

خصوصیات منشأ گوشته‌ای آلکالی الیوین بازالت‌های کواترنری منطقه قروه - تکاب

شهرزاد حق‌نظر^{۱*} و سارا ملکوتیان^۲

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران
^۲ گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، دماوند، ایران

چکیده

آلکالی الیوین بازالت‌های کواترنری در شرق و شمال‌شرق سنندج در محور قروه، تکاب و بیجار، برونزد دارند. این سنگ‌ها دارای ترکیب عمده الیوین بازالت بوده، در نورم حاوی الیوین و نفلین هستند. وجود بیگانه سنگ‌های گنایسی و بیگانه بلورهای کوارتز و حضور فنوکریست‌های بیوتیت از شواهد آرایش این سنگ‌ها با پوسته قاره‌ای است. از نظر ژئوشیمیایی آنومالی‌های منفی P، Zr، Nb، Ti و آنومالی مثبت Pb و غنی‌شدگی از عناصر LIL از شاخصه‌های آلودگی پوسته‌ای بازالت‌های جوان منطقه است. در نمودارهای تمیز جایگاه‌های تکتونیکی، نمونه‌ها در محدوده آلکالی بازالت‌های داخل صفحه قرار می‌گیرند. نسبت‌های پایین Y/Nb و Zr/Nb، نسبت بالای (La/Yb)_N~24 و مشابهت الگوی عناصر REE با بازالت‌های OIB نشانه منشأگیری ماگماها از گوشته غنی شده است. مطالعات ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که این بازالت‌ها از یک گوشته غنی شده شبیه منبع OIB با رخساره اسپینل در محدوده فشار ۱۵-۱۰ کیلو بار و اعماق کمتر از ۶۰ کیلومتری با نرخ ذوب‌بخشی کمتر از ۱۵ درصد منشأ گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: آرایش پوسته‌ای، آلکالی‌الیوین‌بازالت، رخساره اسپینل، کواترنری، منبع شبیه OIB

مقدمه

آذربایجان غربی و کردستان واقع شده و در تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری ایران در زون سنندج - سیرجان و با فاصله یک صد کیلومتری از تراس اصلی زاگرس قرار گرفته‌اند (معین‌وزیری، ۱۳۷۷). آتشفشان‌های قزله‌کند، مهدی‌خان و ایلانلو در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ قروه و طهمورث در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ بیجار و قره‌طوره در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ تکاب رخنمون دارند. سنگ‌های آتشفشانی کواترنری نشانگر آخرین تکاپوهای ماگمایی

در شرق و شمال‌شرق سنندج در محور قروه - بیجار- تکاب یک سری آتشفشانی در امتداد شمال‌غرب - جنوب‌شرق با ترکیب بازالتی به سن کواترنری قرار گرفته (شکل ۱) که به صورت مراکز آتشفشانی چون آتشفشان‌های قره‌طوره، ندری، طهمورث، قزله‌کند، مهدی‌خان و ایلانلو برونزد دارند (معین‌وزیری و سبحانی، ۱۳۶۴). مراکز آتشفشانی مذکور بین استان‌های

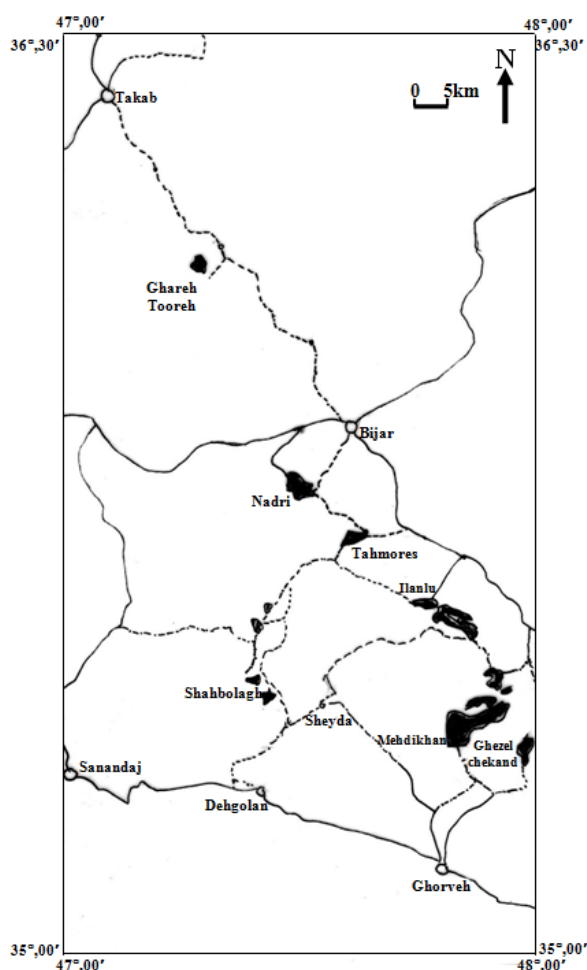
زمین‌شناسی منطقه

همه آتشفشان‌های منطقه دارای مخروط کم‌ارتفاع از جنس اسکوری بوده که گدازه‌ها به‌علت روانروی زیاد توانسته‌اند کیلومترها بر روی دشت‌ها جریان یابند (معین وزیری، ۱۳۷۷). در آتشفشان قزله‌کند گدازه‌ها بر روی رسوبات تخریبی - شیمیایی کواترنری ریخته شده‌اند. از نکات درخور توجه، وجود بمب‌های دوکی بازالتی با قطر بیش از ۲ متر بوده که در هسته آن‌ها انکلاوهای گنایسی به رنگ سفید مشاهده می‌شوند. در آتشفشان مهدی‌خان روانه‌های بازالتی نیز بر روی رسوبات تخریبی - شیمیایی کواترنری ریخته شده، دارای فرسایش پوست پیازی نیز هستند. در این منطقه تفرهای ریزشی با لایه‌بندی منظم به‌صورت لایه‌بندی ریز دانه در پایین و درشت دانه در بالا دیده شده که حاوی بمب‌های آتشفشانی بزرگ هستند. در قره‌طوره حدود ۵۰ متر گدازه بازالتی تیره به‌صورت دگرشیب بر روی کنگلومرای پلیوسن قرار گرفته‌اند. آتشفشان طهمورث حالت استراتوولکان داشته، از مواد آذر آواری، مخروط اسکوری و گدازه تشکیل شده است که بر روی مارن‌های پلیوسن و آبرفت‌های جوان رخنمون دارند. آتشفشان ایلانلو واقع در شمال‌شرق ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰۰ قروه، دارای ساخت منشوری بوده، پهنه‌های بازالتی با ضخامت حدود ۵۰ متر را به‌وجود آورده است. این گدازه‌ها نیز بر روی تراورتن‌های پلیوکواترنری ریخته شده‌اند.

روش انجام پژوهش

پس از انجام مطالعات صحرایی از آتشفشان‌های یاد شده، ۶۰ نمونه برداشت و از آن‌ها مقطع نازک تهیه شده و سپس با میکروسکوپ پلاریزان کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی آنها بررسی شد. به‌منظور مطالعات ژئوشیمیایی ۱۷ نمونه از نظر عناصر اصلی و فرعی به روش XRF تجزیه شدند (جدول ۱). عناصر REE در ۵

ایران است که شکل‌گیری آتشفشان‌های عظیم چون دماوند، سهند، سبلان، بزمان، تفتان حاصل آن است (آقاناتی، ۱۳۸۳). همچنین جدا از مناطق آتشفشانی کواترنری البرز - آذربایجان و کردستان، در خاور ایران (در جنوب طیس، بیرجند، فردوس، نهبندان و ...) نیز در گستره‌های وسیعی بازالت‌های کواترنری برونزد دارند (وثوقی‌عابدینی، ۱۳۷۶). تاکنون درباره خصوصیات گوشته منشأ این ماگماها تحقیق جامعی نشده است. در این تحقیق سعی شده با توجه به شواهد ژئوشیمیایی و ایزوتوپی درباره خصوصیات ناحیه منشأ گوشته‌ای این بازالت‌ها اظهار نظر شود.



شکل ۱- موقعیت آتشفشان‌های بازیک کواترنری محوره قروه تکاب (معین‌وزیری ۱۳۷۷)، با تغییر

آزمایشگاه ایزوتوپی دانشگاه کارلتون اوتاوا در کانادا محاسبه شدند (جدول ۳). نتایج حاصل با استفاده از نرم‌افزار IGPet 2007 ارزیابی و پردازش شده‌اند.

نمونه به روش ICP-MS در آزمایشگاه OGS اونتاریو کانادا تجزیه عنصری شد (جدول ۲). نسبت‌های ایزوتوپی Nd و Sr پنج نمونه از بازالت‌های منطقه در

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی XRF عناصر اصلی (بر حسب wt%) و جزئی (بر حسب ppm) بازالت‌های کواترنری قروه - تکاب

Region Name	Ghezelchekand					Ghareh Tooreh				Ilanloo		Mehdikhan		Tahmores			
Sample No.	GH10	GH11	GH12	GH14	GH5	GT1	GT2	GT3	GT5	IL1	IL6	M4	M6	T1	T3	T4	T5
SiO ₂	53.50	50.04	52.87	53.90	53.84	53.97	53.21	52.98	52.71	49.84	51.52	49.08	50.96	53.02	52.57	51.25	52.51
Al ₂ O ₃	13.39	13.54	14.13	12.81	11.45	13.15	13.62	13.82	13.38	13.07	11.94	13.13	14.11	14.17	14.36	15.04	15.20
Fe ₂ O ₃	6.63	7.46	6.99	7.47	7.36	8.23	8.63	8.58	8.60	8.26	8.80	9.08	9.12	8.64	9.06	8.69	8.16
CaO	8.87	10.30	9.06	8.23	9.96	7.03	7.49	7.33	7.11	10.01	10.03	11.03	9.01	8.62	8.01	9.03	8.64
Na ₂ O	5.08	5.32	5.44	4.59	4.67	2.67	3.32	3.12	3.12	3.72	4.31	4.10	5.38	3.63	3.06	4.08	4.55
MgO	4.24	5.28	4.34	5.35	4.83	6.29	6.44	6.54	7.15	6.15	7.38	5.36	5.25	4.18	6.47	4.12	3.79
K ₂ O	3.36	3.21	3.41	2.54	2.91	3.49	3.20	3.23	3.20	3.49	2.79	2.16	2.41	2.68	1.39	2.57	1.93
TiO ₂	1.391	1.413	1.446	1.390	1.520	1.456	1.500	1.502	1.497	1.572	1.607	1.710	1.786	1.634	1.110	1.714	1.637
MnO	0.092	0.104	0.098	0.109	0.103	0.125	0.129	0.130	0.130	0.114	0.121	0.126	0.123	0.123	0.135	0.128	0.117
P ₂ O ₅	1.348	1.178	1.359	0.885	1.451	0.808	0.809	0.838	0.791	1.086	0.941	0.903	1.127	0.755	0.330	0.776	0.805
L.O.I	0.60	1.74	0.60	0.33	0.44	2.38	1.17	1.59	1.67	2.25	0.18	3.00	0.28	2.06	3.00	2.17	2.09
Total	98.52	99.58	99.74	97.6	98.53	99.5	99.5	98.82	99.35	99.56	99.61	99.67	99.56	99.24	99.49	99.56	99.44
Cl	570	528	568	402	630	108	109	79	55	588	574	570	612	813	9	549	540
S	1820	1493	1751	63	1844	14	16	12	20	805	675	14	12	10	14	18	15
Ba	1288	1164	1422	1014	1324	732	622	107	647	1169	1125	751	801	970	364	900	873
Ce	304	349	221	175	314	146	139	165	122	247	344	176	321	158	122	226	230
Ga	15	16	13	18	20	15	14	19	21	16	15	14	13	15	18	14	15
Hf	24	16	25	24	21	20	15	14	25	27	29	28	26	23	16	25	20
Co	21	18	12	26	16	27	27	21	24	27	31	26	24	22	24	21	21
Cr	106	95	94	215	109	228	259	251	246	224	271	152	179	105	188	94	108
Cu	82	77	81	63	80	50	45	76	57	98	100	58	55	49	54	60	70
Nb	29	29	32	26	35	24	26	22	24	23	27	32	33	29	11	34	30
Ni	137	145	137	161	169	153	164	157	152	253	253	137	168	122	129	113	118
Pb	18	24	23	22	18	7	7	15	20	18	18	7	9	17	12	8	15
Rb	48	47	51	44	43	135	65	107	90	40	38	37	41	37	25	41	26
Sr	1655	1590	1649	1071	1740	542	429	467	446	1849	1911	1171	1273	1329	562	1245	1316
V	110	108	107	136	125	145	156	150	147	143	151	144	155	147	126	145	144
Y	16	15	16	14	16	22	17	21	20	15	15	15	15	15	12	15	15
Zr	274	258	265	192	282	233	235	234	230	232	240	190	211	212	117	211	223
Zn	84	89	82	85	100	68	69	75	75	85	92	108	91	83	73	77	81
U	1	1	1	1	1	6	7	14	7	1	1	1	1	1	1	1	1
Th	14	14	16	6	14	26	27	25	30	4	4	7	7	11	7	3	3

جدول ۳- نتایج تجزیه ایزوتوپی بازالت‌های کواترنری محور قروه - تکاب

Region Name	Ghezelchekand	Ilanloo	Ghareh Tooreh	Mehdikhan	Tahmores
Sample No.	GH.14	IL.1	GT.1	M.6	T.4
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.512346	0.512665	0.512641	0.512662	0.512660
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	0.1546	0.1001	0.1074	0.1143	0.1181
Eps Nd (CHUR)T	-5.70	0.54	0.07	0.47	0.44
Tdm (0.214,0.513115)	1967	602	678	693	724
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0.70836	0.70509	0.70487	0.70466	0.70475

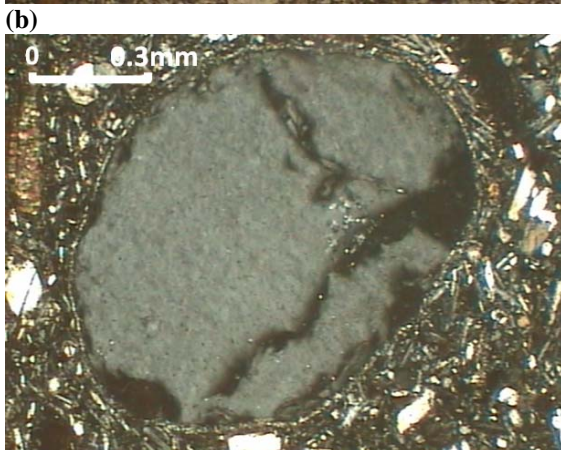
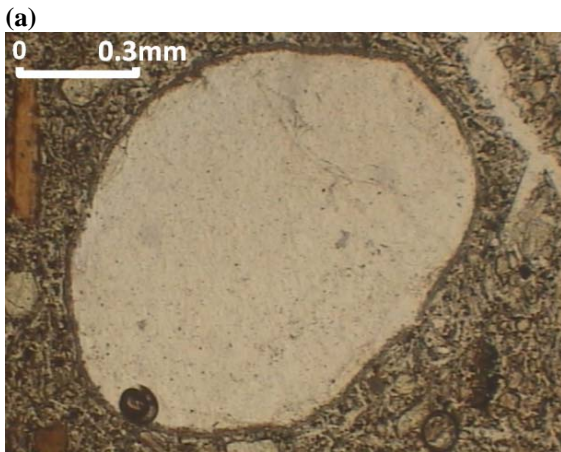
پتروگرافی

در آتشفشان قزله‌کند ترکیب عمده سنگ‌ها الیوین بازالت و بازالت بوده، بافت آن‌ها پورفیریک با خمیره میکرولیتی و میکرولیتی شیشه‌ای است. با

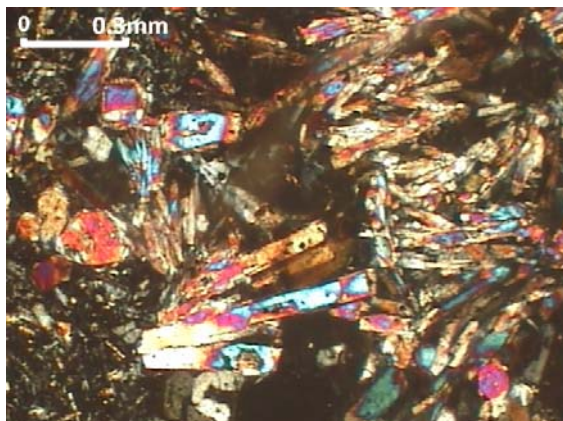
جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی ICP-MS (بر حسب ppm) برای عناصر جزئی و REE موجود در ۵ نمونه از سنگ‌های منطقه

Sample No.	GH14	GT1	IL1	M6	T4
La	39.41	46.41	100	100	92.55
Pr	12.531	15.022	25	23.195	20.524
Nb	59.75	65.01	100	83.53	76.54
Sm	3.54	12.86	15.62	12.59	12.05
Eu	1.207	2.66	3.921	3.237	3.212
Gd	4.476	8.159	9.018	8.384	8.275
Tb	0.773	1.026	1.02	1.011	1.062
Dy	5.156	5.508	5.07	5.27	5.631
Ho	1.094	0.993	0.817	0.891	0.974
Er	3.34	2.624	1.970	2.192	2.466
Tm	0.475	0.343	0.249	0.272	0.313
Yb	3.19	2.22	1.56	1.73	1.94
Lu	0.484	0.311	0.203	0.229	0.264
Ta	1.65	1.78	1.99	2.46	2.43
Be	2.56	5.82	2.69	2.53	2.54
Cd	0.11	0.129	0.127	0.124	0.119
Sb	0.21	0.32	0.12	0.14	0.13
Sc	16.9	24.71	18.03	17	19.91
Sn	1.72	5.93	1.84	2.04	2.02

اولیه و بازالت آلوده شده زینولیت دار، به این نتیجه رسیدند که تأثیرات شیمیایی آلودگی بازالت‌ها توسط زینولیت‌ها به جز پتاسیم، بسیار ناچیز است.



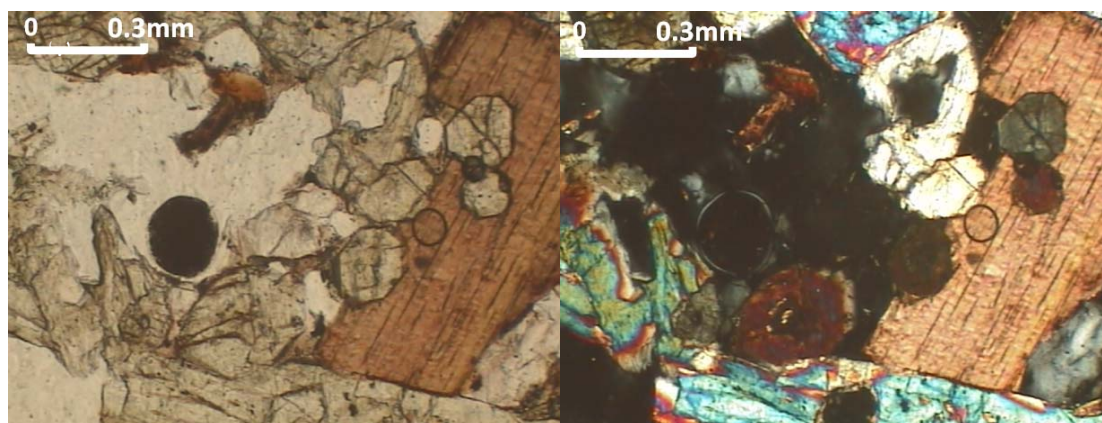
شکل ۲- زینوکریست کوارتز در بازالت قزلچه کند: (a) در نور P.P.L. (b) در نور X.P.L.



شکل ۳- تجمعات سوزنی کلینوپیروکسن در الیون بازالت قزلچه کند (X.P.L.)

اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی فنوکریست‌های الیون با میزفدوروف، زاویه $2V\gamma$ در این بلورها 90° بوده در نتیجه نوع آن‌ها کریزولیت است. کلینوپیروکسن‌ها نیز هم به صورت فنوکریست و هم میکروفنوکریست دیده می‌شوند. زاویه $2V\gamma$ در آن‌ها 76° و زاویه بین $n\gamma$ و محور بلورشناسی C در آن‌ها 45° بوده، در نتیجه نوع آن‌ها اوژیت است.

همان‌طور که در بررسی‌های صحرایی این آتشفشان بیان شد، در این منطقه انکلاوهای گنایسی به رنگ سفید که توسط قشری از بازالت سیاه پوشیده شده، مشاهده شد. در بررسی پتروگرافی وجود زینوکریست‌های کوارتز با حاشیه واکنشی (شکل ۲) و تجمعات سوزنی کلینوپیروکسن (شکل ۳) و فنوکریست‌های بیوتیتی (شکل ۴) در سنگ الیون بازالت‌های قزلچه کند، بیانگر حالت عدم تعادل است که احتمالاً بر اثر هضم سنگ‌های گنایسی پوسته قاره‌ای با ماگمای بازیک حاصل شده است. به عقیده Watson (۱۹۸۲) هنگام آغستگی بازالت با پوسته قاره‌ای، حتی اگر بقیه عناصر بدون تغییر باقی بمانند، مقدار درخور توجهی پتاسیم به درون ماگمای بازالتی راه می‌یابد. طبق نظر Johnston و Wyllie (۱۹۸۸) هنگامی که پتاسیم به درون ماگمای مذاب بازیک وارد شود، بیوتیت متبلور می‌شود. به عقیده McBirney و همکاران (۱۹۸۷) اگر مواد خارجی راه یافته به درون ماگما به قدری ذوب شوند که آثار قابل مشاهده مشارکت آن‌ها (مثلاً وجود زینوکریست‌ها با حاشیه واکنشی) از بین برود، تغییرات ترکیبی قابل ملاحظه‌ای شیمیایی به وجود خواهد آمد. Doe و همکاران (۱۹۶۹) فراوانی زینوکریست‌ها و زینولیت‌ها را به‌عنوان معیاری برای ارزیابی آلودگی پوسته‌ای بازالت‌ها در نظر می‌گیرند. این پژوهشگران با استفاده از مفاهیم بازالت



شکل ۴- فنوکریست بیوتیت در الیوین بازالت قزلچه کند. (a) در نور X.P.L.، (b) در نور P.P.L.

این سنگ‌ها و نبود فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن، از تفریق جزئی ماگما و نزدیک بودن ماگما به ترکیب اولیه حکایت می‌کند. در ایلانلو نیز انکلاوهای کلینوپیروکسنیتی با بافت گرانولار مشاهده می‌شود. در آتشفشان قره‌طوره ترکیب سنگ‌ها نیز الیوین بازالت بوده که حاوی فنوکریست‌های الیوین از نوع کریزولیت با زاویه $92^\circ = 27\gamma$ و پیروکسن از نوع اوژیت با زاویه $56^\circ = 27\gamma$ و زاویه بین γ با محور C حدود 45° هستند.

ژئوشیمی

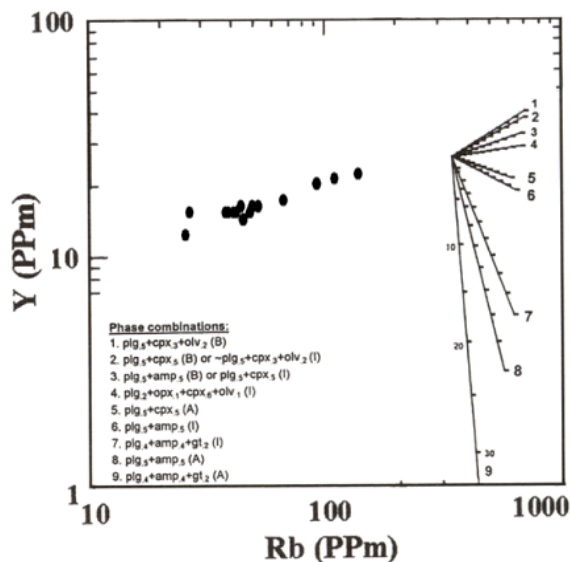
در جدول‌های ۱ و ۲ نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی به روش XRF و ICP و در جدول ۳ نتایج محاسبات ایزوتوپی نشان داده شده است. بر اساس محاسبه نورم CIPW سنگ‌های منطقه، به همراه الیوین، مقدار نفلین نورماتیو محاسبه شده تقریباً حدود ۳٪ هستند، در نتیجه، این سنگ‌ها بر اساس تقسیم‌بندی Yoder و Tilley (۱۹۶۲) جزء آلکالی الیوین بازالت‌ها محسوب می‌شوند. مقدار $Mg^\#$ در این بازالت‌ها بین ۵۰ تا ۶۲ متغیر بوده که مقادیر بالاتر از ۶۰ در بازالت‌های ایلانلو و قره‌طوره دیده می‌شوند. در شکل ۵ در نمودار Nb/Y برابر $Zr/P205 \cdot 10^4$ از Floyd و Winchester (۱۹۷۵)

به نظر می‌رسد بلورهای بیوتیت طی فرآیند متاسوماتیکی ماگمای بازالتی با قطعات گنایسی تشکیل شده‌اند. به عقیده معین وزیری و سبحانی (۱۳۶۷) انکلاوهای گنایسی موجود در این بازالت‌ها متخلخل بوده که این موضوع به علت ذوب بخشی جزئی گنایس و آزاد شدن مواد فرار از کانی‌های آبدار و پنوماتوژن حاصل شده است. به این ترتیب، به نظر می‌رسد محیط از حیث وجود H_2O و K_2O (بر اثر هضم گنایس) برای تشکیل بیوتیت آماده شده است. یکی دیگر از ویژگی‌های بازالت‌های قزلچه کند، وجود زینولیت‌های پیروکسنیتی به صورت بافت تجمعی (کومولا) است که ماگما از گوشته با خود بالا آورده است. در بازالت‌های قزلچه کند، فنوکریست‌های پلاژیوکلاز نیز مشاهده می‌شود که حداکثر زاویه خاموش ماکل آلبیت در آن‌ها 35° بوده در نتیجه نوع آن‌ها لابرآ دوریت است.

در آتشفشان مهدی‌خان، سنگ‌ها از نوع الیوین بازالت و دارای الیوین از نوع کریزولیت و کلینوپیروکسن از نوع اوژیت به صورت فنوکریست هستند. خمیره آن‌ها نیز از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن تشکیل شده است.

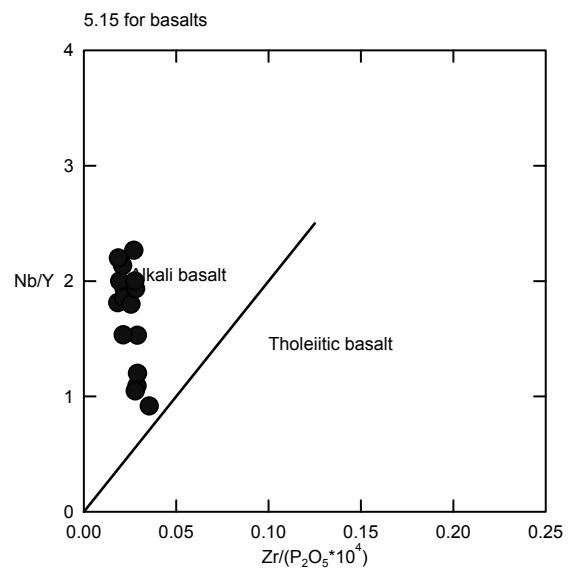
در آتشفشان ایلانلو، فقط بلور الیوین به صورت فنوکریست مشاهده می‌شود. وجود فنوکریست الیوین در

ایتريوم (Y) یک عنصر ناسازگار با کانی‌های بدون آب بوده، طی تبلور این کانی‌ها به صورت ناسازگار عمل می‌کند و مقدار آن به تدریج با تبلور این کانی‌ها زیاد می‌شود. اما طی تبلور کانی‌های آبدار، این عنصر رفتار سازگار نشان داده، با تبلور کانی‌های آبدار مقدار آن در مذاب کم می‌شود (Pearce *et al.*, 1990). همان‌طور که ملاحظه می‌شود، شیب خط داده‌های بازالت‌های منطقه مثبت بوده، این موضوع نشان می‌دهد که ماگمای اولیه تحت تأثیر تفریق بخشی بدون آب قرار گرفته است. روند مثبت داده‌ها از بردارهای ۱ و ۲ پیروی می‌کند که با مجموعه کانی‌های الیوین، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز منطبق است. وقوع پدیده تفریق بلورین به خوبی در نمودار Cr در برابر MgO مشخص است (شکل ۸). با افزایش روند تفریق؛ یعنی کاهش مقدار Cr نیز در سنگ‌های منطقه کم شده است.

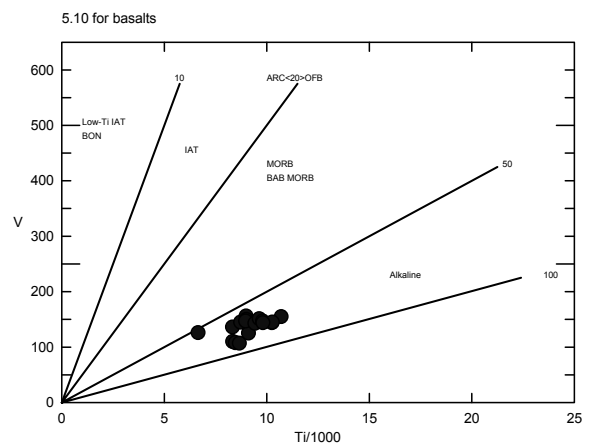


شکل ۷- موقعیت بازالت‌های کواترنری قروه - تکاب در نمودار لگاریتمی Y در برابر Rb از Keskin و همکاران (۱۹۹۸).

نمونه‌ها در محدوده سری ماگمایی آلکالن قرار گرفته‌اند. در شکل ۶ در نمودار Ti در برابر V از Shervais (۱۹۸۲) تمامی نمونه‌ها در محدوده آلکالی بازالت واقع شده‌اند. در نمودار لگاریتمی Y در برابر Rb از Keskin و همکاران (۱۹۹۸) ترکیب فازهای حاصل از تبلور ماگما در شرایط آبدار و بدون آب نشان داده شده است (شکل ۷).

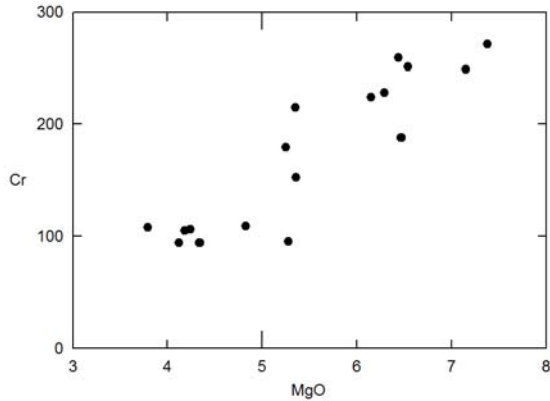


شکل ۵- موقعیت بازالت‌های کواترنری قروه - تکاب در نمودار Nb/Y در برابر $Zr/P205 \cdot 10^4$ از Winchester و Floyd (۱۹۷۵)

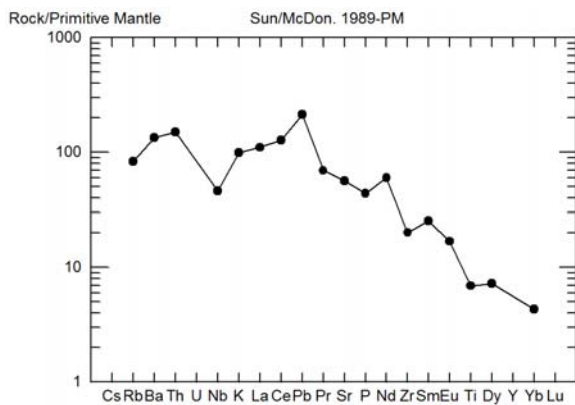


شکل ۶- موقعیت بازالت‌های کواترنری قروه - تکاب در نمودار Ti در برابر V، از Shervais (۱۹۸۲)

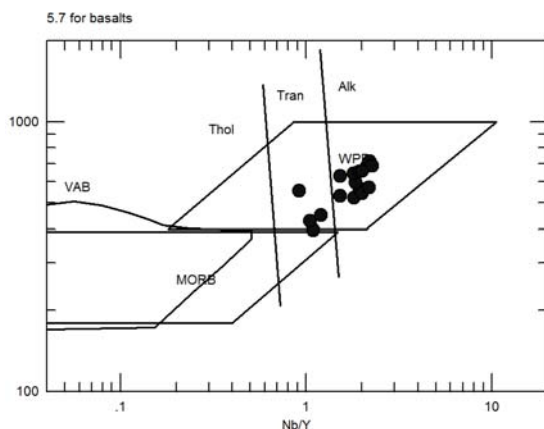
نسبت $(K_2O/Na_2O < 1)$ حتماً با ماگماتیسم داخل صفحه‌ای و مناطق غیر کوه‌زایی مرتبط هستند.



شکل ۸- موقعیت بازالت‌های کواترنری قروه - تکاب در نمودار Cr در برابر MgO

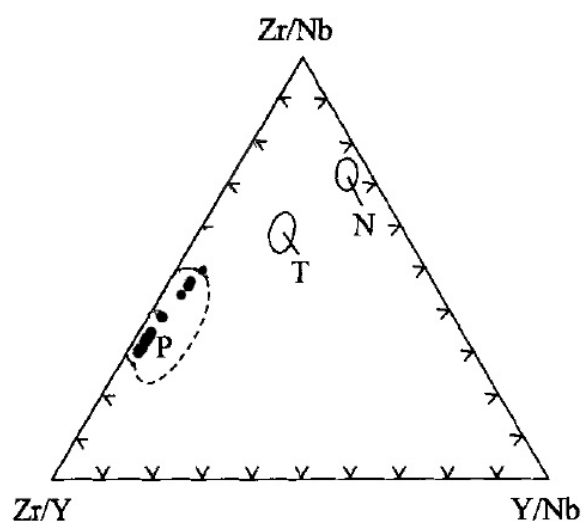


شکل ۹- الگوی میانگین عناصر کمیاب ناسازگار بازالت‌های کواترنری قروه - تکاب به‌هنگار شده با گوشته اولیه

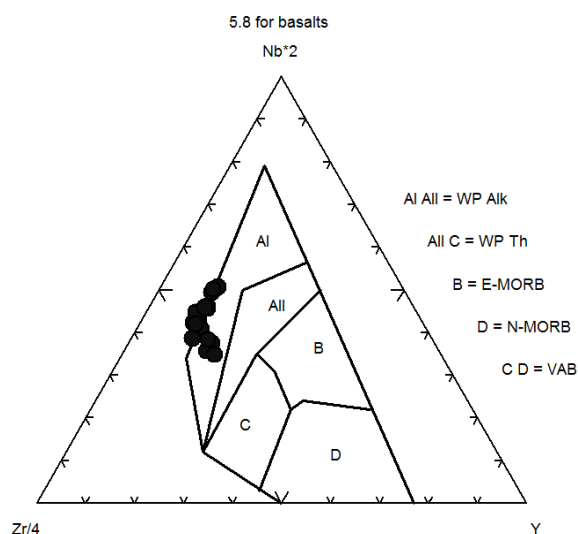


شکل ۱۰- موقعیت بازالت‌های کواترنری قروه - تکاب در نمودار $Nb^*2-Zr/4-Y$ از Meschede (۱۹۸۶)

از الگوی عناصر کمیاب می‌توان به‌عنوان شاخص آلودگی ماگماها با مواد پوسته‌قاره‌ای استفاده نمود (شکل ۹). آنومالی‌های منفی P, Zr, Ti و Nb و آنومالی مثبت Pb و غنی‌شدگی از عناصر LIL مثل Rb, Ba, K و همچنین Th از شاخصه‌های آلودگی‌های پوسته‌ای بازالت‌های جوان منطقه هستند (Wilson, 1989; Hofmann, 1997; Ilnicki, 2010). زینوکریست‌های کوارتز با حاشیه واکنشی و انکلاوهای گنایسی در الیوین‌بازالت‌های این منطقه، پدیده‌آلایش پوسته‌ای را اثبات می‌نماید. در نمودار $Nb^*2-Zr/4-Y$ از Meschede (۱۹۸۶) نمونه‌های منطقه در محدوده‌ی آکالی‌بازالت‌های داخل صفحه قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰). در نمودار لگاریتمی Ti/Y در برابر Nb/Y (Pearce, 1982) همه نمونه‌ها در محدوده‌ی بازالت‌های درون صفحه و بیشتر در قسمت آکالن جای گرفته‌اند (شکل ۱۱). آلودگی پوسته‌ای این بازالت‌ها موجب روند خطی مایل از سمت آکالن به سری انتقالی (transitional) در نمونه‌ها شده، زیرا با آلایش پوسته‌ای مقدار Ti و Nb افت نموده، در حالی‌که به عقیده‌ی Wilson (۱۹۸۹)، Y نسبت به آلایش پوسته‌ای حساس نبوده و این موضوع سبب کاهش Ti/Y و Nb/Y در نمونه‌های آلایش یافته‌تر (مثل الیوین بازالت‌های قزلچه‌کند) شده است. جایگاه نمونه‌ها در این نمودار در موقعیت درون صفحه‌ای، بازتابی از یک منشأ گوشته‌ای غنی‌شده نسبت به منشأ MORB و بازالت‌های قوس‌های آتشفشانی است (Rollinson, 1993). از طرفی، نسبت K_2O/Na_2O در بازالت‌های جوان قروه - تکاب حدود ۰/۷۵، و در ماگماهای مرتبط با مناطق کوه‌زایی دارای نسبت $K_2O/Na_2O > 1/5$ و بازالت‌های مرتبط با مناطق غیر کوه‌زایی دارای نسبت $K_2O/Na_2O < 1$ هستند (Wilson and Downes, 2006). بنابراین، ماگمای بازالت‌های جوان منطقه (با



شکل ۱۲- موقعیت بازالت‌های کواترنری قره‌ه - تکاب در نمودار Y/Nb در برابر Zr/Nb (Wilson, 1989).



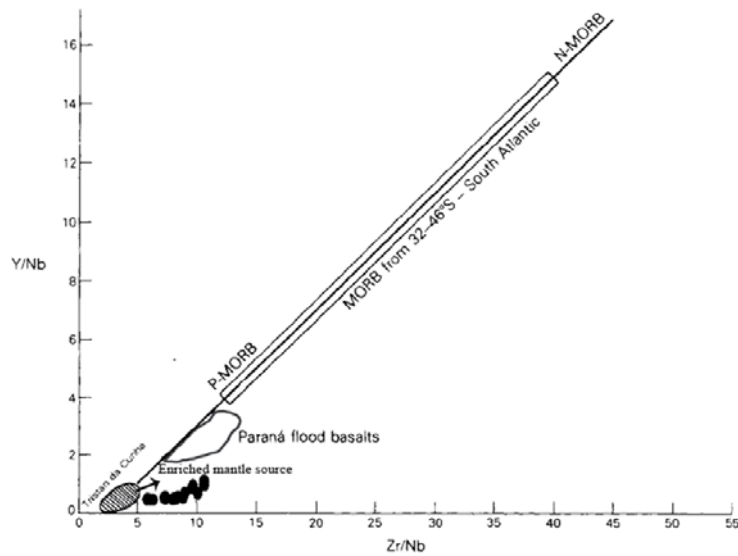
شکل ۱۱- موقعیت بازالت‌های کواترنری قره‌ه - تکاب در نمودار لگاریتمی Ti/Y در برابر Nb/Y از Pearce (۱۹۸۲)

در نمودار Y/Nb در برابر Zr/Nb که برای بررسی تأثیر پلوم‌های OIB بر ژئوشیمی مورب ترسیم شده (شکل ۱۲)، بازالت‌های جوان محور قره‌ه - تکاب در محدوده نزدیک به یک منبع غنی‌شده تیپ OIB که مشخصه منبع OIB آلکالی بازالت‌های تریستن داکونها (Tristan da Cunha) و ترکیب غنی‌شده مشخصه ماگمای ریفت کنیاست، قرار گرفته‌اند (Wilson, 1989). این موضوع، دخالت یک منبع غنی شده نوع OIB را در پتروژنز بازالت‌های منطقه نشان می‌دهد. همچنین، در دیگرام مثلثی Y/Nb، Zr/Nb و Zr/Y از Fodor و Vetter (۱۹۸۴) نمونه‌ها آشکارا در محدوده گوشته غنی‌شده (P) واقع شده‌اند (شکل ۱۳).

در نمودار همبستگی ایزوتوپی $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در برابر $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (شکل ۱۴) چهار نمونه در محدوده گوشته OIB و در مجاورت منبع کل زمین قرار گرفته‌اند و یک نمونه از بازالت‌های قزلچه‌کند هم که دچار آلودگی شدید پوسته‌ای شده، از روند پوسته قاره‌ای فوقانی پیروی نمی‌کند. این موضوع مشابه خصوصیات ایزوتوپی مناطق ریفتی درون قاره‌ای است (Wilson, 1989).

خصوصیات ناحیه منشأ

برای ژنر آلکالی الیوین بازالت‌های قاره‌ای، ترکیب گوشته از بیشترین اهمیت برخوردار است. در این میان ژرفای ساخته شدن مذاب در گوشته آستونوفری (پلوم) و یا گوشته لیتونوفری در ساخته شدن مذاب نقش اساسی دارد (Jung, 2003). از طرفی، درجه ذوب‌بخشی نیز تأثیر شگرفی بر روی ترکیب اولین مذاب دارد؛ به گونه‌ای که هر چه مقدار آن کوچک‌تر باشد، ترکیب ماگما بیشتر آلکالن می‌شود (Jung, 2003). عامل تأثیرگذار مهم در تعیین درجه ذوب‌بخشی، فشار است، به نحوی که با افزایش فشار، درجه ذوب‌بخشی کم می‌شود (Sun and Hanson, 1975; Frey *et al.*, 1978). بنابراین، در بدو امر باید دو عامل مهم و تأثیرگذاری که ترکیب ماگماها را کنترل می‌کنند؛ یعنی ترکیب گوشته و درجه ذوب‌بخشی آن، از حیث عناصر اصلی، فرعی، REE و ایزوتوپی بررسی و تفسیر شوند. به عقیده Weaver (۱۹۹۱) می‌توان از نسبت‌های عناصر ناسازگار در سیستم‌های بازالتی برای تشخیص منابع پوسته‌ای و گوشته‌ای استفاده نمود.



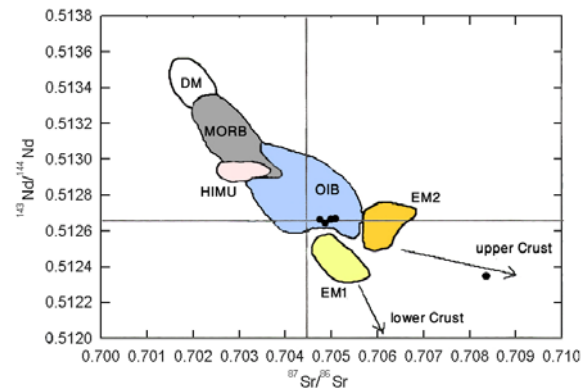
شکل ۱۳- موقعیت بازالت‌های کواترنری قروه - تکاب در دیاگرام مثلی Y/Nb ، Zr/Nb و Zr/Y . محدوده N، گوشته تهی شده و محدوده P، گوشته غنی شده است (Fodor and Vetter, 1984).

در شکل ۱۵ الگوی میانگین عناصر REE بازالت‌های جوان قروه - تکاب با مقادیر میانگین عناصر REE بازالت‌های OIB از Sun و McDonough (۱۹۸۹) نشان داده شده است. نسبت $(La/Yb)_N$ به‌طور میانگین ۲۴ بوده که الگوی غنی شده از عناصر LREE را نشان می‌دهند. روند الگوی عناصر REE از Sm تا Yb دقیقاً مشابه روند بازالت‌های OIB است. نسبت $(La/Yb)_N$ به‌وسیله سه عامل تأثیر می‌پذیرد:

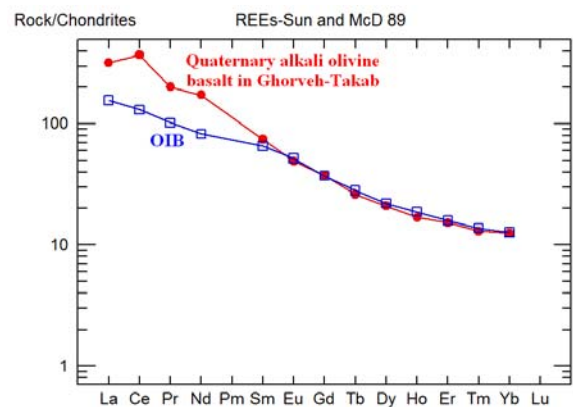
اول: به‌وسیله فازهای موجود در ناحیه منشأ.

دوم: به‌وسیله درجه ذوب‌بخشی مواد گوشته‌ای، به گونه‌ای که غنی‌شدگی مذاب از LREE نسبت به HREE به‌وسیله درجه ذوب‌بخشی کم منبع گوشته‌ای قویاً تعیین می‌شود (Jung, 2003).

سوم: آرایش پوسته‌ای، چرا که عناصر LREE در بخش بالایی پوسته قاره‌ای غنی‌شدگی نشان می‌دهند (Verma, 2009). به عقیده Thompson (۱۹۹۱) افزایش نسبت LREE/ HREE معمولاً به‌وسیله فرآیند هضم و تفریق (AFC) و درگیری با مواد پوسته قاره‌ای غنی شده از LREE توضیح داده می‌شوند. به عقیده



شکل ۱۴- موقعیت بازالت‌های کواترنری قروه - تکاب در نمودار همبستگی ایزوتوپی $^{87}Sr/^{86}Sr$ در برابر $^{143}Nd/^{144}Nd$

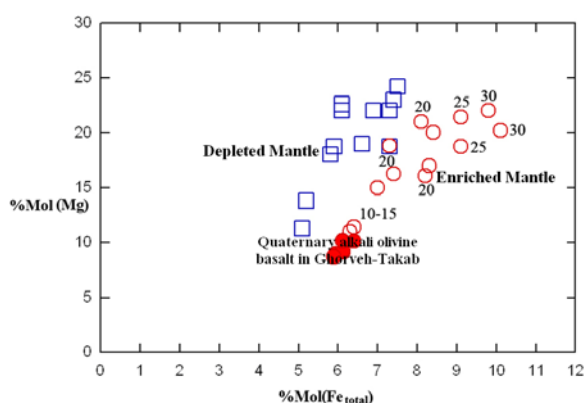


شکل ۱۵- الگوی میانگین عناصر REE بازالت‌های کواترنری قروه - تکاب با مقادیر میانگین عناصر REE بازالت‌های OIB از Sun and McDonough, 1989)

را تولید کند، در حالی که در جنوب ریفت کنیا نسبت $(Tb/Yb)_N$ بین ۲/۷ تا ۵/۶ بوده که نشان از یک منشأ گوشته‌ای غنی شده با رخساره گارنت دارد (Spath *et al.*, 2001).

در بازالت‌های جوان منطقه قروه - تکاب نسبت $(Tb/Yb)_N$ در حدود میانگین ۲ بوده، این موضوع حضور گارنت در ناحیه منشأ را منتفی می‌کند. همچنین، غلظت‌های ۱۰ برابر کندریتی REE‌های سنگین که در بازالت‌های منطقه مشاهده می‌شود، نشانه نبود حضور گارنت در ناحیه منشأ است (Wilson, 1989).

در شکل ۱۶ تغییرات درصد مولی کاتیونی Mg در برابر تغییرات درصد مولی کاتیونی Fe کل از Furman (۱۹۹۵) نشان داده شده است. مربع آبی توخالی ترکیب مذاب‌های آزمایشگاهی به‌دست آورده شده از یک گوشته تهی شده و دایره‌های قرمز توخالی ترکیب مذاب‌های یک متشکله گوشته‌ای زایا و غنی شده ما بین فشارهای ۱۰ تا ۳۰ کیلوباری را نشان می‌دهد (Hirose and Kushiro, 1993).



شکل ۱۶- موقعیت آکالی الیوین بازالت‌های قروه - تکاب در نمودار تغییرات درصد مولی کاتیونی Mg در برابر تغییرات درصد مولی کاتیونی Fe کل (Furman, 1995). مربع آبی توخالی ترکیب یک گوشته تهی شده و دایره‌های قرمز توخالی ترکیب یک متشکله گوشته‌ای زایا و غنی شده ما بین فشارهای ۱۰ تا ۳۰ کیلوباری (Hirose and Kushiro, 1993).

Taylor و McLennan (۱۹۸۵) عمدتاً پوسته قاره‌ای با غنی‌شدگی در عناصر LREE و الگوی HREE تقریباً صاف، آنومالی مثبت Pb و منفی Nb-Ta مشخص می‌شود. این موضوع در بازالت‌های جوان منطقه نیز به وضوح مشاهده می‌شود. نسبت La/Sm یک معیار حساس به آلودگی پوسته‌ای است (Lightfoot and Keays, 2005). این نسبت در بازالت‌های جوان قروه - تکاب ۶/۷ در OIB حدود ۳/۷ در E-MORB حدود ۲/۴ و در N-MORB حدود ۰/۹۶ و در پوسته فوقانی حدود ۶/۶ و در پوسته تحتانی ۲/۸ است.

بنابراین، این موضوع یعنی آلودگی پوسته‌ای و همچنین، احتمالاً درجه کم ذوب‌بخشی باعث غنی‌شدگی از عناصر LREE در بازالت‌های منطقه شده است. لذا با توجه به موارد فوق نسبت $(La/Yb)_N$ نمی‌تواند نشانه‌ای از ناحیه منشأ باشد؛ چرا که بر اثر آلودگی پوسته مقدار La افزایش مجازی یافته است.

اما درجه تفریق و غنی‌شدگی عناصر نادر سنگین به‌صورت نسبت $(Dy/Yb)_N$ بیان می‌شود. غنی‌شدگی در MREE برای مثال Dy در برابر HREE؛ یعنی Yb، فقط زمانی که گارنت به عنوان فاز باقیمانده در ناحیه منشأ باشد، اتفاق می‌افتد؛ چرا که Yb نسبت به Dy به‌صورت ترجیحی پذیرفته می‌شود (Peters *et al.*, 2008). تفریق بالای عناصر نادر خاکی سنگین با نسبت $(Dy/Yb)_N > ۱/۶$ نشانه حضور گارنت در ناحیه منشأ است (Haase *et al.*, 2004).

اما نسبت $(Dy/Yb)_N$ در بازالت‌های منطقه کمتر از ۱/۵ بوده، این موضوع نشان می‌دهد که گارنت نقش مهمی در ناحیه منشأ ندارد (Lucassen *et al.*, 2008). به عقیده Furman (۲۰۰۷) نسبت $(Tb/Yb)_N$ در ریفت شرق آفریقا بین ۲/۲ تا ۲/۸ بوده که مذاب‌های منشأ گرفته از یک منبع گارنت‌لرزولیتی نمی‌تواند مقادیر فوق

حاوی یوین و نفلین و در نتیجه دارای ترکیب آلکالی یوین بازالت هستند. شواهد ژئوشیمیایی چون آنومالی‌های مثبت Pb, K و غنی‌شدگی از عناصر LIL و LREE و تهی‌شدگی از P, Zr, Nb و Ti وجود انکلاوهای گنایسی و نسبت‌های بالای $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در بعضی از این بازالت‌ها که به 0.7083 نیز می‌رسد، بیانگر این موضوع است که سنگ‌های منطقه به درجات مختلفی با سنگ‌های پوسته قاره‌ای آلوده شده‌اند. در دیگرام‌های تشخیص جایگاه‌های تکتونیکی، این بازالت‌ها در موقعیت بازالت‌های آلکالی داخل صفحه قرار گرفته‌اند. مطالعه بر روی نسبت‌های ایزوتوپی Sr و Nd و همچنین، نسبت‌های عناصر کمیاب ناسازگار از آن حکایت دارد که این بازالت‌ها از گوشته غنی شده‌ای مشابه بازالت‌های جزایر اقیانوسی (OIB-like) منشأ گرفته‌اند. مطالعه بر روی روند الگوی عناصر REE و نسبت‌های عناصر MREE/HREE و همچنین، محاسبه درصد مولی کاتیونی Fe و Mg و مقایسه آن‌ها با داده‌های تجربی حکایت از آن دارد که این بازالت‌ها از گوشته غنی‌شده‌ای بین فشارهای ۱۰ تا ۱۵ کیلوباری و اعماق کمتر از ۶۰ کیلومتری از ذوب‌بخشی کمتر از ۱۵٪ یک منبع اسپینل لرزولیتی منشأ گرفته‌اند. با توجه به محلی بودن فوران‌ها، توپوگرافی پست و حجم کم محصولات فورانی و وفور شکستگی‌ها و گسل‌های امتداد لغز به نظر می‌رسد ماگماتیسم منطقه پیامد یک ریفتینگ محلی و بازشدگی در امتداد گسله‌ها عمیق منطقه بوده که به صعود گوشته غنی شده به سطح منجر شده است. این مدل ریفتینگ تا حدودی قابل مقایسه با ریفت‌هایی با ولکانیسم کم (LVRs) هستند (Barberi *et al.*, 1982). به عقیده Fitton (۲۰۰۷) بازالت‌های آلکالی و انتقالی داخل صفحات قاره‌ای در ترکیب مشابه بازالت‌های OIB بوده، اما منشأ آن‌ها

از آن جایی که بخش عمده فازهای کنترل‌کننده Fe و Mg به وسیله یوین و کلینوپیروکسن کنترل می‌شود، لذا با توجه به ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های منطقه، می‌توان از مطالعه پترولوژی تجربی فوق در مورد سنگ‌های منطقه نیز استفاده نمود (Jung, 2003). در این نمودار از نمونه‌هایی استفاده شده، که دارای عدد منیزیم ۶۰ به بالا بوده، ترکیب آن‌ها به ماگماهای اولیه نزدیک‌تر است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نمونه‌ها روند گوشته زایا و غنی‌شده را نشان می‌دهند و تماماً در محدوده فشارهای ۱۰ تا ۱۵ کیلوباری قرار گرفته‌اند.

از آن‌جا که منطقه تغییر و تحول بین دو کانی گارنت و اسپینل بین فشارهای ۲۰ تا ۲۵ کیلوباری بوده که مطابق یک عمق تقریبی ۶۰ تا ۷۵ کیلومتری است (Jung, 2003)، لذا محدوده فشار ۱۰ تا ۱۵ کیلوباری مطابق دیگرام Takahashi و Kushiro (۱۹۸۳) در محدوده رخساره اسپینل واقع می‌شود. بنابراین، گوشته ناحیه منشأ بازالت‌های قروه - تکاب گوشته غنی‌شده با رخساره اسپینل بوده که در محدوده فشارهای ۱۰ تا ۱۵ کیلوباری و اعماق کمتر از ۶۰ کیلومتری منشأ گرفته است.

این موضوع با توجه به ترکیب سنگ‌های منطقه به خوبی با مطالعات تجربی نیز هماهنگ است، چرا که طبق مطالعات Jaques و Green (۱۹۸۰) می‌توان از ذوب یک پریدوتیت اسپینل‌دار تحت فشار ۱۵ کیلوبار و نرخ ذوب‌بخشی کمتر از ۱۵٪ یک آلکالی یوین بازالت به دست آورد.

بحث و نتیجه‌گیری

سنگ‌های آتشفشانی بازیک کواترنری منطقه قروه - تکاب عموماً دارای ترکیب یوین بازالت بوده، جزو سری آلکالی محسوب می‌شوند. این سنگ‌ها در محاسبه نورم

به عقیده Kempton و همکاران (۱۹۹۱) و همچنین Fitton و همکاران (۱۹۹۱) علت این موضوع احتمالاً منشأگیری ماگماها از یک منبع گوشته‌ای لیتوسفری زیر قاره‌ای (نه آستوسفر) غنی شده به وسیله سیالات آزاد شده از یک ورقه فرورانده شده است. نسبت $30 > La/Ta$ و $1/5 > La/Nb$ در بازالت‌های جوان منطقه نیز از شواهد منشأگیری ماگماها از گوشته لیتوسفری زیر قاره‌ای (Sub-continental) است (Fitton *et al.*, 1988). شواهد ژئوشیمیایی و ایزوتوپی به ما نشان می‌دهد که بازالت‌های منطقه از یک منبع شبه - OIB زیر قاره‌ای (Sub-Continental OIB-like) با رخساره اسپینل منشأ گرفته‌اند، اما مکانیسمی که سبب تولید بازالت‌های شبه OIB قاره‌ای از چنین منابعی می‌شود، تا به امروز حل نشده باقی مانده است (Fitton, 2007).

نسبت به OIB‌های واقعی مبهم است. پارامتر ΔNb توسط Fitton و همکاران (۱۹۹۷) به منظور تمییز منابع پلوم از غیر پلوم با فرمول $\Delta Nb = [1.74 + \log(Nb/Y) - 1.92 \log(Zr/Y)]$ مطرح شد. مقادیر $\Delta Nb > 0$ بیانگر منشأ پلوم و $\Delta Nb < 0$ بیانگر منبع غیر پلوم است. پوسته قاره‌ای، بازالت‌های در ارتباط با فرورانش و بازالت‌های مورب نوع N دارای مقادیر ΔNb منفی هستند. مقادیر محاسبه شده ΔNb در بازالت‌های جوان قروه - تکاب مقادیر ΔNb منفی را نشان می‌دهد، در حالی که ولکانیسم‌های داخل صفحات قاره‌ای دارای منشأ شبیه OIB (OIB-like) و دارای $\Delta Nb > 0$ هستند (Fitton, 2007). اما از طرفی، در برخی بازالت‌های مناطق ریفتی درون قاره‌ای چون ایالت باسین اند رنج (Basin and Range) و غرب آمریکا مقادیر $\Delta Nb < 0$ است.

منابع

- آقائاتی، ع. (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.
 معین‌وزیری، ح. و سبحانی، ا. (۱۳۶۴) مطالعه آتشفشان‌های جوان منطقه تکاب و قروه. انتشارات دانشگاه تربیت معلم، تهران، ایران.
 معین‌وزیری، ح. (۱۳۷۷) دیباچه‌ای بر ماگماتیسم در ایران. انتشارات دانشگاه تربیت معلم، تهران، ایران.
 وثوقی‌عابدینی، م. (۱۳۷۶) بررسی پتروولوژیکی و تکتونوماگمایی بازالت‌های سنوزویک خاور ایران (خراسان). فصل‌نامه علوم زمین ۲۴: ۱۶-۳۱.

- Barberi, F., Santacroe, S. and Varet, J. (1982) Chemical aspects of rift magmatism, In: G. Palmason (Ed.): Continental and oceanic rifts. Washington DC, American Geophysical Union 223-258.
 Doe, B. R., Lipman, P. W., Hedge, C. H. and Kurasawa, H. (1969) Primitive and contaminated basalts from the southern Rocky Mountains, USA. Contributions to Mineralogy and Petrology 21: 142-158.
 Fitton, J. G., James, D., Kempton, P. D., Ormerod, D. S. and Leeman, W. P. (1988) The role of lithospheric mantle in the generation of late Cenozoic basic magmas in the western United States, In: K. G. Cox and M. A. Menzies (Eds.): Oceanic continental lithosphere: Similarities and differences. Journal of Petrology Special Lithosphere Issue 223-352.
 Fitton, J. G., James, D. and Leeman, W. P. (1991) Basic magmatism associated with late Cenozoic extension in the western United States. Compositional Research 96: 13693-13711.
 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 Sciences Letters 153: 197-208.
 Fitton, J. G. (2007) The OIB Paradox. Geological Society of America Special paper 430: 387-412.

- Floyd, P. A. and Winchester, J. A. (1975) Magma - type and tectonic setting discrimination using immobile elements. *Earth and planetary Sciences Letters* 27: 211-218.
- Fodor, R. V. and Vetter, S. K. (1984) Rift zone magmatism: Petrology of basaltic rocks transitional from CFB to MORB, Southern Brazil margin. *Contributions of Mineralogy and Petrology* 88: 307-321.
- Frey, F. A., Green, D. H. and Roy, S. D. (1978) Integrated models of basalt petrogenesis: a study of quartz tholeiites to olivine melilitites from South Eastern Australia utilizing geochemical and experimental petrological data. *Journal of Petrology* 19: 463-513.
- Furman, T. (1995) Melting of metasomatized subcontinental lithosphere: undersaturated mafic lavas from Rungwe, Tanzania. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 122: 97-115.
- Furman, T. (2007) Geochemistry of East African rift basalts: An overview. *Journal of African Earth Sciences* 48: 147-160.
- Haase K. M., Goldschmidt B. and Garbe - Schonberg C. D. (2004) Petrogenesis of tertiary continental intraplate lavas from the Westerwald region, Germany. *Journal of Petrology* 45(5): 883-905.
- Hirose, K. and Kushiro, I. (1993) Partial melting of dry peridotites at high pressures: determination of composition of melts segregated from peridotite using aggregates of diamond. *Earth and Planetary Sciences Letters* 114: 477-489.
- Hofmann, A. M. (1997) Mantle geochemistry: The message from oceanic volcanism. *Nature* 385: 219-229.
- Ilnicki, S. (2010) Petrogenesis of continental mafic dykes from the Izere complex Krakonosze-Izra Block (West Sudetes, SW Poland). *International Journal of Earth Sciences (Geol. Rundsch)* 99: 745-773.
- Jaques, A. L. and Green, D. H. (1980) Anhydrous melting of peridotite at 0-15 kbar pressure and the genesis of tholeiitic basalts. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 73: 287-310.
- Johnston, A. D. and Wyllie, P. J. (1988) Interaction of granitic and basic magmas: experimental observation on contamination processes at 10 kbar with H₂O. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 98: 352-362.
- Jung, C. (2003) Geochemische und isotope-geochemische untersuchungen an tertiareren vulkaniten der Hocheifelein beitrage zur identifizierung der mantelquellen von Rift-bezogenen vulkaniten, Dissertation zur erlangung des doktorgrades Naturwissenschaften fachbereich geowissenschaften der Philipps. Universitaet Marburg, Deutschland.
- Kempton, P. D., Fitton, J. G., Hawkesworth, C. J. and Ormerod, D. S. (1991) Isotopic and trace element constraints on the composition and evolution of the lithosphere beneath the southwestern United States, *Journal of Geophysical Research* 96: 13713-13735.
- Keskin, M., Pearce, J. A. and Mithell, J. G. (1998) Volcano stratigraphy and geochemistry of collision - related volcanism on the Erzurum-Kars plateau, northeastern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85: 355-404.
- Lightfoot, P. C. and Keays, R. R. (2005) Siderophile and chalcophile metal variation in flood basalts from the Siberian Trap Noril'sk region: implications for the origin of the Ni-Cu PGE sulfide ores. *Economic Geology* 100: 439-462.
- Lucassen, F., Franz, G., Romer, R. L., Pudlo, D. and Dulski, P. (2008) Nd, Pb and Sr isotope composition of late Mesozoic to Quaternary intraplate magmatism in NE- Africa (Sudan, Egypt): high - μ signatures from the mantle lithosphere. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 156: 756-784.
- McBirney, A. R., Taylor, H. P. and Armstrong, R. L. (1987) Paricutin re-examined: a classic example of crustal assimilation in calc-alkaline magma. *Contributions of Mineralogy and Petrology* 95: 4-20.

- Meschede, M. (1986) A method of discrimination between types of Mid-Ocean - Ridge basalt and continental tholeiites With the Nb- Zr- Y diagram. *Chemical Geology* 56: 207-218.
- Pearce, J. A. (1982) Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: R. S. Thrope (Ed.): *Andesites*. Wiley, Chichester.
- Pearce, J. A., Bender, J. F., Delong, S. E., Kidd, W. S. F., Low, P. J., Guner, Y., Saroglee, F. and Yilmaz, Y. (1990) Genesis of collisional volcanism in eastern Anatolia, Tuerkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 44: 189-229.
- Peters, T. J., Menzies, M., Thitlwall, M. and Kyle, P. K. (2008) Zuni- Bandera volcanism, Rio Grande, USA, Melt formation in garnet-and spinel-facies mantle straddling the asthenosphere -lithosphere boundary. *Lithos* 102: 295-315.
- Rollnison, H. R. (1993) *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman scientific and Technical, England.
- Shervais, J. W. (1982) Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas, *Earth and Planetary Science Letters* 59: 101-118.
- Spath, A., Le Roex, A. P. and Opiyo Akech, N. (2001) Plume -lithosphere intraction and the origin of continental rift-related alkali volcanism-the Chyulu Hills volcanic province, southern Kenya. *Journal of Petrology* 42: 765-787.
- Sun, S. S. and Hanason, G. N. (1975) Origin of Ross Island basanitoids and limitations upon the heterogeneity of mantle source for alkali basalts and nephelinites. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 52: 77-106.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F. (1989) *Chemical and isotope systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes*. Geological Society, London, Special Publications 42: 313-345.
- Takahashi, E. and Kushiro, I. (1983) Melting of a dry peridotite at high pressures and basalt magma genesis. *American Mineralogist* 68: 859-879.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M. (1985) *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, England.
- Thompson, R. A. (1991) Oligocene Basaltic volcanism of the northern Rio Grande Rift: San Luis Hills, Colorado. *Journal of Geophysical Research* 96(B8): 13577-13592.
- Verma, S. P. (2009) Continental rift setting for the central part of Mexican volcanic belt: A statistical approach. *The open Geology journal* 3: 8-29.
- Watson, E. B. (1982) Basalt contamination by continental crust: some experiments and models. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 80: 73-87.
- Weavar, B. L. (1991) Trace element evidence for the origin of ocean- island basalts. *Geology* 19: 123-126.
- Wilson, M. (1989) *Igneous petrogenesis- A global tectonic approach*. Unwin Hyman London, England.
- Wilson, M. and Downes H. (2006) Tertiary-Quaternary intraplate magmatism in Europe and its relationship to mantle dynamics. *Geological Society of London* 32: 147-166.
- Yoder, H. S. and Tilley, C. E. (1962) Origin of basalt magmas: an experimental study of natural and synthetic rock systems. *Journal of Petrology* 3: 342-532.

Mantle source characteristics of the Quaternary Alkali olivine basalts in Qorveh-Takab area

Shahrooz Hagnazar ^{1*} and Sara Malakotian ²

¹ Department of Geology, Faculty of Sciences, Islamic Azad University, Lahijan Branch, Lahijan, Iran

² Department of Geology, Islamic Azad University, Damavand Branch, Damavand, Iran

Abstract

The quaternary alkali olivine basalts exposed in the east and northeast of Sanandaj in Qorveh, Takab and Bijar axis. These rocks are mainly olivine basalts with normative nepheline and olivine. The existence of gneissic xenolith, quartz xenocrysts and phenocrysts of biotite are evidences of crustal contamination. From geochemical point of view, negative anomaly of P, Zr, Nb, Ti and Pb positive anomaly as well as enrichment of LIL elements indicate crustal contamination. In tectonic setting diagrams, the samples plot in intra-plate alkali basalts. The low ratios of Y/Nb, Zr/Nb, high ratio $(La/Yb)_N \sim 24$ and the similarity of REE pattern with OIB, show that of magma generated in an enriched mantle. Also, geochemical studies indicate that the studied basalts are derived from enriched mantle OIB-like source with spinel facies in the pressure of 10-15 kbar, depth of less than 60 km and less than 15% partial melting.

Key words: Alkali olivine basalt, Quaternary, Crustal contamination, OIB-like source, Spinel facies

* sh_hagnazar@yahoo.com