

## محیط جایگیری توده نفوذی گابرو-دیوریت بر اساس کلینوپیروکسن (جنوب تیکمه داش، آذربایجان شرقی)

\*مرضیه رضایی اقدم<sup>۱</sup>، قهرمان سهرابی<sup>۲</sup>

۱- گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

mrezaeiaghdam@pnu.ac.ir

### چکیده

توده نفوذی گابرو-دیوریتی بستان آباد- هشت‌رود در جنوب تیکمه داش به داخل سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن نفوذ کرده است. شیمی پیروکسن بیانگر ترکیب دیوپسید آلومینیم‌دار و تعلق نمونه‌ها به ماگمای میزبان با ماهیت ساب آکالن و کالک الکالن و محصول تفریق ماگما هستند. افزایش فعالیت کلسیم چرماک با افزایش مقدار  $Al^{(VI)}$  در ساختمان کانی، بیانگر فزونی فشار هنگام تبلور کانی است. سنگ‌های منطقه مورد بررسی متعلق به یک کمان آتشفشانی کرانه فعال قاره ای و محیطی با فوگاسیته بالای اکسیژن می‌باشند.

**کلیدواژه‌ها:** شیمی کانی، کلینوپیروکسن، محیط جایگیری، گابرو-دیوریت، تیکمه داش

## Emplacement environment of a clinopyroxene-based gabbro-diorite intrusive mass (south of Tikmeh Dash, East Azerbaijan)

\*Marzieh Rezaei Aghdam, <sup>2</sup>Ghahraman Sohrabi

Department of Geology, Faculty of Sciences Payame Noor University, Tehran, Iran

Department of Geology; Mohaghegh Ardabili University; Ardabil

mrezaeiaghdam@pnu.ac.ir

### Abstract

The Bostan Abad-Hashrud gabbro-diorite intrusion south of Tikme Dash has intruded into Eocene volcanic-sedimentary rocks. The pyroxene chemistry indicates the composition of aluminum-bearing diopside and the samples belong to the host magma with a subalkaline and calc-alkaline nature and the product of magma fractionation. The increase in calcium chermak activity with an increase in the amount of  $Al^{(VI)}$  in the mineral structure indicates an increase in pressure during mineral crystallization. The rocks of the studied area belong to an active continental margin volcanic arc and environment with high oxygen fugacity.

**Keywords:** Mineral chemistry, Clinopyroxene, Thermo-barometry, gabbro-diorite, Shirwandeh

### ۱- مقدمه

بسیاری از محققین معتقد هستند که ترکیب شیمیایی کانی‌های موجود در سنگ از سری ماگمایی سنگ میزبان تبعیت می‌کند (Zhu and Ogasawara, 2004). به همین دلیل، مطالعات سنگ‌نگاری و شیمی کانی‌ها یکی از بهترین راه‌های شناخت فرآیندهای ماگمایی است که می‌تواند شرایط تبلور و فرایندهای تأثیرگذار بر تبلور کانی‌ها را با دقت بیشتری

توضیح دهد (Molina *et al.*, 2009). هدف از انجام این پژوهش، مطالعه پتروگرافی و شیمی کانی کلینوپیروکسن و شرایط محیط جایگیری توده ی گابرویدیوریتی تیکمه داش می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

پس از پیمایش های صحرایی بخش‌های مختلف واحد گابرویدیوریتی تیکمه داش، تعداد ۱۵ نمونه ی مناسب جهت انجام آزمایشات ریز کاو الکترونی (EMPA) برای تعیین ترکیب کانیهای تشکیل دهنده گابرویدیوریت (پلاژیوکلاز، الیوین، پیروکسن و بیوتیت) به آزمایشگاه آکادمی علوم چین (Academy of Sciences, Beijing, China) ارسال گردید. کانی‌های سیلیکاته منتخب مقاطع به تعداد ۴۲ نقطه با دستگاه EMPA با ولتاژ ۱۵ الکترون ولت و طول موج ۰/۰۰۱ nA آنالیز گردیدند. در طی آنالیز، از کالیبراسیون (Element intensity cps/nA) برای عناصر Na, Mg, Al, Fe, Mn, Si, Ca, Cr, Ni, Ti استفاده شده است.

## ۳- بحث

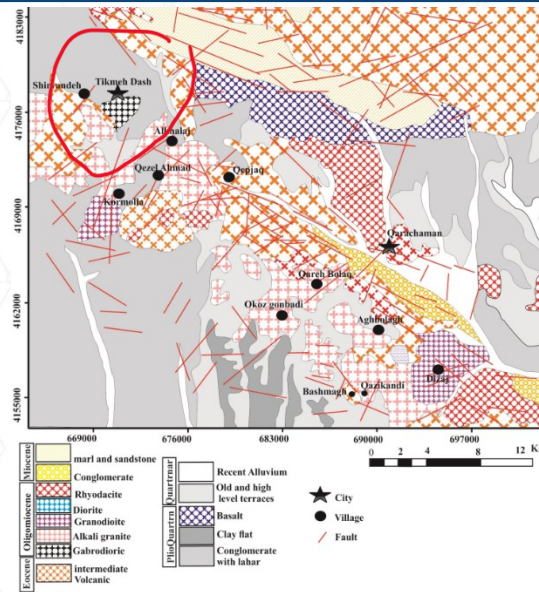
### زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه بخشی از زون البرز- آذربایجان است که توده‌های گابرویدیوریتی در جنوب تیکمه داش برونزد دارند. بر اساس نقشه های ۱:۱۰۰۰۰۰ بستان آباد (بهریزی و همکاران، ۱۳۷۵)، هشتگرد (امینی آذر و غدیرزاده، ۱۳۷۱) و قره چمن (اسدیان و همکاران، ۱۳۷۳) (شکل ۱)، مهمترین واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه شامل سنگ‌های ولکانیکی ائوسن، توده‌های نفوذی و گنبد‌های ساب ولکانیکی الیگوسن- میوسن، تناوبی از ماسه سنگ و مارن‌های میوسن و واحدهای آذرآواری پلیوسن-پلئیسوتوسن مرتبط با آتشفشان سهند می‌باشند. واحدهای آتشفشانی ائوسن توسط انواع توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی قطع شده و هر دو مجموعه اغلب توسط واحدهای آذرآواری پلیوسن-پلئیسوتوسن پوشیده شده است. توده‌های گرانیتوئیدی بصورت استوک‌های کوچک تا بزرگ واحدهای ائوسن را قطع نموده است. گرانودیوریت، مونزوگرنیت، مونزودیوریت اغلب در جنوب شرقی قره‌چمن و میکرو آلکالی گرانیت تا آپلیت در شمال هشتگرد رخمون دارند. گابرویدیوریت در جنوب تیکمه داش بصورت استوک و به ابعاد تقریبی دو کیلومتر در یک کیلومتر برونزد دارد (شکل ۱).

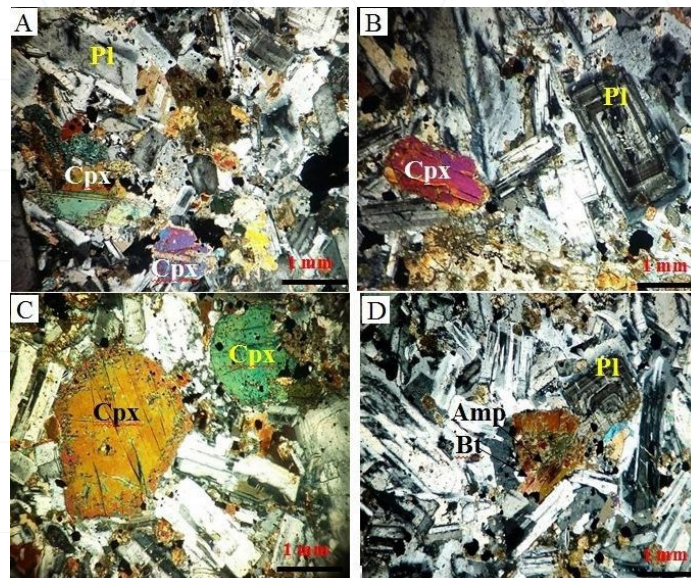
### پتروگرافی

در گابرویدیوریت تیکمه داش کانی‌های پلاژیوکلاز کلسیک و کلینوپیروکسن به ترتیب بیشترین فراوانی را دارند. بیوتیت و کانی‌های کدر نیز در ترکیب سنگ حضور دارند. بافت اصلی این سنگ‌ها اغلب شامل گرانولار و ساب افیتیک می‌باشند (شکل ۲- الف و ب). در مقاطع نازک، پلاژیوکلاز اغلب بصورت ایدیومورفیک تا هیپ ایدیومورفیک و فراوانی ۴۵-۴۰ درصد حجمی، گاهی با زونینگ و منطقه بندی دیده می‌شود. (شکل ۲- ب). پلاژیوکلازها در حدود ۱ میلی‌متر بوده و ترکیب شیمیایی آنها بر حسب زاویه خاموشی (حدود ۵۵ درجه)، لابرادوریت تعیین شده است. برخی از پلاژیوکلازها دارای ادخال‌هایی از سوزنهای آپاتیت، اسفن و زیرکن می‌باشند. بلورهای کلینوپیروکسن با فراوانی ۳۵-۳۰ درصد با اندازه بیش از ۲ میلی‌متر به صورت نیمه شکل دار تا شکل دار بوده و زاویه خاموشی ۴۳ درجه نشان می‌دهند (شکل ۲- ب). بلورهای کلینوپیروکسن اغلب منطقه بندی و دوقلویی (شکل ۲- الف) و یا حاشیه پوئی کلیتیک نشان می‌دهند (شکل ۲- پ). بیوتیت‌ها در مقاطع نازک به رنگ قهوه‌ای کم‌رنگ تا پررنگ دیده می‌شوند (شکل ۲- ت). آمفیبول هیپ ایدیومورفیک از دیگر کانیهای فرعی مافیک بوده که کمتر از ۵ درصد حجمی سنگ را تشکیل می‌دهد. آمفیبول ها اغلب بصورت بلورهای ریز پرکننده در همجواری میکاها و کانیهای مافیک دیده می‌شوند (شکل ۲- ت).





شکل ۱- نقشه ساده شده از منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه های ۱:۱۰۰۰۰۰ بستان آباد (Behrozi et al., 1997)، هشت‌رود (Aminiazar and Ghadirzadeh, 1993) و قره چمن (Asadian et al., 1995).



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی کانیهای توده گابرو دیوریتی جنوب تیکمه داش در حالت XPL الف- بافت گرانولار، کلینوپیروکسن (Cpx) با منطقه بندی دوقلویی، ب- پلاژیوکلاز (Plg) زونه و بافت ساب افکتیک در گابرو دیوریت، ب- حاشیه پویی کلیتیک در کلینوپیروکسینها (Cpx)، ت- پلاژیوکلاز (Plg) زونه، آمفیبول (Am) و بیوتیت (Bt) در گابرو دیوریت. علائم استفاده شده برای معرفی کانی‌ها از (Whitney and Evans, 2010) می‌باشد.

### شیمی بلور پیروکسن

کانی پیروکسن در گابرو دیوریت جنوب تیکمه داش اغلب به شکل بلورهای درشت بوده و تعداد ۱۷ نقطه از آنها مورد بررسی ریزپردازشی قرار گرفتند. بر اساس نمودار  $\text{Al (a.p.f.u)} / \text{Fe}^{3+} \text{ (a.p.f.u)}$  ارائه شده توسط (Morimoto et al., 1988) کلینوپیروکسن‌های مورد مطالعه در بخش دیوپسید آلومینیم‌دار قرار می‌گیرند (شکل ۳-الف). کلینوپیروکسن‌های با عدد منیزیم کمتر از ۸۶٪ محصول تفریق ماگما هستند (Lebas, 1962; Deer et al., 1992). با توجه به اینکه تمام نمونه‌های مورد مطالعه  $\text{Mg\#} > 70\%$  دارند، می‌توان تمام نمونه‌ها را حاصل تفریق ماگمایی دانست. نمودار تعیین سری ماگمایی بر

اساس ترکیب شیمی پیروکسن از (Nisbet and Pearce, 1997) نشانگر تعلق نمونه‌ها به ماگمای میزبان با ماهیت ساب آکالن می‌باشد (شکل ۳-ب). همچنین، از ترکیب بلورهای کلینوپیروکسن برای ارزیابی ماهیت ماگما در نمودار Leterrier و همکاران (۱۹۸۲) استفاده شده که بر این اساس، ترکیب ماگمای سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده ساب آکالن و سری کالک آکالن هستند (شکل ۳-ب)

جدول ۱- نتایج تجزیه میکروپروب کلینوپیروکسن در گابرو دیوریت جنوب تیکمه‌دش بر اساس شش اتم اکسیژن.

Rim-Cor	Px.gb R1-1	Px.gb R1-2	Px.gb C1-3	Px.gb C1-4	Px.gb C1-5	Px.gb C1-6	Px.gb R1-7	Px.gb R1-8
SiO <sub>2</sub>	50.79	50.94	50.97	50.97	50.66	50.67	50.67	50.69
TiO <sub>2</sub>	0.57	0.56	0.48	0.45	0.53	0.49	0.49	0.52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.25	3.28	3.48	3.55	2.98	3.2	3.5	3.27
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18	0.12	0.12	0.09	0.11	0.14	0.14	0.12
FeO	7.92	7.88	7.68	7.83	7.67	7.56	7.56	7.68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.07	2.06	1.98	1.95	2.03	1.99	1.99	2.02
MnO	0.29	0.22	0.19	0.18	0.2	0.18	0.18	0.21
MgO	13.7	13.54	13.36	13.42	13.74	13.4	13.32	13.29
CaO	20.56	20.64	21.21	20.76	20.49	20.79	20.83	20.96
Na <sub>2</sub> O	0.5	0.55	0.61	0.55	0.57	0.58	0.58	0.6
K <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
	99.84	99.8	100.1	99.76	98.99	99.01	99.28	99.37
Si	1.9	1.9	1.9	1.9	1.91	1.91	1.9	1.9
Ti	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al	0.14	0.14	0.15	0.16	0.13	0.14	0.15	0.14
Cr	0.01	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06
Fe <sup>2+</sup>	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	0.76	0.75	0.74	0.75	0.77	0.75	0.75	0.74
Ca	0.82	0.83	0.85	0.83	0.83	0.84	0.84	0.84
Na	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	4	4	4	4	4	4	4	4
En	0.42	0.41	0.41	0.41	0.42	0.41	0.41	0.41
Fs	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Wo	0.45	0.45	0.46	0.46	0.45	0.46	0.46	0.46

	Px.gb R1-1	Px.gb R1-2	Px.gb C1-3	Px.gb C1-4	Px.gb C1-5	Px.gb C1-6	Px.gb R1-7	Px.gb R1-8
Cr#	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02
Ti+Cr+Na	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Al <sup>VI</sup> +2Ti+Cr	0.09	0.09	0.09	0.1	0.08	0.09	0.1	0.09
Ti+Cr	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
TiO <sub>2</sub> +Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.75	0.68	0.6	0.54	0.64	0.63	0.63	0.64
100Al <sup>IV</sup>	10.21	9.6	10.24	9.58	9.41	9.29	9.81	9.79
Al <sup>IV</sup> +Fe <sup>3+</sup>	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

	Px.gb R2-1	Px.gb R2-2	Px.gb R2-3	Px.gb C2-4	Px.gb C2-5	Px.gb C2-6	Px.gb R2-7	Px.gb R2-8	Px.gb R2-9
SiO <sub>2</sub>	50.84	50.85	50.9	50.92	50.64	50.71	50.73	50.97	50.98
TiO <sub>2</sub>	0.48	0.48	0.47	0.45	0.47	0.41	0.42	0.4	0.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.53	3.54	3.59	3.68	3.06	3.08	3.16	3.16	3.18
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.2	0.2	0.17	0.17	0.12	0.09	0.07	0.04	0.07
FeO	7.56	7.53	7.45	7.45	8.3	8.32	8.18	8.17	8.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.98	1.98	1.97	1.95	1.97	1.91	1.92	1.9	1.9
MnO	0.18	0.19	0.17	0.16	0.14	0.14	0.13	0.11	0.11
MgO	13.29	13.13	13.12	13.1	13.32	12.99	12.94	12.93	12.9
CaO	20.77	20.71	20.72	20.51	20.09	19.44	19.64	19.37	19.63
Na <sub>2</sub> O	0.56	0.56	0.57	0.58	0.57	0.58	0.6	0.6	0.6
K <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0	0.02	0.01
Total	99.4	99.18	99.15	98.99	98.69	97.68	97.79	97.67	97.94

	Px.gb R2-1	Px.gb R2-2	Px.gb R2-3	Px.gb C2-4	Px.gb C2-5	Px.gb C2-6	Px.gb R2-7	Px.gb R2-8	Px.gb R2-9
En	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
Fs	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15	0.15	0.15	0.14
Wo	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.44	0.45	0.44	0.45
Mole fractions									
Cr#	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
Ti+Cr+Na	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Na+Al <sup>IV</sup>	0.13	0.13	0.13	0.12	0.13	0.1	0.11	0.1	0.1
Al <sup>VI</sup> +2Ti+Cr	0.11	0.11	0.12	0.12	0.09	0.12	0.12	0.13	0.12
Ti+Cr	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub> +Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.68	0.68	0.64	0.62	0.59	0.5	0.49	0.44	0.47
Al <sup>IV</sup> +Fe <sup>3+</sup>	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.11	0.12	0.11	0.11



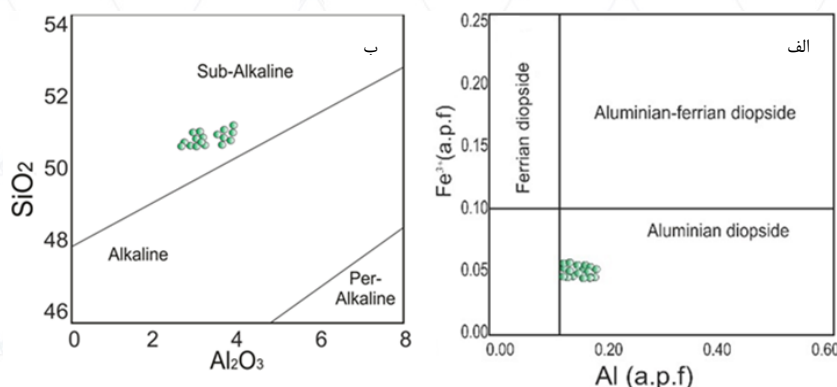
#### محیط جایگیری و فوگاسیته اکسیژن

در نمودار  $Al^{IV} \cdot 100$  در برابر  $TiO_2$  (Ao et al., 2010)، روند نمونه‌ها نسبت به افزایش  $TiO_2$  از ۰/۴ تا ۰/۵۷، مشابیه با کمان‌های ماگمایی است (شکل ۴-الف). با توجه به این که در این کانی‌ها  $Na < Al$  می‌باشد، باید آن‌ها را جزء پیروکسن‌های کلسیک طبقه بندی کرد و با افزایش مقدار  $Al^{(VI)}$  در ساختمان کانی، فعالیت کلسیم چرماک اضافه می‌شود که خود تابعی از فزونی فشار هنگام تبلور کانی است. نمودار تکتونوماگمایی  $F1$  و  $F2$  (Nisbet and Pearce, 1997)، رسم شده بر اساس داده‌های کلینوپروکسن نشان می‌دهد که سنگ‌های منطقه مورد بررسی متعلق به یک کمان آتشفشانی می‌باشند (شکل ۴-ب).  
مقادیر  $F1$  و  $F2$  طبق فرمول‌های ارائه شده محاسبه شده است:

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

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

همچنین محیط زمین ساختی بر اساس داده‌های کلینوپروکسن در نمودار  $Ca$  نسبت به  $Ti+Cr$  ارائه شده توسط al, Leterrier et (1982) که گستره مورب و تولیتی را از کمان آتشفشانی تفکیک می‌کند، کمان آتشفشانی کرانه فعال قاره ای تعیین شد (شکل ۴-پ). به باور Cameron and Papike, (1981)، هر چه فاصله نمونه‌ها از خط  $Fe^{3+}=0$  بیشتر شود، مقدار فوگاسیته اکسیژن در محیط پیدایش آنها بیشتر است. بر پایه نمودار  $Al^{IV}+2Ti+Cr$  نسبت به  $Na+Al^{IV}$  اقتباس از et al., (1979) Schweizer، نمونه‌های بررسی شده در محدوده فوگاسیته بالای اکسیژن قرار گرفته اند (شکل ۴-ت).

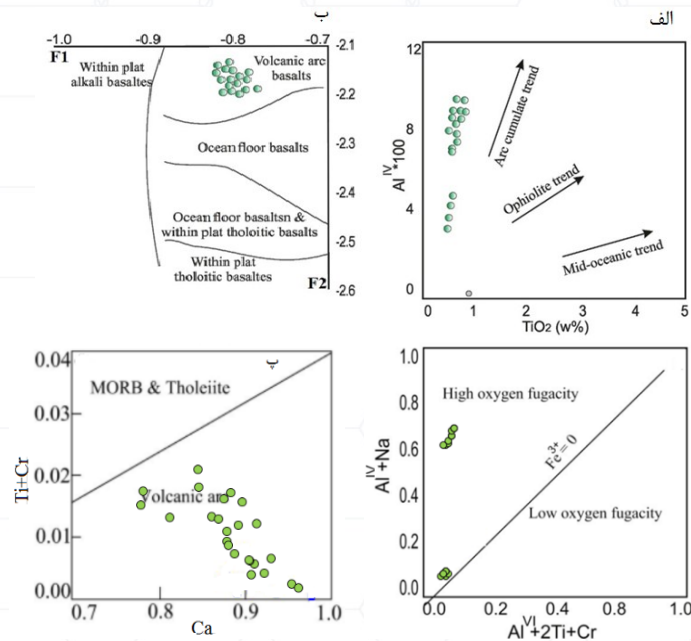


شکل ۳-الف - نمودار  $Al$  (a.p.f.u) در برابر  $Fe^{3+}$  (a.p.f.u) از Morimoto et al., (1988) ب- تعیین سری ماگمایی از Nisbe and Pearce, (1997)

#### ۴- نتیجه‌گیری

نمودار تعیین سری ماگمایی بر اساس ترکیب شیمی پیروکسن نشانگر تعلق نمونه‌ها به ماگمای میزبان با ماهیت ساب آلكالن و سری کالک آلكالن می‌باشد. با توجه به این که در این کانی‌ها  $Na < Al$  می‌باشد، باید آن‌ها را جزء پیروکسن‌های کلسیک طبقه بندی کرد و با افزایش مقدار  $Al^{(VI)}$  در ساختمان کانی، فعالیت کلسیم چرماک اضافه می‌شود که خود تابعی از فزونی فشار هنگام

تبلور کانی است. سنگ‌های منطقه مورد بررسی متعلق به یک کمان آتشفشانی می‌باشند. همچنین محیط پیدایش آنها در محدوده فوگاسیته بالای اکسیژن قرار گرفته اند.



شکل ۴-الف-در نمودار (Ao et al., 2010)، نمونه‌ها در روند مشابه کمان قاره‌ای قرار می‌گیرند. ب-نمودار تکتونوماگمایی (Nisbet and Pearce, 1997)،  
ت- فوگاسیته بالای کلینوپیروکسن ها در نمودار Schweitzer et al., (1979) پ-نمودار Ca نسبت به Ti+Cr اقتباس از (Leterrier et al, (1982)

### منابع:

- امینی آذر، ر.، غدیرزاده، ا. ۱۳۷۱. نقشه زمین شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ هشت‌رود، سازمان زمین شناسی کشور.
- بهریزی، ا.، امینی آذر، ا.، ۱۳۷۵، نقشه زمین شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بستان آباد، سازمان زمین شناسی کشور.
- Zhu, Y. and Ogasawara, Y. (2004) Clinopyroxene phenocrysts (with green salite cores) in, trachybasalts: implications for two magma chambers under the Kokchetav UHP massif, North Kazakhstan. *Journal of Asian Earth Sciences* 22: 517-527.
- Molina, J., Scarrow, J., Montero, P.G. and Bea, F. (2009) High-Ti amphibole as a petrogenetic indicator of magma chemistry: evidence for mildly alkalic-hybrid melts during evolution of Variscan basic-ultrabasic magmatism of Central Iberia. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 158: 69-98.
- Whitney, D.L., Evans, B.W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals, *American Mineralogist* 95:185-187.
- Morimoto, N., Fabrice, J., Ferguson, A., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Akoi, K.I. and Gottardi, G. (1988) Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine* 52: 535 – 555.
- Nisbet, E. G., Pearce, J. A. (1997) Clinopyroxene composition of mafic lavas from different tectonic settings. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 63: 161-173.
- 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.
- Ao, S. J., Xiao, W. J., Han, C. M., Mao, Q. G. and Zhang, J. E. (2010) Geochronology and geochemistry of early Permian mafic-ultramafic complexes in the Beishan area, Xinjiang, NW China: implications for late Paleozoic tectonic evolution of the southern Altaids. *Gondwana Research* 18: 466-478.
- Cameron, M. and Papike, J. J. (1981) Structural and chemical variations. *American Mineralogist* 66: 1-50.
- Schweitzer, E. L., Papike, J. J. and Bence, A. E. (1979) Statistical analysis of clinopyroxenes from deep-sea basalts *American Mineralogist* 64: 501-513.