همدان که از گردنه صلوات‌آباد می‌گذرد مسیر مناسبی برای مطالعات زمین‌شناسی این منطقه است (شکل ۱-ب). بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی ائوسن با رسوبات آهکی این دوره به صورت بین‌چینه‌ای قرار دارند و در بعضی مناطق آثار لایه‌بندی در نهشته‌های آذرآواری مشاهده می‌شود (شکل ۲). در پاره‌ای مناطق بیگانه‌سنگ‌های بزرگی از سنگ‌های آهکی در داخل این سنگ‌های آتشفشانی دیده می‌شود.

#### ۳- سنگ‌نگاری

مطالعات صحرایی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها، سه گروه متفاوت هستند. گروه اول، سنگ‌های آتشفشانی خاکستری تا تیره رنگ با ترکیب بازالت و آندزیت هستند که به صورت قطعات زاویه‌دار یا گرد شده در اندازه‌های مختلف در داخل سنگ‌های آتشفشانی سبز رنگ (گروه دوم سنگ‌های آتشفشانی ائوسن) قرار گرفته‌اند (شکل ۳). این سنگ‌ها در جنوب صلوات‌آباد رخنمون دارند. گروه دوم سنگ‌های آندزیتی سبز رنگی هستند که حجم بیشتر سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. این مجموعه خود توسط یک سری دایک‌های سبز و روشن که گروه سوم سنگ‌های آتشفشانی به شمار می‌آیند و ترکیب آندزیتی دارند، قطع شده‌اند. در برخی مناطق در ارتباط با این دایک‌ها، کانی‌زایی مس صورت گرفته است.

مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد بحث ترکیبی از بازالت تا داسیت دارند و بیشتر آنها در قلمرو آندزیت قرار می‌گیرند. بافت این سنگ‌ها بیشتر پورفیری است، درصد درشت‌بلورها از ۱۰ تا ۵۰ درصد حجم سنگ تغییر می‌کنند. درشت بلورها، بیشتر پلاژیوکلاز هستند. بعضی از نمونه‌ها که بافت گلوپورفیری دارند، گلوپورول‌ها از بلورهای پلاژیوکلاز تشکیل شده‌اند (شکل ۴). خمیره این سنگ‌ها بیشتر از میکروولیت و شیشه تشکیل شده است. افزون بر بافت پورفیری، بافت‌های دیگری مانند میکروولیتی، شیشه‌ای و حفره‌ای نیز مشاهده می‌شود. در بعضی بخش‌ها اجتماع کانی‌های ثانوی ساختار اسفرولیتی نشان می‌دهد که نشانه‌ای از تبلور دوباره خمیره شیشه‌ای سنگ است. پلاژیوکلازها که کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این سنگ‌ها هستند حالت زونه یا منطقه‌ای دارند (شکل ۵).

فابریک برشی در بسیاری از سنگ‌های آتشفشانی این منطقه در مقیاس میکروسکوپی دیده می‌شود. به نظر می‌رسد عامل اصلی این بافت، فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه پس از جایگزینی باشد. در کنار این مجموعه از بافت‌ها، بافت آمیگدال یا بادامکی یکی از بافت‌های مهم این سنگ‌هاست و آمیگدال‌ها بیشتر از کلسیت، زولیت و کلریت تشکیل شده‌اند. از حالات ثانوی این سنگ‌ها می‌توان به سوسوریتی شدن پلاژیوکلازها اشاره کرد که پلاژیوکلازها توسط مجموعه‌ای از کانی‌های ثانوی مانند اپیدویت-کلریت و آلپیت جایگزین شده‌اند. در داخل بعضی از این سنگ‌ها، قطعات پومیس دیده می‌شود که حفرات آنها توسط کانی‌های ثانوی

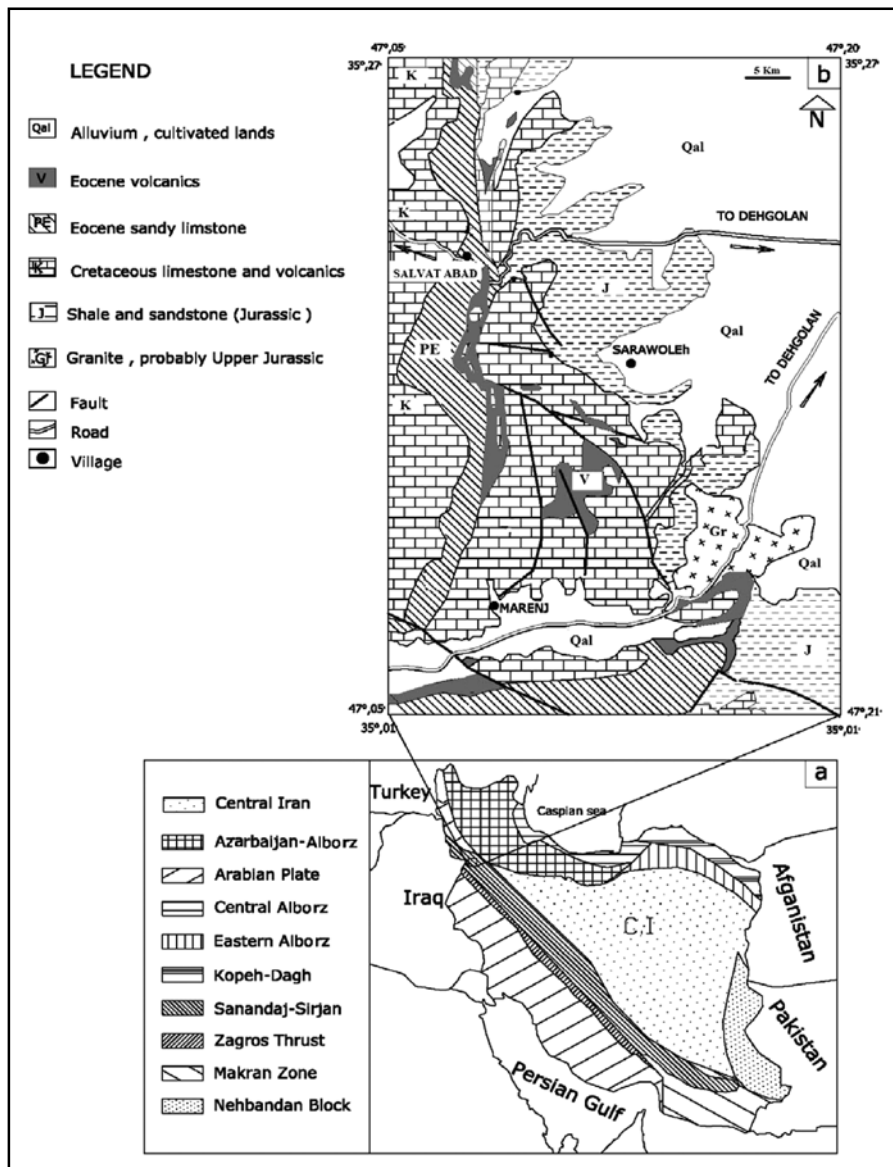
### ۵- نتیجه گیری

زون فرورانش است. نسبت پایین Nb/U این سنگ‌ها نیز حاکی از آن است که ماگمای اولیه این بازالت‌ها و آندزیت‌ها از یک گوه گوشته‌ای سرچشمه گرفته که در ذوب آنها سیال‌های آزاد شده از یک صفحه اقیانوسی و آلودگی پوسته دخالت داشته است.

### سپاسگزاری

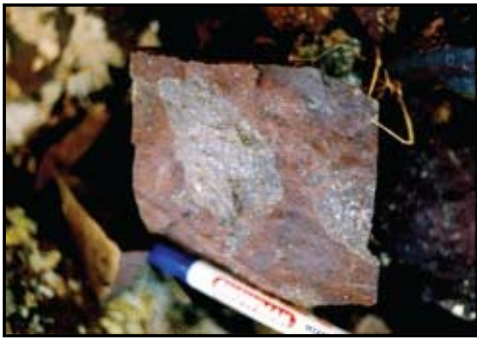
با توجه به این که این مقاله بخشی از طرح تحقیقاتی است که هزینه‌های آن توسط حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه کردستان پرداخت شده است مراتب تشکر و قدردانی خود را از آنان اعلام می‌داریم. از استاد ارجمند جناب آقای دکتر معین‌وزیری که در تمامی مراحل این تحقیق مشوق ما بوده‌اند، تشکر می‌نماییم. از داوران محترم که این مقاله را با دقت و حوصله فراوان مطالعه نموده و نکات بسیار ارزشمندی را یادآور شدند، تشکر می‌نماییم.

شواهد بافتی مانند حضور ادخال‌های شیشه در حاشیه و در داخل بسیاری از درشت‌بلورهای فلدسپار، تجزیه فلدسپارها و کانی‌های مافیک به کانی‌های آبدار، آمیخته شدن گدازه‌ها با رسوبات آهکی نرم کف دریا و نیز خرد شدن بسیاری از درشت‌بلورها بر فعالیت آتشفشانی زیر دریایی و سرد شدن سریع این سنگ‌ها بر اثر برخورد با آب دریا دلالت دارد. همچنین فراوانی بیگانه سنگ‌ها و حضور عدسی‌های آهکی به صورت میان‌لایه با توف و گدازه‌ها، گواه بر این است که در این منطقه فعالیت آتشفشانی در یک محیط آبی کم ژرفا انجام گرفته است. مطالعات کانی‌شناسی و بررسی‌های ژئوشیمیایی این سنگ‌ها نشان می‌دهد که ماگمای مولد آنها بیشتر از نوع کلسیمی-قلیایی بوده و در حاشیه‌های مخرب شکل گرفته‌اند. بی‌هنجاری منفی از عناصر Nb و Ti و غنی‌شدگی از عناصر گروه LIL دلایلی بر نشأت گرفتن ماگمای به وجود آورنده این سنگ‌ها از یک گوشته غنی شده (نسبت به گوشته مورب) در بالای یک



شکل ۱- (a) واحدهای ساختمانی رسوبی ایران (Stocklin and Nabavi, 1973).

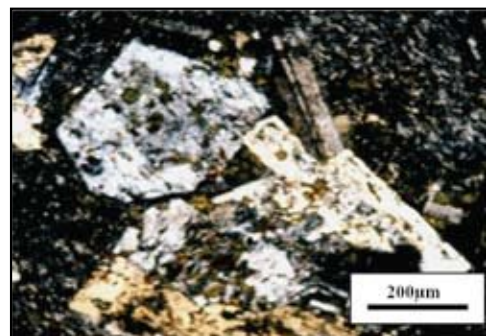
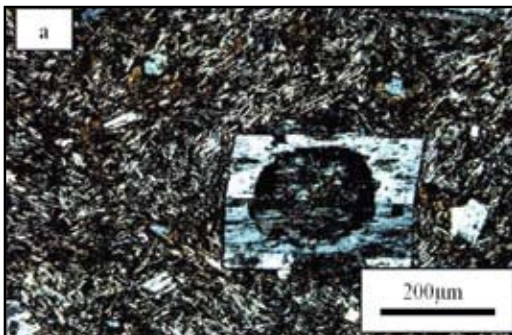
(b) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نقل از زاهدی و همکاران (۱۳۶۴) با کمی تغییرات.



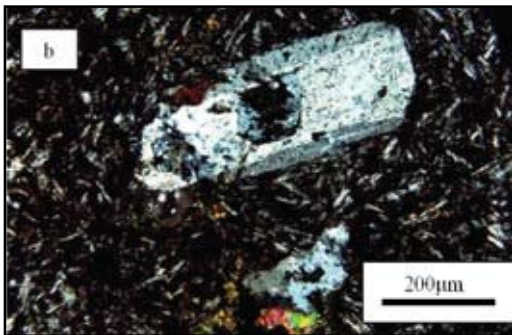
شکل ۳- قطعاتی از آندزیت‌های خاکستری رنگ (گروه اول) به صورت بیگانه سنگ در داخل سنگ‌های آتشفشانی گروه دوم.



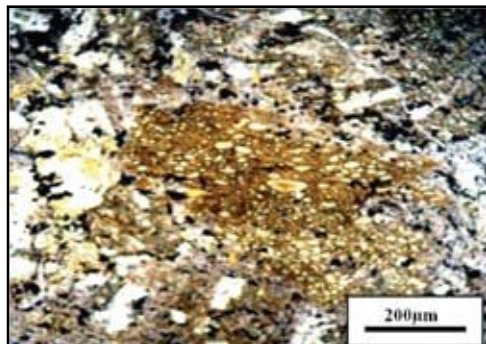
شکل ۲- حالت بین چینه‌ای سنگ‌های آتشفشانی (در پایین) با آهک‌های انوسن (در بالا) گردنه صلوات آباد.



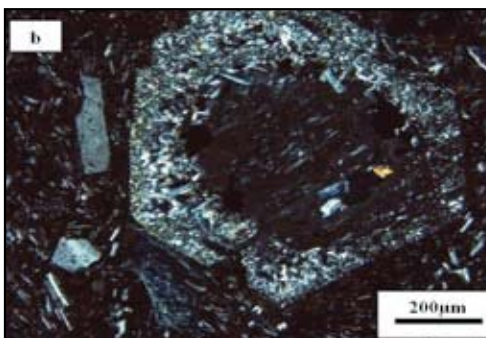
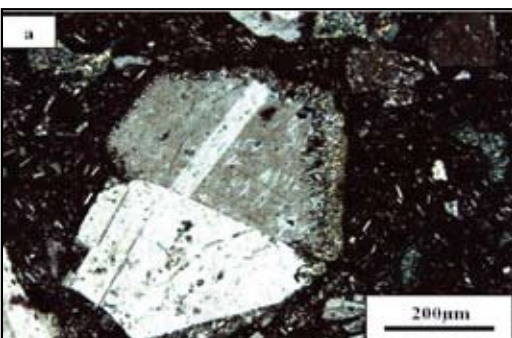
شکل ۴- بافت گلوبروپورفیری در آندزیت‌ها. درشت بلورهای پلاژیوکلاز دارای ادخال‌هایی از شیشه کلریتی شده هستند.



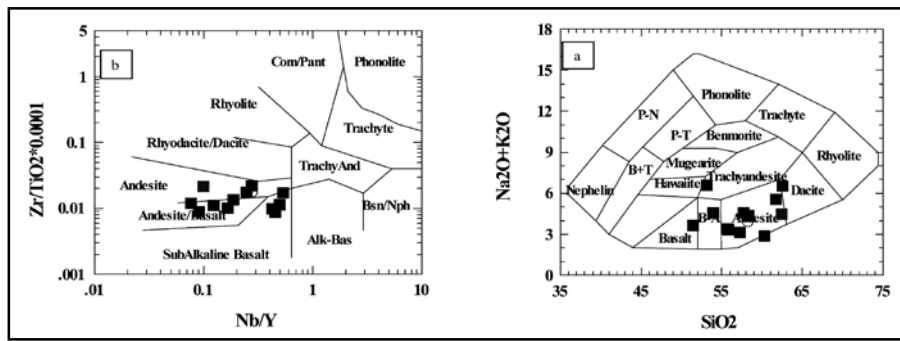
شکل ۵- a و b) هسته گرد شده پلاژیوکلاز که توسط حلقه‌ای دیگر از پلاژیوکلاز احاطه شده است، نشان از تبلور پلاژیوکلاز در دو مرحله دارد.



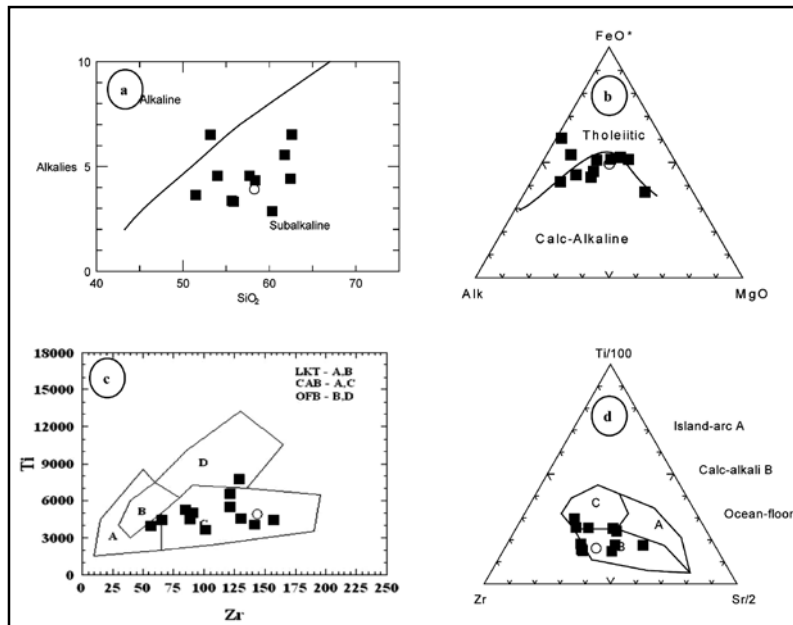
شکل ۶- وجود قطعات پومیس در بعضی از سنگ‌های آتشفشانی آذرآواری منطقه.



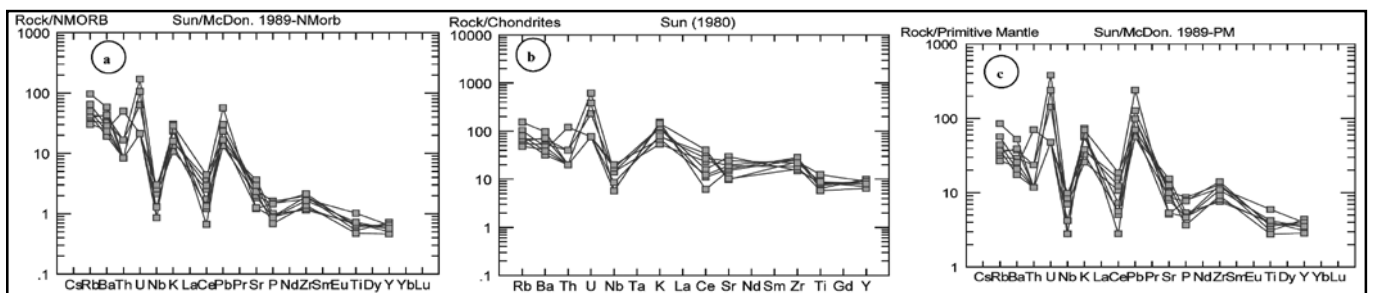
شکل ۷- a و b) رشد سوزنی بلورهای سریسیت و زوئیزیت در اطراف درشت بلورهای پلاژیوکلاز.



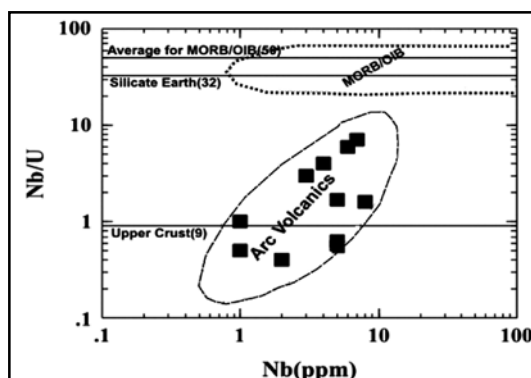
شکل ۸- طبقه بندی سنگ های آتشفشانی منطقه صلوات آباد. (a) بر اساس تغییرات مجموع  $Na_2O+K_2O$  در برابر  $SiO_2$  و (b)  $Zr/TiO_2*0.0001$  در برابر  $Nb/Y$ . در این نمودارها سنگ های آتشفشانی منطقه در محدوده آندزیت بازالتی، آندزیت و تراکی آندزیت قرار می گیرند.  $\circ$  نمونه دایکی و  $\blacksquare$  مربوط به بقیه سنگ های آتشفشانی منطقه است.



شکل ۹- (a تا d) پراکنده گی سنگ های آتشفشانی منطقه را در نمودارهای زمین ساخت- ماگمایی نشان می دهند. (a) مطابق نمودار قلیایی در برابر درصد وزنی سیلیس در قلمرو نیمه قلیایی، (b) در نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971) در قلمرو کلسیمی- قلیایی، (c) در نمودار Pearce and Can (1973) که تغییرات Ti در برابر Zr نشان می دهد و (d) در نمودار مثلثی  $Zr-Ti/100-Sr/2$  در قلمرو کلسیمی- قلیایی قرار می گیرند. علائم همانند شکل قبل است.



شکل ۱۰- نمونه های بازالتی و آندزیتی سنگ های آتشفشانی خاور سنندج بهنجار شده با N-MORB (Sun and McDonough, 1989)، کندریت ها (Sun, 1980) و گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) به ترتیب a، b و c. بی هنجاری مثبت U، Th و Pb مشاهده می شود که بیانگر تشکیل ماگمای اولیه این سنگ ها در بالای یک زون فرورانش می باشد. البته آغشتگی پوسته ای را نمی توان بی تأثیر دانست.



شکل ۱۱- تغییرات نسبت Nb/U بر حسب تغییرات Nb (Hofmann et al., 1986). بر اساس این نمودار سنگ‌های آتشفشانی انوسن در قلمرو کمان‌های ماگمایی قرار می‌گیرند. نسبت‌های MORB/OIB، ترکیب کل پوسته سیلیسی زمین و پوسته قاره‌ای به ترتیب از: (Rudnick and Fountain (1995) و (McDonough and Sun (1995) ، (McDonough et al. (1992) ، (Hofmann et al. (1986) اقتباس شده است. اعداد داخل پرانتز میانگین Nb/U در محیط‌های متفاوت است.

### کتابنگاری

- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۹- تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، صفحه ۱۹ الی ۲۸.
- زاهدی، م.، حاجیان، ج. و بلورچی، ح.، ۱۳۶۴- نقشه زمین‌شناسی چهارگوش سنندج، ۱:۲۵۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- سپاهی‌گرو، ع.، ۱۳۷۹- پترولوژی و پتروگرافی توده‌های گرانیتی الوند همدان. دانشگاه تربیت معلم تهران، ۳۵۰ صفحه.
- عزیزی، ح.، معین‌وزیری، ح.، ۱۳۸۶- پترولوژی و ژئوشیمی ولکانیک‌های کرتاسه سقر بر اساس خاک‌های کمیاب. مجله علوم دانشگاه اصفهان، شماره ۲۷، صفحه ۳۵ الی ۵۷.
- عزیزی، ح.، معین‌وزیری، ح.، ۱۳۸۷- پتروژنز ولکانیک‌های کرتاسه شمال سنندج، مجله علوم دانشگاه تهران. شماره ۲، صفحه ۱۷-۲۴.

### References

- Alavi, M., 1994 - Tectonics of the Zagros Orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 220, 211-238.
- Alavi, M., 2004 - Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science* 304, 1-20.
- Ayers, J., 1998- Trace element modeling of aqueous fluid-peridotite interaction in the mantle wedge of subduction zone. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 132:390-404.
- Azizi, H. & Jahangiri, A., 2008- Cretaceous subduction related volcanism in the northern Sanandaj-Sirjan Zone. *Journal of Geodynamics*, 45: 178-190.
- Blanc, E. J., Allen, M. B., Inger, S. & Hassani, H., 2003- Structural styles in the Zagros Simple Folded Zone, Iran. *Journal of the Geological Society* 160, 401-412.
- Boccaletti, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Motamed, A., Paquare, A., Radicati, de Brozolo, F., Amin Sobhani, E., 1976- Neogene and Quaternary volcanism of the Bijar area (western Iran). *Bull. Volcanology* 40-42, 121-135
- Chung, S. L., Wang, K. I., Crawford, A. J., Kamenetsky, V. S., Chen, C. H., Ian, C. & Chen, C. H., 2001- High-Mg potassic rocks from Taiwan, *Lithos*, 92: 153-170.
- Cox, K. G., Bell, J. D. & Pankhurst, R. J., 1979- The interpretation of igneous rocks. George, Allen and Unwin, London.
- Esmaily, D., Ne'de'lec, A., Valizadeh, M. V., Moore, F., Cotton, J., 2005. Petrology of the Jurassic Shah-Kuh granite (eastern Iran), with reference to tin mineralization. *Journal of Asian Earth Sciences* 25, 961-980.
- Ghasemi, A., Talbot, C. J., 2006- A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 26, 683-693.
- Hofmann, A. W., Jochum, K. P., Seufert, M. & White, W. M., 1986 - Nb and Pb in oceanic basalts: new constraints on mantle evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 79: 33-45.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. j. Earth Sciences*, 8: 523-548.
- McDonough, W. F. & Sun, S. S., 1995- Composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120: 223-253.
- McDonough, W. F., Sun, S. S., Ringwood, A. E., Jagoutz, E. & Hofmann, A. W., 1992- Potassium, rubidium, and cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 1001-1012.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L., Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 21, 397-412.
- Pearce, J. A. & Cann, J. R., 1973- Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis. *Earth and Planet. Sci. letters*, 19: 290-300.
- Rudnick, R. L. & Fountain, D. M., 1995- Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective. *Rev. Geophysics*, 32: 267-309.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonic of Iran; a review *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 52, 1229-1258.
- Sctoklin, J. & Nabavi, M. H., 1973- Tectonic map of Iran. *Geology Survey of Iran*.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: *Sunders A. D. and Norry M. J. (eds.) magmatic in oceanic basins. Geol. Soc. London. Spec. Pub.*, 42: 313-345.
- Sun, S. S., 1980- Lead isotope study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. *Hilo. Trans. R. Soc. London, Ser.*, 297: 409-445.
- Takin, M., 1972- Iranian geology and continental drift in the Middle East. *Nature* 23, 147-150.

## Petrology of Eocene Volcanic Rocks in the East of Sanandaj

H. Azizi<sup>1\*</sup> & A. Akbarpour<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

<sup>2</sup> Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

Received: 2008 February 16

Accepted: 2008 July 26

### Abstract

Volcanic rocks with mainly andesite composition and lenticular form outcropped in the Eocene sedimentary host rocks in the east of Sanandaj. Field studies confirm that they are intercalation with the sedimentary host rocks. In thin section, these have porphyritic, glomeroporphyritic microlithic and microlithic porphyritic textures. Some texture evidences such as glassy inclusion in the center of plagioclase phenocrysts, displacement of plagioclase and mafic phenocrysts with mafic hydrate minerals imply amalgamation of volcanic activity with soft sediments in shallow water; also cracking of plagioclase phenocrysts confirms this subject. Geochemical study shows that these rocks are enriched in incompatible elements such as U, Th, Pb and depleted in Nb, and Ti elements compared with chondrites, primitive mantle and NMORB. If crustal contamination can be responsible for these changes, but as usual these anomalies imply the primary magma generated above the subduction zone. This volcanic rock may have a unique origin the same as Urumieh-Dokhtar volcanic belt.

**Keywords:** Sanandaj, Eocene, Volcanism, Calc-alkaline

For Persian Version see pages 21 to 26

\*Corresponding author: H. Azizi; Email: Azizi1345@gmail.com