

Petrogenesis of Plio-Quaternary basalts in Azerbaijan, NW Iran and comparisons them with similar basalts in the east of Turkey

N. Amel¹, M. Moayyed¹, A. Ameri¹, M. Vosoghi Abedini², M. Moazzen¹

1-Department of Geology, University of Tabriz, , Iran.

2-Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University , Tehran, Iran.

Email: amel@tabrizu.ac.ir

(Received: 23/4/2007, in revised form: 19/4/2008)

Abstract: The Plio-Quaternary volcanic eruptions have made basaltic lavas in NW Iran and Azerbaijan. Basaltic lavas with prismatic structure cover the Plio-Pliostocene volcano-sedimentary or Quaternary alluviums. The studied regions are situated in Azerbaijan provinces in areas of Monnavar, Herra, Ahar, Kaleibar, Mahabad, Salmas, Maku, Marand, Sarab and Zunuz. The studied sample rocks are olivine basalt, trachy basalt and basaltic andesite. These rocks have microlithic porphyritic vesicular, hyallo microlithic vesicular porphery and doleritic textures in thin sections. On the basis of chemical analysis, magma that has formed the rocks had alkaline nature with a $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 1$ ratio. The tectonic environment for the samples in discriminate diagrams is post collisional volcanic arc setting. The study of Rare earth elements patterns in diagrams show that, common dip of variations have descending trend and indicate basaltic rocks enriched in LREE and depleted in HREE. Other features of the diagrams are small negative anomaly for Eu, Ta, Nb and distinct positive anomaly for U, Th, La, Rb, Ba, and Cs. The study of rare earth elements patterns display that magma originated from an enriched asthenospheric mantle with garnet in source.

Keywords: *Basaltic eruptions, Azerbaijan, Plio-Quaternary basalts, Alkali olivine basalts*

سنگ‌زایی بازالت‌های پلیو - کواترنری آذربایجان (شمال غرب ایران) و مقایسه آنها با بازالت‌های مشابه در شرق ترکیه

نصیر عامل¹، محسن مؤید¹، علی عامری¹، منصور وثوقی عابدینی²، محسن مؤذن¹

1- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تبریز- کد پستی 51664

2- دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

E-mail: amel@tabrizu.ac.ir

(دریافت مقاله: 1386/2/3، نسخه نهایی: 1387/1/31)

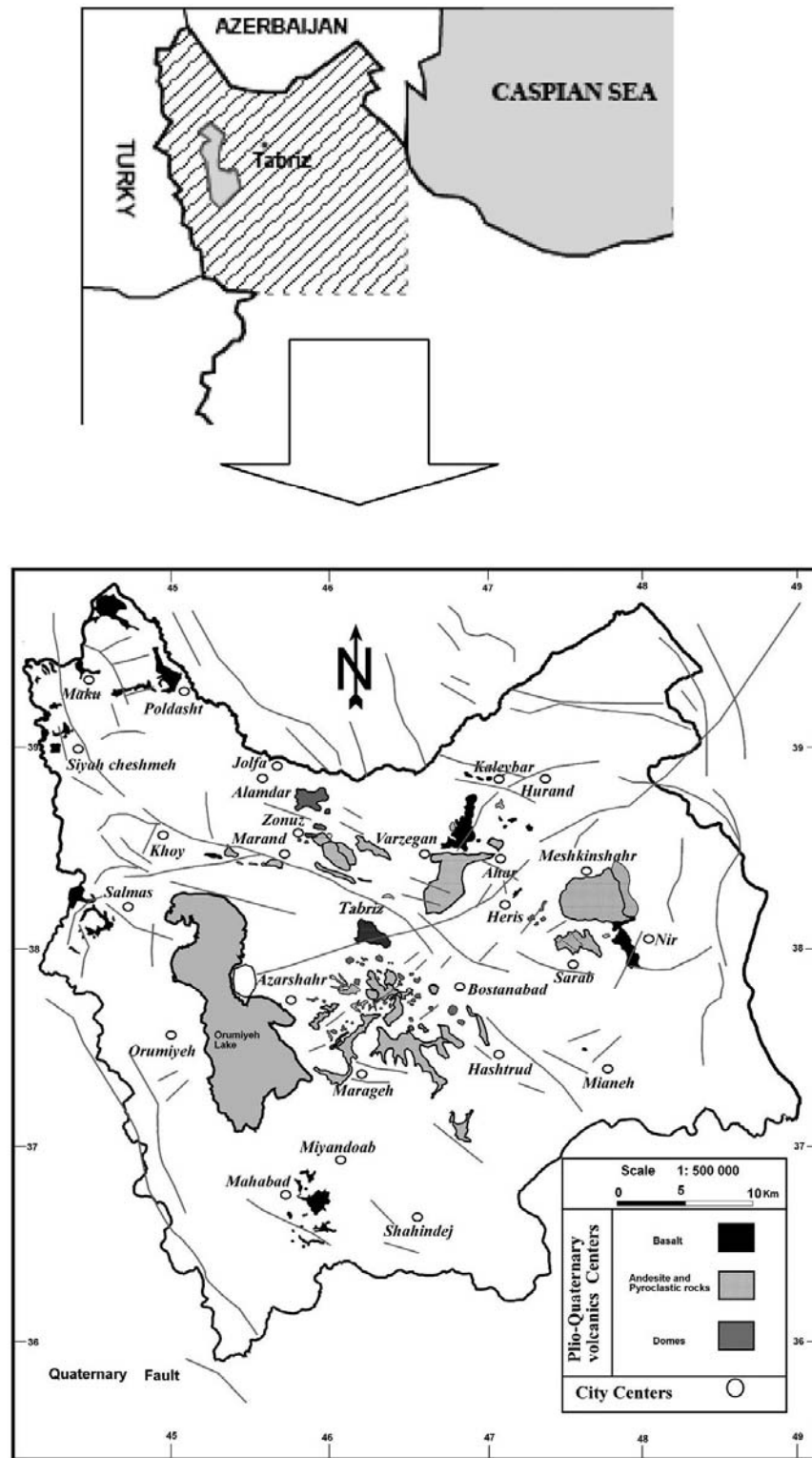
چکیده: فورانهای آتشفشانی با سن پلیو-کواترنری در آذربایجان و شمال غرب ایران با خروج گدازه‌های بازالتی همراه بوده‌اند. گدازه‌های بازالتی با ساخت منشوری واحدهای آذرآاری پلیو- پلیوستوسن و ته نشستهای آبرفتی را پوشانده‌اند. مناطق مورد مطالعه واقع در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی عبارتند از: منطقه منور در شمال تبریز، هریس، اهر، کلیبر، مهاباد، سلماس، ماکو، مرند (کشکسرای)، سراب، و زنوز. واحدهای سنگی مورد مطالعه عبارتند از الیوین‌بازالت، تراکی‌بازالت و بازالت‌های آندزیتی. در مقاطع میکروسکوپی، بافت میکروولیتیک پورفیری، هیالومیکروولیتیک پورفیری حفره‌دار و دولریتی دارند. بر پایه نتایج آنالیزهای شیمیایی، ماگمای تشکیل دهنده سنگها دارای ماهیت قلیایی به نسبت $Na_2O/K_2O > 1$ است. محیط زمین‌ساختی نمونه‌های مورد مطالعه در نمودارهای مورد استفاده در گستره قوس‌های آتشفشانی که پس از برخورد بوجود آمده‌اند قرار می‌گیرند. بررسی الگوهای عناصر کمیاب خاکی برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که شیب عمومی تغییرات دارای روند نزولی است و نشانگر غنی شدگی سنگهای بازالتی از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) و تهی شدگی از عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) است. از بی‌هنجاری‌های دیگر در نمودارها، ناهنجاری منفی ضعیف عبارتند از Eu، Ta، Nb، و ناهنجاری مثبت و شاخص عناصر U، Th، La، Rb، Ba، Cs، است. بررسی الگوهای پراکندگی عناصر نادر خاکی، نشان دهنده تشکیل ماگما از یک خاستگاه گوشته‌ای استونسفری (گارت لرزولیت) است.

واژه‌های کلیدی: فوران‌های بازالتی، آذربایجان، بازالت‌های پلیو - کواترنری، قلیایی الیوین بازالت.

مقدمه

ساز و کار مهم شامل نرخ کم ذوب سنگ خاستگاه (لرزولیت گارت‌دار)، و یا ذوب بخشی گوشته دگرنهادی ایجاد شود [1]. واحدهای آتشفشانی بازالتی در مناطق مورد مطالعه در شمال غرب ایران و استان‌های آذربایجان شرقی و غربی واقع شده و با توجه به شواهد چینه‌ای، سن پلیو - کواترنری دارند (شکل 1). مناطق مورد مطالعه عبارتند از: 1) ماکو و مناطق اطراف آن، 2) منطقه جنوب شرق مرند (کشکسرای)، 3) شمال تبریز (منور و سه‌رل)، 4) منطقه هریس (خشک‌ناب)، 5) اهر -

سیر تکوین و دگرگونی ماگماهای آکالان بازی می‌تواند از دیدگاه‌های مختلف بررسی شود. گدازه‌های بازالتی در محیط‌های مختلف زمین‌ساختی و از ذوب بخشی سنگ با خاستگاه‌های گوشته‌ای، و با ترکیبات مختلف در شرایط متفاوت ترمودینامیکی ایجاد می‌شوند. گوشته فوقانی خاستگاه انواع ماگماهای بازیگ است. ایجاد ماگماهای قلیایی از ذوب گوشته در اعماق زیاد امکان پذیر است. در برخی موارد محل خاستگاه ماگماهای قلیایی (مانند بخش‌های دگرنهادی گوشته) غنی شده است. ماهیت قلیایی ماگماهای بازی می‌تواند با دو



شکل 1 موقعیت واحدهای آتشفشانی بازالتی پلیو- کواترنر در آذربایجان شرقی و غربی (شمالغرب ایران) همراه با موقعیت گسل‌های جوان. گسل‌ها از نقشه 1 : 500000 سازمان زمین‌شناسی کشور به نقشه تهیه شده اضافه شده است.

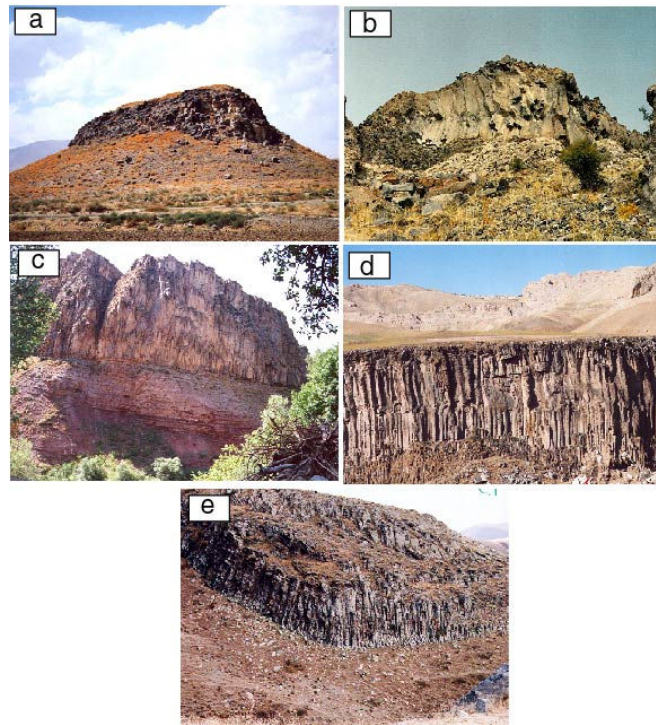
50 نمونه سنگی جمع آوری شد و مقاطع نازک آنها مورد مطالعه قرار گرفتند، و پس از بررسیهای سنگ‌شناختی تعداد 28 نمونه سنگی نادگرسان انتخاب و به منظور تهیه تجزیه‌های شیمیایی به روش‌های ICP-MS و XRF به شرکت ALS Chemex کانادا ارسال شدند (جدول 1).

سنگ شناسی

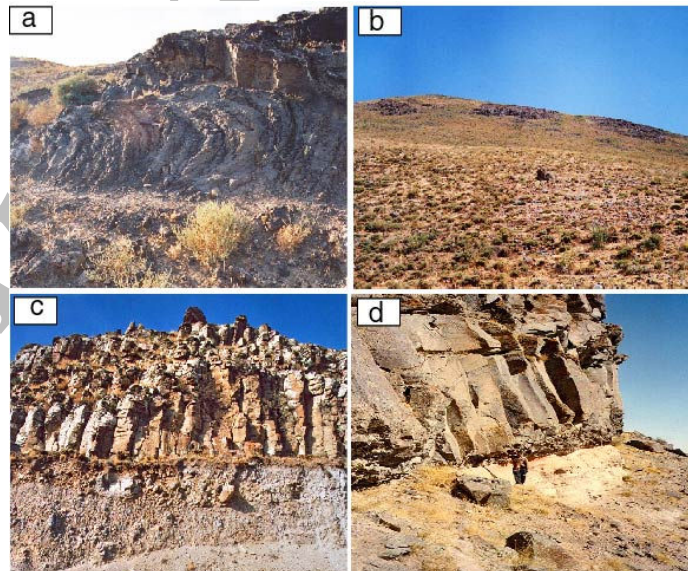
نمونه‌های بازالتی مورد مطالعه در مقاطع میکروسکوپی به دو دسته تقسیم می‌شوند، 1) اولیون بازالت‌ها (2) پیروکسن بازالت‌ها. در دسته اول درشت بلورهائی از الیونهای شکل دار تا نیمه‌شکل‌دار به اندازه 0,2 تا 1,7 میلی‌متر در یک متن میکرولیتی پورفیری متشکل از پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، کانیه‌های تیره و یا شیشه قرار دارند. در برخی از نمونه‌های الیون به ایدینگسیت و بولنژیت تجزیه شده‌اند. بلوره‌های درشت پلاژیوکلاز در برخی از نمونه‌ها دارای بافت غربالی هستند. بافت اغلب سنگها میکرولیتیک پورفیری و هیالومیکرولیتیک پورفیری حفره‌دار است. پیروکسنها و پلاژیوکلازها نیز از دیگر درشت بلورها هستند. برخی از بلورها دارای ساختار منطقه‌ای هستند و در اغلب مقاطع نازک مورد مطالعه پیروکسنها اوزیتی فراوان‌تر از پلاژیوکلازها و الیون‌ها هستند (شکل‌های 5 و 4). با توجه به پارائز کانیه‌ها می‌توان دو نوع ترتیب تبلور را برای ماگمای مولد بازالتها متصور شد. 1) اولیون --> کلینوپیروکسن --> پلاژیوکلاز --> (مگنتیت -- الیون -- کلینوپیروکسن -- پلاژیوکلاز)، و 2) کلینوپیروکسن --> اولیون --> (پلاژیوکلاز - کلینوپیروکسن). کانی‌های درون پارائز در خمیره قرار دارند.

در برخی مناطق مثل اهر، الیون‌ها بسیار ریز بلور بوده و به مقدار کم در سنگها مشاهده می‌شوند. الیون‌بازالت‌ها بیشتر در شمال تبریز، ماکو، سراب، اهر، هریس، مهاباد، و میانه قرار دارند. نمونه‌های بازالتی معمولی شامل هورنبلند و پیروکسن بازالت‌ها هستند و در مناطق منور، ورزقان، و کلیبر قرار دارند. از نظر سنگ‌شناسی، نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار [5] در گستره قلیایی بازالت تا بازالت قرار می‌گیرند، (شکل، الف 6). در نمودار [6] گونه گونی سنگی شامل بازالت، تراکی بازالت، تراکی آندزیت بازالتی، بازانیت و تفریت است، (شکل، ج 6).

ورزقان، 6) سراب، و سرعین، 7) کلیبر، 8) مهاباد، 9) میانه و 10) سلماس و نزوز. گدازه‌های بازالتی اغلب دارای ساخت منشوری بوده و در محیط خشکی فوران کرده‌اند. بنابر بررسیهای انجام شده [2-4] معلوم شد که ماگماهای بازالتی جوان در آذربایجان از نظر ترکیب دو نوع‌اند. بخشی از بازالتها دارای ترکیب قلیایی و خاستگاه عمیق بوده و دسته دیگر بازالت‌های غنی از آلومین با خاستگاه کم عمق معرفی شده‌اند. ماگماهای بازی‌یاد شده ویژگی ماگماهای اولیه را ندارند و جزء ماگماهای تغییر یافته شده که درجات مختلفی از روند جدایش و آرایش را پشت سر گذاشته‌اند، محسوب می‌شوند. واحدهای بازالتی مشابهی در شرق کشور ترکیه گزارش شده‌اند. در این کار پژوهشی سعی شده است تا با بررسی‌های صحرایی، واحدهای آتشفشانی بازالتی پلیو-کواترن در آذربایجان و شمالغرب ایران شناسائی و معرفی شوند. مطالعه ویژگی‌های سنگ شناختی و ژئوشیمیایی سنگها به منظور تعیین سیر دگرگونی ماگمای قلیایی بازی بخشی از اهداف این بررسی بوده است. برای تعیین محیط زمین‌ساختی سنگهای مورد مطالعه و ارائه الگوی تکتونوماگمایی مناسب و بنا بر با شواهد صحرایی و زمین‌شناسی منطقه، ویژگی‌های سنگ‌زایی سنگها با واحدهای مشابه در شرق ترکیه مقایسه شده‌اند. واحدهای بازالتی در اغلب مناطق مورد مطالعه همراه با سنگهای آتشفشانی آندزیتی، داسیتی و ریوداسیتی به صورت مجموعه‌های پیروکلاستیکی دیده می‌شوند. در اغلب مناطق مورد مطالعه، غیر از منطقه کشکسرای در جنوب غرب مرند، واحدهای بازالتی به صورت روانه‌های گدازه‌ای با ساخت منشوری روی سنگهای حدواسط و اسیدی آتشفشانی قابل مشاهده‌اند. در مناطق یادشده واحدهای بازالتی روی ته نشستهای آبرفتی دوران چهارم و یا ته نشستهای آذرآوری پلیو- پلیوستوسن واقع شده‌اند. منطقه منور واقع در شمال تبریز یکی از کاملترین سکانس‌های آتشفشانی را در خود جای داده است. در این منطقه گدازه‌های بازالتی ضخیم با ساختار منشوری روی واحدهای تخریبی و آذرآوری پلیو- پلیوستوسن قرار گرفته‌اند، (شکل‌های 3 و 2). گرمای زیاد گدازه‌های بازالتی، ته نشستهای زیرین را پخته و به رنگ سرخ در آورده است. پس از بررسی‌های صحرایی، برای بررسیهای سنگ شناختی سنگها، تعداد



شکل 2 الیوین بازالت‌ها در مناطق مورد مطالعه: a - منطقه سلماس: گدازه های بازالتی با ساخت منشوری روی تهنسسته‌های کواترنری قرار دارند. b- منطقه منور در شمال تبریز: بازالت‌های منشوری روی تهنسسته‌های آذرآواری پلیستوسن قرار دارند. در بخش بازالت‌ها لایه‌ای از اسکوری دیده می‌شود. c - منطقه زنوز: گدازه‌های بازالتی روی تشکیلات سرخ فوقانی با سن میوسن قرار دارند. e - منطقه ماکو: کلیسا کندی، جریان گدازه مناطق پست را پر کرده است. f - منطقه کلبیر: منشورهای بازالتی روی تهنسسته‌های کواترنری قرار دارند. در کلیه تصاویر دید به سمت شمال است.



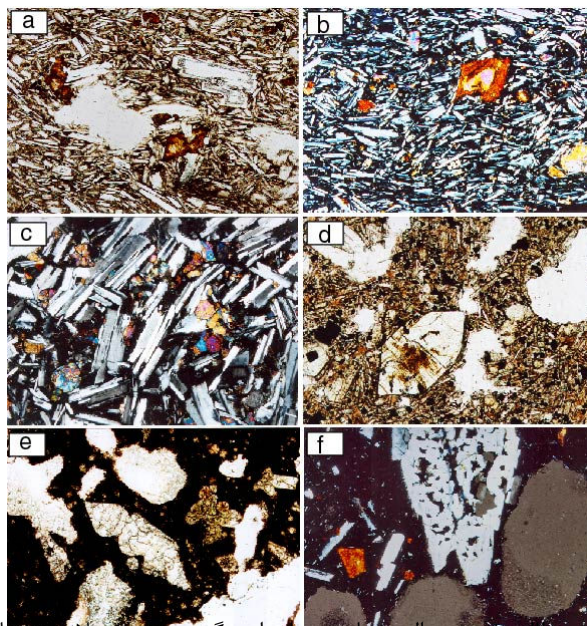
شکل 3 گدازه‌های الیوین بازالتی در مناطق مورد مطالعه. a- منطقه ماکو- گدازه های ریسمانی شکل بازالتی. b- منطقه هریس- الیوین بازالت‌ها در ارتفاعات منطقه. c- منطقه کلبیر- گدازه های بازالتی با ساخت منشوری روی تهنسسته‌های آبرفتی قرار دارند. d- منطقه منور در شمال تبریز. قرار گیری گدازه‌ها روی تهنسسته‌های آبرفتی باعث پخته شدن تهنسسته‌های زیرین شده است. دید در عکسها به سمت شمال است.

جدول 1 نتایج آنالیزهای شیمیایی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب سنگ‌های بازالتی آذربایجان.

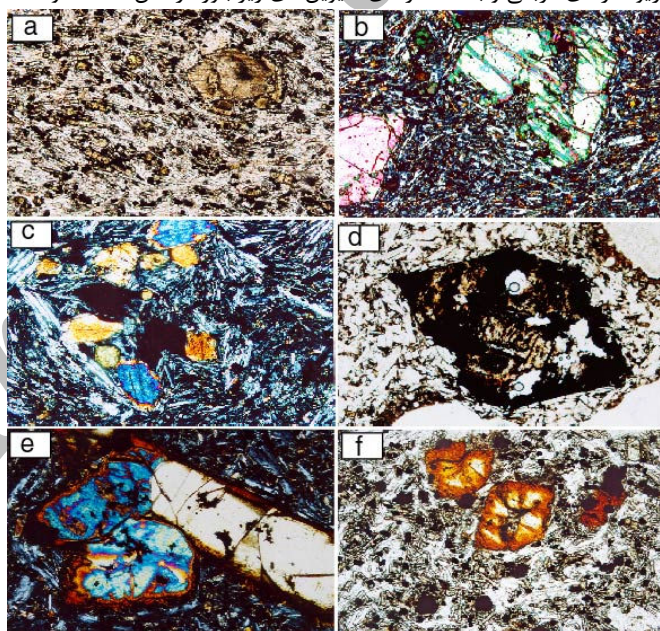
Sample No.	MOB2	MOB3	MO3	MO6	SOB	SOP	LM	SOP3	AH4	AH1	MAK1	AHVA8	ZA1	MAK17	MAK16	MAK5	MAK2	MAKA1	MBAB8	HKB2A	HKB9
SiO ₂	47,22	42,27	52,78	52,71	47,17	49,03	50,01	51,99	47,38	48,03	50,72	47,19	52,28	50,52	52,01	51,82	52,6	49,87	43,83	42,5	44,29
TiO ₂	2,11	2,16	1,56	1,76	2,12	1,22	1,84	0,97	2,26	2,26	1,37	1,12	1,25	1,35	1,19	1,4	1,18	1,24	1,54	2,71	2,71
Al ₂ O ₃	14,81	14,78	14,95	14,96	14,49	16,05	10,77	16,07	15,27	14,65	13,83	13,96	13,42	13,73	14,41	16,25	14,17	13,79	12,63	14,09	14,41
Fe ₂ O ₃	32,11	11,31	8,12	8,51	11,17	9,38	9,7	9,01	10,15	9,75	7,87	7,47	7,04	7,57	7,06	7,3	7,07	7,82	9,48	12,27	11,47
MnO	0,18	0,13	0,09	0,1	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,14	0,1	0,13	0,13	0,13	0,09	0,12	0,13	0,15	0,17	0,14
MgO	6,92	5,51	4,12	4,1	7,28	8,56	10,7	5,21	5,31	5,65	6,02	6,84	6,08	6	5,8	4,43	5,6	5,78	11,31	7	6,4
CaO	10,43	10,11	9,18	8,5	8,92	9,36	11,1	9,29	9,76	9,23	8,31	8,13	8,29	8,01	7,76	9,51	7,9	8,18	11,6	10,7	10,32
Na ₂ O	3,97	4,22	4,71	4,59	3,97	3,21	3,22	3,23	4,21	2,81	2,8	3,95	3,22	2,5	2,86	3,6	3,98	3,41	3,34	2,92	4,48
K ₂ O	1,37	1,91	1,99	1,12	1,41	1,39	1,27	0,75	1,85	1,98	5,78	1,44	5,59	5,48	4,48	2,6	3,02	3,6	1,81	2,23	1,01
P ₂ O ₅	0,96	1,01	0,76	0,78	1,04	1,36	1,23	0,26	1,33	1,37	1,1	0,74	1,09	1,15	0,94	0,75	0,93	1,16	1,33	0,96	1,62
L.O.I	0,95	1,13	1,75	1,5	1,79	1,18	0,52	1,5	1,7	3,68	1,67	8,62	2,12	2,83	2,5	1,74	2,66	4,14	2,55	0,95	2,33
Total	100,24	100,54	100,01	99,62	99,77	100,05	100,5	98,57	99,64	99,86	100	99,58	100,3	99,62	99,46	99,8	99,56	99,51	99,92	99,43	99,53
عناصر کمیاب	MOB2	MOB3	MO3	MO6	SOB	SOP	LM	SOP3	AH4	AH1	MAK1	AHVA8	ZA1	MAK17	MAK16	MAK5	MAK2	MAKA1	MBAB8	HKB2A	HKB9
V	190	200	200	190	238	217	230	257	184	226	199			187	174	208	165	188	179	277	288
Cr	270	320	280	270	230	320	440	140	70	70	120			120	160	230	150	120	360	110	100
Co	37	40			42,1	2,41	40	0,73	9,33	34	30,3			29	7,59	3,31	3,68	30,7	47,6	43	40,1
Ni	120	130	120	96	185	38	130		28	66	5			5	26	15	15	5	292	44	97
Cu	35	41	39	38	59	53	36	52	111	80	100	118	39	78	62	60	61	100	49	83	126
Zn	6	7	6	6	138	39	7	91	157	159	100		6	101	106	92	99	99	109	170	152
Ga	270	320	280	270	18,4	1,18	560	18,4	28,7	29	18,9	207	270	18	19,3	18,9	18,5	18	16,1	20,2	25,1
Rb	99	100	92	74	22,5	6,24	91	9,8	11,6	22,3	240	17	89	140	118	64	83,6	201	38,8	23,8	11,4
Sr	89	60	120	130	1170	568	39	550	2120	2190	1045			1115	1180	1220	1135	1170	1805	1915	2440
Y					18,7	7,19		20	17,1	16,6	24,1			24,2	24,9	24	23,9	24,2	21,8	21,9	20,6
Zr	220	160	200	280	171	128	200	98	177	193	341			363	306	225	309	315	192	204	191
Nb					35,3	17		6,5	36,1	38,3	47,2			54,6	45,5	24,7	44,8	48,5	43,6	40,2	38,8
Ba	1500	1200	1000	1400	373	467	980	786	770	761	2340	541	1200	2230	1850	1470	1785	2450	1115	779	866
La					49,2	24,7		19,7	73,8	75,9	55,9	40		61,6	66,4	67,6	63,1	57,9	111,5	74,6	79,6
Ce	28	15	120	96	103,5	48,4	130	39,5	160	164,5	119,5	143	110	129,5	133	131,5	127,5	121,5	210	165	178,5
Pr	42	41	49	44	12,85	5,82	41	4,76	19,95	20,7	14,85	9	120	16,45	16,05	15,05	15,15	14,95	23,1	21,1	22,3
Sm					8,47	4,68		20,1	75,4	79,2	59,8			66,6	63,7	57,1	60,3	60,6	78,3	82,9	87,5
Eu					2,51	1,36		4,37	12,15	12,2	11,7			12,9	12	10,25	11,3	12,05	11,20	13,6	14,05
Gd	89	60	120	130	8,56	4,11		1,22	2,91	3,04	2,58			2,71	2,57	2,4	2,48	2,56	2,95	3,22	3,39
Tb					0,87	0,54	39	4,09	9,54	9,39	8,92	14,06	120	9,59	9,16	7,94	8,65	8,9	9,72	10,25	10,85
Dy					4,28	3,99		0,66	1,06	1,02	1,14			1,23	1,15	1,05	1,15	1,15	1,07	1,15	1,16
Ho					0,75	0,77		3,95	4,27	4,14	5,41			5,47	5,51	5,09	5,41	5,38	4,96	5,27	4,51
Er					1,97	2,16		0,78	0,7	0,67	0,9	13		0,94	0,94	0,91	0,97	0,92	0,85	0,83	0,72
Tm					0,28	0,32		2,27	1,87	1,81	2,34			2,54	2,47	2,31	2,23	2,4	2,34	2,33	2,14
Yb					1,5	1,96		0,34	0,21	0,22	0,34			0,29	0,34	0,31	0,31	0,3	0,32	0,27	0,24
Lu					0,21	0,31	2,7	1,89	1,28	1,29									1,75	1,6	1,61
Hf					4,3	3,3	0,23	0,3	0,17	0,17									0,26	0,23	0,19
Ta					1,9	0,9	2,8	2,8	4,8	4,9									4,4	5,3	5,1
Pb	37	40	38	36	7	9		0,3	1,7	1,9									2,2	1,9	1,8
Th					5,33	5,04	40	7	9	9									13	8	9
U					1,18	1,62		3,26	6,83	6,93									10,9	5,23	5

ادامه جدول 1

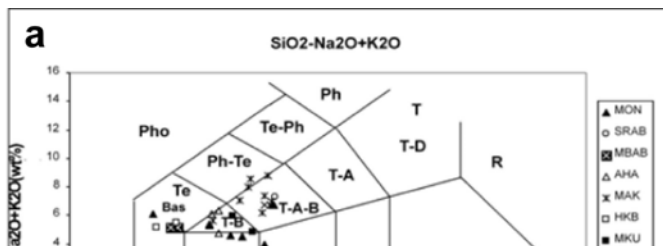
Sample No.	KAPZ	SRABM	MKU	MKUK	VA3	MBAB3	KALMB
SiO ₂	52,48	52,9	49,24	50,93	47,5	44,38	52
TiO ₂	1,66	1,66	2,09	1,75	1,34	1,49	1,62
Al ₂ O ₃	16,69	17,67	17,13	18,21	14,3	12,15	16,47
Fe ₂ O ₃	8,16	8,42	11,65	9,88	8,19	9,77	8,25
MnO	0,1	0,15	0,17	0,14	0,27	0,15	0,11
MgO	3,9	2,99	4,26	5,55	6,32	12,2	4,32
CaO	8,02	6,35	6,93	8,05	12	10,97	8,3
Na ₂ O	4,71	4,51	4,5	4,23	4,01	3,39	4,7
K ₂ O	2	2,76	1,47	0,61	1,55	1,79	2,07
P ₂ O ₅	0,77	0,87	0,74	0,3	0,6	1,25	0,96
L.O.I	1,1	1,06	1,63	0,11	4,46	1,74	0,95
Total	99,83	99,51	99,92	99,62	101	99,62	100,05
عناصر کمیاب	KAPZ	SRABM	MKU	MKUK	VA3	MBAB3	KALMB
V	213	169	213	169		178	207
Cr	50	30	10	50		410	60
Co	1,06	21,5	30,6	35,9		51,1	1,22
Ni	5	12	50	53		370	5
Cu	51	33	24	30	36	53	91
Zn	111	115	145	97	6	106	126
Ga	20,5	21,5	20,4	19,4	300	16	20,3
Rb	22,2	51,1	20,8	8	120	37,6	21,9
Sr	1540	825	561	436		1660	1795
Y	12,7	27,4	32	24,8		20,3	13,1
Zr	149	284	254	171		185	157
Nb	19,6	39	6,9	5,6		42	23,6
Ba	754	787	398	130	1200	937	792
La	45,3	61,9	14,2	12,4		102,5	54,4
Ce	92,3	115	27,1	28,9	110	194,5	108,5
Pr	10,65	13,35	3,1	4,16	77	21,8	12,5
Nd	40,6	47,7	10,3	17,4		75,6	46,5
Sm	6,37	8,63	7,06	4,55		11,2	10,5
Eu	1,83	2,28	1,96	1,58		2,85	1,83
Gd	5,45	7,55	6,52	4,31	110	9,15	5,9
Tb	0,63	0,97	0,98	0,74		1	0,66
Dy	2,91	5,6	6,21	4,61		4,48	2,94
Ho	0,51	1,07	1,2	0,99		0,78	0,51
Er	1,4	2,83	3,32	2,8		2,18	1,37
Tm	0,18	0,43	0,49	0,43		0,3	0,18
Yb	1,13	2,53	3,17	2,33		1,57	1,03
Lu	0,17	0,4	0,49	0,37	0,2	0,26	0,14
Hf	4	6,4	6	4,2	2,7	4,4	4,1
Ta	0,9	2,1	1,2				
Pb	12	12	33		37		
Th	5,26	7,44	4,56				
U	1,06	1,83	1,54				



شکل 4 تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های (a) - الیون‌های ریز بلور ایدینگسیتی - (PPL, x 40) درشت نمائی (x 40) ، (b) - الیون‌های شکل‌دار و میکرولیت‌های پلاژیوکلاز در خمیره - درشت نمائی (XPL, x 40) - سراب، (c) - بافت دل‌ریتی با الیون‌ها و بلورهای پیروکسن اوژیته در حد فاصل پلاژیوکلازها (XPL و x 40) - ماکو، (d) - الیون‌های درشت شکل‌دار در یک متن میکرولیتی اکسیده شده با بافت حفره‌ای (PPL و x 100) - هریس، (e) - الیون‌های درشت شکل‌دار در یک متن شیشه‌ای شدیداً اکسیده و حفره‌دار (PPL و x 40) - مهاباد. (f) - بافت هیالوپورفیری با پلاژیوکلازهای غربالی و بافت حفره‌ای، الیون‌های ریز بلور در متن (XPL و x 40) - سراب.



شکل 5 تصاویر مقاطع میکروسکوپی نمونه‌های مورد مطالعه: (a) - بافت میکرولیتیک پورفیری، درشت بلور الیون، درشت نمائی (PPL و x 100) - کلیبر. (b) - الیون‌های فنوکریست و شکل‌دار - درشت نمائی (XPL و x 40) - میانه، (c) - بافت گلمروپورفیری، کلینوپیروکسن‌های اوژیته با بافت کومولاتی - درشت نمائی (XPL و x 100) - اهر، (d) - درشت بلور الیون شکل‌دار و ایدینگسیتی شده. درشت نمائی (PPL و x 40) - سراب، (e) - بلورهای درشت الیون در بازالیت با حاشیه ایدینگسیتی شده - درشت نمائی (XPL و x 100) - منور، (f) - الیون‌های درشت و ایدینگسیتی شده و میکرولیت‌های پیروکسن و فلدسپار درشت نمائی (PPL و x 100) - منور.

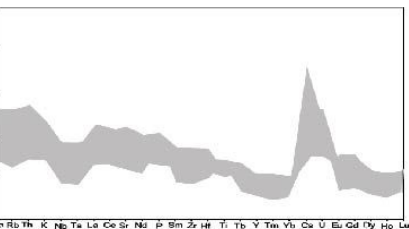


شکل 6 نمودارهای رده‌بندی و تعیین سری ماگمایی بازالت‌های مورد مطالعه. a- نمودار [6]، برای نامگذاری سنگ‌های مورد مطالعه، علائم بکار رفته در شکل عبارتند از: d - داسیت، R - ریولیت T - تراکیت T-D - تراکی داسیت A - آندزیت A-B - آندزیت بازالتی T-A - تراکی آندزیت T-A-B - تراکی آندزیت بازالتی T-B - تراکی بازالت Ba - بازالت P-Ba - پیکرو بازالت Te - تفریت Bas - بازالت Ph-Te - فونوتفریت Te-Ph - تروفونولیت Ph - فونولیت. AHA - اهر MON - منور SRA - سراب MBAB - مهاباد MAK - مرتد، کشکسرای HKB هریس - خشک‌ناب MKU - ماکو KAL - کلیبر، b - نمودار [7]. تعیین سری ماگمایی نمونه‌های مورد مطالعه، c- نمودار [5] برای طبقه بندی سنگهای مورد مطالعه.

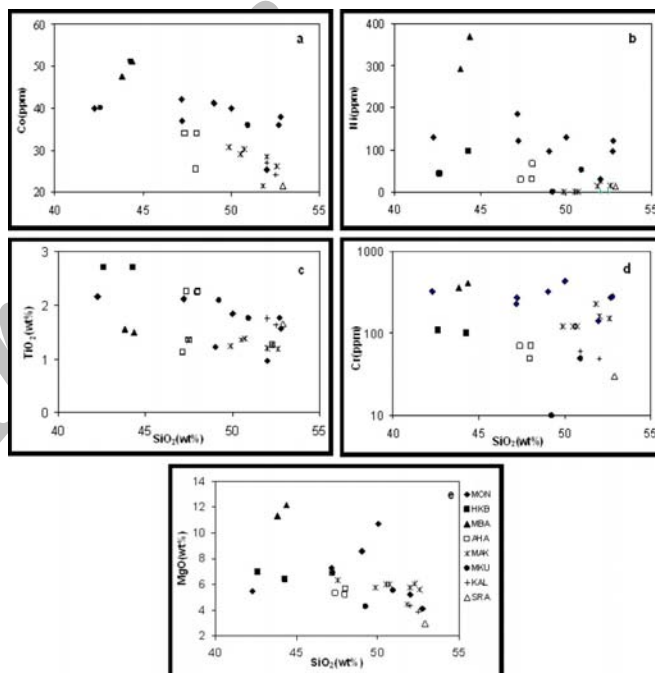
ژئوشیمی
میزان تغییرات SiO_2 نمونه‌ها از 42 تا 52 درصد در نوسان است. نمونه‌های مورد مطالعه به طور کلی در نمودار [7] در گستره‌ی قلیایی قرار می‌گیرند، (شکل، ب 6). به غیر از چند نمونه در منطقه کشکسرای مرند که ماهیت پتاسی دارند، بقیه نمونه‌ها با توجه به نسبت $\text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O} > 1$ ، سرشت سدیک دارند. بررسی الگوهای عناصر نادر خاکی نمونه‌های مورد مطالعه که بر پایه‌ی مقادیر کندریت و بازالت‌های میان اقیانوسی بر گرفته از [8] بهنجار شده‌اند، در نمودارهای مربوطه شیب منفی قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهند که نشانگر غنی‌شدگی از عناصر LREE و تهی‌شدگی از عناصر HREE برای سنگهای مناطق مورد مطالعه است، (شکل 7). تغییرات عناصر Ni، Co، Cr،

TiO_2 و MgO در مقابل افزایش SiO_2 در نمودارهای رسم شده، طیف پراکنده و گستره‌ای را نشان می‌دهند، (شکل 8). تعدادی از نمونه‌ها قلیایی‌تر از بقیه هستند و در برخی از مناطق مانند اهر، مهاباد، منور، و هریس، سنگها دارای درصد TiO_2 ، Ni، Cr، MgO بالا هستند. ناهنجاری منفی ضعیفی از عناصر Ta، Nb، Eu، و بهنجاری مثبت و شاخص از عناصر Rb، Ba، Th، La، Cs و U در الگوی عناصر کمیاب نادر خاکی نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شوند. مقادیر محاسبه شده برای نسبت Eu / Eu^* سنگهای مورد مطالعه از 0/74 تا 1/09 در نوسان است. همچنین HREE تهی شده (Ce / Yb)، مقدار پائین Y و Sc و نسبت بالای عناصر LREE. در نمودارها قابل توجه است.

Basaltic Rocks



شکل 7 نمودارهای چندین عنصری و عناصر نادر خاکی سنگ‌های بازالتی مناطق مورد مطالعه که بر پایه مقادیر بازالت‌های میان اقیانوسی، کندریت و گوشته اولیه بر گرفته از [8] به‌نجا شده اند. توضیح در متن مقاله.



شکل 8 نمودارهای تغییرات عناصر، Cr، Ni، Co، TiO_2 و MgO نسبت به SiO_2 در سنگ‌های بازالتی مورد مطالعه، MON - منور در شمال تبریز - HKB - هریس - خشک‌ناب MBA - مهاباد - AHA - اهر، MAK - کشکسرای مرند - MKU - ماکو - KAL - کلیبر - SRA - سراب.

بحث و بررسی

نتایج حاصل از تعبیر و تفسیر نمودارهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی و همهٔ کمیاب و الگوهای تغییرات عناصر نادر خاکی نشان می‌دهند که ماگمای مادر سنگهای بازالتی از یک خاستگاه گوشته‌ای غنی‌شده و احتمالاً دارای گارنت ریشه گرفته است. وجود غنی‌شدگی در عناصر LREE و تهی‌شدگی در عناصر کمیاب HREE و شیب منفی منحنی‌های عناصر نادر خاکی، نشان دهندهٔ نسبت بالای $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ در محیط، و ریشهٔ در الیوین‌بازالت‌ها دارد. ناهنجاری منفی ضعیف Eu نشان دهندهٔ و جدایش کانی‌های در بردارندهٔ این عنصر یعنی پلاژیوکلازهای کلسیک از ماگماست که در مرحلهٔ صعود و نیز توقف ماگما در سطوح بالاتر رخ داده است. (شکل‌های 7 و 10). فقر عناصر نادرخاکی سنگین و تهی‌شدگی آنها علاوه بر وجود گارنت و نسبت بالای $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ در خاستگاه می‌تواند به وسیلهٔ فرایند جدایش اولیوین، اورتوپیروکسن و کلینوپیروکسن نیز توجیه شود. همچنین تغییرات عناصری مانند Ni, Co, Cr، همراه با افزایش سیلیس در نمودارها تا حدی می‌تواند به نقش الیوین در جذب Ni و یا کلینوپیروکسن و اسپینل در جذب کروم مربوط باشد، (شکل 8). درصد TiO_2 در برخی از نمونه‌ها بالا است (بیشتر از 2 درصد) و این ویژگی در مناطق کافتی و مناطق در ارتباط با فعالیت نقاط داغ قابل مشاهده است. مقادیر بالای Zr و نسبت بالای La / Yb می‌تواند نشان دهندهٔ وجود یک خاستگاه گوشته‌ای غنی شدهٔ استنوسفری باشد. همچنین HREE تهی شده با مقادیر بالایی از (Ce / Yb)، مقدار پائین Y و Sc و نسبت بالای عناصر LREE، در نمودارها نیز می‌تواند نشان دهندهٔ حضور گارنت در خاستگاه گوشته‌ای سنگهای مورد مطالعه باشد. عناصر ناسازگار احتمالاً با آبگونها و مواد دیگر فرار از گوشته به سطوح بالاتر حمل شده‌اند و خاصیت غنی‌شدگی گوشتهٔ اولیه را حفظ کرده‌اند [9]. طیف ترکیبی وسیع MgO، Ni، و Cr نشان دهندهٔ جدایش اولیه پیروکسن و الیوین و نقش مؤثر آنها در دگرگونی ماگما بوده است. ناهنجاری مثبت و شاخص عناصر Ba، Th، La، Cs و U در الگوی عناصر کمیاب نادر خاکی، تغییرات نسبت Nb / U در مناطق مورد مطالعه از 37 تا 65 و نیز ناهنجاری منفی Nb و Ta می‌تواند در ارتباط با نسبت‌های متفاوت آلیش ماگمای بازیک با مواد پوسته‌ای در نظر گرفته شود، [10]. تغییرات هم شیب اغلب نمونه‌های مورد مطالعه در نمودارهای عناصر کمیاب و عنکبوتی، نشان دهندهٔ

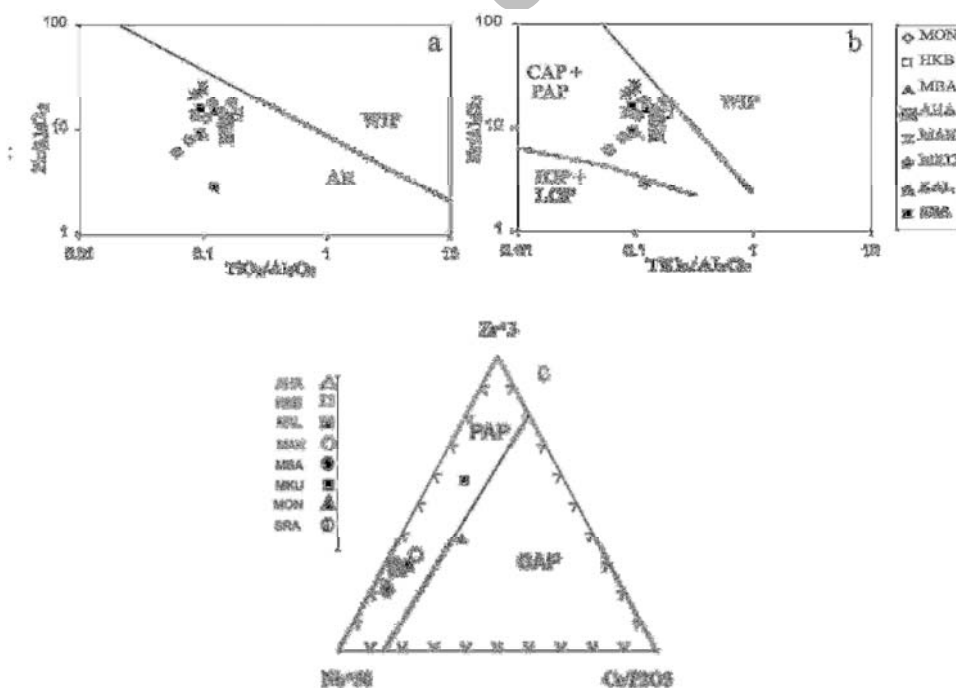
خاستگاه با ترکیب مشابه برای نمونه‌هاست. احتمالاً نرخ ذوب‌های مختلف سنگ خاستگاه جدایش، ماگما حین صعود به سطوح بالاتر و توقف آن در اعماق مختلف و آلیش با مواد پوسته‌ای با نسبت‌های مختلف، دگرگونیها و تغییرات بعدی در بازالت‌ها را سبب شده است.

در نمودارهای تعیین محیط زمین‌ساختی [11] تمامی نمونه‌ها در موقعیت قوسهای آتشفشانی قرار می‌گیرند، (شکل الف 9). برای جدایی موقعیت سنگهای آتشفشانی درون صفحات، قوس‌های قاره‌ای، قوس‌های پس از برخورد و محیط‌های قوسی آغازین و تأخیری از نمودار [11] استفاده شد و تقریباً تمامی نمونه‌ها در موقعیت قوسهای حواشی قاره‌ای و محیط قوس‌های آتشفشانی پس از برخورد قرار گرفتند، (شکل ب 9). در حواشی فعال قاره‌ای نیز محیط‌های مختلفی مثل حوضه‌های پشت قوس سیالیک و محیط‌های برخوردی، و پس از برخورد وجود دارند، و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در محیط قوس‌های پس از برخورد قرار می‌گیرند (شکل ج 9).

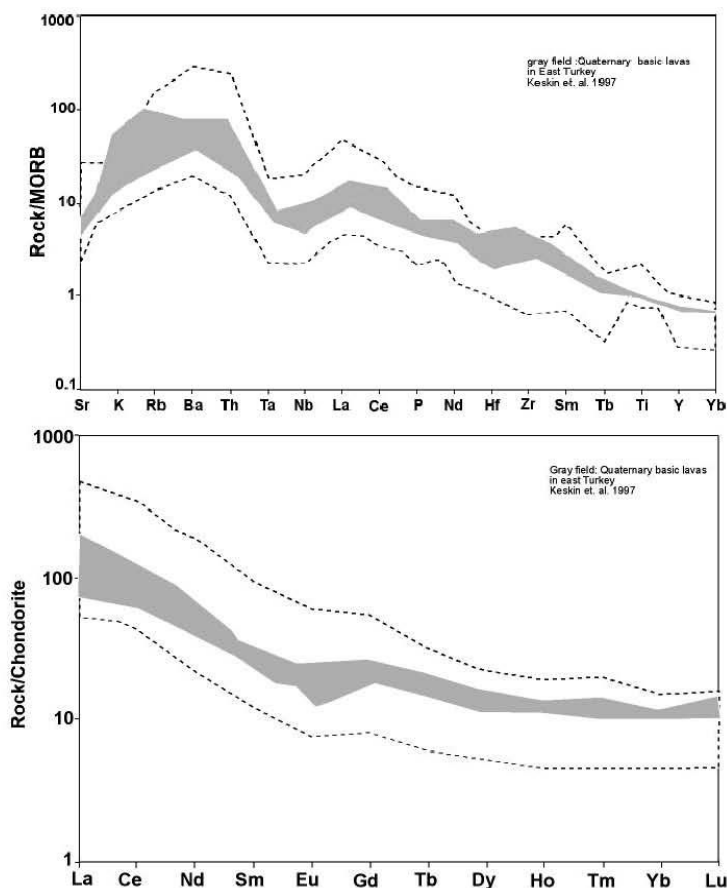
ساز و کارهای مختلفی برای ذوب گوشته و ایجاد ماگماهای قلیایی برای فلات مرتفع ایران- آناتولی پیشنهاد شده است [12]، از جمله شروع ذوب بخشی به علت کاهش فشار در اثر نیروهای کششی در منطقه و گسیختگی لیتوسفر زیر قاره‌ای، ایجاد آشفستگی در ترازهای گرمایی لیتوسفر زیر قاره‌ای این مناطق که در اثر وجود نیروهای فشارشی و متعاقباً به علت کوتاه‌شدگی، ضخیم‌شدگی و بالآمدگی پوسته‌ای رخ می‌دهند، کشش منطقه‌ای و نازک شدن پوسته در محل حوضه‌های گسیخته در سیستم‌های گسلی در امتداد لغزش، و فعالیت نقاط داغ از جمله ساز و کارهای پیشنهادی است [12]، [13]. با در نظر گرفتن ادامهٔ همگرایی پلیت عربی و اوراسیا پس از برخورد، از بین پیشنهادهای بالا، ذوب بخشی گوشتهٔ استنوسفری زیر قاره‌ای به علت کم شدن فشار در اثر گسیختگی و یا قطعه قطعه شدن پوستهٔ فلات ایران و شرق آناتولی و کشش منطقه‌ای و نازک شدن پوسته در محل حوضه‌های گسیخته محتمل‌ترند. در اثر حاکمیت نیروهای کششی ناشی از جابه‌جائی خرده صفحه‌های حاشیهٔ جنوبی ابر قارهٔ اوراسیا در جهات مختلف که در اثر برخورد صفحهٔ آفری - عربی با اوراسیا حاصل شده بود، ماگماتیسم جوان بازالتی فلات شمال غرب ایران و شرق آناتولی به وجود آمده است [13]. ادامهٔ همگرایی پس از برخورد پلیت عربی و اوراسیا و پیدایش

کوتاه‌شدگی، ضخیم‌شدگی و بالاآمدگی پوسته‌ای، از حدود 12 میلیون سال قبل تا عهد حاضر، در شمال غرب ایران، گسل‌ها و شکستگی‌های زیادی را به وجود آورده است که اغلب آنها از نوع امتدادلغزش‌اند. در منطقه آذربایجان حرکت در راستای گسل‌ها، بخصوص در محل انحنای گسل‌های امتداد لغزش و یا در محل همپوشی پایانه‌های گسلی، امتدادلغزش و محور چین‌های جوان و محل برخورد گاه شکستگیها و گسل‌ها، در اثر کشش حوضه‌های گسیخته تشکیل شده‌اند، و این مناطق مسیرهای مناسبی برای خروج ماگماهای بازیک کواترنری بوده‌اند (شکل 1). همچنین برخوردگاه گسل‌هایی که دارای راستاهای NW-SE و NE-SW هستند و برخوردگاه این گسل‌ها با گسل‌های با راستای شمالی - جنوبی، مسیرهای مناسبی برای خروج و فوران آبگونی‌های بازی بوده‌اند. گسل‌های با روند NW-SE تحت حاکمیت رژیم‌های زمین‌ساختی فشارشی بوده‌اند، لذا نمی‌توانستند مسیر فعالی برای صعود ماگمای بازی باشند. با توجه به نمودارهای مربوط به تغییرات ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه

خاستگاه ماگمای سنگها احتمالاً از نواحی عمیق گوشته و بخش گارنت لرزولیتی بوده است. ماگما در سیر دگرگونی بعدی، در اثر صعود و توقف در سطوح مختلف پوسته‌های مراحل از جدایش و آلیش را پشت سر گذاشته است. در برخی از نمونه‌های سنگی مورد مطالعه، وجود البوین‌های درشت و شکل‌دار در کنار درشت بلورهای پیروکسن، درصد پائین سیلیس و آثار آلیشی و جدایشی کمتر، همگی می‌توانند نشانگر حرکت صعودی و سریع ماگما از طریق سیستم‌های شکستگی و گسل‌های عمیق باشند. الگوهای عناصر نادر خاکی و نمودارهای عنکبوتی نمونه‌های آتشفشانی شمال غرب ایران با فلات کارس - ارضروم در شرق ترکیه مقایسه شده است، (شکل 10). فلات مرتفع کارس - ارضروم در شرق ترکیه به عنوان منطقه‌ای نوعی مناطق برخوردی قاره - قاره مورد مطالعه قرار گرفته است [14]. چنانکه مشاهده می‌شود همانندی‌های زیادی بین آنها وجود دارند و این می‌تواند نشان‌دهنده وجود منابع ماگمایی و سیر دگرسانی سنگ‌زایی مشابه برای مناطق مورد بحث باشد.



شکل 9 نمودارهای نشان دهنده محیط زمین‌ساختی سنگ‌های مناطق مورد مطالعه [11]. a - جدایش موقعیت سنگ‌های آتشفشانی درون صفحه-ای (WIP) از واحدهای مرتبط با قوس‌های آتشفشانی (AR)، b - جدایش قوس‌های حواشی قاره‌ای (CAP)، قوس‌های پس از برخورد (PAP) و محیط‌های قوسی آغازین (IOP) و تأخیری (LOP). c جدایش محیط‌های پس از برخورد از محیط‌های قوسی آغازین و تأخیری علائم در الف و ب مانند شکل 6 است.



شکل 10 مقایسه الگوی عناصر نادر خاکی بازالت‌های کواترنری آذربایجان با سنگ‌های مشابه در شرق ترکیه. کلیه داده‌ها بر اساس مقادیر کندریت و بازالت میان اقیانوسی بر گرفته از [8] به‌نجا شده‌اند. گستره خط چین مربوط به الگوی تغییرات عناصر نادر خاکی آذربایجان و محدوده خاکستری مربوط به الگوی تغییرات عناصر کمیاب شرق ترکیه در فلات کارس-ارزروم است.

برداشت

این ویژگی می‌تواند نشان دهنده خاستگاه گوشته‌ای غنی شده برای ماگما باشد. طیف ترکیبی گسترده (MgO)، Ni، Cr نشان دهنده جدایش اولیون و پیروکسن از ماگماست و نقش آن را در دگرسانی ماگما نشان می‌دهد. ناهنجاری منفی ضعیف Eu، در الگوی عناصر کمیاب سنگ‌های مورد مطالعه، نشان دهنده دگرسانی ماگما و جدایش پلاژیوکلازهای کلسیک هنگام بالا آمدن و استقرار ماگمای بازی در سطوح بالاتر است. وجود ناهنجاری مثبت و شاخص برای Ba، Rb، Th، La، U، و Cs، تأثیر آرایش پوسته‌ای را نشان می‌دهد. الگوی HREE تهی شده و نسبت‌های بالای عناصر نادر خاکی LREE می‌تواند نشان دهنده گارنت در خاستگاه گوشته‌ای غنی شده و نسبت بالای CO₂/H₂O در محیط تشکیل ماگما باشد. ناهنجاری منفی

(1) آتشفشان‌های پلیو - کواترنری آذربایجان، شامل مجموعه‌ای از واحدهای آتشفشانی متنوع است که جوانترین بخش آن در کواترنری دگرسان شده و شامل گدازه‌های اولیون بازالت، تراکی بازالت، تراکی آندزیت بازالتی با خصلت قلیایی هستند.
 (2) سنگ‌های مطالعه شده دارای بافت میکرولیتیک پورفیری و هیالومیکرولیتیک پورفیری حفره‌دار هستند و برخی از آنها بافت دولریتی دارند. درشت بلورهای اصلی سنگ‌ها شامل البیون، پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن‌اند. برخی از البیون‌ها دارای کرانه‌های ایدینگستی، و سنگ‌های بازی مورد مطالعه متعلق به سری قلیایی هستند.
 (3) اغلب نمونه‌ها متاآلومینوس‌اند و دارای درصد بالایی از TiO₂ (بیشتر از 2 درصدوزنی)، Zr، و نسبت La / Yb بالا هستند و

- [5] Winchester J.A., Floyd P.A., "Geochemical discrimination of immobile elements", *Chemical Geology* 20, (1997). 325-343 p.
- [6] Le Maitre R.W., Bateman P., Dudek A., Keller J., Lameyre Le Bas M.J., Sabine P.A., Schmid R., Sorensen H., Streckeis A., Wooley A.R., Zanettin B., "A classification of igneous rocks and glossary of terms.", Blackwell, Oxford.(1989).
- [7] Irvine T.N., Baragar W.R.A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", *Canadian Journal of Earth Science* 8 (1971) 523 – 48.
- [8] Sun S.S., McDonough W. F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle Composition and Processes ", in: Saunders A. D., Norry M. J.(Eds.) "Magmatism in the ocean basins ", Geological Society Special Publication London 42 (1989) 313-347.
- [9] Fitton G.J., James D., Leeman W.P., "Basic magmatism associated with late Cenozoic extension in the western United States: compositional variations in space and time", *J. Geophys. Res.* 96 (1991) 53-61.
- [10] Hofman A.W., "Mantle geochemistry: the message from Oceanic Volcanism", *Nature* 385(1997) 219-229.
- [11] Muller D., Groves D. I., "Pottasic igneous rocks and associated gold-copper mineralization", *Sec. Updated. Springer – Verlag.*(1997) 242p.
- [12] Pearce J.A., Bender J.F., De Long S.e., Kidd W.S.F., Low P.J., Guner Y., Saroglu F., Yilmaz Y., Moorbath S., Mitchell J.J., "Genesis of collision magmatism in eastern Anatolia, Turkey", *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 44 (1990) 189-229.
- [13] Innocenti F., Manetti P., Mazzuli R., Pasquare G., Villari L., "Anatolia and north-western Iran", In: Thorpe, R.S.(ed.), *Andesites*. John Wiley and sons,(1982)327-349 p.
- [14] Keskin M., Pearce J.A., Mitchell J.G., "Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum- Kars Plateau", *Northeastern Turkey. J. Volcanol. and geothermal Rs.* (1983)55-404p.

ضعیف (Nb و Ta) برای برخی از نمونه‌ها احتمالاً نشان دهنده آلودگی با ماگما با مواد پوسته‌ای است.

4) نمودارهای محیط زمین ساختی نشان می‌دهند که بازالتها در پیرامون محیط‌های فعال قاره‌ای و قوس‌های آتشفشانی پس از برخورد تشکیل شده‌اند.

5) ماگماتیسم شمال غرب ایران و آذربایجان و شرق آناتولی سرگذشت زمین‌شناسی و محیط زمین ساختی مشابهی را در پلیو - کواترنری داشته‌اند. این همانندی در نمودارهای تغییرات عناصر کمیاب قابل مشاهده است. در این دوره شمال غرب ایران و شرق ترکیه، فلات مرتفعی را تشکیل می‌داده و در اثر برخورد و ادامه همگرایی تختگاه عربی - اوراسیایی، کوتاه‌شدگی، ضخیم‌شدگی، و بالاآمدگی پوسته‌ای شاخصی در این مناطق به وجود آمده است. در اثر کاهش ناگهانی فشار در گوشته بالا آمده و به علت ایجاد شکستگیها و گسلهای راستای لغزش عمیق، ذوب بخشی در گوشته استنوسفری شروع شده و ماگماتیسم قلیایی بازی پلیو- کواترنری آذربایجان و شمال غرب ایران شکل گرفته است.

تشکر و قدردانی

مطالب این مقاله بخشی از رساله دکتری مؤلف اول است که از سوی دانشگاه تبریز مورد حمایت مالی قرار گرفته است. لذا نویسندگان از مسئولین محترم دانشگاه تبریز و نیز از هیئت تحریریه و داوران مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی که با نظرات سازنده خود موجب ارتقای سطح مقاله شدند تشکر می‌شود.

مراجع

- [1] McBirney A.R., "Igneous petrology", Sec., ed., John and Bartlett. Pub,(1993)507 p.
- [2] وثوقی عابدینی م، "مقدمه‌ای بر تحقیقات پتروگرافی و پترولوژی ولکانیک‌های بازیک دوران چهارم منطقه آذربایجان"، سازمان زمین‌شناسی کشور (1356). گزارش شماره 69.
- [3] سیار میاندهی ا، "بررسی پتروژنتیکی بازالت‌های کواترنری آذربایجان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی تهران (1372) 199 صفحه.
- [4] عامل ن، "مطالعه پترولوژی نوار ولکانیکی شمال گسل تبریز"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز (1373) 167 صفحه.