

مطالعه پتروگرافی، ژئوشیمی و تعیین خاستگاه سنگ‌های بازالتی شمال شرق قروه (کردستان)

اشرف ترکیان * و نفیسه صالحی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

چکیده

در شمال شرق استان کردستان، تعداد زیادی مخروط آتشفشانی وجود دارد که ترکیب آنها بازالتی است. بررسی‌های پتروگرافی مشخص می‌کند در این سنگ‌ها کلینوپیروکسن و الیوین به صورت فنوکریست و پلاژیوکلاز و پیروکسن به شکل ریزبلور هستند و فضای بین آنها را کانی‌های اپاک و شیشه قهوه‌ای رنگی پُر کرده است. پیروکسن‌های دارای منطقه‌بندی ترکیبی و بافت غربالی در آنها نشانه‌هایی از آلاینش پوسته‌ای و ناعادلی ماگمایی محسوب می‌شود. سرشت ماگمایی این سنگ‌ها آلکالن است و در نورم ۵ تا ۱۴ درصد نفیلین دارد. نمودارهای هارکر بیانگر وقوع فرآیند تبلور تفریقی است. به طوری که کاهش MgO با کاهش CaO ، Cr ، FeO ، Ni و TiO_2 و افزایش SiO_2 سازگار است. ویژگی‌های ژئوشیمیایی نظیر: غنی‌شدگی از $LILE$ ، محتوای بالای $LREE$ ، آنومالی منفی Nb ، Ta و Y ، آنومالی مثبت Ba ، Pb و Th ، غنی‌شدگی در Th/Yb ، گویای آن است که این گدازه‌های بازالتی از یک منبع گوشته‌ای لیتوسفریک غنی شده در نتیجه عملکرد سیالات فرورانشی منشأ گرفته‌اند. با تکیه بر نمودارهای متمایز کننده محیط تکتونیکی، سنگ‌های آتشفشانی مطالعه شده در یک محیط کشش درون قاره پس از برخورد قرار گرفته‌اند. مقادیر بالای $(Tb/Yb)_N$ و $(La/Yb)_N$ و مقادیر ناهنجاری Nb (بین ۰/۳۷ تا ۰/۹۸) نشان می‌دهد این ماگما از یک منبع گارنت‌لرزلویتی به وجود آمده است.

واژه‌های کلیدی: بازالت، آلکالن، آلاینش پوسته‌ای، آتشفشان، درون قاره‌ای، قروه، کردستان، پهنه سنج-سیرجان

مقدمه

آتشفشان‌های جوان شمال شرق قروه در بین طول‌های جغرافیایی $47^{\circ} 46'$ تا $47^{\circ} 59'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 18'$ تا $35^{\circ} 30'$ شمالی واقع شده‌اند. این آتشفشان‌ها به سن کواترنری (Moine vaziri and Amin Sobhani, 1988) در

امتداد خطی با جهت NW-SE به موازات راندگی زاگرس و در فاصله ۱۰۰ کیلومتری از تراس اصلی زاگرس در نوار دگرگونی-ماگمایی سنج-سیرجان قرار دارد. در پژوهش‌های Moine vaziri و Amin Sobhani (۱۹۸۸) این مراکز آتشفشانی به عنوان بخشی از کمربند آتشفشانی قروه-تکاب-بیجار و

جزو پهنه سندنجد-سیرجان معرفی شده است. اما بر مبنای مطالعات Azizi و Moine vaziri (۲۰۰۹) باید بخشی از کمر بند ماگمایی ارومیه-دختر باشد که حاصل یک رژیم تکتونیکی فرورانش در حاشیه فعال قاره است. در ارتباط با این منطقه، در این کمر بند دو سیکل ماگمایی توسط پژوهشگرانی مانند: Moine vaziri و Amin Sobhani (۱۹۸۸)، Malakotian و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است.

زمین‌شناسی منطقه

از نظر چینه‌شناسی در منطقه مطالعه شده، سنگ‌های متعلق به میوسن-پلیوسن و پلیئستوسن-هولوسن رخنمون دارد. قدیمی‌ترین سنگ‌ها به سن میوسن-پلیوسن شامل: توف، لاپیلی توف، مارن، کنگلومرا و لاهار، سنگ آهک رسی و مارن است. سنگ‌های پلیئستوسن-هولوسن، بازالت، بازانیت، تراکیت، تراکی‌آندزیت و لاتیت‌آندزیت است (شکل ۱). در برخی مناطق گدازه‌های بازالتی سطح لایه‌های رسوبی مربوط به میوسن زیرین (با ترکیب آهک رسی و مارنی) را پوشانده است (شکل ۲-۱). پادگانه‌های آبرفتی کهن، تراورتن و پادگانه‌های آبرفتی جوان و آبرفت‌های بستر رودخانه نهشته‌های کواترنری را تشکیل می‌دهد.

در شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی و موقعیت مراکز آتشفشانی بررسی شده ارائه شده است. به طور کلی، این مراکز در مناطق کوه قلعه‌پریان، ایلانلو، قزلجه‌کند و قره‌بلاغ رخنمون دارد. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که آنها دارای مخروط‌های کم ارتفاعی از جنس اسکوری، با حداکثر ارتفاع ۲۰۰ متر، است. گدازه‌ها به علت برخورداری از گرانیروی کم، تا صدها متر روی دشت‌ها جریان

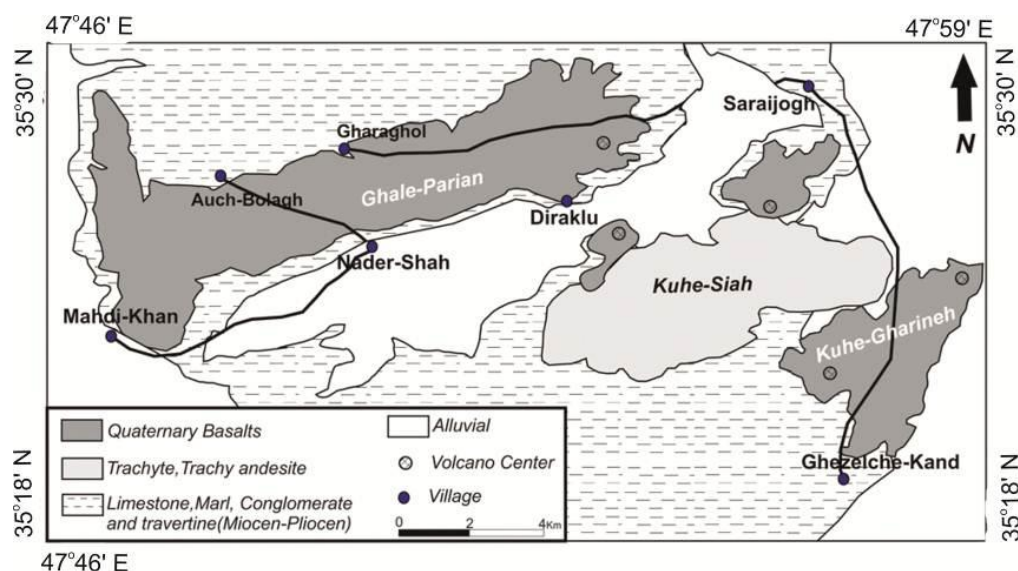
یافته است. در حوالی مراکز مطالعه شده، بمب‌های آتشفشانی دوکی‌شکلی، گاهی با قطر بیش از ۱/۵ متر، مشاهده شده است که در هسته آنها قطعاتی از بیگانه سنگ‌های گنیسی دیده می‌شود (شکل ۲-۲). وجود ارگ‌های بازالتی که اغلب پنج یا شش ضلعی هستند بیانگر سرد شدن گدازه‌هایی با گرانیروی کم در حوضچه‌های ماگمایی است (Darvishzadeh, 1982). در برخی موارد جریان گدازه به سبب حرارت بالای خود باعث پختگی افق‌های زیرین شده و رنگ سرخ آجری در آنها ایجاد کرده است (شکل ۲-۳). سنگ‌های آتشفشانی بررسی شده در نمونه دستی خاکستری روشن تا سیاه رنگ هستند و به لحاظ ضریب رنگینی، مزوکرات تا ملانوکرات (با ضریب رنگینی ۴۰ تا ۸۰) به حساب می‌آیند. در این سنگ‌ها ساخت از نوع حفره‌دار (با درجات متغیری از فراوانی حفره) و بیانگر تغییر محتوای گاز در آشیانه ماگمایی است. چنین به نظر می‌رسد که این سنگ‌های حفره‌دار در زمان اشباع بودن آشیانه از گاز به وجود آمده و با کاهش مقدار گاز نمونه‌هایی با تعداد حفرات کمتر تشکیل شده‌اند (شکل ۲-۴).

روش انجام پژوهش

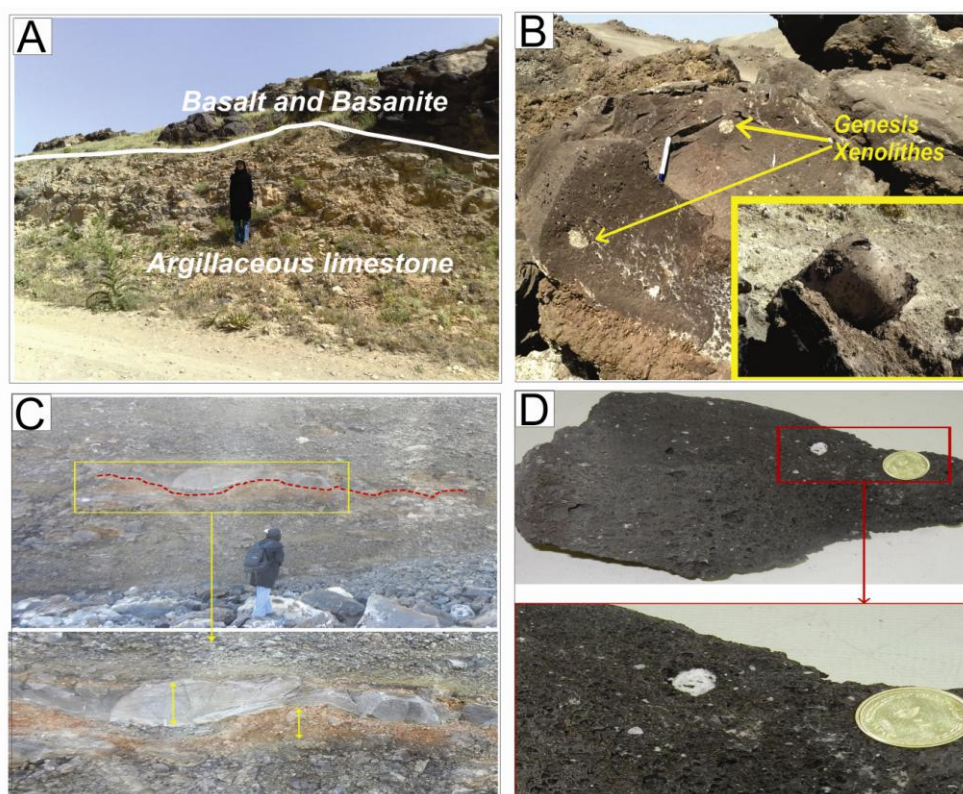
پس از جمع‌آوری اطلاعات موجود از منطقه مطالعه شده، طی پیمایش‌های صحرایی تعداد ۱۵۰ نمونه که معرف رخنمون تمام منطقه باشد برداشت شد. بیش از ۱۰۰ مقطع نازک میکروسکوپی به منظور مطالعات پتروگرافی در کارگاه مقطع نازک دانشگاه بوعلی‌سینا تهیه شد. در نهایت ۱۲ نمونه برای مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی انتخاب و در آزمایشگاه ژئوآنالیتیکال دانشگاه ایالتی واشنگتن (آمریکا) با روش ICP-MS و XRF، به منظور تعیین مقادیر عناصر

Minpet نسخه 2.02 (Richard, 1995) و GCDkit نسخه 2.1.1 (Janousek et al., 2001) انجام شده است.

اصلی، فرعی و عناصر نادر خاکی، تجزیه شیمیایی شد. نتایج حاصل در جدول ۱ ارائه شده است. پردازش و ترسیم نمودارها توسط برنامه‌های



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آتشفشان‌های شمال شرق قروه کردستان (Hosseini, 1999)



شکل ۲- (A) محل تماس روانه‌های بازالتی و لایه‌های رسوبی در حوالی روستای نادرشاه؛ (B) حضور زینولیت‌های گنیسی در پیکره بمب‌های آتشفشانی؛ (C) لایه‌های خاک پخته (سرخ رنگ) در زیر جریان‌های گدازه در منطقه قزلجه‌کند؛ (D) سنگ‌های آتشفشانی شمال شرق قروه که در نمونه دستی خاکستری روشن تا تیره رنگ و ساخت ویزیکولار دارد.

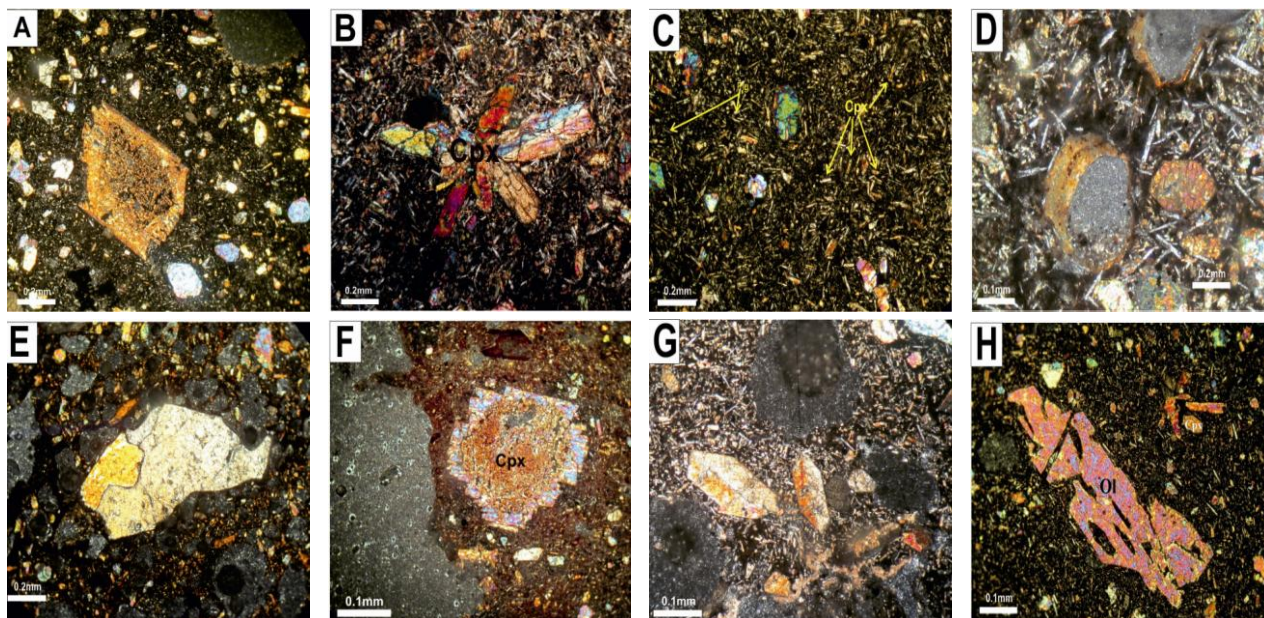
پتروگرافی

بافت غالب در گدازه‌های آتشفشان‌های شمال شرق قروه، میکرولیتی-پورفیری و حفره‌دار است. گاهی تجمع بلورهای کلینوپیروکسن سبب ایجاد بافت گلمروپورفیری شده است (شکل ۳-A و B). در برخی مراکز فورانی، تنوع در ابعاد بلورها از ۰/۳ تا ۰/۱۵ میلی‌متر بافت تدریجی را به نمایش می‌گذارد. ریزبلورها در برخی موارد وضعیت نیمه جریانی دارد. ترکیب گدازه‌ها بازالتی است و محتوای کانی‌های آنها شامل: پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیوین است. اما در برخی نمونه‌ها (به ویژه در منطقه قزلجه‌کند) بیوتیت و آمفیبول نیز مشاهده می‌شود. بنابراین، به لحاظ سنگ‌نگاری در زمره بازالت‌ها قرار می‌گیرد. در تمامی واحدهای آتشفشانی شمال شرق قروه، ریزبلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن قسمت عمده خمیره سنگ را تشکیل می‌دهند (شکل ۳-C و D). قطعاتی از بیگانه بلورهای کوارتز و فلدسپار با خوردگی‌های خلیجی در گدازه‌های بازالتی این منطقه دیده می‌شود (شکل ۳-E). از درشت‌بلورهای

غالب موجود در این سنگ‌ها می‌توان به کلینوپیروکسن، الیوین و بیوتیت اشاره کرد. کلینوپیروکسن‌ها، دیوپسید هستند (داده‌های منتشر نشده) و اغلب دارای ماکل کارلسباد هستند. همچنین، در مواردی، منطقه‌بندی ترکیبی و بافت غربالی در آنها مشاهده شده است (شکل ۳-F و G).

الیوین، بعد از پیروکسن فراوان‌ترین کانی موجود در سنگ‌های مطالعه شده است که در امتداد شکستگی‌های سطحی خود تغییر ماهیت داده و به ایدینگزیت تبدیل شده است. در برخی از آنها فابریک اسکلتی دیده می‌شود (شکل ۳-H) که نشان از تغییر سرعت رشد آنها در شرایط مختلف است (Donaldson, 1976).

درشت‌بلورهای بیوتیت تنها در نمونه‌های گدازه‌های بازالتی واحد آتشفشانی قزلجه‌کند قابل مشاهده است. زینولیت‌های گنیسی موجود در سنگ‌های بازالتی این منطقه، به سبب به دام افتادن در مذاب بازالتی دما بالا، مواد فرار خود را از دست داده و متخلخل شده‌اند.



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی از بافت‌ها و کانی‌های بازالت‌های شمال شرق قروه؛ (A بافت پورفیریک؛ B بافت گلمروپورفیری حاصل از تجمع پیروکسن‌ها، C و D بافت میکرولیتی؛ E بیگانه بلور کوارتز؛ F بافت غربالی در بلورهای کلینوپیروکسن؛ G بلورهای کلینوپیروکسن در زمینه‌ای از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن؛ H ساختار اسکلتی در بلورهای الیوین (علایم اختصاری کانی‌ها برگرفته از Kertz (۱۹۸۳) است.

ژئوشیمی

نمونه‌ها بین ۴۵/۷۲ تا ۴۸/۸۴ است و به لحاظ

محاسبات نورم از ۵ تا ۱۴ درصد نفیلین برخوردار

هستند.

بر پایه داده‌های تجزیه سنگ کل (جدول ۱)

دامنه تغییرات SiO₂ (بر حسب درصد وزنی)

جدول ۱- داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی سنگ کل سنگ‌های آتشفشانی مطالعه شده در شمال شرق قروه کردستان

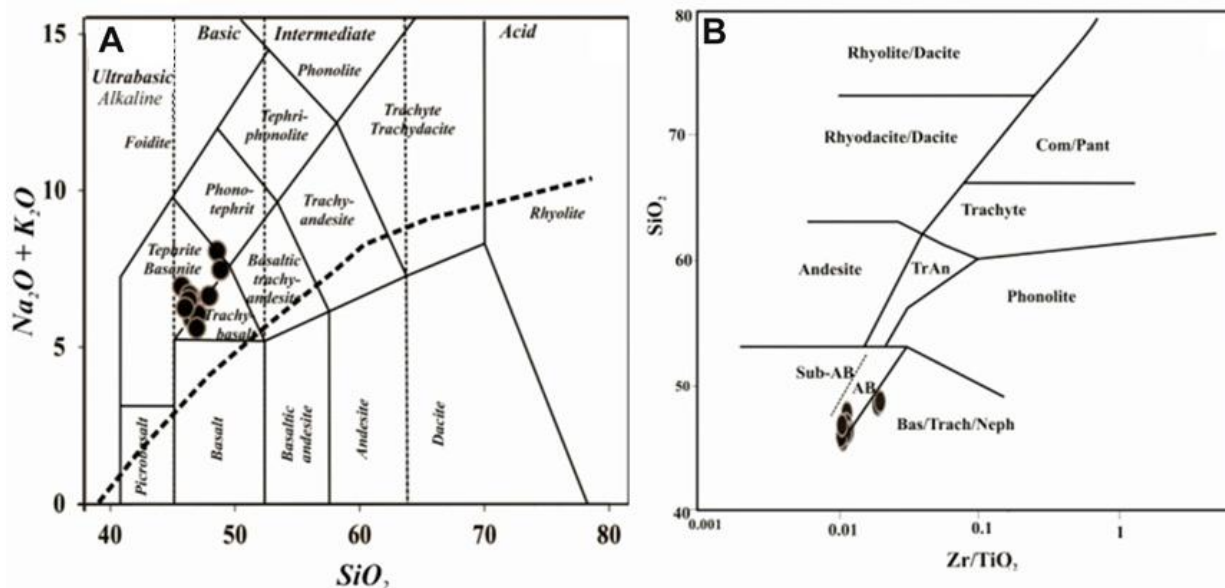
sample	D1	D2	N1	N2	G1	G2	GH.1	GH.2	U2	U1	M1	M2
SiO ₂	45.72	46.27	46.33	46.29	46.02	46.93	48.58	48.84	46.52	46.56	47.94	47.01
TiO ₂	2.276	2.344	2.085	2.098	2.33	2.347	1.71	1.530	2.16	2.23	2.1	2.02
Al ₂ O ₃	14.41	14.61	13.99	14.04	14.59	14.75	13.34	12.94	14.02	14.32	14.74	14.54
FeO*	9.49	9.92	9.18	9.13	9.85	9.88	7.24	6.57	9.29	9.50	8.98	8.94
MnO	0.144	0.148	0.139	0.141	0.148	0.143	0.12	0.121	0.14	0.14	0.14	0.141
MgO	9.69	9.92	9.29	9.51	9.65	9.59	7.76	7.39	9.51	9.43	8.58	8.70
CaO	10.44	9.45	10.92	10.87	10.15	9.83	11.21	13.54	10.36	9.99	9.79	11.37
Na ₂ O	4.05	5.39	3.89	3.77	4.76	4.63	4.59	4.11	4.27	4.59	4.98	3.58
K ₂ O	2.89	1.02	2.77	2.72	1.49	0.98	3.47	3.36	1.86	2.06	1.65	2.47
P ₂ O ₅	0.895	0.925	1.397	1.423	0.995	0.912	1.94	1.6	1.41	1.37	1.18	1.22
Total	100	99.99	99.99	99.99	99.98	99.99	99.95	100	100	99.99	99.89	99.98
Sc	18.4	15.9	16.3	15.7	18.1	19.2	13.2	12.3	17	17.1	15.9	16
V	188	192	169	171	173	197	142	120	177	171	166	159
Cr	262	281	277	283	258	262	176	188	306	288	252	244
Ni	180	192	188	200	178	193	169	160	188	200	169	164
Cu	43	40	40	38	46	50	65	63	37	46	43	38
Zn	98	102	111	111	102	99	121	105	116	117	114	107
Ga	19	21	19	19	20	21	20	18	20	21	21	19
Rb	45.2	50.4	48.5	45.5	17	26.7	160.28	57.4	21.27	37	19.8	44.6
Sr	1170	1236	1691	1645	1279	1292	2223	2326	1580	1623	1606	1651
Zr	241	248	240	233	241	245	320	298	252	258	227	226
Nb	44.03	45.96	46.15	45.30	45.08	45.45	45.54	41.91	48.63	47.9	43.5	43.95
Cs	0.92	0.95	1.33	1.32	1.85	1	1.75	1.64	1.41	1.50	1.27	1.25
Ba	765	765	1060	1060	776	806	4653	1607	1100	1075	934	1056
Hf	5.21	5.38	5.27	5.20	5.34	5.36	6.93	6.38	5.56	5.44	5.01	4.99
Ta	2.77	2.91	2.58	2.51	2.84	2.85	2.48	2.30	2.77	2.53	2.49	2.49
Pb	8.15	8.35	13.19	12.80	8.01	8.46	18.15	23.03	11.88	12.40	12.24	12.49
Th	9.06	9.36	13.99	13.71	0.32	9.39	24.47	23.56	14.36	13.20	12.53	12.80
U	2.21	1.95	3	2.91	2.24	2.14	4.56	4.24	1.91	2.62	2.09	2.81
La	68.63	71.60	108.35	106.37	75.45	70.36	160.28	139.4	104.85	99.92	99.18	101.24
Ce	127.5	134.95	204.67	201.29	143.54	133.26	292.41	267.1	193	188	184.16	187.74
Pr	14.37	14.95	22.76	22.33	15.76	14.68	33.12	30.42	21.46	21.24	20.30	20.71
Nd	52.25	53.95	80.11	79.31	57.28	53.23	118.80	109.1	79.48	76.28	72.06	73.01
Sm	8.99	9.37	12.72	12.51	9.78	9.13	17.86	16.39	12.25	12.18	11.67	11.73
Eu	2.65	2.78	3.41	3.29	2.82	2.75	4.55	4.22	3.31	3.27	3.13	3.22
Gd	6.81	7.09	8.65	8.52	7.25	7	10.81	9.88	8.59	8.55	8.18	8.10
Tb	0.93	0.96	1.13	1.08	0.97	0.97	1.24	1.17	1.12	1.10	1.08	1.07
Dy	4.86	4.99	5.54	5.44	5.02	4.98	5.68	5.32	5.61	5.52	5.50	5.44
Ho	0.84	0.85	0.92	0.9	0.86	0.85	0.93	0.84	0.95	0.29	0.93	0.92
Er	1.92	1.95	2.16	0.08	1.99	1.98	2.05	1.90	2.21	2.25	2.17	2.14
Tm	0.24	0.25	0.28	0.27	0.25	0.25	0.25	0.24	0.29	0.29	0.28	0.28
Yb	1.36	1.41	1.59	1.52	1.43	1.43	1.48	1.40	1.65	1.62	1.56	1.58
Lu	0.20	0.2	0.22	0.23	0.20	0.2	0.21	0.21	0.23	0.23	0.22	0.23
Y	20.77	21.14	23.63	22.59	21.15	21.28	23.39	21.72	24.23	24.51	23.51	23.64
(La/Yb)N	36.19	36.31	48.97	50.26	38	35.19	71.23	76.77	45.55	48.39	45.68	46.05
(Dy/Yb)N	2.38	2.35	2.33	2.39	2.35	2.32	2.53	2.57	2.27	2.39	2.36	2.30
(Tb/Yb)N	2.87	2.86	3	3.02	2.87	2.86	2.86	3.54	2.87	2.99	2.95	2.85
Ne%	13.03	11.17	9.91	8.91	5.29	5.42	12.54	11.91	5.98	6.16	8.21	6.65

است. مقدار Al_2O_3 با فرآیند تبلور تفریقی با ورود در پلاژیوکلازها رو به کاهش می‌گذارد (شکل ۵-F).

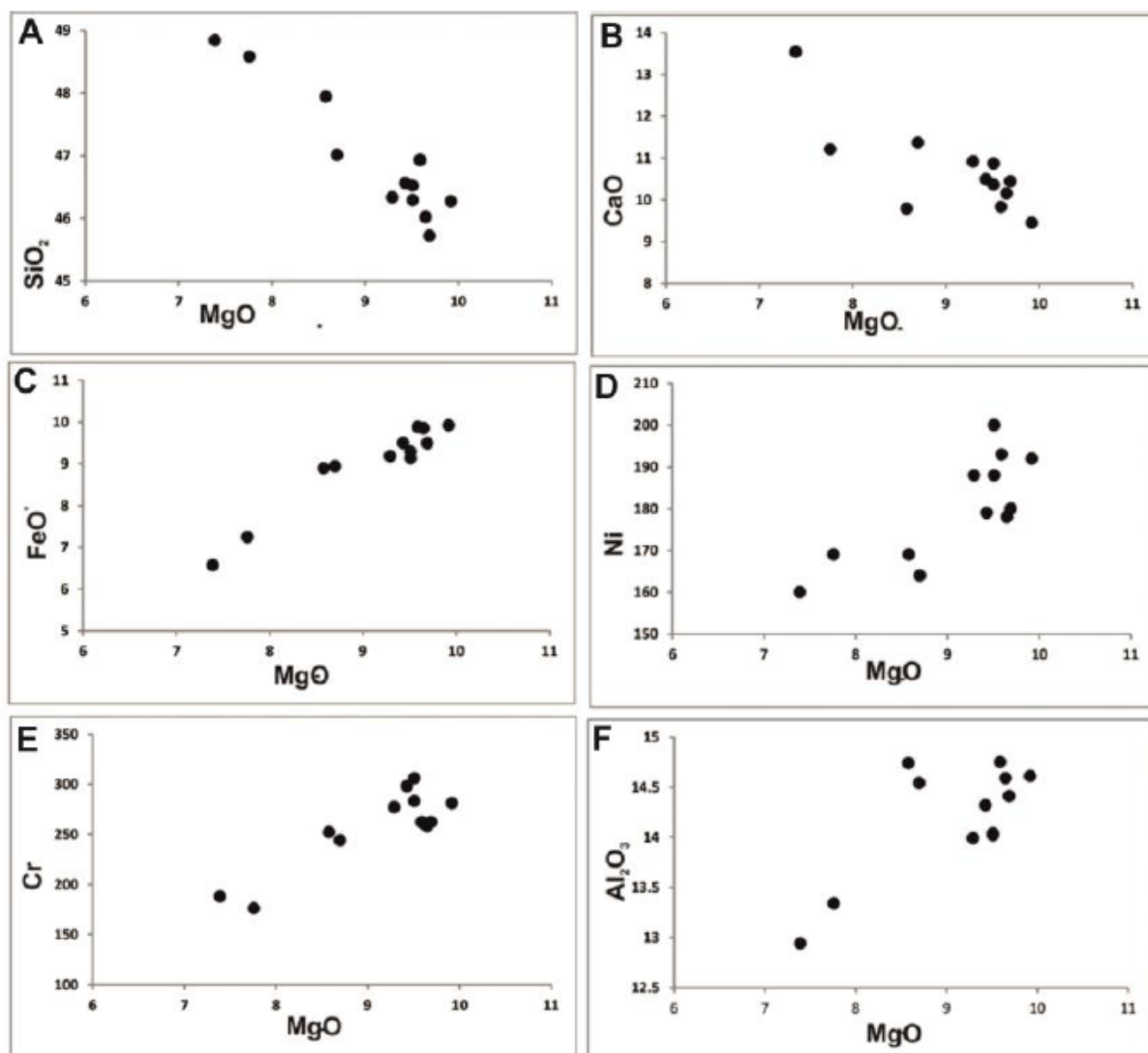
الگوهای پراکندگی عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت (Taylor and McLennan, 1985) (شکل ۶-A) و گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) (شکل ۶-B) گویای روندی شیب‌دار با غنی‌شدگی قابل ملاحظه عناصر نادر خاکی سبک نسبت به انواع سنگین آنها است. این شیب با توجه به نسبت $(La/Yb)_N$ که به طور میانگین حدود ۵۰ است، بر خاستگاه گوشته غنی‌شده، درجات کم ذوب بخشی منبع گوشته‌ای (Jung, 2003)، حضور گارنت در ناحیه منشأ (Temel et al., 2010)، وقوع درجاتی از آلایش پوسته‌ای (Verma, 2009)، نسبت بالای CO_2/H_2O در محیط (Hirschman, 1998) و نیز تبلور و جدایش کانی‌هایی مانند: الیوین و پیروکسن دلالت دارد.

نمونه‌های مطالعه شده در رده‌بندی‌های شیمیایی Le Maitre و همکاران (۱۹۸۹) و Winchester و Floyd (۱۹۷۵) در زمره سنگ‌های تراکی‌بازالت تا بازانیت-تفریت و در قلمرو سری آلکان قرار می‌گیرد (شکل ۴-A و B) و بر مبنای دسته‌بندی نورماتو Yoder و Tilly (۱۹۶۲) جزو فنولیت‌ها و بازانیت‌ها محسوب می‌شود.

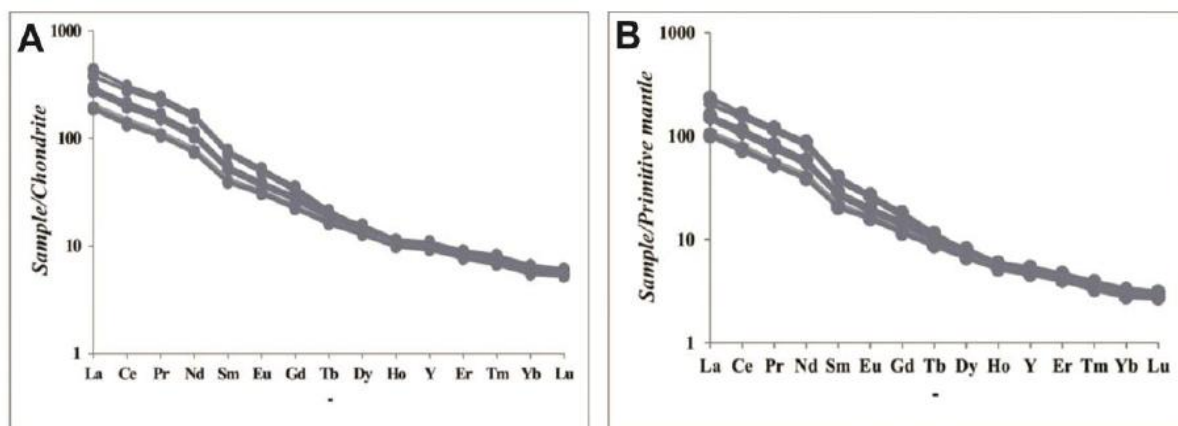
تغییرات فراوانی SiO_2 ، FeO ، CaO ، Al_2O_3 در مقابل MgO در نمودارهای هارکر به تصویر کشیده شده است. روند کاهش CaO و FeO همگام با کاهش MgO و پیشرفت فرآیند تبلور تا حدودی می‌تواند ناشی از ایجاد و جدایش کانی‌های الیوین، کلینوپیروکسن و به تبع آن نقش مؤثر آنها در واقعه تبلور تفریقی ماگما باشد (شکل ۵-B و C). این موضوع با همبستگی مثبت بین Ni ، Cr و MgO نیز تأیید می‌شود (جدول ۱ و شکل ۵-D و E) به نحوی که با کاهش Ni ، Cr جذب الیوین و Cr جذب کلینوپیروکسن‌ها شده



شکل ۴-A) موقعیت نمونه‌ها در نمودار رده‌بندی Le Maitre و همکاران (۱۹۸۹)؛ B) موقعیت نمونه‌ها در نمودار رده‌بندی Winchester و Floyd (۱۹۷۵)



شکل ۵- نمودار تغییرات اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی در برابر MgO برای سنگ‌های آتشفشانی شمال شرق قروه



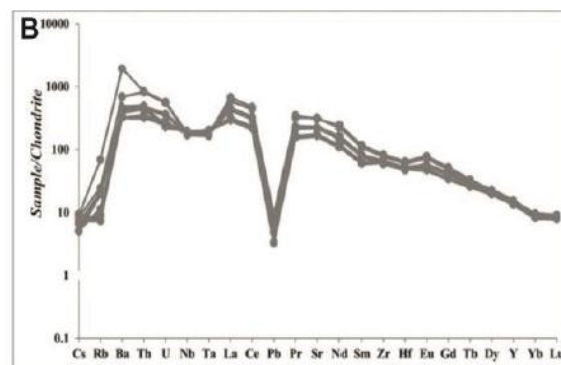
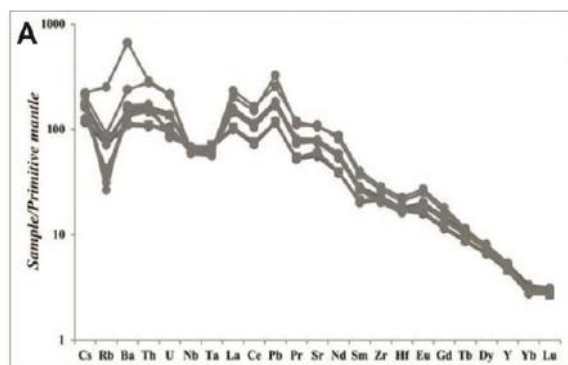
شکل ۶- نمودار تغییرات عناصر نادر خاکی برای نمونه‌های بازالتی آتشفشانی شمال شرق قروه (کردستان؛ A) بهنجارسازی شده با کندریت (Taylor and McLennan, 1985)؛ B) بهنجارسازی شده با گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989)

یافت. وقوع تغییر در ناحیه منشأ در نتیجه عملکرد سیالات مشتق شده از پوسته فروزانده، علاوه بر تغییر در مقدار La می‌تواند سبب افزایش U در ناحیه گوشته‌ای شود. از طرفی مقدار Nb/U در سنگ‌های پوسته زیرین معادل ۲۵ و در سنگ‌های پوسته فوقانی معادل ۸/۹۳ است (Krientinz *et al.*, 2006). در نمونه‌های بررسی شده این نسبت بین ۹/۴۹ تا ۲۶/۳۷ متغیر است.

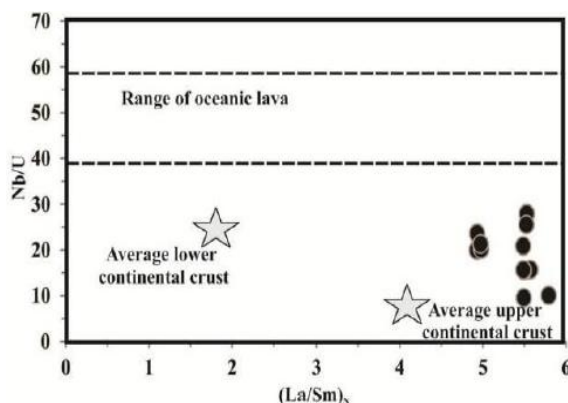
مقادیر Pb/Nd در بازالت‌های اقیانوسی شامل: مورب‌های نوع N و P و بازالت‌های جزایر اقیانوسی به ترتیب ۰/۰۶، ۰/۰۴ و ۰/۰۸ و در پوسته ۰/۶۳ است (Sun and McDonough, 1989). در سنگ‌های مطالعه شده Pb/Nd به طور میانگین معادل ۰/۲۹ است. مقدار Ba/Zr برای بازالت‌های قاره‌ای همراه با آرایش پوسته‌ای بین ۲ تا ۵ تغییر می‌کند. مقدار این نسبت در بازالت‌های بررسی شده به طور میانگین برابر با ۴ است (Fitton *et al.*, 1997).

نمودارهای چند عنصری سنگ‌های بازالتی منطقه مطالعه شده که در شکل ۷ ارائه شده است نشان می‌دهد که مقادیر عناصر Ba, Cs, La, Pb, Th و U آنومالی مثبت و عناصر Nb, Ta, Y و Yb آنومالی منفی دارد. نسبت Eu/Eu^* در این سنگ‌ها نزدیک به یک یا بزرگتر از یک است و چنان که در شکل ۷ مشاهده می‌شود این عنصر فاقد آنومالی است.

در نمودار Nb/U در برابر La/Sm (شکل ۸) نمونه‌های بررسی شده در نزدیکی محدوده ترکیبی پوسته قاره‌ای فوقانی قرار می‌گیرد. محتوای بالای U و La/Sm در این سنگ‌ها می‌تواند ناشی از رخداد تغییراتی در ناحیه منشأ و یا وقوع برهم‌کنش با سنگ‌های پوسته قاره‌ای فوقانی طی صعود به طرف سطح زمین باشد. به عقیده Krientinz و همکاران (۲۰۰۶) عنصر La به آرایش پوسته‌ای حساس بوده و مقادیر آن به سبب وقوع این فرآیند افزایش خواهد



شکل ۷- نمودار عنکبوتی گدازه‌های بازالتی شمال شرق قروه (بهنجارسازی شده با گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) و کندریت (Thompson, 1982)



شکل ۸- نمودار نسبت Nb/U در مقابل $(La/Sm)_N$ نمونه‌های مطالعه شده در نزدیکی محدوده ترکیبی مربوط به پوسته قاره‌ای فوقانی قرار گرفته‌اند. محدوده بازالت‌های اقیانوسی معرف ترکیب بازالت‌های آرایش نیافته است (Hofmann *et al.*, 1986). ترکیب پوسته قاره‌ای فوقانی و تحتانی از Rudnick و Funtain (۱۹۹۵) است.

تعیین محیط تکتونیکی

شواهد متعددی مانند مقدار بالای TiO_2 ، $(Nb/Y)/(Zr/P_2O_5 \cdot 10000)$ بربر بر خور داری سنگ‌های مطالعه شده از ویژگی‌های مناطق تکتونیکی درون صفحه‌ای تأکید می‌کند. Floyd و Winchester (۱۹۷۷) نشان دادند بازالت‌های آکالن درون صفحات قاره‌ای و اقیانوسی به لحاظ دارا بودن مقادیر Zr/Y و Ti/Y ، Nb/Y تفاوت چندانی با یکدیگر ندارد. نمودارهای متعددی برای تفکیک این بازالت‌ها ارایه شده است. از جمله آنها می‌توان به نمودار Wang و همکاران (۲۰۰۱) و Agrawal و همکاران (۲۰۰۸) (شکل A-۹ و B) اشاره نمود. در این نمودارها نمونه‌های بررسی شده همگی در منطقه بازالت‌های ریف‌ت قاره‌ای تصویر شده‌اند. از طرفی به لحاظ دارا بودن $K_2O/Na_2O < 1$ گدازه‌های بازالتی مناطق کوهزایی نیستند (Wilson and Downes, 2006).

به اعتقاد Verma (۲۰۰۹) ناهنجاری Nb می‌تواند مبنای تفکیک بازالت‌های محیط‌های مختلف باشد. به نحوی که مقدار $(Nb/Nb^*)_{pm}$ در جزایر قوسی و قوس‌های قاره‌ای پایین و به ترتیب ۰/۰۶ تا ۰/۳۴ است. حال آن که این شاخص در بازالت‌های ریف‌ت‌های درون قاره‌ای بین ۰/۳۷ تا ۰/۹۸ متغیر بوده و در مناطق پشت قوس مقدار آن به یک می‌رسد. بر اساس محاسبات انجام شده، ناهنجاری Nb یا شاخص $(Nb/Nb^*)_{pm}$ در سنگ‌های بازالت‌های شمال شرق قروه به طور میانگین ۰/۴۳ است (جدول ۱).

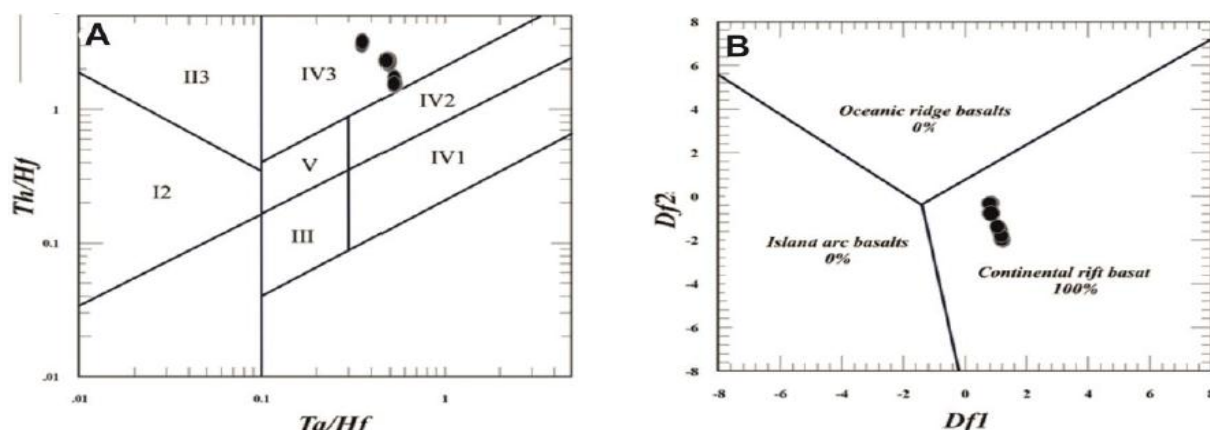
پتروژنز

از نمودارهای تغییرات عناصر اصلی، فرعی و الگوهای پراکندگی عناصر کمیاب خاکی و چند عنصری چنین استنتاج می‌شود که ماگمای مادر

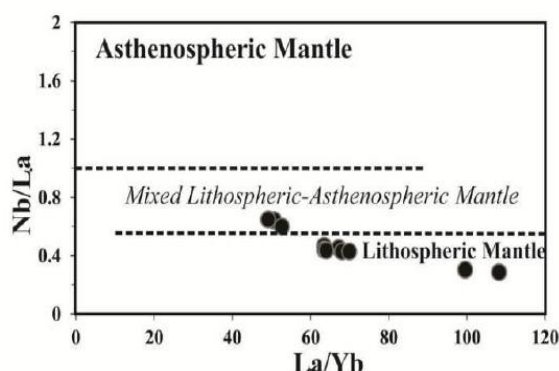
سنگ‌های بازالتی منطقه طبیعت گوشته‌ای داشته باشد. به اعتقاد Coban (۲۰۰۷) گارنت نقش مهمی در روند توزیع عناصر نادر خاکی دارد. وی از نمودار Ce/Sm در برابر Sm/Yb به منظور بررسی وجود یا عدم وجود گارنت در منشأ گوشته‌ای استفاده کرده است. موقعیت نمونه‌ها در این نمودار (شکل ۱۰) حضور گارنت در ناحیه منشأ را تأیید می‌کند.

Bradshaw و Smith (۱۹۹۴) معتقدند از آنجا که گوشته لیتوسفری در عناصر دارای شدت میدان بالا (HFSE) مانند Nb و Ta نسبت به عناصر نادر خاکی سبک (LREE) تهی شده‌تر است، مقادیر بالای Nb/La (> 1) ویژگی یک منبع استنوسفری شبیه به بازالت‌های جزایر اقیانوسی (OIB) و نسبت‌های پایین‌تر (< 0.5) شاهد وجود یک منبع لیتوسفری است. موقعیت سنگ‌های بازالتی شمال شرق قروه در نمودار Nb/La در برابر La/Yb (شکل ۱۱) بیانگر وجود یک منبع گوشته‌ای لیتوسفری برای بازالت‌های منطقه مطالعه شده است.

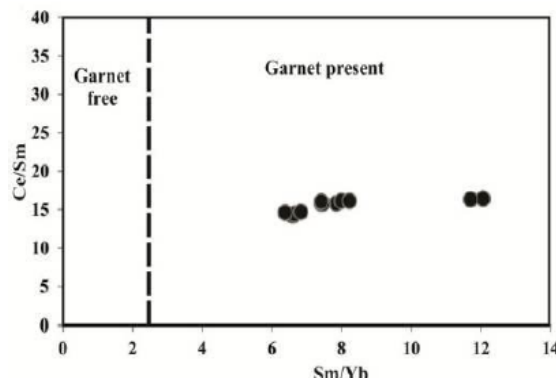
سیالات حاصل از پوسته فروزانده شده توانایی انتقال Th را دارد؛ اما عناصر Ta و Yb را با خود حمل نمی‌کند (Pearce, 1982). در صورتی که عامل فرورانش به طور مؤثر بر منشأ بازالت‌ها تأثیر گذار باشد، به ازای مقادیر ثابت از Ta/Yb، غنی‌شدگی در Th/Yb وجود خواهد داشت. در شکل A-۱۲ موقعیت نمونه‌های بررسی شده گویای دخالت مواد حاصل از فرورانش در ماگمای سازنده سنگ‌های منطقه است. نسبت عناصر متحرک به عناصر نامتحرک به طور مؤثر منعکس کننده اهمیت تأثیر فرورانش در منبع گوشته‌ای مذاب‌ها است (Woodhead et al., 2001). نسبت بالای Ba/La در نمونه‌های مطالعه شده بیانگر تأثیر سیالات حاصل از فرورانش در ماگمای گوشته‌ای نمونه‌های بررسی شده است (شکل B-۱۲).



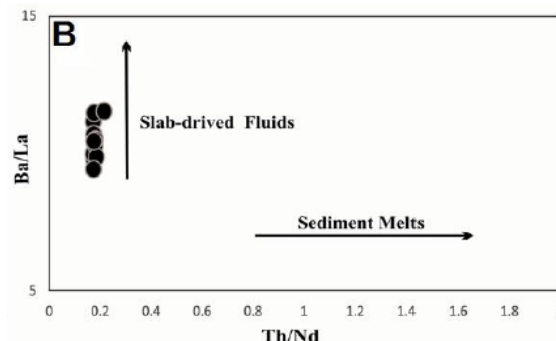
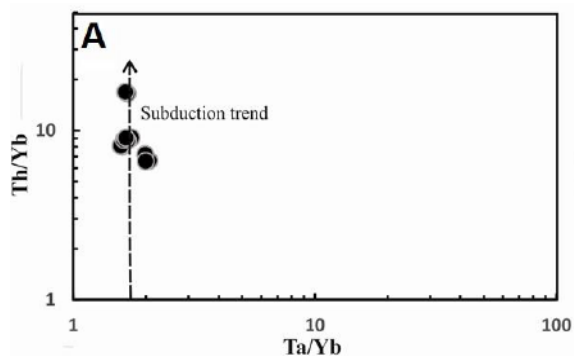
شکل ۹- A) موقعیت سنگ‌های آتشفشانی شمال شرق قروه در نمودار تعیین محیط تکتونیکی (Wang et al., 2001) محدوده‌های موجود در نمودار به این ترتیب تعریف شده‌اند: I= بازالت‌های ریف‌های اقیانوسی؛ II= حاشیه صفحات همگرا (II1= بازالت‌ها جزایر قوسی اقیانوسی؛ II2= جزایر قوسی حاشیه قاره+بازالت‌های قوس آتشفشانی حاشیه قاره)؛ III= بازالت‌های درون صفحات اقیانوسی (جزایر اقیانوسی + سی‌مونت‌ها+T-MORB+E-MORB)؛ IV= بازالت‌های درون صفحات قاره‌ای (IV1= ریف‌های درون قاره‌ای+ تولایت‌های ریف‌های حاشیه قاره؛ IV2= آلکالی بازالت‌های ریف‌های درون قاره؛ IV3= پهنه‌های کششی درون قاره، بازالت‌های ریف‌های آغازین) محل بازالت‌های بررسی شده در این پژوهش؛ V= بازالت‌های تنوره‌های گشته‌ای؛ B) موقعیت نمونه‌ها در نمودار (Agrawal et al., 2008). شاخص‌های $DF1 = -0.5558 \log(La/Th) - 1.4260 \log(Sm/Th) + 2.2935 \log(Yb/Th) - DF1$ و $DF2 = -0.9207 \log(La/Th) + 3.6520 \log(Sm/Th) - 1.9866 \log(Yb/Th) + 1.0574 \log(Nb/Th) - 4.4283 + 0.6890 \log(Nb/Th) + 4.1422$ بر پایه داده‌های عناصر جزئی محاسبه می‌شود.



شکل ۱۱- موقعیت نمونه‌ها در نمودار Nb/La در برابر La/Yb (Bradshaw and Smith, 1994).



شکل ۱۰- موقعیت نمونه‌ها در نمودار Ce/Sm در برابر Sm/Yb (Coban, 2007) حضور گارنت در ناحیه منشأ را نشان می‌دهد.

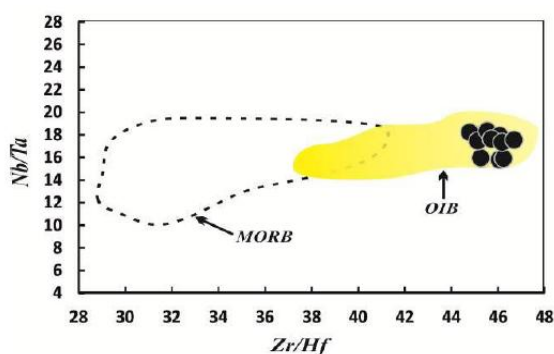


شکل ۱۲- A) موقعیت نمونه‌ها در نمودار Th/Yb در برابر Ta/Yb (Pearce, 1982)؛ بردار S مؤلفه فرورانش را نشان می‌دهد؛ B) موقعیت نمونه‌های بررسی شده در نمودار Ba/La در برابر Th/Nd (Zhengfu et al., 2013)؛ پیروی نمونه‌ها از روند سیالات حاصل از پوسته فرورانده شده نشان‌دهنده حضور سیالات در ناحیه منشأ بازالت‌های مطالعه شده است.

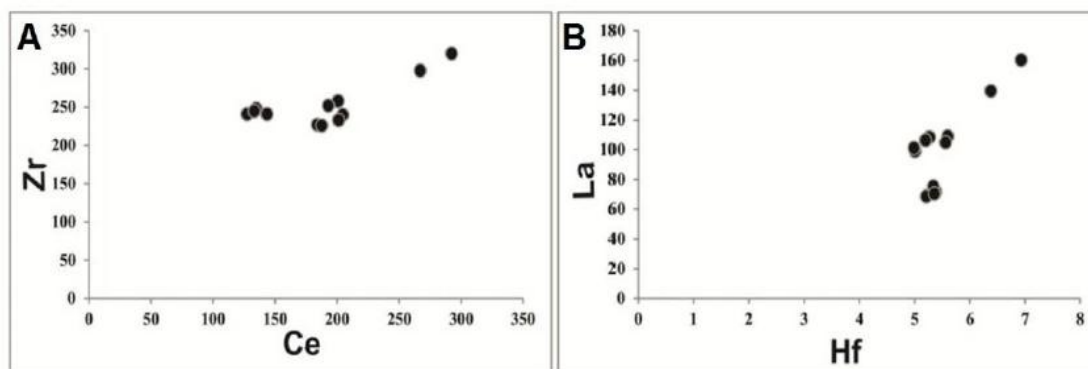
برابر عنصر ناسازگار شود. روند تغییرات اندک در نمودارهای Zr در برابر Ce ($Zr/Ce=0.91$ تا 0.52) و La در برابر Hf ($La/Hf=23.12$ تا 13.12) (شکل ۱۴) گویای ثابت نبودن نسبت عناصر ناسازگار به یکدیگر در نمونه‌ها است. از این گذشته، Furman (۲۰۰۷) معتقد است مقدار $(Tb/Yb)_N$ در گدازه‌های بازالتی مشتق از یک گوشته غنی شده با رخساره گارنت، بین $2/7$ تا $5/6$ خواهد بود. این نسبت در گدازه‌های بازالتی مطالعه شده به طور میانگین $3/0.7$ است. همچنین، Hasse و همکاران (۲۰۰۴) برای مذاب‌های حاصل از ذوب بخشی یک منبع اسپینل لرزولیتی مقادیر پایینی از $(Dy/Yb)_N$ (پایین‌تر از $1/0.6$) و برای ماگماهای محصول ذوب بخشی منابع گارنت لرزولیتی با حضور گارنت باقی‌مانده در منشأ، بالاتر از $1/0.6$ را اعلام نمودند. در تمامی نمونه‌های بررسی شده در شمال شرق قروه $(Dy/Yb)_N$ بیش از $1/0.6$ است و بنابراین، ماگمای سنگ‌های آتشفشانی این منطقه از یک منبع گارنت لرزولیتی مشتق شده است. در تأیید شواهد بالا، نمودار La/Sm در برابر Sm/Yb از Zhao (۲۰۰۷) (شکل ۱۵) نشان می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی بازالتی بررسی شده در قروه در قلمرو نزدیک به منحنی گارنت لرزولیت قرار می‌گیرد و درجه ذوب بخشی بیش از یک و کمتر از ۵ درصد را نشان می‌دهد.

عناصر دارای شدت میدان بالا (HFSE) طی وقوع فرآیند فروورانش به دلیل عدم حلالیت در سیالات یا مذاب‌های حاصل از فروورانش بدون تغییر باقی می‌ماند و نسبت این عناصر در گوه گوشته‌ای ثابت است. در صورت وجود فروورانش، عملکرد سیالات یا مذاب‌های مشتق از آن ماهیت ماگمای گوشته‌ای را دچار تغییر نموده و نسبت این عناصر را تغییر می‌دهد. به اعتقاد Fitton (۲۰۰۷) بین ترکیب بازالت‌های آلکالن داخل صفحات قاره‌ای و بازالت‌های جزایر اقیانوسی شباهت بسیار زیادی وجود دارد. بنابراین، با توجه به تعلق سنگ‌های بازالتی منطقه مطالعه شده به محیط‌های کششی آغازین درون قاره، همان طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، ترکیب منشأ گوشته‌ای نمونه‌های بررسی شده پیش از تغییر، به ترکیب منبع گوشته‌ای بازالت‌های جزایر اقیانوسی نزدیک بوده است.

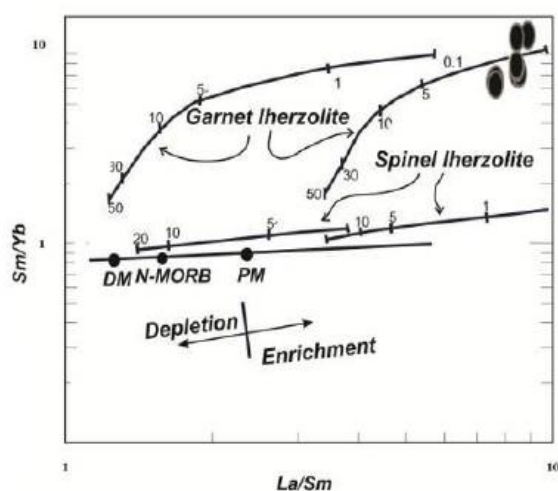
در سیستم‌های بازالتی برای تمایز منابع گوشته‌ای و پوسته‌ای از نسبت‌های عناصر کمیاب استفاده می‌کنند (Weaver, 1991). مقادیر عناصر به شدت ناسازگار طی فرآیندهای ذوب بخشی ثابت مانده و تغییر نمی‌کند. از طرفی، چنانچه مقادیر این عناصر طی وقوع فرآیند تفریق تغییر کند، نسبت بین دو عنصر ثابت می‌ماند. اما وقوع آلایش پوسته‌ای می‌تواند این نسبت را تغییر دهد و سبب پراکندگی در نمودارهای عنصر ناسازگار در



شکل ۱۳- موقعیت نمونه‌ها در نمودار Nb/Ta در برابر Zr/Hf بیانگر این مسأله است که ترکیب منشأ این بازالت‌ها پیش از تغییر، به ترکیب منشأ بازالت‌های جزایر اقیانوسی شبیه بوده است (داده‌های مربوط به MORB و OIB از Sun و McDonough (۱۹۸۹) است).



شکل ۱۴- (A) تغییرات Zr نسبت به Ce؛ (B) تغییرات La نسبت به Hf در بازالت‌های شمال شرق قروه



شکل ۱۵- موقعیت نمونه‌ها در نمودار Sm/Yb در برابر La/Sm (Zhao, 2007) بیانگر ذوب بخشی کمتر از ۵ درصد است.

بحث

شواهد ژئوشیمیایی بیانگر وجود یک منبع گوشته‌ای لیتوسفریک شبیه به منابع بازالت‌های جزایر اقیانوسی است (شکل‌های ۱۱ و ۱۲-B). بازالت‌های اقیانوسی اغلب در نمودارهای عنکبوتی نورمالیزه شده با گوشته اولیه آنومالی مثبت در Nb و Ta و آنومالی منفی در Pb نشان می‌دهد. این در حالی است که در نمودارهای مربوط به نمونه‌های شمال شرق قروه (شکل ۷) آنومالی منفی Nb و Ta و آنومالی مثبت Pb مشاهده می‌شود. این تفاوت‌ها بدون شک، نشان‌دهنده وقوع تغییراتی در منشأ و همچنین، طی صعود ماگما به طرف سطح زمین است.

غنی‌شدگی در Pb، Th و U و الگوی شیب‌دار

نمودارهای عناصر کمیاب خاکی در کنار مقادیر بالای La/Sm و Nd/Pb گویای وجود یک منشأ غنی شده برای بازالت‌های مطالعه شده است. از طرفی، با توجه به محلی بودن فعالیت‌های آتشفشانی، ارتفاع کم مخروط‌ها و حجم اندک محصولات فورانی نمی‌توان وجود یک منبع پلوم را برای این آتشفشان متصور شد. به علاوه، وجود یک پلوم فعال در زیر ورقه ایران گزارش نشده است (Pang et al., 2012). غنی‌شدگی رخ داده در منبع گوشته‌ای می‌تواند ناشی از عملکرد سیالات حاصل از پوسته اقیانوسی فرورانده شده نئوتتیس باشد. مقادیر بالای Th/Yb و Ba/La (شکل ۱۲-A و B) وقوع فرورانش و حضور سیالات ناشی از پوسته فرورانده شده را در ناحیه منشأ بازالت‌های

قروه تأیید می‌کند.

به عقیده Allen و همکاران (۲۰۱۳) در صورت بالا بودن درصد MgO (به طور متوسط ۱۰ درصد) وقوع آلاینش پوسته‌ای و یا تبلور تفریقی گسترده امکان پذیر نیست. اما با وجود شواهد صحرایی مانند حضور فراگیر زینولیت‌های گنیسی در تمامی مناطق مطالعه شده، وجود بیگانه بلورهای کوارتز، فلدسپار و پلاژیوکلاز و همچنین، پیدایش منطقه‌بندی ترکیبی در کلینوپیروکسن نمی‌توان وقوع درجاتی (هر چند اندک) از آلاینش پوسته‌ای را نادیده گرفت. از طرفی، شواهد ژئوشیمیایی مانند تغییر نسبت‌های La/Hf و Zr/Ce (شکل ۱۴) نشان‌دهنده آن است که ماگمای سازنده سنگ‌ها طی صعود به طرف سطح زمین درجاتی از آلاینش پوسته‌ای را نیز پشت سر گذاشته‌اند. همچنین، به عقیده Abdel-Fattah و همکاران (۲۰۰۴) نسبت‌های $Nb/La > 1/5$ و $La/Ta > 22$ نیز بیانگر تأثیرپذیری نمونه‌های بررسی شده از برهمکنش با پوسته قاره‌ای است.

عامل وقوع ذوب بخشی در منطقه می‌تواند کاهش فشار به دلیل کشش و رخداد شکستگی‌ها باشد. با توجه به وجود شکستگی و گسل‌های امتداد لغز و نیز نتایج برگرفته از نمودارهای متمایز کننده محیط‌های تکتونیکی می‌توان رخداد یک ذوب بخشی گوشته زیر قاره‌ای را به علت کاهش فشار و وجود فعالیت‌های کششی محلی و نازک شدن پوسته در محل حوضه‌های گسیخته در تشکیل این آتشفشان‌ها دخیل دانست. در واقع کشش محلی و بازشدگی در امتداد گسل‌های عمیق، راه را برای صعود ماگما به طرف سطح فراهم نموده است. ماگمای سازنده این بازالت‌ها حاصل درجات اندک ذوب بخشی (کمتر از ۵ درصد) یک منبع گارنت لرزولیتی است. زیرا روند شیب‌دار نمودار

عناصر نادر خاکی، نسبت‌های بالای (Tb/Yb)N و مقادیر $(Dy/Yb)N < 1/6$ حضور گارنت را در ناحیه منشأ تأیید می‌نماید.

به عقیده Boccaletti و همکاران (۱۹۷۶) پیدایش آتشفشان در امتداد محور قروه-بیجار مربوط به دور شدن و جدایی خرده قاره‌های ایران و آناتولی است که کناره‌های آنها در این ناحیه به هم متصل بوده و این جدایش پس از برخورد ورقه ایران و عربستان انجام شده است. اما، به علت این که در همان زمان دریای سرخ در حال باز شدن بوده نیروی کلی حاکم بر منطقه از نوع فشارشی خواهد بود. کم بودن حجم محصولات فورانی، وجود نیروهای فشارشی را در منطقه تأیید می‌نماید. از طرف دیگر، با توجه به این که در برخی از موارد وجود فازهای کششی و فشارشی با هم در یک منطقه دیده شده است، آتشفشان‌های شمال شرق قروه را می‌توان به ریفتینگ محلی ناشی از چرخش میکروپلیت‌ها، مشابه آنچه در شرق آناتولی رخ داده (Villari, 1982) نیز نسبت داد (Razavi and Sayareh, 2010).

نتیجه‌گیری

سنگ‌های آتشفشانی شمال شرق قروه کردستان، بازالت‌هایی است که در نورم حاوی نفلین‌اند. در نمودارهای رده‌بندی در زمره آلکالی‌بازالت قرار دارد و به سری آلکالن، که مقدار اکسید سدیم در آنها بیشتر از اکسید پتاسیم است، تعلق دارد. در مطالعات میکروسکوپی، این سنگ‌ها حاوی خمیره‌ای متشکل از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و شیشه قهوه‌ای رنگ همراه با کانی‌های فلزی که فضای بین آنها را پر کرده، است. با توجه به ترکیب مودال، آنها بازالت‌های الیوین‌دار محسوب می‌شود. بافت غالب سنگ‌ها میکرولیتیک پورفیریک است. حضور بافت غربالی

است. در اثر وقوع کشش‌های محلی و کاهش فشار طی درجات کم ذوب بخشی منبع گارنت لرزولیتی، مذابی بازالتی تولید شده، که طی صعود به طرف سطح زمین درجاتی از آلاینش پوستره‌ای را نیز پشت سر گذاشته است.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر با استفاده از امکانات پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا انجام شده است. لذا از حوزه معاونت‌های پژوهشی این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌شود.

در کلینوپیروکسن‌ها گویای اقامت‌های کوتاه مدت در اتاقک‌های ماگمایی کم عمق پیش از فوران است (Ghasemi, 2011). زینوکریست‌های کوارتز، فلدسپار و پلاژیوکلاز، منطقه‌بندی ترکیبی موجود در بلورهای پیروکسن، نشانه‌های وقوع آلاینش پوستره‌ای و عدم تعادل در ماگما است.

این مراکز آتشفشانی بر مبنای نمودارهای تعیین محیط تکتونیکی به محیط‌های کششی آغازین درون صفحه قاره‌ای تعلق دارد. در مجموع شواهد صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی نشان می‌دهد از یک منبع لیتوسفری غنی شده که از عملکرد سیالات فرورانشی متأثر شده منشأ گرفته

منابع

- Abdel-Fattah, M., Abdel-Rahman, A. M. and Nassar, P. E. (2004) Cenozoic volcanism in the middle east: petrogenesis of alkali basalts from northern Lebanon. *Geology Magazine* 141(5): 545-563.
- Allen, M. B., Kheirkhah, M., Neill, I., Emami, M. H. and Mcleod, C. L. (2013) Generation of arc and within-plate chemical signatures in collision zone magmatism: Quaternary lavas from Kurdistan province, Iran. *Journal of Petrology* 54(5): 887-911.
- Agrawal, S., Guevara, M. and Verna, S. P. (2008) Tectonic discrimination of basic and ultrabasic volcanic rocks through log-transformed ratios of immobile trace elements. *International Geology Review* 50(12): 1057-1079.
- Azizi, H. and Moine vaziri, H. (2009) Review of tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran. *Journal of Geodynamics* 47(4): 167-179.
- Boccaletti, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Matamed, A., Pasquare, G., Brozolo, F. and Amin Sobhani, E. (1976) Neogene and Quaternary volcanism of Bijar (western Iran). *Bulletin of Volcanology* 40(2): 121-132.
- Bradshaw, T. K. and Smith, E. L. (1994) Polygenetic Quaternary volcanism at Crater Flat, Nevada. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 63(4): 182-193.
- Coban, H. (2007) Basalt magma genesis and fractionation in collision-and extension-related provinces: A comparison between eastern, Central Western Anatolia. *Earth-Science Reviews* 80(4): 219-238.
- Darvishzadeh, A. (1982) *Volcanology*. Tehran University Press, Tehran (in Persian).
- Donaldson, C. H. (1976) An experimental study of olivine morphology. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 57(2): 187-213
- Fitton, J. G. (2007) The OIB paradox. *Geological Society of American. Special paper* 430(12): 387-412.
- Fitton, J. G., saunders, A. D., Norry, M. J., Hardarson, B. S. and Taylor, R. N. (1997) Thermal and chemical structure of the Iceland plume. *Earth and Planetary Science Letters* 153(4): 197-208.
- Floyd, P. A. and Winchester, J. A. (1977) Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements. *Earth and Planetary Science Letter* 27(2): 211-218.

- Furman, T. (2007) Geochemistry of East African rift basalts: an overview. *Journal of African Earth Science* 48(3): 147-160.
- Ghasemi, H., Barahmand, M. and Sadeghian, M. (2011) The Oligocene basaltic lavas of east and southeast of Shahroud: implication for back-arc basin setting of Central Iran Oligo-Miocene basin. *Petrology* 2(7): 77-94.
- Hasse, K. M., Goldschmidt, B. and Gabe-Schonberg, D. (2004) Petrogenesis of Tertiary continental intra-plate lavas from the Westerwald region. *Journal of petrology* 45(5): 883-905.
- Hirschman, M. (1998) Origin of the transgressive granophyres in the layered series of the Skaergaard intrusion, east Greenland. *Journal of Volcanology and Petrology* 52(3): 185-207.
- Hofmann, A. W., Jochum, K. P., Seufert, M. and White, W. M. (1986) Nb and Pb in oceanic basalts; new constrain of mantle evolution. *Earth and Planetary Science Letter* 79(1): 33-45.
- Hosseini, M. (1999) Geological Qorveh Map 1:100000, No. 5560. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Janousek, V., Geist, D. J. and White, C. M. (2001) A quickbasic program for petrochemical re-calculation of whole-rock major-element analyses on IBMPC. *Journal of the Czech Geological Society* 46(2): 9-13.
- Jung, C. (2003) Geochemical and isotopic geochemical tertiary studies a volcanics of the Hocheifele in contribution to the identification of the coat sources of rift-related Vulkaniten. PhD thesis, University of Marburg, Germany.
- Kertz, R. (1983) Symbols for rocks-forming minerals. *American Mineralogist* 68(2): 227-279.
- Krientinz, M. S., Hasse, K., Mezger, K., Eckardt, V. and Shaikh-Mashail, M. A. (2006) Magma genesis and crustal contamination of continental intraplate lavas in northwestern Syria. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 151(8): 298-716.
- Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M. J., Bonin, B. and Bateman, P. (1989) Igneous rocks: a classification and glossary of terms. 1st edition, Cambridge University Press, Cambridge.
- Malakotian, S., Hagh-Nazar, Sh., Ghorbani, M. and Emami, M. H. (2006) Magmatic evolution in Quaternary basaltic rocks in Ghorveh-Takab axis. *Geosciences* 16(64): 166-178 (in Persian).
- Moine vaziri, H. and Amin Sobhani, H. (1988) Study on young volcanoes of Qorveh-Takab area. Tarbiat Moallem University Publication, Tehran (in Persian).
- Pang, K. N., Chung, S. L., Zarrinkoub, M. H., Mohammadi, S., Yang, H. M., Chu, C. H., Lee, H. Y. and Lo, C. H. (2012) Age, geochemical characteristics and petrogenesis of late Cenozoic intraplate alkali basalts in the Lut-Sistan region, eastern Iran. *Chemical Geology* 306-307(10): 40-53.
- Pearce, J. A. (1982) Trace element characteristics of lava from destructive plate boundaries. In: *Andesites: orogenic andesites and related rocks* (Ed. Thorpe, R. S.) 524-548. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Razavi, M. H. and Sayareh, A. (2010) Properties of young volcanic rocks in southeast of Bijar. *Earth Science* 19(75): 151-156 (in Persian).
- Richard, L. R. (1995) Minpet: Mineralogical and petrological data processing system, version 2.02. Minpet Geological Software, Québec, Canada.
- Rudnick, R. L. and Fountain, D. M. (1995) Nature and composition of the continental crust; a lower crustal perspective. *Review Geophysics* 33(3): 267-309.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F. (1989) Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society of London Special Publication* 24(3): 313-345.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M. (1985) The continental crust: its composition and evolution. Blackwell

Publishing, Oxford.

- Temel, A., Yurur, T., Alici, P., Varol, E., Gourgaud, A., Bellon, H. and Demirbag, H. (2010) Alkaline series related to early-middle Miocene intra-continental rifting in a collision zone: an example from Polatli, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Earth Science* 38(6): 289-306.
- Thompson, R. N. (1982) Magmatism of British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology* 18(3): 49-107.
- Verma, P. S. (2009) Continental rift setting for the Central part of the Mexican volcanic belt: a statistical approach. *The Open Geology Journal* 3(1): 8-29.
- Villari, L., (1982) Anatolia and NW-Iran. In: *Andesites: orogenic andesites and related rocks* (Ed. Thorpe, R. S.) 327-349. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Wang, Y. L., Zhang, C. J. and Xiu, S. Z. (2001) Th/Hf-Ta/Hf identification of tectonic setting of basalts. *Acta Petrologica* 17(3): 413-421.
- Weaver, B. L. (1991) Trace element evidence for the origin of oceanic-island basalts. *Geology* 19(2): 123-126.
- Wilson, M. and Downes, H. (2006) Tertiary-Quaternary intraplate magmatism in Europe and its relationship to mantle dynamics. *Geological Society of London* 32(3): 147-166.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A. (1975) Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20(1): 325-343.
- Woodhead, J. D., Hergt, J. M., Davidson, J. P. and Eggins, S. M. (2001) Hafnium isotope evidence for 'conservative' element mobility during subduction zone processes. *Earth Planetary Science Letters* 192(3): 331-346.
- Yoder, H. S. and Tilly, C. E. (1962) Origin of basalt magmas: an experimental study and synthetic systems. *Journal of Petrology* 3(3): 342-352.
- Zhao, J. H. and Zhou, M. F. (2007) Geochemistry of Neoproterozoic mafic intrusions in the Panzhihua district (Sichuan province, SW China): implication for subduction-related metasomatism in the upper mantle. *Precambrian research* 152(2): 27-47.
- Zhengfu, G., Marjorie, W., Maoliang, Z. and Lihong, Z. (2013) Post-collisional, K-rich mafic magmatism in south Tibet: constraints on Indian slab-to-wedge transport processes and plateau uplift. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 165(6): 1311-1340.

The study of petrography, geochemistry and petrogenesis of the basaltic rocks, NE-Qorveh (Kurdistan)

Ashraf Torkian * and Nafiseh Salehi

Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Abstract

In the northeastern part of Kurdistan province, there are many volcanic cones that are basaltic in composition. Petrographic investigations reveal these rocks are dominated by clinopyroxene and olivine phenocrysts and plagioclase and pyroxene micro crystals, while space between them is filled by opaque mineral and brown glass. The presence of zoned pyroxenes and sieve texture in these rocks are evidences of crustal contamination and magmatic unequilibrium. The studied rocks with 5-14% normative nepheline are alkaline nature. On Harker diagrams fractional crystallization is indicated by MgO decreasing while CaO, FeO, Ni, TiO₂ and Cr and SiO₂ increase. On discriminated diagrams the tectonic environment of the samples is inter continental extensional zone. Geochemical characteristics such as LILE, LREE enrichment, Nb, Ta and Y negative anomalies, positive anomalies of Ba, Pb, Th and Th/Yb enrichment suggest that the basaltic lavas studied derived from lithospheric mantle that contaminated by subduction fluids. Also, Zr/Hf and Hf/La ratios are evidence for upper crustal contamination. High (Th/Yb)_N, (La/Yb)_N and high Nb anomaly (0.37-0.98) show that the magma generated from a garnet lherzolitic source.

Key words: Basalt, Alkaline, Crustal contamination, Volcano, Intra-continental, Qorveh, Kurdistan, Sanandaj-Sirjan zone

* a-torkian@basu.ac.ir