

پتروگرافی و شیمی کانی‌های دایک‌های بازالتی غرب برونی (جنوب غرب اردستان، ایران): شواهدی از اختلاط ماگمایی

عبدالرزاق جباری^{۱*}، منصور قربانی^۱، یورگن کوپکه^۳، قدرت ترابی^۲ و نرگس شیردشت‌زاده^۲

^۱ دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، ایران
^۳ انستیتوی کانی‌شناسی، دانشگاه هانور، آلمان

چکیده

در منطقه برونی (جنوب غرب اردستان) که بخشی از نوار ماگمایی ارومیه - دختر است، دایک‌های بازالتی میوسن با ساخت منشوری واحدهای آتشفشانی ائوسن را قطع نموده‌اند. این سنگ‌ها دارای انکلاوهای گرانیتوئیدی الیگوسن بوده و سن احتمالاً میوسن را نشان می‌دهند. کانی‌های سازنده آن‌ها الیوین‌های کلریتی، کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز، کلریت، ایلمنیت و مگنتیت هستند. بافت‌های عمده این سنگ‌ها نیز پورفیری، میکرولیتی، میکرولیتی پورفیری، گلوپروفیریک، و بافت غربالی پلاژیوکلازها است. کلینوپیروکسن‌ها دارای ترکیب اوژیت تا دیوپسید بوده و پلاژیوکلازها نیز دارای طیف ترکیبی لابرادوریت تا بیتونیت هستند. کلریت‌ها از نوع دیابانتیت بوده و اغلب از دگرسانی الیوین‌ها به وجود آمده‌اند. برخی از کلریت‌ها نیز در زمینه سنگ دیده می‌شوند. بررسی‌های پتروگرافی و شیمی کانی‌ها نشان می‌دهد که ماگمای سازنده این سنگ‌ها دچار اختلاط ماگمایی شده، هنگام در حین صعود نیز بخش‌هایی از سنگ دیواره را که بیشتر دارای ترکیب گرانیتوئید هستند، با خود حمل نموده است. این سنگ‌ها ویژگی‌های مشابه با بازالت‌های قوس‌های آتشفشانی را دارند.

واژه‌های کلیدی: اردستان، ارومیه - دختر، ایران، بازالت، کانی‌شناسی

مقدمه

به همراه سنگ‌های آتشفشانی، توده‌های نفوذی اسیدی و بازی وجود دارند (درویش زاده، ۱۳۷۰؛ امامی و همکاران، ۱۳۷۱؛ قربانی، ۱۳۸۲؛ Berberian, 1981). از جدیدترین بررسی‌های زمین‌شناسی ارائه شده در مورد نوار ماگمایی ارومیه - دختر می‌توان به (Omran et al., 2008) اشاره نمود که در آن تشکیل این پهنه

نوار ماگمایی (ارومیه - دختر) بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی و در امتداد پهنه طولی از سهند تا بزمان با روند (شمال‌باختری - جنوب‌خاوری) به طول ۱۷۰۰ کیلومتر و پهنای تقریبی ۱۵۰ کیلومتر به موازات پهنه سنندج - سیرجان قرار دارد. در این پهنه ماگمایی

است. نامبرده آتشفشانی‌های الیگو-میوسن این منطقه را آندزیت‌های زیردریایی دانسته که همراه مارن و آهک دیده می‌شوند.

در پنج کیلومتری غرب روستای برونی (جنوب غرب اردستان) دایک‌های بازالتی با ساخت منشوری سنگ‌های آتشفشانی ائوسن با ترکیب آندزیت تا داسیت را قطع می‌نمایند. امتداد این دایک‌ها شرقی - غربی بوده، حجم زیادی ندارند. این واحد آتشفشانی در غرب معدن منگنز بغم نیز قابل مشاهده هستند.

در مطالعاتی که بر روی این منطقه صورت پذیرفته‌اند، سنگ‌های مورد بررسی تاکنون گزارش نشده‌اند، اما بر اساس بررسی‌های صحرائی و وجود انکلاوهای گرانیتوئیدی الیگوسن در پتروگرافی این سنگ‌ها، می‌توان سن آن را بعد از الیگوسن و احتمالاً میوسن در نظر گرفت. بهترین رخنمون این سنگ‌ها در نزدیکی سد برونی با مختصات جغرافیایی $33^{\circ} 15' N$ و 48.6° و $052^{\circ} 16' 37.8'' E$ است. نقشه زمین‌شناسی ساده شده این ناحیه و تصاویر صحرائی در شکل‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

از آنجایی که بازالت‌ها ماگماهای اولیه یا اندکی تغییر یافته هستند (Rollinson, 1993) که از گوشته منشأ گرفته، داده‌های بسیار مهمی در اختیار زمین‌شناسان قرار می‌دهند، بررسی این بازالت‌ها که متعلق به کمان ماگمایی ارومیه - دختر بوده، دارای سن احتمالی میوسن هستند، اطلاعات ارزشمندی در مورد گذشته زمین‌شناسی این بخش از سرزمین ایران و فرآیندهای درگیر در ماگماتیسزم بازالتی آن ارائه خواهد نمود.

در انجام این تحقیق بررسی پتروگرافی و شیمی کانی‌های موجود در دایک‌های بازالتی منشوری غرب روستای برونی مورد نظر خواهد بود.

ماگمایی به فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس از تریاس تا ائوسن به زیر صفحه ایران در نظر گرفته شده است.

Amidi (۱۹۷۷) سنگ‌های ولکانیک ائوسن در ناحیه نطنز - سورک را به صورت شش فاز تقسیم نموده است که به ترتیب عبارتند از:

(۱) سنگ‌های ریولیتی که به صورت توف و ایگنمبریت در محیط دریایی بسیار کم عمق همراه با کنگلومرا و آهک‌های تخریبی نهشته شده‌اند؛

(۲) سنگ‌های آندزیتی زیرین که بیشتر از نوع آندزیت و آندزیت‌های پتاسیم‌دار هستند؛

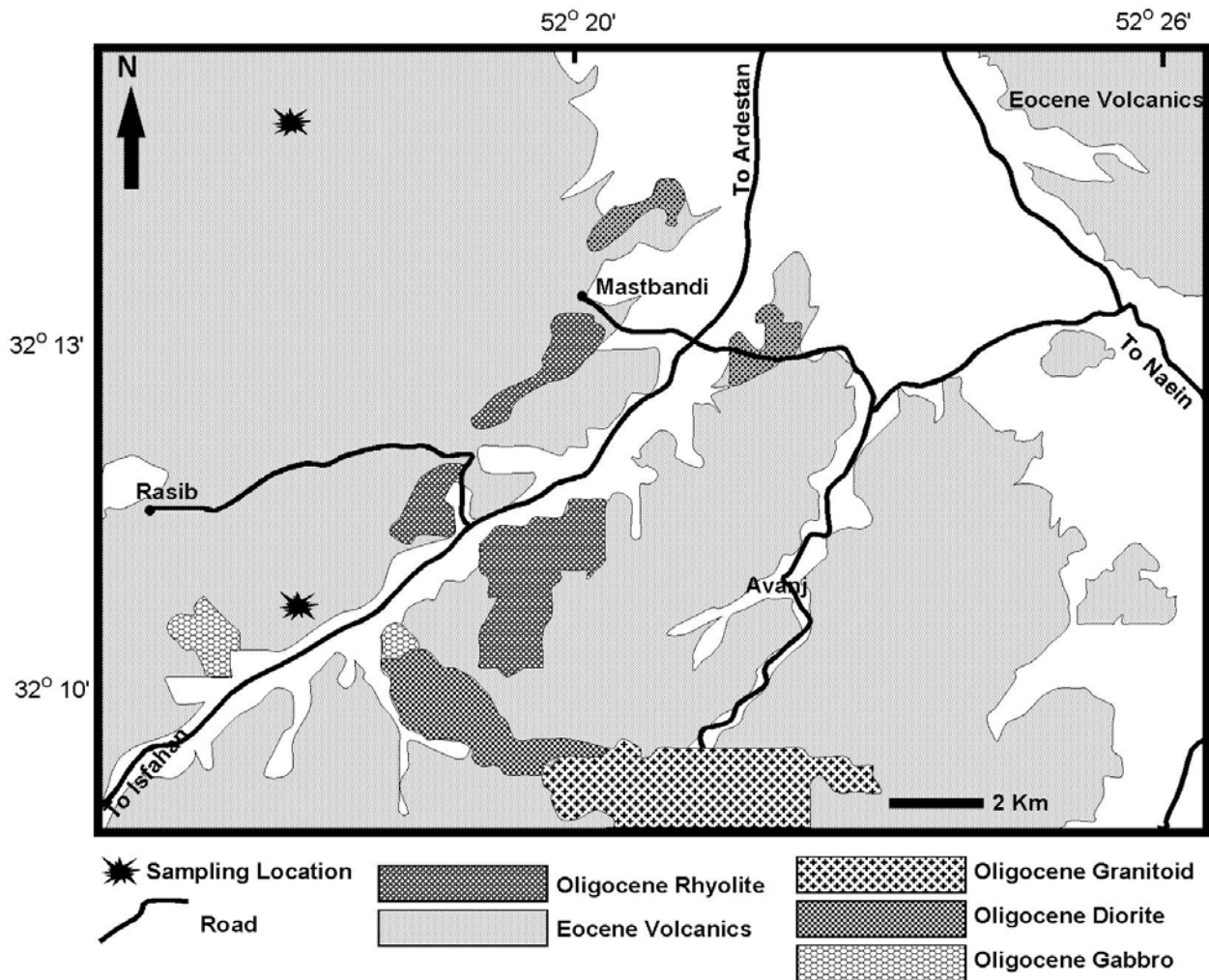
(۳) سنگ‌های ریوداسیتی که نمایانگر یک فعالیت قاره‌ای هستند و به طور محلی به صورت گنبد ظاهر می‌شوند. در بعضی نواحی نیز حالت ایگنمبریتی دارند. این فعالیت آتشفشانی اسیدی که در بسیاری از قسمت‌های ایران مشاهده می‌شود، با داشتن سطحی فرسایش یافته در قسمت بالایی خود، دلیلی بر رخداد یک فاز تکتونیک مهم و فراگیر در ائوسن است؛

(۴) سنگ‌های آندزیت میانی، به فراوانی به صورت سنگ‌های آذرآواری و سنگ‌های جریان‌ی - آندزیتی دیده می‌شوند. در این مرحله فعالیت ریولیتی از نوع قاره‌ای، به صورت توف‌های اسفرولیتی و ایگنمبریتی دیده می‌شوند؛

(۵) سنگ‌های سری شوشونیتی شامل آبساروکیت، شوشونیت، تراکی آندزیت و توسکانیت که آنالسیم در آنها فراوان است؛

(۶) سنگ‌های آندزیتی بالایی که به سوی قطب غنی از آلومینیوم تمایل داشته، دارای چند فعالیت کوچک از نوع اسیدی هستند.

Amidi (1977) سنگ‌های ولکانیک الیگوسن این منطقه را ریولیت‌های قاره‌ای می‌داند که نشان‌دهنده خشکی‌زایی وسیعی در اواخر ائوسن و اوایل الیگوسن



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده منطقه مورد بررسی و محل‌های نمونه‌برداری (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ اردستان).

روش انجام پژوهش

پس از بررسی‌های صحرایی به‌منظور مطالعه میکروسکوپی و دسترسی به ترکیب شیمیایی کانی‌ها از دایک‌های بازالتی منشوری نمونه‌برداری صورت گرفت و پس از تهیه مقاطع نازک - صیقلی (Thin-polished section) نمونه‌های مناسب با استفاده از دستگاه آنالیز نقطه‌ای

الکترون میکروپروب Cameca SX-100 دانشگاه هانوو (Hanover) آلمان با ولتاژ شتاب‌دهنده 20 kV و جریان 15 nA بررسی شدند که نتایج آن در جدول‌های ۱ تا ۳ آورده شده است. در محاسبه مقدار Fe^{3+} برای دسترسی به فرمول ساختاری کانی‌ها نیز از استوکیومتری کانی‌ها (Droop, 1987) استفاده شد.

جدول ۱- نتایج آنالیز نقطه‌ای کلینوپیروکسن‌های موجود در بازالت‌های منشوری غرب برونئی (جنوب‌غرب اردستان) و نتایج محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها.

Sample	bb7a-1	bb7a-2	bb7a-3	bb7a-6	bb7a-7	bb7a-7	bb7a-7	bb7a-7	bb7a-7	bb7a-7	bb7c-1	bb7c-1	bb7c-2	bb7c-2	bb7c-2	bb7c-2
Point	1	3	4	7	16	17	18	19	20	21	26	28	29	31	33	34
Size	P	P	P	P	G	P1	P2	P3	P4	P5	G	G	P	G	G	G
SiO ₂	50.03	52.09	50.71	48.34	47.99	49.35	46.96	48.54	49.25	49.12	51.53	50.60	51.47	51.56	51.29	51.57
TiO ₂	0.73	0.40	0.61	0.70	1.15	0.44	0.68	0.89	0.74	0.74	0.59	0.79	0.37	0.67	0.72	0.71
Al ₂ O ₃	4.73	2.77	4.12	4.67	3.43	2.64	4.73	3.39	2.13	2.08	1.80	2.21	2.95	2.03	1.42	1.50
Cr ₂ O ₃	0.27	0.26	0.48	0.74	0.04	0.19	0.41	0.13	0.06	0.05	0.00	0.05	0.39	0.04	0.04	0.05
FeO	7.11	6.09	6.56	6.49	11.19	6.37	6.98	9.83	11.38	10.69	10.45	11.63	5.60	10.59	14.10	14.04
MnO	0.13	0.06	0.24	0.14	0.25	0.15	0.18	0.38	0.38	0.28	0.30	0.30	0.21	0.29	0.39	0.38
MgO	14.72	16.45	15.79	15.61	15.32	17.58	16.22	16.24	16.65	16.99	16.35	15.69	16.06	15.65	15.31	15.12
CaO	22.40	22.16	21.75	23.05	20.20	23.04	23.56	20.35	19.06	19.72	18.68	18.45	21.75	18.85	16.40	16.34
Na ₂ O	0.23	0.22	0.24	0.27	0.42	0.22	0.28	0.24	0.35	0.31	0.28	0.30	0.21	0.31	0.32	0.27
K ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Total	100.36	100.51	100.51	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.01	100.00	100.00	100.00
Si	1.84	1.90	1.85	1.77	1.78	1.80	1.72	1.79	1.82	1.81	1.91	1.88	1.91	1.91	1.92	1.94
Ti	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
Al ^{iv}	0.16	0.10	0.15	0.20	0.15	0.11	0.20	0.15	0.09	0.09	0.08	0.10	0.09	0.09	0.06	0.06
Al ^{vi}	0.04	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
Cr	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.13	0.12	0.12	0.20	0.09	0.19	0.21	0.07	0.11	0.07	0.22	0.25	0.13	0.26	0.37	0.40
Fe ³⁺	0.09	0.07	0.08	0.00	0.25	0.00	0.00	0.23	0.25	0.27	0.10	0.11	0.04	0.07	0.07	0.04
Mn	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	0.81	0.89	0.86	0.85	0.85	0.96	0.89	0.89	0.92	0.93	0.90	0.87	0.89	0.87	0.86	0.85
Ca	0.88	0.87	0.85	0.91	0.80	0.90	0.92	0.81	0.76	0.78	0.74	0.74	0.86	0.75	0.66	0.66
Na	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Mg#	0.86	0.89	0.88	0.81	0.90	0.83	0.81	0.93	0.90	0.93	0.80	0.78	0.87	0.77	0.70	0.68
Wo	46.15	44.45	44.36	46.15	40.04	43.81	45.55	39.97	37.08	37.99	37.49	37.20	44.72	38.39	33.45	33.59
En	42.20	45.92	44.81	43.50	42.25	46.51	43.64	44.38	45.06	45.52	45.66	44.02	45.95	44.32	43.46	43.26
Fs	11.65	9.63	10.83	10.35	17.71	9.68	10.81	15.66	17.86	16.50	16.85	18.77	9.33	17.29	23.09	23.15

Sample	bb7c-4	bb7c-6	bb7c-6	bb7c-7	bb7-2	bb7-2	bb6-1	bb6-1	bb6-1	bb6-2	bb6-2	bb6-4	bb6-6	bb6-6	bb6-6	bb6-6
Point	38	39	42	43	58	59	100	102	103	104	106	114	117	118	119	120
Size	P	P	P	G	in Pl	in Pl	P	P	P	P	P	G	P1	P2	P3	P4
SiO ₂	51.21	47.49	48.08	46.08	49.82	50.30	49.94	51.52	52.04	52.35	52.25	49.28	50.56	50.42	52.11	50.70
TiO ₂	0.47	0.45	0.79	0.79	0.76	0.69	0.64	0.41	0.38	0.40	0.43	1.04	0.60	0.66	0.47	0.80
Al ₂ O ₃	3.24	3.42	2.21	1.54	3.77	3.84	5.20	3.21	3.09	2.59	2.63	4.63	3.97	3.94	2.49	2.49
Cr ₂ O ₃	0.24	0.47	0.03	0.01	0.06	0.05	0.79	0.54	0.53	0.40	0.48	0.21	0.50	0.40	0.27	0.03
FeO	6.19	6.16	11.16	19.75	9.76	11.27	5.90	5.85	5.70	5.98	5.74	9.16	6.05	6.17	6.21	11.12
MnO	0.21	0.14	0.29	0.81	0.22	0.25	0.15	0.10	0.11	0.07	0.10	0.23	0.18	0.15	0.16	0.30
MgO	16.03	17.50	16.38	14.12	15.54	15.50	15.21	16.21	16.26	16.61	16.44	14.72	15.38	15.45	16.16	15.72
CaO	21.85	24.05	20.71	16.57	19.42	18.49	21.88	21.94	21.81	22.07	22.27	20.76	22.15	22.59	22.17	18.29
Na ₂ O	0.28	0.31	0.34	0.31	0.28	0.30	0.27	0.24	0.21	0.19	0.22	0.34	0.30	0.27	0.24	0.32
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Total	99.72	100.00	100.00	100.00	99.64	100.70	99.98	100.00	100.14	100.67	100.56	100.38	99.70	100.05	100.28	99.78
Si	1.88	1.73	1.78	1.75	1.85	1.85	1.84	1.89	1.91	1.91	1.91	1.82	1.86	1.85	1.91	1.89
Ti	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02
Al ^{iv}	0.12	0.15	0.10	0.07	0.15	0.15	0.17	0.11	0.10	0.09	0.10	0.18	0.14	0.15	0.09	0.11
Al ^{vi}	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.00
Cr	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
Fe ²⁺	0.11	0.19	0.02	0.23	0.19	0.24	0.12	0.14	0.14	0.13	0.12	0.16	0.11	0.09	0.13	0.25
Fe ³⁺	0.08	0.00	0.33	0.40	0.11	0.11	0.07	0.06	0.04	0.06	0.06	0.12	0.08	0.10	0.06	0.10
Mn	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	0.88	0.95	0.90	0.80	0.86	0.85	0.83	0.89	0.89	0.90	0.89	0.81	0.85	0.85	0.88	0.87
Ca	0.86	0.94	0.82	0.68	0.77	0.73	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.82	0.88	0.89	0.87	0.73
Na	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Mg#	0.89	0.83	0.98	0.78	0.82	0.78	0.88	0.88	0.86	0.88	0.88	0.84	0.88	0.90	0.87	0.78
Wo	44.45	45.10	39.48	31.69	39.77	37.70	45.81	44.66	44.54	44.23	44.81	42.74	45.75	46.08	44.67	37.27
En	45.38	45.67	43.47	37.61	44.28	43.97	44.31	45.89	46.20	46.31	46.02	42.17	44.20	43.85	45.31	44.57
Fs	10.17	9.23	17.05	30.70	15.96	18.34	9.89	9.45	9.26	9.46	9.17	15.09	10.05	10.07	10.02	18.17

(P=Phenocryst; G=Groundmass; Pl=Plagioclase)

جدول ۲- نتایج آنالیز نقطه‌ای پلاژیوکلازهای موجود در بازالت‌های منشوری غرب برونئی (جنوب غرب اردستان) و نتایج محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها.

Sample	bb7a-1	bb7a-4	bb7a-4	bb7a-4	bb7a-4	bb7a-5	bb7a-5	bb7a-6	bb7a-6	bb7a-7	bb7c-1	bb7c-1	bb7c-2	bb7c-2	bb7c-6	bb7c-7
Point	2.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	22.00	25.00	27.00	30.00	32.00	41.00	44.00
Size	P	P1	P2	P1	P2	P	G	P	G	P	G	G	G	G	G	P
SiO ₂	45.93	45.61	45.54	46.33	50.31	44.78	44.72	44.22	49.16	43.34	51.94	48.82	52.93	49.65	46.53	42.96
TiO ₂	0.01	0.02	0.03	0.00	0.04	0.02	0.01	0.02	0.05	0.04	0.10	0.08	0.08	0.07	0.08	0.00
Al ₂ O ₃	34.15	33.84	33.96	33.61	30.07	33.73	33.60	34.10	30.14	34.53	28.59	28.84	27.80	30.31	26.31	34.48
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.01	0.00	0.02	0.05	0.01	0.06	0.00	0.00	0.00	0.03
FeO	0.55	0.60	0.60	0.69	1.15	0.59	0.79	0.51	1.08	0.54	1.01	3.44	1.06	1.00	0.89	0.52
MnO	0.00	0.07	0.00	0.04	0.04	0.06	0.06	0.04	0.04	0.05	0.03	0.06	0.02	0.04	0.01	0.03
MgO	0.06	0.09	0.11	0.08	0.28	0.12	0.06	0.10	0.14	0.11	0.11	1.13	0.13	0.08	0.16	0.12
CaO	18.27	18.01	17.88	17.67	13.98	18.02	18.04	18.30	14.45	18.83	12.33	12.78	11.70	14.90	11.52	19.17
Na ₂ O	1.21	1.49	1.51	1.60	3.42	1.60	1.67	1.66	3.76	1.49	4.67	3.51	5.06	3.23	4.92	1.66
K ₂ O	0.02	0.03	0.02	0.04	0.14	0.03	0.04	0.04	0.16	0.02	0.21	0.28	0.24	0.11	0.21	0.02
Total	100.13	99.76	99.65	100.06	99.45	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.02	99.39	90.63	99.00
Si	2.12	2.12	2.11	2.14	2.32	2.10	2.10	2.07	2.29	2.04	2.40	2.29	2.44	2.29	2.36	2.03
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.85	1.85	1.86	1.83	1.63	1.86	1.86	1.88	1.65	1.91	1.55	1.59	1.51	1.65	1.57	1.91
Fe ²⁺	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.04	0.14	0.04	0.04	0.04	0.02
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01
Ca	0.90	0.90	0.89	0.87	0.69	0.90	0.91	0.92	0.72	0.95	0.61	0.64	0.58	0.74	0.63	0.97
Na	0.11	0.13	0.14	0.14	0.31	0.15	0.15	0.15	0.34	0.14	0.42	0.32	0.45	0.29	0.48	0.15
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
Total	5.01	5.03	5.03	5.02	5.02	5.04	5.05	5.06	5.06	5.07	5.04	5.08	5.04	5.03	5.10	5.09
Ab	10.70	13.00	13.30	14.00	30.50	13.90	14.30	14.10	31.70	12.50	40.20	32.60	43.30	28.00	43.00	13.60
An	89.20	86.80	86.60	85.80	68.70	85.90	85.50	85.60	67.40	87.40	58.60	65.60	55.30	71.40	55.70	86.40
Or	0.10	0.20	0.10	0.20	0.80	0.20	0.20	0.30	0.80	0.10	1.20	1.70	1.30	0.60	1.20	0.10
Pl Name	B	B	B	B	L	B	B	B	L	B	L	L	L	B	L	B

Sample	bb7-9	bb7-9	bb7-9	bb7-9	bb7-9	bb7-9	bb7-9	bb7-10	bb7-10	bb7-10	bb7-10	bb7-10	bb7-10	bb7-10	bb7-10
Point	46.00	47.00	60.00	48.00	49.00	50.00	51.00	52.00	53.00	54.00	55.00	56.00	57.00	58.00	59.00
Size	P1	P2	P3	P4	P5	P7	P7	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
SiO ₂	51.76	50.84	52.24	51.44	52.30	51.66	52.30	52.80	49.14	53.53	52.93	53.82	52.55	51.27	48.16
TiO ₂	0.06	0.04	0.05	0.03	0.07	0.08	0.08	0.06	0.05	0.07	0.05	0.09	0.10	0.05	0.02
Al ₂ O ₃	29.72	30.69	29.14	29.91	29.50	29.45	29.15	28.88	31.76	28.99	28.88	28.12	29.24	29.77	31.68
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.04	0.02	0.01	0.04	0.04	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03
FeO	0.88	0.93	0.79	0.89	0.69	0.74	0.85	0.84	0.64	0.73	0.79	0.70	0.76	0.91	0.97
MnO	0.03	0.05	0.05	0.00	0.00	0.07	0.01	0.03	0.02	0.04	0.05	0.04	0.07	0.00	0.01
MgO	0.10	0.06	0.06	0.09	0.06	0.09	0.10	0.15	0.09	0.15	0.16	0.17	0.12	0.10	0.19
CaO	13.63	13.88	13.10	13.68	12.82	13.19	12.62	12.66	15.55	12.66	12.77	12.05	13.18	14.04	15.45
Na ₂ O	3.99	3.49	4.24	3.87	4.05	3.97	4.32	4.14	2.89	4.37	4.24	4.44	4.11	3.63	2.59
K ₂ O	0.23	0.19	0.24	0.22	0.25	0.22	0.25	0.30	0.10	0.32	0.27	0.30	0.22	0.19	0.13
Total	100.40	100.17	99.95	100.15	99.75	99.51	99.72	99.87	100.29	100.86	100.14	99.73	100.38	99.99	99.23
Si	2.36	2.32	2.39	2.35	2.39	2.37	2.39	2.41	2.25	2.42	2.41	2.45	2.39	2.35	2.23
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.59	1.65	1.57	1.61	1.59	1.59	1.57	1.55	1.71	1.54	1.55	1.51	1.57	1.60	1.73
Fe ²⁺	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ca	0.67	0.68	0.64	0.67	0.63	0.65	0.62	0.62	0.76	0.61	0.62	0.59	0.64	0.69	0.77
Na	0.35	0.31	0.38	0.34	0.36	0.35	0.38	0.37	0.26	0.38	0.37	0.39	0.36	0.32	0.23
K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
Total	5.03	5.01	5.02	5.02	5.00	5.01	5.02	5.00	5.02	5.01	5.01	5.00	5.01	5.02	5.02
Ab	34.20	30.90	36.40	33.50	35.80	34.80	37.70	36.60	25.00	37.70	37.00	39.30	35.60	31.50	23.10
An	64.60	68.00	62.20	65.30	62.70	63.90	60.80	61.70	74.40	60.50	61.50	59.00	63.10	67.40	76.10
Or	1.30	1.10	1.40	1.30	1.50	1.30	1.50	1.70	0.60	1.80	1.60	1.70	1.30	1.10	0.80
Pl Name	L	L	L	L	L	L	L	L	B	L	L	L	L	L	B

(P=Phenocryst; G=Groundmass; B=Bytownite; L=Labradorite; Pl=Plagioclase)

جدول ۲- ادامه.

Sample	bb7-10	bb7-10	bb7-10	bb6-2	bb6-2	bb6-3	bb6-4	bb6-4	bb6-5	bb6-7	bb6-7	bb6-8	bb6-8	bb6-10	bb6-10
Point	60.00	61.00	62.00	105.00	108.00	110.00	111.00	113.00	115.00	121.00	122.00	123.00	124.00	125.00	130.00
Size	P9	P10	P11	P	P	P	P	G	P	P	P	G	P	P	Pl in another Pl
SiO ₂	47.94	50.17	53.94	45.50	45.57	53.48	46.42	54.21	47.21	44.00	43.80	51.37	45.87	45.36	44.45
TiO ₂	0.03	0.05	0.08	0.01	0.00	0.08	0.01	0.10	0.02	0.04	0.01	0.08	0.04	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	32.05	30.74	28.34	34.22	33.90	27.70	33.53	27.63	33.01	34.26	34.29	28.71	33.63	34.03	32.99
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00
FeO	0.80	0.96	1.14	0.51	0.53	0.99	0.57	1.31	0.65	0.54	0.71	1.27	0.62	0.52	0.71
MnO	0.05	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
MgO	0.08	0.10	0.09	0.08	0.04	0.30	0.12	0.21	0.13	0.09	0.06	0.14	0.15	0.07	0.11
CaO	16.46	14.88	12.23	18.19	18.18	11.51	17.59	11.02	16.88	18.54	18.89	12.13	17.68	18.31	19.18
Na ₂ O	2.35	3.14	4.67	1.34	1.38	4.97	1.50	5.37	2.04	1.47	1.20	5.08	1.69	1.35	1.52
K ₂ O	0.12	0.15	0.29	0.03	0.02	0.21	0.03	0.27	0.06	0.03	0.03	0.22	0.04	0.04	0.02
Total	99.88	100.23	100.82	99.88	99.62	99.25	99.79	100.13	100.00	99.00	99.00	99.00	99.73	99.72	99.00
Si	2.21	2.30	2.44	2.11	2.11	2.45	2.15	2.46	2.18	2.06	2.06	2.38	2.13	2.11	2.09
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.74	1.66	1.51	1.87	1.85	1.49	1.82	1.48	1.79	1.89	1.90	1.56	1.84	1.86	1.83
Fe ²⁺	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.05	0.03	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0.03
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Ca	0.81	0.73	0.59	0.90	0.90	0.57	0.87	0.54	0.83	0.93	0.95	0.60	0.88	0.91	0.97
Na	0.21	0.28	0.41	0.12	0.12	0.44	0.13	0.47	0.18	0.13	0.11	0.46	0.15	0.12	0.14
K	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Total	5.02	5.02	5.02	5.02	5.02	5.02	5.01	5.04	5.02	5.05	5.05	5.07	5.03	5.02	5.06
Ab	20.40	27.40	40.20	11.70	12.10	43.30	13.30	46.10	17.90	12.60	10.30	42.60	14.70	11.70	12.60
An	79.00	71.70	58.20	88.10	87.90	55.50	86.50	52.30	81.70	87.30	89.50	56.20	85.10	88.10	87.40
Or	0.70	0.90	1.70	0.20	0.10	1.20	0.20	1.60	0.40	0.20	0.20	1.20	0.20	0.20	0.10
Plg name	B	B	L	B	B	L	B	L	B	B	B	L	B	B	B

پتروگرافی و شیمی کانی‌ها

بازالت‌های مورد بررسی در نمونه‌دستی دارای رنگ تیره بوده، ساخت منشوری و ظاهری نهان بلورین دارند. اندازه این منشورها در مقاطع عرضی حدود ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر است (شکل ۲).

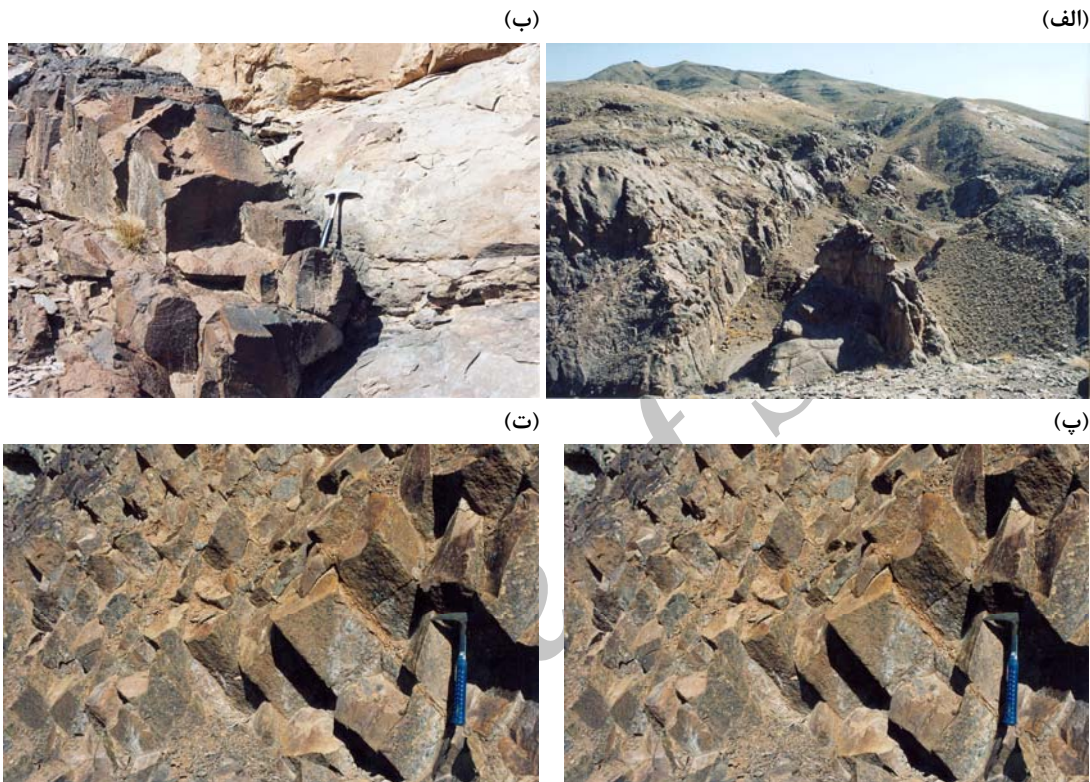
این سنگ‌ها در بررسی‌های میکروسکوپی دارای بافت پورفیری، گلوپورپورفیری، پورفیری میکروولیتی، اینترگرانولر، افیتیک و غربالی هستند. کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز، الیوین‌های کلریتی، مگنتیت و ایلمنیت پورفیرهای این سنگ‌ها بوده، در زمینه آنها بیشتر پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و کلریت دیده می‌شود. درشت‌بلورهای کلینوپیروکسن حدود ۱۰٪ سنگ، و درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز حدود ۱۵٪ را به خود اختصاص داده، اندازه آن‌ها به ۳ میلی‌متر نیز می‌رسد. درشت‌بلورهای این کانی‌ها، شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار هستند، اما در زمینه سنگ بیشتر به صورت نیمه‌شکل‌دار

جدول ۳- نتایج آنالیز نقطه‌ای کلریت‌های موجود در بازالت‌های منشوری غرب برونی (جنوب‌غرب اردستان) و نتایج محاسبه فرمول ساختاری (وجود آب فراوان در ساختار کانی کلریت دلیل اختلاف بسیار زیاد جمع اکسید عناصر از ۱۰۰ است).

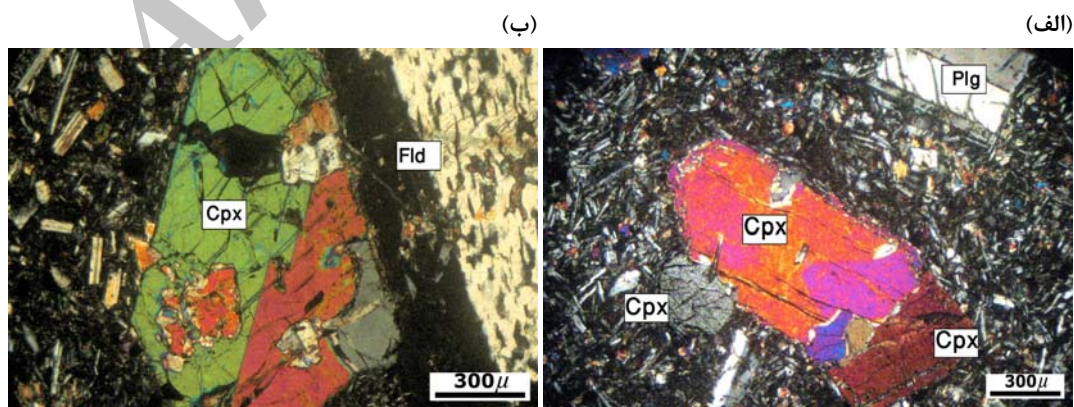
Comment	bb6-4	bb6-5	bb6-9	bb6-9	bb7a-9	bb7c-1	bb7c-3
Point	112	116	128	129	23	24	35
SiO ₂	41.29	42.73	42.5	43.13	38.86	37.68	27.14
TiO ₂	0.03	0.04	0.03	0	0.03	0.05	0
Al ₂ O ₃	8.04	9.25	8.04	8.02	10.95	15.17	10.67
Cr ₂ O ₃	0.04	0.05	0	0.07	0.01	0.07	0.06
FeO	22.36	20.44	24.09	23.11	20.73	19.57	22.72
MnO	0.82	0.34	0.64	0.49	0.2	0.22	0.24
MgO	8.45	11.2	10.35	11.11	14.88	8.31	15.28
CaO	3.03	2.66	2.69	2.55	1.92	0.92	0.71
Na ₂ O	0.11	0.24	0.04	0	0.17	0.11	0.07
K ₂ O	0.45	1.1	0.31	0.12	0.71	3.03	0.82
Total	84.63	88.05	88.67	88.6	88.46	85.13	77.71
Type	زمینه	زمینه	زمینه	زمینه	تجزیه الیوین	تجزیه الیوین	تجزیه الیوین
Point	112	116	128	129	23	24	35
Si	6.23	6.11	6.14	6.18	5.57	5.61	4.66
Ti	0	0	0	0	0	0.01	0
Al ^{IV}	1.43	1.56	1.37	1.35	1.85	2.39	2.16
Al ^{VI}	0	0	0	0	0	0.27	0
Cr	0.01	0.01	0	0.01	0	0.01	0.01
Fe ²⁺	2.82	2.45	2.91	2.77	2.49	2.44	3.26
Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0.11	0.04	0.08	0.06	0.02	0.03	0.04
Mg	1.9	2.39	2.23	2.37	3.18	1.85	3.91
Ca	0.49	0.41	0.42	0.39	0.3	0.15	0.13
Na	0.03	0.07	0.01	0	0.05	0.03	0.02
K	0.09	0.2	0.06	0.02	0.13	0.58	0.18
Cations	13.11	13.23	13.21	13.15	13.59	13.35	14.36
Fe#	0.6	0.51	0.57	0.54	0.44	0.57	0.45
Mg#	0.4	0.49	0.43	0.46	0.56	0.43	0.55

رنگ سبز هستند و از دگرسانی الیوین‌ها و نیز در زمینه سنگ از دگرسانی پیروکسن‌ها به وجود آمده‌اند. تصاویر میکروسکوپی سنگ‌های مورد بررسی در شکل ۳ آورده شده است.

تا بی‌شکل دیده می‌شوند. کلینوپیروکسن و پلاژیوکلازهای این سنگ‌ها سالم بوده، اما الیوین‌ها کلریتی و بخش‌هایی از آنها به ایلمنیت‌های مگنتیتی تبدیل شده‌اند. کلریت‌های موجود در این سنگ‌ها دارای



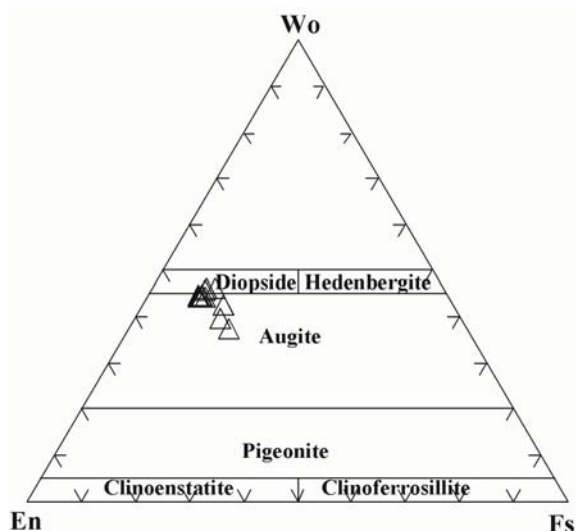
شکل ۲- تصاویر صحرایی بازالت‌های مورد بررسی. الف، ب) قطع شدن ولکانیک‌های ائوسن توسط دایک‌های مورد بررسی، پ، ت) نمای نزدیک بازالت‌های دارای ساخت منشوری.



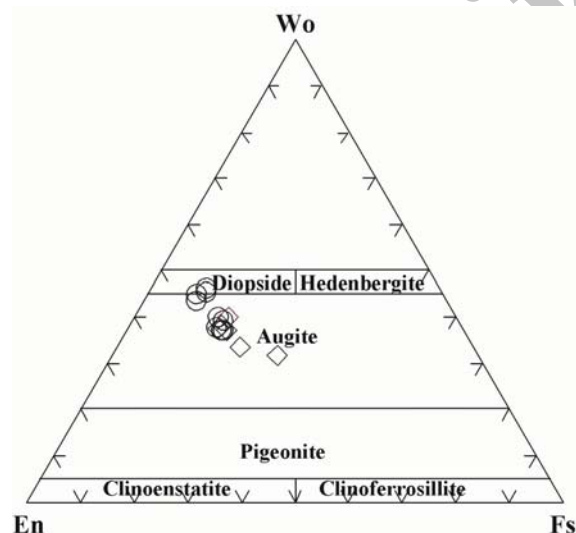
شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی بازالت‌های منشوری غرب برون (جنوب غرب اردستان). الف) بافت پورفیری به صورت درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن سالم (نوع اول) در زمینه‌ای از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، مگنتیت و ایلمنیت، ب) درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن نوع دوم که دارای بافت غربالی و ادخال هستند.

موجود در زمینه نیز بر دو نوع هستند (شکل‌های ۴ و ۵). درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز نیز دارای دو محدوده ترکیبی لابرادوریت - بیتونیت و لابرادوریت هستند. پلاژیوکلازهای موجود در زمینه دارای دو محدوده ترکیبی بیتونیت-لابرادوریت و لابرادوریت هستند.

(الف)



(ب)



شکل ۴- موقعیت کلینوپیروکسن‌های آنالیزشده در دیاگرام تقسیم‌بندی پیروکسن‌ها. الف) فنوکریست‌های کلینوپیروکسن نوع اول (با علامت مثلث)، ب) فنوکریست‌های کلینوپیروکسن نوع دوم (با علامت دایره) و کلینوپیروکسن‌های موجود در زمینه (با علامت لوزی).

در بررسی پتروگرافی تعدادی از نمونه‌ها وجود قطعات سنگی گرانیتوئیدی به‌خوبی مشخص است. کانی‌های این انکلاوها از اطراف ذوب شده و دارای خوردگی خلیجی هستند. بررسی پتروگرافی و مشخصات میکروسکوپی کلینوپیروکسن‌ها نشان می‌دهد که برخی از فنوکریست‌های کلینوپیروکسن درشت‌تر بوده، دارای منطقه‌بندی هستند، اما نوع دوم فنوکریست‌های کلینوپیروکسن کوچکتر بوده، دارای منطقه‌بندی نیستند. در محاسبه فرمول ساختاری فنوکریست‌های نوع دوم و فنوکریست‌های موجود در زمینه، مقدار Al^{VI} صفر در نظر گرفته شده است.

درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز نیز به دو صورت سالم و یا غربالی با خوردگی خلیجی و منطقه‌بندی دیده می‌شوند. برخی از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز دارای ادخال‌هایی از کلینوپیروکسن بوده، برخی از فنوکریست‌های کلینوپیروکسن دارای ادخال‌هایی از پلاژیوکلاز در حاشیه هستند.

وجود دو بافت اینترگرانولر و افیتیک در این سنگ‌ها نشان می‌دهد که در بخشی از این سنگ‌ها تبلور کلینوپیروکسن قبل از تبلور پلاژیوکلاز رخ داده است و در بخشی دیگر پلاژیوکلازها قبل از کلینوپیروکسن تبلور شده‌اند. این مسأله نشان‌دهنده عدم یک تبلور ساده حاصل از یک ماگمای بازالتی واحد است.

بررسی شیمی کانی‌های موجود در این سنگ‌ها با استفاده از دستگاه الکترون میکروپروب نشان می‌دهد که کلینوپیروکسن‌ها از نوع دیوپسید و اوژیت هستند. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز نوع سالم (نوع اول) از نظر ترکیبی کلسیک‌تر از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز دارای منطقه‌بندی با بافت غربالی و خوردگی خلیجی (نوع دوم) هستند. بر اساس ترکیب شیمیایی، پلاژیوکلازهای

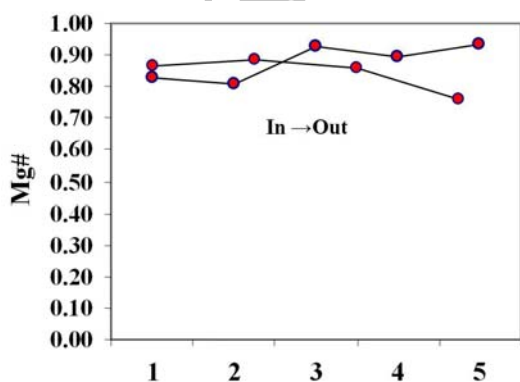
(الف)

میکروسکوپی دارای انکلاوهای گرانیتوئیدی الیگوسن هستند، لذا سن این واحد سنگی بر اساس روابط صحرایی و بررسی‌های پتروگرافی بعد از الیگوسن و احتمالاً میوسن است.

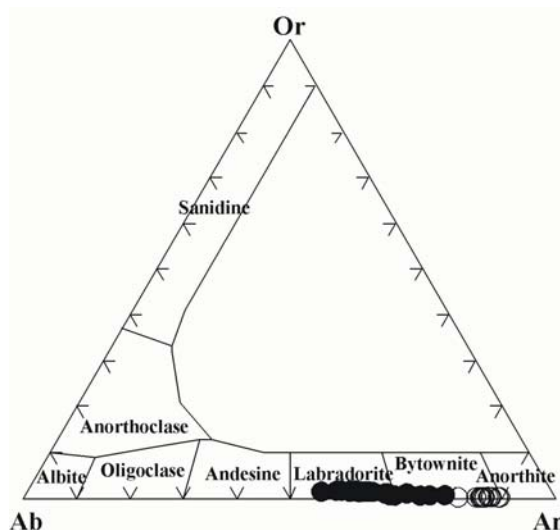
در بررسی‌های میکروسکوپی این سنگ‌ها وجود دو فنوکریست کلینوپیروکسن و دو نوع فنوکریست پلاژیوکلاز به خوبی مشخص است. مطالعه شیمی فنوکریست‌های کلینوپیروکسن، و کلینوپیروکسن‌های موجود در زمینه (مقدار Al^{VI} آنها) نشان می‌دهد که برخی از فنوکریست‌ها (نوع اول)، با سایر فنوکریست‌ها (نوع دوم) و تمام کلینوپیروکسن‌های موجود در زمینه متفاوتند.

بررسی تغییرات ترکیب فنوکریست‌های کلینوپیروکسن دارای منطقه‌بندی (نوع اول) نشان می‌دهد که مقدار $Mg\#$ آنها از مرکز به حاشیه افزایش و در برخی دیگر کاهش می‌یابد (شکل ۶).

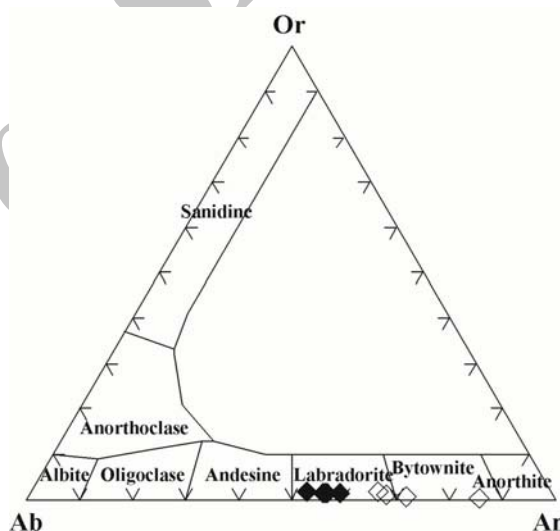
کلینوپیروکسن‌ها یکی از مهمترین کانی‌های موجود در سنگ‌های آذرین بوده که بررسی ترکیب شیمیایی و محاسبه فرمول ساختاری آنها اطلاعات بسیار مهمی در مورد سنگ در برگیرنده آنها ارائه خواهد نمود (Leterrier et al., 1982).



شکل ۶- بررسی تغییرات ترکیب فنوکریست‌های کلینوپیروکسن دارای منطقه‌بندی (نوع اول).



(ب)



شکل ۵- موقعیت پلاژیوکلازهای مورد بررسی در مثلث فلدسپات‌ها. (الف) وجود دو نوع فنوکریست پلاژیوکلاز به خوبی مشخص است. پلاژیوکلازهای نوع اول با علامت دایره تو خالی و پلاژیوکلازهای نوع دوم با علامت دایره توپر آورده شده‌اند، (ب) پلاژیوکلازهای موجود در زمینه. وجود دو نوع پلاژیوکلاز در زمینه به خوبی مشخص است.

بحث

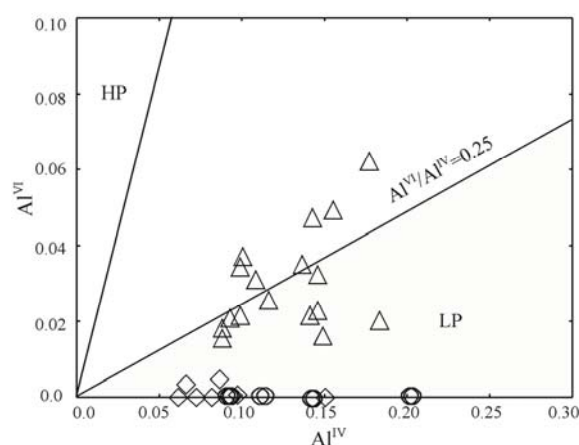
از آنجایی که در بررسی‌های صحرایی، بازالت‌های منشوری مورد مطالعه به صورت دایک‌هایی سنگ‌های ولکانیک ائوسن را قطع نموده، در بررسی‌های

بررسی منطقه‌بندی موجود در پلاژیوکلازها نشان می‌دهد که منطقه‌بندی از نوع نوسانی بوده که بیانگر تغییر ترکیب مداوم ماگمای در حال تبلور پلاژیوکلاز است. تغییرات مقدار آنورتیت موجود در پلاژیوکلازها از مرکز به حاشیه در شکل ۹ آورده شده است.

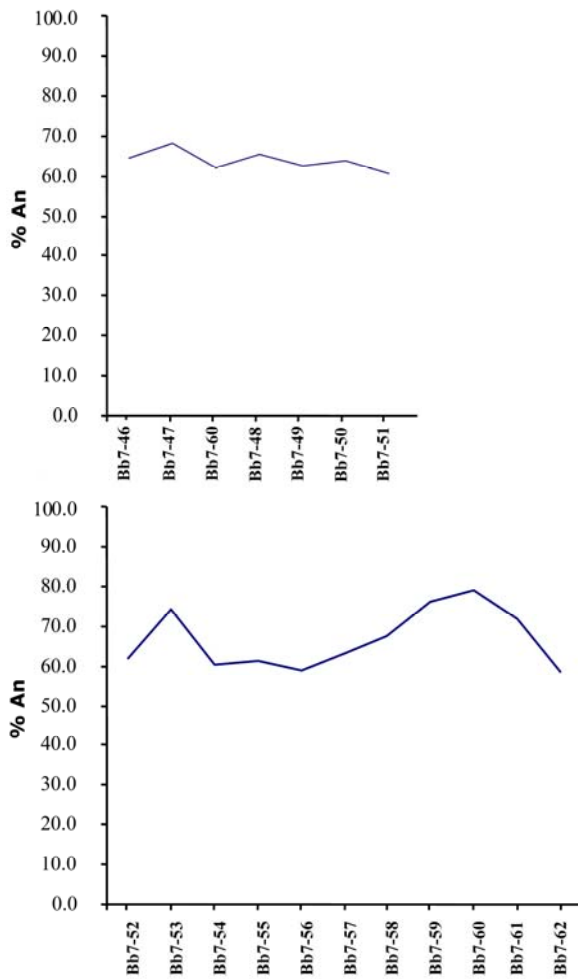
جدول ۴- ژئوترموبارومتری کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی با استفاده از روش ژئوترموتری تک‌کلینوپیروکسن (Nimis and Taylor, 2000).

Samples	Thermometry Nimis and Taylor(2000)			Barometry Nimis (2000) (kbar)	Thermometry Nimis and Taylor(2000) (based on Pressures from Barometry of Nimis (2000))
	Pressures (kbar):				
	1	5	10		
Cpx Type 1					
1	887	894	904	-	874
3	950	959	969	-	938
4	966	974	985	-	954
29	964	972	983	5.3	973
38	947	955	966	5.0	955
58	1054	1063	1074	5.7	1064
59	1085	1094	1105	6.6	1097
100	959	967	978	7.7	973
102	957	966	976	5.2	966
103	982	990	1001	5.7	992
104	971	979	990	4.3	978
106	942	950	961	4.3	949
114	973	981	992	5.3	982
117	903	911	921	5.6	944
118	868	876	886	4.6	875
119	935	943	953	3.8	909
Cpx Type 2					
7	806	813	822	-	796
17	851	859	869	-	841
18	725	732	740	3.7	730
19	1009	1018	1029	4.2	1016
20	1051	1060	1071	4.6	1059
21	1032	1041	1052	4.2	1039
33	1100	1110	1121	4.7	1109
39	654	660	668	3.5	657
42	967	975	986	3.0	971
120	1080	1089	1100	4.9	1089
Cpx Groundmass					
16	970	979	989	-	961
26	1087	1097	1108	4.5	1095
28	1072	1081	1092	4.3	1079
31	1070	1079	1091	4.2	1077
33	1100	1110	1121	4.7	1109
34	1105	1115	1126	4.7	1114
43	1022	1030	1041	2.4	1025

ترسیم Al^{VI} در برابر Al^{IV} موجود در فرمول ساختاری (Aoki and Shiba, 1973) برای کلینوپیروکسن‌های مورد مطالعه نیز نشان می‌دهد که برخی از درشت‌بلورهای کلینوپیروکسن در فشارهای بیشتر تشکیل شده‌اند (کلینوپیروکسن‌های موجود در بازالت اول) و برخی دیگر (فنوکرست‌ها کلینوپیروکسن نوع دوم) در شرایطی همانند کلینوپیروکسن‌های موجود در زمینه در فشارهای بسیار کم تشکیل شده‌اند و احتمالاً بیانگر تبلور آنها در حین صعود است (شکل ۷). این شکل نشان می‌دهد که اختلاط ماگمایی بعد از تبلور تمام کلینوپیروکسن‌های بازالت اول رخ داده است زیرا که تمامی کلینوپیروکسن‌های نوع اول به صورت درشت‌بلور هستند. مقدار و نوع Al موجود در ساختار کلینوپیروکسن‌ها تابعی از فشار است (Aoki and Shiba (1973). ترموبارومتری کلینوپیروکسن‌ها دمایی ۷۳۰ تا ۱۱۱۴ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲/۴ تا ۷/۷ کیلوبار را نشان می‌دهد که در توافق با نتایج حاصل از ترمومتری (Lindsley (1983 است. نتایج محاسبات در شکل ۸ و جدول ۴ آورده شده است.



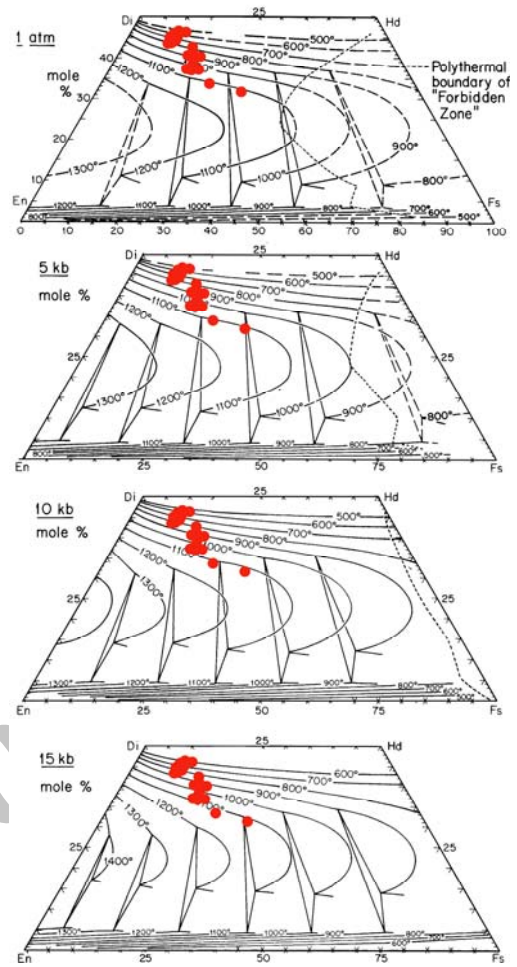
شکل ۷- ترسیم Al^{VI} در برابر Al^{IV} کلینوپیروکسن‌های مورد مطالعه. فنوکرست‌های کلینوپیروکسن نوع اول با علامت مثلث، فنوکرست‌های کلینوپیروکسن نوع دوم با علامت دایره و کلینوپیروکسن‌های زمینه با علامت لوزی مشخص شده‌اند (Aoki and Shiba, 1973).



شکل ۹- بررسی تغییرات مقدار درصد آنورتیت در دو نمونه از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز نوع دوم که دارای منطقه‌بندی هستند.

جدول ۵- نتایج ترمومتری کلریت‌های موجود در سنگ‌های مورد بررسی. نقاط ۱۱۲، ۱۱۶، ۱۲۸ و ۱۲۹، کلریت‌های موجود در زمینه سنگ و نقاط ۲۳، ۲۴ و ۳۵ نیز کلریت‌های حاصل دگرسانی الیوین‌ها هستند. در ترمومتری کلریت‌ها از سه منبع مختلف استفاده شد.

Point	Cathelineau and Nieva (1985)			Cathelineau (1988)		Jowett (1991)
	T1	T2	T3	T2	T3	T3
112	322.31	398.19	447.49			
116	349.82	439.72	504.21			
128	309.08	378.23	438.15			
129	306.09	373.72	438.27			
23	411.89	533.42	622.27			
24	527.07	707.29	751.95			
35	477.37	632.27	743.46			



شکل ۸- ژئوترموبارومتری کلینوپیروکسن‌ها بر اساس روش Lindsley (1983) برای فشارهای ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ کیلوبار.

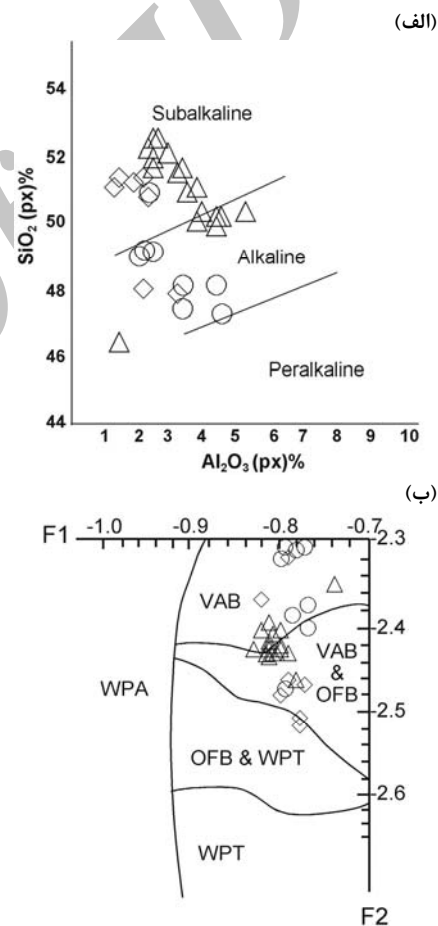
ترمومتری کلریت‌ها (Jowett, 1991; Cathelineau, 1988; Cathelineau and Nieva, 1985) نیز نشان می‌دهد که دمای تشکیل کلریت‌ها موجود در زمینه، ۳۲۲ تا ۵۰۴ درجه سانتی‌گراد، و دمای تشکیل کلریت‌های حاصل دگرسانی الیوین‌ها، ۴۱۱ تا ۷۵۱ درجه سانتی‌گراد است. این ترمومتری نشان می‌دهد که کلریت‌های حاصل از دگرسانی الیوین‌ها در دمای بالاتری نسبت به کلریت‌های موجود در زمینه سنگ به‌وجود آمده‌اند. نتایج ترمومتری انواع کلریت‌های موجود در سنگ‌های مورد بررسی که توسط ترمومترهای مختلف به‌دست آمده، در جدول ۵ ارائه شده است.

دو نوع پلاژیوکلاز در زمینه سنگ‌ها، و اختلاف نتایج بارومتری کلینوپیروکسن‌ها نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد بررسی از تبلور ساده و عادی یک ماگمای بازالتی واحد به وجود نیامده و هنگام صعود بخش‌هایی از سنگ دیواره را نیز با خود حمل نموده است. به نظر می‌رسد که ماگمای بازالتی دما بالای نوع اول که کلینوپیروکسن‌های خود را متبلور نموده، دارای درشت‌بلور پلاژیوکلازهای کلسیک و میکروولیت است، به ماگمای دما پایین‌تر نوع دوم که دارای کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز سدیک‌تر داشته است، اضافه شده و بر اثر این اختلاط ماگمایی پلاژیوکلازهای ماگمای نوع دوم دارای بافت غربالی و خوردگی خلیجی شده‌اند.

نتیجه‌گیری

دایک‌های بازالتی منطقه برونی از کانی‌های کلینوپیروکسن، الیون کلریتی، پلاژیوکلاز، ایلمنیت و مگنتیت تشکیل شده‌اند. این بازالت‌ها دارای بافت‌های پورفیری، گلومروپورفیری، اینترگرانولار، افیتیک و غربالی بوده، ساخت منشوری را نشان می‌دهند. بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد که بازالت‌های منشوری منطقه برونی متعلق به کمان‌های آتشفشانی بوده، بر اثر اختلاط ماگمایی دو ماگمای بازالتی به وجود آمده‌اند. از مهمترین شواهد این اختلاط ماگمایی می‌توان به وجود دو نوع کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز با بافت‌ها و شیمی متفاوت، زونینگ نوسانی پلاژیوکلازها، وجود بافت غربالی، و محدوده گسترده دما و فشار حاصل از ترموبارومتری کلینوپیروکسن‌ها اشاره نمود. ماگمای حاصل از اختلاط هنگام صعود قطعاتی از گرانیتوئیدهای الیگوسن را با خود حمل کرده و در یک محیط خشکی فوران نموده است. از آنجایی که این واحد سنگی دارای انکلاوهایی از گرانیتوئیدهای الیگوسن بوده و همچنین تمام واحدهای آتشفشانی ائوسن را قطع نموده است، لذا سن احتمالی میوسن را می‌توان به این سنگ‌ها نسبت داد.

کلینوپیروکسن‌ها کانی‌های پتروژنیکی هستند که در مقابل دگرسانی مقاوم بوده، با استفاده از ترکیب آنها می‌توان نوع سری ماگمایی و نوع محیط تکتونیکی ماگمای سازنده آنها را مشخص نمود (Leterrier *et al.*, 1982). بررسی ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های موجود در بازالت‌های منشوری برونی نشان‌دهنده تعلق آنها به سری ماگمایی ساب‌آلکالن و آلکالن بوده، بیانگر تشکیل این سنگ‌ها در محیط تکتونیکی کمان‌های آتشفشانی است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- دیاگرام‌های تعیین سری ماگمایی (الف) با استفاده از ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها (Le Bas, 1962)، (ب) محیط تکتونیکی (Nisbet and Pearce, 1977).

دیده‌شدن انکلاوه‌های گرانیتوئیدی، منطقه‌بندی نوسانی پلاژیوکلازها، اختلاف ترکیب فنوکریست‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلازهای موجود در سنگ، وجود

منابع

- امامی، م.ه.، خلعتبری جعفری، م. و وثوقی عابدینی، م. (۱۳۷۱) پلوتونیسیم ترشیری منطقه اردستان (ایران مرکزی). فصل‌نامه علوم‌زمین ۴: ۲-۱۴.
- درویش زاده، ع. (۱۳۷۰) زمین‌شناسی ایران. انتشارات امیرکبیر، تهران.
- قربانی، م. (۱۳۸۲) مبانی آتشفشان‌شناسی با نگرشی بر آتشفشان‌های ایران. انتشارات آری‌زمین.
- Amidi, S. M. (1977) Etude géologique de la région de Natanz-Surk (Iran, Central). Thèse Ph.D., University of Grenoble, France.
- Berberian, F. (1981) Petrogenesis of Iranian plutons: a study of the Natanz and Bazman intrusive complexes. PhD thesis, Cambridge University.
- Aoki, K. and Shiba, I. (1973) Pyroxenes from lherzolite inclusions of Itinom e-gata, Japan. *Lithos* 6: 41-51.
- Cathelineau, M. (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Minerals* 23: 471-485.
- Cathelineau, M. and Nieva, D. (1985) A chlorite solution geothermometer. The Los Azufres (Mexico) geothermal system. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 91: 235-244.
- Droop, G. T. R. (1987) A general equation for estimating Fe^{3+} concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine* 51: 431-435.
- Jowett, E. C. (1991) Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer. Geological Association of Canada/ Mineralogical Association of Canada/ Society of Economic Geology Joint Annual Meeting, Toronto.
- Le Bas, M. J. (1962) The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. *American Journal of Science* 260: 267-288.
- Leterrier, J., Maury, R. C., Thonon, P., Girard, D. and Marchal M. (1982) Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth and Planetary Science Letters* 59(1): 139-154.
- Lindsley, D. H. (1983) Pyroxene thermometry, *American Mineralogist* 68: 477-493.
- Nimis, P. and Taylor, W. R. (2000) Single pyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and evaluation of the Cr-in-pyroxene barometer and enstatite solvus thermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 139: 541-554.
- Nisbet, E. G. and Pearce, J. A. (1977) Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 63: 149-160.
- Omran, J., Agard, P., Whitechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L. (2008) Arc-magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos* 106(3-4): 380-398.
- Rollinson, H. R. (1993) Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific and Technical, UK.

Petrography and mineral chemistry of basaltic dykes in the west of Borooni (SW of Ardestan, Iran): evidences of magma mixing

**Abdorazagh Jabbari*^{1,2}, Mansoor Ghorbani¹, Juergen Koepke³
Ghodrat Torabi² and Nargess Shirdashtzadeh²**

¹ Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran

² Department of Geology, Faculty of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran

³ Institute of Mineralogy, Leibniz University, Hannover, Germany

Abstract

In Borooni area (SW of Ardestan), which is a part of Uromiyeh – Dokhtar magmatic belt, the Miocene basaltic columnar-jointed dikes cross cut the Eocene volcanic rocks. These rocks contain the granitoid enclaves of Oligocene age and possibly, they are Miocene in age. The studied rocks are composed of chloritized olivine, clinopyroxene, plagioclase, chlorite, ilmenite and magnetite. Textures of these rocks are porphyritic, microlitic, microlitic porphyritic, glomerophyric, and sieved texture of plagioclases. Clinopyroxenes are augite to diopside in composition, and plagioclases range from labradorite to bytownite. Chlorites show diabantite composition and most of them produced by olivine alteration. Some chlorites are present in groundmass. Petrography and chemistry of minerals show that the parent magma subjected to a magma mixing with xenoliths of granitoid rocks during the ascending. These rocks are similar to the volcanic arc basalts.

Key words: Ardestan, Uromiyeh-Dokhtar, Iran, Basalt, Mineralogy

* jabbari@yahoo.com