کاربرد عناصر ردیاب غیرمتحرک Co و Th در بررسی سنگهای آتشفشانی دگرگونشده و هوازده: شواهدی از سنگهای کرتاسه منطقه سقز - پیرانشهر

محمّد سالار ترخانی ((ره)، منصور وثوقی عابدینی، فریبرز مسعودی و ندا بهاروند ؛

۱. دانش آموخته دکتری، گروه زمین شناسی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
۲. دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
۳. دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
٤. کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سقز

تاریخ دریافت: ۸۸/۲/۲۷ تاریخ پذیرش:۸۹/۲/۸

چکیدہ

دیرزمانی است که برخی محققین به این نتیجه رسیدهاند که نمودارهای ^۱ TAS در ردهبندی سنگهای آتشفشانی دگرسان، دگرگون و هوازده قابل اتکاء نیستند و در نتیجه از عناصر جایگزین کم تحرک تر استفاده نمودهاند. در همین راستا، در سالهای اخیر محققان بر اساس نتایج حاصل از مجموعهای از نمونههای متعلق به جزایر قوسی ترشیاری – عهد حاضر اقدام به معرفی نموداری جدید بر اساس عناصر غیرمتحرک Th و محیط کمان آتشفشانی بسیاری – عهد حاضر اقدام به معرفی نموداری جدید بر اساس عناصر غیرمتحرک Th و محیط کمان آتشفشانی بسیار مناسب است. کاربرد عناصر مختلف و به ویژه Th و OC در ردهبندی سنگهای آتشفشانی کرتاسه در منطقه سقز – پیرانشهر که بخشی از زون سنندج – سیرجان می باشد، در این مقاله مورد مرسی قرار گرفته است. این سنگها دارای ترکیب آندزیت بازالتی و آندزیت بوده و توسط تودههای نفوذی ساب ولکانیک و واحدهای آذرآواری هم ارز همراهی می شوند. دگر گونی ضعیفی در حد رخساره شیست مساب ولکانیک و واحدهای آذرآواری هم ارز همراهی می شوند. دگر گونی ضعیفی در حد رخساره شیست مطالعات پترو گرافی، کانی های ثانویه فراوانی چون اپیدوت، کاریت، ترمولیت، اکتیوکنان، پیروکسن مطالعات پترو گرافی، کانی های ثانویه فراوانی چون ایدوت، کاریت، ترمولیت، اکتیوکنان، پروکسن مطالعات پترو گرافی، کانی های ثانویه فراوانی چون ایدوت، کاریت، مولیای چون پلاژیو کالز، هر نبلند، پیروکسن مطالعات پترو گرافی، کانی های ثانویه فراوانی چون ایدوت، کاریت، ترمولیت، اکتیولیت، پرهنیت، پمیلیت، و اکسیدهای آهن - تیتان مشاهده می شوند. در مطالعات الکترون مایکروپروب، مشخص گردید که ترکیب پلاژیو کلازها در نمونه ها همگن شده و اینک در حد آلبیت می باشد، همچنین در زمینه برخی نمونه ها، فلدسپار پلاژیو کلازها در نمونه ها همگن شده و اینک در حد آلبیت می باشد، همچنین در زمینه برخی نمونه ها فلاسپار

سنگهای آتشفشانی کرتاسه در منطقه سقز- پیرانشهر، با توجه به نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده با بازالت میان اقیانوسی (MORB) با دارا بودن آنومالی منفی Nb به محیط کمان آتشفشانی تعلق دارند. در روشهای متداول ردهبندی که از درصد اکسیدها یا سایر عناصر کمیاب استفاده میشود، به دلیل پراکندگی، نمونهها سرشت و ترکیب سنگشناسی خاصی را نشان نمیدهند، در صورتی که در نمودار Th-Co، ترکیب شیمیایی بازالت، آندزیت بازالتی و آندزیت با سرشت کالک آلکالن برای آنها مشخص می گردد. لذا به نظر می رسد عناصر غیرمتحرک Th و Co می توانند به عنوان ابزاری مناسب در تفکیک سرشت ماگمایی و نوع سنگهای تغییر یافته (هوازده و دگرگون شده) استفاده شوند.

واژههای کلیدی:پیرانشهر، تحرک عناصر، زون سنندج – سیرجان، سقز، سنگهای آتشفشانی کرتاسه

1- Total Alkali Silica

کاربرد عناصر ردیاب غیر متحرک Co و Th در بررسی سنگ های آتشفشانی ...

مقدمه

روش معمول رده بندی سنگهای آتشفشانی، استفاده از نمودارهای مجموع آلکالن در برابر سیلیس میباشد که به نمودارهای TAS معروف است (نمودار and 1989 anl) داو20). محور مجموع آلکالن در این نمودارها، غالباً گونههای ماگمایی آلکالن را از ساب آلکالن جدا مینماید، در حالی که محور سیلیس، گونههای سنگی اولیه را از انواع تکامل یافته متمایز می سازد. همچنین با استفاده از نمودار 20 K در برابر می توان به جداسازی گونههای ماگمایی (تولئیتی، کالکآلکالن کالکآلکالن غنی از پتاسیم و شوشونیتی) با استفاده از عامل غنی شدگی از عناصر لیتوفیل بزرگ یون و نوع سنگ (بازالت، آندزیت بازالتی، آندزیت، داسیت و ریولیت) با استفاده از محتوای سیلیس و در نتیجه درجه تفریق پرداخت.

۲۸۵ بسیاری از محققین به این نتیجه رسیدهاند که نمودارهای TAS در ردهبندی سنگهای آتشفشانی دگرسان، دگرگون و هوازده قابل اتکاء نیستند و در نتیجه از عناصر جایگزین کم تحرکتر استفاده نمودهاند (برای نمونه ۲۹77 Hostie et al., اقدام به معرفی نمودارهایی جدید بر اساس عناصر غیرمتحرک Th و OD به جای پتاسیم و سیلیس نمودند؛ با این هدف که از این نمودارها جهت ردهبندی سنگهای آتشفشانی قوسی کرتاسه در جامائیکا که متحمل دگرسانی هیدروترمال و هوازدگی شدید در محیط حاره شده بودند، استفاده نمایند که در نهایت با موفقیتی حدود ۸۰٪

در تحقیق حاضر، با استفاده از بررسی های صحرایی، ميكروسكوپي، تجزيه الكترون مايكرويروب و مطالعات ژئوشیمیایی سنگ کل، به بررسی سنگهای آتشفشانی کرتاسه در منطقه سقز – پیرانشهر (شکل ۱) پرداخته می شود. این سنگ ها از نوع آندزیتبازالتی تا آندزیت هستند که توسط سنگهای سابولکانیکها و آذرآواری همارز همراهی میشوند و دگرگونی ضعیف، گسلخوردگی و ایجاد شکستگی به همراه هوازدگی شدید، آنها را تحت تأثیر قرار دادهاست. این تغییرات به گونهای است که در مطالعات صحرایی انواع تأثیرات فرایندهای زمین ساختی، دگرگونی و هوازدگی (هوازدگی پوست پیازی، اکسیده شدن، برشی و میلونیتی شدن گسترده) دیده می شود (شکل ۲). در بررسی مقاطع نازک (شکل۳) انواع کانی های ثانويه (اپيدوت، كلريت، ترموليت، اكتينوليت، پرهنيت، پمپلئيت، کلسیت و اسفن) و در مطالعات الکترون مایکروپروب ٔ پدیده آلبیتیشدن پلاژیوکلازها و تشکیل کانیهای دگرگونی ضعیف (کلریت، اپیدوت، کوارتز، پرهنیت و پمپلئیت) مشاهده می شود (شكل ٤).

در این مقاله، ابتدا با استفاده از نمودار عنکبوتی بهنجار شده

نسبت به بازالتهای پشته میان اقیانوسی (شکل ۵)، نمودارهای Pearce, 1982; Hastie et al., 2007 و سایر نمودارهای معمول سنگشناسی (شکلهای ۲، ۷ و ۸) ویژگیهای ژئوشیمیایی این سنگها بررسی شد. سپس آنها را ردهبندی و در انتها دادههای حاصله از نمودارهای مختلف را با هم مقایسه و تأثیرات دگرگونی و هوازدگی بر چگونگی تعیین نوع سنگ و سری ماگمایی را بررسی می نمائیم.

معرفي منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، در بین طول های جغرافیایی '۱۵ °20 و '۳۰ ٤٦% و عرض های '۱۰ °۳۳ و '٤۵ °۳۳ در استان های کردستان و آذربایجان غربی بین شهرستان های سقز و پیرانشهر قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه در تقسیم بندی های زمین شناسی ایران در زون سنندج – سیرجان و البرز – آذربایجان قرار می گیرد (Stocklin, 1977; Davoudzadeh et al., 1981).

بیشترین بخش منطقه مورد مطالعه توسط آهکها، شیلها و سنگهای آتشفشانی کرتاسه، به همراه تودههای نفوذی نیمهعمیق و آذرآواریهای همارز پوشیده شده است. همچنین رخنمونهایی از آهک و ماسهسنگهای پالئوزوئیک فوقانی (سازند روته)، دولومیتهای تریاس، شیل و ماسهسنگهای ژوراسیک (سازند شمشک)، آهک و مارنهای میوسن (سازند قم) به همراه تراسها و آبرفتهای کواترنر نیز در منطقه مشاهده می شوند (شکل ۱).

پیش از این بررسی، طی مطالعات زمین شناسی عمومی، نقشههای زمین شناسی و ژئوشیمیایی (در مقیاس های ۲۰۰,۰۰۰ ا و ۲۰۰,۰۰۰) توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده است. به علاوه اکتشافات مختلف طلا، مس، آهن، سیلیس و سنگهای ساختمانی نیز در این ناحیه انجام شده است از جمله مهمترین این اکتشافات می توان به کانسار طلای کرویان، اندیس مس پیریونس، کانسار آهن کوه سلطان، اندیس سیلیس چراغ ویس و معادن گرانیت بنفشه اشاره نمود.

واحدهاى آتشفشانى كرتاسه

الف) مطالعات صحرایی: در بررسی های صحرایی بر روی واحدهای آتشفشانی کرتاسه، نمونه برداری جامعی از نیمرخهای متعدد زمین شناسی در منطقه صورت گرفت. در کلیه پیمایش ها مشاهده شد که دگرگونی (در حد شیست سبز شکل a) و هوازدگی (شکل های bed a)، این واحدها را به شدت تحت تأثیر قرار داده دگرگونی و هوازدگی قرمز، سبز و سیاه (شکل های a)-a) می باشد. همچنین در مناطقی که گسل ها این سنگ ها را قطع کرده، تکتونیزه و خرد و برشی شدن نیز مشاهده می شود (شکل های f و a). ب) مطالعات پتروگرافی: در مطالعات میکروسکوپی بافت های مختلفی از جمله پورفیریک با خمیره میکرولیتی (شکل های

²⁻EPMA (Electron Probe Micro Analysis)

¹⁻Large Ion Lithophile Elements (LILE)



شکل ۱ – نقشه زمین شناسی خلاصه شده منطقه مورد مطالعه، براساس نقشههای ۱:۱۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی و موقعیت آن در زمین شناسی ایران، مستطیل قرمز محدوده مورد مطالعه را نشان میدهد. واحدهای کرتاسه بیشترین رخنمونهای مناطق اطراف شهرستانهای سقز و پیرانشهر را تشکیل میدهند و توسط واحدی از دگرگونیهای منسوب به پرکامبرین از یکدیگر جدا شدهاند. موقعیت برخی نمونهها که مورد آنالیز ژئوشیمی قرارگرفتهاند، بر روی نقشه مشخص گشته است.

پورفیریک با خمیره میکروگرانولار (شکل ۵۳) و پورفیریک با خمیره شیشهای (شکل ۵۳) در سنگهای آتشفشانی و بافت دلریتی (شکل ۳۳) در سنگهای نیمه عمیق مشاهده گردید. در این سنگها کانیهای اولیه از جمله پلاژیوکلاز، آمفیبول، پیروکسن و اکسیدهای آهن – تیتان مشاهده شدند. پلاژیوکلازها به سریسیت، اپیدوت، کلریت و کلسیت (شکلهای ۳۳ و ۵)، پیروکسن ها به کلریت، ترمولیت–اکتینولیت، اپیدوت، کلسیت و اکسیدهای آهن (شکل های ۲۳ و ع ، ۵)، آمفیبول ها به اکسیدهای آهن، کلسیت و کلریت و اکسیدهای آهن – تیتان به اسفن و گاه لوکوکسن (شکل های ۳۳ و ع) می)، آمفیبول ها به اکسیدهای حفرات و شکستگی های فراوان در این سنگها به طور عمده توسط کلسیت، کلسدونی، کلریت و اپیدوت و گاه اکسیدهای توسط کلسیت و گاه به طور جزیی کانیهای پرهنیت و پمپلئیت آهن و تیتان و گاه به طور جزیی کانیهای پرهنیت و پمپلئیت

بیشتر مواقع این سنگها را متاآندزیت و متاآندزیت بازالتی بنامیم. بافت و ساخت این سنگها در مناطق مجاور گسلها، متورق و میلونیتی بوده و اشکال مختلف دگرشکلی در آنها مشاهده میگردد (شکلهای e۲ و h۳).

با توجه به حضور فراوان کانی هایی چون کلریت، اپیدوت، ترمولیت- اکتینولیت، کلسیت و کوارتز ثانویه در زمینه و نیز به جای کانی های اولیه مانند پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول، می توان دگرگونی این سنگ ها را به رخساره شیست سبز نسبت داد، مشاهده مقادیر بسیار جزیی پرهنیت و پمپلئیت درون حفرات و شکستگی برخی نمونه ها، در نتیجه عملکرد محلول های هیدروتر مالی است که به احتمال زیاد ناشی از نفوذ توده های مختلف آذرین به درون این واحدهای سنگی می باشد.

ج) مطالعات الکترون مایکروپروب: پس از انجام مطالعات میکروسکوپی، ۹ نمونه جهت انجام آنالیزهای الکترون

کاربرد عناصر ردیاب غیر متحر ک Co و Th در بررسی سنگ های آتشفشانی ...

مایکروپروب (EPMA) انتخاب و در آزمایشگاه گروه علوم زمین دانشگاه اسلو در نروژ مورد بررسی قرار گرفتند. در این آزمایشگاه با استفاده از دستگاه سوپرپروب OOL-SX معفسنج ساخت مؤسسه پرینستون گاما تک (PGT) که دارای ۵ طیف سنج طول موج انتشاری (WDS) و یک سیستم انرژی انتشاری (EDS) می باشد، تحت ولتاژ شتاب دهنده ۱۵ کیلو ولت و جریان پرتو ۱۵ نانوآمپر حدود ۲۰۰ آنالیز نقطهای کمی روی کانی های انتخابی مانند پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول ها و برخی از کانی های مات و ثانویه انجام شد. استانداردهای مورد استفاده شامل ولاستونیت (X)، آلبیت (Na) و Cr₂03 بودند. با انجام مطالعات مایکروپروب بر روی پلاژیوکلاز موجود در نمونه های ارسال شده، مشخص گردید که ترکیب فنوکریست های پلاژیوکلاز در تمامی نمونه ها آلبیتی شده و حتی ساخت های منطقه ای ' ظاهری مشاهده شد،

در برخی بلورها فاقد تغییرات ترکیب شیمیایی از مرکز به سمت حاشیه بلور می باشد این در حالی است که تبدیل بخشهای مرکزی درشت بلورها به اپیدوت، نشانه حضور کلسیم بالاتر در این بخشها پیش از آلبیتی شدن می باشد (شکلهای ٤ b و ٥). در نتیجه پدیده آلبیتی شدن اکنون اکثر بلورهای پلاژیوکلاز ترکیبی نزدیک به قطب آلبیت را نشان می دهند (برای نمونه 2). همچنین تبدیل بلورهای پیروکسن به مجموعه ترمولیت و ٤٢). همچنین تبدیل بلورهای پیروکسن به مجموعه ترمولیت – اکتینولیت، کلریت، اپیدوت، کوارتز ثانویه و اکسیدهای آهن (شکل ٤٤) و اکسیدهای آهن – تیتان (برای نمونه تیتان مگنتیت در گوشه سمت راست شکل ٤٤) نیز در کنار زمینه سرشار از کانی های کلریت، اپیدوت، اکتینولیت، کوارتز ثانویه، کلسیت و به مقدار کمتر پرهنیت و پمپلئیت و گاه فلدسپار پتاسیم حاکی از تأثیر دگرگونی ضعیف در حد رخساره شیست سبز و همچنین



شکل ۲ – پدیده های مشاهده شده در بررسی های صحرایی، بر روی سنگ های آتشفشانی کرتاسه در منطقه سقز – پیرانشهر: (a) دگرگونی در رخساره شیست سبز سبب ایجاد رنگ سبز روشن شده است (۱۵ کیلومتری شمال غرب سقز)، (b) اکسیده شدن همراه با ایجاد شکستگی های فراوان که سبب ایجاد رنگ های قرمز روشن و تیره در سنگ ها شده است (۱۷ کیلومتری جنوب شرق سقز)، (c) شکستگی در مقیاس و جهات مختلف سبب تشدید فرایند هوازدگی شده است (۱۵ کیلومتری غرب سقز)، (b) هوازدگی پوست پیازی در سنگ های مورد مطالعه (۱۰ کیلومتری جنوب غربی سقز) و (e و f) ساختارهای برشی و تأثیر آن ها بر واحدهای سنگی مورد مطالعه (۱۰ کیلومتری جنوب شرق بری جنوب شرق پیرانشهر).

هوازدگی بر این نمونهها است (شکل b٤).

د) مطالعات ژئوشیمیایی: پس از انجام مطالعات پترو گرافی تعداد ۳۳ نمونه جهت انجام مطالعات ژئوشیمیایی به روش های XRF و ICP-MS انتخاب شدند که متعلق به واحدهای مختلف کرتاسه

و گروههای مختلف سنگهای آتشفشانی، تودههای نفوذی نیمه عمیق و آذرآواریهای هم ارز و همراه آنها می باشند. آزمایشات XRF در سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور و مؤسسه AL-CHEMEX کانادا و آزمایشات ICP-MS در مؤسسه



شکل ۳- دگرسانی کانی های سنگساز در مقاطع مورد مطالعه: a) اورالیتی شدن بلور پیروکسن در نمونه دیوریتی Sg-Mst-41، (d) اپیدوتی شدن زمینه در نمونه آندزیت بازالتی Sg-Mst-4C، (d) و (d) تجزیه فنوکریست پیروکسن به کلریت، کوارتز، کربنات و اکسید آهن در نمونه آندزیت بازالتی Sg-Mst-4C، (d) و (d) تجزیه فنوکریست پیروکسن به کلریت، کوارتز، کربنات و اکسید مهن در نمونه آندزیت بازالتی Sg-Oss-Mst-4C، (d) و (d) تجزیه فنوکریست پیروکسن به کلریت، کوارتز، کربنات و اکسید – آهن در نمونه آندزیت بازالتی Sg-Mst-4C، (d) سریسیتی و کربناته شدن پلاژیوکلازها، کلریتی شدن پیروکسن به کلریت، کوارتز، کربنات و اکسید – تیتان به اسفن در نمونه ساب ولکانیک (نمونه 55-Sg-Mst (g) تبدیل بلورهای درشت و اسکلتی اکسید آهن – تیتان به اسفن در نمونه یاتره (آندزیت بازالتی Sg-Mst-50، (g) تبدیل بلورهای درشت و اسکلتی اکسید آهن – تیتان به اسفن در نمونه کیدر در نمونه در نمونه اکسید آوی اکسید آوی در نمونه یاتره (Sg-Mst-4



شکل ٤ – دگرسانی کانی های سنگساز در مطالعات الکترون مایکروپروب (شمارههای روی شکل های آنالیزهای انجام شده بر روی تک کانی ها میباشد)؛ ترکیب تمامی پلاژیوکلازها آلبیتی است که این مسئله سبب شده تا در تصاویر بلورهای مختلف پلاژیوکلاز همرنگ باشند :

(a): تشكيل كلريت، تيتانيت و حاشيه اى از كوارتز به جاى بلور خودشكل پيروكسن در نمونه Sg-06، بلور درشت تيتان مكنتيت (Fe-Ti Ox) نيز به شدت دگرسان شده است، (b): نمايى نزديك از زمينه نمونه Sg-07 كه از آلبيت و فلدسپار پتاسيم به همراه پمپلئيت و تيتانيت تشكيل شده است، (c): بلور پلاژيوكلاز در نمونه Sg-06 داراى تركيب آلبيت كه هسته آن به اپيدوت تبديل شده است. تشكيل اپيدوت، دليلى بر وقوع پديده همگن شدگى است و نشان مى دهد قبلاً هسته پلاژيوكلاز تركيب كلسيك داشته است، (b): در نمونه Sg-06 بلورهاى دگرسان شده پلاژيوكلاز با تركيب مشابه آلبيتى، همچنين ميكروليت هاى پلاژيوكلاز نيز درون زمينه مشاهده مى شوند. هسته پلاژيوكلازها به اپيدوت تبديل شده است. (Epi اييدوت، Pyx: پلاژيوكلاز، Pyz: پيروكسن، Tre-Act: ترموليت اكتينوليت، Cl. كلريت، SQ: كوارتز، Pume: اكسيد آهن تيتان، به بلاژيوكلاز با پمپلئيت، SPid در تره بلاريوكلاز، ترهيد آهن تيد موليت اكتينوليت، Cl. كلريت، SQ: كوارتز، SQ: اكسيد آهن تيتان، جلال

> AMDEL استرالیا و ACME LABS کانادا انجام شدهاند. خلاصه نتایج این آزمایشات در جدول ۱ قابل مشاهده است.

> همانگونه که در نمودارهای شکل b –a قابل مشاهده است الگوهای رسم شده نمودارهای عنکبوتی، برای آندزیتهای بازالتی و آندزیتها که با مورب نرمال شدهاند، مشابه الگوهای ترسیم شده برای کمانهای آتشفشانی (Winter, 2001) بوده و آنومالی منفی Nb در آنها مشاهده می گردد که از مشخصههای بارز ماگماهای بازالتی در محیطهای کمان آتشفشانی می باشد.

تحلیل های ژئوشیمیایی رفتار هر عنصر طی هوازدگی و دگرسانی هیدروترمال به نسبت

بار/شعاع یا پتانسیل یونی آن وابسته است (Pearce, 1996). عناصر سازنده یونها با پتانسیل یونی پایین (1-mg 0/00>) تمایل دارند در محلولها به صورت کاتیونهای هیدراته جابجا شوند، درحالی که یونها با پتانسیل یونی بالا (1-mg 0/00<) تمایل دارند تا به طور ترجیحی و به صورت اکسی آنیونهای هیدراته جابجا شوند. یونهای دارای پتانسیل یونی متوسط (1-mg 0/00 – 10/0) تمایل دارند تا در محصول جامد هوازدگی باقی بمانند و در نتیجه به طور نسبی غیرمتحرک هستند. این مطلب حتی تا درجات دگرگونی پایین، در حد شیست سبز نیز صادق است. در نتیجه عناصر کمیاب خاکی^۱(REE) عناصر کمیاب خاکی^۱(REE) به جز B و احتمالا A, Th, Nb, Ta, Y, Ti, Cr

1-Rare Earth Elements

جدول ۱ – نتایج آزمایشات تعیین ترکیب شیمیایی کل سنگ به روش های XRF و MS-ICP، برای نمونه های آتشفشانی و ساب ولکانیک کرتاسه در منطقه مورد مطالعه؛ (نمونه های Sg از سقز و Hg از پیرانشهر برداشت شدهاند). عدم وجود برخی داده های عناصر به دلیل تفاوت در نوع آنالیز انجام شده و عناصر مورد آنالیز در هر آزمایشگاه است.

Sample	Sg-5	Sg-6	Sg-7	Sg-19	Sg-T-12	Sg-T-57	Sg-T-60	Sg-T-1-1	Sg-T-2-2	Sg-T-5-2-mid	Sg-T-7-1-2	Sg-T-7-1-3	Sg-T-a-4-1	Sg-Mst-22-C	Sg-Mst-41	Sg-Mst-42
Petrology	Basaltic Andesite	Basaltic Andesite	Basaltic Andesite	Altered Gabbro	Altered Porphyritic Andesite	Diorite	Diorite	Basaltic Andesite	Porphyry Diorite	Diorite	Diorite	Gabbro Diorite	Basaltic Andesite	Andesite	Diorite	Diorite
SiO2 (%)	48.14	49.06	47.22	49.03	51.34	48.55	48.15	47.05	45.13	49.76	47.29	49.47	46.72	45.29	51.47	51.24
TiO2(%)	1.52	1.62	1.46	2.05	1.45	1.58	1.24	1.11	0.85	0.84	1.37	0.98	1.14	1.47	1.81	0.92
Al2O3(%)	16.32	15.64	16.15	16.77	16.02	16.32	14.73	15.04	16.90	14.83	14.51	15.35	15.60	15.09	12.64	14.31
Fe2O3(%)	5.51	5.52	6.24	5.96	5.48	6.33	7.97	2.34	2.11	2.11	2.59	2.23	2.38	2.68	2.98	2.18
FeO(%)	3.02	3.12	2.96	3.55	2.95	3.08	2.74	2.61	2.35	2.34	2.87	2.48	2.64	2.97	3.31	2.42
MnO(%)	0.14	0.15	0.18	0.17	0.11	0.15	0.18	0.17	0.18	0.18	0.16	0.12	0.19	0.19	0.22	0.17
MgO(%)	4.24	5.06	4.39	5.55	4.11	6.23	6.22	9.90	11.32	6.16	10.97	11.93	8.71	7.57	5.79	7.58
CaO(%)	6.90	6.65	7.08	8.08	6.15	7.64	10.42	9.02	6.94	12.59	7.94	6.08	8.30	12.81	8.77	8.08
Na2O(%)	3.29	2.30	3.61	4.17	4.62	4.26	3.78	2.66	2.30	1.94	2.87	3.23	2.34	2.31	2.80	2.69
K2O(%)	2.63	2.75	2.23	0.08	2.24	1.11	0.12	0.33	0.95	0.87	0.96	1.99	0.93	0.84	0.31	0.31
P205(%)	0.29	0.51	0.40	0.54	0.51	0.52	0.17	0.22	0.15	0.17	0.27	0.21	0.24	0.18	0.50	0.19
Ba(nnm)	805	872	545	73	474	259	67	169	91	91	260	138	189	271	125	147
Rb(ppm)	32.2	22.9	23.1	1.1	40.9	11.0	1.4	8.1	32.6	24.0	22.3	60.6	28.3	37.3	10.0	10.0
Sr(ppm)	787	701	874	421	421	356	256	701	1030	517	281	210	585	902	386	496
Y(ppm)	19.2	17.9	21.2	26.1	19.9	19.4	21.5	26.6	29.2	28.4	33.1	30.4	31.7	35.9	16.0	12.0
Zr(ppm)	60.9	63.1	84.7	56.5	75.9	92.4	39.0	128.4	131.8	101.0	103.3	76.9	127.3	143.0	174.0	83.0
Nb(ppm)	17.19	18.26	23.29	11.32	26.24	20.05	4.84	13.80	22.70	13.10	20.40	4.90	15.40	24.10	10.00	9.00
Th(ppm)	2.8	2.5	4.5	0.6	4.4	2.0	0.5	1.2	2.7	2.2	2.0	4.4	2.4	3.1	3.0	2.0
Pb(ppm)	5.7	4.4	11.4	5.1	5.2	1.2	1.1	13.1	16.7	16.1	14.5	9.8	4.8	18.4	1.0	3.0
Ga(ppm)	17.9	18.1	19.2	20.2	16.5	15.0	16.2	17.3	17.0	20.7	15.7	8.7	21.7	27.2		
Zn(ppm)	74.3	85.5	90.9	75.6	71.5	56.2	67.4	83.9	79.9	79.6	62.5	75.3	102.8	91.1	88.0	77.0
Cu(ppm)	79.0	75.2	75.3	83.4	8.4	61.8	184.0	64.4	97.1	93.5	18.5	70.6	124.6	102.9	1.0	65.0
Ni(ppm)	12	12	11	43	9	45	46	65	159	45	66	72	90	55	16	80
V(ppm)	279	279	299	238	238	227	295	170	135	137	205	155	176	216	219	142
Cr(ppm)	10	10	7	115	9	137	196	152	182	112	172	223	176	80	22	131
HT(ppm)	2.22	2.35	2.87	1.92	2.59	2.45	1.29	2.30	3.60	3.40	0.50	2.50	4.60	3.70		
Cs(ppm)	0.0	10.9	0.2	20.2	1.5	0.7	0.1	20.4	1.4	1.5	1.2	0.2	20.1	5.0 12.0		
Ta(nnm)	1 00	19.9	1 20.5	0.70	1.5	0.90	0.20	0.90	1.40	42.1	1 30	0.30	1 00	45.0	0.60	0.60
Co(ppm)	30.5	30.9	29.9	37.2	25.0	39.4	43.0	38.6	44.4	36.1	38.0	31.0	49.7	41.3	23.0	31.0
Li(ppm)	20.60	20.20	14.70	28.80	27.90	28.60	12.10				0010	0110	1017	1210	2010	0110
Be(ppm)	1	1	1	1	1	1	1									
U(ppm)	0.9	0.9	1.4	0.3	1.1	0.5	0.1								1.0	2.0
W(ppm)	0.4	0.4	0.7	0.2	0.5	0.2	0.1								1.0	1.0
Sn(ppm)	1.3	1.4	1.4	2.0	1.5	1.1	0.7	3.9	4.5	3.0	7.6	1.7	2.3	3.4		
Mo(ppm)	0.31	0.38	0.43	0.59	0.24	0.32	0.23	1.70	2.20	1.50	3.20	1.10	1.70	2.10	1.00	1.00
Cd(ppm)	0.12	0.11	0.16	0.13	0.10	0.18	0.12									
Sb(ppm)	0.31	0.23	0.18	0.30	0.55	0.26	0.06									
Bi(ppm)	0.10	0.05	0.09	0.04	0.04	0.04	0.04							15 10		
La(ppm)	18.90	16.80	31.90	13.80	24.20	17.10	6.10	19.10	12.40	29.30	22.50	4.90	24.90	45.40		
Ce(ppm)	40.4Z	57.81	04.10	31.04	47.82	31.35	12.69	9.50	29.70	15.20	24.20	26.20	15.90	21.10		
Nd(nnm)	2/ 20	22.00	34.60	4.00 21.90	28 70	4.20	2.00	20.20	/ 10	11 00	15 20	1.00	16.00	30.40		
Sm(nnm)	5.00	4 90	6 90	4 90	5 90	3 40	2.60	4 20	4.10	4 60	4 00	2.50	5 30	5 20		
Eu(ppm)	1.50	1.40	2.10	1.80	1.70	1.20	1.00	1.30	1.40	1.50	1.30	0.70	1.70	1.70		
Gd(ppm)	5.10	4.80	6.00	5.30	5.00	3.80	3.50									
Tb(ppm)	0.70	0.70	0.90	0.90	0.70	0.60	0.60	0.50	0.60	0.30	0.40	0.10	0.90	0.50		
Dy(ppm)	4.30	4.00	4.90	5.80	4.70	3.90	4.20									
Ho(ppm)	0.80	0.80	0.90	1.20	0.80	0.80	0.90									
Er(ppm)	2.10	2.10	2.10	2.80	2.00	2.10	2.40									
Tm(ppm)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.40									
Yb(ppm)	1.80	1.70	1.90	2.00	1.70	1.90	2.20	2.70	3.60	2.60	2.80	2.80	2.90	2.60		
Lu(ppm)	0.30	0.20	0.30	0.30	0.20	0.30	0.30									

کاربرد عناصر ردیاب غیر متحرک Co و Th در بررسی سنگ های آتشفشانی ...

ادامه جدول ۱ – نتایج آزمایشات تعیین ترکیب شیمیایی کل سنگ به روش های XRF و ICP-MS، برای نمونه های آتشفشانی و ساب ولکانیک کرتاسه در منطقه مورد مطالعه؛ (نمونه های Sg از سقز و Hg از پیرانشهر برداشت شدهاند). عدم وجود برخی داده های عناصر به دلیل تفاوت در روش آنالیز و عناصر مورد آنالیز در هر آزمایشگاه است.

Semple	Sg-Mst-45	Sg-Mst-46-C	Sg-Mst-46-C2	Sg-Mst-47	Hg-144	Hg-154	Hg-131	Hg-132	Hg-134	Hg-135	Hg-147	Hg-155	Hg-159	Hg-167	Hg-186	Hg-180	Hg-182
	Parphyty	Altered Basalite	Altered Basaltic				Porphyritic	Basaltic	Altered	OlMine	Basattic	Aliered		Porphyry		Basalic	Crystal Lithic
Petrokogy	Pyrco.cuc	Andersie	Antieste	Micro Dionle	Diante	Dionte	Austrealier	Antesie	Ohane	Galtino	Anderstei	Polphyly	Anciesto	Decrete	Line ful	Andesda	Vine full
902.80	AS 12	57.31	52 20	46.91	49.05	54.65	10.00	51.00	Gaboro So 30	53.10	51.10	Diune 52.50	40.10	51.40	48.00	50.00	40.00
TIO2(54)	43.17	1.11	1.05	40.61	1.15	1.02	40.00	31.00	0.51	0.49	10	0.520	40.30	1.15	45.00	10.20	40.00
abroksi	12.47	15 82	15.24	13.79	15.17	14.12	18.90	16.50	14.70	18.55	17.10	15.70	15.35	16.85	15.90	16.15	17.40
[a203143	2.32	2 34	2.90	2.14	5.50	5.12	8.99	6.02	3.83	4.02	8.16	500	2.91	E (15	20.00	1 74	10
ENDIS	2.57	2.54	2.55	2.14	2.86	2.55	2.95	2.51	7.03	194	2 33	7.4.7	2.69	2.65	2.41	7.44	7.47
MnD(%)	1.17	0.19	0.13	0.24	0.15	0.14	0.18	0.14	0.11	0.11	0.16	0.15	0.18	0.10	11.1.6	1.1/	0.1/
MaD(%)	12.62	5.21	8,41	12.70	5.74	4.54	4.76	4.71	9.76	9.47	5.39	4.20	8.30	5.10	7.78	5.16	7.80
CaD(%)	9.00	6.98	7.08	7.90	10.93	5.84	7.39	8.00	15.95	14200	8.09	9.40	7.16	4.02	h.27	1.78	5.70
Ne2O(X)	1.93	3.87	2.79	2.39	4.53	5.40	3.29	3.25	1.86	1.75	3.74	7.36	2.67	6.27	3.37	4.51	3,47
100(%)	0.59	0.38	1.44	0.10	0.25	1.42	1.22	1.50	0.10	0.10	2.00	1.74	1.46	0.37	1.33	0.63	1.17
P212 [X]	0.19	0.27	0.35	0.08	0.75	0.383	0.29	0.33	0.04	0.01	0.00	0.30	0.29	0.21	11.27	0.44	0.19
total (%)	88.29	95,48	94.02	88.89	94.51	95.13	95.14	95.27	99.G1	99.49	97.27	96.82	95.60	94.10	95.66	95.66	93.67
Ba(ppm)	202	1/5	18/	65	55	325	358	269	90	90	448	358	62/	90	269	269	269
itb(ppm)	14.4	4.4	37.5	6.0	4.R	11.1	29.8	38.5	1.3	1.9	49.1	37.6	27.1	8.6	30.1	17.0	20.7
Srippmj	674	577	765	15	188	339	487	435	37G	389	492	623	382	293	403	521	429
Y(pum)	23.5	34.0	31.0	14.0	23.4	19.4	30.4	19.9	10.9	10.7	22.0	27.9	27.2	27.G	25.1	21.6	23.8
/ı(ppm)	115.8	158.1	131.2	72.0	64.6	631.3	125.0	87.0	75.0	77.11	98.0	146.0	110.0	94.0	97.0	91.0	76.0
Nb(ppm)	7.20	11.90	13.40	1.00	5.47	7.50	6.40	6.40	1.60	1.60	6.40	8.00	6.40	3.20	4.80	6.40	3.20
th(ppo)	1.6	0.9	3.0	5.0	1.4	1.9											
РЬ(ррно)	3.5	17.8	11.5	2.0	4.5	5.4	10.0	5.0	5.0	5.0	6.0	9.0	5.0	5.0	6.0	h.0	5.0
Ga(ppm)	14.2	17.0	11.1		17.5	14.0	21.3	15.4	12.6	12.5	16.5	19.1	15.9	14.3	19.6	18.3	18.9
7n(ppm)	87.1	87.6	65.4	109.0	/5.6	82.7	106.0	90.0	41.0	54.0	99.0	33.0	105.0	105.0	98.0	101.0	25.0
Cu(ppm)	122.2	36.8	145.6	54.0	98.1	73.7	148.0	206.0	0.00	78.0	249.0	89.0	108.0	95.0	118.0	220.0	91.0
Ni(ppm)	65	11	36	315	69	38	93	40	120	121	46	51	92	38	103	53	71
V(ppm)	182	163	157	127	281	201	313	290	200	231	378	245	305	269	314	354	283
Cr(ppm)	148	35	91	40G	165	93											
ա(հեա)	4.40	1.30	5.20		3.26	2.35	3.30	2.40	0.90	0.90	7.50	3.70	2.80	2.60	2.60	2.40	2.10
(Ub ul)	1.3	0.2	0.4		0.3	0.2	1/	0.7	0.2	0.4	1.0	03	0.8	0.3	0.7	0.5	0.6
Sc(ppm)	47.6	15.6	26.1		30.3	18_3											
ta(µpn)	0.50	0.70	0.80	0.10	0.20	0.40	0.40	0.40	0.10	0.10	0.40	0.30	0,40	0.20	0.50	0,40	0.20
Collaboration	2011	2010	24.7	70.0	10.50	10.20											
Lippin)					1	12.40											
Be(ppm)				2.0			0.8	6.9	01	41	10	10	11.7				14
oppin)				10	0.1	03	1.0	2.0	20	20	10	30	10	10	10	2.0	1.0
Sninomi	1.7	2.1	1.0		0.9	12	1.0	1.0	1.0	10	10	10	10	1.0	1.0	1.0	1.0
Madarant	0.70	2.40	1.30	1.00	0.20	0.39											
Collegend					0.75	0.14											
Shinomi					0.03	0.07											
Bilouni					0.05	0.04											
(mag) KI	16.10	11.50	24.50	7.36	11.40	12.70											
Celapmi	17.70	11.50	33.10	15.10	22.54	25.12											
Pr(ppm)				9.92	3.50	3.60	4.62	4.1 h	0.90	0.82	470	4.65	4.01	3.21	3.71	4.40	2.91
Nd(ppm)	18.50	3.90	11.60	10.60	16.00	15.70											
5m(µpm)	5.10	5.10	2.50	2.97	3.50	3.40	5.13	3,90	1.52	1.59	4,32	4.67	4.44	4.02	3.55	4.23	3.53
Fu[ppm]	1.60	1.70	0.70	1.09	1.20	1.10	1.75	1.18	0.75	0.74	1.14	1.40	1.36	1.25	1.29	1.15	1.16
6d(ppm)				3.47	4.10	3.80	5.47	4.03	1.91	1.80	4.27	4.87	4.67	4.35	4.23	4.13	3.79
ւթ(հենս)	0.90	0.20	0.20	0.72	0.70	0.60											
Dy(ppm)				4.56	1.50	4.30	5.27	3.64	Z.05	Z#1	3.24	1,87	1.82	4.87	1.29	3.63	4.07
Ho(ppm)				0.88	0.90	0.80											
L (ppm)				2.78	2.60	2.20	3.22	2.13	1.19	1.16	2.36	3.00	2.89	3.0G	2.64	2.25	2.58
Tm(ppm)				0.42	0.40	0.30	0.47	0.31	0.16	0.15	0.00	0.45	0.41	0.45	0.40	11.33	0.37
Yb(ppm)	2.70	2.30	2.50	2.37	2,40	1.90	3.07	2.02	1.00	0.96	2.23	2.93	2.75	2.82	2.64	2.14	2.41
Lu(ppm)				0.35	0.30	0.30											

محمد سالار ترخاني و همكاران



شکل ۵ – ترسیم نمودارهای عنکبوتی: (a) نمودار عنکبوتی میانگین و دامنه نوسان مقادیر عناصر، برای ۲ نمونه مورد مطالعه نسبت به MORB (نمونههای Sg-05، Hg-154 به ترتیب از پیرانشهر و سقز)، (b) انطباق الگوی رسم شده در تصویر a بر الگوهای ارائهشده توسط Winter (2001) که برای بازالتهای کمانهای اقیانوسی مختلف در برابر MORB ترسیم شده است. همان گونه که مشاهده می شود، دامنه فراوانی عناصر در نمونههای مورد مطالعه، مشابه مقادیر ارائه شده در الگوهای مذکور است و آنومالی منفی Nb مشاهده می شود. این آنومالی در نمونه Hg-154 که از منطقه پیرانشهر برداشت شده است، بارزتر است.

عناصر قرار می گیرند. اما تغییر در ترکیب شیمیایی سیال غنی از H_2O افزایش مقدار CO_2 ، حضور مذاب های بخشی غنی از SiO_2 ، افزایش دما و فعالیت محلول ها ممکن است سبب تحرک چنین عناصری شود (Pearce, 1996). Nb یکی از پایدارترین عناصر بوده و دارای ضریب تفکیک مشابه Th می باشد و در نمودار معرفی شده توسط (2007) .Hostie et al عنصر کلیدی به شمار می رود.

با توجه به این که بسیاری از سنگهای مورد مطالعه دچار تغییرات ژئوشیمیایی شدهاند، لذا بر اساس مبانی ذکر شده سعی شده است تا از نمودارهای تغییرات مناسب برای بررسی ژئوشیمی آنها استفاده شود.

الف) نمودار Nb/Y - Zr/Ti - Nb/Y : برخلاف سایر نمودارهای طبقهبندی ارائه شده (Shervais, 1982; Pearce and Cann, 1973; Shervais, 1982; Pearce and Cann, 1973; که بر تقسیم بندی محیط زمین ساختی سنگهای آتشفشانی تمرکز دارند، نمودار معرفی شده (Pearce(1996)، جانشینی برای نمودار تقسیم بندی TAS است که در آن نسبت Nb/Y، به عنوان جانشین آلکالنها (مجموع اکسیدهای سدیم و پتاسیم) و نسبت Zr/Ti به جای اکسید سیلیس قرار می گیرد (شکل 1). نسبت Nb/Y از ترکیبات ساب آلکالن به سمت آلکالن افزایش یافته، همچنین /Zr Ti از ترکیبات بازیک به سمت اسیدی بالا می رود.

در نمودار Nb/Y - Zr/TiO2 - Nb/Y که پیشتر توسط Winchester and (1977) Floyd، نمی توان سنگها را به زیرگروههای مشخص تولئیتی، کالک آلکالن، کالک آلکالن غنی از پتاسیم و شوشونیتی تقسیم نمود. نمودار اصلاح شده (Pearce(1996، از آنالیز

سنگهای موجود در کمانهای آتشفشانی استفاده می کند (شکل ۲). این نمودار نیز دارای مشکلی است که شامل محدودههای بزرگ همپوشانی بین بازالتها، آندزیتهای بازالتی، آندزیتها و ریولیتها در ناحیه کمان آتشفشانی می باشد. این همپوشانی به دلیل حضور مقادیر بالای آب در ماگماهای جزایر قوسی است که سبب دپلیمریزه شدن مذاب در شرایط اکسیداسیون می گردد. این فرایند سبب تبلور زود هنگام اکسیدهای آهن – تیتان از ماگما این فرایند سبب تبلور زود هنگام اکسیدهای آهن – تیتان از ماگما زمست به سایر محیطهای زمین ساختی می شود ۱۰. (Hastie et al. می شود ۱۰. دادی 2007 شایان ذکر است که عنصر Zr نسبت به Ti ناساز گارتر بوده و در نتیجه نسبت Zr/Ti، تحت تاثیر ذوب بخشی قرار می گیرد؛ پدیدهای که به نوبه خود سبب ناهمگنی گوشته می گردد. همان گونه که در شکل ۲ مشاهده می شود، نمونههای منطقه مورد مطالعه در منطقه بازالت، آندزیت بازالتی و آندزیتهای ساب آلکالن قرار گرفته و به سمت بازالتهای آلکالن کشیده می شوند.

ب) نمودار (Pearce, 1982) Th/Yb - Ta/Yb (Pearce, 1982) : در محیط های فرورانش، برخی عناصر مانند Ta و Yb در پوسته فرورانده باقی می مانند (عناصر حفظ شده')، در حالی که سایر عناصر، توسط محلول ها یا مذاب های بخشی به گوه گوشته ای منتقل می گردند (عناصر حفظ نشده') (Pearce and Peate, 1995). با توجه به این موارد (Pearce (1982) نمودار زیر را رسم نموده که در آن محور x عنصری حفظ شده می باشد. داده های کمان های آتشفشانی در این نمودار، در بالای محدوده MORB واقع می شوند و با افزایش مقادیر در محورهای x و y ترکیب آن ها از تولئیتی به

²⁻Non-Conservative Elements



شکل ٦- داده های ژئوشیمیایی نمونه های مورد مطالعه در نمودار (Pearce , 1996) Nb/Y-Zr/T.

سمت کالک آلکالن و شوشونیتی تغییر می کند. نسبت Th/Yb مورد استفاده در این نمودار می تواند میزان غنی شدگی از عناصر لیتوفیل بزرگ یون را نشان دهد و ترکیبات تولئیتی، کالک آلکالن و شوشونیتی را از هم جدا نماید. استفاده از این نسبت، تأثیرات تبلور تفریقی، انباشتگی بلورهای پلاژیوکلاز تمرکز آنها را در نتیجه فرآیند شستشو یا انحلال در نتیجه رگهزایی کاهش می دهد.

با توجه به شکل ۷، نمونه های منطقه مورد مطالعه، در محدوده کالک آلکالن واقع می شوند.

ج)Hasti et al., 2007: عناصر حفظ شده در برخی از مراحل فرورانش متحرک می شوندT به همین دلیل یافتن عنصری غیرمتحرک برای تقسیمبندی سنگهای آتشفشانی مشکل می باشد. امروزه در نتیجه آزمایشات و مشاهدات متعدد، مشخص شد که عناصر در محدوده های دمایی متفاوت، از یوسته فرورونده به گوه گوشتهای مهاجرت می کنند. در ابتدا متحرک ترین عناصر مانند B و Cs، سپس عناصری چون K و Ba و در انتها کم تحرک ترین عناصر کمیاب خاکی مانند Th و (LREE) جابجا می شوند (Becker et al., 2000). گروه اخیر عناصر، هم ارزهای منحصربفردی برای پتاسیم میباشند، در نتیجه از Th در نمودار جديد (Hastie (2007) به عنوان جانشين پتاسيم استفاده مي شود. تحرک عنصر توریم بسیار پیچیده می باشد، در بررسی سیالات آبدار ناشی از پوسته اقیانوسی دگرسان شده به همراه مذابهای سيليكاته از رسوبات همراه آن، مشخص شد كه پتاسيم در هر دو فاز یاد شده متحرک است، اما توریم تنها در مذاب سیلیکاته ناشی از رسوبات جابجا می شود (Elliott, 2003). در هر صورت تحرك توريم با پائين أمدن دما كاهش مي يابد.

همچنین بر اساس بررسیهای تجربی مشخص گردیده که طی فرآیند هوازدگی عنصر توریم غیرمتحرک است. عدم تحرک توریم در برابر متحرک بودن اورانیوم، اساس بررسیهای U-Th عدم تعادل محیط در شدتهای هوازدگی می باشد Dosseto et



شکل ۷- ترسیم داده های ژئوشیمیایی نمونه های مورد مطالعه در نمودار ،Nb/Y-Zr/T (Pearce , 1996) . نمونه ها در محدوده کالک آلکالن نواحی کمان آتشفشانی واقع می شوند.

.al., 2006 به تحرک عنصر توریم در شرایط دگرگونی در رخساره آمفیبولیت بین ٤٥٠ تا ٦٥٠ درجه سانتی گراد آغاز می گردد (Hastie et al., 2007)، یعنی می توان این عنصر را در سنگهایی دگرگون با رخساره شیست سبز و پائین تر همانند مورد مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه، غیرمتحرک دانست. در نتیجه عنصر توریم برای جانشینی اکسید پتاسیم بسیار مناسب است.

بهترین جایگزین غیرمتحرک برای سیلیس، تاکنون نسبت /Zr Ti بوده (که برای نمونه توسط مؤلفینی چون Winchester and Floyd, 1977 بكار رفته است). استفاده از این نسبت به جای مقدار سيليس كارساز مي باشد، زيرا طي تبلور اليوين، پيروكسن و یلاژیوکلاز به مقدار کمی تغییر میکنند و روند ثابتی را در برابر افزایش سیلیس نشان میدهند البته این نسبت تنها برای سنگهای آتشفشانی در مناطق کمان مؤثر است. در نتیجه، در مطالعات اخیر (Hastie et al., 2007)، با توجه به مطالعات تئوري و أزمايشگاهي و بررسی عناصر مختلف، کبالت را بهعنوان عنصری ردیاب و برای جانشینی سیلیس نیز مناسب است، انتخاب نمودند. این عنصر طي تبلور تفريقي، سازگاري بالايي در اليوين و اکسيدهاي آهن – تیتان و سازگاری محدودی در پیروکسن و آمفیبول دارد و نسبت به فلدسپار ناسازگار می باشد (Pearce and Parkinson) (1993. اشکال کبالت در این است که به طور عمده با انباشت بلورهای الیوین نیز، مقدار آن در کومولاها افزایش می یابد. البته تجمع اليوين سبب كاهش سيليس در اين كومولاها مي شود، در نتیجه مسأله مهمی را در طبقهبندی ایجاد نمی کند و در نتیجه روند خطی کبالت در برابر سیلیس حفظ خواهد شد.

طی فرآیند هوازدگی، کبالت تحرک کمی دارد زیرا جذب سطحی اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز می شود و همچنین عدد اکسایش آن از ۲ به ۳ افزایش می یابد. طی فرآیند دگرگونی نیز سازگاری کبالت در کانی های غنی از آهن مانند کلریت، اکسیدهای آهن – تیتان و آمفیبول، سبب عدم تحرک و باقی ماندن آن در محیط می گردد (Hastie et al., 2007).

¹⁻CLight Rare Earth Elements

با توجه به موارد یاد شده توریم و کبالت، عناصری ایدهآل برای طبقهبندی سنگهای آتشفشانی کمانی که دچار هوازدگی و دگرگونی ضعیف شدهاند، میباشند.

در نمونه های مورد مطالعه مشاهده می شود که در محدوده های بازالت و آندزیت ساب آلکالن و آلکالی بازالت قرار می گیرند (شکل d۸).

بحث

بررسی صحرایی، مطالعات پترو گرافی و آنالیزهای الکترون ماکروپروب نمونه های برداشتی از واحدهای سنگ آتشفشانی کرتاسه در منطقه سقز- پیرانشهر، نشان می دهد نمونه ها از هوازدگی، بسیار مشابه می باشند. اما همان گونه که در نمودارهای شکل ۸ مشاهده می شود، به جز نمودار ۸ (Hastie et al., 2007) که به خوبی موقعیت نمونه ها و ارتباط ژنتیکی آنها را نشان می دهد، از تأثیر هوازدگی و دگرگونی ضعیف بر این سنگها می باشد که سبب نوسان ترکیب شیمیایی، به ویژه در عناصر ناسازگار شده است. در نمودار Cal براکندگی در مواجر در عناصر ناسازگار شده است. در نمودار ۲۰ می می در برابر می باشد که حاکی از سبب زوسان مقادیر عناصر آلکالن بر اثر پدیده آلبیتی شدن پلاژیو کلازها نوسان مقادیر عناصر آلکالن بر اثر پدیده آلبیتی شدن پلاژیو کلازها



کاربرد عناصر ردیاب غیر متحرک Co و Th در بررسی سنگ های آتشفشانی ...

و تشکیل مقادیر جزیی فلدسپار پتاسیم در زمینه است (شکل CA). همچنین در نمودار Nb/Y – Nicester and Floyd, Zr/TiO الکالن کالک آلکالن (Pearce, 1996) جمانند شکل ٦ (Pearce, 1996) نمونه های کالک آلکالن به سوی ترکیبات آلکالن کشیده می شوند، یعنی حتی استفاده از عناصری کم تحرک مانند ایتریم، زیرکنیم، نیوبیوم و تیتانیم نیز مقادیری خطا دارد. بنابراین بسیاری از نمودارهای متداول تعریف شده، برای بررسی سنگهای آتشفشانی برای سنگهای متحول شده در اثر دگرگونی، دگرسانی یا هوازدگی، به سادگی قابل استفاده نیستند.

نتيجەگيرى

بررسی های صحرایی واحدهای آتشفشانی سابولکانیک و آذرآواری کرتاسه در منطقه سقز – پیرانشهر، ویژگی هایی مانند رنگ سبز، تورق ضعیف، درز و شکستگی های فراوان و سطوح هوازده و اکسیده را گاه در کنار ساختارهای دگرشکلی برشی از خود نشان می دهند (شکل ۲).

در مطالعات پتروگرافی نوع این سنگها آندزیت و آندزیت بازالتی به همراه سنگهای ساب ولکانیک و آذرآواری مرتبط تعیین شده است. در این سنگها کانیهای ثانویه فراوانی چون اپیدوت، کلریت، اورالیت (مجموعه ترمولیت – اکتینولیت)، پرهنیت، پمپلئیت، اسفن، اکسیدهای آهن، کلسیت و کوارتز ثانویه در کنار کانیهای اولیهای چون پلاژیوکلاز، هورنبلند، پیروکسن و اکسیدهای آهن – تیتان مشاهده می گردد (شکل ۳).

در مطالعات الکترون مایکروپروب مشخص شد پلاژیوکلازها علی رغم آثار ساخت منطقه ای در برخی نمونه ها و هسته های اپیدوتی و گاه کلسیتی شده، ترکیبی در حد آلبیت دارند و تحت پدیده آلبیتی شدن (همگن شدگی) قرار گرفته اند، همچنین در زمینه برخی نمونه ها، مقادیر جزیی فلدسپار پتاسیم در کنار سایر کانی های ثانویه مانند انواعی که در مطالعات پتروگرافی ذکر شد، تشکیل شده است (شکل ٤).

مجموعه این تغییرات در نتیجه دگرگونی ضعیفی در حد رخساره شیست سبز که سنگهای منطقه را تحت تأثیر قرار داده ایجاد شده است. علاوه بر این، هوازدگی شدید در کنار درز و شکستگیهای فراوان موجود نیز سنگهای مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده و سبب تحول ژئوشیمیایی و تحرک برخی عناصر شده است.

در ادامه مطالعات و در بررسی های ژئوشیمیایی، استفاده از نمودارهای مختلف ژئوشیمیایی برای تعیین محیط ژئوتکتونیکی، سرشت ماگمایی و نوع سنگ، با مشکلاتی همراه بوده و در نمودارهای معمول ردهبندی، نمونه ها پراکندگی نشان می دادند. با استفاده از نمودار عنکبوتی و مقایسه آن با نمونه های ارائه شده توسط (2001) Winter یا توجه به آنومالی منفی Nb، محیط تکتونیکی تشکیل این سنگها به صورت کمان آتشفشانی و سرشت آن ها در نمودار Th/Yb - Ta/Yb) (Pearce, 1982)

(Hastie et al., 2007) Co – Th نعاب استفاده از نمودار نوین TAS (SiO₂ / Na₂O+K₂O) دم جانشینی برای نمودارهای معمول (SiO₂ / Na₂O+K₂O) می باشد و قابلیت قابل ملاحظه ای در تشخیص نوع سنگها، مری ماگمایی و روندهای مشاهده شده بر اثر تحولات ماگمایی داد، نمونه به عنوان بازالت، آندزیت بازالتی و آندزیت با سرشت کالکآلکالن تعیین شدند. توان این نمودار در رده بندی سنگهای مرشت کالکآلکالن تعیین شدند. توان این نمودار در رده بندی سنگها می مرشت کالکآلکالن تعیین شدند. توان این نمودار در رده بندی می می گرد رده بندی این که در مقایسه با نمودارهای رده بندی معمول دیگر مانند نمودار مالک می که در مقایسه با نمودارهای رده بندی معمول دیگر مانند نمودار در رده بندی Na₂O – SiO₂ Zr/TiO ای و نمودار (Winchester and Floyd, 1977) – Nb/Y رناز این استفاده از آن جهت مطالعه سنگهای آتشفشانی تغییر بنابراین استفاده از آن جهت مطالعه سنگهای آتشفشانی تغییر یا تشوی از تره به می رود.

تشکر و قدردانی

در اینجا لازم است تا از زحمات جناب آقای دکتر شهریار محمودی و خانم دکتر موریل ارامبرت (مسئول آزمایشگاه EPMA دانشگاه اسلو) که در انجام مطالعات الکترون مایکروپروب مساعدت نمودند، قدردانی شود. همچنین از شرکت مهندسین مشاور تهران پادیر، به دلیل همکاری در انجام مطالعات صحرایی و بررسیهای پتروگرافی منطقه پیرانشهر صمیمانه تشکر می شود.

منابع

-Becker, H., Jochum, K. P. & Carlson, R. W., 2000. Trace element fractionation during dehydration of eclogites from high-pressure terranes and the implications for element fluxes in subduction zones, Chemical Geology, 163, 65-99.

-Davoudzadeh, M., Soffel, H., and Schmidt, K., 1981. On the rotation of the Central – East Iran microplate, N. Jb. Geol. Palaont. Mh. 3, 108-192.

-Elliott, T., 2003. Tracers of the Slab. Inside the Subduction Factory. American Geophysical Union, Geophysical Monograph 138, 23-45.

-Floyd, P. A. and Winchester, J. A., 1978. Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rocks using immobile elements. Chemical Geology, 21, 291-306.

-Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A. and Mitchell, S. F., 2007. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: Development of the Th-Co discrimination diagram, Journal of Petrology, 1-17.

-Le Bas, M. J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1989. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. Journal of Petrology, 27, 745-750.

-LeBas, M.J., Le Maitre, R. W. and Woolley, A. R., 1992. The construction of the total alkali-silica chemical classification of

volcanic rocks. Mineralogy and Petrology 46, 1-22.

-Pearce, J. A. and Cann, J. R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth and Planetary Science Letters, 19, 290-300.

-Pearce, J. A., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R. S. (ed.) Andesites. Chichester: John Wiley, 525-547.

-Pearce, J. A. and Peate, D. W., 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 23, 251-285.

-Pearce, J. A., 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams. In: Wyman, D. A. (eds) Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration. Geological Association of Canada, Short Course Notes 12, 79-113.

-Pearce, J. A. and Parkinson, I. J., 1993. Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. In: Prichard, H. M., Alabaster, T., Harris, N. B. W. & Neary, C. R. (eds.) Magmatic Processes and Plate Tectonics (I. G. Gass Memorial Volume). Geological Society, London, Special Publications 76, 373-403.

-Peccerillo, R. and Taylor, S. R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58, 63-81.

-Rickwood, P. C., 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. Lithos ,22, 247-263.

-Stocklin, J., 1977. Structural correlation of Alpine ranges between Iran and Central Asia. Memoire Hors-Serie, No. 8 de la Soc. Geol. de France, 8, 333-353.

-Shervais, J. W., 1982. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. Earth and Planetary Science Letters, 59, 101-118.

-Winchester, J. A. and Floyd, P. A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology, 20, 325-343.

-Winter, J. D., 2001. An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall, 699 P.