

کاربرد عناصر فلزی، عناصر با شدت میدان بالا و عناصر لیتوفیل یون بزرگ در تشخیص جایگاه تکتونیکی پشت کمان منطقه جنوب کهریزک (جنوب تهران)

سیما یزدانی، فرامرز طوطی*، کمال‌الدین بازرگانی گیلانی

دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

*مسئول مکاتبات - آدرس الکترونیکی: tutti@khayam.ut.ac.ir

(دریافت: ۸۷/۳/۲۲؛ پذیرش: ۸۸/۶/۷)

چکیده:

نسبت‌های عناصر ناسازگار در سنگ‌های آتشفشانی انعکاسی از تحول تکتونوماگمایی یک ناحیه می‌باشد. نسبت‌های Ta/Yb و Th/Yb، Ta/Hf، Th/Hf، Th/Ta در تشخیص محیط تکتونیکی ولکانیسم کمک می‌کنند. بر این اساس، محیط تکتونیکی ولکانوژنیک ائوسن جنوب تهران (جنوب کهریزک)، مورد بررسی قرار گرفته‌است. رخساره‌های سنگ شناسی این ناحیه مشتمل بر سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌های اسیدی تا بازیک می‌باشد. در نمودارهای ژئوشیمیایی گدازه‌های ریولیتی-تراکی‌اندزیتی و بازالتی غالباً در محدوده حاشیه فعال قاره با گرایش به سمت جایگاه درون صفحه‌ای بویژه برای واحدهای سنگی بازیک، قرار گرفته‌اند. غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی به میزان چندین برابر کندریت، روند صعودی الگوی عناصر نادر خاکی به سمت LREE برای تمامی نمونه سنگ‌ها، فقدان آنومالی کاهشی واضح Eu در بازالت‌های منطقه (برخلاف ریولیت‌ها و تراکی‌اندزیت‌ها) همانند آنچه که در بازالت‌های حوضه‌های پشت کمان شاخص وجود دارد و همچنین تشابه در نسبت عناصر کمیاب در سنگ‌های منطقه و چندین محیط پشت قوس، دال بر گرایش سنگ‌های جنوب کهریزک به یک رژیم کشتی بویژه برای گدازه‌های بازیک و حدواسط است. سنگ‌های این منطقه در مقایسه با منابع فرضی نظیر DMM (گوشته تهی شده MORB) و PM (گوشته اولیه) از یک منشأ غنی شده از عناصر ناسازگار سرچشمه گرفته‌اند. عناصر فلزی در گدازه‌های بازالتی نسبت به گدازه‌های اسیدی تا حدواسط فراوان‌ترند بطوریکه از بعضی عناصر فلزی مانند Co, Sc, Cu, Au, V نسبت به لیتوسفر قاره‌ای غنی‌تر و عناصر فلزی Pb, Ni, Zn از فراوانی کمتری برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: جنوب کهریزک، گدازه، عناصر فلزی، پشت کمان، رژیم کشتی، حاشیه فعال قاره.

مقدمه

مطالعات ژئوشیمیایی نشان می‌دهند که عناصر نادر خاکی و عناصر ناسازگار در سنگ‌های آتشفشانی گویای محیط تکتونیکی هستند که در آن ایجاد شده‌اند. برای مثال، سنگ‌هایی از یک محیط کمان، نظیر Kuroko (ژاپن) یا San Nicolas (مکزیک)، توسط نسبت‌های بالاتری از Th/Yb، Th/Ta و La/Yb در مقایسه با سنگ‌هایی که در محیط‌های ریفتی غیر کمان تشکیل شده‌اند (مانند سنگ‌های Kidd CreeK کانادا)، مشخص می‌شوند (Schandl & Gorton 2002). هدف اصلی این مقاله نشان دادن کاربرد مفید دیاگرام‌های متمایز کننده نسبت‌های Ta/Hf، Th/Hf، Th/Ta و Th/Yb برای تشخیص جایگاه تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی جنوب تهران (بخش جنوبی کهریزک) و مقایسه آن‌ها با دیگر جایگاه‌های تکتونیکی شاخص جهان و همچنین بررسی فراوانی عناصر فلزی در گدازه‌های این منطقه می‌باشد. توده آتشفشانی مورد مطالعه در در محدوده طول و عرض‌های جغرافیایی ۳۰'، ۵۱°-۱۳'، ۵۱° در ۴۰ کیلومتری جنوب تهران (بخش جنوبی ناحیه کهریزک)، مسیر جاده قدیم قم-تهران و در شمالی‌ترین

بخش ایران مرکزی واقع شده است.

جایگاه زمین‌شناسی

سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری‌های منطقه مورد مطالعه مربوط به ائوسن می‌باشند (Rieben 1955). پژوهش‌هایی بر روی سنگ‌های آتشفشانی اطراف منطقه مورد مطالعه مانند سنگ‌های آتشفشانی ائوسن حسن‌آباد در ۶۰ کیلومتری جنوب تهران در مسیر جاده قدیم تهران - قم (رضوی ۱۳۵۳)، مجموعه آتشفشانی ائوسن دوازده‌امام، شمال دریاچه نمک (حسینی ۱۳۶۷) و مجموعه سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه سیاه‌کوه شمال شرق دریاچه نمک (بنی طباء بیدگلی ۱۳۶۸) انجام شده است که می‌توان به همانندی بین انواع گوناگون گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری و همچنین انطباقی بین ترکیب شیمیایی در این مناطق پی برد. همه مطالعات صورت گرفته گویای ماگماتیسم آکالن مرتبط با فرورانش در این مناطق می‌باشد.

پتروگرافی

از جمله قدیمی‌ترین واحد سنگی موجود در محدوده مورد مطالعه ایگنیمبریت‌ها هستند و دارای ترکیب ریولیتی تا داسیتی بوده و زمینه دانه‌ریز آنها حاوی بلورهای درشت پلاژیوکلاز و فلدسپات قلیایی می‌باشد. ویژگی شاخص این ایگنیمبریت‌ها فیام‌های سیلیسی در مواردی همراه با کلسیت است که ظاهری جریان‌ی به سنگ داده و در نمونه میکروسکوپی دارای بافت اوتاکسیتی است. کریستال توف‌ها دارای بلورهای بیوتیت، پلاژیوکلاز، فلدسپات آلکالن و کانیهای رسی، کلریت، کلسیت می‌باشند. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز موجود در توف‌ها اغلب بر اثر آلتراسیون و کائولینیتی شدن به رنگ سفید و ظاهری پودر مانند تبدیل شده‌اند. این توف‌ها از لحاظ سنگ‌شناسی عمدتاً داسیتی و ریوداسیتی و کمتر تراکیتی هستند.

گدازه‌های ریولیتی دارای درشت بلورهای کوارتز، فلدسپات آلکالن و پلاژیوکلاز سدیک، کلینوپروکسن، هورنبلند و یا بیوتیت می‌باشند. بلورهای کوارتز شکل خلیجی دارند، که ممکن است به علت رشد غیر تعادلی یا تأثیرات انحلالی ناشی از کاهش فشار در حین صعود ماگما بوجود آمده باشد (Shelly 1993). گاهی درشت بلورهای در زمینه شیشه‌ای با بافت اسفرولیتی قرار دارند که دارای شکستگی‌های پرلیتی است. سنگ‌های آندزیتی حاوی بلورهای بسیار درشت پلاژیوکلاز بوده و از قسمت‌های پائین روانه‌های آندزیتی به سمت بالا اندازه درشت بلورهای پلاژیوکلاز کاهش می‌یابد. بعلاوه کلینوپروکسن، هورنبلند و بیوتیت با حاشیه سوخته نیز در آندزیت‌ها مشاهده می‌شود. دگرسانی شدید، فراوانی رگه‌ها و رگچه‌ها و حفرات پر شده با زئولیت، کلسیت، کوارتز، اوپال و موارد نادری پیرولوسیت، بافت بادامکی (آمیگدالوئیدال)، از اختصاصات آندزیت‌ها می‌باشند. تراکی آندزیت‌ها دارای بافت بادامکی و رگه‌های پر شده با مواد ثانویه یا فاقد آن هستند. کانیهای اصلی تشکیل دهنده آنها شامل پلاژیوکلاز، فلدسپات آلکالن (سانیدین)، آمفیبول، بیوتیت با حاشیه سوخته و کلینوپروکسن و به تعداد کم کوارتز است که دارای حواشی گرد شده و خوردگی خلیج مانند می‌باشند. در پلاژیوکلازها منطقه‌بندی، بافت غربالی، حاشیه گرد شده و آثار خلیج خوردگی همانند آندزیت‌ها مشاهده می‌شود. هورنبلند و بیوتیت غالباً با حاشیه سوخته اوپاسی تیزه شده‌اند، علت این امر می‌تواند افزایش دما و فرآیند اکسیداسیون باشد.

گاهی این کانی‌ها با محصولات واکنشی (که غالباً تیره تر

ارتباطات ناحیه‌ای و توالی سنگ‌شناسی در منطقه مورد مطالعه به شرح زیر می‌باشد:

سنگ‌های آتشفشانی شامل توالی از گدازه‌های ریولیتی، حد واسط تا بازالتی می‌شوند و بر روی پیروکلاستیک‌ها که بخش عمده‌ای از محدوده مورد مطالعه را پوشش می‌دهند، قرار گرفته‌اند. وجود پیروکلاستیک‌ها به مقدار نسبتاً فراوان که شامل توف‌های سبز در مرکز توده و توف‌های خاکستری و سفید رنگ در حاشیه توده و همچنین حجم زیاد ایگنیمبریت‌ها نشان دهنده این موضوع است که ابتدا و بر اثر فعالیت آتشفشانی انفجاری سنگ‌های پیروکلاستیک و در مرحله بعد در نتیجه فوران گدازه در سطح زمین سنگهای آتشفشانی منطقه تولید شده‌اند. محلول‌های گرمایی در شکستگی و گسل‌های موجود در ایگنیمبریت‌ها باعث تشکیل کانه‌های منگنز و باریتین شده و در گدازه‌ها سبب تشکیل رگه‌ها، رگچه‌ها و حفرات زئولیتی شده است. کانی‌های زئولیتی نظیر تتراناترولیت، آنالسیم، لوین، ناترولیت، مزولیت، کلسیم - هیولندیت، اسکولسیت و کلسیم - استیلبیت عمدتاً حفرات و رگه‌های سنگ‌های آتشفشانی حدواسط تا بازیک موجود در جنوب کهریزک را پر نموده‌اند. از جمله کانی‌های دیگری که زئولیت‌های مزبور را در رگه‌ها و بخصوص حفرات همراهی می‌کنند می‌توان کلسیت، اوپال، کوارتز و پیرولوسیت را نام برد. بررسی‌های پارژنیتیک شیمیایی و صحرایی زئولیت‌ها فرآیندهای هیدروترمالی تأخیری را عامل اصلی تشکیل این کانه‌ها معرفی می‌کند (طوطی و همکاران، ۱۳۸۳)، ولی در مورد سایر کانی‌ها ثانویه مانند کلریت، اپیدوت، کلسیت، آب‌های جوی و عوامل فرسایش باعث آلتراسیون سنگ‌ها شده‌اند و مواد حل شده در سیالات از واکنش بین سنگ-سیال حاصل شده است.

روش مطالعه

نمونه برداری از سنگ‌ها و کانه‌ها در پنج مسیر متفاوت کوه‌های جنوب کهریزک صورت گرفت. بعد از بررسی‌های اولیه و میکروسکوپی نمونه‌های برداشت شده، تعداد ۱۴ نمونه انتخاب بر روی آنها آنالیز عناصر اصلی، عناصر خاکی نادر و عناصر فلزی به روش ICP-ES و ICP-MS در آزمایشگاه ACME کانادا صورت گرفت که نتایج آن در جدول (۱) آورده شده است. برای شناسایی زئولیت‌ها از بررسی‌های پراش پرتوی X-SEM استفاده شد. مقاطع صیقلی برای تعیین کانی‌های فلزی سنگ‌ها تهیه شدند.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی عناصر کمیاب (ppm) و فلزی (ppm) گدازه‌های جنوب کهریزک. آزمایش و تجزیه نمونه‌ها در آزمایشگاه ACME کانادا انجام گرفته است.

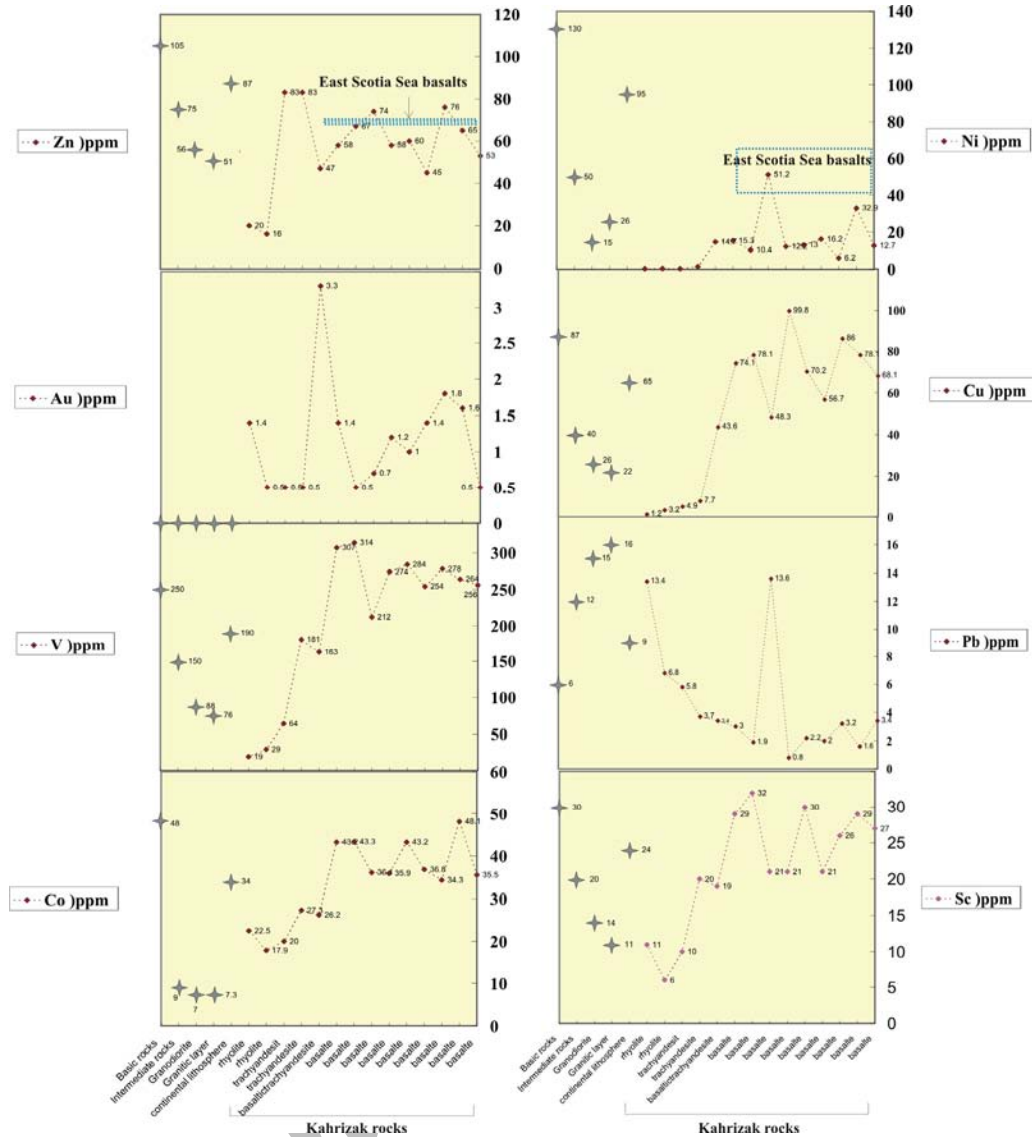
Sample	Basalte 1	Basalte 2	Basalte 3	Basalte 4	Basalte 5	Basalte 6	Basalte 7	Basalte 8	Basalte 9	Basaltic trachyandesite	Trachyandesite 1	Trachyandesite 2	Rhyolite 1	Rhyolite 2
Be	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
Yb	1.99	1.92	2.18	1.62	2.15	1.76	2.31	2.49	2.34	1.66	3.25	3.83	4.05	2.37
Tm	0.34	0.3	0.3	0.23	0.31	0.27	0.34	0.37	0.32	0.26	0.48	0.6	0.57	0.33
Er	1.98	2.06	2.34	1.73	2.21	1.88	2.64	2.47	2.34	1.6	3.3	3.94	3.69	2.02
Ho	0.72	0.74	0.77	0.63	0.77	0.64	0.92	0.84	0.78	0.57	1.07	1.36	1.24	0.66
Co	35.5	48.1	34.3	36.8	43.2	35.9	36.1	43.3	43.2	26.2	20	27.3	22.5	17.9
Lu	0.29	0.28	0.32	0.26	0.32	0.28	0.32	0.35	0.34	0.23	0.54	0.59	0.62	0.4
Cs	0.5	1	0.5	0.3	0.3	0.3	0.8	0.7	0.3	0.8	1	1.8	1.2	48
Ga	18.9	18.2	18.6	18	19.8	20.2	19	19.6	20.2	15.6	23	21.1	15.1	14
Hf	2.2	1.9	2.1	1.7	2.6	2.3	3.5	2.3	2.4	1.7	5	5.5	8.1	5.4
Nb	6.9	5.5	6.9	6	6.6	6.4	31.5	7.2	7.7	5.7	15.9	15.2	19	11.9
Rb	30.3	26.4	29.3	24.6	21.9	30.9	19.1	29.9	30.2	22.6	78.3	89.5	194.4	142.8
Sn	1	<1	1	1	<1	1	1	<1	<1	<1	1	2	<1	2
Sr	641.8	603	621	667.6	659.6	713.3	827.9	624.6	689.8	1206.3	586.6 559.4	77.8	406.5	
Ta	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	1.8	0.5	0.5	0.3	0.9	1.1	1.4	1
Th	2.6	2	2.7	2.6	2.4	2.5	1.7	2	1.9	2.5	5.4	8.5	15	12.8
U	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.5	0.5	0.7	0.6	0.8	1.6	2.4	4	4.8

Sample	Basalte 1	Basalte 2	Basalte 3	Basalte 4	Basalte 5	Basalte 6	Basalte 7	Basalte 8	Basalte 9	Basaltic trachyandesite	Trachyandesite 1	Trachyandesite 2	Rhyolite 1	Rhyolite 2
V	256	264	278	254	284	274	212	314	307	163	64	181	19	29
Dy	3.71	3.84	4	2.97	4.09	3.29	5.08	4.65	4.2	2.82	5.57	7.37	5.99	3.27
Ba	311.2	382	351	295.8	337.7	356.9	474.2	365	320.2	284.1	787.7	694.4	675.1	697.9
W	95.9	86.3	110.8	125.9	87.7	83.2	41	102.3	124.6	44.7	71.4	65.2	166	131
Zr	75.8	70.3	80.5	67.4	87.3	73.1	142	91.7	85.3	63.8	198.8	197.3	251.6	191.3
Y	20.4	21.2	22.6	17.1	22.4	19	26.5	25.1	22.8	15.9	32.6	41.3	36.4	20.7
La	15	15.7	16.7	14.1	16.7	15	32.8	17.4	16.7	13.4	37.3	37.8	35.1	26.9
Ce	31.8	32.4	36.1	29.8	36.2	32.4	73.1	36.6	36	28	77.5	81.2	76.9	50.8
Pr	3.9	3.92	4.46	3.49	4.32	3.95	8.59	4.6	4.5	3.18	8.82	9.36	8.46	5.23
Nd	17.1	16.8	18.9	14	17.9	16.7	36.3	20.5	19.8	14.2	35.1	39.4	31.9	19.4
Sm	4.1	4.5	4.4	3.5	4.1	4.2	7.3	5	4.7	3.2	7.5	8.7	6.9	3.7
Eu	1.36	1.32	1.54	1.18	1.33	1.3	2.27	1.55	1.54	1.04	1.99	2.25	1.37	0.74
Gd	4.16	4.16	4.64	3.39	4.43	3.67	6.38	4.87	4.5	3.01	6.67	8.55	5.94	3.37
Tb	0.65	0.68	0.71	0.54	0.61	0.53	0.98	0.75	0.69	0.5	0.94	1.26	0.98	0.6

Sample	Basalte 1	Basalte 2	Basalte 3	Basalte 4	Basalte 5	Basalte 6	Basalte 7	Basalte 8	Basalte 9	Basaltic trachyandesite	Trachyandesite 1	Trachyandesite 2	Rhyolite 1	Rhyolite 2
Mo	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.2	0.9	0.7	0.7	0.8
Cu	68.111	78.1	86	56.7	70.2	99.8	48.3	78.1	74.1	43.6	7.7	4.9	3.2	1.2
Pb	3.4	1.6	3.2	2	2.2	0.8	13.6	1.9	3	3.4	3.7	3.8	6.8	13.4
Zn	53	65	76	45	60	58	74	67	58	47	83	83	16	20
Ni	12.7	32.9	6.2	16.2	13	12.2	51.2	10.4	15.3	14.7	1.5	0.3	0.5	0.3
As	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1.5	<0.5	<0.5	4.4
Cd	0.2	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	13.3	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2
Sb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	0.1	0.4
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Au	0.5	1.6	1.8	1.4	1	1.2	0.7	0.5	1.4	3.3	<0.5	<0.5	<0.5	1.4
Hg	<0.1	<0.1	<0.1	0.01	0.01	<0.1	<0.1	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01
Tl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Se	<0.5	<0.5	<0.5	1.2	<0.5	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

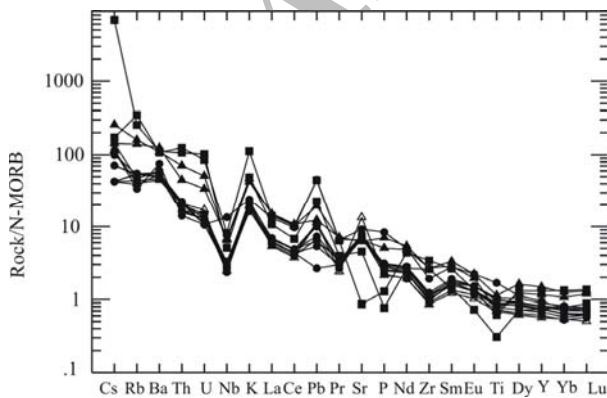
سوسوریتیزه شده‌اند که نشانگر کلسیم بالای آنها می‌باشد. بلورهای کلینوپیروکسن گاهی دارای ادخال‌هایی از کانی‌های کدر و شیشه به صورت بافت غربالی است و در حاشیه آن منطقه‌بندی مشاهده می‌شود و غالباً ایدنگریتی و برخی ندرتاً سرپانتینیزه شده‌اند.

هستند) محصور شده‌اند، که این امر خود ناشی از رشد غیر تعادلی بلور است (Shelly 1993). از جمله کانی‌های موجود در گدازه‌های بازالتی، پلاژیوکلاز، پیروکسن، ایلمنیت، ماگمیت و مگنتیت می‌باشد. پلاژیوکلازها کم و بیش



شکل ۱- الگوی فراوانی عناصر فلزی تصویر شده‌اند. داده‌های مربوط به ترکیبات کلی از سنگ‌های بازیک، سنگ‌های حدواسط، گرانودیوریت‌ها و لیتوسفر اقیانوسی برای مقایسه آورده شده است (حسینی پاک، ۱۳۶۲) و محدوده‌های مربوط به East Scotia Sea بر گرفته از (Saunders & Tarney, 1979) است.

کانی‌های اوپاک اغلب به میزان فراوان تشکیل دهنده زمینه‌اند. منیاتیت‌ها فراوان و گاهی مارتیتی شده‌اند. ضمناً منیاتیت و هماتیت معمولاً جانشین درشت بلورهای آهن‌دار احتمالاً اولیون شده که در آنجا علاوه بر هماتیت، ماگهمیت نیز دیده می‌شود. مهمترین تغییرات قابل توجه که بطور محلی در گذر از توالی سنگ‌های آندزیتی زیرین به سنگ‌های بازالتی مشاهده می‌شوند این است که: ژئولیت‌زایی به سمت بازالت‌ها کمتر شده اما متوقف نشده است. در الیون- بازالت‌ها رگه‌ها و رگچه‌های پر شده با ژئولیت دیده نشده و این سنگ‌ها بیشتر کلریتی شده‌اند. در برخی قسمت‌های سنگ‌های بازالتی ژئودهای سیلیسی نیز مشاهده می‌شود، بافت بادامکی از آندزیت‌ها به سمت بازالت‌ها کاهش یافته و جای خود را به بافت میکرولیتیک پورفیری تا میکرولیتیک داده است.



شکل ۲- فراوانی عناصر کمیاب که به MORB نرمالیز شده‌اند. مقادیر نورمالیزه کننده از Sun & McDonough 1989.

ژئوشیمی گدازه‌ها

سنگ‌های آتشفشانی جنوب کهریزک شامل ریولیت، تراکی آندزیت، تراکی آندزیت بازالتی و بازالت می‌شوند و گرایش به سمت سری‌های قلیایی دارند (طوطی و همکاران، ۱۳۸۷).

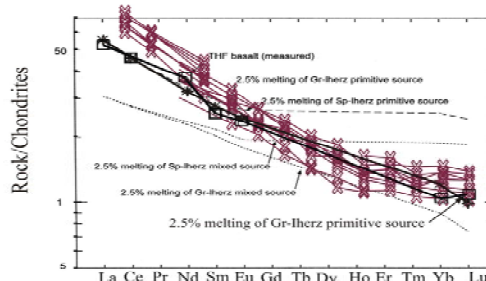
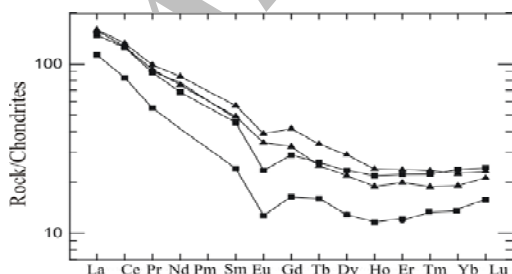
فراوانی عناصر فلزی در گدازه‌های جنوب کهریزک در شکل (۱) قابل بررسی است. بطوریکه در گدازه‌های ریولیتی و تراکی آندزیت‌ها به نسبت ترکیب کلی لیتوسفر قاره‌ای عناصر Co, Sc, Pb, V, Cu, Ni تمرکز کمتر داشته و میزان Au بسیار فراوانتری در خود جای داده‌اند. مقدار Zn در ریولیت‌ها کمتر و در تراکی آندزیت‌ها همانند لیتوسفر قاره‌ای است. گدازه‌های بازالتی در مقایسه با لیتوسفر قاره‌ای از عناصر Co, Sc, Cu, Au, V بیشتر و Pb, Ni, Zn کمتر برخوردار هستند. همچنین در مقایسه بازالت‌های منطقه مورد مطالعه با بازالت‌های حوضه پشت کمان شاخص East Scotia Sea (بر گرفته از Saunders & Tarney 1979)، توزیع عنصر فلزی Zn در بازالت‌های منطقه در محدوده حوضه East Scotia Sea و فراوانی عنصر Ni در گدازه‌های بازالتی جنوب کهریزک تا حدودی کمتر است.

بازالت‌های حوضه پشت کمان غنی‌شدگی از عناصر لیتوفیل یون بزرگ مانند Sr, Ba, K در مقایسه با N-MORB نشان می‌دهند این عناصر متحرک توسط سیالات زون فرورانش به منشأ بازالت‌های جزایر کمانی انتقال یافته‌اند (Wilson 1989). همانطوریکه در شکل (۲) مشاهده می‌شود گدازه‌های بازالتی منطقه نیز در مقایسه با MORB تمرکز بالاتری از Sr, Ba, K را نشان می‌دهند.

همچنین تمام نمونه سنگ‌های منطقه از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به کندریت غنی شده‌اند در حالیکه از عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) غنی‌شدگی کمتری نشان می‌دهند. غنی‌شدگی بیشتر بازالت‌ها از عناصر نادر خاکی نسبت به ریولیت‌ها و تراکی آندزیت‌های منطقه شاید نشانگر درجات ذوب بخشی کمتر آنها از

یک منشأ اساساً هموزن (Wilson 1989) و نیز مراحل اولیه تفریق بلوری باشد (Krauskopf & Bird 1995). علاوه وجود آنومالی کاهشی Eu در ریولیت‌ها و تراکی آندزیت‌های موجود در منطقه در صورتی توجیه می‌شود که محصول تفکیک از ماگمای مادر مشترک با بازالت‌ها باشند (شکل ۳ الف و ب). همچنین بررسی داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی بیانگر تبلور تفریقی ماگما می‌باشد و آرایش پوسته‌ای سنگ‌های ریولیتی و تفکیک در اعضای تفریق یافته سنگ‌های بازیک، حدواسط و اسیدی برای توده جنوب کهریزک قابل انتظار است (طوطی و همکاران، ۱۳۸۷).

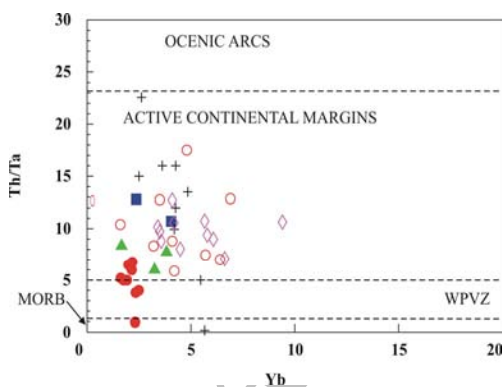
بازالت‌های حوضه پشت کمان اساساً از نظر عناصر نادر خاکی ۶ تا ۳۰ برابر کندریت غنی شده‌اند و الگوی ان گرایش به سمت تهی‌شدگی از LREE نشان می‌دهند، البته آنومالی کاهشی Eu در این بازالت‌ها مشاهده نمی‌شود (Wilson 1989). این روند در گدازه‌های اسیدی تا بازیک جنوب کهریزک مشاهده می‌شود و برخلاف گدازه‌های ریولیتی و تراکی آندزیتی، بازالت‌ها همانند بازالت‌های حوضه‌های پشت قوس آنومالی کاهشی Eu را نشان نمی‌دهند. در حقیقت ممکن است این گدازه‌های بازالتی توسط افزایش پیشرونده درجات ذوب بخشی از یک منشأ هموزن با یک الگوی REE مسطح بوجود آمده باشند (Wilson 1989). همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود الگوی عناصر نادر خاکی گدازه‌های بازالتی جنوب کهریزک مشابه روند ذوب ۲/۵٪ از منشأ گارنت لِرزولیت اولیه می‌باشد. شیب کاهشی از La به Yb در سنگ‌های آتشفشانی نشانگر درجه تفکیک بلوری و عمق ماگمای منشأ می‌باشد، زیرا گارنت باقیمانده در فشار بالا، عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) مذاب را کاهش داده و در خود تغلیظ می‌کند و در نتیجه الگوی عناصر نادر خاکی (REE) روندی شیبدار پیدا می‌کند (Lentz 1998).



شکل ۳-الف) نمودارهای تغییرات فراوانی عناصر نادر خاکی در بازالت‌های جنوب کهریزک که نسبت به کندریت نورمالیز شده‌اند (Sun & McDonough, 1989). همچنین الگوهای REE محاسبه شده برای مذاب‌های مشتق شده از ذوب بخشی تعادلی یک گوشته اولیه غلظت‌های REE از (Sun & McDonough, 1989) و یک منشأ مخلوط شده از ۵۰٪ گوشته اولیه و ۵۰٪ گوشته تهی شده (داده‌های REE از (McKenzie & O'Nions, 1991) نیز ترسیم شده است. محاسبات با استفاده از KD_s از (McKenzie & O'Nions, 1991) انجام گرفته است، البته با درجه ذوب بخشی ۲/۵٪ (F) = ۲/۵٪. مقادیر نورمالیزه برگرفته از (Taylor & McLennan, 1985) می‌باشد (شکل ۳-ب) نمودارهای تغییرات فراوانی عناصر نادر خاکی در ریولیت‌ها و تراکی آندزیت‌های جنوب کهریزک که نسبت به کندریت نورمالیز شده‌اند (Sun & McDonough, 1989).

شده است. خطوط تقسیم بین زون‌های تکتونیکی بر اساس اختلافات درجه ناسازگاری میان Ta، Th و Yb رسم شده است. در جایی که غنی‌شدگی فراینده Th مشاهده می‌شود به افزایش نقش یک کمان استناد می‌شود. این غنی‌شدگی تصادفی همچنین بر روی نمودار Th/Ta در مقابل Yb نشان داده شده (شکل ۴) که محدوده آتشفشانی درون صفحه‌ای یک گستره بسیار محدود از نسبت‌های ۲-۶ (Th/Ta) به زون حاشیه فعال قاره (Th/Ta=۶-۲۰) یا زون‌های کمان‌های اقیانوسی (۷۵-۲۰) دارد (Gorton & Schandl, 2000). در بازالت‌های جنوب کهریزک نسبت Th/Ta=۳-۷ و در گدازه‌های حدواسط تا اسیدی این نسبت ۶-۱۳ می‌باشد (شکل ۶). همچنین نسبت Th/Ta بازتاب درگیری یک تختال فرورانده شده در زایش ماگما (Pearce & Peate, 1995)، بازیابی سنگ‌های رسوبی فرورانده شده (Hawkesworth *et al.* 1993a)، یا یک افزایش تدریجی محتوی سیالی کمان در طول زمان است (Lentz 1998).

داده‌های ژئوشیمیایی تصویر شده در شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که گدازه‌های ریولیتی و تراکی‌آندزیتی جنوب کهریزک از عنصر ناسازگار Th غنی و در منطقه تکتونیکی حاشیه فعال قاره قرار گرفته‌اند و سنگ‌های آتشفشانی بازالتی تمایلی به سمت بازالت‌های درون صفحه‌ای دارند.



شکل ۴- دیاگرام Th/Ta در مقابل Yb (Gorton & Schandl 2000). زون‌های آتشفشانی درون قاره‌ای (WPVZ)، بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی (MORB)، سنگ‌های آتشفشانی فلسیک آرکن پشین در نواحی Bathurst کانادا که در جایگاه تکتونیکی پشت قوس قرار گرفته‌اند (داده‌ها از Sullivan *et al.* 1990) مکزیک واقع در حوضه پشت قوس کششی و Kuroko ژاپن که در محیط ریفتی جزایر کماتی تشکیل شده‌اند (داده‌ها از Danielson 2001)، برای مقایسه آورده شده‌اند. در شکل تشابهی در محل توزیع گدازه‌های منطقه مورد مطالعه و این سنگ‌های آتشفشانی که همگی در محیط‌های کششی پشت قوس واقع شده‌اند مشاهده می‌شود. تعدادی از بازالت‌ها تمایل بیشتری به سمت بازالت‌های درون ورقه‌ای نشان داده در حالیکه سنگ‌های دیگر منطقه از لحاظ ژئوشیمی تشابه آشکاری با گدازه‌های کمان دارند.

نسبت‌های عناصر کمیاب شاخص پتروژنتیکی معتبرتری را ارائه می‌دهند، به همین منظور جدول ۲) مقایسه‌ای از نسبت‌های K/Rb، Rb/Sr، K/Ba در بازالت‌های جنوب کهریزک و بازالت‌های یک حوضه پشت کمان را نشان می‌دهد.

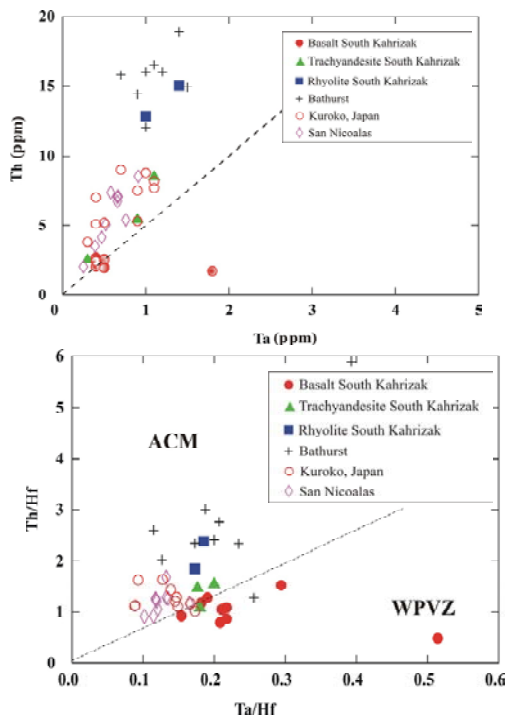
دیاگرام‌های چند عنصری نورمالیزه شده (شکل ۲) نشانگر غنی‌شدگی در عناصر لیتوفیل یون بزرگ (LILE) به نسبت HREE و عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) است. این نوع از الگوهای چند عنصری نشان می‌دهند که آتشفشانی‌های جنوب کهریزک مشابه سنگ‌های کمان آتشفشانی هستند (Pearce & Peate 1995) همچنین آنومالی منفی واضح Nb مشخصه ماگماهای مشتق شده از یک گوشته متاسوماتیسم شده در منطقه فرورانش می‌باشد (Wilson 1989).

جدول ۲- مشخصات عناصر کمیاب بازالت‌های حوضه پشت کمان East Scotia Sea را با بازالت‌های جنوب کهریزک مقایسه می‌کند (داده‌ها از Saunders & Tarney, 1979). همانطور که مشاهده می‌شود نسبت Rb/Sr در گدازه‌های بازالتی منطقه در محدوده بازالت‌های حوضه پشت کمان تیبیک است ولی علت کمتر بودن نسبت Zr/Rb در بازالت‌های جنوب کهریزک تمرکز بسیار بیشتر Rb در آنها است (همانند Sr).

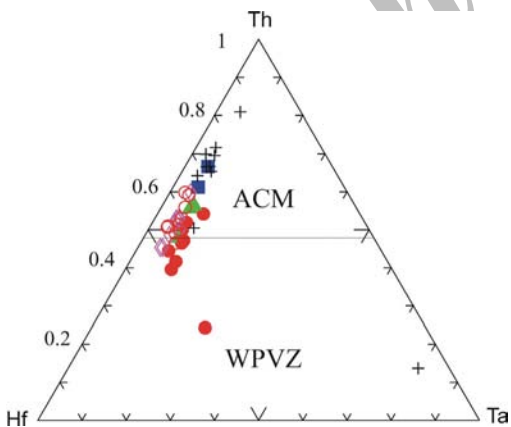
	بازالت‌های حوضه پشت کمان	بازالت‌های جنوب کهریزک
East Scotia Sea		
K/Rb	۴۰۰ - ۸۰۰	۳۴۷ - ۷۶۰
K/Ba	۴۰ - ۶۰	۳۹ - ۳۹
Rb/Sr	۰.۲۵ - ۰.۰۴	۰.۲۲ - ۰.۰۴۸
Zr/Rb	۱۶ - ۵۴	۲.۴ - ۷.۴

بررسی‌های تحلیلی و کاربرد دیاگرام‌های متمایزکننده

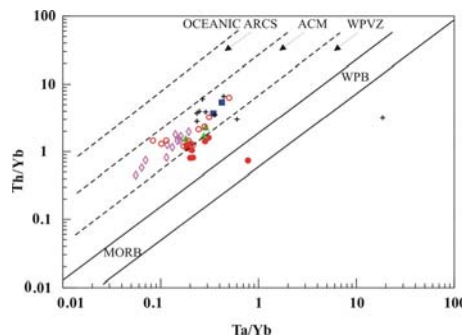
دیاگرام‌های متمایزکننده معمولاً (البته نه منحصرأ) بر مبنای عناصری ترسیم شده‌اند که معمولاً در شرایط مختلف زمین‌شناسی غیر متحرک می‌باشند. بطور معمول اگرچه دیاگرام‌های متمایزکننده برای سنگ‌های آتشفشانی مافیک استفاده می‌شود (Wood *et al.* 1979) ولی در تعداد محدودی از مطالعات سعی شده است برای تمایز محیط‌های تکتونیکی در واحدهای آتشفشانی فلسیک از نمودارهای مزبور استفاده شود. از دیاگرام پیرس (۱۹۸۳) که نسبت‌های Th/Yb را به ازای Ta/Yb برای تمایز جایگاه‌های تکتونیکی گوناگون سنگ‌های آتشفشانی بازیگ استفاده می‌شود، توسط Schandl & Gorton (2000) برای تطبیق دادن سنگ‌های آتشفشانی فلسیک تا حدواسط اصلاح



شکل ۶- الف) دیاگرام نسبت‌های Th/Hf در مقابل Ta/Hf ، ناسازگاری مشابهی بین Th و Ta در دو جایگاه تکتونیکی مختلف را نشان می‌دهد: حاشیه فعال قاره (ACM) و منطقه تکتونیکی درون قاره‌ای (WPVZ). شکل ۶- ب) دیاگرام Th در مقابل Ta غنی شدگی از Th را در سنگ‌های آتشفشانی اسیدی در منطقه جنوب کهریزک نشان می‌دهد (همانطور که در سنگ‌های آتشفشانی فلسیک آرکن پشین در نواحی Bathurst کانادا (داده‌ها از Sullivan & van Staal, 1990) و Kuroko و مکزیک (داده‌ها از Danielson, 2001) مشاهده می‌شود که در محیط تکتونیکی کششی وابسته به حاشیه فعال قاره ایجاد شده‌اند).



شکل ۷- در دیاگرام مثلثی $Ta-Hf-Th$ داده‌های ژئوشیمیایی گدازه‌های جنوب کهریزک همچنین سنگ‌های آتشفشانی آرکن پشین نواحی Bathurst کانادا (داده‌ها از Sullivan & van Staal, 1990) و Kuroko و مکزیک (داده‌ها از Danielson, 2001) (که در محیط تکتونیکی کششی وابسته به حاشیه فعال قاره ایجاد شده‌اند)، تصویر شده‌اند. علامت مشابه شکل قبل می‌باشد.



شکل ۵- دیاگرام تغییرات Th/Yb در مقابل Ta/Yb از (Gorton & Schandl, 2000) که به ناحیه تکتونیکی تقسیم شده است: کمان‌های اقیانوسی، حاشیه‌های فعال قاره‌ای (ACM)، زون‌های آتشفشانی درون قاره‌ای (WPVZ)، بازالت‌های درون صفحه‌ای (WPB) و بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) ناحیه‌هایی را که قبلاً توسط پیرس (۱۹۸۲، ۱۹۸۳) تعیین شده است، مشخص می‌کند.

غنی شدگی Th در گدازه‌های بازیک (در منطقه بازالت‌های درون صفحه‌ای) به سمت گدازه‌های حدواسط و اسیدی (در ناحیه حاشیه فعال قاره) به توسعه پوسته‌ای در سرتاسر زون فرورانش نسبت داده می‌شود (Schandl & Gorton, 2000). این غنی شدگی همچنین در دیاگرام ۶ (الف و ب) نیز تظاهر یافته، جائیکه افزایش مشخصی در Th به نسبت عناصر ناسازگار Ta و Hf مشهود است. عناصر $Yb - Nb$ در بعضی گدازه‌های بازالتی جنوب کهریزک، مانند حوضه پشت کمان East Scotia Sea، با توله‌ایت‌های کمان همانندی دارد اما مقدار زیاد Ta بیشتر به بازالت‌های درون ورقه‌ای قرابت دارد. همانطور که مشاهده می‌شود شیمی عناصر کمیاب بازالت‌های حوضه‌های پشت قوس پیچیده‌است و ژنز آنها ممکن است شامل منشأ گوشته‌ای MORB تهی شده، OIB (بازالت‌های جزایر اقیانوسی) غنی شده و سازنده‌های زون فرورانش باشد (Wilson, 1989). سرانجام، گر ایشی برای بین قرار گرفتن این دو گروه گدازه (گدازه‌های ریولیتی- تراکی‌اندزیتی و بازالتی) در دو رژیم تکتونیکی، در دیاگرام مثلثی $Ta-Hf-Th$ (شکل ۷) قابل مشاهده است.

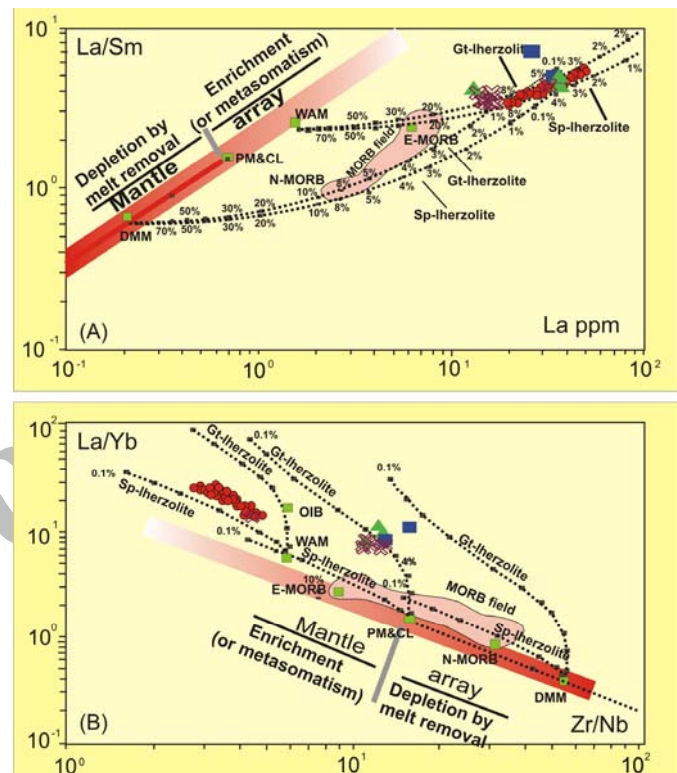
گدازه‌های جنوب کهریزک در مقایسه با منابع فرضی نظیر DMM (گوشته تهی شده MORB) که منشایی برای بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی در نظر گرفته می‌شود و PM (گوشته اولیه) بعنوان منشأ بازالت‌های درون صفحه‌ای نوع OIB، از یک منشأ غنی شده از عناصر ناسازگار سرچشمه گرفته است (شکل ۸). درجه غنی شدگی در گدازه‌های جنوب کهریزک افزایش منظمی در ازای افزایش ناسازگاری ایجاد شده در LREE بر روی HREE و غنی شدگی عناصر شدیداً ناسازگار بر کمتر ناسازگار در مقایسه با ترکیبات DMM و PM نشان می‌دهد.

تراکی آندزیتی به نسبت ترکیب کلی لیتوسفر قاره‌ای عناصر $\text{Co, Sc, Pb, V, Cu, Ni}$ تمرکز کمتر داشته و میزان Au بسیار فراوانتری در خود جای داده‌اند. عنصر Zn در ریولیت‌ها کمتر و در تراکی‌آندزیت‌ها به لیتوسفر قاره‌ای شباهت دارد. نحوه توزیع عناصر ژئوشیمیایی گدازه‌های نیمه قلیایی و قلیایی جنوب کهریزک بگونه‌ای است که: فراوانی بیشتر LREE نسبت به HREE، الگوی مسطح HREE، تمرکز انتخابی LILE به نسبت HREE و HFSE، غنی‌شدگی بیشتر عناصر کمیاب در ریولیت‌ها و تراکی‌آندزیت‌ها به همراه آنومالی کاهشی Eu در آنها در قیاس با بازالت‌ها، آنومالی کاهشی Nb - Ta ، همگی از ویژگی‌های ماگماهای مرتبط با فرورانش است که آنرا از سنگ‌های رسوبی فرورانده شده به ارث برده‌اند (Wilson, 1989, Gioncada et al., 2003). آتشفشانی جنوب کهریزک مشابه سنگ‌های کمان آتشفشانی هستند (Pearce et al., 1995). بعلاوه غنی‌شدگی پیشرونده Th و نسبت Th/Ta در گدازه‌های بازالتی، تراکی‌آندزیتی و ریولیتی به همکاری یک سازنده کمان استناد می‌شود (Gorton & Schandl 2000).

آنومالی منفی واضح Nb مشخصه ماگماهای مشتق شده از یک گوشته متاسوماتیسم شده در منطقه فرورانش می‌باشد و از طرفی دیاگرام‌های متمایز کننده نشان می‌دهد که گدازه‌های ریولیتی و تراکی‌آندزیتی جنوب کهریزک در منطقه تکتونیکی حاشیه فعال قاره قرار گرفته‌اند و سنگ‌های آتشفشانی بازالتی تمایلی به سمت بازالت‌های درون صفحه‌ای دارند. غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی چندین برابر کندریت و روند صعودی الگوی عناصر نادر خاکی به سمت LREE برای تمامی نمونه سنگ‌ها، فقدان آنومالی کاهشی واضح Eu در بازالت‌های منطقه همانند آنچه که در بازالت‌های حوضه پشت کمان شاخص East Scotia Sea مشاهده شده و همچنین تشابه در نسبت عناصر کمیاب در بازالت‌های این دو منطقه، نیز شاهدهی دیگر دال بر گرایش گدازه‌های بازالتی جنوب کهریزک به یک رژیم کششی است. همچنانکه موضع همانند سنگ‌های منطقه مورد مطالعه و سنگ‌های آتشفشانی فلسیک آرکئن پسین در نواحی Bathurst کانادا که در جایگاه تکتونیکی پشت قوس قرار گرفته‌اند، San Nicolas مکزیک واقع در حوضه پشت قوس کششی و Kuroko ژاپن که در محیط ریفتی جزایر کمانی تشکیل شده‌اند (Gorton & Schandl, 2000) در دیاگرام‌های مختلف متمایز کننده نیز این مطلب را بازگو می‌کند.

همچنین گدازه‌های جنوب کهریزک به نسبت منابع فرضی نظیر PM و DMM از یک منشأ غنی شده از عناصر ناسازگار سرچشمه گرفته‌اند. از تمامی موارد ذکر شده در بالا این چنین برداشت می‌شود که گدازه‌های جنوب کهریزک از نظر ژئوشیمی با یک زون ریفتی وابسته به فرورانش از محیط‌های کمان مطابقت دارند.

برخی از فرآیندها نسبت داده می‌شود: اولاً، اختلاط مذاب‌هایی غنی‌شدگی در عناصر بسیار ناسازگار نسبت به کمتر ناسازگار به با ترکیب شیمیایی متشکل از دو یا چند عضو انتهایی (که معمولاً از بالآمدگی پولوم عمیق غنی‌شده و یا یک منشأ لیتوسفر گوشته‌ای غنی شده، مشتق شده‌اند). ثانیاً، واکنش‌های متاسوماتیک که مذاب‌ها معمولاً از لیتوسفر گوشته بالایی، در زون فرورانش مشتق می‌شوند (Aldanmaz 2006).



شکل ۸- الف و ب) ترسیم نسبت‌های La/Sm در مقابل La/Yb و Zr/Nb مقابل La/Sm منحنی‌های ذوب برای اسپینل لوزولیت و گارنت لوزولیت ترسیم شده‌اند. WAM بیانگر گوشته آتاتولی غربی است (Aldanmaz et al., 2000). خط ممتد نشان دهنده آرایش گوشته است که با استفاده از روندهای ترکیبی مذاب باقیمانده نشأت گرفته از ترکیبات PM و DMM معین شده است. نقاط روی هر منحنی با درجات ذوب بخشی برای یک منشأ برگرفته از گوشته، منطبق است (سنگ‌های آکالن غرب ترکیه به منظور مقایسه تصویر شده است. این سنگ‌ها دارای یک منشأ پولوم می‌باشند) (Aldanmaz 2006).

نتیجه گیری

توزیع عناصر فلزی در سنگ‌های منطقه بطوری است که، عناصر فلزی در بازالت‌ها فراوان‌ترند و در قیاس با ترکیب کلی لیتوسفر قاره‌ای این سنگ‌ها عناصر فلزی مانند Co, Sc, Cu, Au, V بیشتری در خود جای داده‌اند و در عوض Pb, Ni, Zn کمتری دارند. گدازه‌های ریولیتی و

تقدیر و تشکر

دانشگاه تهران بخاطر تأمین برخی هزینه ها اعلام می دارند.

نویسندگان مراتب تشکر خود را از معاونت محترم پژوهشی

منابع:

- بنی طباء بیدگلی ع. (۱۳۶۸) مطالعه پتروگرافی و پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه آتشفشانی منطقه سیاه کوه (شمال شرق دریاچه نمک). رساله کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت معلم. ۱۶۷ صفحه.
- حسنی پاک ع. ا.، ۱۳۶۲: اصول اکتشافات ژئوشیمیایی (مواد معدنی)، مرکز نشر دانشگاهی، ۶۰۰ صفحه.
- حسینی م. (۱۳۶۷) پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه آتشفشانی منطقه دوازده امام (شمال دریاچه نمک)، رساله کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت معلم. ۱۸۷ صفحه.
- رضوی م. ح. (۱۳۵۳) بررسی کانسار منگنز محمد آباد و سنگهای اطراف آن (جنوب تهران - منطقه حسن آباد)، رساله کارشناسی ارشد. دانشکده علوم دانشگاه تهران. ۱۳۰ صفحه.
- طوطی ف. و بازرگانی گیلانی ک.، و یزدانی، س.، ۱۳۸۳: سنگ شناسی توده آتشفشانی زئولیت دار جنوب کهریزک (جنوب تهران) با نگرشی به منشأ آنالسیم. خلاصه مقالات بیست و سومین گردهمایی علوم زمین. ۸۰.
- طوطی ف.، و یزدانی س.، و بازرگانی گیلانی ک.، ۱۳۸۷: زمین شیمی و سنگ زایی مجموعه آتشفشانی قلیایی - نیمه قلیایی شمال ایران مرکزی: نقش فرایندهای تفریق بلوری و غنی شدگی سنگهای اسیدی تا بازیک در یک محیط پشت کمان، فصلنامه علوم زمین. ۶۷: ۲۱۰-۲۲۳.
- Abdel-Fattah, M., Abdel-Rahman., Kumarapeli, S.P., 1999: Geochemistry and Petrogenesis of the Tibbit hill metavolcanic suite of the Appalachian fold belt, Quebec-Vermont: a plume-related and fractionated assemblage: *American Journal of Science*. **299**: 210-237.
- Aldanmaz, E., 2006: Shallow convective mantle origin for the OIB-type, midplate lavas of western Turkey: Implications for fertility anomaly zones in the upper mantle. *www. Mantle plumes. Org*.
- Aldanmaz, E, Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., Mitchell, J.G., 2000: Petrogenetic Evolution of Late Cenozoic, post-Collision Volcanism in Western Anatolia, Turkey: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. **102**: 67-95.
- Brow, G.C., Thorp, R.S., Webb, P.C., 1984: The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. *Journal of Geological Society Lndon*. **141**: 413-426.
- Danielson, T., 2001: Age, paleotectonic setting and common Pb isotope signature of the San Nicolas volcanogenic massive sulfide deposit, southeastern Zacatecas state, central Mexico: unpublished M.Sc. thesis, university of British Columbia, p. 104.
- Gioncada, A., Mazzuoli, R., Bisson, M., Pareschi, M. T., 2003: Petrology of volcanic products younger than 42 ka on the Lipari-Vulcano complex (Aeolian Islands, Italy): an example of volcanism controlled by tectonics. *J. Vocanol. Geotherm. Res*. **122**:191-220.
- Gorton, M.P., Schandl, E.S., 2000: From continents to island arcs: A geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks. *Canadian mineralogist*. **38**: 1065-1073.
- Hawkesworth, C. J., Gallagher, K., Hergt, J. M. and McDermott, F., 1993a: Mantle and slab contributions in arc magma. *Geology*. **17**: 46-49.
- Krauskopf, K. B. ,Bird, D. K., 1995: Introduction to geochemistry. Mcgraw-hill, Inc. 647p.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. and Zannetin, B., 1986: A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali- silica diagram. *Journal. Petrol*. **27**: 745-750.
- Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lamaeyre LeBas, M. J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorenson, H., Streckeisen, A., Woolley, A., and Zanettin, B., 1989: A classification of rocks and glossary of terms. Blackwell Science, Axford, 193p.
- Lentz, D.R., 1998: Petrogenetic evolution of felsic volcanic sequences associated with Phanerozoic volcanic-hosted massive sulfide systems: The role of extensional geodynamics: *Ore Geology Reviews*. **12**: 289-327.
- McKenzie, D. P., O'Nions, R. K., 1991: Partial melting distributions from inversion of rare earth element concentrations. *Journal of Petrology*. **32**: 1021-1091.
- Pearce, J.A., Peate, D.W., 1995: tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas: Annual Reviews. *Earth and Planetary Science*. **23**: 251-285.
- Pearce, J. A., 1983: Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Rollinson, h. R., 1993: Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. John Wiley and Sons, 325p.
- Pearce, J.A., Harris, N.B., Trindle, A.G., 1984: Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks: *Journal of Petrology*. **25**: 956-983.
- Pearce, J. A., 1982, Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries, in Thorpe, R.S., ed., Andesite: Orgenic Andesite and Related Rocks: Chichester, U.K., John Wiley, p. 525-548.

- Rieben, H., 1955: The geology of the Tehran plain. *American Journal of Science*. **253**: 617-639.
- Saunders, A.D., and Tarney, J., 1979, The geochemistry of basalts from a back-arc spreading centre in the East Scotia Sea: *Geochim. Cosmochim. Acta*. **43**: 555-72.
- Schandl, E.S., Gorton, M.P., 2002: Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments: *Economic geology*. **97**: 629-642.
- Shelly, D. 1993: Igneous and metamorphic rocks under the microscope, Chapman and hall, 630p.
- Sun, S. S. McDonough, W. F., 1989: Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: Rollinson, h. R., 1993: Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. John Wiley and Sons, 325p.
- Sullivan, R.W., van Staal, R.C., 1990: Age of a metarhyolite from the Tetagouche Group, Bthurst, New Brunswick, from U-Pb isochron analyses of zircons enriched in common Pb. *Geological Survey of Canada Paper*. **89-2**: 109-117.
- Taylor, S.R., and McLennan, S. M., 1985: The Continental Crust: Its Composition and Evolution: Blackwell, Oxford, England, 312 p.
- Wilson, M., 1989: Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach. Unwin Hyman. London. 466p.
- Wood, D.A., Joron, J.L., Treuil, M., Norry, M., and Tarney, J., 1979: Elemental and Sr isotope variations in basic lavas from Iceland and the surrounding ocean floor: *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **70**: 319-339.

Archive of SID