

پتـرولوژی، سال هفتم، شماره بیست و ششم، تابستان ۱۳۹۵، صفحه ۹۹-۱۱۶
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۰۷

سنگ‌نگاری و شیمی کانی‌ها در مجموعه نفوذی طارم، شمال خاوری زنجان

قاسم نباتیان^۱، مجید قادری^{۱*} و مریم هنرمند^۲

^۱ بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
^۲ دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

مجموعه نفوذی طارم در شمال خاور زنجان و با راستای شمال‌باختر- جنوب‌خاور در پهنه البرز- آذربایجان جای دارد. توده‌های نفوذی طارم با سن ائوسن بالایی شامل توده زنجان (کوارتزمونزودیوریت)، ذاکر (کوارتزمونزونیت)، مروارید (مونوگرانیت تا سینوگرانیت) و کوه‌تبر (میکروکوارتزدیوریت پورفیری) هستند که به داخل واحدهای آتشفشانی و آذرآواری سازند کرج نفوذ کرده‌اند. تجزیه ریزکاو الکترونی کانی‌های پلاژیوکلاز، ارتوز، پیروکسن و کلریت بیانگر کلسیک‌تر بودن مرکز بلورهای پلاژیوکلاز نسبت به حاشیه آنها و منطقه‌بندی نرمال در این کانی‌ها است. در واحدهای آذرین منطقه طارم، پیروکسن‌ها از نوع پیروکسن‌های آهن- منیزیم- کلسیم‌دار بوده، شامل کلینوپیروکسن و به مقدار کم ارتوپیروکسن هستند. ترکیب این پیروکسن‌ها دیوپسید و اوژیت است. کلریت‌ها منیزیم‌دار بوده، از نوع پیکنوکلریت، دیابانتیت و تالک کلریت هستند. ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها، بیانگر تبلور آنها از یک ماگمای ساب‌آلکان است که در یک محیط فرورانش تشکیل شده است. فشارسنجی کلینوپیروکسن‌های توده کوارتزمونزودیوریت طارم بیانگر تبلور این کانی در فشارهای کمتر از ۵ کیلو بار است. دماسنجی با استفاده از ترکیب پیروکسن‌ها نیز بیانگر دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌های توده‌های کوارتزمونزودیوریت در ۸۵۰-۷۰۰ درجه سانتیگراد، کوارتزمونزونیت در ۷۰۰-۶۰۰ درجه سانتیگراد، و میکروکوارتزدیوریت پورفیری در ۹۰۰-۸۰۰ درجه سانتیگراد است. دماسنجی پلاژیوکلازها نیز بیانگر دمای ۵۵۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد برای تبلور پلاژیوکلازها در توده‌های آذرین طارم است.

واژه‌های کلیدی: پیروکسن، مجموعه نفوذی طارم، پهنه البرز- آذربایجان، طارم، زنجان

مقدمه

۳۶°۳۴' تا ۳۶°۴۴' عرض جغرافیایی شمالی و
۴۸°۲۸' تا ۴۸°۵۲' طول جغرافیایی خاوری،
به‌صورت نواری با راستای شمال‌باختر-
جنوب‌خاوری رخنمون دارد (شکل ۱).

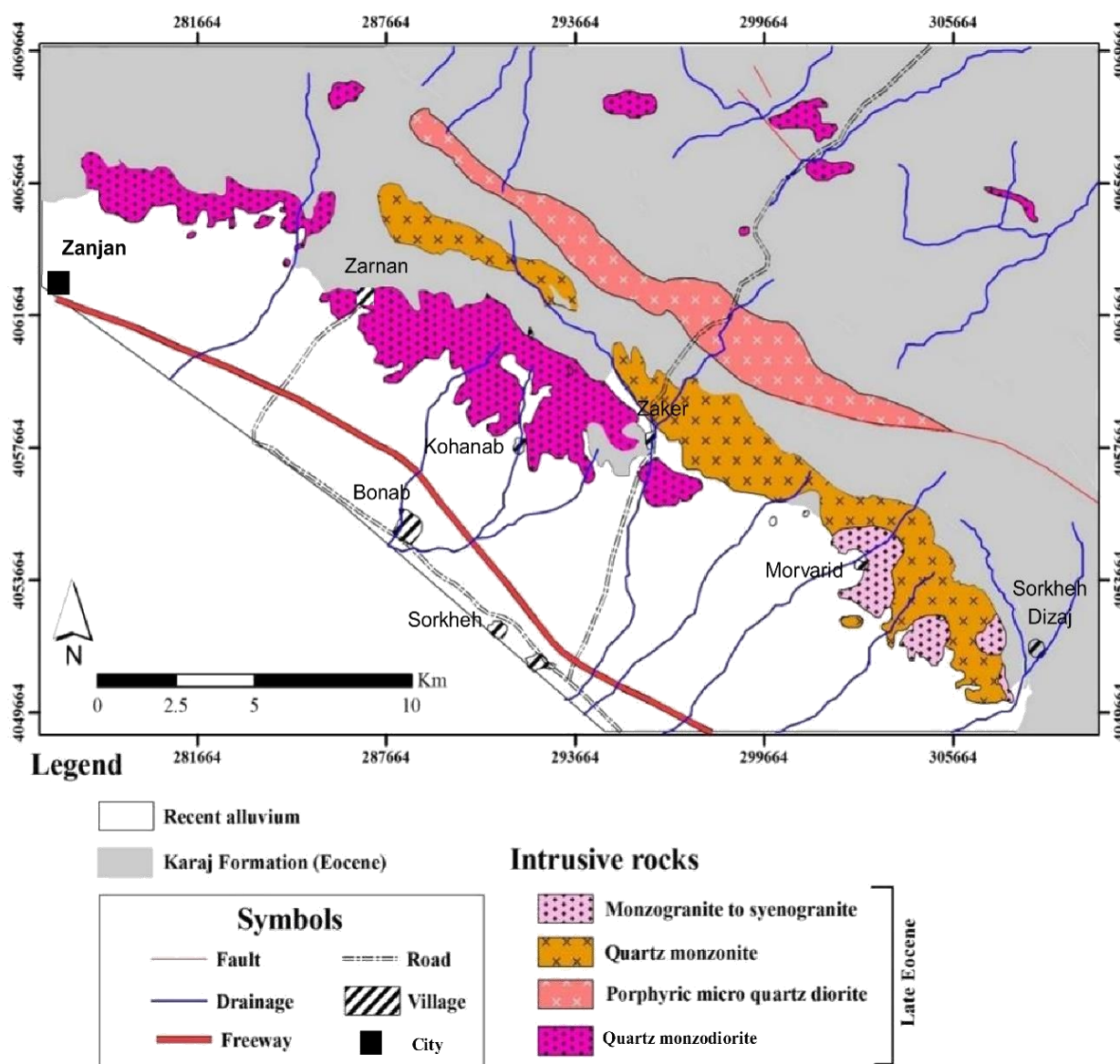
مجموعه نفوذی طارم بخشی از زیرپهنه طارم
در پهنه ماگمایی البرز- آذربایجان است که در
بخش باختری پهنه ساختاری البرز- آذربایجان (در

* mghaderi@modares.ac.ir

Copyright©2016, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

شایان ذکر است که پژوهشگران بسیاری (LeBas, 1962; Leterrier *et al.*, 1982; Beccaluva *et al.*, 1989) به ارتباط بین ترکیب شیمیایی پیروکسن و ترکیب شیمیایی ماگمای میزبان اشاره کرده و بر ارزش بررسی کلینوپیکروکسن‌ها و استفاده از ترکیب شیمیایی آنها برای تعیین شرایط فیزیکیوشیمیایی و خاستگاه تکتونوماگمایی ماگمای در حال تبلور تأکید کرده‌اند.

با توجه به این که کانی‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز از سازندگان اصلی مجموعه نفوذی طارم هستند و بررسی ترکیب شیمیایی آنها، به‌ویژه پیروکسن، اطلاعات باارزشی درباره شرایط فیزیکیوشیمیایی تبلور ماگما و نیز خاستگاه ماگمایی در اختیار قرار می‌دهد، پژوهش حاضر بیشتر به بررسی ترکیب شیمیایی و تغییرات اندک توزیع و غلظت عناصر در بخش‌های مختلف این کانی‌های می‌پردازد.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه طارم با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰.

مستقیم با توده‌های دیگر این مجموعه ندارد، اما با توجه به وجود قطعاتی از توده کوارتزموزنویتی در داخل میکروکوارتزدیوریت کوه‌تبر، به نظر می‌رسد سن توده کوه‌تبر جوان‌تر از توده‌های دیگر، مجموعه مورد مطالعه است. از سوی دیگر، دایک‌های موزوگرانیتی تا سینوگرانیتی مربوط به توده مروارید، به داخل توده کوارتزموزنویتی ذاکر نفوذ کرده‌اند.

به‌طور کلی، روند عمومی ساختارهای زمین‌شناسی در منطقه طارم، همسان با دیگر مناطق البرز باختری WNW-ESE است که جایگیری و پراکندگی سطحی توده‌های نفوذی منطقه نیز از روند گفته شده پیروی می‌کند.

روش انجام پژوهش

برای بررسی شیمی کانی‌ها، ۹ مقطع نازک-صیقلی از سنگ‌های نفوذی طارم برگزیده شدند. کانی‌ها در آزمایشگاه ریزکاو الکترونی دانشگاه سالزبورگ (Salzburg) در کشور اتریش، با دستگاه تجزیه ریزکاو الکترونی نوع JEOL 8600 superprobe تجزیه شدند. تجزیه کانی‌های گوناگون در شرایط ولتاژ ۱۵kV و جریان پرتوی ۴۰nA، با زمان شمارش ۱۰ ثانیه در پیک‌ها انجام شد. در مجموع، در پژوهش حاضر ۲۵۱ تجزیه ریزکاو الکترونی از کانی‌های پلاژیوکلاز، آلکالی‌فلدسپار، ارتوپیروکسن، کلینوپیروکسن و کلریت انجام شد که در ادامه نتایج حاصل از آنها توضیح داده شده‌اند.

به‌علت محدودیت تعداد صفحه‌ها قابل چاپ در مجله، تنها نتایج برگزیده این تجزیه‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

از پژوهش‌های انجام شده بر روی مجموعه نفوذی طارم می‌توان به بررسی ژئوشیمی، سن‌سنجی و ایزوتوپی سنگ کل توسط Nabatian و همکاران (۲۰۱۴) در این مجموعه نفوذی اشاره کرد. بر اساس این پژوهش، مجموعه نفوذی طارم ماهیت کالک‌آلکالن پتاسیم بالا داشته، از ذوب‌بخشی لیتوسفر متاسوماتیزه و فلوگوییست‌دار، در یک محیط تکتونوماگمایی پس از برخورد (post collision) تشکیل شده است.

در پژوهش پیش‌رو تلاش شده با استفاده از نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی کانی‌ها به‌همراه نتایج مطالعات صحرایی و سنگ‌نگاری در مجموعه نفوذی طارم، به بررسی ارتباط سنگ‌زادی سنگ‌های گوناگون این مجموعه، شرایط ترمودینامیک ماگماهای میزبان، خاستگاه ماگماهای سازنده سنگ‌ها و مقایسه داده‌های حاصل از این پژوهش با نتایج به‌دست آمده از بررسی شیمی سنگ‌کل توسط Nabatian و همکاران (۲۰۱۴) پرداخته شود.

زمین‌شناسی منطقه

میزبان توده‌های نفوذی طارم، بیشتر فوران‌های آتشفشانی زیردریایی (سازند کرج) شامل سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌های تراکیتی، تراکی‌آندزیتی، آندزیتی و الیوین‌بازالتی است (Nabatian, 2008).

توده‌های نفوذی طارم شامل توده‌های منطقه زنجان (کوارتزموزنودیوریت)، ذاکر (کوارتزموزنویتی)، مروارید (موزوگرانیست تا سینوگرانیست) و کوه‌تبر (میکروکوارتزدیوریت پورفیری) هستند (شکل ۱). توده کوه‌تبر، مرز

جدول ۱- داده‌های برگزیده تجزیه ریزکاو الکترونی فلدسپارها (Pl: پلاژیوکلاز، Afs: آلکالی‌فلدسپار) در مجموعه نفوذی طارم (شمال‌خاوری زنجان)، به همراه محاسبه فرمول ساختاری (بر اساس ۳۲ اتم اکسیژن در واحد فرمول ساختاری) و اعضای نهایی.

Rock Type	Monzogranite											Afs
Mineral Type	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Afs
SiO ₂	67.02	66.84	53.45	52.28	64.92	53.32	53.07	60.87	66.94	64.92	62.89	
Al ₂ O ₃	19.60	19.70	28.35	29.04	20.95	29.08	28.87	23.34	19.78	20.95	18.86	
MgO	0.00	0.29	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	
Na ₂ O	11.51	11.07	5.30	4.65	10.83	4.98	4.76	8.11	11.40	10.83	3.35	
CaO	0.31	0.57	10.79	11.88	1.84	11.36	11.31	4.92	0.38	1.84	1.02	
TiO ₂	0.00	0.13	0.09	0.03	0.01	0.07	0.06	0.02	0.00	0.01	0.04	
FeO	0.15	0.41	0.41	0.47	0.03	0.41	0.42	0.25	0.05	0.03	0.62	
MnO	0.01	0.06	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	
K ₂ O	0.10	0.11	0.27	0.19	0.19	0.21	0.21	0.63	0.06	0.19	11.70	
Sum	98.70	99.17	98.68	98.59	98.80	99.46	98.74	98.15	98.62	98.80	98.51	
Si	11.89	11.82	9.81	9.63	11.57	9.71	9.73	11.02	11.87	11.57	11.73	
Al	4.10	4.11	6.13	6.30	4.40	6.24	6.24	4.98	4.13	4.40	4.15	
Mg	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	
Na	3.96	3.80	1.89	1.66	3.74	1.76	1.69	2.85	3.92	3.74	1.21	
Ca	0.06	0.11	2.12	2.34	0.35	2.22	2.22	0.96	0.07	0.35	0.20	
Ti	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	
Fe	0.02	0.06	0.06	0.07	0.00	0.06	0.06	0.04	0.01	0.00	0.10	
Mn	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K	0.02	0.02	0.06	0.04	0.04	0.05	0.05	0.15	0.01	0.04	2.78	
Sum	20.05	20.02	20.09	20.07	20.12	20.06	20.01	19.99	52.03	20.12	20.19	
Anorthite	1.48	2.77	52.13	57.87	8.50	55.09	56.04	24.19	1.82	8.50	4.87	
Albite	97.99	96.62	46.34	41.02	90.45	43.72	42.71	72.11	97.86	90.45	28.85	
Orthose	0.53	0.61	1.53	1.11	1.05	1.19	1.24	3.69	0.32	1.05	66.28	

جدول ۱- ادامه.

Rock Type	Quartz-monzonite													
Mineral Type	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Afs	Afs	Afs
SiO ₂	64.28	58.39	61.11	62.85	61.78	54.86	54.72	57.02	59.16	60.55	53.71	64.21	64.25	64.16
Al ₂ O ₃	21.71	25.56	24.23	22.19	22.64	27.70	28.00	26.41	25.24	24.57	28.47	18.37	18.20	18.31
MgO	0.01	0.03	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00
Na ₂ O	9.66	6.91	7.91	8.92	8.68	5.65	5.53	6.30	7.52	7.67	4.99	0.37	1.02	2.65
CaO	2.54	7.39	5.60	3.65	3.96	9.67	10.05	8.36	6.64	6.01	10.99	0.00	0.06	0.06
TiO ₂	0.00	0.03	0.02	0.01	0.01	0.06	0.07	0.05	0.03	0.04	0.05	0.03	0.02	0.00
FeO	0.16	0.32	0.38	0.43	0.19	0.28	0.24	0.29	0.26	0.14	0.43	0.18	0.24	0.39
MnO	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	0.03	0.00
Cr ₂ O ₃	0.04	0.02	0.01	0.00	0.03	0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02	0.00
K ₂ O	0.49	0.35	0.51	0.58	0.72	0.27	0.24	0.33	0.33	0.42	0.14	16.22	15.35	13.06
Sum	98.89	99.01	99.79	98.67	98.01	98.55	98.91	98.79	99.20	99.45	98.83	99.40	99.20	98.64
Si	11.46	10.54	10.90	11.28	11.17	10.03	9.97	10.35	10.65	10.83	9.82	11.96	11.97	11.94
Al	4.56	5.44	5.09	4.69	4.83	5.97	6.01	5.65	5.35	5.18	6.14	4.03	3.99	4.02
Mg	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	3.34	2.42	2.74	3.10	3.04	2.00	1.95	2.21	2.62	2.66	1.77	0.13	0.37	0.96
Ca	0.48	1.43	1.07	0.70	0.77	1.89	1.96	1.63	1.28	1.15	2.15	0.00	0.01	0.01
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Fe	0.02	0.05	0.06	0.06	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.02	0.07	0.03	0.04	0.06
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	0.01	0.00
Cr	0.01	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
K	0.11	0.08	0.11	0.13	0.17	0.06	0.06	0.08	0.08	0.09	0.03	3.85	3.65	3.10
Sum	19.98	19.98	19.98	19.99	20.01	20.01	20.01	19.97	20.02	19.95	20.00	20.01	20.04	20.08
Anorthite	12.30	36.50	27.30	17.80	19.31	47.90	49.40	41.50	32.20	29.51	54.41	0.00	0.28	0.28
Albite	84.90	61.50	69.80	78.80	76.52	50.50	49.20	56.60	65.90	68.06	44.74	3.38	9.15	23.54
Orthose	2.80	2.00	2.90	3.40	4.17	1.60	1.40	2.00	1.90	2.43	0.85	96.62	90.57	76.18

جدول ۱- ادامه.

Rock Type	Quartz-monzodiorite											
Mineral Type	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl
SiO ₂	56.53	58.41	56.68	55.91	49.70	54.62	70.19	66.58	66.12	49.98	61.66	66.42
Al ₂ O ₃	27.13	25.24	26.81	27.05	31.37	28.24	18.59	18.66	18.45	30.97	23.50	18.49
MgO	0.02	0.01	0.04	0.03	0.04	0.03	0.02	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00
Na ₂ O	5.86	6.69	5.59	5.67	2.82	4.83	6.63	3.56	3.59	3.28	7.94	3.88
CaO	9.63	7.87	9.65	9.90	15.01	11.21	4.17	0.43	0.31	14.44	5.72	0.29
TiO ₂	0.01	0.02	0.04	0.04	0.06	0.07	0.04	0.06	0.06	0.01	0.05	0.01
FeO	0.48	0.49	0.51	0.37	0.50	0.48	0.31	0.16	0.14	0.41	0.41	0.22
MnO	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01	0.03	0.02
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00
K ₂ O	0.26	0.52	0.42	0.38	0.15	0.37	0.60	11.06	11.31	0.20	0.77	11.01
Sum	99.92	99.26	99.75	99.36	99.66	99.84	100.59	100.53	99.97	99.34	100.11	100.32
Si	10.18	10.55	10.23	10.14	9.12	9.89	12.15	12.01	12.02	9.20	10.98	12.02
Al	5.76	5.37	5.70	5.78	6.79	6.03	3.79	3.97	3.95	6.72	4.93	3.94
Mg	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Na	2.05	2.34	1.96	1.99	1.00	1.70	2.22	1.24	1.26	1.17	2.74	1.36
Ca	1.86	1.52	1.87	1.92	2.95	2.18	0.77	0.08	0.06	2.85	1.09	0.06
Ti	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
Fe	0.07	0.07	0.08	0.06	0.08	0.07	0.05	0.02	0.02	0.06	0.06	0.03
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
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
K	0.06	0.12	0.10	0.09	0.04	0.08	0.13	2.55	2.62	0.05	0.17	2.54
Sum	19.99	19.99	19.94	20.00	20.00	19.97	19.13	19.89	19.94	20.05	20.00	19.96
Anorthite	46.90	38.20	47.50	48.10	74.00	55.00	24.70	2.10	1.50	70.10	27.20	1.40
Albite	51.70	58.80	50.00	49.80	25.10	42.90	71.10	32.10	32.10	28.80	68.40	34.40
Orthose	1.40	3.00	2.50	2.10	0.90	2.10	4.20	65.70	66.40	1.20	4.40	64.30

جدول ۱- ادامه.

Rock Type	Quartz-monzodiorite								Micro quartz diorite		
Mineral Type	Pl	Pl	Pl	Afs	Afs	Afs	Afs	Afs	Pl	Pl	Pl
SiO ₂	55.23	51.13	64.93	64.08	65.92	66.68	66.15	65.70	55.76	55.48	56.00
Al ₂ O ₃	26.44	29.72	19.30	18.71	18.63	18.42	18.45	18.62	26.53	27.17	26.72
MgO	0.03	0.03	0.00	0.20	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.07	0.06
Na ₂ O	5.66	3.64	5.67	4.47	3.48	3.50	3.63	4.22	5.19	5.05	5.27
CaO	9.85	13.37	0.85	0.94	0.42	0.25	0.28	0.55	9.98	10.31	9.76
TiO ₂	0.05	0.03	0.10	0.06	0.03	0.01	0.06	0.06	0.01	0.04	0.05
FeO	0.66	0.57	0.26	1.44	0.19	0.18	0.06	0.18	0.78	0.55	0.61
MnO	0.02	0.00	0.04	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.06	0.00	0.05
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.04	0.00
K ₂ O	0.39	0.22	7.28	9.12	11.10	11.46	11.29	9.99	0.66	0.70	0.77
Sum	98.33	98.72	98.49	99.06	99.77	100.52	99.98	99.32	99.01	99.40	99.28
Si	10.15	9.44	11.84	11.78	11.99	12.05	12.02	11.97	10.18	10.08	10.18
Al	5.73	6.47	4.15	4.05	3.99	3.92	3.95	4.00	5.71	5.82	5.73
Mg	0.01	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02
Na	2.02	1.30	2.01	1.59	1.23	1.22	1.28	1.49	1.83	1.78	1.86
Ca	1.94	2.64	0.17	0.18	0.08	0.05	0.05	0.11	1.95	2.01	1.90
Ti	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Fe	0.10	0.09	0.04	0.22	0.03	0.03	0.01	0.03	0.12	0.08	0.09
Mn	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Cr	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
K	0.09	0.05	1.69	2.14	2.58	2.64	2.62	2.32	0.15	0.16	0.18
Sum	20.04	20.00	19.92	20.05	19.91	19.92	19.94	19.93	51.96	51.97	51.97
Anorthite	48.00	66.10	4.30	4.70	2.10	1.20	1.40	2.70	49.60	50.80	48.30
Albite	49.80	32.60	51.90	40.70	31.50	31.30	32.30	38.00	46.50	45.10	47.20
Orthose	2.20	1.30	43.80	54.70	66.30	67.40	66.30	59.30	3.90	4.10	4.60

جدول ۲- داده‌های برگزیده تجزیه ریزکاو الکترونی پیروکسن‌ها (Cpx: کلینوپیروکسن، Opx: ارتوپیروکسن)، در مجموعه نفوذی طارم (شمال خاوری زنجان)، به‌همراه محاسبه فرمول ساختاری (بر اساس ۶ اتم اکسیژن در واحد فرمول ساختاری) و اعضای نهایی.

Rock Type	Quartz monzonite											Quartz monzodiorite					
Mineral Type	Cpx1	Cpx2	Cpx3	Cpx4	Cpx5	Cpx6	Cpx7	Cpx8	Cpx9	Cpx10	Cpx11	Cpx21	Cpx22	Cpx23	Cpx24	Cpx25	Cpx26
SiO ₂	53.67	54.08	53.54	53.76	52.96	52.77	53.96	53.65	53.88	52.97	53.36	53.75	53.26	53.88	53.26	53.30	53.61
TiO ₂	0.11	0.10	0.11	0.09	0.34	0.51	0.26	0.44	0.31	0.17	0.08	0.20	0.40	0.25	0.50	0.47	0.45
Al ₂ O ₃	0.32	0.38	0.41	0.75	1.12	1.95	0.67	1.35	0.80	0.60	0.41	0.63	2.82	0.81	1.74	2.02	1.74
Cr ₂ O ₃	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.05	0.02	0.00
FeO	7.97	8.22	8.50	8.14	9.72	9.85	9.62	9.38	9.07	8.76	8.64	9.13	8.42	9.40	9.00	8.76	8.90
MnO	0.43	0.47	0.46	0.39	0.68	0.37	0.67	0.58	0.67	0.50	0.42	0.67	0.36	0.80	0.51	0.47	0.53
MgO	14.83	13.90	13.75	14.30	13.36	13.96	13.63	14.18	13.97	14.21	14.46	14.10	0.84	14.05	14.62	14.67	15.05
CaO	21.61	21.91	21.80	21.90	20.68	20.32	21.13	20.48	21.14	21.58	22.03	21.18	20.70	21.18	20.36	20.51	20.33
Na ₂ O	0.38	0.36	0.45	0.43	0.36	0.27	0.31	0.32	0.41	0.36	0.31	0.32	0.50	0.38	0.36	0.33	0.36
K ₂ O	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
Sum	99.34	99.42	99.02	99.76	99.25	100.01	100.27	100.39	100.25	99.15	99.72	99.98	87.31	100.75	100.40	100.55	100.97
TSi	2.00	2.03	2.01	2.00	2.00	1.97	2.02	1.99	2.01	1.99	1.99	2.01	2.40	2.00	1.97	1.97	1.97
TAl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03
TFe ⁺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	0.00
M1Al	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.06	0.03	0.05	0.04	0.02	0.01	0.03	0.15	0.03	0.05	0.06	0.05
M1Ti	0.00	0.00	0.00	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	0.01
M1Fe ⁺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	0.00
M1Fe ⁺²	0.16	0.20	0.21	0.17	0.19	0.15	0.20	0.15	0.18	0.19	0.19	0.18	0.32	0.19	0.13	0.12	0.12
M1Cr	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
M1Mg	0.83	0.78	0.77	0.79	0.75	0.78	0.76	0.79	0.78	0.80	0.80	0.78	0.06	0.78	0.81	0.81	0.83
M2Mg	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
M2Fe ⁺²	0.09	0.05	0.06	0.08	0.12	0.16	0.10	0.14	0.10	0.09	0.08	0.10	0.00	0.11	0.15	0.15	0.16
M2Mn	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02
M2Ca	0.86	0.88	0.88	0.87	0.84	0.81	0.85	0.82	0.84	0.87	0.88	0.85	1.00	0.84	0.81	0.81	0.80
M2Na	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03
M2K	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
Sum	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
En	42.59	39.57	39.81	41.13	38.87	40.18	38.79	40.46	40.09	41.31	41.58	40.35	2.44	40.34	42.07	42.08	43.06
Fs	12.81	15.59	14.82	13.60	17.89	17.78	17.99	17.54	16.31	13.59	12.89	16.08	54.34	15.95	15.82	15.64	15.13
Wo	44.60	44.83	45.37	45.27	43.24	42.04	43.22	42.00	43.60	45.09	45.53	43.56	43.22	43.71	42.11	42.28	41.81

جدول ۲- ادامه.

Rock Type	Quartz monzodiorite						Micro-quartz diorite												
Mineral Type	Cpx	Cpx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx
SiO ₂	54.24	53.09	53.72	54.55	54.33	53.34	53.56	53.67	54.08	53.54	53.76	52.96	52.77	53.96	53.65	53.88	52.97	53.36	
TiO ₂	0.32	0.16	0.26	0.09	0.19	0.28	0.29	0.11	0.10	0.11	0.09	0.34	0.51	0.26	0.44	0.31	0.17	0.08	
Al ₂ O ₃	0.83	0.62	1.02	0.27	0.68	1.10	1.11	0.32	0.38	0.41	0.75	1.12	1.95	0.67	1.35	0.80	0.60	0.41	
Cr ₂ O ₃	0.03	0.03	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	
FeO	9.20	10.30	19.82	20.30	19.60	19.56	18.74	7.97	8.22	8.50	8.14	9.72	9.85	9.62	9.38	9.07	8.76	8.64	
MnO	0.70	0.54	1.11	1.51	1.13	1.07	0.92	0.43	0.47	0.46	0.39	0.68	0.37	0.67	0.58	0.67	0.50	0.42	
MgO	14.03	13.47	21.80	22.09	22.68	22.10	22.71	14.83	13.90	13.75	14.30	13.36	13.96	13.63	14.18	13.97	14.21	14.46	
CaO	21.04	20.71	1.37	1.10	1.25	1.55	1.60	21.61	21.91	21.80	21.90	20.68	20.32	21.13	20.48	21.14	21.58	22.03	
Na ₂ O	0.35	0.24	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.38	0.36	0.45	0.43	0.36	0.27	0.31	0.32	0.41	0.36	0.31	
K ₂ O	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	
Sum	100.74	99.16	99.12	99.96	99.90	99.01	98.96	99.34	99.42	99.02	99.76	99.25	100.01	100.27	100.39	100.25	99.15	99.72	
TSi	2.01	2.01	2.02	2.03	2.02	2.00	2.00	2.00	2.03	2.01	2.00	2.00	1.97	2.02	1.99	2.01	1.99	1.99	
TAl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	
TFe ⁺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	0.00	0.00	
M1Al	0.04	0.03	0.05	0.01	0.03	0.05	0.05	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.06	0.03	0.05	0.04	0.02	0.01	
M1Ti	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	
M1Fe ⁺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	0.00	0.00	
M1Fe ⁺²	0.18	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.20	0.21	0.17	0.19	0.15	0.20	0.15	0.18	0.19	0.19	
M1Cr	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	
M1Mg	0.78	0.76	0.95	0.99	0.96	0.95	0.94	0.83	0.78	0.77	0.79	0.75	0.78	0.76	0.79	0.78	0.80	0.80	
M2Mg	0.00	0.00	0.27	0.24	0.29	0.29	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
M2Fe ⁺²	0.11	0.12	0.62	0.63	0.61	0.61	0.59	0.09	0.05	0.06	0.08	0.12	0.16	0.10	0.14	0.10	0.09	0.08	
M2Mn	0.02	0.02	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	
M2Ca	0.84	0.84	0.06	0.04	0.05	0.06	0.06	0.86	0.88	0.88	0.87	0.84	0.81	0.85	0.82	0.84	0.87	0.88	
M2Na	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	
M2K	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	
Sum	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	
En	39.82	38.75	61.43	61.87	63.26	62.65	64.03	42.59	39.57	39.81	41.13	38.87	40.18	38.79	40.46	40.09	41.31	41.58	
Fs	17.27	18.43	35.80	35.91	34.24	34.20	32.72	12.81	15.59	14.82	13.60	17.89	17.78	17.99	17.54	16.31	13.59	12.89	
Wo	42.91	42.82	2.77	2.21	2.51	3.16	3.24	44.60	44.83	45.37	45.27	43.24	42.04	43.22	42.00	43.60	45.09	45.53	

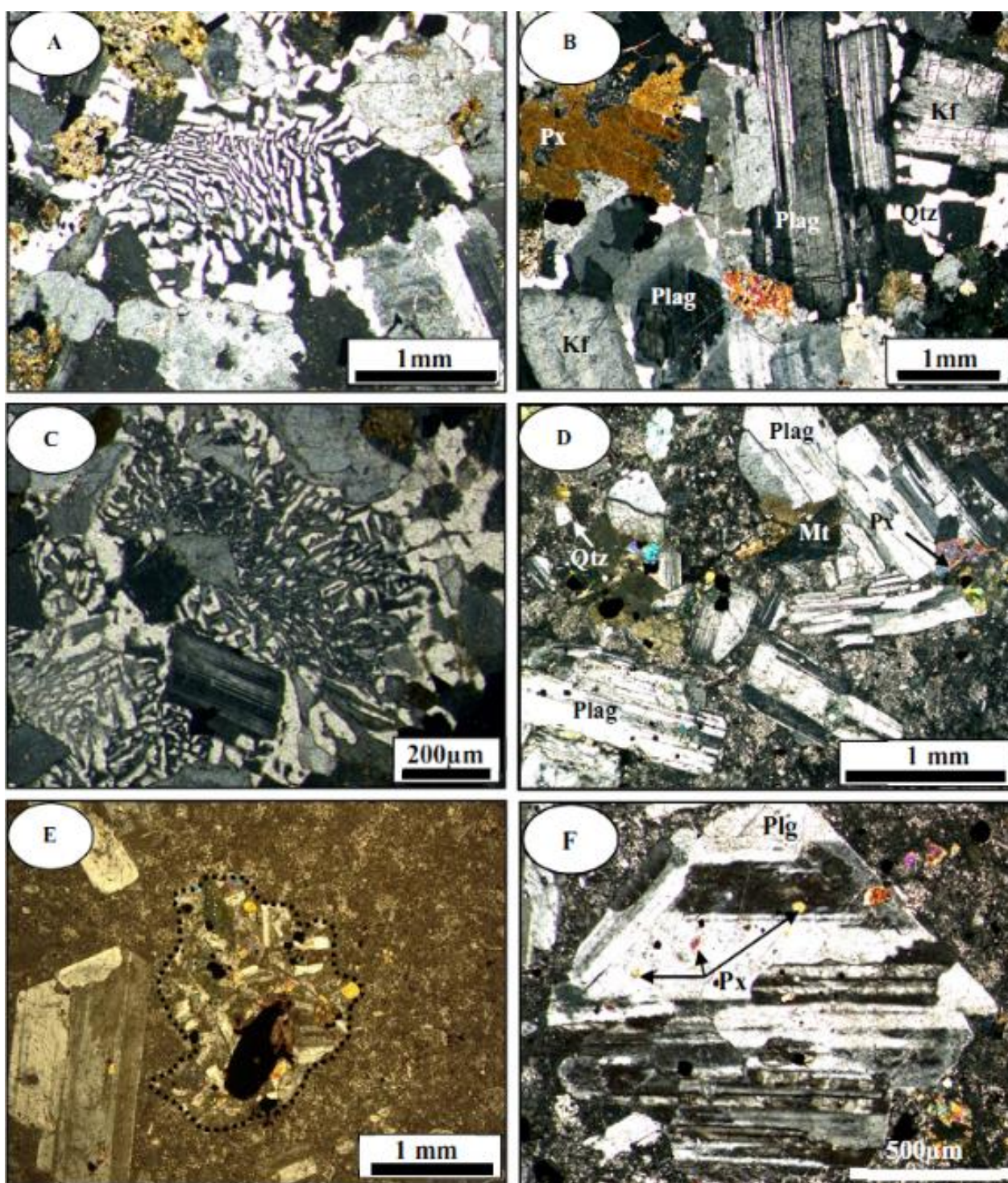
جدول ۳- داده‌های برگزیده تجزیه ریزکاو الکترونی کلریت در مجموعه نفوذی طارم (شمال‌خاوری زنجان)، به‌همراه محاسبه دمای تبلور کلریت.

Rock Type	Quartz monzonite				Quartz monzodiorite		Micro-quartz diorite								
SiO ₂	29.94	29.41	28.12	28.13	38.31	57.68	29.86	30.26	30.09	29.88	30.44	29.35	30.91	30.37	29.73
TiO ₂	0.01	0.00	0.00	0.00	2.30	0.03	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	13.01	15.14	15.84	15.83	12.01	1.14	15.21	16.05	15.22	15.32	15.54	15.30	15.42	16.36	16.36
Cr ₂ O ₃	0.05	0.00	0.00	0.04	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00
FeO	17.74	22.48	23.97	23.87	9.20	10.91	18.36	17.61	19.32	19.36	18.48	19.70	19.46	18.16	17.48
MnO	0.22	0.27	0.30	0.37	0.12	0.13	0.65	0.57	0.60	0.64	0.53	0.59	0.61	0.63	0.53
MgO	17.90	17.70	14.80	15.55	20.60	21.94	19.51	19.02	19.58	19.33	19.25	19.35	19.34	19.63	19.61
CaO	0.38	0.32	0.33	0.23	0.28	0.69	0.17	0.17	0.14	0.12	0.15	0.20	0.15	0.20	0.24
Na ₂ O	0.27	0.10	0.06	0.04	0.15	0.11	0.04	0.05	0.06	0.08	0.03	0.05	0.09	0.02	0.03
K ₂ O	0.19	0.00	0.00	0.00	4.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	79.71	85.42	83.42	84.06	87.65	92.64	83.94	83.74	85.02	84.75	84.44	84.54	86.02	85.39	83.99
T° C	110.0	104.9	124.7	117.9	138.0	125.0	110.2	129.7	107.3	109.2	119.4	104.4	114.0	123.6	125.0

سنگ‌شناسی

توده می‌توان به زیرکن، آپاتیت و مگنتیت اشاره کرد. توده کوارتز مونزودیوریتی زنجان عمدتاً در بخش باختری مجموعه نفوذی مورد مطالعه گسترش دارد. این توده سنگی از نظر بافت و کانی‌شناسی (شکل ۲- B)، شباهت زیادی با توده کوارتز مونزونیتی ذاکر دارد، با این تفاوت که در این توده، کانی‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز فراوان‌تر هستند. توده مونزوگرانیتی مرارید نیز در مقاطع نازک، دارای بافت گرانولار و گرانوفیری است (شکل ۲- C). کانی‌های اصلی سنگ شامل کوارتز، فلدسپار آلکالین (به‌صورت شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار با ماکل کارلسباد) و پلاژیوکلاز هستند. کوارتز نیز در حدود ۳۰ درصد حجمی این سنگ را تشکیل داده و اغلب با ارتوز، بافت گرانوفیری را تشکیل داده است. کانی‌های مافیک در این توده کم بوده، به مقدار کم بیوتیت و آمفیبول در آن دیده می‌شود. این کانی‌ها نیز اغلب به‌صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار بوده، گاه به اپیدوت و کلریت تبدیل شده‌اند. فراوانی کانی‌های مافیک در این توده حدود ۷-۵ درصد حجمی است. از کانی‌های فرعی این توده می‌توان به آپاتیت و زیرکن اشاره کرد که عمدتاً به‌صورت میانبار در کانی‌های دیگر دیده می‌شوند.

بخش بزرگی از رخنمون مجموعه نفوذی طارم (بخش جنوبی پهنه طارم) توده کوارتز مونزونیتی ذاکر است. بافت گرانولار، بافت غالب این سنگ‌ها بوده و بافت گرانوفیری که در گرانیتوئیدهای هیپرسالوس فشار پایین معمول است (Smith and Brown, 1988; Shelly, 1993; Pitcher, 1995) نیز در این سنگ‌ها دیده می‌شود (شکل ۲- A). با توجه به Vernon (۲۰۰۴) بافت گرانوفیری و گرانولار پورفیری، بیانگر عمق نسبتاً کم تشکیل این توده‌ها دارد. کانی‌های اصلی این توده شامل پیروکسن، پلاژیوکلاز، ارتوز و کوارتز هستند. بلورهای نیمه‌شکل‌دار پلاژیوکلاز این سنگ، ابعادی در حدود ۵۰۰ میکرون تا ۲ میلی‌متر داشته، گاه میانبارهایی از بلور کلینوپیکروکسن درون آنها دیده می‌شوند. بلورهای نیمه‌شکل‌دار ارتوز در این سنگ‌ها، در ابعاد تقریبی ۴۰۰ میکرون تا ۱/۵ میلی‌متر بوده، اغلب بافت پرتیتی نشان می‌دهند. فاز مافیک رایج در این توده، پیروکسن بوده که فراوانی آن در حدود ۱۰ درصد حجمی است و بر اثر دگرسانی به کانی‌هایی مانند آمفیبول، کلسیت، کلریت، اکسیدهای آهن و به مقدار کم فلوگوپیت و بیوتیت تجزیه شده است. از کانی‌های فرعی این



شکل ۲- تصویرهای میکروسکوپی مجموعه نفوذی طارم (شمال-خاوری زنجان) در نور XPL (یا Cross Polarized Light). (A) بافت گرانوفیری در توده پیروکسن کوارتز مونزونیت؛ (B) کانی‌های سازنده توده کوارتز مونزودیوریت که شامل پیروکسن (Px)، پلاژیوکلاز (Plag)، ارتوز (Kf) و کوارتز (Qtz) هستند؛ (C) بافت گرانوفیری در توده مونوگرانیته؛ (D) کانی‌های سازنده توده میکروکوارتز دیوریت پورفیری شامل پلاژیوکلاز (Plag)، پیروکسن (Px) و کوارتز (Qtz) که کانی مگنتیت (Mt) نیز در بین آنها دیده می‌شود؛ (E) زونلیتهایی از توده کوارتز-مونزونیتی در داخل توده میکروکوارتز دیوریت پورفیری؛ (F) میانبارهایی از پیروکسن در کانی پلاژیوکلاز.

به تفکیک واحدهای موجود در این مجموعه در شکل ۳ نمایش داده شده‌اند. به‌طور کلی، ترکیب پلاژیوکلازهای منطقه دارای گستره ترکیبی بین $An_{4.5}$ تا $An_{74.0}$ هستند. برای هر کدام از گروه‌های سنگی یاد شده، بیشترین مقادیر، مربوط به هسته و کم‌ترین مقادیر، مربوط به کناره بلورهای پلاژیوکلاز هستند.

در شکل ۳ ترکیب پلاژیوکلازهای منطقه به تفکیک گروه سنگی بر روی نمودارهای Deer و همکاران (۱۹۹۱) تصویر شده‌اند. در توده‌های منطقه طارم، بلورهای پلاژیوکلاز بیشتر به‌صورت تیغه‌های شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار دیده می‌شوند. این بلورها معمولاً به‌صورت بلورهای همگن و گاه ناهمگن (دارای منطقه‌بندی) تشکیل شده‌اند. بلورهای پلاژیوکلاز در بیشتر سنگ‌های منطقه شکل‌دار بوده و قسمت مرکزی آنها میانبرهایی از فازهای دیگر را در بر نگرفته است. تغییر مقادیر کلسیم در بخش‌های مرکزی و حاشیه پلاژیوکلازها می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات ترکیب در ماگما باشد، چرا که ترکیب ماگما و فنوکریست‌ها از لحاظ ترمودینامیک با هم مرتبط هستند.

ارتوز فاز اصلی را در توده‌های نفوذی منطقه، به استثناء توده کوه‌تبر، تشکیل می‌دهد. این بلورها گاه به‌صورت شکل‌دار دیده می‌شوند، ولی معمولاً به‌صورت نیمه‌شکل‌دار و بی‌شکل، فضای بین دانه‌های دیگر را پر کرده‌اند. برخی از آنها دارای ماکل کارلسباد هستند. نتایج آنالیز ریزکاو الکترونی بر روی بلورهای ارتوز نیز در شکل ۳ نشان داده شده است.

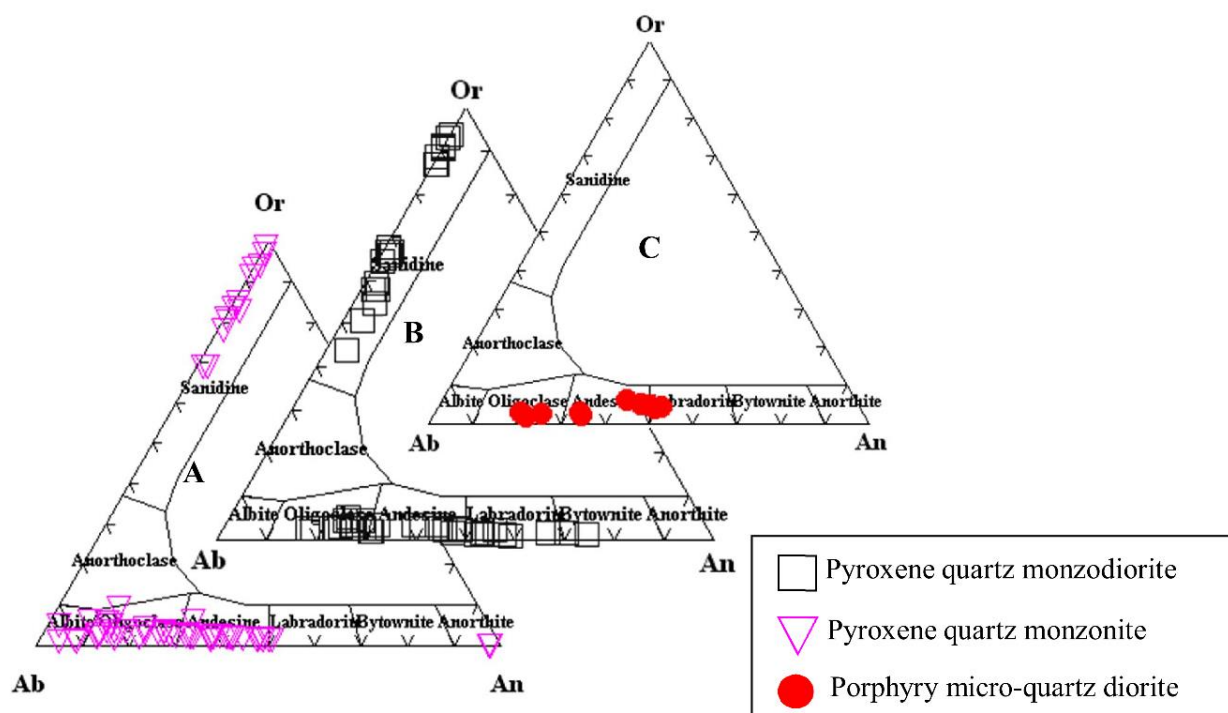
توده میکروکوارتز دیوریتی کوه‌تبر دانه‌متوسط تا دانه‌ریز و از نظر درجه رنگینی، مزوکرات بوده و بافت اصلی آن پورفیری است. از بافت‌های فرعی مشاهده شده در این توده می‌توان به پوئی‌کلیتیک (میانبرهایی از پیروکسن در کانی پلاژیوکلاز؛ شکل ۲-F) و افیتیک اشاره کرد.

کانی‌های اصلی موجود در این توده شامل پلاژیوکلاز، کوارتز، پیروکسن و به‌مقدار کم، ارتوز در زمینه ریزبلور است (شکل ۲-D). زمینه ریزبلور یا میکروگرانولار این توده از کانی‌های ریز کوارتز، پلاژیوکلاز، پیروکسن و به‌مقدار کم، ارتوز تشکیل شده است.

شایان ذکر است که در برخی نمونه‌های توده میکروکوارتز دیوریت پورفیری، تکه‌هایی از سنگ‌های کوارتز مونزونیتی دیده می‌شود که با توجه به همانندی کانی‌شناسی این زنولیت‌ها با توده کوارتز مونزونیت ذاکر، می‌توان آنها را تکه‌هایی از بخش‌های زیرین توده کوارتز مونزونیتی دانست که در هنگام بالآمدن ماگمای توده میکروکوارتز دیوریت پورفیری، درون آن به‌دام افتاده‌اند (شکل ۲-E).

شیمی کانی‌ها

فلدسپارها: فلدسپارها از تشکیل‌دهنده‌های اصلی سنگ‌های نفوذی منطقه هستند. برای بررسی ترکیب شیمیایی این کانی‌ها و فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی حاکم بر محیط تشکیل آنها، ۱۵۲ تجزیه ریزکاو الکترونی از آنها تهیه شد. نتایج تعدادی از این تجزیه‌ها در جدول ۱ آورده شده است. ترکیب پلاژیوکلازهای مجموعه نفوذی طارم

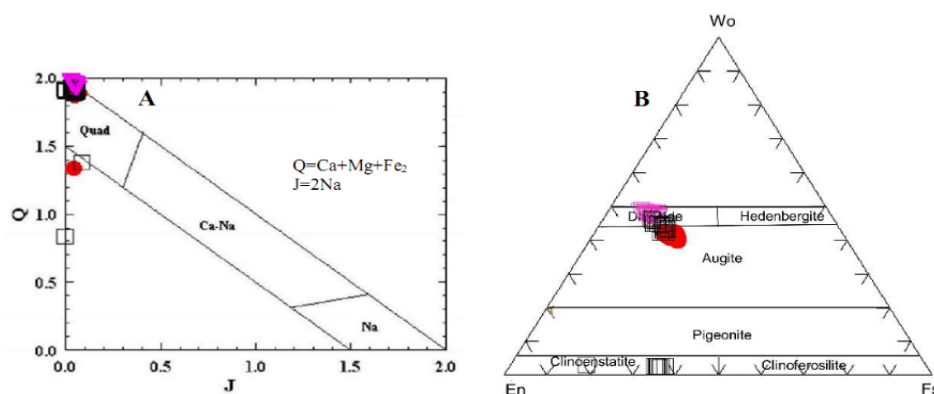


شکل ۳- نمودار طبقه‌بندی فلدسپارها (Deer *et al.*, 1991) و ترکیب پلاژیوکلازها در مجموعه نفوذی طارم (شمال خاوری زنجان) به تفکیک نوع سنگ‌ها شامل: (A) کوارتز مونزونیت؛ (B) کوارتز مونزودیوریت؛ (C) میکروکوارتزیدیوریت پورفیری.

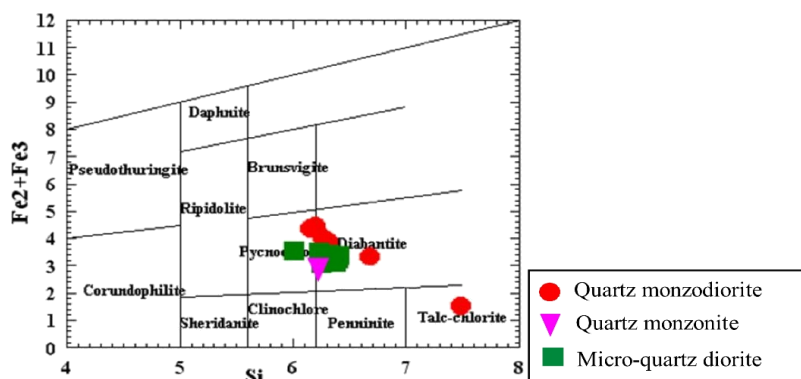
(شکل ۴- B) به عبارت دیگر، کلینوپیروکسن‌ها بیشتر از نوع کلسیک هستند (Deer *et al.*, 1991). با توجه به شکل ۴- B، قلمرو کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های مختلف مورد مطالعه با هم همپوشانی دارد. ترکیب ارتوپیروکسن‌های مربوط به توده کوارتز مونزودیوریت زنجان نیز در نمودار شکل ۴- B، در قلمرو انستاتیت جای می‌گیرد.

کلریت: همان‌گونه که در بخش سنگ‌نگاری نیز اشاره شد، کلریت یکی از محصولات دگرسانی پیروکسن‌هاست. نتایج حاصل از تجزیه ریزکاو الکترونی این کانی در جدول ۳ آورده شده است. این کلریت‌ها بیشتر از نوع کلریت‌های منیزیم‌دار هستند (جدول ۳). در شکل ۵ تغییرات $Fe^{2+}+Fe^{3+}$ در برابر Si برای کلریت‌های موجود در توده‌های منطقه طارم ترسیم شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، ترکیب کلریت‌های منطقه طارم در محدوده پیکنوکلریت، دیابانتیت و تالک کلریت جای می‌گیرد.

پیروکسن: با توجه به اینکه ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها می‌تواند در ارتباط با نوع ماگمای دربرگیرنده آنها باشد (Beccaluva *et al.*, 1989)، بنابراین، مطالعه شیمی این کانی‌ها می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در ارتباط با خاستگاه ماگمای توده‌های منطقه طارم در اختیار قرار دهد. نتایج تجزیه برخی از پیروکسن‌ها در توده‌های نفوذی منطقه در جدول ۲ آورده شده است. ترکیب پیروکسن‌های مجموعه نفوذی طارم در نمودار Q-J (شکل ۴- A) (Morimoto *et al.*, 1988) در محدوده مربوط به پیروکسن‌های آهن-منیزیم-کلسیم‌دار و فقیر از Na جای می‌گیرد. برای تفکیک پیروکسن‌های گروه Ca-Mg-Fe (Quad) از نمودار شکل ۴- B استفاده شد. همان‌گونه که در این نمودار دیده می‌شود، پیروکسن‌ها عمدتاً از نوع کلینوپیروکسن بوده، دارای ترکیب دیوپسید هستند. در ضمن، همه کلینوپیروکسن‌های توده کوارتز مونزونیت ذاکر در محدوده دیوپسید تا اوژیت جای می‌گیرند

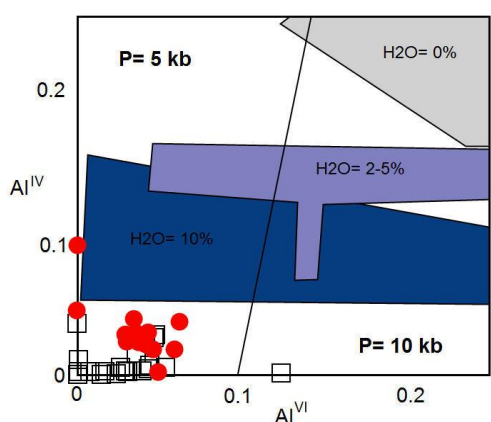


شکل ۴- طبقه‌بندی پیروکسن‌های مجموعه نفوذی طارم (شمال‌خاوری زنجان) در: (A) نمودار Q-J (Morimoto *et al.*, 1988)؛ (B) نمودار En-Fs-Wo (Morimoto *et al.*, 1988) (علایم مانند شکل ۳).



شکل ۵- نمودار رده‌بندی کلریت‌ها (Deer *et al.*, 1991) برای مجموعه نفوذی طارم (شمال‌خاوری زنجان).

کلینوپیروکسن کمتر از ۰/۱ است که نشانه تبلور این کانی‌ها در فشار کمتر از ۵ کیلوبار است (Helz, 1976).



شکل ۶- برآورد شرایط تبلور برای نمونه‌های مجموعه نفوذی طارم (شمال‌خاوری زنجان) از روی شیمی پیروکسن‌ها (Helz, 1976) (علایم مانند شکل ۳).

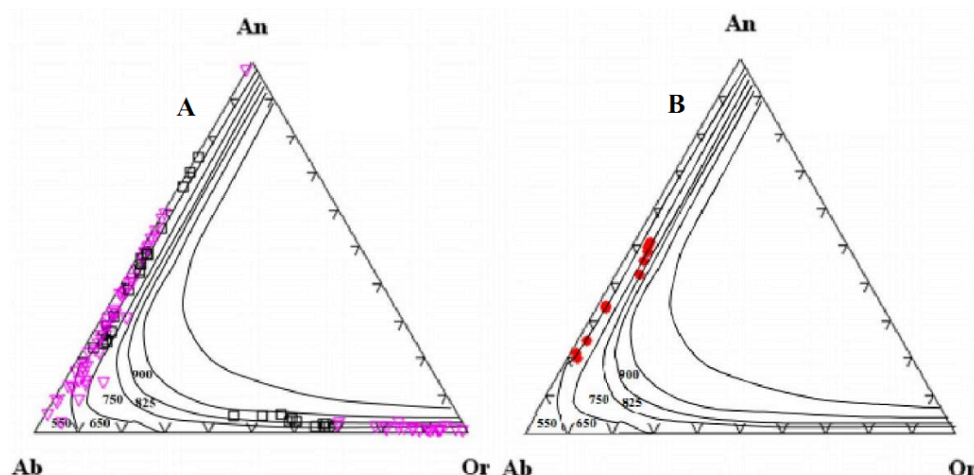
بحث

برآورد فشار: تخمین فشار با استفاده از ترکیب کلینوپیروکسن توسط Green (۱۹۷۲) و Helz (۱۹۷۶) پیشنهاد شده است. این روش، تعیین فشار تبلور کلینوپیروکسن بر اساس مقدار Al موجود در جایگاه‌های تتراهدری و اکتاهدری در شبکه این کانی است.

با توجه به اینکه این روش برای سنگ‌های بازالتی پیشنهاد شده (Helz, 1976)، بنابراین، در نمودار شکل ۶، تنها نمونه‌های مربوط به مافیک‌ترین توده طارم، توده کوارتز مونوزودیوریت با مقدار تقریبی $SiO_2 = 57wt\%$ (Nabatian *et al.*, 2014)، استفاده شد. همان‌گونه که در شکل ۶ دیده می‌شود، مقدار Al^{VI} در نمونه‌های

این نمودارها، دماهای به دست آمده برای واحدهای مجموعه نفوذی طارم در گستره دمایی ۵۵۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد هستند. برخی از این دماها، کمتر از دمای واقعی تبلور سنگ‌های منطقه هستند. علت این می‌تواند کم بودن دمای محاسبه شده به علت تحولات ساب‌سولیدوس ترکیب فلدسپارها در هنگام سرد شدن توده باشد (Kroll *et al.*, 1993; Anderson, 1996).

برآورد دما: برای انجام بررسی‌های زمین‌دماسنجی با استفاده از ترکیب فلدسپارها، از روش دماسنجی Seck (1971a, b) استفاده شد. این دماسنج برای دامنه حرارتی ۶۵۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد و فشار بخار آب ۱۰ کیلو بار ظراحی شده است. درجه حرارت توده‌های نفوذی با استفاده از نمودار سه‌تایی آل‌بیت، آنورتیت و ارتوکلاز به دست می‌آید (شکل‌های A-۷ و B-۷). در



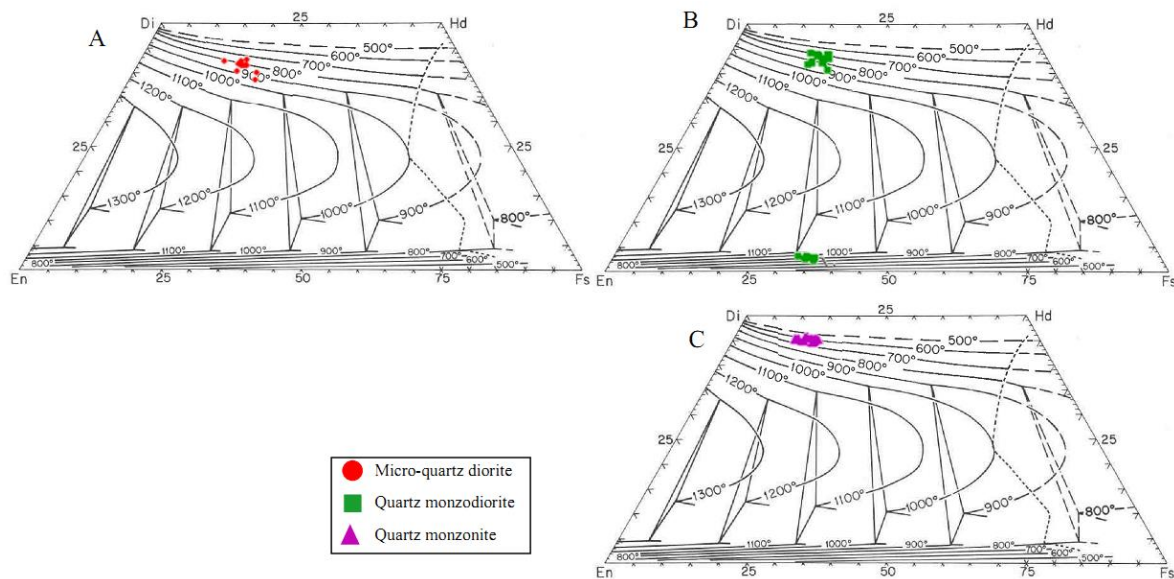
شکل ۷- تعیین دمای مجموعه نفوذی طارم (شمال‌خاوری زنجان) با استفاده از دماسنجی دو فلدسپار (Seck, 1971a) برای: (A) توده کوارتز مونزونیت و کوارتز مونزودیوریت؛ (B) توده میکروکوارتزیدوریت پورفیری (علایم مانند شکل ۳).

ترکیب $Wo+En+Fs > 90$ استفاده می‌شود. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، دمای محاسبه شده تبلور کلینوپیروکسن‌ها برای توده کوارتز مونزودیوریت ۸۵۰-۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، برای توده کوارتز مونزونیت ۶۰۰-۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و برای توده میکروکوارتزیدوریت پورفیری ۹۰۰-۸۰۰ درجه سانتی‌گراد نوسان دارد. دمای تشکیل ارتوپیروکسن‌ها نیز در نمودار شکل ۸، در حدود ۹۵۰-۸۰۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است. برای سنجش دما در هنگام تشکیل کلریت‌ها، از معادله دماسنجی بر اساس مقدار Al^{IV} در شبکه کلریت که توسط Cathelineau (1988) ارائه شده است، استفاده شد که معادله آن به صورت زیر است:

$$T \text{ } ^\circ\text{C} = - 61.9229 + 321.9772 (Al^{IV})$$

به طور کلی، بلورهای کلینوپیروکسن در سنگ‌های میکروکوارتزیدوریت کوه تبر از میزان MgO بالاتری نسبت به سایر توده‌های منطقه برخوردار هستند که این پدیده را می‌توان به دمای بالاتر تشکیل آنها نسبت داد. برای بررسی دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌ها می‌توان از روش‌های دماسنجی پژوهشگرانی مانند Nimis و Taylor (2000)، Lindsley (1983)، Perchuck و همکاران (1985)، Bertrand و Mercier (1985) استفاده کرد.

Lindsley (1983) برای تعیین دمای تشکیل پیروکسن‌ها، نمودارهای شکل ۸ را که بر اساس درصد مولکولی ولاستونیت-انستاتیت-فروسیلیت در چهارضلعی انستاتیت-فروسیلیت-دیوپسید-هدنبرژیت است، معرفی نموده است. این روش تنها برای بلورهای با



شکل ۸- برآورد دمای تشکیل پیروکسن‌های مجموعه نفوذی طارم (شمال‌خاوری زنجان) از روی درصد فراوانی ولاستونیت-انستاتیت-فروسیلیت در ترکیب پیروکسن‌ها به روش (Lindsley, 1983). (A) توده میکروکوآرتزدیوریت پورفیری؛ (B) توده کوآرتز مونزودیوریت؛ (C) توده کوآرتز مونزونیت.

فلسیک که از تفریق مذاب‌های گوشته‌ای در محیط‌های ریفتی ایجاد می‌شوند بیشتر دارای شرایط احیایی هستند (Loiselle and Wones, 1979).

برای ارزیابی فوگاسیته اکسیژن در مجموعه نفوذی طارم از ترکیب شیمیایی کانی پیروکسن استفاده شد. مقدار Fe^{3+} در پیروکسن‌ها، بستگی به میزان اکسیژن در محیط تشکیل آنها دارد و از روی نمودار تغییرات $Al^{IV}+Na$ در برابر $Al^{VI}+2Ti+Cr$ (شکل ۹) ارزیابی می‌شود (Schweitzer et al., 1979). این نمودار بر اساس موازنه Al موجود در موقعیت تترائدری با Al و Cr^{3+} موجود در موقعیت اکتائدری است. در ترکیب پیروکسن‌ها، عنصر Fe^{3+} می‌تواند جانشین عناصر ظرفیتی مانند Ti، Al^{VI} و Cr در موقعیت هشت‌وجهی شود. لذا فراوانی Fe^{3+} در پیروکسن‌ها بستگی به میزان Al^{VI} دارد. به عبارت دیگر، تابع موازنه آلومینیم در جایگاه چهاروجهی و هشت‌وجهی است. بنابراین، می‌توان گفت که

بر اساس این معادله، دمای تقریبی تشکیل کلریت‌ها در مجموعه طارم $104/5$ تا $138/03$ (میانگین ۱۱۵ درجه سانتیگراد) به دست می‌آید. این دما مربوط به دمای تشکیل کلریت‌ها بر اثر فرآیند دگرسانی گرمایی حاصل از عملکرد سیالات ماگمایی در مراحل پایانی تبلور ماگماهاست. نتایج دمای به دست آمده از داماسنجی کلریت‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

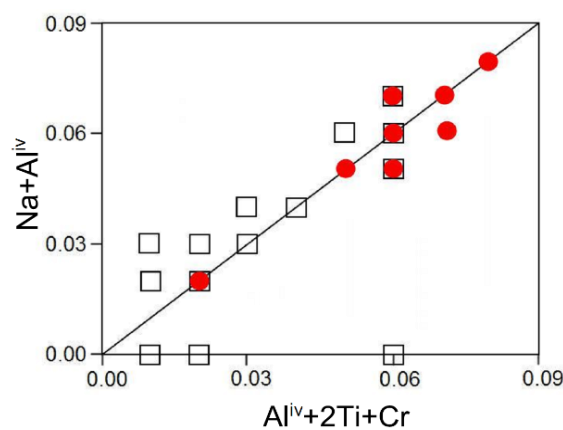
فوگاسیته اکسیژن: میزان فوگاسیته اکسیژن ماگما با خاستگاه و محیط تکتونوماگمایی در ارتباط است. برآورد میزان اکسیژن موجود در ماگماهای مجموعه طارم می‌تواند درک بهتری از شرایط تبلور این ماگماها و خاستگاه آنها ارائه دهد. برای مثال، ماگماهای گرانیتی که از ذوب سنگ‌های رسوبی ایجاد می‌شوند، معمولاً احیا و گرانیت‌های I-type دارای شرایط نسبی اکسیدان هستند. از سوی دیگر ماگماهای با فوگاسیته اکسیژن بالا معمولاً در محیط‌های برخوردی ایجاد می‌شوند (Ewart, 1979)، حال آن‌که ماگماهای

آنهاست (LeBas, 1962; Leterrier *et al.*, 1982; Beccaluva *et al.*, 1989; Kamenetsky *et al.*, 2001). بنابراین، ترکیب شیمیایی این کانی‌ها، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره سری ماگمایی مذاب تشکیل‌دهنده سنگ‌ها ارائه دهد (LeBas, 1962) و نیز به‌عنوان یک معیار مناسب برای تشخیص محیط تکتونوماگمایی سنگ‌ها کاربرد دارد. با استفاده از مقادیر SiO_2 و Al_2O_3 در ترکیب پیروکسن‌ها (شکل ۱۰-A)، می‌توان محدوده‌های پرآلکالن، آلکالن و ساب‌آلکالن را از یکدیگر تشخیص داد (LeBas, 1962). همان‌گونه که در این نمودار نیز مشاهده می‌شود، ترکیب کلینوپيروکسن‌های توده‌های نفوذی منطقه طارم، در محدوده ساب‌آلکالن است. علاوه بر این، نمونه‌های کلینوپيروکسن مجموعه نفوذی طارم در محدوده سنگ‌های کوهزایی جای می‌گیرند (شکل ۱۰-B) (Leterrier *et al.*, 1982).

در نمودار شکل ۱۰-C که بر اساس تغییرات Al_2O_3 در برابر TiO_2 است (Kamenetsky *et al.*, 2001)، جایگاه‌های زمین‌ساختی MORB، OIB و ARC از یکدیگر تفکیک شده‌اند. نمونه‌های منطقه طارم در نزدیکی محدوده Arc (مرتبط با فرورانش) جای گرفته‌اند و نسبت به نواحی دیگر در فاصله زیادی جای دارند. علاوه بر آن، پایین بودن میزان Ti در فرمول ساختاری پیروکسن‌های منطقه (شکل ۱۰-C) و بالا بودن میزان SiO_2 آنها (شکل ۱۰-A)، می‌توان گفت که پیروکسن‌ها در این توده‌ها، ویژگی پیروکسن‌های متبلور شده در مذاب‌های مرتبط با کمان‌های آتشفشانی (Beccaluva *et al.*, 1989) را نشان می‌دهند. با توجه به مطالب گفته شده، ترکیب شیمیایی پیروکسن‌های مجموعه نفوذی طارم را می‌توان نشان‌دهنده ارتباط بین این توده‌های با محیط‌های فرورانش دانست.

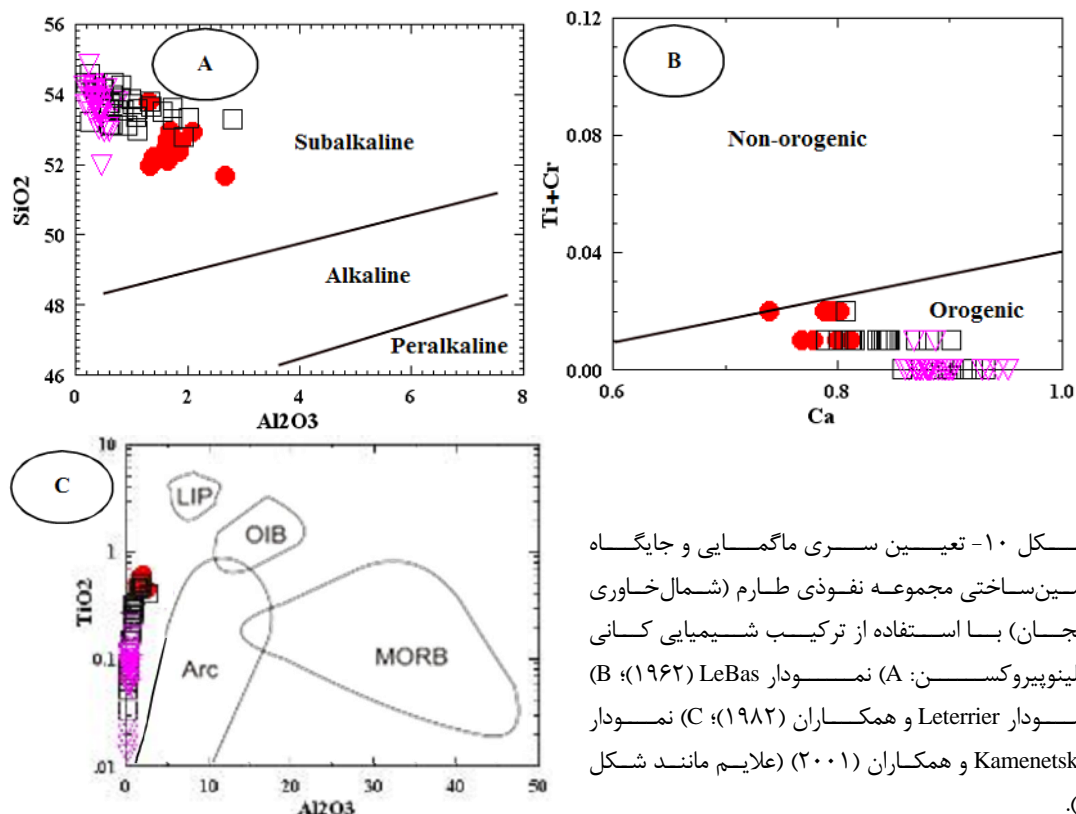
جای‌گرفتن نمونه‌ها در بالای این خط، نشانه بالا بودن فوگاسیته اکسیژن و جای‌گرفتن آنها در زیر این خط، نشانه پایین بودن فوگاسیته اکسیژن در محیط تشکیل آنها است (Bence *et al.*, 1975; Schweitzer *et al.*, 1979). همان‌طور که در شکل ۹ دیده می‌شود، نمونه‌های مربوط به مجموعه طارم عمدتاً در محدوده بالای خط $\text{Fe}^{3+}=0$ جای دارند که نشان‌دهنده تبلور پیروکسن‌های مورد مطالعه از ماگما‌های با مقادیر متوسط فوگاسیته اکسیژن است که با یک محیط تکتونوماگمایی متأثر از فرآیند فرورانش همخوانی دارد.

میزان فوگاسیته اکسیژن به‌دست آمده برای توده‌های طارم قابل مقایسه با فوگاسیته اکسیژن ذکر شده با استفاده از ترکیب کانی پیروکسن در توده‌های نفوذی نظنز (Honarmand *et al.*, 2009) و مجموعه نفوذی کوه دم (Sarjoughian *et al.*, 2012) است که همگی در ارتباط با فرورانش نئوتیس هستند.



شکل ۹- برآورد شرایط تبلور نمونه‌های مجموعه نفوذی طارم (شمال‌خاوری زنجان) از روی ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها (Helz, 1976) (علایم مانند شکل ۳).

سری ماگمایی و محیط تکتونوماگمایی توده‌ها: ترکیب شیمیایی کلینوپيروکسن‌ها، تابعی از ترکیب شیمیایی و خاستگاه ماگمای میزبان



شکل ۱۰- تعیین سری ماگمایی و جایگاه زمین‌ساختی مجموعه نفوذی طارم (شمال خاوری زنجان) با استفاده از ترکیب شیمیایی کانی کلینوپیروکسن: (A) نمودار LeBas (۱۹۶۲)؛ (B) نمودار Letterier و همکاران (۱۹۸۲)؛ (C) نمودار Kamenetsky و همکاران (۲۰۰۱) (علایم مانند شکل ۳).

نتیجه‌گیری

نشان از میزان متوسط فوگاسیته اکسیژن در این توده‌ها و بیانگر تشکیل آنها در یک محیط برخوردی است. نمودارهای متمایزکننده محیط تکتونوماگمایی با استفاده از ترکیب پیروکسن‌ها، نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمی سنگ کل توسط Nabatian و همکاران (۲۰۱۴) را تأیید کرده و گویای ارتباط توده‌های منطقه طارم با یک محیط فرورانش است. مطالعات ژئوشیمی سنگ کل توسط Nabatian و همکاران (۲۰۱۴) ذوب‌بخشی گوشته را برای مجموعه مونزونیتی طارم پیشنهاد می‌کند. نکته‌ای که در این بین باید به آن توجه داشت این است که ذوب‌بخشی در گوه گوشته‌ای در محیط متأثر از فرآیند فرورانش اغلب به‌علت ورود سیالات آبدار حاصل از ذوب رسوبات روی پوسته اقیانوسی فرورونده است. بنابراین، مذاب‌های ایجاد شده در هنگام رویداد این فرآیند، معمولاً از آب غنی بوده و آمفیبول و میکا از محصولات اصلی تبلور این مذاب‌ها

مجموعه نفوذی طارم در بخش باختری پهنه ساختاری البرز - آذربایجان جای داشته و شامل گستره‌ای از سنگ‌های سری مونزونیتی است. پیروکسن در توده کوارتزمونزودیوریتی زنجان به دو صورت ارتوپيروکسن با ترکیب انستاتیت و کلینوپيروکسن با ترکیب دیوپسید- اوژیت حضور دارد. دماهای محاسبه شده برای تشکیل کلینوپيروکسن‌ها در توده‌های منطقه طارم به‌طور کلی، ۶۰۰ تا ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد، به‌دست آمده است. دماسنجی با استفاده از ترکیب فلدسپارها نیز گستره دمایی ۵۵۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد را برای تبلور کانی‌های پلاژیوکلاز و ارتوز در توده‌های منطقه طارم نشان می‌دهد. از سوی دیگر، فشار به‌دست آمده برای تشکیل کلینوپيروکسن‌ها در توده کوارتزمونزودیوریت، کمتر از ۵ کیلوبار است. ارزیابی فوگاسیته اکسیژن بر اساس ترکیب پیروکسن‌ها نیز

خاستگاه این مذاب‌ها، میلیون‌ها سال تحت تأثیر فرورانش بوده و دارای کانی‌های آبدار مانند سرپانتین، آمفیبول و فلوگوپیت است. ذوب‌بخشی چنین گوشته‌ای، بر اثر کاهش فشار در هنگام بالا آمدگی پس از برخورد، می‌تواند به تولید ماگماهای با ویژگی محیط فرورانش منجر شود.

سیاس‌گزاری

نگارندگان از حمایت‌های دانشگاه تربیت‌مدرس برای انجام این پژوهش سپاس‌گزاری می‌کنند.

خواهند بود. اما چنانچه کاهش فشار، برای مثال بالا آمدگی لیتوسفر قاره‌ای پس از برخورد، عامل اصلی ذوب‌بخشی در گوشته باشد (بر خلاف ذوب گوشته در محیط فرورانش که بر اثر اضافه شدن آب به سنگ‌های گوشته رخ می‌دهد)، پس دور از انتظار نیست که میزان آب موجود در چنین مذاب‌هایی، کمتر از مقدار لازم برای تبلور کانی‌های آبدار مانند آمفیبول و میکا، به‌عنوان کانی اصلی در این توده‌ها باشد. شایان ذکر است مذاب‌های گوشته‌ای که در زمان پس از برخورد ایجاد می‌شوند معمولاً ویژگی‌های مذاب‌های مرتبط با محیط فرورانش را نشان می‌دهند، چرا که گوشته

منابع

- Anderson, J. L. (1996) Status of thermobarometry in granitic batholiths. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 87: 125-138.
- Beccaluva, L., Macciotta, G., Piccardo, G. B. and Zeda, O. (1989) Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator. *Chemical Geology* 77: 165-182.
- Bence, A. E., Papike, J. J. and Ayuso, R. A. (1975) Petrography of Atlantic island arcs. *Bulletin of Volcanology* 32: 189-206.
- Bertrand, P. and Mercier, J. -C. C. (1985) The mutual solubility of coexisting ortho- and clinopyroxene: toward an absolute geothermometer for the natural system? *Earth and Planetary Science Letters* 76: 109-122.
- Cathelineau, M. (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Minerals* 23: 471-485.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1991) *An introduction to the rock-forming minerals*. 17th edition, Longman, London.
- Ewart, A. (1979) A review of the mineralogy and chemistry of tertiary-recent dacitic, latitic, rhyolitic and related salic volcanic rocks. In: *Trondhjemites, dacites, and related rocks* (Ed. Fred, B.) 12-101. Springer-Verlag, Berlin.
- Green, J. C. (1972) North Shore Volcanic Group and associated intrusions. In: *The Geology of Minnesota* (Eds. Sims, P. K. and Morey, G. B.) 294-332. Minnesota Geological Survey, University of Minnesota, Minnesota.
- Helz, R. T. (1976) Phase relations of basalts in their melting range at $\text{PH}_2\text{O} = 5$ kb as a function of oxygen fugacity. Part II: Melt compositions. *Journal of Petrology* 17: 139-193.
- Honarmand, M., Moayyed, M., Jahangiri, A. and Ahmadian, J. (2009) Mineralogy, geothermobarometry and magmatic series of Natanz plutonic complex. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 17: 325-342.
- Kamenetsky, V. S., Maas, R., Sushchevskaya, N. M., Norman, M. D., Cartwright, I. and Peyve A. A. (2001) Remnants of Gondwanan continental lithosphere in oceanic upper mantle: Evidence from the

- South Atlantic Ridge. *Geology* 29: 243–246.
- Kroll, H., Evangelakis, C. and Voll, G. (1993) Two-feldspar geothermometry: a review and revision for slowly cooled rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 114: 510–518.
- LeBas, N. J. (1962) The role of aluminous 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: 139–154.
- Lindsley, D. H. (1983) Pyroxene thermometry. *American Mineralogist* 68: 477–493.
- Loiselle, M. C. and Wones, D. R. (1979) Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geological Society of America, Abstracts with Program* (7): 468 p.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., Aki, K. and Gottardi, G. (1988) Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine* 52: 535–550.
- Nabatian, G. (2008) Geology, geochemistry and genesis of Sorkhe-Dizaj iron oxide apatite deposit, southeast of Zanjan. MSc thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (in Persian).
- Nabatian, G., Ghaderi, M., Neubauer, F., Honarmand, M., Liu, X., Dong, Y., Jiang, S. Y., Quadt, A. V. and Bernroider, M. (2014) Petrogenesis of Tarom high-potassic granitoids in the Alborz-Azərbayjan belt, Iran: Geochemical, U-Pb zircon and Sr-Nd-Pb isotopic constraints. *Lithos* 184–187: 324–345.
- Nimis, P. and Taylor, W. R. (2000) Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 139(5): 541–554.
- Perchuck, L. L., Aranovich, L. Y., Podlesskii, K. K., Lavrant'eva, I. V., Gerasimov, V. Y., Fed'kin, V. V., Kitsul, V. I., Karsakov, L. P. and Berdnikov, N. V. (1985) Precambrian granulites of the Aldan shield, eastern Siberia, USSR. *Journal of Metamorphic Geology* 3: 256–310.
- Pitcher, W. S. (1995) *The Nature and Origin of Granite*. Blackie Academic and Professional Edition, Chapman and Hall, London.
- Sarjoughian, F., Kananian, A. and Ahmadian, J. (2012) Application of pyroxene chemistry for evaluation of temperature and pressure in the Kuh-e Dom intrusion. *Petrology* 11: 97–110.
- Schweitzer, E. L., Papike, J. J. and Bence, A. E. (1979) Statistical analysis of clinopyroxenes from deep-sea basalts. *American Mineralogist* 64: 501–513.
- Seck, H. A. (1971a) Koexistierende Alkalifeldspäte und Plagioklase im System $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ - H_2O bei Temperaturen von 650°C bis 900°C. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen* 115: 315–345.
- Seck, H. A. (1971b) Der Einfluss des Drucks auf die Zusammensetzung koexistierender Alkalifeldspäte und Plagioklase im System $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ - H_2O . *Contributions to Mineralogy and Petrology* 31: 67–86.
- Shelly, D. (1993) *Igneous and Metamorphic Rocks under the Microscope*. Chapman and Hall, London.
- Smith, J. V. and Brown, W. L. (1988) *Feldspar Minerals. Crystal structures, physical, chemical, and microstructural properties*. Springer-Verlag, New York.
- Vernon, R. H. (2004) *A practical guide to rock microstructure*. Cambridge University Press, London.

Petrography and mineral chemistry of Tarom plutonic complex, NE Zanjan

Ghasem Nabatian ¹, Majid Ghaderi ^{1*} and Maryam Honarmand ²

¹Department of Geology, School of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

²Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran

Abstract

Tarom plutonic complex is located in northeast of Zanjan and in the Alborz-Azerbaijan zone with northwest-southeast trending. The Eocene Tarom plutons include Zanjan (quartz monzodiorite), Zaker (quartz monzonite), Morvarid (monzogranite to syenogranite) and Kuh Tabar (porphyry microquartz diorite) which intruded within the volcanic and volcanoclastic rocks of Karaj Formation. The EPMA analyses of plagioclase, alkali feldspar, pyroxene and chlorite indicate that the core of plagioclase crystals is more calcic than their rim suggesting normal zoning in these minerals. The pyroxenes are mostly clinopyroxene with minor amount of orthopyroxene that belongs to Fe-Mg-Ca pyroxenes. The pyroxenes of these plutons show augite-diopside composition. The chlorites are Mg-bearing chlorite and classified as the picnochlorite, diabanite and talc chlorite. Based on the composition of pyroxenes, the Tarom plutonic complex crystallized from sub-alkaline magmas which formed in a subduction tectonic setting. Barometric studies exhibit that the clinopyroxenes crystallized in pressures lower than 5 Kbar. Pyroxene thermometry in these plutons indicate that the pyroxenes crystallized in temperatures ranging of 700-850 °C in the quartz monzodioritic, 600-700 °C in the quartz monzonitic pluton and 800-900 °C in the porphyry micro quartz dioritic pluton. Moreover, plagioclase thermometry shows that the crystallization temperatures of plagioclases in the Tarom area range from 550 to 900 °C.

Key words: Pyroxene, Tarom plutonic complex, Alborz-Azerbaijan zone, Tarom, Zanjan

* mghaderi@modares.ac.ir