

بررسی ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب جندق (شمال شرق استان اصفهان)

سید محسن طباطبایی منش*، لیلا محمودآبادی و اکرم السادات میرلوحی
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب جندق که در جنوب گسل درونه برون‌زد دارند، جزو پهنه ایران مرکزی هستند. اغلب سنگ‌های منطقه شامل: بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت و داسیت و بافت چیره آنها پورفیری، میکرولیت پورفیری و هیالوپورفیری است. کانی‌های سازنده اصلی این سنگ‌ها شامل: پلاژیوکلاز حدواسط، دیوپسید، اوژیت، فلوگوپیت، منیزیه‌هاستینگسیت و کانی‌های ثانویه اکسید آهن و کلریت هستند. بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی می‌توان این سنگ‌ها را جزو سری شوشونیتی با محتوای بالایی از K_2O ، Ta/Yb ، Th/Yb و Ce/Yb به شمار آورد. آنومالی شدیداً منفی Nb و منفی Ti و تطابق روند عناصر فرعی بهنجار شده با گوشته با روند ارائه شده برای این عناصر در محیط‌های قوس آتشفشانی، گدازه‌های منطقه را از نوع فوران یافته در محیط‌های فروران مشخص می‌نماید. به علاوه، نمودارهای مشخص‌کننده محیط تکتونیکی بر اساس TiO_2 و Al_2O_3 و نیز Zr و Y بیانگر محیط تکتونیکی قوس آتشفشانی قاره ای است. الگوی REEها (بهنجار شده با کندریت) و نسبت‌های این عناصر و نیز آنومالی مثبت Pb، به نقش مؤثر فرآیندهای ذوب بخشی درجه پایین گوشته متاسوماتیزه و منشأ گارنت آمفیبولیت همراه با آلایش پوسته‌ای در هنگام گذر ماگما از قاره در تشکیل سنگ‌های آتشفشانی منطقه اشاره دارد.

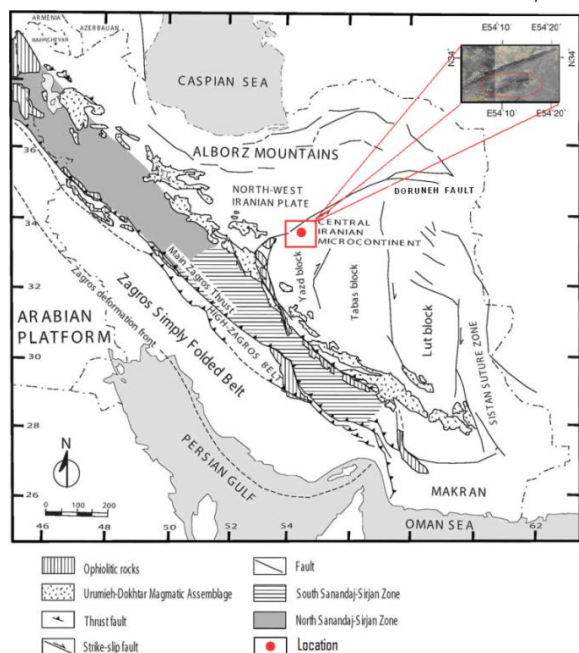
واژه‌های کلیدی: شوشونیت، ژئوشیمی، قوس آتشفشانی، ائوسن، جندق، اصفهان، ایران مرکزی

مقدمه

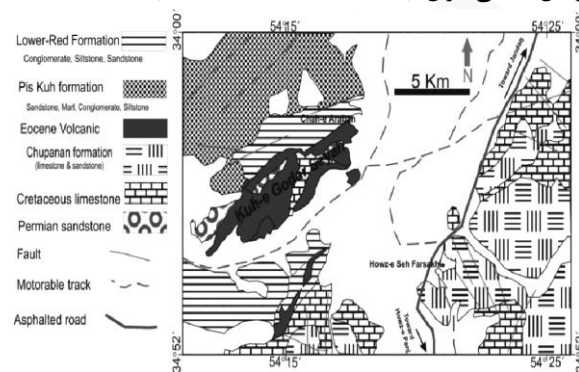
(vaziri, 1996). سنگ‌های آتشفشانی جنوب غرب جندق (شمال شرق اصفهان) از جمله سنگ‌های آتشفشانی ائوسن ایران مرکزی محسوب می‌شوند (شکل ۱) که رخنمون اصلی آن در کوه گدارسیاه و جنوب غرب آن با مختصات طول شرقی $۵۳^{\circ}۳۳' - ۵۴^{\circ}۱۰'$ و عرض شمالی $۵۸^{\circ}۳۳' - ۵۹^{\circ}۳۳'$

فعالیت‌های وسیع آتشفشانی دوران سوم به ویژه ائوسن در تمام ایران به جز زاگرس و کپه داغ رخ داده است (Moin vaziri, 1996؛ Darvishzadeh, 2004). این فعالیت‌های شدید و مداوم آتشفشانی در ایران مرکزی مستثنی نبوده است (Moin

نمونه مناسب و فاقد آلتراسیون انتخاب و با روش ICP-MS در شرکت ALS Chemex کانادا تجزیه شدند (جدول ۱). ترسیم نمودارهای ژئوشیمیایی سنگ کل با نرم افزارهای New pet و Minpet انجام شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه شده بر روی نقشه زمین‌شناسی ایران (Azizi and Jahangiri, 2008).



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ساده شده جنوب غرب جندق (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ چوپانان)

پتروگرافی

بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی سنگ‌های آتشفشانی منطقه به طور کلی شامل: بازالت، آندزیت و داسیت با بافت‌های پورفیری،

۳۳۰ است. نخستین پروژه پژوهشی مدون زمین‌شناسی برای تهیه نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ در نواحی انارک، خور، جندق و شمال اردستان توسط شرکت Technoexport در سال‌های ۱۹۷۴ و ۱۹۸۴ انجام شد که مطابق با آن، سنگ‌های آتشفشانی بررسی شده را بازالت-آندزیت‌های ائوسن می‌دانند (شکل ۲). پژوهش‌های پترولوژی انجام شده روی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن ایران مرکزی و شوشونیتی نواحی انارک، عشین و عروسان کبودان به Sayyari (۲۰۰۶)، Torabi (۲۰۰۶) و Bahadoran (۲۰۰۷) مربوط است. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب جندق، جزو پهنه ایران مرکزی و در جنوب گسل درونه برون زد دارند. این گسل با حرکت راستگرد خود تأثیر به سزایی بر فوران، آلتراسیون و دگرسانی ولکانیک‌های ائوسن در منطقه مورد بررسی داشته است (Wellman, 1966). بررسی انجام شده توسط Nogol-Sadat (۱۹۹۴) نشان می‌دهد که علاوه بر سازوکار فشاری و راستالغز چپگرد، که برای بخش باختری و مرکزی گسل درونه شناخته شده، برای بخش خاوری آن سازوکار راستالغز راستگرد را می‌توان برشمرد.

در این پژوهش، با بررسی‌های پتروگرافی، ژئوشیمی سنگ کل و نمودارهای تکتونیک، سعی در بررسی ماهیت ژئوشیمیایی، تعیین سنگ منشأ و درجه ذوب بخشی گویشته، موقعیت تکتونوماگمایی و سایر عوامل مؤثر در تشکیل سنگ‌های آتشفشانی کوه گدارسیاه است.

روش انجام پژوهش

پس از بررسی‌های صحرایی، نمونه‌برداری و تهیه مقاطع نازک، پتروگرافی سنگ‌ها توسط میکروسکوپ پلاریزان Olympus مدل BH-2 انجام شد. در ادامه پژوهش‌های میکروسکوپی، ۶

میکرولیتی پورفیری و هیالوپورفیری هستند
 آندزیتی در مقایسه با دیگر سنگ‌ها فراوان ترند
 (Mahmoudabadi et al., 2012). سنگ‌های
 (شکل ۳).

جدول ۱- داده‌های آنالیز شیمیایی سنگ کل کوه گذارسیاه اکسیدها (Wt%) عناصر فرعی و نادر (ppm)

	j-12-2	j-2-2	825	828	j-10-2	j-22-1
SiO ₂	63.90	53.90	54.90	55.60	60.80	62.30
TiO ₂	0.49	0.66	0.70	0.54	0.58	0.57
Al ₂ O ₃	12.45	15.30	15.25	14.05	15.00	14.90
Fe ₂ O ₃	1.21	1.37	1.50	1.27	1.13	1.10
FeO	3.03	3.91	4.29	3.17	2.83	2.75
MnO	0.04	0.07	0.07	0.10	0.05	0.05
MgO	3.23	2.57	4.24	2.58	1.69	1.58
CaO	3.53	7.32	5.49	6.27	5.73	5.53
Na ₂ O	2.37	4.06	4.13	3.69	3.51	3.52
K ₂ O	3.95	2.91	3.29	4.49	3.28	3.22
P ₂ O ₅	0.40	0.39	0.49	0.41	0.27	0.28
LOI	4.07	5.64	2.82	6.63	3.61	3.55
Total	98.67	98.10	97.17	98.80	98.48	99.35
Cr	90.00	130.00	160.00	80.00	110.00	80.00
Ni	72.00	46.00	78.00	51.00	45.00	48.00
Co	17.00	21.00	27.40	20.10	14.00	14.90
V	101.00	177.00	198.00	127.00	119.00	128.00
Cu	61.00	36.00	50.00	10.00	42.00	41.00
Pb	2000.00	43.00	64.00	22.00	39.00	38.00
Zn	94.00	88.00	85.00	86.00	94.00	97.00
Sn	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
W	1.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00
Mo	2.00	3.00	4.00	2.00	4.00	3.00
Ag	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
K	32788.95	24155.91	27310.29	37271.49	27227.28	26729.22
Rb	108.00	53.50	86.10	149.50	97.20	102.50
Cs	1.87	0.85	1.49	1.98	2.73	2.80
Ba	965.00	794.00	1065.00	1215.00	689.00	732.00
Sr	1132.00	1265.00	2120.00	522.00	1090.00	1210.00
Tl	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Ga	16.80	19.40	20.20	17.00	18.90	20.00
Ta	0.60	0.40	0.50	0.40	0.60	0.60
Nb	8.50	6.70	9.10	6.80	7.00	7.40
Hf	5.00	4.30	5.80	4.40	4.50	4.70
Zr	189.00	157.00	221.00	163.00	161.00	170.00
Ti	2937.55	3956.70	4196.50	3237.30	3477.10	3417.15
Y	15.10	16.20	16.20	13.70	12.50	13.00
Th	17.30	9.67	17.65	11.75	12.55	13.35
U	3.97	2.55	4.76	3.10	3.57	3.76
La	62.20	45.70	66.70	52.60	38.50	40.00
Ce	118.50	89.40	124.00	100.00	73.00	79.30
Pr	14.05	10.90	14.25	11.80	8.35	8.67
Nd	50.00	41.10	50.50	43.30	29.40	30.60
Sm	8.26	7.07	8.30	7.19	5.05	5.17
Eu	1.85	1.60	2.11	1.69	1.23	1.24
Gd	6.52	5.57	6.89	5.73	4.20	4.43
Tb	0.69	0.65	0.78	0.63	0.53	0.51
Dy	3.13	3.22	3.65	2.93	2.56	2.55
Ho	0.54	0.60	0.62	0.52	0.47	0.48
Er	1.51	1.69	1.83	1.40	1.32	1.36
Tm	0.19	0.23	0.25	0.19	0.19	0.19
Yb	1.32	1.48	1.55	1.21	1.19	1.27
Lu	0.20	0.21	0.24	0.19	0.18	0.19
Eu*/Eu	0.25	0.26	0.28	0.26	0.27	0.26

اولیه خود سوخته شده و به مجموعه اپیدوت، کلسیت، آلبیت، کلریت و کوارتز دگرسان شده‌اند. آمفیبول‌های نسل دوم، ثانویه و از دگرسانی پیروکسن‌ها به وجود آمده‌اند. داسیت‌های موجود در منطقه که واجد فنوکریست‌های هورنبلند و پلاژیوکلاز هستند، شامل: پلاژیوکلازهای یوهدرال، دارای ترکیب آندزین همراه فنوکریست‌های هورنبلند آتره نشده‌اند (Mahmoudabadi et al., 2012).

ژئوشیمی

برای بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و فرآیندهای پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی کوه گذارسیاه، از داده‌های عناصر اصلی، فرعی و کمیاب ۶ نمونه استفاده شده است (جدول ۱).

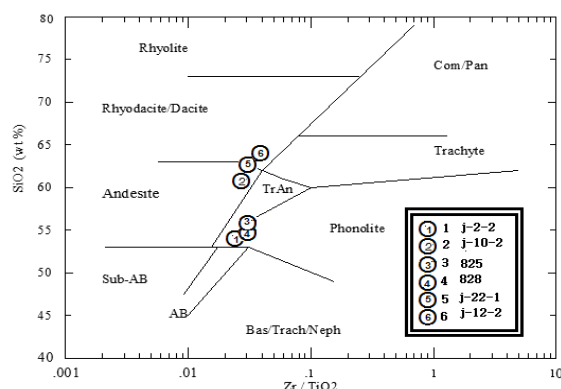
نام‌گذاری سنگ‌های آتشفشانی کوه گذارسیاه

برای طبقه‌بندی و پژوهش‌های پترولوژیکی از نمودار ژئوشیمیایی TAS استفاده شد. در نمودار TAS از Le Bas و همکاران (۱۹۸۶) نمونه‌های کوه گذارسیاه در محدوده ترکیبی، تراکی آندزیت بازالتی، تراکی آندزیت، آندزیت و داسیت واقع شده‌اند (شکل ۴).

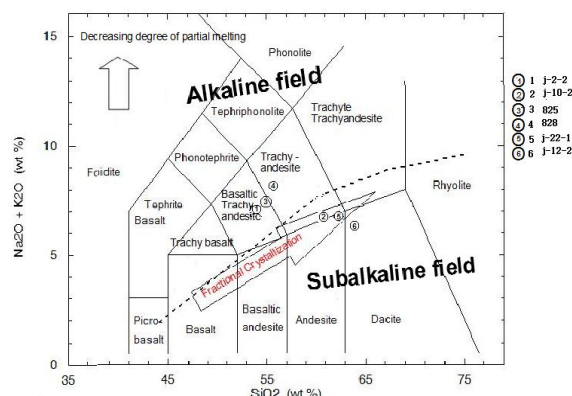
با توجه به اینکه احتمال دگرسانی و آلتراسیون برای سنگ‌های آتشفشانی بیشتر از سنگ‌های درونی است، بنابراین، با عنایری که امکان جابه‌جایی کمتری دارند، می‌توان اقدام به نام‌گذاری سنگ‌ها نمود (Karimpour, 1998). از جمله این عناصر می‌توان به Zr و Ti اشاره کرد. نمودار SiO₂ در برابر Zr/TiO₂ از Winchester و Floyd (۱۹۷۷) یکی از این گونه نمودارهاست که محدوده سنگ‌های آتشفشانی کوه گذارسیاه را تراکی آندزیت، آندزیت و داسیت تعیین می‌نماید (شکل ۵).

ترکیب کانی‌شناسی کلینوپیروکسن‌ها از دیوپسید تا اوژیت تغییر می‌نماید. حفرات موجود در آندزیت‌ها توسط کلسیت، کلریت و اپاک که شاید حاصل از تجزیه کانی‌های اصلی هستند، پر شده‌اند. کانی‌های فرومنیزین مانند پیروکسن، آمفیبول و بیوتیت اغلب دارای حاشیه ناپایدارند (Mahmoudabadi et al., 2012).

داسیت‌ها روشن و مزوکرات و واجد فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، بیوتیت و کوارتز با چشم غیر مسلح مشاهده می‌شوند. پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت و آمفیبول از جمله کانی‌های اصلی و آلکالی فلدسپار از کانی‌های فرعی این سنگ‌ها است. اپیدوت، سیرسیت، کلسیت، آلبیت، کلریت و کوارتز را می‌توان به صورت کانی‌های ثانویه مشاهده کرد. این سنگ‌ها بافت‌های پورفیری و هیالوپورفیری دارند. پلاژیوکلاز موجود در داسیت‌ها، غالباً منطقه‌ای بوده و در اثر تجزیه، سیرسیتی شده و ضمن از دست دادن ماکل مکرر، تجمع آنها بافت گلوپورفیری ایجاد نموده است. در این سنگ‌ها نیز، ترکیب کانی‌شناسی کلینوپیروکسن‌ها از دیوپسید تا اوژیت تغییر می‌نماید. هورنبلند موجود در داسیت‌ها، از نوع مگنزیوهایستینگسیت و در برخی موارد به طور کامل توسط کانی‌های اپاک جایگزین شده است (Mahmoudabadi et al., 2012). کوارتز، هم به صورت فنوکریست، هم در زمینه و هم در امتداد حاشیه و رخ کانی‌هایی از قبیل: بیوتیت و پیروکسن دیده می‌شود و گاهی دارای خوردگی خلیجی است. خوردگی خلیجی می‌تواند در نتیجه کاهش ناگهانی فشار در حین فوران سریع و یا بر اثر عدم تعادل به دلیل اختلاط و آلیش ایجاد شود. آمفیبول‌های موجود در داسیت‌ها دارای دو نسل هستند. نسل اول آمفیبول‌های شش‌گوش که به راحتی قابل شناسایی‌اند و گاهی با حفظ شکل



شکل ۵- نام‌گذاری سنگ‌های آتشفشانی مطالعه شده بر روی نمودار Zr/TiO₂ در مقابل SiO₂ (Winchester and Floyd, 1977). AB: آلکالی‌بازالت و Sub-AB: بازالت‌های ساب‌آلکان.



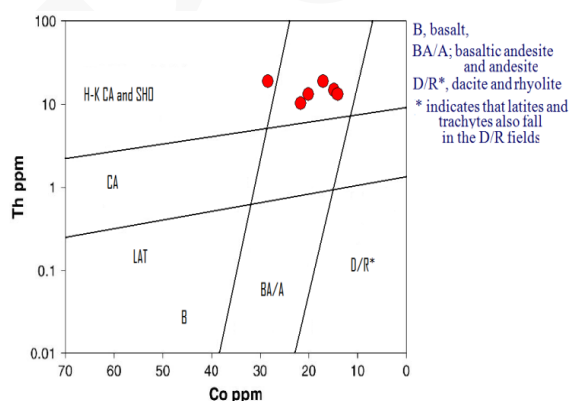
شکل ۴- تقسیم‌بندی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مطالعه شده بر اساس مجموع آلکالی در مقابل سیلیس (Le Bas et al., 1986).

سرشت ماگمایی

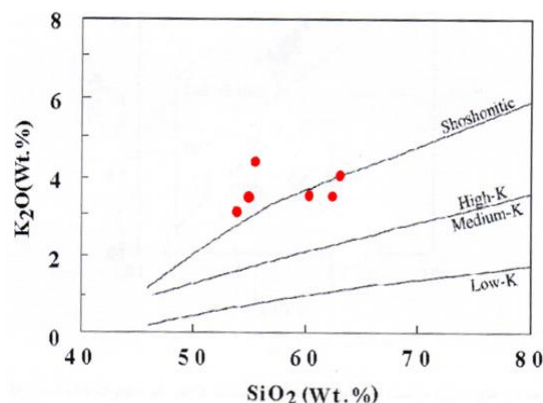
نمودار K₂O در مقابل SiO₂ (Peccerillo and Taylor, 1976) برای آگاهی از سرشت ماگمایی به کار گرفته شد که نمونه‌ها در محدوده شوشونیت قرار می‌گیرند (شکل ۶-الف). نمودار دو متغیره Th در برابر Co (Hastie et al., 2007) برای تفکیک سری‌های ماگمایی استفاده می‌شوند. این نمودار از دو عنصر با رفتارهای کاملاً متفاوت تشکیل شده است. Th یک عنصر ناسازگار است که در درجات پایین ذوب بخشی وارد مذاب می‌شود. در صورتی که Co به واسطه پایداری میدان بلوری خود و مشابهت شعاع مؤثر آن با عنصر Mg در درجات بالای ذوب بخشی

وارد مذاب می‌شود. در نمودار مذکور، نمونه‌ها در محدوده سنگ‌های High-K کالک‌آلکان و شوشونیتی و از نوع بازالت آندزیتی و آندزیت هستند (شکل ۶-ب).

نمودار نسبت Th/Yb در برابر Ta/Yb از Pearce (۱۹۸۳) و Pearce و Peate (۱۹۹۵) علاوه بر تعیین سری ماگمایی می‌تواند فرآیندهای مهم دیگری را نشان دهد. در این نمودار می‌توان سنگ‌های کمان آتشفشانی با Th بالاتر را از مورب‌ها تفکیک نمود. ناهمگنی در این نمودار به طور یکسان تحت تأثیر دو عنصر Ta و Th است. نمونه‌های مطالعه شده در نمودار مذکور در محدوده شوشونیت قرار می‌گیرند (شکل ۷).

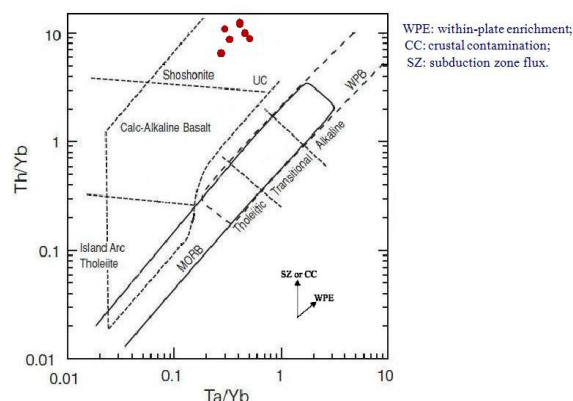


شکل ۶- الف) نمودار K₂O در مقابل SiO₂ (Peccerillo and Taylor, 1976)، ب) نمودار Th در برابر Co (Hastie et al., 2007) که موقعیت نمونه‌های منطقه را کالک‌آلکان K بالا و شوشونیتی نشان می‌دهد.



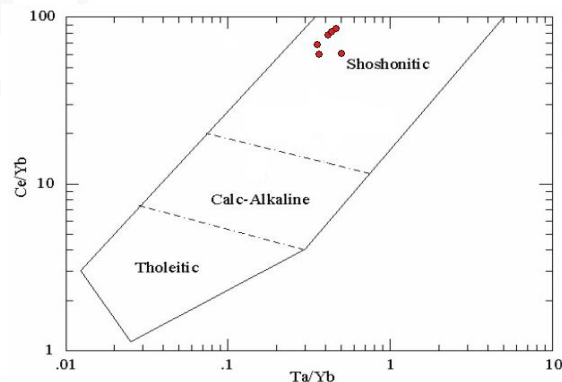
تفسیر این نمودارها باید با شواهد صحرایی و پتروگرافی همخوانی داشته باشد.

نمودار عناصر کمیاب REE (شکل ۹) بهنجار شده نسبت به کندریت (Sun and McDonough, 1989) نشان‌دهنده غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE در سنگ‌های منطقه و در حقیقت شیب منفی نمودارهای REE از مشخصات ماگماهای کالک‌آلکان، آلکان و شوشونیتی است. با توجه به شباهت روندها و آنومالی‌ها، ولکانیک‌های منطقه گذارسایه همگی دارای یک خاستگاه و منشأ ماگمایی هستند. صفحه فرورونده و رسوبات همراه آن با فرورفتن در گوشته، جریانی از سیالات آبدار تولید می‌نماید که به صورت یک کاتالیزور عمل نموده، باعث ذوب بخشی بالای گوه گوشته مانند و عامل حمل عناصر LILE و LREE می‌شود (Pearce and Peate, 1995). حضور گارنت در منشأ ماگما (Patino *et al.*, 2000) و درجه ذوب بخشی پایین در گوشته اولیه، به وسیله تمرکز بالای عناصر فرعی ناسازگار (Sun and Hanson, 1975) و غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE (Wass and Rogers, 1980) مشخص شده است. دیگر عامل مؤثر بر سنگ‌های این ناحیه شاید آلایش و اختلاط در ماگمای منطقه است. برخی پژوهشگران (مانند: Kelemen *et al.*, 1990؛ Pearce and Peate, 1995؛ Patino *et al.*, 2000) معتقدند مواد فوران یافته در قوس‌های ولکانیکی دارای شباهت‌های بسیاری با ماگمای مادر تولید شده از ذوب بخشی گوشته فوقانی دارند. به این دلیل، عناصر HFSE از قبیل Nb و Ti تهی‌شدگی زیادتری نسبت به یون‌های عناصر LILE و LREE نشان می‌دهند. با توجه به نمودارهای عنکبوتی که بر اساس داده‌های Sun و McDonough (۱۹۸۹) نسبت به گوشته اولیه بهنجار شده اند (شکل ۱۰).



شکل ۷- نمودار Th/Yb در برابر Nb/Yb برگرفته از Pearce (۱۹۸۳) و Pearce و Peate (۱۹۹۵) محل قرارگیری نمونه‌های منطقه را شوشونیتی نشان می‌دهد.

نمودار Ce/Yb در برابر Ta/Yb برگرفته از Pearce (۱۹۸۲) از دیگر نمودارهای تفکیک سری‌های شوشونیتی از کالک‌آلکان و توله‌ایتی است. با این پیش فرض، محل قرارگیری نمونه‌های منطقه کوه گذارسایه، شوشونیتی هستند (شکل ۸).



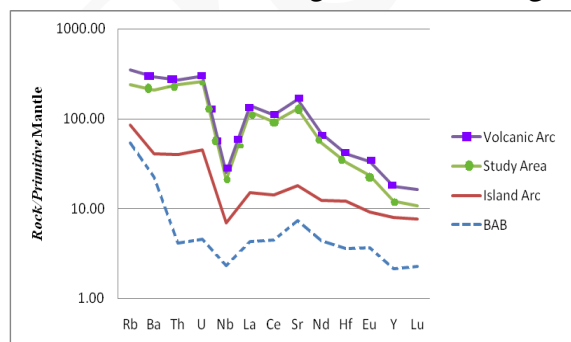
شکل ۸- نمودار Ce/Yb در برابر Ta/Yb از Pearce (۱۹۸۲) محل قرارگیری نمونه‌های منطقه کوه گذارسایه را شوشونیتی نشان می‌دهد.

بررسی نمودارهای REE و عنکبوتی

از نمودارهای عنکبوتی برای تعیین کیفی نوع سنگ منشأ، کیفیت ذوب بخشی سنگ منشأ، تبلور جزئی ماگما و همچنین، تفکیک سری‌های ماگمایی استفاده می‌شود. البته هر گونه تعبیر و

کم Y، Nb و Ti می‌تواند دلیلی بر منشأ اکلوزیت و یا گارنت-اکلوزیت باشد (Leube *et al.*, 1990). همچنین، Martin (۱۹۹۹) معتقد است تبلور همزمان آمفیبول/پیروکسن با پلاژیوکلاز می‌تواند سبب حذف و تعدیل آنومالی Eu شود. در این نمودارها غنی‌شدگی نمونه‌ها از عناصر خاکی کمیاب سبک و نبود آنومالی منفی Eu دیده می‌شود که می‌تواند نشان‌دهنده حضور پلاژیوکلازهای کلسیک به عنوان عامل کنترل‌کننده تحول ماگما، حضور نداشتن آنها در فاز باقی مانده و یا فعالیت بالای O₂ در سنگ‌های منطقه باشد (Rollinson, 1993). در این نمودار، آنومالی منفی عناصر Ni و Cr شاید به علت آن است که این عناصر در هنگام ذوب بخشی سنگ منشأ وارد مذاب نشده‌اند. زیرا کلینوپیروکسن و الیون در سنگ‌های منطقه دیده می‌شوند.

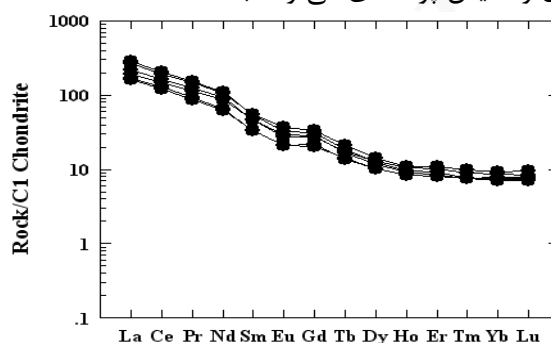
در نمودارهای عناصر فرعی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه بر اساس داده‌های Sun و McDonough (۱۹۸۹) داده‌های سه منطقه قوس آتشفشانی، جزایر آتشفشانی و حوضه‌های پشت قوس‌های آتشفشانی با منطقه مورد بررسی مقایسه شده است. در این نمودار، به خوبی تطابق روندی میان نمودار عنکبوتی سنگ‌های قوس آتشفشانی و منطقه مورد بررسی نشان داده شده است (شکل ۱۱).



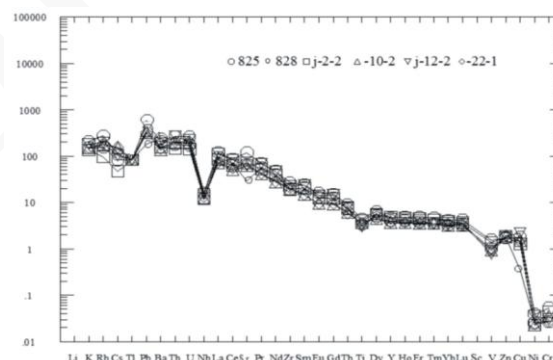
شکل ۱۱- نمودارهای عناصر فرعی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) نشان‌دهنده تطابق روندی میان نمودار عنکبوتی سنگ‌های قوس آتشفشانی و منطقه بررسی شده است.

تهی‌شدگی در عناصر Ti، Nb و V، غنی‌شدگی از Pb و نبود آنومالی منفی بالا برای عنصر شناخته شده Eu دیده می‌شود.

عناصر HFSE نسبت به LILE غنی‌شدگی کمتری دارند. غنی بودن ماگما از عناصر LILE و آنومالی مثبت Pb به علت عبور ماگما از پوسته قاره‌ای و آرایش پوسته‌ای می‌تواند باشد.



شکل ۹- نمودار عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت بر اساس داده‌های (Sun and McDonough, 1989)



شکل ۱۰- نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) برای سنگ‌های آتشفشانی مطالعه شده

غنی‌شدگی LILE و تهی‌شدگی HFSE از مشخصه‌های ماگماتیسم زون فرورانش است و از ویژگی‌های ماگماهای شوشونیتی محسوب می‌شود (Foley and Wheller, 1980; Saunders *et al.*, 1980). Hoernes و Jung (۲۰۰۰) معتقدند فقدان آنومالی منفی Eu نسبت به عناصر واسطه مجاور آن می‌تواند نشانه تفریق پلاژیوکلازها در فشار بالا باشد. از سوی دیگر، نبود آنومالی منفی Eu، میزان

سنگ منشأ

به عقیده Mattsson و Oskarsson (۲۰۰۵) نسبت پایین Ce/Yb در بازالت‌ها حاکی از درجه ذوب بخشی بالا و وجود اسپینل در فاز باقی مانده بوده، نسبت بالای Ce/Yb نشان‌دهنده درجه ذوب بخشی اندک و وجود گارنت در فاز باقی مانده است. با توجه به نسبت بالای Ce/Yb در سنگ‌های منطقه که از نمودار شکل ۸ برداشت می‌شود، نقش گارنت در سنگ منشأ و فرآیندهای ذوب شایان توجه است.

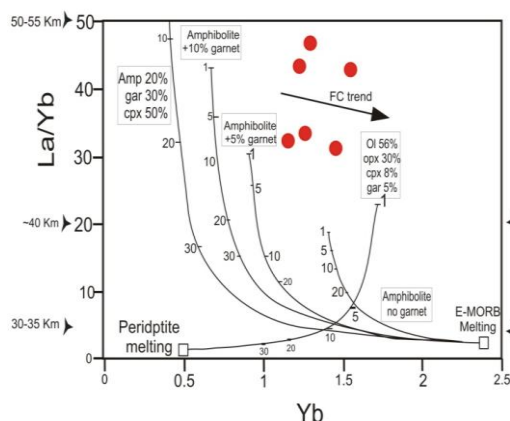
حساسیت توزیع REE‌ها نسبت به حضور گارنت در سنگ منشأ باقی مانده، نقش مهمی در ایجاد روندهای تفریقی REE بازی می‌کند (Coban, 2007). بر همین اساس، نمودارهایی بر اساس نسبت عناصر نادر برای بررسی سنگ منشأ ارائه شده است. با حضور گارنت در مذاب‌های بخشی گوشته، نسبت Sm/Yb در مقایسه با حالتی که گارنت حضور ندارد سریع‌تر افزایش می‌یابد (Hawkesworth et al., 1994). با توجه به شکل ۱۲ می‌توان حضور گارنت در باقی مانده ذوب را به وضوح مشاهده نمود (Curtis et al., 1999). طی پژوهش‌های انجام شده، حضور آمفیبولیت‌ها و اکلوژیت‌ها در پهنه‌های فرورانشی پذیرفته شده و نیز تولید ماگمای بازالتی از یک پروتولیت اکلوژیته به طور تجربی انجام شده است. حضور دو کانی امفاسیت و پیروپ در اکلوژیت‌ها می‌تواند تأثیر بالایی در مواد مذاب به دست آمده از آن داشته باشد. به این صورت که در عمق و فشارهای مختلف جدا شدن امفاسیت از مذاب می‌تواند سبب ایجاد ماگمای توله‌ایتی و جدایش گارنت می‌تواند

یک ماگمای آلکالی بازالت را به وجود آورد (Yoder and Tilley, 1962). بنابراین، منشأ یک ماگمای آلکالی‌بازالتی همراه با کانی‌های آبدار فراوان، می‌تواند یک آمفیبولیت گارنت‌دار یا اکلوژیت گارنت‌دار باشد.

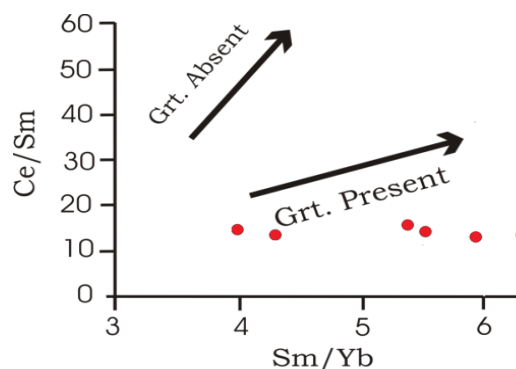
برای آگاهی از کانی‌شناسی سنگ منشأ نیز از نمودار رقومی ضریب Yb در برابر La/Yb از Bart و همکاران (۲۰۰۲) و Van Westrenen و همکاران (۲۰۰۰) استفاده شده است. با توجه به شکل ۱۳ می‌توان منشأ سنگ‌ها را آمفیبولیت‌هایی حاوی صفر تا ده درصد گارنت در نظر گرفت.

تعیین جایگاه تکتونیکی

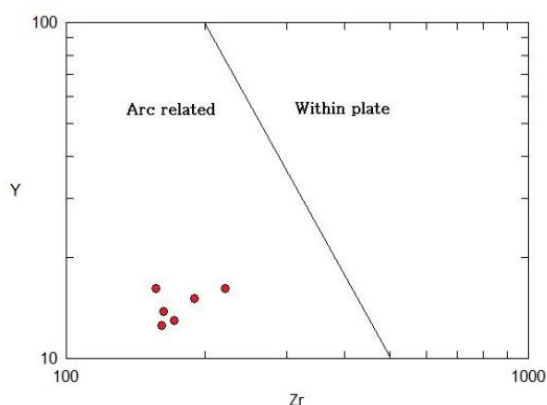
بررسی ژئوشیمی سنگ‌های شوشونیتی منطقه در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ (Müller and Groves, 1997) بیانگر یک محیط تکتونیکی وابسته به قوس ماگمایی است. نمودار Nb/U در برابر Nb (Hofmann et al., 1986) موقعیت قوس آتشفشانی را برای سنگ‌های مطالعه شده نشان می‌دهد (شکل ۱۶). در این نمودار، محدوده‌های تعیین شده برای MORB، OIB و Arc Volcanic توسط Hofmann و همکاران (۱۹۸۶)؛ Hart و Reid (۱۹۹۱)؛ Edwards و همکاران (۱۹۹۴)؛ Miller و همکاران، Kersting و Arculus (۱۹۹۵) و Pearce و همکاران (۱۹۹۵) ارائه شده است. نمودار Zr/Y برابر Nb/Y که توسط Condie (۲۰۰۳) ارائه شده نیز تأییدکننده قوس‌های آتشفشانی درون قاره‌ای برای سنگ‌های آتشفشانی مطالعه شده است (شکل ۱۷).



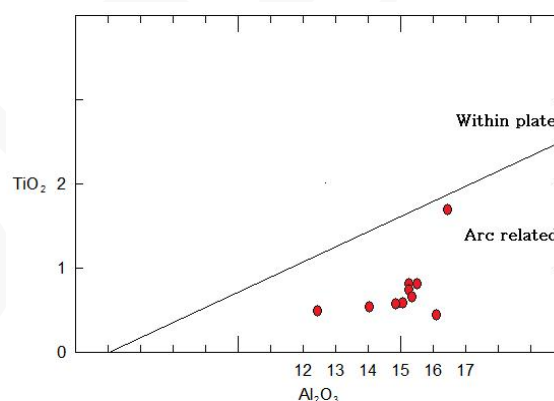
شکل ۱۳- نمودار دوتایی Yb در برابر La/Yb از Bart و همکاران (۲۰۰۲) و Van Westrenen و همکاران (۲۰۰۰) حاکی از سنگ منشأیی با صفر تا ده درصد گارنت است. این نمودار بر اساس داده‌های E-MORB از Sun و McDonough (۱۹۸۹) ترسیم می‌شود.



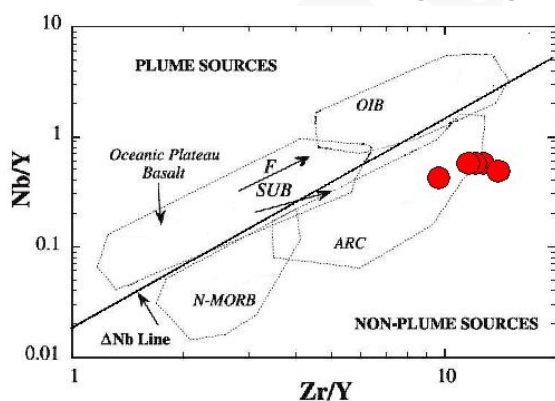
شکل ۱۲- روندهای مشاهده شده در نمودار Ce/Sm در برابر Sm/Yb برای سنگ‌های آتشفشانی منطقه (Curtis et al., 1999)



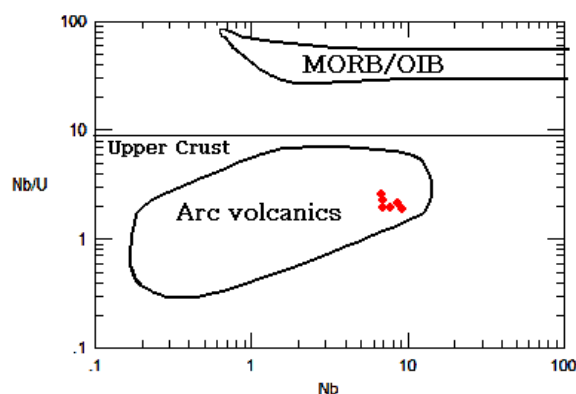
شکل ۱۵- نمودار Y در برابر Zr موقعیت تکتونوماگمایی را از نوع قوسی نشان می‌دهد (Müller and Groves, 1997).



شکل ۱۴- نمودار اکسید عناصر اصلی TiO2 در برابر Al2O3 نشان‌دهنده موقعیت قوسی سنگ‌ها است (Müller and Groves, 1997).



شکل ۱۷- نمودار Nb/Y در برابر Zr/Y موقعیت قوس را نشان می‌دهد (Weaver, 1991; Condie, 2003). محدوده‌های مشخص شده به صورت: ARC = بازالت‌های کمان آتشفشانی، N-MORB = بازالت‌های جزایر اقیانوسی نوع N، OIB = بازالت جزایر اقیانوسی است.



شکل ۱۶- نمودار Nb/U در برابر Nb نمونه‌ها را در موقعیت یک قوس آتشفشانی نشان می‌دهد (Hofmann et al., 1986).

نتیجه گیری

بررسی ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی کوه گدارسیاه در جنوب غرب جندق در کنار بررسی‌های صحرایی و کانی‌شناسی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها شامل بازالت، آندزیت بازالت، تراکی آندزیت، آندزیت و داسیت و دارای ماهیت شوشونیتی هستند. این سنگ‌ها از محتوای بالای K_2O ، Ta/Yb ، Th/Yb ، Ce/Yb و TiO_2 پایین برخوردار هستند. شیب منفی نمودارهای REE، نسبت عناصر نادر، غنی‌شدگی از LILE و تهی‌شدگی از HFSE و آنومالی مثبت Pb بیانگر ویژگی‌های ماگمای کالک‌آلکالن و شوشونیتی است که در یک قوس آتشفشانی قاره فوران یافته است. همچنین، بر اساس نسبت عناصر نادر و ترکیب گوشته در مناطق قوس آتشفشانی می‌توان یک منشأ گارنت

آمفیبولیت با درجه ذوب بخشی پایین را به عنوان سنگ منشأ ذوب شده (عدم شرکت گارنت در فرآیند ذوب) در تشکیل ماگمای سنگ‌های آتشفشانی کوه گدارسیاه در نظر داشت. نمودارهای مشخص‌کننده محیط تکتونیکی که بر مبنای اکسیدهای اصلی کم تحرک و نیز عناصر فرعی ارائه شده‌اند، محیط تشکیل این سنگ‌ها را قوس آتشفشانی معرفی می‌کند که ویژگی یک ماگماتیسم مرتبط با فروران مناطق قاره‌ای است.

سپاسگزاری

از حمایت‌های مالی تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان سپاسگزاریم.

منابع

- Azizi, H. and Jahangiri, A. (2008) Cretaceous subduction-related volcanism in the northern Sanandaj-Sirjan zone, Iran. *Journal of Geodynamics* 45: 178-190.
- Bahadoran, N. (2007) Geochemistry and petrology of volcanic rocks in western regions of Arusan in Kabudan (South of Chupanan-north-east of Isfahan). MSc thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran (in Persian).
- Bart, M. G., Foley, S. F. and Horn, I. (2002) Partial melting in Archean subduction zones: constraints from experimentally determined trace elements partition coefficients between eclogitic material and tonalitic melts under upper mantle conditions. *Precambrian Research* 113: 323-340.
- Coban, H. (2007) Basalt magma genesis and fractionation in collision- and extension- related provinces: A comparison between eastern, central and western Anatolia. *Earth Science Reviews* 80: 219-238.
- Condie, K. C. (2003) Incompatible element ratios in oceanic basalts and komatiites: Tracking deep mantle sources and continental growth rates with time. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 4(1): 1-28.
- Curtis, M. P., Leat, T., Riley, B., Storey, I., Millar, D. and Randall, J. (1999) Middle Cambrian rift-related volcanism in the Ellsworth Mountains, Antarctica: tectonic implications for the palaeo-Pacific margin of Gondwana. *Tectonophysics* 304: 275-299.
- Darvishzadeh, A. (2004) *Geology of Iran*. Amirkabir Publication, Tehran (in Persian).
- Edwards, C. M., Menzies, M. A., Thirlwall, M. F., Morris, J. D., Leeman, W. P. and Harmon, R. S. (1994) The transition to potassic alkaline volcanism in island arcs: the Ringgit-Beser complex, east Java. *Indonesia Journal of Petrology* 35: 1557-1595.
- Foley, S. and Wheller, G. (1990) Parallels in the origin of the geochemical signatures of island arc volcanics and continental potassic igneous rocks: the role of residual titanites. *Chemistry Geology* 85: 1-18.

- Hart, S. R. and Reid, M. R. (1991) Rb/Cs fractionation: a link between granulite metamorphism and the S-process. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 55: 2379-2383.
- 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* 48: 2341-2357.
- Hawkesworth, C. J., Gallagher, K., Hergt, J. M. and McDermott, F. (1994) Destructive plate margin magmatism: geochemistry and melt generation. *Lithos* 33: 169-188.
- Hofmann, A. W., Jochum, K. P., Seufert, M. and White, W. M. (1986) Nb and Pb in oceanic basalts: new constraints on mantle evolution. *Earth and Planetary Science Letters* 79: 33-45.
- Jung, S. and Hoernes, S. (2000) The major- and trace-element and isotope (Sr, Nd, O) geochemistry of Cenozoic alkaline rift-type volcanic rocks from the Rhön area (central Germany): petrology, mantle source characteristics and implications for asthenosphere-lithosphere interactions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 99: 27-53.
- Karimpour, M. H. (1998) Igneous petrology and magmatic ore deposit, Mashhad Publication, Mashhad (in Persian).
- Kelemen, P. B., Johnson, K. T. M., Kinzler, R. J. and Irving, A. J. (1990) High-field-strength element depletions in arc basalts due to mantle-magma interaction. *Nature* 345: 521-524.
- Kersting, A. B., Arculus, R. J. (1995) Pb isotope composition of Klyuchevskoy volcano, Kamchatka and North Pacific sediments: implications for magma genesis and crustal recycling in the Kamchatkan arc. *Earth and Planetary Science Letters* 136: 133-148.
- Kretz, R. (1983) Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277-279.
- Le Bas, M. J., LeMaitre, R. W., Streckeisen, A. and Zanettin, B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica diagram. *Journal of Petrology* 27: 745-750.
- Leube, A., Hirdes, W., Mauer, R. and Kesse, G. O. (1990) The early Proterozoic Birimian Supergroup of Ghana and some aspects of its associated gold mineralization. *Precambrian Research* 46: 139-165.
- Mahmoudabadi, L., Tabatabaei manesh, M. and Torabi, Gh. (2012) Petrography and mineral chemistry of Eocene volcanic in the southwest of Jandaq (Northeast of Isfahan). *Petrology* 3(10): 95-107 (in Persian).
- Martin, H. (1999) Adakitic magmas: modern analogues of Archean granitoids. *Lithos* 46: 411-429.
- Mattsson, H. B. and Oskarsson, N. (2005) Petrogenesis of alkaline basalts of the tip of a propagating rift: evidence from the Heimaey volcanic center, south Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 147: 254-267.
- Miller, D. M., Goldstein, S. L. and Langmuir, C. H. (1994) Cerium/lead and lead isotope ratios in arc magmas and the enrichment of lead in the continents *Nature* 368: 514-520.
- Moin vaziri, H. (1996) An introduction to the magmatism in Iran. Tarbiyat Moallem University Publication, Tehran (in Persian).
- Müller, D. and Groves, D. I. (1997) Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization. Springer, Verlag, Berlin.
- Nogol-Sadat, M. A. A. (1994) Seismotectonic map of Iran. Treatise on the geology of Iran 1:1000,000 Geological Survey of Iran, Tehran.

- Patino, L. C., Carr, M. J. and Feigenson, M. D. (2000) Local and regional variations in Central American arc lavas controlled by variations in subducted sediment input. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 138: 265-283.
- Pearce, J. (1983) Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: *Continental basalts and mantle xenoliths* (Eds. Hawkesworth, C. J. and Norry, M. J.) 230-249. Shiva Publications, Nantwich.
- Pearce, J. A. (1982) Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: *Andesites: orogenic andesites and related rocks* (Ed. Thorpe, R. S.) 525-548. Wiley, Chichester.
- Pearce, J. A. and Peate, D. W. (1995) Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Earth and Planetary Science Letters* 23: 251-285.
- Pearce, J. A., Baker, P. E., Harvey, P. K. and Luff, I. W. (1995) Geochemical evidence for subduction fluxes, mantle melting and fractional crystallization beneath the South Sandwich island arc. *Journal of Petrology* 36: 1073-1109.
- Peccerillo, A. 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.
- Rollinson, H. (1993) *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific and Technical, London.
- Saunders, A. D., Tarney, J. and Weaver, S. D. (1980) Transverse geochemical variations across the Antarctic Peninsula: implications for the genesis of calc-alkaline magmas. *Earth and Planetary Science Letters* 46: 344-360.
- Sayyari, M. (2006) Petrology of Eocene volcanic rocks in north of Anarak region (Northeast of Isfahan province). MSc thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran (in Persian).
- Sun, S. S. and Hanson, G. N. (1975) Origin of Ross Island basanitoids and limitations upon the heterogeneity of mantle sources for alkali basalts and nephelinites. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 52: 77-106.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in ocean basins*. *Journal of Geological Society of London Special Publication* 42: 313-345.
- Technoexport (1974) Geology of Jandaq area (Central Iran). Report TE/No. 4: 96, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Technoexport (1984) Geology of the Khur area (Central Iran), Report TE/No. 20: 99-101, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Torabi, Gh. (2006) petrology of volcanic shoshonites in south of Ashin, and age determination of igneous carbonates by using the fission track method (West of Anarak, north-east of Isfahan province). *Research Journal of University of Isfahan* 3: 1-12 (in Persian).
- Van Westrenen, W., Blundy, J. D. and Wood, B. J. (2000) High field strength element/rare earth element fractionation during partial melting in the presence of garnet: implications for identification of mantle heterogeneities. *Geochemical Geophysics Geosystem* 2: 2000GC000133.
- Wass, S. Y. and Rogers, N. W. (1980) Mantle metasomatism-precursor to alkaline continental volcanism. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44: 1811-1823.
- Weaver, B. L. (1991) The origin of ocean island basalt end-member compositions: trace element and isotopic constraints. *Earth and Planetary Science Letters* 104: 381-397.

- Wellman, H. W. (1966) Active wrench faults of Iran, Afghanistan and Pakistan. *Geologische Rundschau* 55 :716-735.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A. (1977) Geochemical classification of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20: 325-343.
- Yoder, H. S. and Tilley C. E. (1962) Origin of basaltic magmas: an experimental study of natural and synthetic rock systems. *Journal of Petrology* 27: 1095-1117.

Geochemistry of the Eocene volcanic rocks in the SW of Jandaq (NE of Isfahan province)

Seyed Mohsen Tabatabaei manesh *, Leila Mahmoodabadi and Akram Sadat Mirlolhi

Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract

The Eocene volcanic rocks in the SW Jandaq that outcrop in the south of Doruneh fault constitute a part of the Central Iran zone. The predominant rocks consist of basalt andesite, trachyandesite and dacite that porphyritic, microlitic porphyritic and hyaloporphyrict textures are common. The essential minerals are represented by intermediate plagioclase, diopside, augite, phlogopite and magnesiohastingsite and the secondary minerals are Fe -oxide and chlorite. Based on geochemical data, these rocks belong to high-K calc-alkaline and shoshonitic series which with K_2O , Ta/Yb, Th/Yb and Ce/Yb. Lava eruption in subduction setting can be demonstrated by highly negative Nb and Ti anomalies, and also by comparison with mantle normalized trace element trend with that of the volcanic arc. In addition, the discrimination diagrams (TiO_2/Al_2O_3 and Zr/Y) display a continental volcanic arc setting for these rocks. The REE patterns (chondorite normalized) and their ratios plus positive Pb anomaly, point to the effective role of low grade partial melting of a metasomatized mantle and garnet amphibolites source accompanied by crustal contamination in the course of formation these rocks.

Key words: Shoshonite, Geochemistry, Volcanic arc, Eocene, Jandaq, Isfahan, Central Iran

* tabataba@sci.ui.ac.ir