

شیمی کانی‌ها، دما فشارسنجی توده نفوذی زیاران (غرب طالقان)

اسماعیل کشت‌کار^۱، منصور قربانی^{۲*} و جعفر عمرانی^۳

^۱دکتر، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۳دکتر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۳

چکیده

در شمال روستای زیاران، سیلی با ترکیب الیون گابرو تا مونزودیوریت به درون توف‌های کرج تزریق شده است. کانی‌های غالب در ترکیب این سنگ‌ها پلاژیوکلاز، آلکالی-فلدسپار، پیروکسن، الیون و بیوتیت هستند. ترکیب پلاژیوکلازها از لابرادوریت تا بایتویت تغییر می‌کند. آلکالی‌فلدسپارها در محدوده ارتوکلاز و پیروکسن‌ها در محدوده دیوپسید قرار می‌گیرند. ترکیب الیون‌ها از کریزولیت تا هورتونولیت در تغییر است و اکثر نقاط تجزیه شده در محدوده هیالوسیدریت قرار می‌گیرند. بیوتیت یکی از شاخص‌ترین کانی‌های فرومیزین در سنگ‌های مورد مطالعه است که از لحاظ ترکیبی بین قطب آیت و سیدروفیلیت واقع شده و از نوع بیوتیت‌های غنی از منیزیم است. بیشتر این بیوتیت‌ها از نوع ماگمایی اولیه هستند و بخشی از آنها در محدوده بیوتیت‌های دوباره متعادل شده قرار دارند. بیوتیت‌های مورد بررسی، در نمودارهای دوتایی و سه‌تایی، که بر پایه اکسیدهای Al_2O_3 ، MgO و FeO^* استوارند، در گستره کالک‌آلکان کوهزایی قرار می‌گیرند. دمای جایگیری توده نفوذی زیاران بر اساس تیتانیوم بیوتیت، بین ۶۹۰ تا ۷۸۰ درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است. همچنین ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها بیانگر شکل‌گیری آنها در محیط مرتبط با فرورانش است. میانگین دمای تبلور کلینوپیروکسن‌ها حدود ۱۲۱۵ درجه سانتی‌گراد ارزیابی شده و فشار تبلور محاسبه شده برای کلینوپیروکسن‌های این مجموعه کمتر از ۹ کیلو بار است.

کلیدواژه‌ها: زیاران، الیون گابرو، مونزودیوریت، بیوتیت، پیروکسن.

***نویسنده مسئول:** منصور قربانی

E-mail: m_ghorbani@sbu.ac.ir

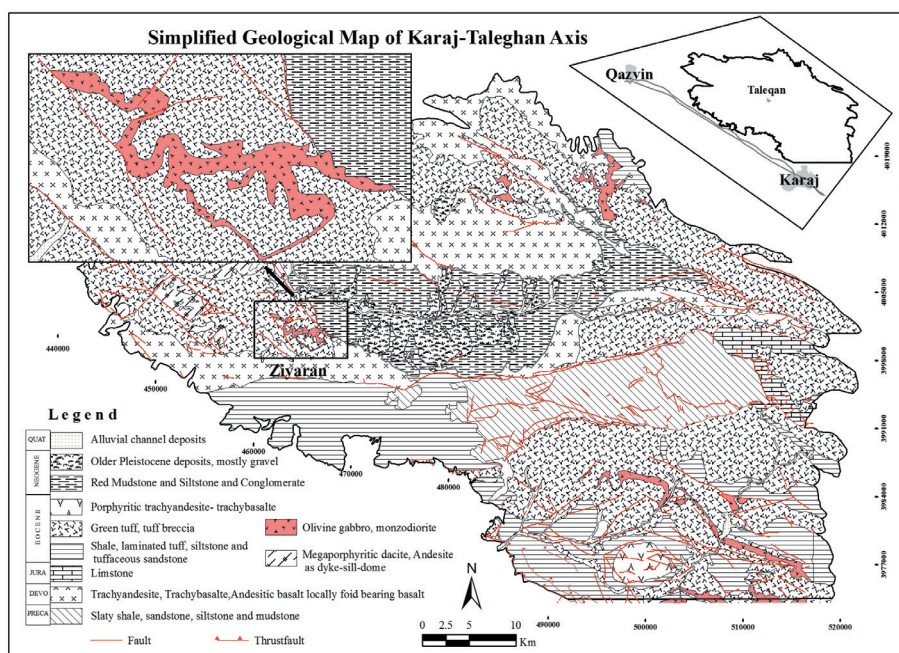
۱- پیش‌نوشتار

الیون، بیوتیت، پیروکسن، آلکالی‌فلدسپار و پلاژیوکلاز بررسی شود و همچنین تخمینی نسبی از فشار و دما بر روی سنگ‌های مورد بحث باروش‌های مختلف صورت گیرد.

مطالعات زمین‌دما فشارسنجی (ژئوترموبارومتری)، برای شناخت شرایط دما و فشار تشکیل سنگ‌ها، در دهه‌های اخیر به عنوان یک روش مفید مطرح شده و جایگاه خاصی در مطالعات زمین‌شناسی پیدا کرده است (Uchida et al., 2007). اساس ژئوترموبارومتری مبتنی بر این فرض است که مجموعه کانی‌های سنگ در شرایط تعادلی تشکیل شده باشند. به عقیده محققین (Bucher and Frey, 2002)، این وضعیت ممکن است برای سنگ‌های که به سرعت سرد شده و یا اینکه دمای پایینی داشته‌اند، معتبر نباشد. به سبب اینکه تاکنون هیچ مطالعه‌ای در مورد مینرال شیمی کانی‌های منطقه زیاران انجام نشده بود، در این پژوهش سعی شده است تا حدودی تحولات ماگمایی توده نفوذی زیاران بر اساس شیمی کانی‌های

۲- زمین‌شناسی و پتروگرافی مجموعه نفوذی زیاران

مجموعه زیاران در بخش جنوبی البرز مرکزی قرار دارد و به صورت نفوذی‌های نه چندان بزرگ مانند لنز و سیل (Annells et al., 1977)، درون لایه‌های رسوبی - آتشفشانی سازند کرج (شامل توف سبز، توف قطعه‌دار بلورین، توف ماسه‌ای، توف آهکی، مارن، شیل و گدازه‌های آتشفشانی) نفوذ کرده است (شکل ۱).

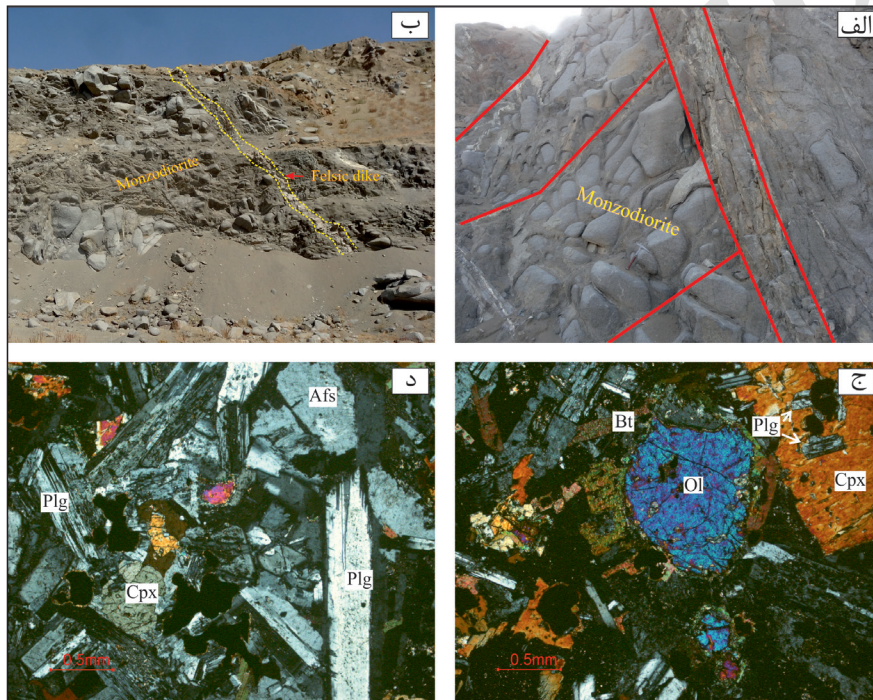


شکل ۱- موقعیت توده نفوذی زیاران در نقشه زمین‌شناسی ساده شده (رادفر، ۱۳۷۲؛ امینی، ۱۳۷۳).

مونزوگابروهای توده شمال شرقی زیاران از لحاظ ضریب رنگی در دو رده مزوکرات تا ملانوکرات قرار می‌گیرند و در نمونه دستی به رنگ خاکستری دیده می‌شوند. این سنگ‌ها عموماً دارای بافت پورفیروبییدی با بخش دانه ریز تا متوسط و شامل کانی‌های پلاژیوکلاز ۴۵ تا ۵۳ درصد، پتاسیم‌فلدسپار ۲ تا ۱۰ درصد، کلینوپیروکسن ۱۴ درصد، بیوتیت ۱۴ درصد، الیون ۶ درصد، کانی اپاک ۸ درصد و کانی‌های فرعی ۳ درصد هستند (شکل ۲-د). در این توده بلورهای پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار تا بی‌شکل با ماکل آلایت- کارلسباد و دارای بافت حاشیه‌های انحلالی و غربالی هستند. پیروکسن‌ها عمدتاً از نوع کلینوپیروکسن هستند و معمولاً به صورت شکل‌دار تا بی‌شکل دیده می‌شوند. الیون‌ها به صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل با اندازه‌های نسبتاً متوسط تا ریزبلور در متن سنگ دیده می‌شوند و به کلریت و کانی‌های اپاک دگرسان شده‌اند. بیوتیت‌ها نیز به صورت تیغه‌ای و بی‌شکل با اندازه کوچک و با فراوانی کم دیده می‌شوند. پتاسیم‌فلدسپارها به صورت شکل‌دار تا بی‌شکل در متن سنگ دیده می‌شوند و گاهی حاوی ادخال‌های بلورهای آپاتیت هستند.

توده‌های مذکور از نظر سنی به بعد از ائوسن پسین تعلق دارند و معادل فاز کوهزایی پیرنه هستند که بستر مناسبی را برای تشکیل آن ایجاد کرده است. توده نفوذی در محل تماس با توف‌های اسیدی، حاشیه انجماد سریع نشان می‌دهد. سنگ‌های حاشیه انجماد سریع، رنگ خاکستری و بافت پورفیری دارند و حاوی بلورهای درشت پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن هستند.

توده اصلی با توجه به مشخصات سنگ‌شناسی و پتروگرافی شامل الیون- گابرو، مونزودیوریت- مونزوگابرو (شکل ۲-الف) و دایک‌های فلسیک (شکل ۲-ب) با ضخامت کم (کمتر از ۲۰ سانتی‌متر) است. الیون‌ها بیشترین حجم توده نفوذی را شامل می‌شوند و در نمونه دستی به صورت ملانوکرات با بلورهای درشت پیروکسن و پلاژیوکلاز دیده می‌شوند. این سنگ‌ها دارای بافت‌های دانه‌ای، پورفیری، افیتیک و پوئی کلیتیک هستند (شکل ۲-ج). به‌طور کلی، کانی‌های اصلی موجود در گابروها شامل پلاژیوکلاز ۵۰ درصد، کلینوپیروکسن ۱۷ درصد، الیون ۱۲ درصد، بیوتیت ۱۰ درصد، کانی اپاک ۹ درصد و کانی‌های فرعی ۲ درصد هستند. مونزودیوریت و



شکل ۲- الف) نمای کلی از توده نفوذی زیاران با فرسایش پوست‌پیزی؛ ب) دایک‌های فلسیک با ضخامت کم درون توده زیاران؛ ج) مقطع میکروسکوپی از واحد الیون گابرو؛ د) مقطع میکروسکوپی از واحد مونزودیوریت.

۳- روش مطالعه

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، پس از بررسی شواهد صحرایی و بازدید از رخنمون‌های مختلف، ۳۵ نمونه از سنگ‌های مجموعه مورد مطالعه برداشت و طی مرحله بعد از آن‌ها مقطع نازک تهیه شد (۴ مقطع از بین ۴۰ مقطع گرفته شده، برای منبرال شیمی انتخاب شد). سپس جهت تعیین ترکیب شیمیایی کانی‌های بیوتیت، پلاژیوکلاز، آلکالی‌فلدسپار، پیروکسن و الیون در نمونه‌های سالم و کمتر دگرسان شده، آنالیز الکترون پروب میکروآنالیزور ELECTRON PROBE MICRO ANALYZER با دستگاه مدل SX100 ساخت شرکت Cameca فرانسه در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران صورت گرفت (جدول‌های ۱ تا ۵). این دستگاه با ولتاژ شتاب‌دهنده ۱۵Kv و جریان $2nA$ کار می‌کند و آنالیز کمی دقیق نقطه‌ای با رزولوشن ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون در هر نقطه دلخواه، از عنصر برلیوم تا اورانیم (Be- U) ارائه می‌دهد.

۴- شیمی کانی‌ها

۴-۱. الیون

به منظور تفکیک و بررسی الیون‌ها از نمودار $(Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg))$ در برابر $(Mg/(Fe^{2+} + Mg))$ (Fa-Fo) استفاده شده است (شکل ۳؛ Deer et al., 1992). همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود ترکیب الیون‌های توده نفوذی زیاران از کریزولیت تا هورتونولیت در تغییر است و اکثر نقاط تجزیه شده در محدوده هیالوسیدریت قرار می‌گیرند.

۴-۲. شیمی فلدسپارها

به منظور تفکیک و طبقه‌بندی فلدسپارهای منطقه مورد مطالعه از نمودار Or-Ab-An استفاده شده است (شکل ۴؛ Deer et al., 1992). با دقت در شکل ۴ به آسانی می‌توان دید که پلاژیوکلازهای سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در دو محدوده لابرادوریت و بایوتیت (An=50-80) قرار گرفته‌اند. در اکثر سنگ‌های منطقه

نسبت به مرکز درصد آنورتیت کمتری برخوردار بوده و این نمایانگر منطقه بندی عادی در این کانی هاست. همچنین بر اساس شکل ۴ نیز به آسانی قابل استنباط است که آلکالی فلدسپارهای منطقه مورد مطالعه در محدوده ارتو کلاز (Or=75-85) قرار می گیرند.

زیاران در کانی پلاژیوکلاز می توان منطقه بندی (زونینگ) مشاهده کرد که به منظور تشخیص منطقه بندی عادی یا معکوس، آنالیز ریزپردازش الکترونی از مرکز به طرف حاشیه بلور انجام شد. با بررسی نتایج مشخص شد که گستره تغییر ترکیب از لابرادوریت تا بایتویت در تغییر است و در این مجموعه، حاشیه پلاژیوکلازها

جدول ۱- نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی کانی های پلاژیوکلاز (w%) (فرمول ساختاری بر اساس ۱۸ اکسیژن محاسبه شده است).

Sample No.	ZR1	ZR2	ZR3	ZR36	ZR37	ZR38	ZR42	ZR43	ZR44	ZRB1	ZRB2	ZRB3
SiO ₂	50.81	51.54	48.48	50.59	52.49	54.08	48.15	51.47	51.14	52.72	51.20	54.43
TiO ₂	0.05	0.05	0.04	0.04	0.07	0.07	0.03	0.04	0.03	0.06	0.07	0.06
Al ₂ O ₃	31.23	30.87	32.87	30.79	29.35	28.78	33.04	30.01	30.40	29.72	31.78	28.69
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
FeO	0.36	0.35	0.35	0.46	0.40	0.00	0.42	0.50	0.29	0.46	0.00	0.32
MgO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00
CaO	14.29	13.80	16.35	14.75	13.23	11.95	16.44	14.00	14.43	12.66	13.15	10.99
Na ₂ O	3.37	3.89	2.47	3.46	4.19	5.05	2.47	3.75	3.33	4.30	4.35	5.51
K ₂ O	0.19	0.18	0.07	0.15	0.26	0.51	0.09	0.27	0.24	0.30	0.16	0.21
Total	100.4	100.9	100.8	100.4	100.1	100.6	100.7	100.2	100.0	100.4	100.9	100.3
Si	2.31	2.33	2.20	2.30	2.38	2.43	2.19	2.34	2.34	2.39	2.30	2.45
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
Al	1.67	1.64	1.76	1.65	1.57	1.52	1.77	1.61	1.64	1.59	1.68	1.52
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
Fe ²⁺	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.70	0.67	0.80	0.72	0.64	0.58	0.80	0.68	0.71	0.61	0.63	0.53
Na	0.30	0.34	0.22	0.30	0.37	0.44	0.22	0.33	0.29	0.38	0.38	0.48
K	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
x_{An}	69.32	65.55	78.22	69.61	62.64	55.08	78.22	66.33	69.57	60.87	61.99	51.81
x_{Ab}	29.58	33.44	21.38	29.55	35.90	42.12	21.27	32.15	29.05	37.41	37.11	47.01
x_{Or}	1.10	1.02	0.40	0.84	1.47	2.80	0.51	1.52	1.38	1.72	0.90	1.18

جدول ۲- نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی کانی های آلکالی فلدسپار (w%) (فرمول ساختاری بر اساس ۱۸ اکسیژن محاسبه شده است).

Sample No.	ZR33	ZR34	ZR35	ZR39	ZR40	ZR41	ZRB4	ZRB5	ZRB6
SiO ₂	65.11	64.57	64.80	62.93	63.23	63.73	65.11	66.04	65.48
TiO ₂	0.04	0.06	0.06	0.08	0.09	0.11	0.03	0.03	0.05
Al ₂ O ₃	19.84	19.77	19.84	19.60	19.90	20.45	19.02	19.10	19.18
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.16	0.14	0.13	0.14	0.00	0.21	0.10	0.10	0.15
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
CaO	0.66	0.54	0.64	0.65	0.64	0.94	0.40	0.41	0.52
Na ₂ O	3.94	3.22	3.43	2.88	2.80	2.95	3.23	2.97	3.06
K ₂ O	11.25	11.99	11.75	12.14	12.42	11.98	12.98	12.23	12.41
Total	101.01	100.31	100.65	98.42	99.08	100.37	100.88	100.88	100.86
Si	2.92	2.93	2.93	2.91	2.91	2.89	2.94	2.99	2.96
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.05	1.06	1.06	1.07	1.08	1.09	1.01	1.02	1.02
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.02	0.02	0.03
Na	0.34	0.28	0.30	0.26	0.25	0.26	0.28	0.26	0.27
K	0.64	0.69	0.68	0.72	0.73	0.69	0.75	0.71	0.72
x_{An}	3.12	2.62	3.07	3.20	3.12	4.58	1.84	2.02	2.50
x_{Ab}	33.66	28.23	29.79	25.65	24.72	25.99	26.94	26.41	26.58
x_{Or}	63.23	69.16	67.14	71.15	72.15	69.44	71.22	71.57	70.93

جدول ۳- نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی کانی‌های بیوتیت (w%) (فرمول ساختاری بر اساس ۲۲ اکسیژن محاسبه شده است).

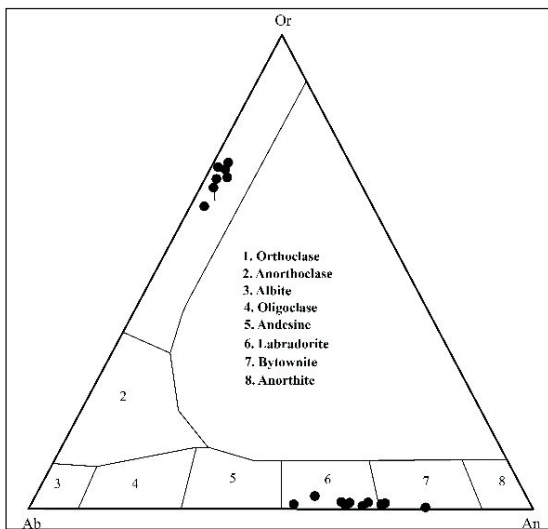
Rock Type	ZR18	ZR19	ZR20	ZR21	ZR22	ZR23	ZR24	ZR25	ZR26	ZRB23	ZRB24	ZRB25
SiO ₂	35.42	35.29	35.10	35.52	35.21	34.97	35.11	34.89	35.12	35.55	35.23	35.18
TiO ₂	5.72	5.16	5.91	4.16	3.86	3.26	5.20	5.20	5.13	4.01	1.86	5.26
Al ₂ O ₃	14.10	14.19	14.37	14.29	14.52	14.88	14.32	14.31	15.17	14.38	16.11	14.02
FeO	18.29	19.37	18.14	20.11	20.45	20.17	20.37	20.74	20.21	18.30	18.13	19.71
MnO	0.26	0.23	0.26	0.30	0.32	0.30	0.30	0.33	0.29	0.27	0.26	0.32
MgO	12.45	12.06	12.04	12.06	11.85	11.63	10.45	10.75	10.76	13.21	14.22	11.68
CaO	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Na ₂ O	0.44	0.49	0.46	0.43	0.45	0.42	0.59	0.59	0.66	0.68	0.28	0.55
K ₂ O	10.37	10.23	10.25	10.21	10.45	10.17	10.18	10.25	10.35	10.39	10.47	10.09
Total	97.07	97.04	96.58	97.09	97.12	95.83	96.53	97.07	97.71	96.80	96.56	96.82
No. of O ₂	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Si	5.36	5.36	5.33	5.41	5.38	5.40	5.64	5.59	5.56	5.64	5.58	5.61
Al ^{Total}	2.51	2.54	2.57	2.56	2.61	2.71	2.71	2.70	2.83	2.69	3.01	2.64
Al ^{IV}	2.51	2.54	2.57	2.56	2.38	2.36	2.36	2.58	2.68	2.57	2.66	2.52
Al ^{VI}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.47	0.34	0.00	0.03	0.00	0.21	0.00
Ti	0.65	0.59	0.67	0.48	0.44	0.38	0.63	0.63	0.61	0.48	0.22	0.63
Fe	2.31	2.46	2.30	2.56	2.61	2.60	2.73	2.78	2.68	2.43	2.40	2.63
Mn	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04
Mg	2.81	2.73	2.73	2.74	2.70	2.68	2.50	2.57	2.54	3.12	3.36	2.78
Ca	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.13	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.18	0.18	0.20	0.21	0.09	0.17
K	2.00	1.98	1.99	1.98	2.04	2.00	2.08	2.09	2.09	2.10	2.11	2.05
Mg/(Mg+Fe ₂)	0.55	0.53	0.54	0.52	0.51	0.51	0.48	0.48	0.49	0.56	0.58	0.51

جدول ۴- نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی کانی‌های الوبین (w%) (فرمول ساختاری بر اساس ۴ اکسیژن محاسبه شده است).

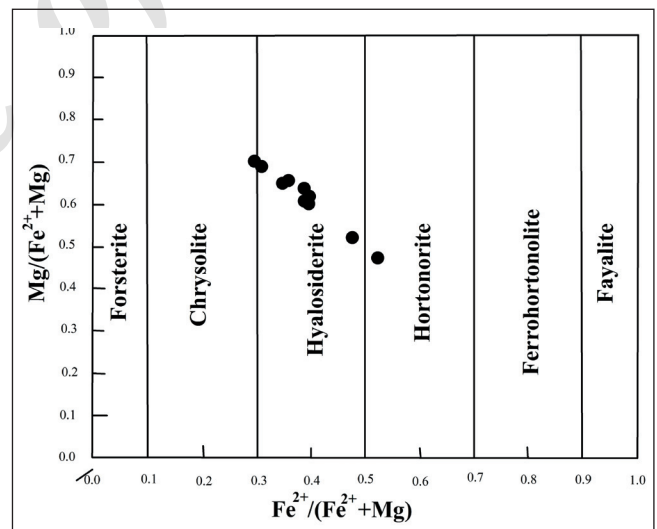
Rock Type	ZR15	ZR16	ZR17	ZRB18	ZRB19	ZRB20	PR32	PR33	PR34	PR35
SiO ₂	35.45	36.47	36.44	36.98	36.68	34.55	35.93	36.00	35.91	36.05
TiO ₂	0.02	0.02	0.01	0.03	0.00	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05
Al ₂ O ₃	0.03	0.03	0.01	0.05	0.03	0.04	0.01	0.03	0.00	0.03
FeO	39.09	31.15	31.26	27.27	28.62	41.88	34.46	34.32	34.39	35.06
MnO	1.73	1.03	1.02	0.77	0.89	1.94	0.83	0.80	0.75	0.77
MgO	24.13	31.64	31.57	34.67	33.77	21.46	29.31	28.87	28.93	29.19
CaO	0.30	0.35	0.38	0.35	0.37	0.23	0.11	0.13	0.11	0.07
Na ₂ O	0.11	0.07	0.13	0.59	0.06	0.21	0.07	0.18	0.04	0.07
K ₂ O	0.02	0.01	0.04	0.01	0.01	0.06	0.00	0.02	0.01	0.01
Total	100.9	100.8	100.9	100.7	100.4	100.4	100.8	100.4	100.2	101.3
Si	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.00	0.03	0.03	0.03	0.04	0.00	0.03	0.01	0.01	0.02
Fe ²⁺	0.93	0.68	0.68	0.58	0.60	1.01	0.76	0.78	0.78	0.78
Mn	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02
Mg	1.02	1.27	1.27	1.38	1.35	0.93	1.20	1.19	1.19	1.19
Ca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Te	2.08	1.17	1.16	0.86	1.00	2.38	0.96	0.93	0.87	0.89
Fo	51.06	63.34	63.19	68.44	66.74	46.43	59.58	59.32	59.37	59.15
Fa	46.40	34.98	35.10	30.20	31.73	50.83	39.30	39.56	39.59	39.86

جدول ۵- نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی کانی‌های پیروکسن (w%) (فرمول ساختاری بر اساس ۱۶ اکسیژن محاسبه شده است).

Rock Type	ZR27	ZR28	ZR29	ZR30	ZR31	ZR32	ZRB10	ZRB11	ZRB12	ZRB13	ZRB14	ZRB15	ZRB16	ZRB17
SiO2	50.17	50.16	51.46	49.45	50.08	50.79	48.22	49.01	47.91	47.40	47.69	49.29	48.58	48.14
TiO2	0.97	1.02	0.34	1.04	1.01	1.02	1.25	1.16	1.27	1.31	1.32	1.14	1.10	1.47
Al2O3	3.99	4.42	2.38	4.55	4.38	3.71	5.13	5.75	5.47	5.57	6.45	4.79	4.21	5.40
FeO	7.92	5.71	9.08	8.48	8.21	8.37	8.41	9.53	8.30	8.23	8.87	8.35	8.12	8.60
MnO	0.21	0.22	0.41	0.22	0.23	0.31	0.19	0.27	0.23	0.18	0.22	0.21	0.22	0.26
MgO	14.65	13.97	12.60	13.81	14.47	13.68	13.49	13.17	13.11	13.29	12.81	13.69	14.04	13.22
CaO	22.71	23.11	23.11	22.62	22.04	22.25	22.81	21.06	22.82	22.59	22.54	22.65	22.37	23.32
Na2O	0.46	0.44	0.98	0.50	0.50	0.59	1.42	0.74	0.53	0.49	0.40	0.70	2.21	0.48
K2O	0.00	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.00	0.01
Total	101.1	99.1	100.4	100.7	100.9	100.7	100.9	100.7	99.7	99.1	100.3	100.9	100.9	100.9
Si	1.83	1.86	1.91	1.82	1.83	1.87	1.76	1.81	1.78	1.77	1.77	1.81	1.76	1.77
Ti	0.03	0.03	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04
Al	0.17	0.19	0.10	0.20	0.19	0.16	0.22	0.25	0.24	0.25	0.28	0.21	0.18	0.23
Fe ³⁺	0.14	0.05	0.13	0.14	0.12	0.08	0.26	0.13	0.16	0.17	0.14	0.16	0.25	0.17
Fe ²⁺	0.10	0.12	0.15	0.12	0.13	0.18	0.00	0.17	0.10	0.08	0.14	0.09	0.00	0.09
Mn	0.01	0.01	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	0.80	0.77	0.70	0.76	0.79	0.75	0.73	0.72	0.73	0.74	0.71	0.75	0.76	0.73
Ca	0.89	0.92	0.92	0.89	0.86	0.88	0.89	0.83	0.91	0.91	0.90	0.89	0.87	0.92
Na	0.03	0.03	0.07	0.04	0.04	0.04	0.10	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.16	0.03
Wo	49.75	50.60	52.11	50.41	48.51	48.65	54.86	48.28	52.48	52.30	51.47	51.44	53.38	53.01
En	44.65	42.56	39.53	42.82	44.31	41.61	45.14	42.01	41.95	42.81	40.70	43.26	46.62	41.81
Fs	5.60	6.84	8.36	6.78	7.18	9.74	0.00	9.70	5.57	4.89	7.83	5.30	0.00	5.19



شکل ۴- فلدسپارهای زیاران در نمودار طبقه‌بندی Or-Ab-An (Deer et al., 1992)


 شکل ۳- ترکیب الیون در سنگ‌های زیاران بر پایه نمودار $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$ در برابر $Mg/(Fe^{2+} + Mg)$ (Deer et al., 1992)

Wo-En-Fs در محدوده دیوپسید قرار گرفته‌اند. در نمودار تفکیکی Ca در مقابل $Ti + Cr$ و نمودار Ca در مقابل Ti (Letterrier et al., 1982) خاستگاه تمامی کلینوپيروکسن‌ها در میدان کوهزایی قرار می‌گیرند (شکل ۶).

۴-۴. شیمی بیوتیت

بیوتیت به عنوان یکی از فراوان‌ترین و شاخص‌ترین کانی‌های مافیک در ترکیب سنگ‌های آذرین، با توجه به ساختار بلوری، شکل شبکه ساختاری، فرومنیزین بودن و تأثیر فراوان تغییرات ترکیب شیمیایی بر ویژگی‌های اپتیکی، کانی مهمی است (Uchida et al., 2007). فرمول بیوتیت $X_2Y_4Z_8O_{20}(OH, F, Cl)_4$ است که در ساختمان آن، لایه اکتاهدردال اول (سایت X) با کاتیون‌های بزرگ مانند Na، K و

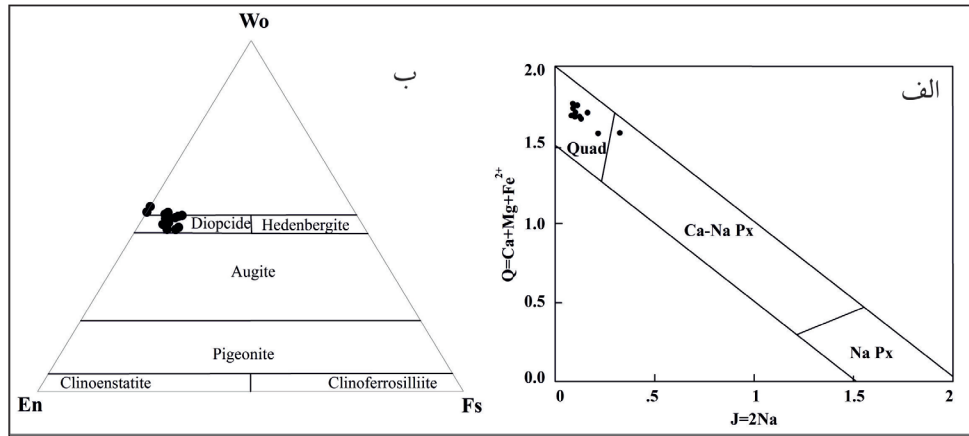
۴-۳. شیمی پیروکسن

در نمودار شکل ۵- الف، پیروکسن‌ها با توجه به قرارگیری کاتیون‌ها به ۴ گروه: (۱) پیروکسن‌های (Ca-Mg-Fe (Quad)، (۲) پیروکسن‌های (Ca-Na)، (۳) پیروکسن‌های Na و (۴) دیگر پیروکسن‌ها (Other) تقسیم می‌شوند (Morimoto, 1989). پیروکسن‌های مورد مطالعه در نمودار J-Q در محدوده آهن-منیزیم-کلسیم قرار گرفته‌اند. در این نمودار شاخص‌های J و Q مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شوند:

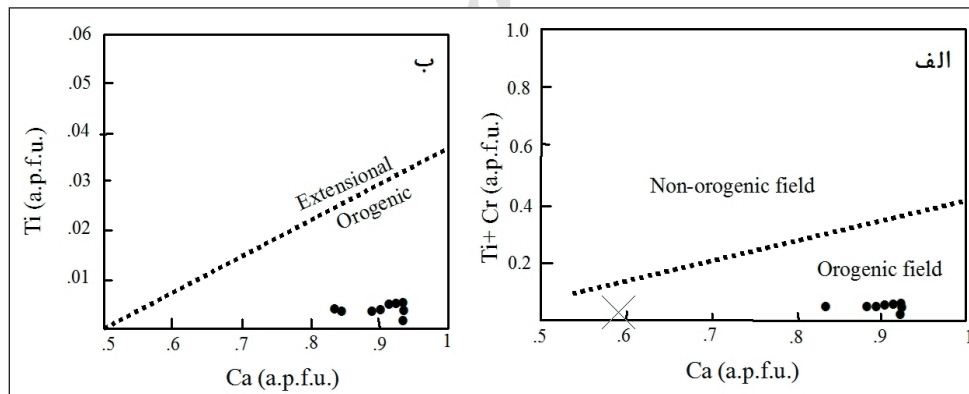
$Q = Ca + Mg + Fe^{2+}$ و $J = 2Na \pm R$ (R: Al, Fe^{3+} , Cr^{3+} , Sc^{3+})
 برای تفکیک پیروکسن‌های گروه Ca-Mg-Fe از نمودار شکل ۵- ب استفاده شد (Morimoto, 1989). چنانچه ملاحظه می‌شود پیروکسن‌های زیاران در نمودار

می‌تواند در تحلیل شرایط پترولوژیکی ماگمای والد مؤثر باشد. بنابراین با استفاده از ترکیب شیمیایی بیوتیت می‌توان نوع ماگما را تشخیص داد (Deer et al., 1992) و ماهیت آن را تعیین (Morimoto, 1989)، واحدهای سنگی منطقه را طبقه‌بندی و تحلیل‌های پترولوژیکی ارائه کرد.

یا Ca و نیز Rb، Cs و Ba و غیره پر می‌شود. این لایه، توسط دو لایه اکتاهدرالی Y احاطه می‌شود که با عناصر Fe^{2+} و Mg و مقادیر کمتری Cr، Mn، Fe^{3+} و Ti پر شده است و در محیط تراهدرال محور Z نیز عموماً عناصر Si یا Al و احتمالاً Fe^{3+} و Ti قرار می‌گیرند. ترکیبات و نسبت جایگزینی اکسیدهای سه عنصر اصلی Fe، Al و Mn



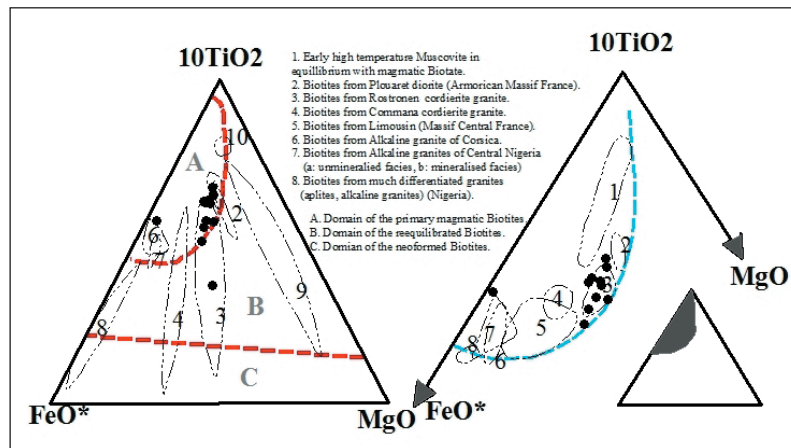
شکل ۵- الف) طبقه‌بندی پیروکسن‌ها در نمودار Q-J؛ ب) نمایش ترکیب پیروکسن‌های نفوذی زیاران در نمودار En-Fs-Wo (Morimoto, 1989).



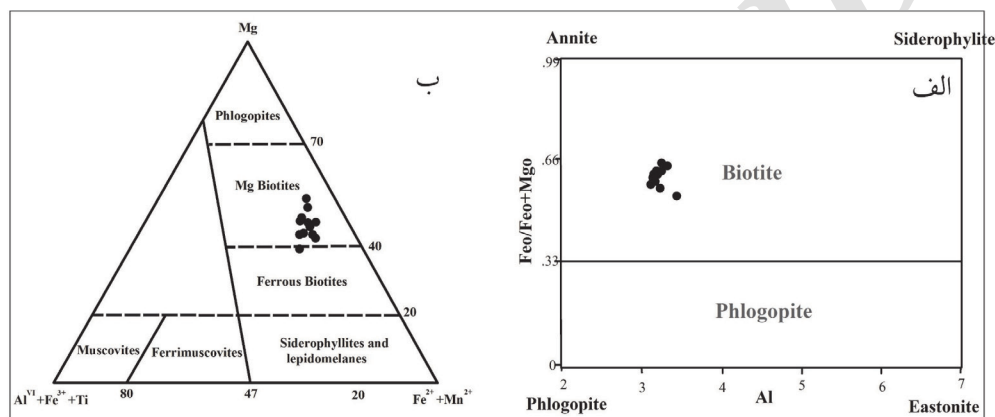
شکل ۶- موقعیت قرارگیری کلینوپیروکسن‌ها در: الف) نمودار Ca مقابل Ti+Cr؛ ب) نمودار Ca در مقابل Ti (Letterrier et al., 1982). محیط تشکیل کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی کوهزایی است.

به کار گرفته شده‌اند که به ترتیب شاخص گریزندگی اکسیژن و پرآلومینه بودن ماگما در زمان تبلور بیوتیت هستند (Spear, 1984). ترکیب میکاهای مورد بررسی چنانچه در شکل ۸- الف پیداست در قلمرو بیوتیت و در بین قطب آیت و سیدروفیلیت و نزدیک به قطب آیت واقع شده و هیچ یک در قلمرو فلوگوپیت قرار نگرفته‌اند. همچنین بیوتیت‌های مورد بررسی همگی از نوع بیوتیت‌های غنی از منیزیم (شکل ۸- ب) هستند و تغییر ترکیب محسوسی نشان نمی‌دهند (Foster, 1960). بیوتیت‌ها همچنین از کانی‌هایی هستند که ترکیب آنها نشان‌دهنده ویژگی‌های ماگمای مادر است (Spear, 1984; Abdel-Rahman, 1994). ترکیب بیوتیت در مجموع تابع شرایط تبلور ماگمایی است که از آن متبلور شده است و بنابراین می‌توان از آن به عنوان یک معیار مناسب برای شناسایی محیط زمین‌شناختی توده‌های نفوذی استفاده کرد.

به منظور شناسایی بیوتیت‌های اولیه از ثانویه از نمودار سه‌تایی $MgO+MnO-10TiO_2-FeO$ استفاده شده است (شکل ۷). این نمودار می‌تواند بیوتیت‌های اولیه یا ماگمایی را از بیوتیت‌های اولیه‌ای که دستخوش تعادل مجدد شده‌اند و نیز بیوتیت‌های ثانویه جدا کند. بررسی وضعیت بیوتیت‌ها در نمودار سه‌تایی $TiO_2-FeO-MgO$ (Koroll et al., 1993) برای سنگ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیوتیت‌ها، از نوع ماگمایی اولیه هستند و فقط یک نمونه در محدوده بیوتیت‌های دوباره متعادل شده قرار دارد (شکل ۷). بیوتیت محلول جامد چهار عضو انتهایی یعنی آیت، سیدروفیلیت، فلوگوپیت و ایستونیت بوده که بر پایه این چهار فاز، نموداری تحت عنوان چهارضلعی (ASPE) طراحی شده است که برای تعیین ترکیب میکاهای هشت‌وجهی سه‌گانه به کار می‌رود. در این چهارضلعی، دو متغیر $Al\ total$ و $Fe/(Fe+Mg)$



شکل ۷- تعیین منشأ و بررسی وضعیت بیوتیت های ماگمایی و دوباره متعادل شده، توده نفوذی زیاران در نمودار سه تایی (Nachit et al., 2005). TiO_2 -FeO-MgO



شکل ۸- الف) بررسی انواع میکاهای آهن و منیزیم دار در نمودار چهار قطبی؛ ب) بیوتیت های مورد آنالیز از نوع میکاهای منیزیم-آهن دار و از نوع بیوتیت های غنی از منیزیم هستند (Nachit et al., 2005).

از دمای واقعی تبلور سنگ های منطقه است. احتمالاً پایین بودن دمای محاسبه شده، ناشی از تحولات زیر نقطه انجماد ترکیب فلدسپارها در طول تبلور است (Koroll et al., 1993).

۵-۲. دماسنجی با استفاده از مقدار تیتانیوم بیوتیت

زمین دماسنج مقدار تیتانیوم در بیوتیت (Henry et al., 2005)، بر اساس غلظت Ti برای متاپلیت های پرآلومین بنا شده است. دماها می تواند هم با ترسیم مقادیر Ti و $Mg/(Mg+Fe)$ بر روی یک نمودار دوتایی ساده (شکل ۱۰-ب) و هم توسط محاسبه T در فرمول زیر به دست آید:

$$T = \frac{(\ln(Ti) - a - c(XMg)^3)/b}{0.333}$$

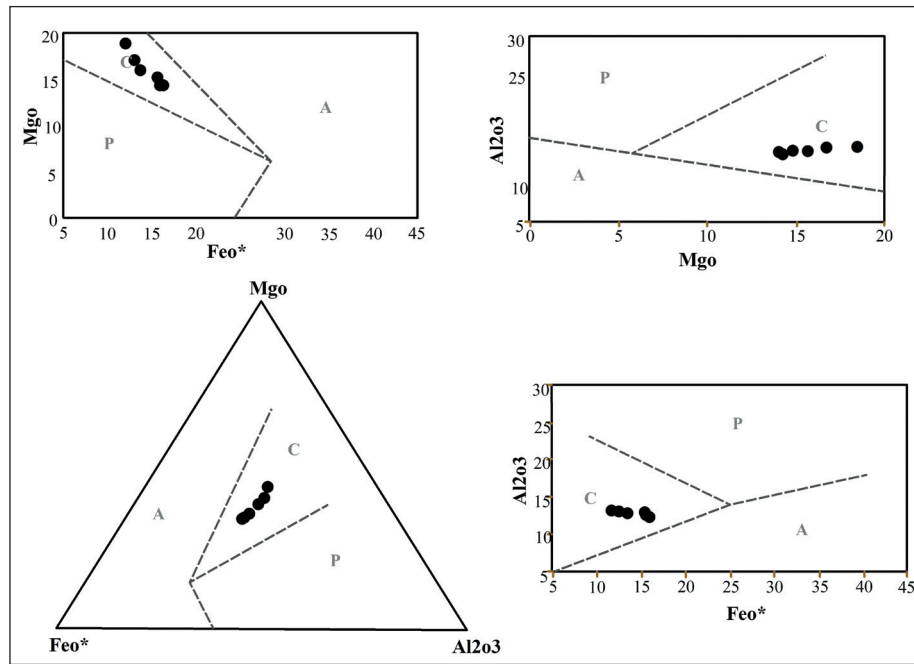
Coefficient	a	b	c
Value	2.3594	4.65E-0.9	-1.728

که در آن T دما بر حسب درجه سانتی گراد، Ti مقدار اتم در واحد فرمول یا apfu نرمالیز شده به ۲۲ اکسیژن، XMg برابر با $Mg/(Mg+Fe)$ و a و b پارامترهای بالا هستند. این فرمول برای مقادیر $XMg=0.275-1.0$ و $Ti=0.04-0.6$ apfu معتبر است. بر اساس این دماسنج، دمای تعادل توده زیاران بین $480-800^{\circ}C$ تا 690 تا 780 درجه سانتی گراد (میانگین 740 درجه سانتی گراد) محاسبه شده است (شکل ۱۰-ب).

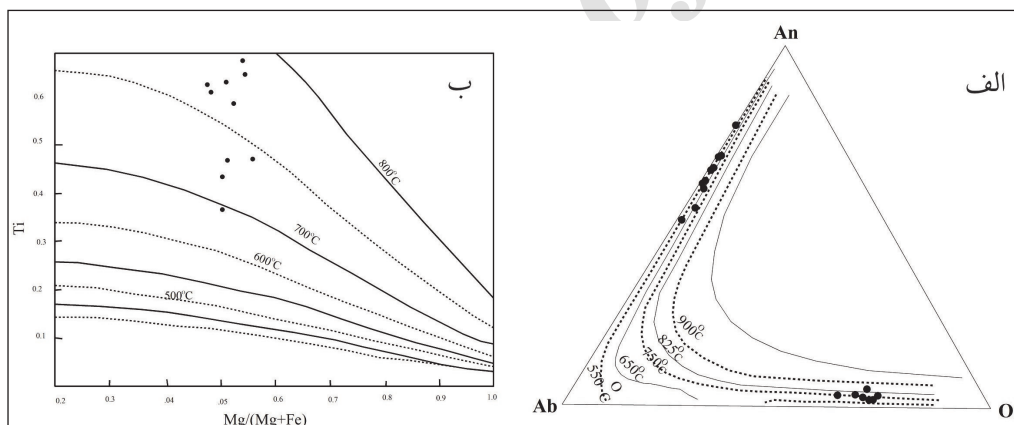
(Abdel-Rahman (1994) با استفاده از آنالیزهای سه اکسید Al_2O_3 ، MgO و FeO^* در کانی بیوتیت، یک نمودار مثلی ارائه داد (شکل ۹) که سنگ ها را در سه گروه دسته بندی می کند؛ ۱) سنگ های آلکالن و ناکوهزایی (A)؛ ۲) سنگ های پرآلومین که بیوتیت های آنها از آلومینیم غنی هستند؛ به سوی قطب سیدروفیلیتیک تمایل دارند و معمولاً همراه با مسکوویت و یا دیگر کانی های آلومینوسیلیکات مثل گارنت، کوردیریت و یا آندالوزیت و شامل توده های نفوذی برخوردی نوع S-Type هستند (P)؛ ۳) واحدهای کوهزایی کالک آلکالن از نوع I که به طور متوسط غنی از منیزیم، معمولاً همراه با آمفیبول کلسیم دار و یا پیروکسن کلسیم دار و وابسته به فرورانش هستند (C). در شکل ۵ موقعیت نمونه های مورد بررسی به تصویر در آمده است. تمام نمونه های بیوتیت در پهنه C و در محدوده کالک آلکالن قرار می گیرند (شکل ۹).

۵-۱. دماسنجی دو فلدسپار

دمای توده نفوذی زیاران با استفاده از نمودار سه تایی آلپیت، آنورتیت، ارتوکلاز (شکل ۱۰-الف)، در حدود 550 تا 830 درجه سانتی گراد ارزیابی می شود که با توجه به ترکیب سنگ شناسی توده نفوذی به نظر می رسد که دمای 550 کمتر



شکل ۹- تعیین سری ماگمایی بر اساس شیمی بیوتیت (Abdel-Rahman, 1994). A: آلکان، C: کالک آلکان، P: پرآلومین.



شکل ۱۰- (الف) نمودار آنورتیت-ارتوز-آلیت برای تعیین دمای تعادلی کانی‌های فلدسپاری موجود در توده نفوذی زیاران برای گستره فشار ۱ کیلو بار (Koroll et al., 1993)؛ (ب) نمودار ایزوترم برای زمین‌دماسنج تیتانیم در بیوتیت (Henry et al., 2005).

۵-۳. دماسنجی با استفاده پیروکسن

ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها ابزار مهمی برای سنجش دما در سنگ‌های آذرین محسوب می‌شود. برای بررسی دمای تشکیل پیروکسن‌ها از شاخص‌های XPT و YPT (شکل ۱۱-الف) استفاده شد که بر اساس روابط زیر محاسبه شده است (Soesoo, 1997):

$$XpT = 0.446 SiO_2 + 0.187 TiO_2 + 0.404 Al_2O_3 + 0.346 FeO^{(tot)} + 0.052 MnO + 0.309 MgO + 0.431 CaO + 0.446 Na_2O \quad (1)$$

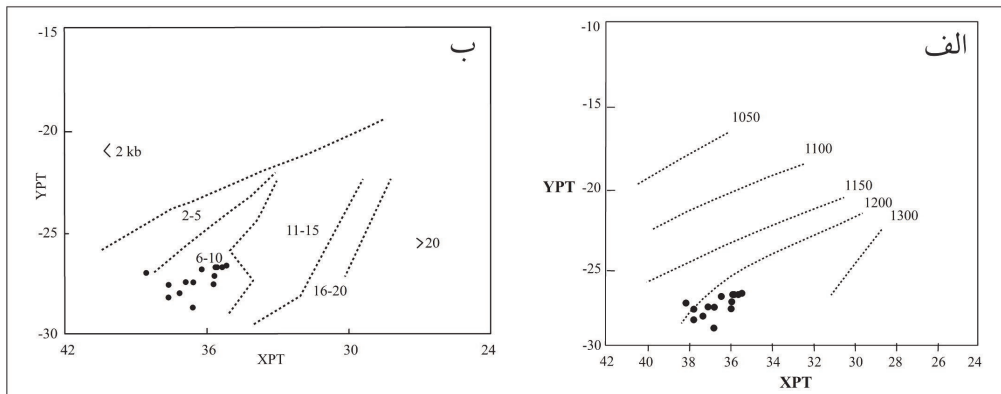
$$YpT = 0.369 SiO_2 + 0.535 TiO_2 + 0.317 Al_2O_3 + 0.323 FeO^{(tot)} + 0.235 MnO + 0.516 MgO + 0.167 CaO + 0.153 Na_2O \quad (2)$$

طبق این روش دمای تشکیل پیروکسن‌ها در توده زیاران حدوداً ۱۱۸۰ تا ۱۲۵۰ درجه سانتی‌گراد به دست می‌آید.

۶- فشارسنجی

۶-۱. فشارسنجی با استفاده پیروکسن

به منظور تعیین فشار با استفاده از نمودار (Soesoo (1997) و با استفاده از مقادیر XPT و YPT مطابق شکل ۱۱-ب، میزان فشار تبلور کلینوپیروکسن‌های توده نفوذی زیاران حدود ۶ تا ۹ کیلو بار برآورد می‌شود.



شکل ۱۱- الف) تعیین دمای پیروکسن؛ ب) تعیین فشار تبلور پیروکسن توده زیاران با استفاده از نمودار (Soesoo (1997).

۷- نتیجه گیری

موجود در سنگ‌های توده‌های نفوذی بیانگر بیوتیت‌های غنی از منیزیم است که از لحاظ ترکیبی بین قطب آنیت و سیدروفیلیت واقع شده‌اند. بیشتر این بیوتیت‌ها از نوع ماگمایی اولیه هستند و بخشی از آنها در محدوده بیوتیت‌های دوباره متعادل شده قرار دارند. همچنین بیوتیت‌های مورد بررسی در نمودارهای دوتایی و سه تایی - که بر پایه اکسیدهای MgO ، Al_2O_3 و FeO^* استوارند- در گستره کالک آلکالن کوهزایی قرار می‌گیرند. همچنین ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها بیانگر شکل‌گیری آنها در محیط مرتبط با فرورانش است. دمای جایگیری توده مورد بحث بر اساس دو فلدسپار بین ۵۵۰ تا ۸۳۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای تبلور کلینوپیروکسن‌ها حدود ۱۲۱۵ درجه سانتی‌گراد ارزیابی شده و فشار تبلور محاسبه شده برای کلینوپیروکسن‌های این مجموعه کمتر از ۹ کیلو بار است.

در شمال روستای زیاران، سیلی با ترکیب الیون گابرو تا مونزوادیوریت به درون توف-های کرج تزریق شده است. با توجه به اینکه این توده‌ها در توف‌های ائوسن تزریق شده‌اند، لذا سن ائوسن بالایی و احتمالاً الیگوسن دارند. اندیس رنگی این سنگ‌ها در صحرا و نمونه دستی به صورت مزوکرات تا ملانوکرات است که در آنها بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن قابل تشخیص هستند. کانی‌های غالب در ترکیب این سنگ‌ها پلاژیوکلاز، پیروکسن، الیون، آلکالی فلدسپار و بیوتیت هستند. ترکیب پلاژیوکلازها از لابرادوریت تا بایتونیت تغییر می‌کند. آلکالی فلدسپارها در محدوده ارتوکلاز و پیروکسن‌ها در محدوده دیوپسید قرار می‌گیرند. ترکیب الیون‌ها از کریزولیت تا هورتونولیت در تغییر است و اکثر نقاط تجزیه شده در محدوده هیالوسیدریت قرار می‌گیرند. مطالعات شیمی کانی انجام شده روی بیوتیت‌های

کتابنگاری

امینی، ب.، ۱۳۷۳- نقشه زمین‌شناسی تهران ۱:۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
رادفر، ج.، ۱۳۷۲- نقشه زمین‌شناسی قزوین ۱:۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.

References

- Abdel-Rahman A., 1994- Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas, *Journal of Petrology* 35, 525- 541.
- Anells, R. N., Arthurton, R. S., Bazley, R. A. B., Davies, R. G., Hamed, M. A. R. and Rahimzadeh, F., 1977- Geological map of Iran, Shakran sheet 6162" Tehran, Geological Survey of Iran, scale 1:100,000.
- Bucher, K. and Frey, M., 2002- *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Berlin, eidelberg, New York, Springer-Verlag, 7th edition, 341 p.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J., 1992- *An Introduction to the Rock Forming Minerals*, 2nd ed., Longman, London, 696p.
- Foster, M. D., 1960- Interpretation of the composition of trioctahedral micas, *United States Geological Survey Professional Paper*, 354-B, 11- 46.
- Henry, D. J., Guidotti, C. V., Thomson, J. A. 2005- The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotite: Implications for Geothermometry and Ti-substitution Mechanisms, *American Mineralogist*, 90, 316- 328.
- Koroll, H., Evangelakakis, C. and Voll, G., 1993- Two feldspar Geothermometry: a review and revision for slowly cooled rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 510- 518.

- Letterrier, J., Maury, R. C., Thonon, P., Girard, D., 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- 54.
- Morimoto, N., 1989- Nomenclature of pyroxenes. Subcommittee on pyroxenes. Commission on new minerals and mineral names. Canadian Mineralogist, 27, 143- 156.
- Nachit, H., Ibhi, A., Abia, E. H., Ohoud, M. B., 2005- Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neoformed biotites, C. R. Geoscience 337, 1415- 1420.
- Soesoo, A., 1997- A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallisation PT-estimations. Geological Society of Sweden (Geologiska Föreningen) 119, 55- 60.
- Spear, J. A., 1984- Mica in igneous rock, Mineralogical Society of America, Review in Mineralogy 13, 299- 356.
- Uchida, E., Endo, S. and Makino, M., 2007- Relationship Between Solidification Depth of Granitic Rocks and Formation of Hydrothermal Ore Deposits, Resource Geology, 57, 47- 56.

Archive of SID

Mineral chemistry and thermo-barometry of Ziyaran intrusion (West Taleghan)

E. Keshtkar¹, M. Ghorbani^{2*} and J. Omrani³

¹Ph.D., Faculty of Geosciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

²Associate Professor, Faculty of Geosciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³Ph.D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2015 December 16

Accepted: 2017 October 25

Abstract

In the north of Ziaran village, a Sill olivine gabbro to monzodiorite composition is injected into the Karaj tuffs. The dominate minerals composition of plutonic rock are Plagioclase, Alkali feldspar, Pyroxene, Olivine and Biotite. Plagioclase composition is varies, and it's changed from Labradorite to Bytownite. Alkali feldspar is in the Orthoclase range and Pyroxene is part of Diopside. Olivine composition change from Chrysolite to Horttonolite and most of the indicators are in the Hyalosiderite range. Biotite is one of the most prominent ferromagnesian mineral in the studied bodies. Compositionally, it is plotted between the field of annite and siderophyllite. Most of these biotites are primary magmatic and some are plotted in the reequilibrated area. Based on the FeO*, MgO and Al₂O₃ binary and ternary diagrams, the studied biotites plot in the calc-alkaline orogenic field or crystallization temperature the have been calculated between 690° to 780 °C. The chemical composition of the pyroxenes shows that these rocks have been crystallized in a subduction geological setting. The average crystallization temperature of clinopyroxenes is about 1215 °C. Furthermore, the calculated pressure for clinopyroxenes is less than 9 Kbars.

Keywords: Zeyaran, Olivine gabbro, Monzodiorite, Biotite, Pyroxene

For Persian Version see pages 271 to 280

*Corresponding author: M. Ghorbani; E-mail: m_ghorbani@sbu.ac.ir