

سنگ‌نگاری و شیمی کانی‌های موجود در ولکانیک‌های همبر با توده‌های نمکی کلوت (شمال شرق اردکان، یزد)

سید محسن طباطبایی منش*، مریم مساح، همایون صفایی و مرتضی شریفی
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

حوضه کلوت در ۷۰ کیلومتری شمال شرق اردکان (یزد) واقع شده و بخشی از زون ایران مرکزی (بلوک یزد) است. سنگ‌های آذرین این منطقه مربوط به دوران ترشیری بوده، سنگ‌های بازیک (بازالت و میکروگابرو) و حد واسط (میکرودیوریت) را شامل می‌شوند. بافت غالب سنگ‌های مافیک اینترگرانولار است. پلاژیوکلاز (آلبیت تا بیتونیت)، کلینوپیروکسن (دیوپسید) و الیون، کانی‌های اصلی، میکا (بیوتیت)، آپاتیت و اکسیدهای Fe-Ti کانی‌های فرعی سازنده این سنگ‌ها را شامل می‌شوند. از دگرسانی این سنگ‌ها کانی‌های آلبیت، کلسیت، کلریت، اپیدوت، آمفیبول، کدر، اسفن و پره‌نیت تشکیل شده است. بافت اصلی سنگ‌های حد واسط اینترگرانولار بوده، کانی‌های پلاژیوکلاز (الیگوکلاز تا لابرادوریت)، آمفیبول، کلینوپیروکسن (دیوپسید)، کانی‌های مهم موجود در این سنگ‌ها هستند. شیمی بلورهای کلینوپیروکسن و حضور پیلوهایبی از یک ماگمای بیگانه در سنگ‌های مافیک، اختلاط ماگمای سازنده این سنگ‌ها با یک ماگمای بازیک دیگر را نشان می‌دهد. احتمالاً این دو ماگما منشأ مشترکی داشته‌اند. مطالعات پتروژنز بر اساس شیمی کلینوپیروکسن بیانگر قرارگیری سنگ‌های بازیک منطقه در محدوده سری‌های تولییتی تا کالک‌آلکان است که وابسته به قوس‌های آتشفشانی است.

واژه‌های کلیدی: بازالت، ترشیر، کلوت، کلینوپیروکسن، گنبد نمکی، ولکانیک، یزد

مقدمه

۵۴° شمالی قرار دارد. مسیر دسترسی به این مکان در شکل ۲ مشخص شده است. زمین‌شناسی این ناحیه توسط Huber (۱۹۵۵) به نمایندگی از شرکت ملی نفت ایران و به‌منظور اکتشافات نفت مطالعه شده است. از ویژگی‌های این حوضه بین قاره‌ای، وجود تعداد زیاد گنبد‌های نمکی، جوان بودن رسوبات و وجود شکل‌های بیابانی است.

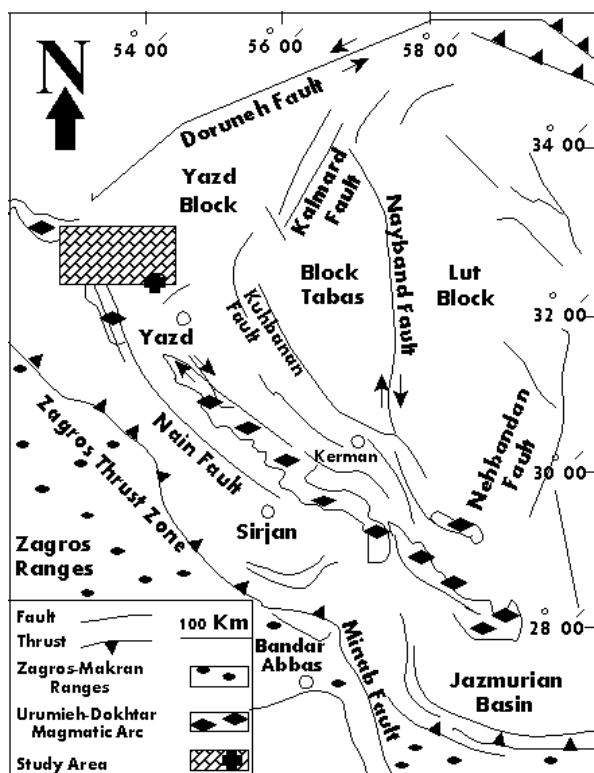
حوضه کلوت در بلوک یزد و شمال شرق اردکان قرار دارد (شکل ۱). این ناحیه در تقسیم‌بندی ساختاری ایران متعلق به گودال‌های حاشیه ایران مرکزی و در حاشیه بلوک طبس است (آقانبانی، ۱۳۸۳). ناحیه مورد پژوهش در محدوده طول جغرافیایی ۳۲°۴۲' شرقی و عرض جغرافیایی ۱۹°

خصوصیت شاخص سنگ‌های آذرین این ناحیه مجاورت آن‌ها با گنبد‌های نمکی است (Huber, 1955). این سنگ‌ها در نقشه زمین‌شناسی اردکان ثبت نشده‌اند.

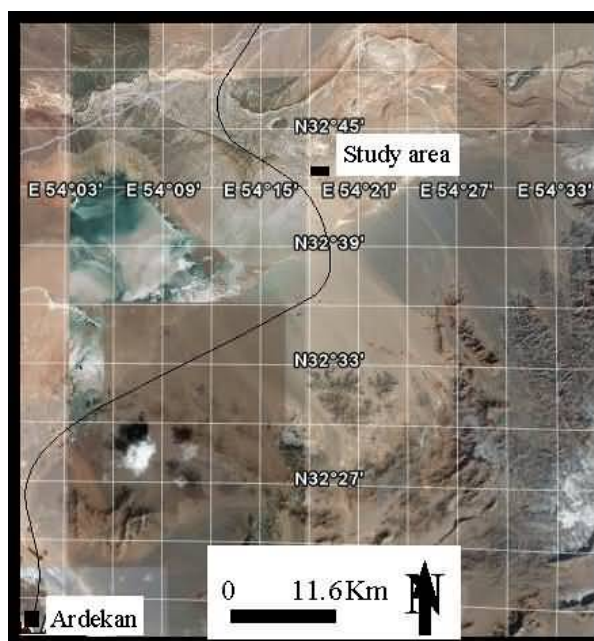
زمین‌شناسی منطقه

(الف) زمین‌شناسی ساختمانی و ساختارها: حوضه کلوت مجموعه‌ای از ساختارهای دیاپیرهای نمکی، تاقدیس‌ها و ناودیس‌های جوان دوران سوم را شامل می‌شود. در این منطقه، گسل‌ها ساختارهای مهمی هستند که به طور کلی به سه دسته تقسیم می‌شوند (شکل ۳): (۱) گروه اول دارای راستای شمال‌باختر-جنوب‌خاور هستند که ساز و کار معکوس و در چند مورد راستا لغز راستگرد هستند؛ (۲) گروه دوم با امتداد شمال‌خاور-جنوب‌باختر، راستا لغز چپ‌گرد و در مواردی کشتی عادی هستند؛ (۳) گروه سوم راستای تقریباً خاوری-باختری با مکانیزم راستا لغز راستگرد را نشان می‌دهند. گسل دهشیر و انار گسل‌هایی که در خارج این حوضه قرار دارند و به سبب تأثیراتی که بر این منطقه اعمال می‌کنند، دارای اهمیت هستند (شاه‌پسند، ۱۳۸۲).

(ب) چینه‌شناسی: در این حوضه، مجموعه‌ای از رسوبات پالئوژن و نئوژن دیده می‌شود که شامل گل‌سنگ‌های نمک‌دار، ماسه سنگ و رسوبات نمک به سن پالئوژن هستند. تبخیری‌ها یا رسوبات نمک این ناحیه به علت ایجاد گنبد‌های نمکی مهم هستند (شکل ۳). دیاپیرهای منطقه کلوت اغلب دارای روند خاوری-باختری هستند که در برخی موارد، روند آن‌ها به سمت شمالی-جنوبی متمایل می‌شود. محل رخنمون این ساختارها غالباً دو الگو را دنبال می‌کند، به این ترتیب که این دیاپیرها یا در محل گسیختگی‌های آشکار و



شکل ۱- زون‌های ساختاری ایران بر اساس تقسیم‌بندی آفانباتی (۱۳۸۳) و جایگاه منطقه مورد مطالعه در حوضه کلوت.

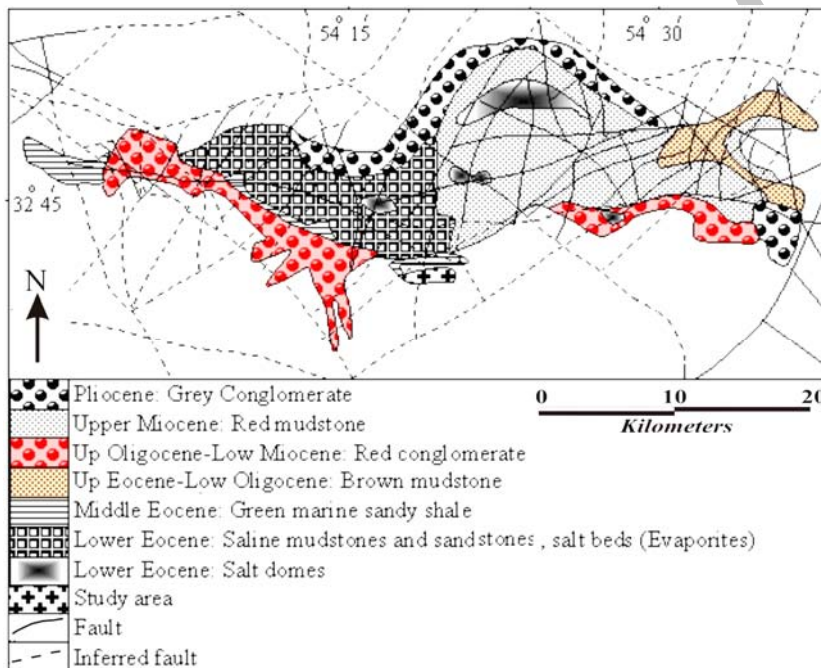


شکل ۲- مسیر دسترسی به منطقه مورد نظر (برگرفته از نرم‌افزار Google Earth)

سنگ‌های بیرونی و نیمه‌عمیق منطقه در گروه سنگ‌های مافیک (بازالت و میکروگابرو) و سنگ‌های درونی در دامنه سنگ‌های حد واسط (میکرودیوریت) قرار می‌گیرند. با توجه به این‌که استوک درونی منطقه توسط بازالت‌ها قطع شده است، بنابراین، سنگ‌های مافیک جوان‌تر هستند. در توده‌های بازیک منطقه پیلهوهای از یک ماگمای دیگر دیده می‌شود. این شکل‌ها می‌تواند نشانه اختلاط ماگمایی باشد؛ همچنان‌که مطالعه شیمی کانی کلینوپیروکسن موجود در سنگ‌های بازیک منطقه، شواهدی از اضافه شدن ماگمای بازیک و داغی را به ماگمای در حال تبلور نشان می‌دهد.

پنهانی که در لایه‌های پوششی وجود دارد و یا در محل تاقدیس‌های موجود، تشکیل شده‌اند. بنابراین، دیاپیرهای این ناحیه در دو گروه قابل تقسیم‌بندی هستند: (۱) دیاپیرهایی که به‌صورت نفوذی در بین رسوبات فوقانی قرار می‌گیرند، و (۲) گنبد‌های نمکی که در مجاورت صفحات ضعیف، مثل گسل‌ها ایجاد شده‌اند و بر اثر حرکات گسلی، نمک‌ها نفوذ و به سمت بالا حرکت نموده‌اند (ارفع نیا و صفایی، ۱۳۸۴).

(پ) دید صحرائی: سنگ‌های آذرین مورد بررسی به‌صورت تپه‌های کم ارتفاع و محدود رخنمون دارند. بررسی ساخت این سنگ‌ها دو نوع سنگ مافیک و حد واسط را مشخص می‌کند.



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی ساده شده حوضه کلوت بر اساس Huber (۱۹۵۵) و اصلاح شده توسط ارفع نیا و صفایی (۱۳۸۴).

مناسب، برای مطالعات پتروگرافی انتخاب شدند. مطالعات کانی‌شناسی توسط میکروسکوپ پلاریزان OLIYMPOS مدل BH-2 در دانشگاه اصفهان انجام گرفت. برای مطالعات شیمی کانی‌ها در ۱ نمونه، ۸ نقطه کلینوپیروکسن با ولتاژ شتاب‌دهنده 15keV و شدت

روش انجام پژوهش

برای انجام پژوهش روابط صحرائی بررسی شد و طی این بررسی‌ها تعدادی از نمونه‌های منطقه برای مطالعات آزمایشگاهی برداشت و توسط دستگاه GPS تعیین مختصات شدند. سپس از میان آن‌ها تعدادی نمونه

شتاب‌دهنده 20 keV و شدت جریان 12 nA آنالیز شدند (جدول‌های ۱ و ۲). در محاسبه فرمول ساختاری کانی‌ها و رسم دیاگرام از صفحه گسترده Mineral v1.2 (Jeremy Preston and John Still © 2001) استفاده شده است.

جریان 10 nA در آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران توسط دستگاه میکروپروب Cameca مدل Sx-50 آنالیز شدند. همچنین، در ۳ نمونه، ۱۰ نقطه کلینوپیروکسن و ۱۰ نقطه پلاژیوکلاز در آزمایشگاه EPMA دانشگاه دولتی مسکو، به‌وسیله دستگاه میکروپروب JEOL مدل JxA-8800 با ولتاژ

جدول ۱- نتایج آنالیز میکروپروب بلورهای پلاژیوکلاز (C = مرکز بلور، R = حاشیه بلور، C-R = بخش میانی بلور، M = بلورهای زمینه)

Sample No.	39	39	39	43	43	43	43	35	35	35
Location	39 - 18C	39 - 19R	39 - 20	43 - 21C	43 - 22R	43 - 23 M	43 - 24M	35 - 9C	35 - 10C - R	35 - 11R
SiO ₂	53.82	66.58	64.57	45.79	52.61	51.62	51.76	47.19	57.33	67.07
Al ₂ O ₃	28.84	21.53	18.46	34.15	28.97	30.08	30.2	34.06	27.35	20.8
FeO ^{total}	0.51	0.32	0.00	0.64	0.56	0.84	0.62	0.77	0.50	0.00
CaO	11.52	2.19	0.00	17.83	11.91	13.22	12.8	17.47	9.35	1.78
Na ₂ O	4.63	9.75	0.19	1.46	4.48	3.69	3.94	1.64	6.15	10.27
K ₂ O	0.57	0.58	16.41	0.00	0.42	0.36	0.35	0.00	0.43	0.57
BaO	0.00	0.00	0.36	0.36	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.89	100.95	99.99	100.23	99.31	99.81	99.67	101.13	101.11	100.49
Si	2.44	2.9	2.99	2.12	2.41	2.36	2.36	2.15	2.55	2.93
Al	1.54	1.11	1.01	1.86	1.57	1.62	1.63	1.83	1.44	1.07
Fe ^{II}	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.00
Ca	0.56	0.10	0.00	0.88	0.59	0.65	0.63	0.85	0.45	0.08
Na	0.41	0.82	0.02	0.13	0.40	0.33	0.35	0.14	0.53	0.87
K	0.03	0.03	0.97	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03
Ba	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cation	5.01	4.97	5.00	5.02	5.02	5.01	5.01	5.01	5.01	4.99
An	55.98	10.67	0.00	87.09	58.05	65.04	62.91	85.48	44.54	8.46
Ab	40.72	85.97	1.73	12.91	39.51	32.85	35.04	14.52	53.02	88.32
Or	3.30	3.36	98.27	0.00	2.44	2.11	2.05	0.00	2.44	3.23

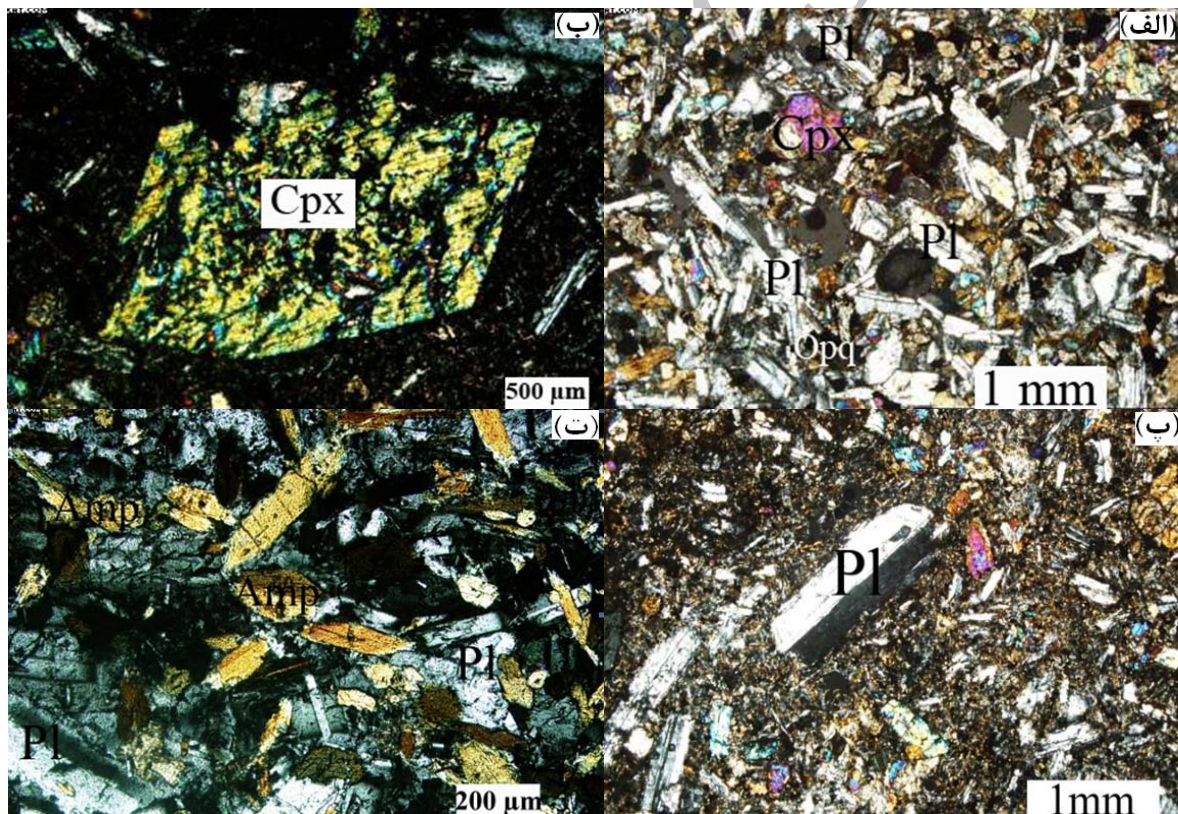
جدول ۲- نتایج آنالیز میکروپروب بلورهای پیروکسن (تعدادی از این بلورها به آمفیبول دگرسان شده‌اند) (اختصارات مانند جدول ۱)

Sample No.	35	35	35	39	39	43	43	43	43	43	K	K	K	K	K	K	K	
Location	1C	2C - R	3R	6	8	9C	10C - R	11R	12M	13M	1(C)	1(R)	2(C)	2(R)	3(C)	3(C - R1)	3(C - R2)	3(R)
SiO ₂	52.25	52.55	52.13	52.28	53.88	51.33	49.77	47.02	49.13	49.42	51.61	51.15	50.78	48.59	51.23	50.55	49.74	50.66
TiO ₂	0.25	0.33	0.47	0.00	0.00	0.00	1.04	1.11	0.97	1.03	0.43	0.53	0.57	0.94	0.37	0.37	0.49	0.66
Al ₂ O ₃	3.95	1.66	2.84	0.47	0.72	4.37	4.65	6.37	4.20	4.66	2.78	3.33	3.63	5.58	3.18	4.21	5.62	3.30
Cr ₂ O ₃	0.48	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	4.78	10.07	6.19	11.93	3.97	4.66	7.60	9.16	9.70	9.71	5.34	6.38	4.84	7.05	9.75	5.47	5.42	6.66
MnO	0.00	0.37	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.16	0.18	0.01	0.03	0.13	0.00	0.00	0.05
MgO	16.19	13.77	16.10	11.92	16.44	16.27	14.23	12.35	14.00	13.86	16.64	15.58	16.16	13.91	14.99	15.99	15.17	15.37
CaO	22.39	21.72	22.82	21.41	24.62	22.20	22.53	22.04	21.12	21.04	22.75	23.08	23.19	22.61	18.39	22.40	22.68	22.63
Na ₂ O	0.42	0.72	0.34	0.61	0.54	0.44	0.49	0.37	0.41	0.42	0.17	0.17	0.27	0.33	0.62	0.46	0.41	0.30
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
NiO	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	0.05	0.00	0.00	0.06	0.03
TOTAL	97.00	97.00	98.00	95.00	96.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	99.95	100.70	99.61	99.17	98.79	99.56	99.79	99.92
Si	1.96	2.01	1.95	2.08	2.02	1.92	1.87	1.81	1.87	1.89	1.89	1.87	1.86	1.81	1.92	1.85	1.83	1.87
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02
Al ^{IV}	0.04	0.00	0.05	0.00	0.00	0.08	0.13	0.19	0.13	0.11	0.11	0.13	0.14	0.19	0.08	0.15	0.18	0.13
Al ^{VI}	0.09	0.05	0.04	0.00	0.00	0.09	0.05	0.08	0.05	0.07	0.01	0.02	0.02	0.05	0.06	0.04	0.07	0.01
Cr	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	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.13	0.32	0.17	0.37	0.10	0.13	0.20	0.24	0.22	0.29	0.07	0.10	0.05	0.11	0.26	0.05	0.06	0.10
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.07	0.00	0.09	0.10	0.10	0.11	0.05	0.12	0.11	0.10
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.90	0.75	0.89	0.66	0.91	0.90	0.80	0.69	0.80	0.75	0.91	0.85	0.88	0.77	0.84	0.87	0.83	0.85
Ca	0.89	0.87	0.88	0.90	0.98	0.89	0.90	0.91	0.86	0.87	0.89	0.91	0.91	0.90	0.74	0.88	0.89	0.89
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.03	0.03	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	0.00	0.00
Ni	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	0.00	0.00
Cation	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	4.00	4.00
Wo	46.43	44.78	44.95	46.78	49.38	46.43	46.87	48.12	44.21	45.54	45.33	46.27	46.89	47.61	39.15	45.79	47.23	45.94
En	46.98	38.57	45.48	34.09	45.80	46.98	41.50	36.52	41.01	39.23	46.13	43.46	45.46	40.76	44.42	45.48	43.96	43.41
Fs	6.59	16.65	9.57	19.13	4.82	6.59	11.64	15.37	14.79	15.23	8.55	10.28	7.65	11.64	16.43	8.73	8.81	10.64

مطالعات پتروگرافی

۴- پ) کانی‌های اصلی، و الیوین، بیوتیت، کانه‌های کدر و آپاتیت کانی‌های فرعی را شامل می‌شوند. کانی‌های ثانویه شامل: کلریت (حاصل از آلتراسیون کلینوپیروکسن و بیوتیت)، پرهنیت (حاصل از آلتراسیون پلاژیوکلاز)، اکتینولیت (حاصل از آلتراسیون کلینوپیروکسن)، هورنبلند اکتینولیتی (حاصل از آلتراسیون کلینوپیروکسن)، اسفن (حاصل از آلتراسیون کلینوپیروکسن)، آلبیت (حاصل از دگرسانی پلاژیوکلاز) و کانه‌های کدر (حاصل از دگرسانی الیوین، کلینوپیروکسن و بیوتیت) هستند. سنگ‌های حد واسط منطقه میکرودیوریت نامیده می‌شوند.

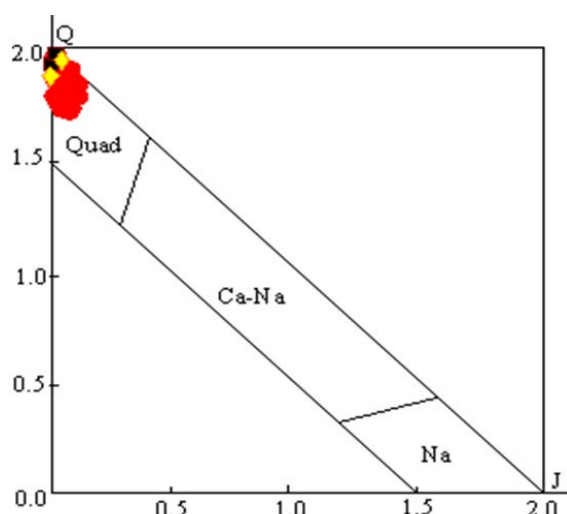
بر اساس مشاهدات صحرایی و بررسی‌های پتروگرافی، سنگ‌های ناحیه مورد نظر در دو گروه بازیک و حد واسط و سنگ‌های مافیک منطقه در دو گروه سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌عمیق جای می‌گیرند. کانی‌های موجود در این سنگ‌ها مشابه هستند. میزان فلدسپار و کانی‌های مافیک این سنگ‌ها برابر هستند (فلدسپار حدوداً ۴۰ تا ۶۰ درصد و کانی‌های مافیک ۳۵ تا ۵۵ درصد حجمی سنگ). بافت اصلی و غالب در این سنگ‌ها اینترگرانولار است (شکل ۴- الف). کلینوپیروکسن (دیوپسید) و پلاژیوکلاز (شکل ۴- ب و



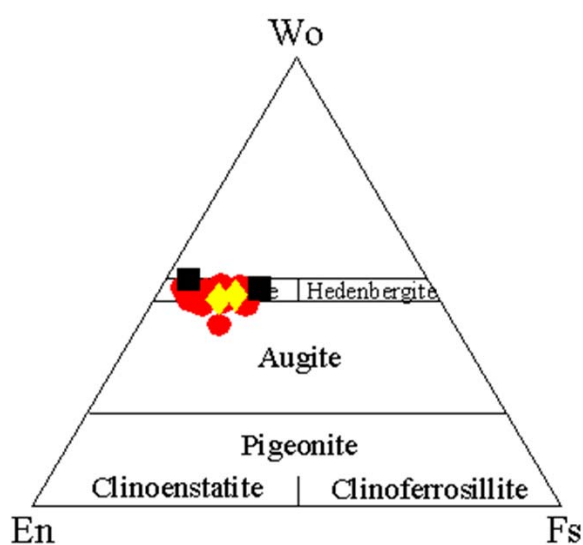
شکل ۴- الف) بافت اینترگرانولار در سنگ مافیک، ب) کانی کلینوپیروکسن در سنگ مافیک، پ) بلور پلاژیوکلاز در سنگ مافیک، ت) بافت اینترگرانولار در سنگ حد واسط و نمایش کانی‌های پلاژیوکلاز و آمفیبول در این سنگ.

مشاهدات پتروگرافی دارای بافت اینترگرانولار بوده، پلاژیوکلاز با ترکیب آندزین و آمفیبول با چند رنگی

مگاکریستال‌های آمفیبول با رنگ تیره و دوکی شکل به راحتی در این سنگ‌ها قابل تشخیص هستند. در



شکل ۵- نمایش ترکیب پیروکسن‌های منطقه در نمودار Q-J (Morimoto *et al.*, 1988) (دایره = فنوکریست، لوزی - میکروکریست سنگ‌های بازیک، مربع - پیروکسن سنگ‌های حد واسط)



شکل ۶- نمایش ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن در نمودار مثلثی Wo-En-Fs (Morimoto *et al.*, 1988) (دایره - فنوکریست، لوزی - میکروکریست سنگ‌های بازیک، مربع - پیروکسن سنگ‌های حد واسط)

بررسی منطقه‌بندی کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های بازیک منطقه نشان می‌دهد که میزان آهن تعدادی از کلینوپیروکسن‌ها، در برخی از حلقه‌های منطقه‌بندی این کانی کاهش می‌یابد.

سبز زیتونی کانی‌های اصلی این سنگ‌ها هستند (شکل ۴-ت). کانی‌های فرعی شامل کلینوپیروکسن (دیوپسید)، آپاتیت، اسفن (شکل‌های گوه‌ای و با بیرفرنژانس قوی)، فلدسپار پتاسیم (ارتوکلاز) و کانه‌های کدر هستند. کانی‌های ثانویه آلبیت، پرنیت، اکتینولیت و کلریت را شامل می‌شوند.

بحث

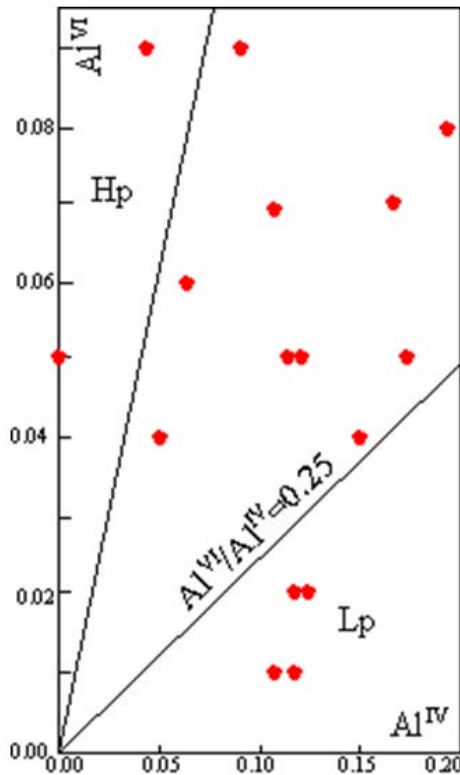
پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های مورد بررسی (سنگ‌های مافیک و حد واسط) از نوع کلینوپیروکسن بوده، به‌صورت فنوکریست و میکروکریست دیده می‌شوند. کلینوپیروکسن‌های مورد نظر غالباً دارای منطقه‌بندی هستند. بر اساس تقسیم‌بندی Morimoto و همکاران، ۱۹۸۸ پیروکسن‌ها در چهار گروه قرار می‌گیرند که عبارتند از:

- پیروکسن‌های (Quad) Ca-Mg-Fe؛
- پیروکسن‌های (Ca-Na) Ca-Na؛
- پیروکسن‌های (Na)؛
- پیروکسن‌های دیگر (Others).

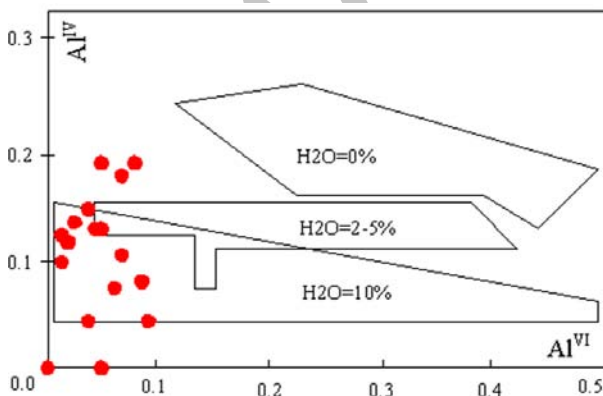
در این چهار گروه M_1 و M_2 هر دو به‌عنوان مکان M در نظر گرفته می‌شوند که کاتیون‌های Ca، Mg، Fe و Na را شامل می‌شود.

در دیاگرام Q، J و Q-J به‌صورت $Q = Ca + Mg + Fe(II)$ و $J = 2Na$ تعریف می‌شوند. کلینوپیروکسن‌های منطقه (فنوکریست و میکروکریست) در موقعیت Quad تصویر می‌شوند (شکل ۵). با توجه به قرارگیری پیروکسن‌ها در منطقه Quad، می‌توان از دیاگرام Wo-En-Fs برای تعیین نوع آن‌ها استفاده نمود (Morimoto *et al.*, 1988). بر این اساس، ترکیب این کانی در محدوده دیوپسید تصویر شده است (شکل ۶).

(۱۹۷۳) میزان آب ماگما در حدود ۱۰ درصد است که با توجه به حضور کانی‌های آب‌دار مثل بیوتیت منطقی است (شکل ۹).

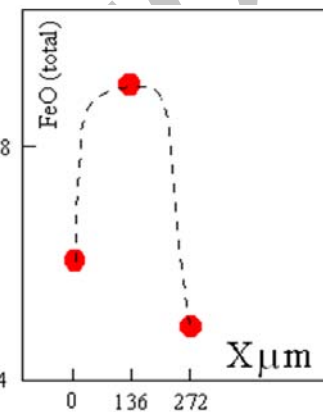


شکل ۸- دیاگرام Al^{VI} در برابر Al^{IV} نشان دهنده تشکیل کلینوپیروکسن‌ها در شرایط فشار پایین تا متوسط و هنگام صعود ماگماست (Aoki and Shiba, 1973).



شکل ۹- توزیع Al در موقعیت‌های تتراهدری و اکتاهدری در کلینوپیروکسن‌ها به تناسب مقدار درصد آب ماگما (Helz, 1973).

این در حالی است که طی تفریق بلوری میزان این عنصر از مرکز به حاشیه باید افزایش یابد. این حالت می‌تواند دلیلی بر اختلاط ماگمای سازنده این سنگ‌ها با ماگمایی بازیگ باشد (Sakuyama, 1984). با توجه به این که نوع تمام زون‌های کلینوپیروکسن دیوپسید است و فقط در میزان آهن متفاوتند، احتمالاً ماگماهای اختلاط یافته ماهیت مشابهی دارند (شکل ۷).



شکل ۷- تغییرات FeO^{total} بر حسب فاصله، در بخشی از منطقه‌بندی کلینوپیروکسن به صورت معکوس است.

تعیین شرایط تبلور کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های بازیگ منطقه

تحقیقات تجربی انجام گرفته در سنگ‌های بازالتی نشان می‌دهد که میزان Al^{VI} در کلینوپیروکسن به فشار وابسته است (Thompson, 1974). این مسأله اساس دیاگرام ارائه شده توسط Aoki و Shiba (۱۹۷۳) است. در این دیاگرام بر اساس Al^{VI} در برابر Al^{IV} کلینوپیروکسن‌ها در فشار پایین تا متوسط و هنگام صعود ماگما تشکیل شده‌اند (شکل ۸). توزیع آلومینیم در جایگاه تتراهدری و اکتاهدری کلینوپیروکسن روشی مناسب برای تخمین درصد تقریبی آب ماگماست (Green, 1972; Helz, 1973). بر اساس دیاگرام Helz

بر اساس دیاگرام Ti در برابر Ca+Na از Leterrier و همکاران (۱۹۸۲) که متمایز کننده ترکیبات آلکان از بازالت‌های قوسی است، بیشتر نمونه‌ها به ترکیب تولییتی تا کالک‌آلکان گرایش دارند (شکل ۱۱-الف).

دیاگرام Ti+Cr در مقابل Ca برای جدایش بازالت قوس آتشفشانی از بازالت‌های تولییتی ارائه شده است. بر اساس این دیاگرام کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های منطقه در محدوده بازالت‌های وابسته به قوس قرار می‌گیرند (Leterrier et al., 1982) (شکل ۱۱-ب).

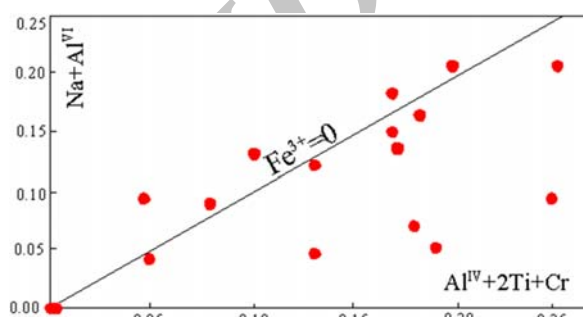
قرارگیری نمونه‌ها در دیاگرام Ti در برابر Al^{total} از Leterrier و همکاران (۱۹۸۲) نشان می‌دهد که نمونه‌ها ماهیت تولییت قوس تا کالک‌آلکان دارند (شکل ۱۱-پ).

در دیاگرام F1-F2 بر اساس شیمی کانی کلینوپیروکسن، محیط تکتونیکی سنگ‌های میزبان این کانی‌ها تعیین می‌شود (Nisbet and Pearce, 1977). طبق این دیاگرام، سنگ‌های ناحیه مورد مطالعه در محدوده بازالت‌های کمان‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل ۱۲). مقادیر F1 و F2 طبق فرمول‌های ارائه شده محاسبه شده است:

$$F1 = - (0.012 * SiO_2) - (0.0807 * TiO_2) + (0.0026 * Al_2O_3) - (0.0012 * FeO^{total}) - (0.0026 * MnO) + (0.0087 * MgO) - (0.0128 * CaO) - (0.0419 * Na_2O)$$

$$F2 = - (0.0469 * SiO_2) - (0.0818 * TiO_2) - (0.0212 * Al_2O_3) - (0.0041 * FeO^{total}) - (0.1435 * MnO) - (0.0029 * MgO) + (0.0085 * CaO) + (0.016 * Na_2O)$$

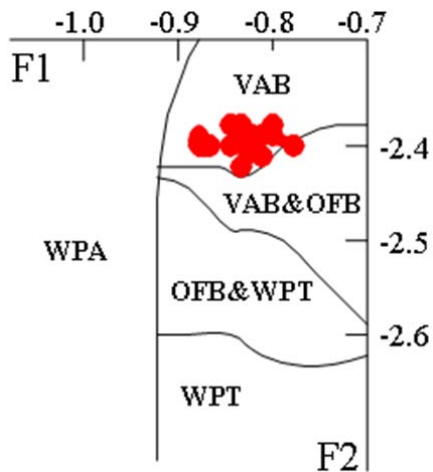
برای تعیین فوگاسیته اکسیژن ماگمای سازنده سنگ‌های آذرین کلویت از دیاگرام $Al^{IV}+2Ti+Cr$ در برابر $Na+Al^{VI}$ استفاده شد (Schweitzer et al., 1979). بر اساس این دیاگرام می‌توان گفت شرایط محیطی تشکیل این سنگ‌ها دارای فوگاسیته متغیری از اکسیژن بوده است. بیشتر نمونه‌های تصویر شده در این دیاگرام در محدوده فوگاسیته پایین اکسیژن قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- دیاگرام $Na+Al^{VI}$ در برابر $Al^{IV}+2Ti+Cr$ برای تعیین فوگاسیته اکسیژن در محیط تشکیل کلینوپیروکسن که شرایط متغیر برای میزان اکسیژن در محیط تبلور این کانی‌ها را نشان می‌دهد (Schweitzer et al., 1979).

تعیین تکتونیکی ماگمای مافیک منطقه بر اساس شیمی کلینوپیروکسن

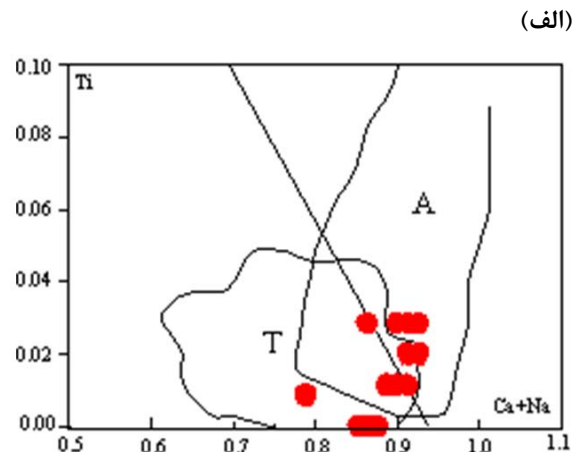
ترکیب کلینوپیروکسن‌ها متأثر از شیمی گدازه میزبان آن‌هاست. این خاصیت سبب می‌شود تا این کانی بتواند تفاوت موجود بین انواع مختلف ماگماهای بازالتی را مشخص نماید. در دیاگرام‌های ارائه شده، از ترکیب فنوکریست‌ها استفاده شد. بررسی‌های Leterrier و همکاران (۱۹۸۲) بر وابستگی ترکیب کلینوپیروکسن به ترکیب شیمیایی ماگمای سازنده آن‌ها تأکید دارد. این امر اهمیت کلینوپیروکسن‌ها در تعیین سری ماگمایی و در نهایت، موقعیت تکتونوماگمایی سنگ میزبان را مشخص می‌کند.



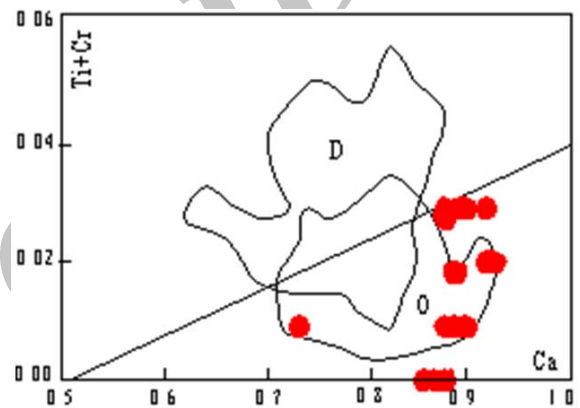
شکل ۱۲- تعیین موقعیت تکتونوماگمایی سنگ‌های آتشفشانی ناحیه با استفاده از ترکیب کلینوپیروکسن. در دیاگرام F1-F2 بازالت‌ها در محدوده قوس‌های آتشفشانی تصویر می‌شوند (Nisbet, and Pearce, 1977) = VAB) بازالت قوس آتشفشانی، OFB = بازالت کف اقیانوسی، WPT = تولیبت درون صفحه).

فلدسپار

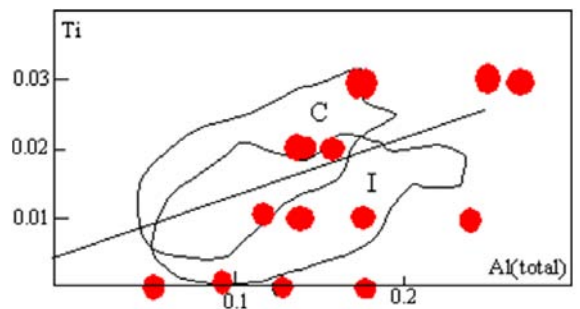
فلدسپارهای مورد مطالعه در سنگ‌های مافیک در مواردی منطقه‌بندی نشان می‌دهند. بر اساس قرارگیری آن‌ها در نمودار Or-Ab-An، منطقه‌بندی فلدسپارها عادی بوده، در مرکز کلسیک‌تر هستند (Deer *et al.*, 1992). گروهی از این کانی‌ها در مرکز بیتونیت و در حاشیه ترکیب لابرادوریت نشان می‌دهند (شکل ۱۳). گروه دیگری نیز در مرکز بیتونیت، در بخش میانی آندزین و در حاشیه آلبیت هستند (شکل ۱۳). مطالعه ریز بلورهای پلاژیوکلاز موجود در زمینه ترکیب لابرادوریت نشان می‌دهند (شکل ۱۳). در سنگ‌های بازیک منطقه، ترکیب پلاژیوکلاز تا آلبیت کشیده شده است. همچنین، نمک در مجاورت این سنگ‌ها وجود دارد. می‌توان نقش متاسوماتیسم سدیک را در ایجاد آلبیت ذکر نمود. بر اساس مشاهدات پتروگرافی فلدسپار موجود در سنگ‌های حد واسط شامل پلاژیوکلاز و فلدسپار آلکان هستند. قرارگیری نمونه‌ها در دیاگرام



(ب)



(پ)



شکل ۱۱- استفاده از ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن برای تعیین سری ماگمایی (Leterrier *et al.*, 1982): الف) در دیاگرام Ti-Ca+Na بیشتر نمونه‌ها در قلمرو بازالت‌های تولیبتی و کالک‌آلکان قرار گرفته‌اند. ب) در نمودار Ti+Cr-Ca نمونه‌ها در موقعیت قوس آتشفشانی قرار گرفته‌اند. پ) در دیاگرام Ti-Al^{total} نمونه‌ها در دو محدوده بازالت‌های تولیبت جزایر قوس و کالک‌آلکان تصویر شده‌اند (T = بازالت تولیبتی و کالک‌آلکان، A = آلکالی‌بازالت، O = بازالت آتشفشانی، D = مورب و سایر تولیبت‌های زون گسترش، I = تولیبت جزایر قوس، C = بازالت کالک‌آلکان).

گروه سنگ اینترگرانولار هستند.

(۳) در سنگ‌های بازیگ، پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک تقریباً برابر هستند. ترکیب پلاژیوکلاز در این سنگ‌ها از بیتونیت تا آلبیت تغییر می‌کند. آلبیت به‌علت متاسوماتیسم سدیک ایجاد شده است. پلاژیوکلازها منطقه‌بندی عادی نشان می‌دهند. دیوپسید ترکیب کلینوپیروکسن‌هاست که در مواردی بخشی از حلقه‌های آن، از نظر میزان آهن منطقه‌بندی معکوس نشان می‌دهد. الیون، بیوتیت و آپاتیت کانی‌های فرعی مهم و کلریت، آمفیبول، اسفن، آلبیت و پرهنیت کانی‌های حاصل از آلتراسیون را تشکیل می‌دهند.

(۴) در سنگ‌های حد واسط پلاژیوکلاز (لابرادوریت تا الیگوکلاز) و آمفیبول کانی‌های اصلی هستند. کلینوپیروکسن (دیوپسید)، الیون، ارتوکلاز، آپاتیت و اسفن کانی‌های فرعی هستند. کانی‌های حاصل از دگرسانی تفاوتی با سنگ‌های مافیک ندارد.

(۵) با توجه به شیمی کلینوپیروکسن، ماهیت ماگما مربوط به محیط فرورانش است.

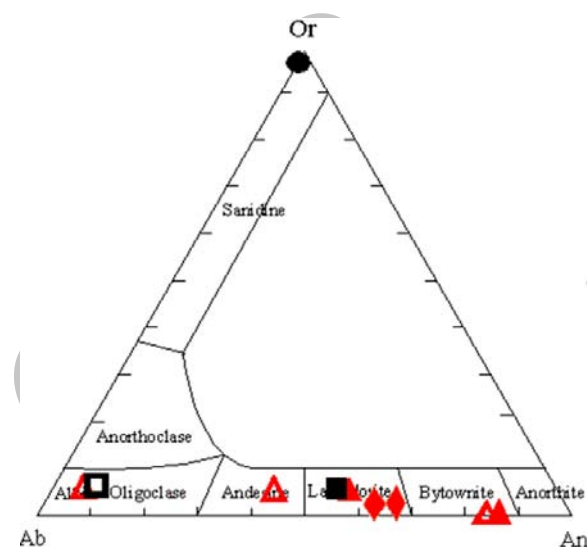
(۶) شرایط فیزیکی تشکیل کلینوپیروکسن‌ها تبلور در فشار پایین تا متوسط و در هنگام صعود ماگما بوده است.

(۷) شرایط شیمیایی تشکیل این کانی‌ها در محیطی با اکسیژن متغیر بوده، میزان آب ماگما حدود ۱۰ درصد تخمین زده می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های معاونت آموزشی و گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان برای فراهم آوردن امکانات این تحقیق صمیمانه تشکر و

Or-Ab-An نشان‌دهنده منطقه‌بندی عادی در این کانی‌هاست. منطقه‌بندی در پلاژیوکلازها به‌گونه‌ای است که در مرکز لابرادوریت و در حاشیه الیگوکلاز هستند. فلدسپارهای آلکالن در این سنگ‌ها جزو کانی‌های فرعی محسوب می‌شوند. بر اساس دیاگرام Or-Ab-An این کانی‌ها ارتوکلاز نام‌گذاری شده‌اند (Deer et al., 1992) (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- در دیاگرام ترکیب شیمیایی فنوکریست و میکروکریست‌های پلاژیوکلاز مشخص شده است (Deer et al., 1992) (مثلاً پر و خالی = پلاژیوکلاز سنگ‌های مافیک، لوزی = پلاژیوکلاز زمینه در سنگ‌های مافیک، مربع پر و خالی = پلاژیوکلاز سنگ‌های حد واسط، دایره = آلکالی‌فلدسپار سنگ حد واسط).

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات پتروگرافی و شیمی کانی‌ها نتایج زیر حاصل شد:

- (۱) سنگ‌های آذرین منطقه کلوت مربوط به ترشیری هستند و در مجاورت دیاپیرهای نمکی دوران سوم برونزد یافته‌اند. واحدهای سنگی منطقه دو ترکیب بازیگ و حد واسط را شامل می‌شوند.
- (۲) مهم‌ترین بافت‌های مشاهده شده در هر دو

قدردانی می‌کنند. همچنین، از راهنمایی‌های آقای
دانشگاه دولتی مسکو به‌خاطر آنالیز نقطه‌ای
دکتر قدرت ترابی و مساعدت خانم دکتر پارفنوا از
نمونه‌ها بی‌نهایت سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- آقاباتی، ع. (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.
- ارفع نیا، ر. و صفایی، ه. (۱۳۸۴) دیاپیریسم نمک در حوضه کلوت (شمال خاور اردکان). فصل‌نامه علوم زمین ۵۶: ۱۶-۲۵.
- شاه‌پسند، ع. (۱۳۸۲) تحلیل دگرریختی‌های مرتبط با بال‌آمدگی مواد تبخیری در ناحیه کلوت. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، پژوهشگاه علوم زمین سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ایران.
- Aoki, K. and Shiba, I. (1973) Pyroxenes from lherzolite inclusions of Itinome - gata Japan. *Lithos* 6: 41-51.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1992) *An Introduction to the Rock forming Minerals*. London, Longman.
- Green, T. H. (1972) Crystallization of calc – alkaline andesite under controlled high pressure hydrous condition. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 34: 367-385.
- Helz, R. T. (1973) Phase relations of basalts in their melting ranges at $p_{H_2O} = 5$ kb as a function of oxygen fugacity, Part I, Mafic phases. *Journal of Petrology* 14: 249-302.
- Huber, H. (1955) Geological report on the Ardekan, kalut Central Iran. Iranian oil company GR144.
- 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: 139-154.
- Morimoto, N., Fabrice, J., Ferguson, A., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., Aoki, K. and Gottardi, G. (1988) Nomenclature of pyroxene. *Mineralogical Magazine* 52: 535-555.
- 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.
- Sakuyama, M. (1984) Magma Mixing and Magma plumbing Systems in Island Arcs. *Bulletin of Volcanology* 47: 685 – 703.
- Schweitzer, E. L., Papike, J. J. and Bence, A. E. (1979) Statistical analysis of clinopyroxenes from deep-sea basalts. *American Mineralogist* 64: 502-513.
- Thompson, R. N. (1974) Some high pressure pyroxenes. *Mineralogical Magazine* 39: 768-787.

The petrography and mineral chemistry of the volcanic rocks associated with salt domes (Northeast of Ardakan, Yazd province)

**Sayed Mohsen Tabatabaei Manesh *, Maryam Massah,
Homayon Safaei and Morteza Sharifi**

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

Abstract

The Kalut area is located at about 70 km northeast of Ardakan (Yazd), which is a part of the structural zone of Central Iran (Yazd block). The igneous rocks of the area belong to Tertiary and are subdivided into intermediate (microdiorite) and basic rocks (basalt and microgabbro). The majority of these rocks show intergranular textures. Plagioclase (albite to bytownite), clinopyroxene (diopside) and olivine are the main minerals of basic rocks. Mica (biotite), apatite and Fe-Ti oxides are accessory minerals. Albite, calcite, chlorite, epidote, amphibole, opaque, sphene, prehnite formed during alteration process. The main textures of intermediate rocks are intergranular. Plagioclase (oligoclase to labradorite), amphibole and clinopyroxene (diopside) are the significant minerals of the aforementioned rocks. The chemistry of clinopyroxenes and the existence of pillows in exotic magmas of mafic rocks, imply that during formation of magma it was mixed with another basic magma, which the nature and the sources of these magmas were likely similar. The results of petrogenetic studies by using mineral-chemistry of clinopyroxene indicate that the composition of magma is tholeiitic to calc-alkali basalts which is related to volcanic arc zone.

Key words: Basalt, Volcanic, Clinopyroxene, Tertiary, Salt dome, Kalut, Yazd

* tabataba@sci.ui.ac.ir