

## پتروگرافی و مینرال شیمی سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر (جنوب غرب کاشان)

لیلا ابراهیمی و سید محسن طباطبایی منش \*

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

### چکیده

سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر به سن ائوسن در جنوب غرب کاشان و در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر قرار دارد. این سنگ‌ها شامل: آندزیت بازالتی، آندزیت، داسیت و ریولیت است. کانی‌های پلاژیوکلاز، آمفیبول، کلینوپیروکسن، بیوتیت و کوارتز کانی‌های اصلی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد. آپاتیت به مقدار بسیار اندک در برخی از پلاژیوکلازها دیده می‌شود. اپیدوت، کلسیت، کلریت، اسفن و کانی‌های کدر، کانی‌های حاصل از دگرسانی هستند. بافت‌های پورفیری، گلوپورفیری، میکرولیتی و پویی‌کلیتیک بافت‌های غالب در این سنگ‌ها است. بر اساس داده‌های حاصل از تجزیه ریزکاو الکترونی ترکیب پلاژیوکلازها الیگوکلاز تا لابرادوریت، کلینوپیروکسن‌ها از نوع دیوپسید و آمفیبول‌ها مگنزیوپهورنبلند و ترمولیت هستند. شیمی کلینوپیروکسن‌ها نشان می‌دهد که این سنگ‌ها روند ساب‌آلکالن داشته و در نمودارهای زمین‌ساختی در محدوده کمان‌های آتشفشانی قرار می‌گیرد. بر اساس فشارسنجی کلینوپیروکسن‌ها، سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر در فشارهای متوسط تا کم و در حین صعود ماگما شکل گرفته‌اند. میزان آب در محیط تبلور کلینوپیروکسن‌ها بالا بوده و این سنگ‌ها در فوگاسیته بالای اکسیژن تشکیل شده‌اند. ترمومتری کلینوپیروکسن‌ها به طور متوسط دمای ۹۷۵ درجه سانتیگراد را برای تشکیل آنها نشان می‌دهد. ترموبارومتری آمفیبول‌ها نیز فشار ۲/۹۷ کیلوپار و دمای ۷۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: مینرال شیمی، آتشفشانی، نابر، کمربند ماگمایی ارومیه-دختر، پهله ایران مرکزی

### مقدمه

یک پدیده فراگیر است که در تولید ماگمایی با ترکیب حدواسط گاه با ویژگی کالک‌آلکالن مؤثر است (Aghanabati, 2004). از نظر زمین‌شناسی ساختاری، ارتفاعات جنوب و جنوب غرب کاشان بخشی از ایران مرکزی بوده و جزیبی از کمربند ماگمایی ارومیه-دختر محسوب می‌شود. بیشتر سنگ‌های منطقه کاشان را ولکانیک‌های ائوسن

ستبرترین واحدهای آتشفشانی ایران به سن ائوسن است که به ویژه در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر رخنمون دارد. ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها تغییرات زیادی از اسیدی تا بازیک نشان می‌دهد. به باور Emami (۲۰۰۰) در آتشفشان‌های ائوسن ایران، اختلاط ماگماهای اسیدی و بازیک

تحت تأثیر شکستگی‌های متعدد زمین‌ساختی آلپی قرار گرفته‌اند. بیشتر گسل‌ها روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق دارد. نزدیک‌ترین گسل به منطقه شرق نابر گسل گبرآباد-نابر است. این گسل از پای دامنه‌های جنوب‌شرقی سیاه‌کوه به دو دسته شمالی-جنوبی تقسیم می‌شود. به احتمال قوی دشت نابر حاصل عملکرد گسل‌های نابر و برزک است. این گسل‌ها از نوع عادی هستند و سازندهای ائوسن و الیگوسن تحت تأثیر آنها در هم شکسته‌اند که سیاه‌کوه و کوه هفت کتل از آن جمله‌اند (Abasi, 2012). قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه شرق نابر به ائوسن متعلق بوده و جدیدترین آنها را نهشته‌های کواترنر تشکیل می‌دهد (شکل ۲). سنگ‌های آذرین، رنگ قهوه‌ای تیره داشته و به صورت خشن و توده‌ای در ایجاد برجستگی‌ها نقش به‌سزایی دارد و سازندهای رسوبی دارای رنگ روشن هستند. واحدهای ائوسن از سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی تشکیل شده‌اند و شامل: توف‌های سیلیسی، برش، شیل، مارن، سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌های آندزیتی-بازالتی، آندزیتی، داسیتی و ریولیتی هستند. واحدهای الیگومیوسن شامل: مارن، شیل‌های خاکستری، آهک‌های تیره رنگ همراه با سنگ‌های آذرین نفوذی (گابرو، گابرودیوریت، دیوریت و تونالیت) است. نهشته‌های کواترنر به صورت تراورتن و آبرفت در منطقه شرق نابر مشخص هستند (Radfar and Alai Mahabadi, 1993).

### روش انجام پژوهش

پس از بررسی و نمونه‌برداری صحرائی به منظور مطالعات پتروگرافی و میکروسکوپی از نمونه‌های برداشت شده مقطع نازک تهیه شد. پس از بررسی‌های پتروگرافی، تعیین نوع کانی‌ها و بافت سنگ‌ها، نمونه‌های مناسب انتخاب و با دستگاه

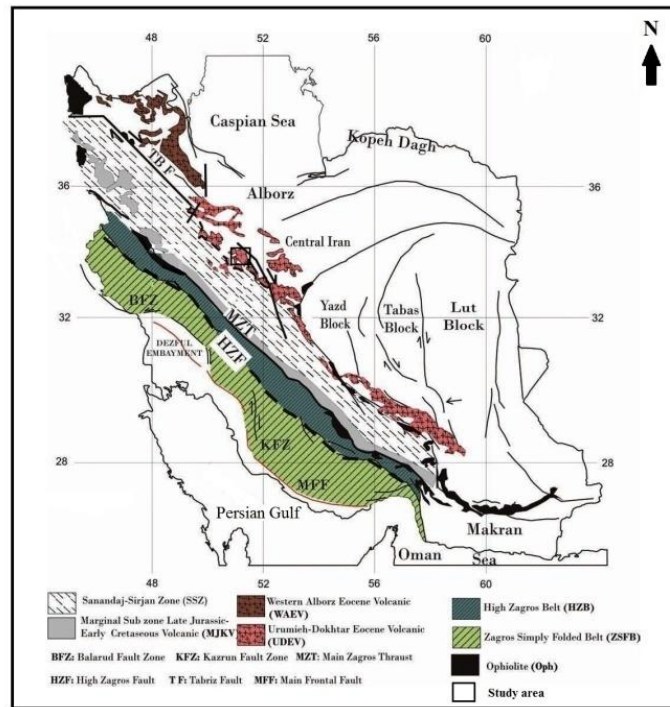
تشکیل می‌دهد. این سنگ‌ها به صورت آذرآواری همراه با گدازه و بین لایه‌هایی از توفیت، ماسه‌سنگ، شیل و آهک به طور دگرشیب روی آهک‌های کرتاسه قرار می‌گیرد. در ناحیه کاشان، گدازه‌های ائوسن بیشتر در غرب و جنوب‌غرب کاشان و سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی-رسوبی در شمال‌غرب قمصر اهمیت دارد (Moinevaziri, 1996). منطقه شرق نابر در ۱۷۰ کیلومتری اصفهان و در شرق روستای نابر بین طول‌های جغرافیایی  $51^{\circ}15'$  و  $51^{\circ}16'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $33^{\circ}51'30''$  و  $33^{\circ}52'32''$  شمالی قرار دارد. سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر بیشتر در غالب آندزیت بازالتی، آندزیت، داسیت و ریولیت رخمون یافته‌اند. از جمله پژوهش‌های انجام شده در منطقه شرق نابر می‌توان به مطالعات پتروگرافی و مینرال‌شیمی توده نفوذی شرق نابر (Abasi, 2012) و مطالعات مربوط به اسکارن‌زایی (Javadi, 2012) اشاره نمود. این مطالعات نشان می‌دهد که توده نفوذی منطقه شرق نابر از نوع I و در قلمرو کالک‌آلکان مربوط به مناطق کوهزایی قرار دارد و اسکارن نابر از نوع کلسیک بوده و حضور پیریت و کالکوپیریت در آن به عنوان کانه‌های فلزی مهم دلالت بر فوگاسیته بالای گوگرد در محلول‌های کانه‌دار دارد. در این پژوهش سعی شده است به بررسی پتروگرافی و مینرال‌شیمی کانی‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر پرداخته شود.

### زمین‌شناسی منطقه

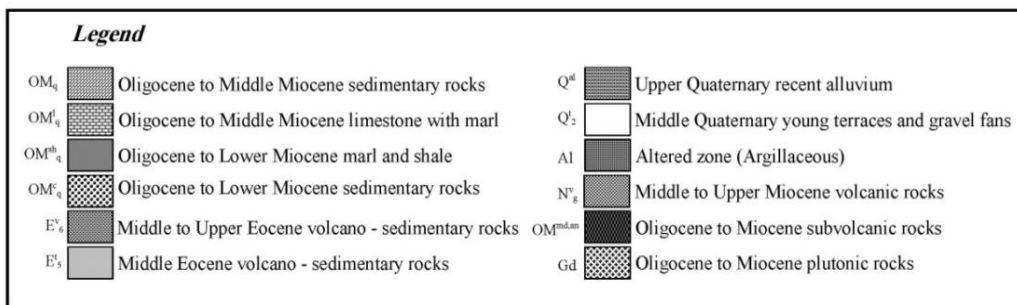
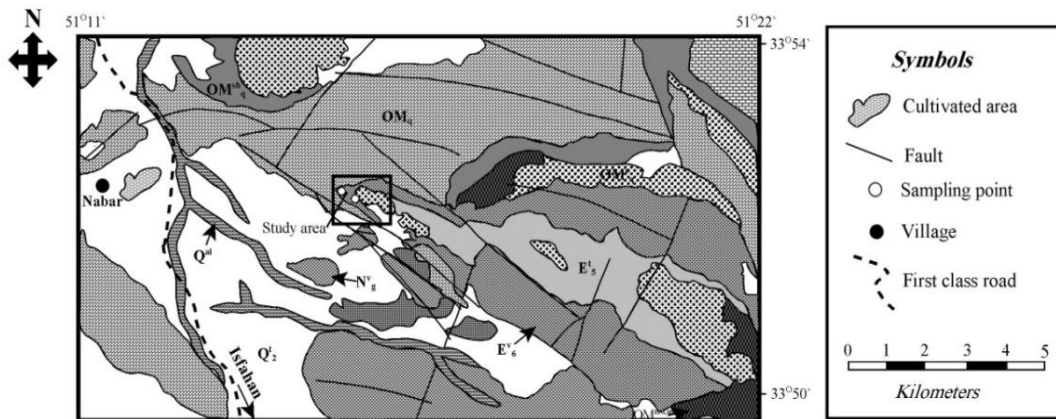
منطقه شرق نابر قسمتی از رشته کوه کرکس بوده و در جنوب‌غربی شهرستان کاشان واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی ساختاری، منطقه شرق نابر به کمربند ماگمایی ارومیه-دختر متعلق است و در غرب ایران مرکزی قرار گرفته است (شکل ۱). قلمرو کوهستانی شرقی-غربی کاشان به شدت

و ۳ نشان داده شده است. برای تفسیر داده‌های حاصل از تجزیه از نرم افزار 2.02 Minpet و نمودارهای مربوطه استفاده شده است.

تجزیه ریزکاو الکترونی Cameca SX-100 با ولتاژ شتاب دهنده ۱۵ کیلو ولت در دانشگاه اشتهوتگارت آلمان تجزیه شدند که نتایج آن در جدول‌های ۱، ۲



شکل ۱- نقشه ساده شده زمین‌شناسی ایران (Ghasemi and Talbot, 2005; Azizi and Moinevaziri, 2009)



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه شرق نابار (بر گرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشان) (Radfar and Alai Mahabadi, 1993)

جدول ۱- نتایج تجزیه نقطه‌ای پلاژیوکلازهای شرق نابر بر حسب درصد وزنی همراه با مقدار کاتیون‌ها و درصد اجزای متشکله آنها

Sample	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	33	33	33	33
Mineral	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	K-fel	Pl	Pl	Pl	Pl
SiO <sub>2</sub>	57.86	58.69	57.93	58.11	57.73	57.91	59.23	59.02	64.64	60.58	59.36	59.60	60.20	57.09
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.56	25.50	26.19	25.97	26.04	26.05	25.06	25.53	18.35	24.97	25.78	25.76	25.16	27.41
FeO*	0.15	0.20	0.12	0.15	0.18	0.21	0.23	0.23	0.33	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16
MnO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.01	0.02	0.03	0.05	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01
CaO	8.21	8.23	8.68	8.63	8.86	8.61	7.63	7.76	0.00	6.65	7.40	7.28	6.79	8.94
Na <sub>2</sub> O	7.13	7.11	6.83	6.88	6.95	6.87	7.56	7.20	0.55	7.32	6.98	6.90	7.35	6.21
K <sub>2</sub> O	0.21	0.25	0.18	0.17	0.20	0.22	0.20	0.20	15.80	0.29	0.23	0.26	0.24	0.17
BaO	0.03	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.04	0.03	0.33	0.03	0.04	0.04	0.02	0.00
Total	99.16	100.00	100.00	99.99	100.00	99.90	99.97	99.98	100.00	100.00	99.98	100.00	99.91	99.98
Structural formula based on the 8 Oxygens														
Si	2.616	2.630	2.598	2.606	2.594	2.601	2.653	2.640	2.994	2.694	2.648	2.655	2.682	2.559
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	1.361	1.345	1.383	1.372	1.378	1.378	1.322	1.345	1.001	1.308	1.354	1.352	1.320	1.447
Fe <sup>2+</sup>	0.006	0.007	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.009	0.013	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Fe <sup>3+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.001	0.001	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Ca	0.398	0.395	0.417	0.414	0.427	0.415	0.366	0.372	0.000	0.317	0.354	0.347	0.324	0.429
Na	0.625	0.617	0.594	0.598	0.606	0.598	0.657	0.625	0.049	0.632	0.603	0.596	0.635	0.540
K	0.012	0.014	0.011	0.010	0.011	0.012	0.011	0.012	0.934	0.017	0.013	0.015	0.013	0.010
Ba	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.006	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
Cations	5.019	5.009	5.011	5.011	5.025	5.013	5.020	5.004	5.003	4.974	4.982	4.973	4.980	4.991
Ab	60.400	60.100	58.100	58.500	58.000	58.300	63.500	61.900	5.000	65.400	62.200	62.200	65.300	55.200
An	38.500	38.500	40.800	40.500	40.900	40.500	35.400	36.900	0.000	32.800	36.500	36.200	33.300	43.800
Or	1.200	1.400	1.100	1.000	1.100	1.200	1.100	1.200	95.000	1.800	1.300	1.600	1.300	1.000

جدول ۲- نتایج تجزیه نقطه‌ای کلینوپیکروکسن‌های منطقه شرق نابر بر حسب درصد وزنی همراه با مقدار کاتیون‌ها و درصد اجزای متشکله آنها

Sample	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Mineral	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx
SiO <sub>2</sub>	53.48	53.31	53.02	53.00	53.18	53.87	52.86	53.84	53.21	53.16	53.63	53.15	53.71	53.34
TiO <sub>2</sub>	0.09	0.05	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.04	0.01	0.06	0.02	0.02	0.06	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.70	0.37	0.33	0.18	0.14	0.10	0.22	0.96	0.33	0.79	0.24	0.17	0.90	0.68
FeO*	6.93	7.22	7.60	8.11	7.07	5.24	8.25	5.74	5.92	5.02	5.73	5.83	2.99	3.91
MnO	0.13	0.12	0.15	0.19	0.25	0.30	0.13	0.36	0.20	0.80	0.46	0.34	0.48	0.53
MgO	14.16	14.58	14.16	13.60	14.28	15.32	13.75	15.38	14.88	15.13	15.03	14.83	16.25	15.84
CaO	24.35	24.67	24.55	24.70	24.73	25.24	24.60	23.83	24.80	24.65	24.78	25.42	24.92	25.08
Na <sub>2</sub> O	0.26	0.13	0.21	0.18	0.11	0.13	0.19	0.34	0.18	0.16	0.13	0.20	0.16	0.17
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.02
Total	100.09	100.44	100.00	100.00	99.77	100.23	100.02	100.48	99.54	99.76	100.00	100.00	99.51	99.60

Sample	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Mineral	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx	Cpx
ادامه جدول ۲--														
Structural formula based on the 6 Oxygens														
Si	1.981	1.968	1.969	1.976	1.979	1.981	1.969	1.972	1.974	1.964	1.981	1.963	1.971	1.962
Ti	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000	0.002	0.001
Al <sup>IV</sup>	0.019	0.016	0.015	0.008	0.006	0.004	0.010	0.028	0.015	0.034	0.011	0.007	0.029	0.030
Al <sup>VI</sup>	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000
Fe <sup>2+</sup>	0.194	0.169	0.174	0.200	0.176	0.119	0.194	0.139	0.134	0.108	0.141	0.097	0.063	0.063
Fe <sup>3+</sup>	0.021	0.054	0.061	0.053	0.044	0.043	0.064	0.037	0.051	0.047	0.036	0.083	0.290	0.057
Mn	0.004	0.004	0.005	0.006	0.008	0.009	0.004	0.011	0.006	0.025	0.015	0.010	0.015	0.016
Mg	0.782	0.803	0.784	0.756	0.792	0.840	0.764	0.840	0.823	0.833	0.828	0.817	0.889	0.869
Ca	0.966	0.976	0.977	0.987	0.986	0.994	0.982	0.935	0.985	0.976	0.980	1.006	0.980	0.989
Na	0.019	0.009	0.015	0.013	0.008	0.009	0.013	0.024	0.013	0.012	0.009	0.014	0.011	0.012
K	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.001
Cations	4.000	4.000	4.000	3.999	3.999	3.999	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.998	3.998	3.999
WO	49.123	49.110	49.422	48.904	49.987	49.272	52.146	49.588	49.585	47.791	47.148	49.148	50.047	48.709
EN	39.744	39.121	38.065	37.167	38.746	40.126	35.649	45.003	43.565	43.616	45.704	39.497	46.319	41.350
FS	11.133	11.770	12.513	13.930	11.267	10.602	12.205	5.409	6.849	8.592	7.149	11.354	3.634	9.942

جدول ۳- نتایج تجزیه نقطه‌ای آمفیبول‌های شرق نابر بر حسب درصد وزنی همراه با مقدار کاتیون‌ها و درصد اجزای متشکله آنها

Sample	31	33	33	33	33	33
Mineral	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph	Amph
SiO <sub>2</sub>	55.46	47.13	47.48	48.15	47.29	48.77
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.84	0.93	0.86	0.86	0.81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.25	8.27	7.73	7.14	7.47	6.95
FeO	7.03	16.38	16.20	15.95	16.20	15.40
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.22	1.67	1.83	1.84	1.83	1.51
MgO	19.85	12.41	12.86	13.12	13.21	13.63
CaO	12.92	10.20	10.10	10.00	10.12	10.10
Na <sub>2</sub> O	0.22	1.61	1.51	1.40	1.43	1.42
K <sub>2</sub> O	0.11	0.29	0.19	0.20	0.22	0.21
Total	98.22	98.79	98.83	98.66	98.64	98.81
Structural formula based on the 23 Oxygens						
Si	7.678	6.725	6.742	6.829	6.717	6.888
Ti	0.018	0.090	0.099	0.092	0.092	0.086
Al <sup>IV</sup>	0.322	1.275	1.258	1.171	1.249	1.112
Al <sup>VI</sup>	0.045	0.114	0.035	0.022	0.000	0.044
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe <sup>2+</sup>	0.482	0.590	0.420	0.386	0.306	0.408
Fe <sup>3+</sup>	0.331	1.365	1.504	1.506	1.618	1.411
Mn	0.025	0.202	0.220	0.221	0.221	0.181
Mg	4.098	2.640	2.722	2.774	2.797	2.870
Ca	1.916	1.559	1.537	1.520	1.540	1.528
Na	0.058	0.446	0.415	0.385	0.394	0.389
K	0.019	0.052	0.034	0.035	0.041	0.039
Cations	14.993	15.057	14.985	14.940	14.975	14.956

## پتروگرافی

با توجه به مطالعات پتروگرافی و همچنین شیمی سنگ کل، سنگ‌های آتشفشانی در منطقه شرق نابر در غالب آندزیت بازالتی، آندزیت، داسیت و ریولیت رخنمون یافته‌اند (شکل ۳) (Ebrahimi,

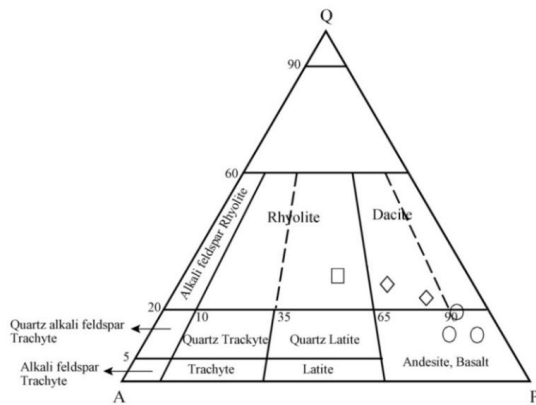
2013). نتایج حاصل از تجزیه‌های مربوط به این سنگ‌ها در جدول ۴ و داده‌های مربوط به نورم این سنگ‌ها نیز در جدول ۵ آورده شده است. این سنگ‌ها دارای بافت‌های پورفیری، گلوپورفیری، میکرولیتی و غربالی هستند.

جدول ۴- داده‌های مربوط به تجزیه شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر

Sample	Nab1-25	Nab1-14	Nab1-34	Nab1-6	Nab1-4	Nab1-10
Rock type	Rhyolite	Dacite	Dacite	Andesite	Andesite	Andesite
wt%						
SiO <sub>2</sub>	72.6	67.7	63.8	62.8	61.2	59.33
TiO <sub>2</sub>	0.16	0.36	0.45	0.5	0.5	0.52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.6	14.2	16.6	14	17.12	17.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	1.12	3.87	1.68	5.1	5.44	6.7
MnO	0.02	0.04	0.08	0.06	0.2	0.2
MgO	0.37	1.02	1.83	1.2	1.4	1.4
CaO	1.86	3.18	7.96	6	6.1	7.05
Na <sub>2</sub> O	3.2	3.5	4.9	5.6	4.55	4.95
K <sub>2</sub> O	4.31	3.2	0.69	0.61	0.6	0.57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.06	0.18	0.26	0.23	0.25
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
LOI	0.45	0.53	0.61			
Total	96.8	97.6	98.8	96.14	97.35	98.6
ppm						
Ni	11	8	5			
Co	2	5.3	1.5	75	68	38
V	19	41	49	20.7	25.3	26
Cu	29	14	15			
Zn	14	25	19	42.75	38.7	41
Sn	2	1	2	1	0.5	0.66
W	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Mo	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Rb	64.8	53.8	12.7	4.51	4.16	2.85
Cs	0.7	0.7	0.2	1.92	1.5	1.4
Ba	590	570	190	90.4	275	375
Sr	260	270	660	421	632	635
Ga	9	12	16	14.7	15.21	15.7
Ta	0.5	0.5	0.5	0.69	0.47	0.4
Nb	4	4	5	4.3	4	4.2
Hf	4	4	4	3.4	3	3
Zr	80	120	120	115.6	101.3	105
Y	11	12	20	18	18	20
Th	24.9	11.3	7.6	3.8	5.1	5.2
U	5.91	2.11	1.92	1.1	1.75	1.46
La	14.6	8.1	21.8	14.12	14.8	16.8
Ce	30.8	14.2	40.3	31.6	35.6	38.2
Pr	3.33	1.81	4.74	3.8	3.7	4.35
Nd	10.7	7.1	18.4	16.57	15.96	18.4
Sm	1.6	1.7	3.7	3.6	3	4
Eu	0.34	0.61	0.89	1.15	1.17	1.2
Tl	0.5	0.5	0.5	0.42	0.39	0.34
Gd	1.35	1.77	3.24	3.8	3.66	4.2
Tb	0.25	0.32	0.59	0.59	0.6	0.65
Dy	1.64	2.1	3.61	3.5	3.46	3.8
Ho	0.37	0.46	0.77	0.74	0.73	0.82
Ag	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Er	1.28	1.56	2.38	2.2	2.2	2.4
Tm	0.22	0.22	0.36	0.35	0.35	0.4
Yb	1.7	1.6	2.4	2.4	2.4	2.6
Lu	0.28	0.29	0.36	0.39	0.4	0.4

جدول ۵- داده‌های مربوط به نورم سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر

Normative mineral	Nab1-25	Nab1-14	Nab1-34	Nab1-4	Nab1-6	Nab1-10
Quartz	34.2	26.34	16.8	16.51	15.75	10.56
Plagioclase	35.7	44.5	63.9	64.72	61	66.96
Orthoclase	26.5	19.44	4.14	3.66	3.72	3.43
Diopside	1.54	1.52	12.45	3.65	14.76	7.94
Hypersthene	1.1	5.8	0.75	7.99	1.25	7.15
Ilmenite	0.32	0.7	0.87	0.97	0.99	1.01
Magnetite	0.52	1.54	0.7	1.94	1.86	2.35
Apatite	0.05	0.14	0.42	0.56	0.63	0.6
Zircon	0.01	0.03	0.03	0.01	0.03	0.01
Total	99.94	100	100.06	100.01	99.99	100



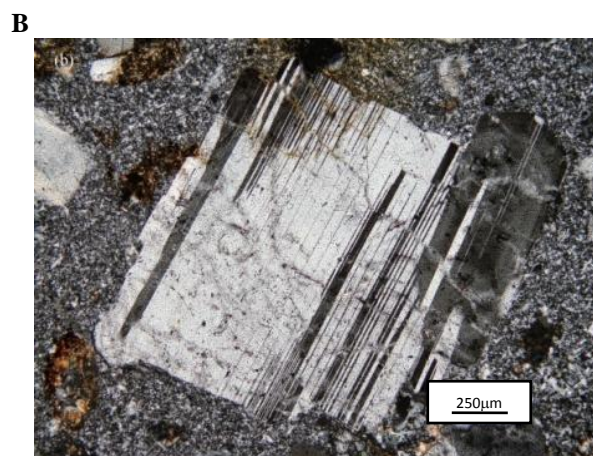
شکل ۳- نامگذاری سنگ‌های شرق نابر بر اساس نمودار Q-A-P (Le Maitre et al., 1989)

به دام می‌افتد (Nakamura and Shimakita, 1998). ماکل پلی‌سننتیک نیز در بلورهای پلاژیوکلاز وجود دارد و در مواردی بر اثر تحمل تنش، ماکل‌ها شکسته شده و جابه‌جایی در آنها دیده می‌شود (شکل ۴-B). بافت غربالی مشاهده شده در برخی از بلورها می‌تواند در اثر اختلاط و آرایش ماگمایی یا کاهش فشار در هنگام صعود ماگما حاصل شود. همچنین، ورود مقادیر زیادی سیال به مخزن ماگمایی که به علت‌های مختلف رخ می‌دهد نیز تغییرات فشار سیالات را در پی دارد که منجر به تشکیل بافت غربالی می‌شود. این امر نشان‌دهنده وجود یک سیستم باز در حین تبلور است (Humphreys et al., 2006). کانی مافیک در این سنگ‌ها کلینوپیروکسن است که

آندزیت بازالتی: پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن کانی‌های اصلی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد. این کانی‌ها هم به صورت درشت‌بلور و هم به صورت ریزبلور در سنگ‌ها دیده می‌شود. پلاژیوکلازها اغلب حالت منطقه‌ای داشته و دارای حواشی گرد و خورده شده است. خوردگی شیمیایی گاهی به کانی شکل آمیبی داده است (شکل ۴-A). انحلال در بلور طی اختلاط ماگمایی و افزایش درجه حرارت به وجود می‌آید. در همین هنگام، بلور کلسیک‌تر پلاژیوکلاز متبلور می‌شود. در چنین فرآیندی (انحلال و تبلور)، انحلال، مجرای را برای عبور مذاب به سمت سطح بلور فراهم می‌کند و سپس با تبلور پلاژیوکلازهای کلسیک مجرا مسدود می‌شود و مذاب درون بلور

دیگر کانی‌های ثانویه این سنگ‌ها است که در اثر تجزیه پلاژیوکلازها و کلینوپیروکسن‌ها تشکیل شده است و همراه با کلریت و کلسیت در اطراف این کانی‌ها وجود دارد. آپاتیت به صورت کانی فرعی و به شکل سوزنی در داخل پلاژیوکلازها و کلینوپیروکسن‌ها دیده می‌شود.

اغلب تحت تأثیر فرآیندهای دگرسانی قرار گرفته و در نتیجه این فرآیندها به کلسیت، اسفن، ترمولیت-اکتینولیت و کانی‌های کدر تبدیل شده است. تبدیل پیروکسن به آمفیبول شاید در اثر هجوم محلول‌های آبدار به داخل شبکه کلینوپیروکسن به وجود آمده باشد. اپیدوت از



شکل ۴- A) خوردگی شیمیایی به کانی پلاژیوکلاز منطقه شرق نابر شکل آمیبی داده است (XPL)؛ B) جابه‌جایی در ماکل‌های پلاژیوکلاز که در اثر تحمل تنش به وجود آمده است (XPL).

تا نیمه شکل‌دار با ماکل پلی‌سنتتیک و گوشه‌دار که تجزیه‌شدگی ندارد یا کمتر تجزیه شده‌اند و ب) بلورهای پلاژیوکلاز با بافت غربالی (شکل ۶- A)، حاشیه غبار آلود و منطقه‌بندی با تغییرات ترکیب شدید. این پلاژیوکلازها اغلب حواشی گردشده و خوردگی خلیجی نشان می‌دهد. پژوهشگران بسیاری بافت‌های ناشی از جذب دوباره و منطقه‌بندی را به فرآیند اختلاط ماگمایی نسبت می‌دهند (Anderson, 1984; Ginibre et al., 2002; Wallace and Bergantz, 2002). فرآیندهای جذب دوباره و رشد می‌تواند در طول زمان تکرار شود که منجر به تولید طرح‌های منطقه‌بندی نوسانی می‌شود (Perugini and Poli, 2012). پلاژیوکلاز غبارآلود موقعی تشکیل می‌شود که ترکیب پلاژیوکلاز نسبت به پلاژیوکلاز متعادل

آندزیت: آندزیت‌ها در نمونه دستی به رنگ خاکستری بوده و پلاژیوکلازها با رنگ سفید و آمفیبول‌ها با رنگ سبز تیره در آنها کاملاً مشخص هستند. همچنین، در برخی از نمونه‌ها ادخال‌های ماکروسکوپی دیده می‌شود (شکل ۵). در بررسی‌های میکروسکوپی، پلاژیوکلاز، آمفیبول و کوارتز کانی‌های اصلی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد. بیوتیت هم به صورت اولیه به مقدار بسیار اندک در مقاطع دیده می‌شود و هم به صورت ثانویه از تجزیه آمفیبول‌ها به وجود آمده است. اپیدوت، کلریت، سربسیت و کانی‌های کدر از دیگر کانی‌های ثانویه در این سنگ‌ها هستند. پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی تشکیل‌دهنده در آندزیت‌های منطقه شرق نابر است. درشت‌بلورهای این کانی به دو صورت دیده می‌شوند: الف) بلورهای شکل‌دار

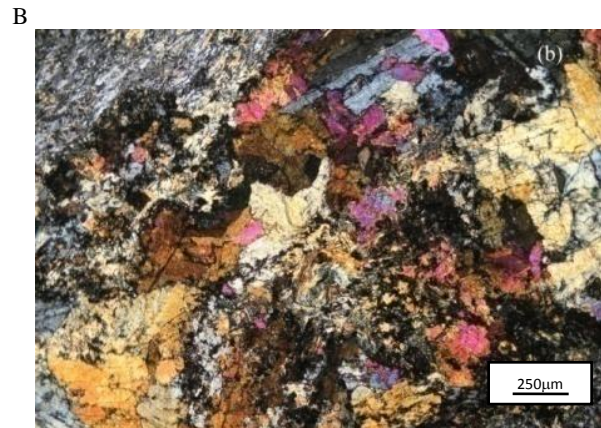
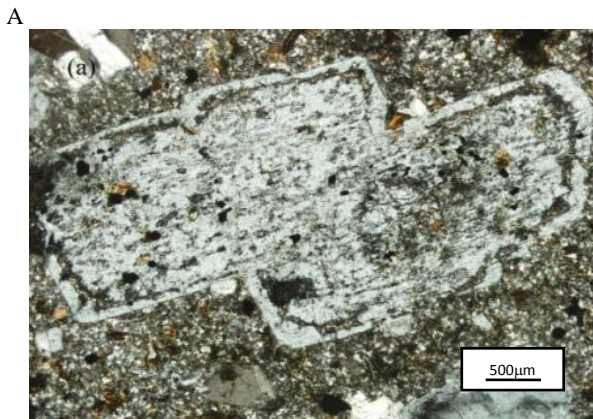


آمفیبول‌ها در حال تبدیل شدن به بیوتیت و کلریت هستند و کانی‌های کدر نیز در اطراف این کانی‌ها مشاهده می‌شود. بعضی از آمفیبول‌ها ادخال‌هایی از پلاژیوکلاز دارند و ماکل کارلسباد و کمربندی مشاهده شده در آنها گویای اولیه بودن این کانی است. کوارتز به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار تا بی شکل با اندازه متوسط تا کوچک و همچنین، به صورت ریزبلور در زمینه سنگ‌ها دیده می‌شود. این کانی اغلب دارای حواشی گرد شده بوده و خوردگی خلیجی نیز از دیگر ویژگی‌های مشاهده شده در آن است. کوارتزها در اثر کاهش فشار ناشی از بالا آمدن ماگما دچار هضم و ذوب می‌شوند یا تحت تأثیر حرارت یک مذاب جدید دچار تغییر شکل شده، گرد و خلیجی می‌شوند (Shelley, 1993).

با مذاب از آلبیت غنی‌تر باشد. به عبارتی، این بافت زمانی ایجاد می‌شود که اختلاط ماگمایی انجام شده و پلاژیوکلازهای سدیک در یک ماگمای بازالتی که در آن پلاژیوکلاز کلسیک در حال تبلور است قرار گیرد (Moinevaziri and Ahmadi, 2009). فرآیند سرسیتی شدن و سوسوریتی شدن در بسیاری از پلاژیوکلازها دیده می‌شود و تجمع غیر عادی اپیدوت در بعضی از مقاطع نشان‌دهنده هجوم سیالاتی است که حاوی تشکیل‌دهنده‌های اصلی اپیدوت بوده‌اند (شکل ۶-B). آمفیبول یکی از فراوان‌ترین کانی‌های مافیک در این سنگ‌ها است که به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار دیده می‌شود. این کانی در مقاطع طولی با یک دسته رخ موازی و در مقاطع عرضی به صورت شش‌گوش با دو دسته رخ مشخص می‌شود. در مواردی



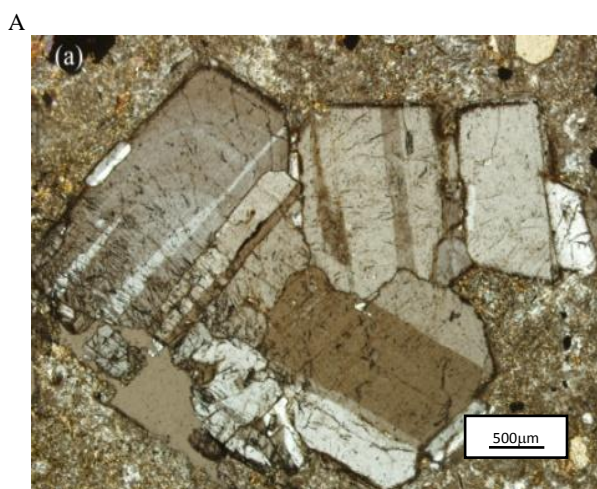
شکل ۵- وجود ادخال در نمونه‌های دستی آندزیت‌های شرق نابر



شکل ۶- (A بافت غربالی در بلورهای پلاژیوکلاز (XPL)؛ B) تجمع اپیدوت در اطراف بلورهای پلاژیوکلاز شرق نابر (XPL)

آب در حین صعود ماگما حاصل شود (Gioncada *et al.*, 2006). آمفیبول از جمله کانی‌های تیره در این سنگ‌ها است که به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و گاهی ادخال‌هایی از پلاژیوکلاز، بیوتیت و کلریت در آنها وجود دارد (شکل ۷-۷). کوارتز به عنوان یک کانی شاخص در این سنگ‌ها بوده که به صورت درشت‌بلور یا در زمینه سنگ‌ها دیده می‌شود. این کانی اغلب به شکل بلورهای گردشده و دارای خوردگی خلیجی است. این بلورها در اثر کاهش فشار ناشی از بالا آمدن ماگما، دچار هضم و ذوب می‌شود یا تحت تأثیر حرارت یک مذاب جدید دچار تغییر شکل شده و گرد و خلیجی می‌شود (Shelley, 1993). ضخامت نواحی هضم شده زمان محبوس شدن آنها را توسط ماگمای تزریقی نشان می‌دهد (Browne *et al.*, 2006). بیوتیت‌ها در مقاطع مطالعه شده به رنگ قهوه‌ای تیره با چند رنگی قوی به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و در اندازه‌های متوسط تا کوچک وجود دارد. کلریت، کلسیت و اسفن از کانی‌های ثانویه این سنگ‌ها است و آپاتیت به صورت ادخال در بعضی از پلاژیوکلازها دیده می‌شود.

**داسیت و ریولیت:** این سنگ‌ها از نظر کانی‌شناسی مشابه بوده و از کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت، آمفیبول و فلدسپار پتاسیم تشکیل شده‌اند. تفاوت آنها با یکدیگر در مقدار کانی‌های بیان شده است. به این ترتیب که مقدار کوارتز و فلدسپار پتاسیم در ریولیت‌ها بیشتر و مقدار آمفیبول در این سنگ‌ها کمتر است. پلاژیوکلاز یکی از کانی‌های عمده در این سنگ‌ها به شمار می‌رود که هم در زمینه و هم به صورت فنوکرست شکل‌دار، نیمه شکل‌دار و بی‌شکل در مقاطع دیده می‌شود و دارای ماکل پلی‌سنتتیک و منطقه‌بندی است. وجود بافت غربالی، حاشیه غبارآلود (شکل ۷-۷-۷-۷)، حواشی تحلیل رفته و گردشده بلورها نشان‌دهنده شرایط ناپایدار در محیط تبلور بوده و شاید در اثر صعود سریع ماگما (Blatt and Tracy, 1995) یا فرآیندهای آلیش و هضم (McBirney, 2007) ایجاد شده باشد (Pirmohammadi, 2012). پلاژیوکلازهای دارای حاشیه غبارآلود می‌تواند در نتیجه اختلاط ماگمایی، هضم بلورهای بیگانه پلاژیوکلاز توسط ماگمای نفوذی یا کاهش ناگهانی فشار و تغییر فشار بخار



شکل ۷-۷ (A) حاشیه غبارآلود در بلورهای پلاژیوکلاز (XPL)؛ (B) ادخال‌هایی از پلاژیوکلاز و بیوتیت در آمفیبول‌های شرق نابر (XPL)

## مینرال شیمی

**کلینوپیروکسن:** پیروکسن‌ها به سیلیکات‌های زنجیره‌ای متعلق هستند که فرمول عمومی آنها به صورت  $M1M2T_2O_6$  مشخص می‌شود و شامل: یک موضع تتراهدری و دو موضع اکتاهدری است. بر اساس طبقه‌بندی Morimoto و همکاران (۱۹۸۸) پیروکسن‌ها به چهار گروه تقسیم می‌شود: الف) پیروکسن‌های (Quad) Ca-Mg-Fe، ب) پیروکسن‌های (Ca-Na)، ج) پیروکسن‌های Na و د) پیروکسن‌های دیگر. بر مبنای نمودار Q-J (Morimoto *et al.*, 1988) سنگ‌های آتشفشانی شرق ناب در محدوده پیروکسن‌های (Quad) Ca-Mg-Fe قرار می‌گیرد (شکل A-۸). با توجه به قرار گرفتن نمونه‌ها در محدوده (Quad) می‌توان از نمودار Wo-En-Fs (Morimoto *et al.*, 1988) استفاده نمود. در این نمودار ترکیب کلینوپیروکسن‌ها از نوع دیوپسید است (شکل B-۸).

**آمفیبول:** آمفیبول یکی از فراوان‌ترین کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌های آتشفشانی شرق ناب است. حضور این کانی به مقدار زیاد نشان‌دهنده غنی بودن ماگمای در حال تبلور از آب است. با نمودار BNa در برابر BCa+BNa (Leake *et al.*, 1997) آمفیبول‌های مورد بررسی در محدوده کلسیک واقع می‌شود (شکل A-۹) و در نمودار تقسیم‌بندی آمفیبول‌ها بر اساس Si در مکان T در برابر  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  (Leake *et al.*, 1997) در محدوده مگنزیوهورنبلند و ترمولیت قرار می‌گیرد (شکل B-۹).

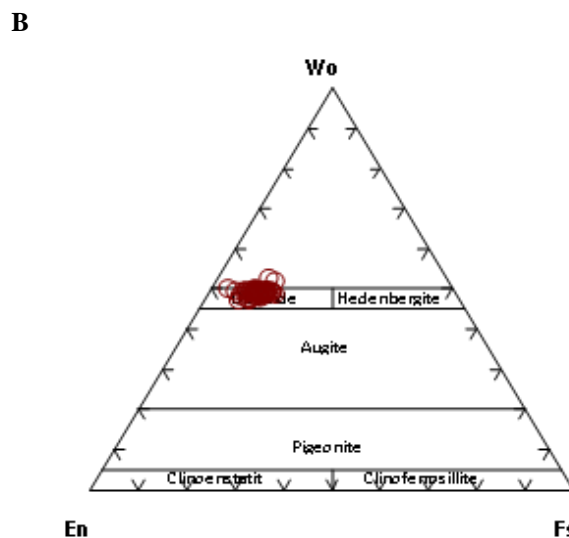
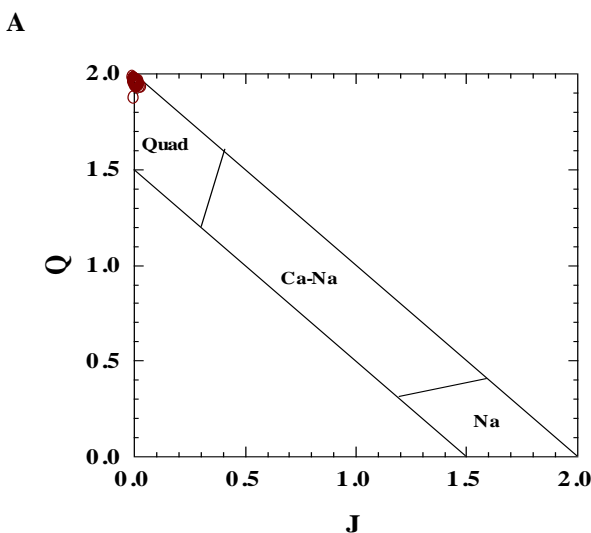
**فلدسپار:** پلاژیوکلاز عمده‌ترین کانی تشکیل‌دهنده سنگ‌های آتشفشانی شرق ناب است که هم به صورت فنوکریست و هم در زمینه این

سنگ‌ها وجود دارد. با نمودار (Deer Ab-Or-An) (1992) *et al.* ترکیب پلاژیوکلازهای مورد مطالعه در محدوده الیگوکلاز تا لابرادوریت قرار می‌گیرد و یک نمونه در قلمرو فلدسپار پتاسیم قرار گرفته است (شکل ۱۰). بلورهای پلاژیوکلاز در سنگ‌های آتشفشانی شرق ناب در اغلب موارد دارای منطقه‌بندی هستند (شکل A-۱۱). بافت منطقه‌ای در این بلورها نشان‌دهنده آهسته بودن سرعت ایجاد تعادل نسبت به سرعت تبلور است. منطقه‌بندی نوسانی در پلاژیوکلازها نشان‌دهنده شرایط فیزیکی شیمیایی متفاوت در حین تبلور به واسطه ورود ماگمای تازه به داخل مخزن ماگمایی و فرآیند اختلاط ماگمایی (Perugini *et al.*, 2005)، کاهش فشار ناگهانی در اثر بالا آمدن ماگما (Nelson and Montana, 1992) و افزایش فشار بخار آب است. منطقه‌بندی معکوس در صورتی تشکیل می‌شود که سرعت سرد شدن در زیر نقطه سالیدوس کاهش یابد یا تراکم سازندگان باقی‌مانده در مجاورت سطوح بلور افزایش پیدا کند (Shelley, 1993). (Pearse و Nixon, ۱۹۸۷) معتقدند که معکوس شدگی مشخصی که در منطقه‌بندی پلاژیوکلاز مشاهده می‌شود در اثر اختلاط حاصل از تزریق ماگمای بازیگ به وجود آمده است (شکل B-۱۱).

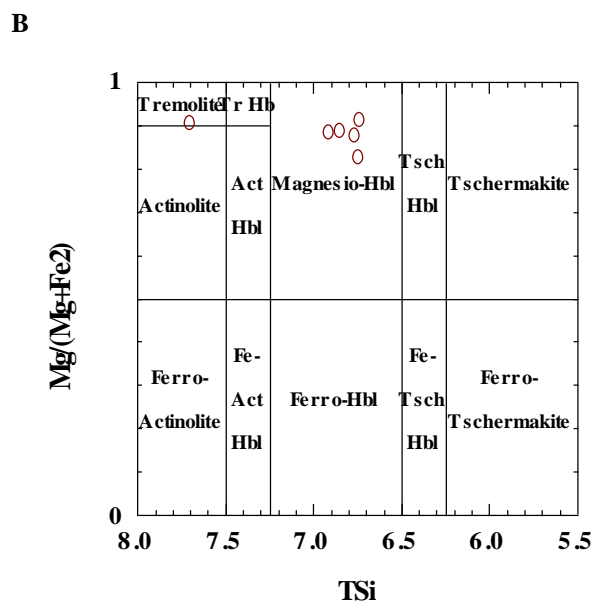
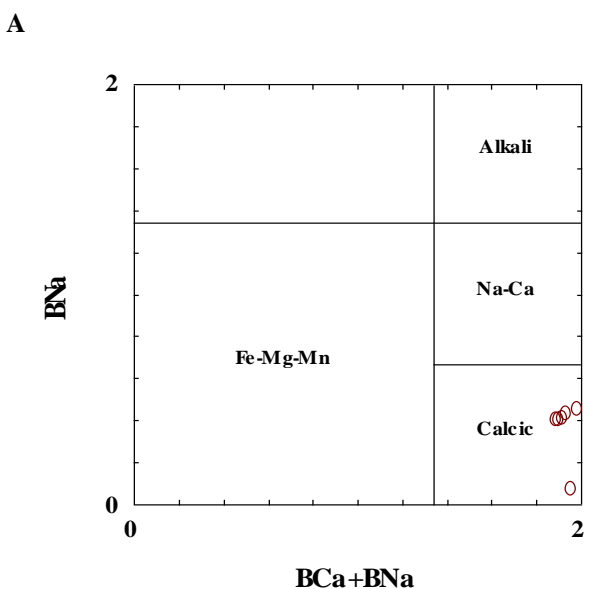
**تعیین سری ماگمایی:** پژوهشگران بسیاری مانند: (Le Bas, 1962؛ Nisbet and Pearce, 1977؛ Letierri *et al.*, 1982؛ Beccaluva *et al.*, 1989) بر وابستگی ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها بر ترکیب ماگمای میزبان تأکید کرده‌اند و این امر باعث اهمیت کلینوپیروکسن‌ها در تعیین سری ماگمایی و موقعیت نکتونیک سنگ میزبان شده است. با نمودار  $Al_2O_3$  در برابر  $SiO_2$  (Le Bas, 1962) می‌توان نوع سری

سری‌های ماگمایی آلکان، توله‌ایتی و کالک‌آلکان از هم‌ارایه نموده است. با این نمودار و استفاده از ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها، نمونه‌های مورد بررسی به دلیل کمبود  $TiO_2$  در محدوده سنگ‌های کالک‌آلکان قرار می‌گیرد (شکل ۱۲-ب).

ماگمایی را تعیین کرد. موقعیت قرارگیری نمونه‌ها در این نمودار نشان می‌دهد که نمونه‌های مطالعه شده در محدوده ساب‌آلکان واقع می‌شود (شکل ۱۲-ا). همچنین، Le Bas (۱۹۶۲) بر اساس مقادیر  $Al_2O_3$  در مقابل  $TiO_2$  نمودار دیگری برای تفکیک

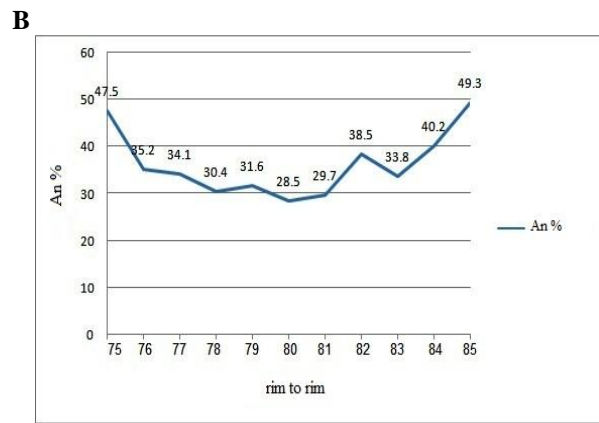
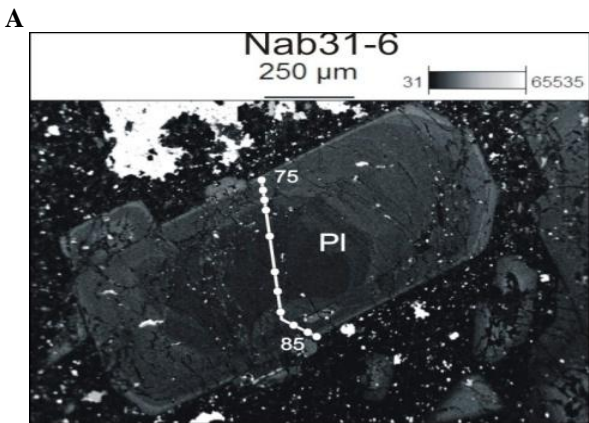
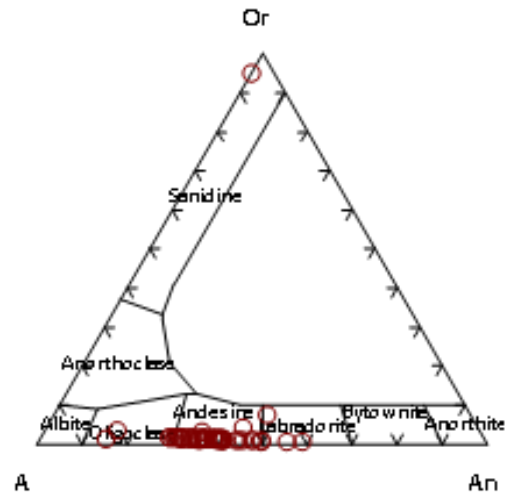


شکل ۸-ا) قرارگیری کلینوپیروکسن‌های منطقه شرق ناب در محدوده Quad (Morimoto *et al.*, 1988)؛ ب) کلینوپیروکسن‌های منطقه شرق ناب در محدوده دیوپسید قرار می‌گیرد (Morimoto *et al.*, 1988)

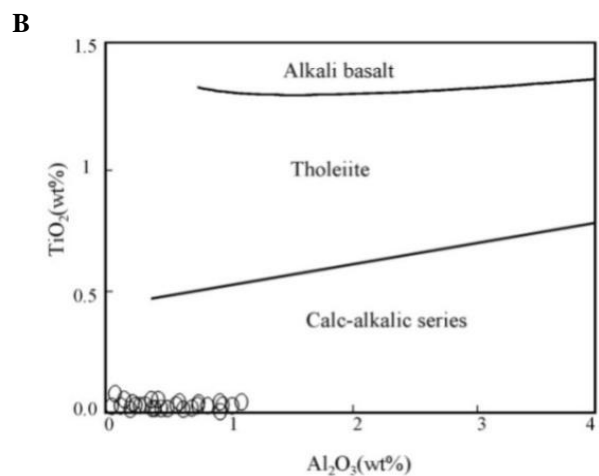
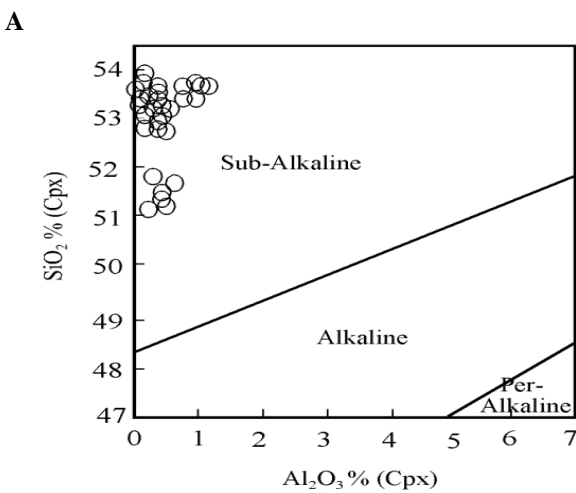


شکل ۹-ا) قرارگیری آمفیبول‌های منطقه شرق ناب در محدوده کلسیک (Leake *et al.*, 1997)؛ ب) آمفیبول‌های منطقه شرق ناب از نوع مگنزیوهورنبلند و ترمولیت است (Leake *et al.*, 1997)

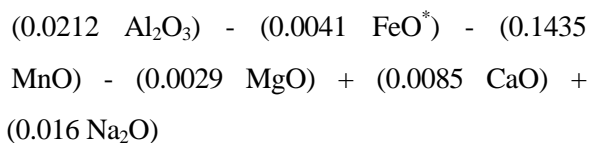
شکل ۱۰- ترکیب پلاژیوکلازهای منطقه شرق نابر در محدوده الیگوکلاز تا لابرادوریت است (Deer et al., 1992).



شکل ۱۱- (A) منطقه بندی نوسانی در پلاژیوکلازهای منطقه شرق نابر؛ (B) نمودار درصد آنورتیت در نقاط تجزیه شده، نقاط به ترتیب از حاشیه به حاشیه است. معکوس شدگی مشخصی که در شکل دیده می شود می تواند در اثر تزریق ماگمای بازیک به مخزن و اختلاط ماگمایی، حاصل شده باشد.

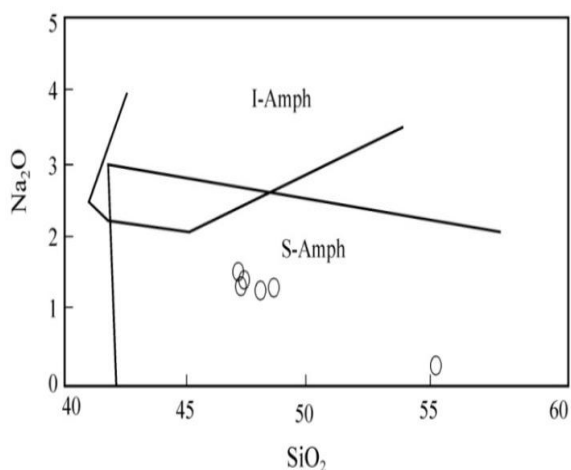


شکل ۱۲- (A) ترکیب کلینوپیروکسن‌های منطقه شرق نابر نشان می دهد که ماگمای سازنده سنگ‌ها از نوع ساب‌آلکان است (Le Bas, 1962) با توجه به شیمی کلینوپیروکسن‌ها ماگمای سازنده سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر در محدوده کالک‌آلکان واقع می شود (Le Bas, 1962).



با توجه به وارد شدن عناصر مختلف در ساختمان آمفیبول‌ها از ترکیب شیمیایی آنها نیز می‌توان برای تعیین موقعیت تکتونیکی استفاده کرد.

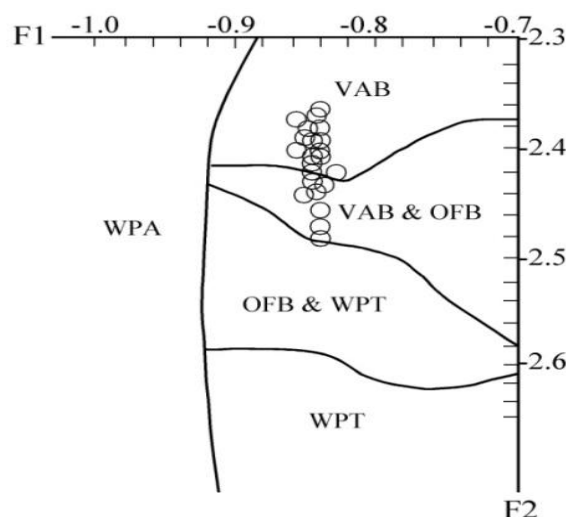
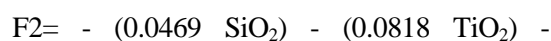
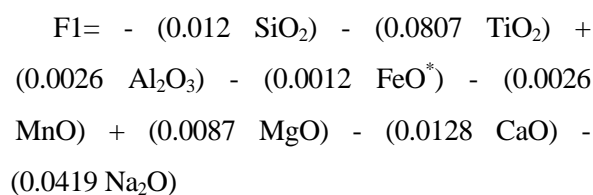
بنا بر عقیده Coltorti و همکاران (۲۰۰۷) ویژگی شیمیایی آمفیبول‌ها برای مشخص نمودن محیط‌های تکتونیکی مختلف به کار می‌رود. این پژوهشگران نمودار  $\text{SiO}_2$  در برابر  $\text{Na}_2\text{O}$  را برای تفکیک محیط‌های فرورانش (Subduction) و میان‌صفحه‌ای (Interplate) از هم ارایه نمودند. بر این اساس، آمفیبول‌های مربوط به فرورانش (S-Amph)،  $\text{TiO}_2$  و  $\text{Na}_2\text{O}$  پایین‌تری نسبت به انواع میان‌صفحه‌ای (I-Amph) دارد. استفاده از این نمودار نشان می‌دهد که آمفیبول‌های مورد مطالعه در محیط‌های فرورانش تشکیل شده‌اند (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- موقعیت قرارگیری آمفیبول‌های منطقه شرق نابر در نمودار  $\text{SiO}_2$  در برابر  $\text{Na}_2\text{O}$  (Coltorti *et al.*, 2007) نشان می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر در مناطق فرورانش شکل گرفته‌اند.

### تعیین محیط تکتونیکی: ترکیب

کلینوپیروکسن‌ها وابسته به ترکیب شیمیایی گدازه میزبان آنها است. این ویژگی سبب می‌شود که به توان از ترکیب شیمیایی این کانی به ویژه انواع فنوکریست آن، برای تعیین نوع ماگما و موقعیت تکتونیکی گدازه میزبان استفاده کرد (Mahmoudabadi *et al.*, 2012). در دیاگرام F1-F2 که بر اساس داده‌های حاصل از کلینوپیروکسن‌ها رسم می‌شود، می‌توان محیط تکتونیکی سنگ‌های میزبان این کانی را نشان داد (Nisbet and Pearce, 1977). با توجه به این نمودار، سنگ‌های آتشفشانی منطقه شرق نابر در محدوده کمان‌های آتشفشانی قرار می‌گیرد (شکل ۱۳). روش محاسبه F1 و F2 به این صورت است:



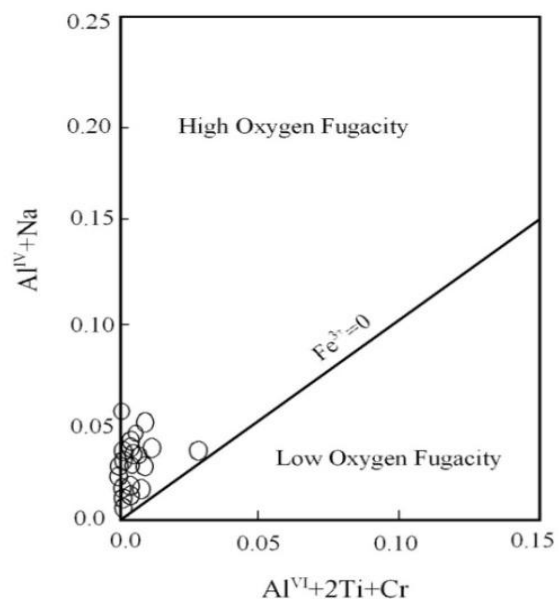
شکل ۱۳- موقعیت قرارگیری کلینوپیروکسن‌های منطقه شرق نابر در نمودار F1-F2 (Nisbet and Pearce, 1977). محیط تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر کمان‌های آتشفشانی است.

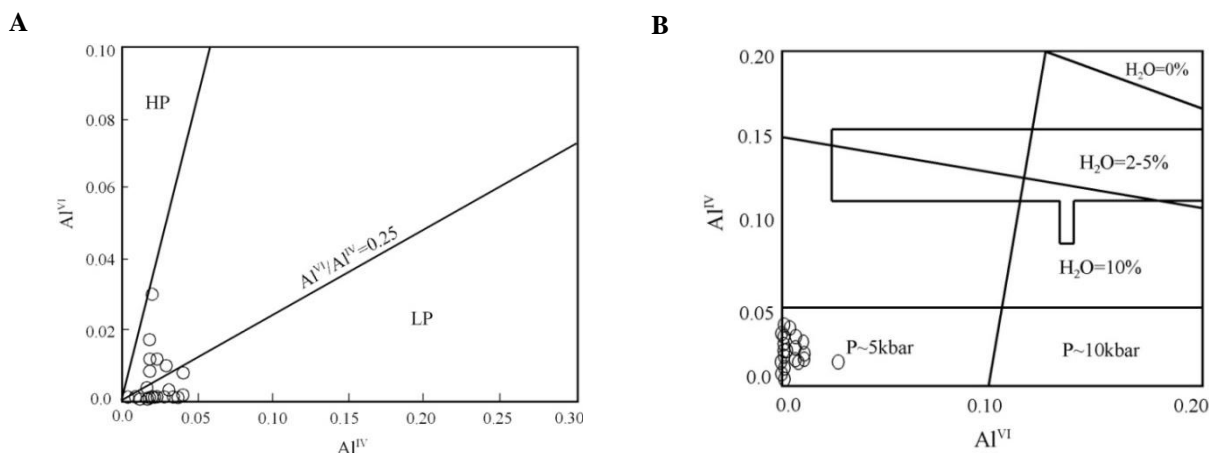
دلالت می‌کند (شکل ۱۵). قرارگیری Al در موقعیت‌های چهار وجهی و هشت وجهی کلینوپیروکسن‌ها به فشار و میزان آب موجود در محیط تبلور بستگی دارد. به این صورت که هر چه میزان  $Al^{VI}$  موجود در کلینوپیروکسن‌ها بیشتر باشد، این کانی در فشار بالاتری تشکیل شده است. همچنین، میزان  $Al^{IV}$  با افزایش مقدار آب موجود در محیط تبلور پیروکسن‌ها کاهش می‌یابد. بر این اساس، با نمودار  $Al^{IV}$  در برابر  $Al^{VI}$  (Aoki and Shiba, 1973) کلینوپیروکسن‌های مورد مطالعه در فشارهای متوسط تا کم تشکیل شده‌اند. این امر نشان می‌دهد که تبلور پیروکسن‌ها در هنگام صعود و از اعماق به طرف سطح انجام شده است (شکل ۱۶-A).

Helz (۱۹۷۳) نیز بر مبنای مقدار  $Al^{VI}$  در مقابل  $Al^{IV}$  نموداری برای تخمین درصد تقریبی آب ماگما ارائه نموده است. طبق این نمودار مقدار آب ماگمایی در زمان تشکیل کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر بالا بوده است و این کانی‌ها در محدوده فشار پنج کیلو بار تشکیل شده‌اند (شکل ۱۶-B).

تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی تبلور: فوگاسیته اکسیژن عامل مؤثری برای کنترل فرآیندهای ماگمایی است و بر توالی تبلور و نوع کانی‌های تبلور یافته تأثیر گذار است. میزان فوگاسیته اکسیژن به نوع محیط تکتونیکی ماگما وابسته است. برای تعیین فوگاسیته اکسیژن در محیط به وسیله کلینوپیروکسن از روش Schweitzer و همکاران (۱۹۷۹) استفاده شده است. این پژوهشگران نمودار  $Al^{IV}+Na$  در برابر  $Al^{VI}+2Ti+Cr$  را به این منظور ارائه نمودند که خود تابعی از میزان  $Fe^{3+}$  است. در نمودار مورد نظر اگر نمونه‌ها در بالای خط  $Fe^{3+}=0$  قرار گرفته باشد، پیروکسن‌ها در فوگاسیته بالای اکسیژن متبلور شده‌اند و اگر در پایین خط واقع شده باشد نشان‌دهنده فوگاسیته پایین اکسیژن است. در ضمن، هر چه فاصله نمونه‌ها از این خط بیشتر باشد، فوگاسیته اکسیژن در محیط تشکیل پیروکسن بیشتر بوده است (Cameron and Papike, 1981). استفاده از این نمودار نشان می‌دهد که پیروکسن‌های مورد بررسی در بالای خط  $Fe^{3+}=0$  قرار گرفته‌اند و این امر بر بالا بودن فوگاسیته اکسیژن در هنگام تبلور کلینوپیروکسن‌ها

شکل ۱۵- نمودار  $Al^{VI}+2Ti+Cr$  در برابر  $Al^{IV}+Na$  (Schweitzer et al., 1979) نشان‌دهنده فوگاسیته بالای اکسیژن در هنگام تشکیل کلینوپیروکسن‌های منطقه شرق نابر است.



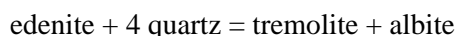


شکل ۱۶- A) بر اساس نمودار  $Al^{IV}$  در برابر  $Al^{VI}$  (Aoki and Shiba, 1973) کلینوپیروکسن‌های منطقه شرق نابر در فشارهای کم تا متوسط تشکیل شده‌اند؛ B) موقعیت قرارگیری کلینوپیروکسن‌های منطقه شرق نابر در نمودار  $Al^{VI}$  در برابر  $Al^{IV}$  (Helz, 1973).

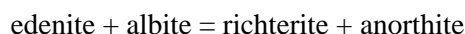
برآورد شده است.

یکی از روش‌های متداول برای دماسنجی، استفاده از روش هورنبلند-پلاژیوکلاز (Holland and Blundy, 1994) است. این زمین‌دماسنج یک زمین‌دماسنج تبدلی بوده که بر مبنای رابطه‌های ۳ و ۴ است:

رابطه (۳)



رابطه (۴)



از رابطه ۳ در شرایطی استفاده می‌شود که کوارتز در سنگ وجود داشته باشد و رابطه ۴ برای سنگ‌های فاقد کوارتز کاربرد دارد. به علت حضور کوارتز در سنگ‌های شرق نابر رابطه ۳ به کار می‌رود. این رابطه برای سنگ‌های آذرین فلسیک و حد واسطی کاربرد دارد که حاوی کوارتز، پلاژیوکلاز با  $An < 0.92$  و آمفیبول‌هایی با  $Si < 7.8$  باشد. همچنین، این رابطه برای دماهای ۵۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد استفاده می‌شود. بر اساس این روش، دمای تعادل بین این دو کانی در فشارهای یک تا پنج کیلو بار به ترتیب بین ۷۲۴ تا ۷۷۲ درجه سانتیگراد (با میانگین ۷۵۰ درجه

بر اساس رابطه ۱، (Putirka *et al.*, 1996; 2003) می‌توان دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌ها را در سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر به دست آورد:

رابطه (۱)

$$\frac{10^4}{T(K)} = 6.39 + 0.076(H_2O^{liq}) - 5.55(X_{CaO}^{liq} X_{SiO_2}^{liq}) - 0.386 \ln(X_{MgO}^{liq}) - 0.046P(\text{kbar}) + 2.2 \times 10^4 [P(\text{kbar})]^2$$

با استفاده از این رابطه، میانگین دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌های مورد مطالعه ۹۷۵ درجه سانتیگراد به دست آمد.

فشارسنجی Al در آمفیبول برای مجموعه کوارتز، آلکالی‌فلدسپار، پلاژیوکلاز، بیوتیت، اسفن و مگنتیت یا ایلمنیت کاربرد دارد. مجموعه این کانی‌ها نشان‌دهنده تعادل ماگمایی بوده و بارومتری به وسیله Al در آمفیبول را امکان‌پذیر می‌سازد.

Schmidt (۱۹۹۲) برای فشارسنجی بر اساس محتوای  $Al^{Total}$  در آمفیبول، رابطه ۲ را ارائه داد:

رابطه (۲)

$$P (\pm 0.6 \text{Kbar}) = -3.01 + 4.76 Al^{Total}$$

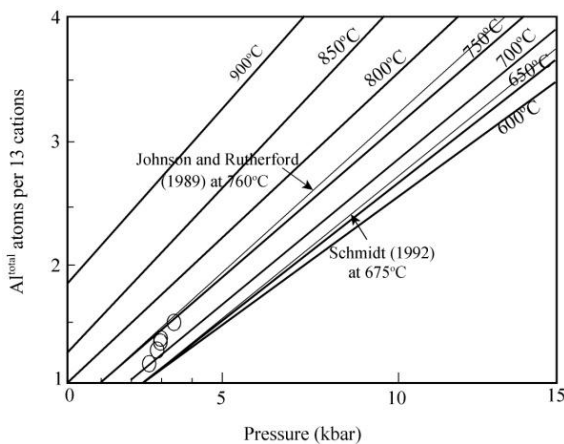
با استفاده از این رابطه، میانگین فشار برای سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر ۲/۹۷ کیلو بار



مقدار فشار محاسبه شده از روش Schmidt (۱۹۹۲) در این رابطه به کار رفته است. دماسنجی آمفیبول‌های مورد مطالعه بر مبنای این رابطه، نشان‌دهنده دمای ۷۱۸ تا ۷۴۶ درجه سانتیگراد است. نمودار فشار در برابر  $Al^{Total}$  (Johnson and Schmidt, 1992; Rutherford, 1989) نیز دمای ۷۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد را برای آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر نشان می‌دهد (شکل ۱۷).

سانتیگراد) و ۶۸۱ تا ۷۲۳ درجه سانتیگراد (با میانگین ۷۰۵ درجه سانتیگراد) برآورد شده است. Vynhal و همکاران (۱۹۹۱) نیز به منظور ارزیابی وابستگی‌های ممکن بین دما، فشار و ترکیب شیمیایی هورنبلند، رابطه ۵ را در فشارهای ۱ تا ۲۰ کیلو بار برای محاسبه دما پیشنهاد کرده‌اند:

$$T=25.3P+654.9$$



شکل ۱۷- موقعیت قرارگیری آمفیبول‌های منطقه شرق نابر در نمودار فشار در برابر  $Al^{Total}$  (Johnson and Rutherford, 1989; Schmidt, 1992)

## بحث

به عنوان دلایلی بر وقوع اختلاط ماگمایی در نظر گرفته شود. مطالعه یک نمونه پلاژیوکلاز دارای منطقه‌بندی که نقاط تجزیه شده به ترتیب از حاشیه به حاشیه است، نشان‌دهنده منطقه‌بندی نوسانی و معکوس‌شدگی در منطقه‌بندی است که این امر بیانگر افزایش میزان کلسیم در حواشی است که می‌تواند در اثر تزریق ماگمای بازیک ایجاد شده باشد. آزمایش‌های انجام شده بر روی کلینوپیروکسن‌ها و آمفیبول‌ها نشان می‌دهد که ترکیب این کانی‌ها به شیمی سنگ کل، فشار، دما و فوگاسیته اکسیژن بستگی دارد. بنابراین، می‌توان از آنها در تعیین سری ماگمایی، محیط تکتونیکی، فشار و دما استفاده نمود. نمودارهای متمایز کننده محیط تکتونیکی، نشان‌دهنده ارتباط این نمونه‌ها

بر اساس مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی، ترکیب سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر طیفی از سنگ‌های حد واسط تا اسیدی را در بر می‌گیرد و شامل: آندزیت بازالتی، آندزیت، داسیت و ریولیت است. در بررسی‌های میکروسکوپی، پلاژیوکلاز و هورنبلند فراوان‌ترین فنوکریست‌های تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها بوده و وجود دو نوع فنوکریست پلاژیوکلاز به خوبی در آنها مشخص است. برخی از بلورهای پلاژیوکلاز شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و تقریباً سالم هستند و نوع دوم دارای بافت غربالی، حاشیه غبارآلود، منطقه‌بندی و حواشی خورده شده و گردشده است که این شواهد نشان‌دهنده بافت‌های عدم تعادل است و می‌تواند

پایین‌تر از پنج کیلو بار و در حاشیه فعال قاره‌ای شکل گرفته‌اند. محاسبات حاصل از ترمومتری با روش هورنبلند-پلاژیوکلاز دمای ۷۰۵ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد را برای فشارهای یک تا پنج کیلو بار نشان می‌دهد. همچنین، با روش Vynhal و همکاران (۱۹۹۱) دمای ۷۱۸ تا ۷۴۶ درجه سانتیگراد به دست آمده است که با داده‌های حاصل از روش هورنبلند-پلاژیوکلاز سازگار بوده و صحت داده‌ها را تأیید می‌کند. دمای حاصل از ترمومتری کلینوپیروکسن‌ها نیز ۹۷۵ تا ۹۸۰ درجه سانتیگراد است.

### نتیجه‌گیری

سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر شامل: آندزیت بازالتی، آندزیت، داسیت و ریولیت است. با توجه به مطالعات پتروگرافی بافت‌های پورفیری، گلمروپورفیری، غربالی و میکرولیتی مهم‌ترین بافت‌های موجود در این سنگ‌ها هستند. کانی‌های پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن کانی‌های اصلی آندزیت‌های بازالتی را تشکیل می‌دهد و در آندزیت‌ها پلاژیوکلاز و آمفیبول کانی‌های اصلی به شمار می‌رود و کوارتز و بیوتیت به مقدار کمتر در این سنگ‌ها حضور دارد. داسیت‌ها و ریولیت‌ها از پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت، فلدسپار پتاسیم و آمفیبول تشکیل شده‌اند و تفاوت آنها در مقدار کانی‌های بیان شده است. به این ترتیب که در داسیت‌ها مقدار آمفیبول بیشتر و مقدار فلدسپار پتاسیم کمتر از ریولیت‌ها است. اپیدوت، اسفن، کلریت، کلسیت و کانی‌های کدر کانی‌های ثانویه سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر را تشکیل می‌دهد. پلاژیوکلازها به دو صورت در آندزیت‌های منطقه شرق نابر دیده می‌شود: الف) بلورهای شکل‌دار و نیمه شکل‌دار با ماکل پلی‌سنتتیک و ب) بلورهای پلاژیوکلاز با بافت غربالی، حاشیه غبارآلود و

با فرآیند فرورانش و شکل‌گیری این سنگ‌ها در حاشیه فعال قاره‌ای است. همچنین، نمودارهای مربوط به تعیین سری ماگمایی، سری ماگمایی ساب‌آلکان و از نوع کالک‌آلکان را برای سنگ‌های آتشفشانی منطقه شرق نابر نشان می‌دهد که با توجه به نتایج تجزیه‌های ژئوشیمیایی و بالا بودن میزان کلسیم و همچنین، قرار گرفتن سنگ‌های آتشفشانی منطقه شرق نابر در کمر بند ماگمایی ارومیه-دختر این امر مورد تأیید است. تشکیل  $Al^{VI}$  در کلینوپیروکسن‌های آذرین بسیار وابسته به فشار است و کمبود  $Al^{VI}$  مشاهده شده در کلینوپیروکسن‌ها با فشار کم در هنگام تبلور سازگار است. همچنین، میزان  $Al^{IV}$  با افزایش مقدار آب در محیط تبلور پیروکسن‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین، با توجه به تجزیه‌های کلینوپیروکسن‌ها و ترسیم نمودار  $Al^{VI}$  در برابر  $Al^{IV}$  موجود در فرمول ساختاری آنها، کلینوپیروکسن‌ها در فشارهای کم تا متوسط تشکیل شده‌اند و این امر شاید بیانگر تبلور آنها در حین صعود باشد. با توجه به پایین بودن میزان  $Al^{IV}$ ، مقدار آب و همچنین، فوگاسیته اکسیژن نیز در محیط تبلور آنها بالا بوده است. آمفیبول از کانی‌های مناسب برای تعیین دما و فشار در سنگ‌های آذرین است. این کانی در محدوده وسیعی از دما و فشار پایدار است (Leake *et al.*, 1997). مقدار  $Al$  در آمفیبول‌های کلسیک با افزایش فشار بالا می‌رود و با افزایش دما مقدار  $Al^{IV}$  بیشتری در مکان Si قرار می‌گیرد. با توجه به فشارسنجی آمفیبول‌ها میانگین فشار به دست آمده بر اساس شیمی آنها ۲/۹۷ کیلو بار برآورد شده است که با نتایج تجزیه‌های این کانی مطابقت دارد. به این ترتیب که، بنابر عقیده Vynhal و همکاران (۱۹۹۱) میزان  $Al^{IV}$  کمتر از ۱/۵ مربوط به آمفیبول‌هایی است که در فشارهای

شیمیایی آمفیبول‌ها نشان‌دهنده تشکیل این سنگ‌ها در محیط‌های فرورانش است. با توجه به پایین بودن مقدار  $Al^{VI}$  در پیروکسن‌های منطقه شرق نابر و بر اساس فشارسنجی‌های انجام شده، کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در فشارهای کم تا متوسط و در هنگام صعود تشکیل شده‌اند. پایین بودن میزان  $Al^{IV}$  در این پیروکسن‌ها نشان‌دهنده افزایش میزان آب در محیط تبلور آنها است. بر مبنای نمودار  $Al^{VI}+2Ti+Cr$  در برابر  $Al^{IV}+Na$  در هنگام تشکیل پیروکسن‌ها فوگاسیته اکسیژن بالا بوده است. دماسنجی کلینوپیروکسن‌ها دمای حدود ۹۷۵ درجه سانتیگراد را برای تشکیل آنها نشان می‌دهد. بر اساس ترموبارومتري آمفیبول‌ها نیز فشار ۲/۹۷ کیلوبار و دمای ۷۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد به دست آمده است.

#### سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از حمایت‌های تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان سپاسگزاری می‌نمایند. همچنین از پروفیسور Hans Massonne و دکتر Thomas Theye از دانشگاه اشتوتگارت آلمان برای همکاری در انجام آنالیزها قدردانی می‌گردد.

منطقه‌بندی نوسانی هستند. توسعه بافت غربالی در پلاژیوکلازها به تغییرات فیزیکی و شیمیایی در مخزن ماگمایی یا در حین صعود ماگما نسبت داده شده است. از جمله این تغییرات می‌توان به فشار، دما و ترکیب شیمیایی ماگما اشاره کرد. معمولاً حضور همزمان پلاژیوکلازهای نرمال و غربالی توسط کاهش فشار توجیه‌پذیر نبوده و اختلاط ماگمایی را می‌توان دلیل این حالت دانست. علاوه بر بافت غربالی، وجود حاشیه غبارآلود و منطقه‌بندی نوسانی در پلاژیوکلازها و حواشی گردشده و خوردگی خلیجی در کانی‌ها همگی بر ناپایداری و برقرار نبودن تعادل کامل در محیط تشکیل سنگ‌های آتشفشانی شرق نابر دلالت می‌کند و نشان می‌دهد که این سنگ‌ها شاید در اثر صعود سریع ماگما یا فرآیندهای اختلاط و آرایش ایجاد شده باشد. بر اساس مطالعات شیمیایی کانی‌ها، ترکیب پلاژیوکلازها الیگوکلاز تا لابرادوریت، کلینوپیروکسن‌ها دیوپسید و آمفیبول‌ها مگنزیه‌هورنبلند و ترمولیت است. با توجه به شیمی کلینوپیروکسن‌ها، ماگمای تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها ساب‌آلکالن و از نوع کالک‌آلکالن بوده و در محیط زمین‌ساختی کمان‌های قاره‌ای قرار می‌گیرد. همچنین، ترکیب

#### منابع

- Abasi, S. (2012) Petrography and petrology of intermediate rocks in the east of Nabar area (SW of Kashan). MSc thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran (in Persian).
- Aghanabati, A. (2004) Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Anderson, A. T. (1984) Probable relations between plagioclase zoning and magma dynamics: Fuego volcano, Guatemala. *American Mineralogist* 69: 660-676.
- Aoki, K. and Shiba, I. (1973) Pyroxenes from Iherzolite inclusions of Itinome-Gata, Japan. *Lithos* 6: 41-51.
- Azizi, H. and Moinevaziri, H. (2009) Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran. *Journal of Geodynamics* 47: 167-179.
- Beccaluva, L., Macciotta, G., Piccardo, G. B. and Zeda, O. (1989) Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator. *Chemical Geology* 77: 165-182.

- Blatt, H. and Tracy, R. (1995) *Petrology: igneous, sedimentary and metamorphic*. W. H., Freeman book Company, New York.
- Browne, B. L., Eichelberger, J. C., Patio, L. C., Vogel, T. A., Uto, K. and Hoshizumi, H. (2006) Magma mingling as indicated by texture and Sr/Br ratios of plagioclase phenocrysts from Unzen volcano, SW Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 157: 103-116.
- Cameron, M. and Papike, J. J. (1981) Structural and chemical variations in pyroxenes. *American Mineralogist* 66: 1-50.
- Coltorti, M., Bonadiman, C., Faccini, B., Gregoire, M., O'Reilly, S. Y. and Powell, W. (2007) Amphiboles from suprasubduction and intraplate lithospheric mantle. *Lithos* 99: 68-84.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1992) *An introduction to the rock forming minerals*. Longman, London.
- Ebrahimi, L. (2013) *Petrology and petrography of volcanic rocks in the east of Nabar (SW of Kashan)*. MSc thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran (in Persian).
- Emami, M. H. (2000) *Magmatism in Iran*. Geological survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Ghasemi, A. and Talbot, C. J. (2005) A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 26: 683-693.
- Ginibre, C., Kronz, A. and Worner, G. (2002) High-resolution quantitative imaging of plagioclase composition using accumulated back-scattered electron image: new constraints on oscillatory zoning. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 142: 436-448.
- Gioncada, A., Hauser, N., Matteini, M., Mazzuolir, M. and Omarini, R. (2006) Mingling and mixing features in basaltic andesites of the eastern Cordillera (Central Andes, 24° s): a petrographic and microanalytical study. *Peridico di Mineralogia Issu* 75: 127-140.
- 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.
- Holland, T. and Blundy, J. (1994) Non-ideal interaction in calcic amphibole and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contribution to mineralogy and Petrology* 116: 433-447.
- Humphreys, M. C. S., Blundy, J. D., Stephan, R. and Sparka, J. (2006) Magma evolution and open-system processes at Shiveluch volcano: insights from phenocryst zoning. *Journal of Petrology* 47: 2303-2334.
- Javadi, F. (2012) *Petrology and geochemistry of east of Nabar skarn at the south west of Kashan*. MSc thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran (in Persian).
- Johnson, M. C. and Rutherford, M. J. (1989) Experimental calibration of the aluminum in hornblende geobarometer with application to Long Valley Caldera (California) volcanic rocks. *Geology* 17: 837-841.
- Leake, B. E., Wolley, R., Arps, C. E. S., Birch, W. D., Gilbert, M. C., Grice, J. D., Hawthorn, F. C., Kato, A., Kisch, H. J., Krivovichev, V. G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W. V., Nickel, E. H., Rock, N. M. S., Schumacher, J. C., Smith, D. C., Stephenson, N. C. N., Ungaretti, L., Whittaker, E. J. W. and Youzhi, G. (1997) Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and mineral names. *Canadian Mineralogist* 35: 219-246.
- Le Bas, M. J. (1962) The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. *American Journal of Science* 260: 267-288.
- Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Kellre, J., Le Bas, M. J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorenson, H., Streckeisen, A., Woolley, A. and Zanettin, B. (1989) *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Blackwell Publishing, Oxford.

- 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-volcano series. *Earth and Planetary Science Letters* 59: 139-154.
- Mahmoudabadi, L., Tabatabaeimanesh, M. and Torabi, G. (2012) Petrography and mineral chemistry of Eocene volcanic in the southwest of Jandaq (northeast of Isfahan). *Petrology* 3(10): 95-107 (in Persian).
- McBirney, A. R. (2007) *Igneous petrology*. 3<sup>rd</sup> edition. Jones and Bartlett Learning, Barlington, Canada.
- Moinevaziri, H. (1996) A preface of magmatism in Iran. Tarbiat Moallem University Publication, Tehran (in Persian).
- Moinevaziri, H. and Ahmadi, A. (2009) *Petrography and petrology of igneous rocks*. Tarbiat Moallem University Publication, Tehran (in Persian).
- 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.
- Nakamura, M. and Shimakita, S. (1998) Dissolution origin and synentrapment compositional change of melt inclusion in plagioclase. *Earth and Planetary Science Letters* 161: 119-133.
- Nelson, T. S. and Montana, A. (1992) Sive-textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression. *American Mineralogist* 77: 1242-1249.
- 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.
- Nixon, G. T. and Pearce, T. H. (1987) Laster-interferometry study of oscillatory zoning in plagioclase: the record of magma mixing and phenocryst recycling in calc-alkaline magma chambers: Iztaccihuatl volcano, Mexico. *American Mineralogist* 72: 1144-1162.
- Perugini, D., Poli, G. and Valentini, L. (2005) Strange attractors in plagioclase oscillatory zoning: petrological implications. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 149: 482-497.
- Perugini, D. and Poli, G. (2012) The mixing of magmas in plutonic and volcanic environments: analogies and differences. *Lithos* 132: 1-17.
- Pirmohammadi Alishah, F., Ameri, A., Jahangiri, A., Mojtahedi, M. and Keskin, M. (2012) Petrology and geochemistry of volcanic rocks from the south of Tabriz (Sahand volcano). *Petrology* 3(9): 37-56 (in Persian).
- Putirka, K. D., Johnson, M., Kinzler, R. and Walker, D. (1996) Thermobarometry of mafic igneous rocks based on clinopyroxene-liquid equilibria, 0-30 kbar. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 123: 92-108.
- Putirka, K. D., Mikaelian, H., Ryerson, F. and Shaw, H. (2003) New clinopyroxene-liquid thermobarometers for mafic, evolved, and volatile-bearing lava compositions, with applications to lavas from Tibet and the Snake River Plain, Idaho. *American Mineralogist* 88: 1542-1554.
- Radfar, J. and Alai Mahabadi, S. (1993) Explanatory text of Kashan. Geological Map of Iran 1:100000, Serues Sheet 6257, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Schmidt, M. W. (1992) Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al in hornblende barometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 110: 304-310.
- Schweitzer, E. L., Papike, J. J. and Bence, A. E. (1979) Statistical analysis of clinopyroxenes from deep-sea basalts. *American Mineralogist* 64: 502-513.
- Shelley, D. (1993) *Igneous and metamorphic rocks under the microscope*. Chapman and Hall, London.
- Vynhal, C. R., McSween, H. Y. and Speer, J. A. (1991) Hornblende chemistry in southern Appalachian

---

granitoids: implications for aluminum hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability. *American Mineralogist* 76: 176-188.

Wallace, G. and Bergantz, G. (2002) Wavelet-based correlation (WBC) of crystal populations and magma mixing. *Earth and Planetary Science Letters* 202: 133-145.

## **Petrography and mineral chemistry of the east Nabar volcanic rocks (southwest of Kashan)**

**Leila Ebrahimi and Seyed Mohsen Tabatabaei Manesh \***

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

### **Abstract**

The east Nabar volcanic rocks with Eocene age are located in the southwest of Kashan and Uromieh-Dokhtar magmatic belt. These rocks are composed of basaltic andesite, andesite, dacite and rhyolite. Plagioclase, amphibole, clinopyroxene, biotite and quartz are the essential minerals of these rocks. Very few apatites are observed in some plagioclases. Epidote, calcite, chlorite, sphene and opaque are secondary minerals. Porphyritic, glomeroporphyritic, microlitic and poikilitic textures are common textures in these rocks. On the base of microprobe analyses the composition of plagioclase ranges from oligoclase to labradorite, the clinopyroxenes are diopside and the amphiboles are magnesiohornblende and tremolite. The chemistry of clinopyroxenes show that these rocks belong to sub-alkaline series and volcanic arcs. On the base of barometry of clinopyroxenes, the study rocks formed in medium to low pressure during their ascending. The volume of water in the crystallization environment of clinopyroxenes was high and the rocks studied formed in high oxygen fugacity. The thermometry of clinopyroxenes reveals the temperature of 975 °C for their crystallization. The amphiboles thermobarometry shows the pressure of 2.97 kbar and the temperature of 700-750 °C.

**Key words:** Mineral chemistry, Volcanic, Nabar, Uromieh-Dokhtar magmatic belt, Central Iran zone

---

\* tabatabaei@cc.iut.ac.ir