

## مطالعه شیمی کانی، دما- فشارسنجی و جایگاه تکتونیکی سنگ‌های نفوذی منطقه سرابی تویسرکان (استان همدان)

علی اصغر سپاهی گرو\*، کاظم برزویی و صدیقه سلامی  
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

### چکیده

منطقه سرابی تویسرکان در استان همدان، بخشی از پهنه سندانج- سیرجان است. سنگ‌های این منطقه شامل سنگ‌های آذرین و دگرگونی است که سنگ‌های آذرین دارای طیفی از گابرو تا گرانیت هستند. سنگ‌های گابرویی منطقه شامل الیوین گابرو، گابرونوریت، نوریت و گابرو هستند. با توجه به داماسنجی‌هایی که به روش‌های مختلف بر روی گابروها انجام شد، بیش‌ترین دمای تبلور مربوط به الیوین گابروها و در حدود ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین دما مربوط به گابروها، در حدود ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد است. فشار محاسبه شده با استفاده از کانی کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز حدود ۶ کیلوپار تخمین زده شد. برای تعیین سرشت ماگما و محیط تکتونیکی از کانی‌های کلینوپیروکسن، بیوتیت و آمفیبول استفاده شده. با توجه به ترکیب این کانی‌ها، به‌ویژه آمفیبول، سرشت ماگما از نوع کالک‌آلکالن تا تولییتی، دارای فوگاسیته اکسیژن نسبتاً بالا در زمان تبلور و محیط تشکیل آن، قوس آتشفشانی است.

واژه‌های کلیدی: گابرو، شیمی کانی، دما- فشارسنجی، قوس آتشفشانی، سرابی تویسرکان

### مقدمه

کلینوپیروکسن - پلاژیوکلاز می‌توان فشار (عمق) تشکیل سنگ‌های پلوتونیک را به‌دست آورد (Wass, 1979; Liu *et al.*, 2000). برای تعیین سری ماگمایی و محیط تکتونیکی از ترکیب کانی‌هایی مانند کلینوپیروکسن، بیوتیت و آمفیبول بهره گرفته شده است (Leterrier *et al.*, 1982; Nachite, 1986; Abdel Rahman, 1994). در این نوشتار نیز، ترکیب شیمیایی کانی‌هایی مانند الیوین، کلینوپیروکسن، ارتوپیروکسن، آمفیبول، بیوتیت

امروزه با مطالعه شیمی کانی‌های مختلف سنگ‌های تشکیل‌دهنده یک توده نفوذی می‌توان شرایط دما و فشار (عمق) تشکیل آن را تخمین زد. زمین‌شناسانی مانند Lindsley (۱۹۸۳) از روی ترکیب پیروکسن‌ها و Anderson (۱۹۹۷) از روی زوج کانی‌های آمفیبول- کلینوپیروکسن، دمای تشکیل سنگ‌ها را تخمین زده‌اند. همچنین از روی ترکیب کلینوپیروکسن و زوج کانی

توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ (سازمان جغرافیایی ارتش، ۱۳۵۴) انجام شد. بر اساس این مطالعات، سنگ‌های آذرین منطقه را می‌توان به‌طور کلی در سه دسته سنگ‌های آذرین بازیک و حد واسط، گرانیتوئیدها و رگه‌های نفوذی تقسیم‌بندی نمود. سنگ‌های آذرین بازیک و حدواسط شامل گابرو، الیون‌گابرو، میکروگابرو، گابرونوریت، میکرودیوریت، دیوریت، کوارتز دیوریت و دلریت است که از نظر پتروگرافی و زمین‌شیمیایی قرابت نشان می‌دهند و ماهیت تولییتی دارند. این سنگ‌ها، قدیمی‌ترین سنگ‌های نفوذی این مجموعه را تشکیل می‌دهند (سپاهی‌گرو، ۱۳۷۸). این سنگ‌ها، عمدتاً در بخش‌های شمال شرقی توده الوند، در حوالی روستاهای چشمه قصابان، چایان و نیز در جنوب توده، در حوالی سرابی مشاهده می‌شوند. بخش‌هایی نیز به‌صورت انکلاو در داخل توده قرار دارند که از دیوریت‌ها و گابروهای عباس‌آباد و حوالی پیست اسکی می‌توان نام برد. سنگ‌های گرانیتوئیدی شامل مونزوگرانیت، گرانودیوریت و مقدار کمی سینوگرانیت و آلکالی‌فلدسپارگرانیت است. ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها کالک‌آلکالن است. گرانیتوئیدهای روشن، شامل لوکوتونالیت، لوکوگرانودیوریت، لوکوکوارتز دیوریت و لوکوکوارتز مونزودیوریت هستند که در داخل دیگر گرانیت‌ها قرار دارند. رگه‌های آپلیت و پگماتیت به‌صورت پراکنده، توده‌های نفوذی و سنگ‌های دگرگونی منطقه را قطع کرده‌اند.

آپلیت‌ها دارای بلورهای گارنت و پگماتیت‌ها دارای تورمالین فراوان، کمی مسکویت و گارنت هستند. رگه‌های دیگری شامل رگه‌های کوارتز-آلومینوسیلیکات، کوارتز-اسفن، کوارتز-روتیل، کوارتز-اکتینولیت، کوارتز-آپاتیت و کوارتز-اپیدوت و نیز رگه‌های نازکی از سنگ‌های مافیک تا حدواسط در حد میکروکوارتز دیوریت تا دلریت،

و پلاژیوکلاز برای تخمین شرایط دما-فشارسنجی زمان تشکیل توده به‌کار برده شده است.

تاکنون مطالعات قابل توجهی درباره سنگ‌شناسی مجموعه نفوذی الوند که منطقه مورد مطالعه هم قسمتی از آن است، انجام شده است، اما شیمی کانی‌ها و دما-فشارسنجی سنگ‌ها کمتر مطالعه شده است. از جمله مطالعات سنگ‌شناسی پیشین می‌توان به زرعیان و همکاران (۱۳۵۳-۱۳۵۰)، ول‌زاده (۱۳۵۳)، Valizadeh و Cantagral (۱۹۷۵)، ایران‌شیمی (۱۳۷۲)، هادی‌پور جهرمی (۱۳۷۳)، ترکیان (۱۳۷۴)، سپاهی‌گرو (۱۳۷۸) و شهبازی (۱۳۸۹) اشاره کرد. هدف از این مطالعه، بررسی شیمی کانی‌ها به‌منظور تعیین شرایط دما-فشار، در زمان تشکیل گابروهای منطقه سرابی تویسرکان است.

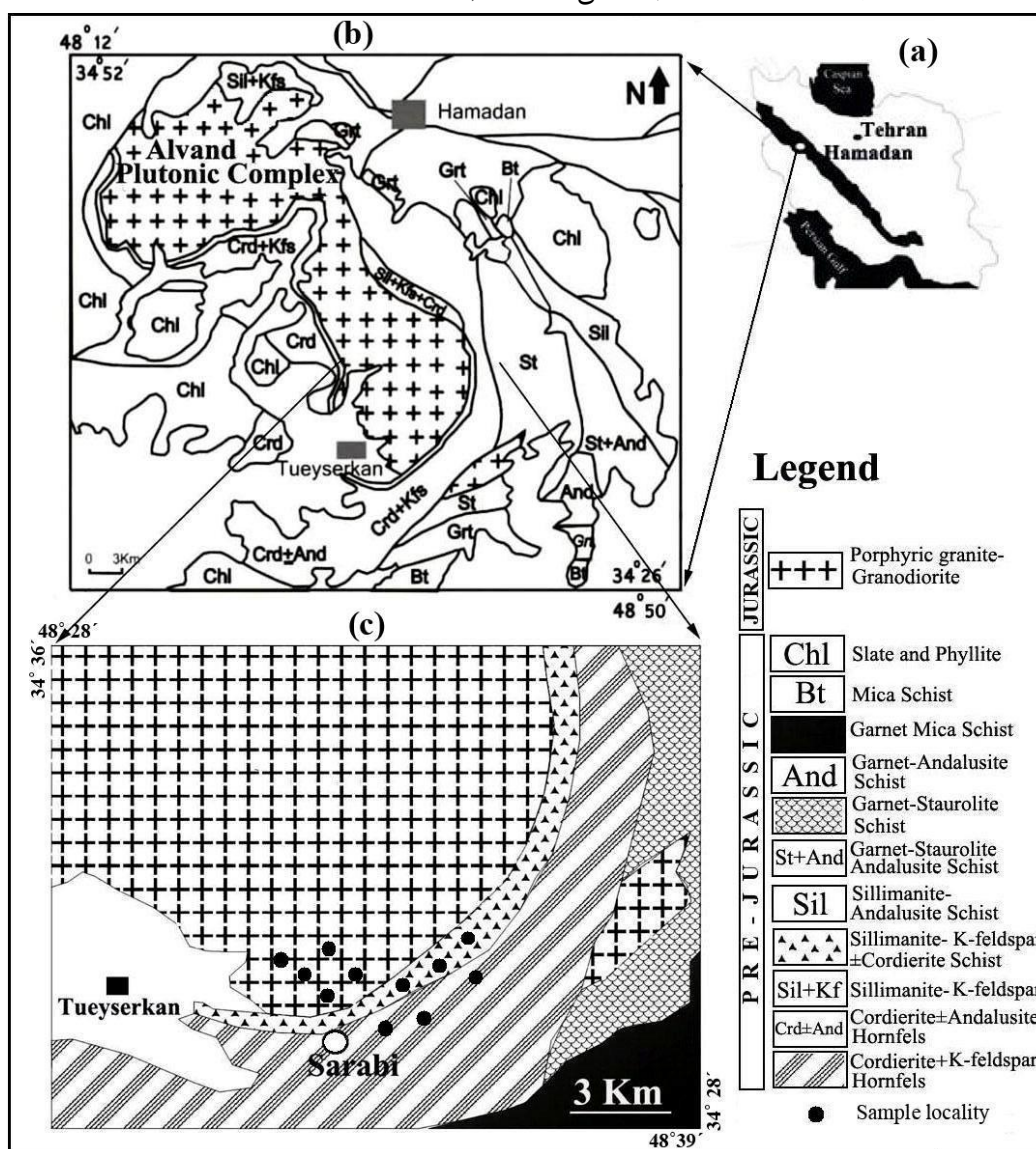
### موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق تویسرکان، استان همدان، واقع شده است (شکل ۱). این منطقه بخشی از نوار دگرگونی-ماگمایی پهنه سنندج-سیرجان است که به‌صورت نواری طولانی در امتداد رورانگی زاگرس، از سنندج در شمال غربی تا سیرجان در جنوب شرقی ایران گسترش دارد. این پهنه حدود ۱۵۰۰ کیلومتر درازا و حدود ۲۰۰ کیلومتر پهنا دارد. پهنه سنندج-سیرجان را برخی محققین مانند Alavi (۱۹۹۴ و ۲۰۰۴) جزیی از کوه‌زاد زاگرس در نظر گرفته و آن را پهنه زاگرس فلس‌مانند می‌نامند. بر طبق نظر Mohajjel و همکاران (۲۰۰۳)، منطقه مورد مطالعه در زیرپهنه با دگرشکلی پیچیده قرار دارد که شامل سنگ‌های آذرین و دگرگونی است.

مطالعات صحرایی در منطقه طی دو ماه، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ همدان (Amidi and Majidi, 1977)، ۱:۱۰۰۰۰۰ تویسرکان (اشراقی و محمودی، ۱۳۸۲) و نقشه‌های

رادیومتری (U-Pb) برای گرانیت‌های الوند بین  $163/9 \pm 0/9$  و  $161/7 \pm 0/6$  و برای گرانیتوئیدهای لوکوکراتیک بین  $154/4 \pm 1/3$  و  $153/3 \pm 2/7$  میلیون سال گزارش شده است (Shahbazi *et al.*, 2010).

گرانیت‌های پورفیروئید و سنگ‌های درون‌گیر را قطع کرده است (سپاهی‌گرو، ۱۳۷۸). سن رادیومتری (U-Pb) گابروها در توده نفوذی الوند  $166/5 \pm 1/8$  میلیون سال گزارش شده است (شهبازی، ۱۳۸۹؛ Shahbazi *et al.*, 2010). سن



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، الف) موقعیت پهنه ساندج- سیرجان، ب) موقعیت زمین‌شناسی منطقه همدان (با تغییرات از Amidi و Majidi (۱۹۷۷)) و پ) موقعیت منطقه مورد مطالعه (با تغییرات از Amidi و Majidi (۱۹۷۷))

دارای درشت بلورهای فلدسپار بوده و بافت پورفیروئید نشان می‌دهند. کانی‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها شامل کوارتز، فلدسپار پتاسیم، پلاژیوکلاز، بیوتیت و مسکویت است. از جمله ویژگی‌های این دسته از سنگ‌ها وجود

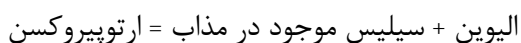
### پتروگرافی

مطالعه پتروگرافی بر روی ۵۰ مقطع نازک انجام شد. بر اساس این مطالعات، سنگ‌های نفوذی منطقه شامل سنگ‌های مافیک تا فلسیک است. گرانیت‌های منطقه

سنگ‌های مافیک منطقه شامل انواع گابروها از جمله الیوین‌گابرو، گابرو، نوریت و گابرو نوریت است.

### الیوین‌گابرو

بافت سنگ گرانولار تا اینترگرانولار است. کانی‌های اصلی شامل الیوین، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز و کانی‌های فرعی شامل آمفیبول، بیوتیت و ارتوپیروکسن است (شکل ۳). از مهم‌ترین ویژگی‌های این دسته از سنگ‌ها، وجود کرونا‌ی ارتوپیروکسن به دور الیوین است که حاصل واکنش بین الیوین و مذاب غنی از سیلیس است که با انجام واکنش زیر به‌وجود آمده است:



### نوریت

بافت این سنگ، گرانولار است. کانی‌های اصلی آن را ارتوپیروکسن و پلاژیوکلاز تشکیل می‌دهند و کانی‌های فرعی سنگ شامل الیوین، آپاتیت و کوارتز است. از جمله ویژگی‌های این سنگ‌ها، وجود حلقه‌ای از هورنبلند به دور ارتوپیروکسن‌هاست (شکل ۴).

### گابرو

بافت این سنگ اینترگرانولار و افیتیک تا ساب‌افیتیک است (شکل ۵). کانی‌های اصلی شامل کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز و کانی‌های فرعی آن الیوین، هورنبلند و ایلمنیت است.

### شیمی کانی‌ها

آنالیزها در شرکت فرآوری و مواد معدنی ایران (کرج) با دستگاه آنالیز نقطه‌ای مدل SX100، ساخت شرکت Cameca فرانسه، در شرایط ولتاژ ۱۵ Kev، فشار  $4 \times 10^{-7}$  Torr و شدت جریان ۲۰ nA انجام شده است. این آنالیزها بر روی ۷ مقطع میکروسکوپی تهیه شده از ۵ نمونه سنگ مختلف انجام شد. کانی‌های الیوین (۷)

بیگانه‌بلورهای گارنت و آندالوزیت در آن‌هاست (شکل ۲- الف و ب). تصویر میکروسکوپی گرانیت در شکل ۲- ج آمده است.



شکل ۲- الف و ب) تصاویر ماکروسکوپی از گرانیت‌های منطقه، الف) بیگانه‌بلورهای آندالوزیت درون گرانیت و ب) بیگانه‌بلورهای گارنت درون گرانیت، ج) تصویر میکروسکوپی گرانیت در نور XPL، علائم اختصاری کانی‌ها از (Kretz, 1983)

### الیوین

الیوین در سنگ‌های منطقه از نوع کریزولیت است (شکل ۶). با توجه به داده‌های جدول ۱ مقدار  $\text{SiO}_2$  (۳۷/۹-۳۹/۹۵)، مقدار  $\text{FeO}$  (۲۳/۴-۲۶/۴۵)، مقدار  $\text{MgO}$  (۳۶/۴-۳۶/۸۸) و مقدار  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (۰/۰-۰/۰۲) بر حسب درصد وزنی متغیر است. فرمول ساختاری کانی‌ها بر اساس ۴ اتم اکسیژن محاسبه شد که بر این اساس مقدار  $\text{Mg}$  آن بین ۱/۴۳۳ تا ۱/۴۳۸۸ و مقدار  $\text{Mg}\#$  آن (۰/۷۰۷-۰/۷۲۴) متغیر است. با توجه به این که مقدار آهن و منیزیوم در آن تغییر چندانی نکرده است در الیوین‌های مورد مطالعه منطقه‌بندی دیده نمی‌شود که نشان‌دهنده شرایط متعادل در زمان تشکیل است.

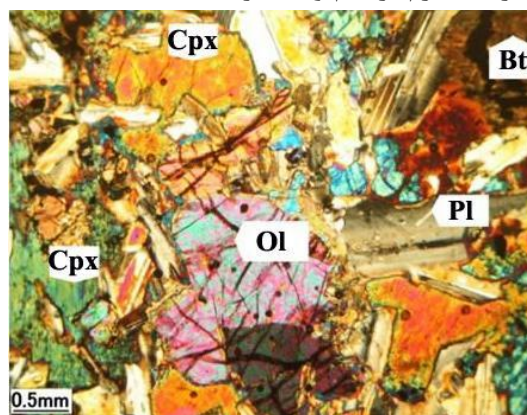
### کلینوپیروکسن

کلینوپیروکسن‌های منطقه از نوع کلسیک هستند و در نمودار سه‌تایی ولاستونیت-انستاتیت-فروسیلیت، ترکیب آن‌ها از نوع اوژیت است (شکل ۷)، که دارای مقدار  $\text{Mg}\#$  ۷۱-۸۸ درصد است (جدول ۲). همان‌طور که در شکل ۷ مشخص است، کلینوپیروکسن‌ها دو سری هستند، یک سری متعلق به الیوین گابروها و سری دیگر متعلق به گابروها که مقدار آهن، کلسیم و منیزیم موجود در آن‌ها تغییر کرده است.

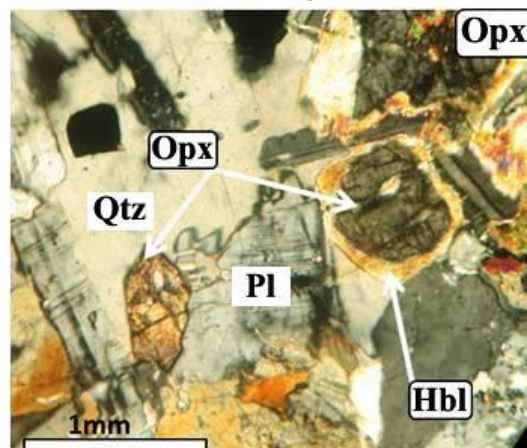
### ارتوپیروکسن

در مطالعات میکروسکوپی ارتوپیروکسن به دو صورت کرونا به دور الیوین و دیگری در زمینه سنگ دیده می‌شود. ارتوپیروکسن‌های منطقه دارای ترکیب برونزیت، هیپرستن و فروهیپرستن هستند (شکل ۸). مقدار  $\text{Mg}\#$  ۴۴-۸۰ درصد است (جدول ۳). همان‌طور که مشخص است، ارتوپیروکسن‌ها دارای سه ترکیب شیمیایی هستند. دسته اول با ترکیب برونزیت به صورت کرونا به دور الیوین تشکیل شده‌اند و دسته دوم و سوم که دارای ترکیب هیپرستن و فروهیپرستن هستند، در

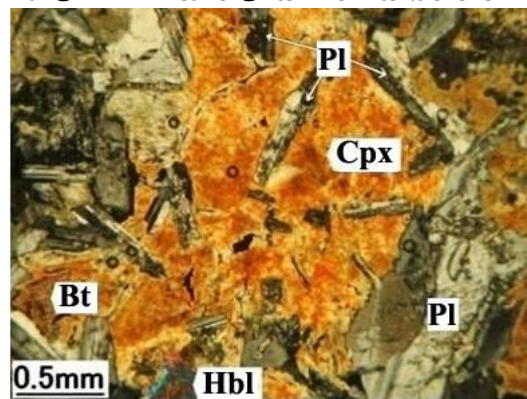
نقطه، کلینوپیروکسن (۹ نقطه)، ارتوپیروکسن (۲۰ نقطه)، آمفیبول (۱۲ نقطه)، بیوتیت (۱۰ نقطه) و پلاژیوکلاز (۲۰ نقطه) آنالیز نقطه‌ای شدند. با استفاده از نرم افزارهای رایانه‌ای AX، Minpet و Thermocalc نمودارهای لازم ترسیم و تفسیر شدند.



شکل ۳- تصویر میکروسکوپی نمونه‌ای از الیوین گابرو در نور XPL



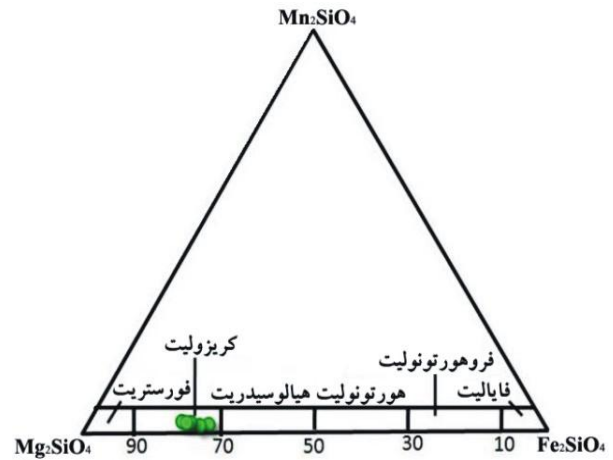
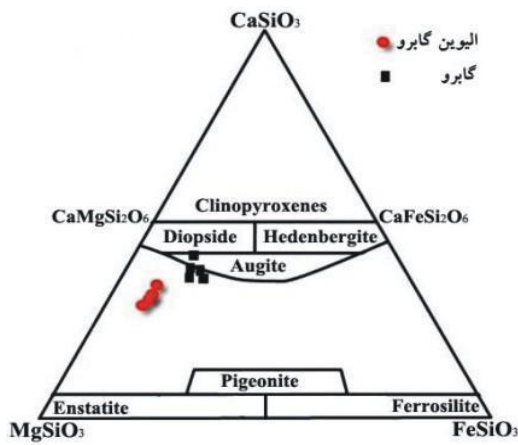
شکل ۴- تصویر میکروسکوپی از نوریته‌های منطقه در نور XPL که در آن ارتوپیروکسن با کرونایی از هورنبلند دیده می‌شود.



شکل ۵- تصویر میکروسکوپی نمونه گابرو با بافت افیتیک در نور XPL

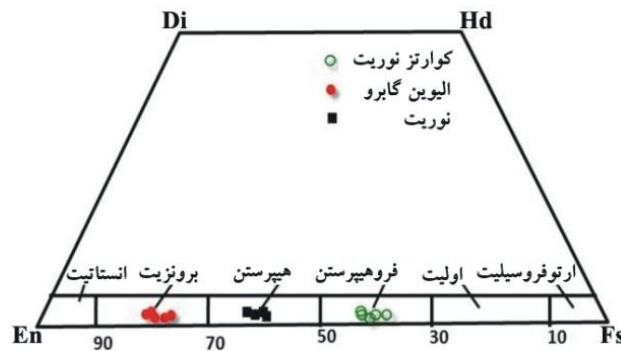
ارتوپيروكسن‌های موجود در نوریت‌های كوارتزار، فروهپیرستن هستند.

زمینه سنگ وجود دارند. ارتوپيروكسن‌های موجود در نوریت و گابرونوریت، هپیرستن است و



شکل ۷- ترکیب کلینوپيروكسن‌ها بر روی نمودار مثلثی انستاتیت (En)، ولاستونیت (Wo) و فروسیلیت (Fs) (Deer et al., 1992)

شکل ۶- تقسیم‌بندی الیون‌ها بر اساس ترکیب شیمیایی (Cornelius and Cornelius, 1985)



شکل ۸- تقسیم‌بندی ارتوپيروكسن‌ها بر حسب ترکیب شیمیایی (Deer et al., 1992)

جدول ۱- نتایج آنالیز نقطه‌ای الیون‌های موجود در سنگ‌های پلوتونیک مافیك منطقه به همراه محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها

Sample	Olivine-gabbro (HNT1)						
SiO <sub>2</sub>	38.99	39.59	38.54	37.90	38.24	38.03	38.20
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.02	0.01	0.00	0.002	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	25.15	23.40	25.99	25.50	26.54	25.82	25.52
MnO	0.51	0.76	0.25	0.25	0.88	0.89	0.64
MgO	36.40	36.60	36.45	36.45	36.67	36.73	36.88
CaO	0.04	0.04	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.04	0.05	0.05	0.00	0.01	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	101.11	100.46	101.31	100.16	100.39	101.53	101.28
O# 4							
Si	1.019	1.037	1.006	0.998	0.990	0.990	0.996
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.586	0.585	0.577	0.556	0.555	0.543	0.548
Mn	0.011	0.017	0.006	0.006	0.019	0.020	0.014
Mg	1.418	1.429	1.418	1.431	1.415	1.426	1.433
Ca	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
Na	0.001	0.002	0.003	0.003	0.000	0.001	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Fo %	70.75	70.95	71.07	72.01	71.82	72.42	72.34
Fa %	29.25	29.05	28.93	27.99	28.18	27.58	27.66

جدول ۲- نتایج آنالیز نقطه‌ای کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های پلوتونیک مافییک منطقه به همراه محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها

Sample	Olivine-gabbro (HNT1)				Gabbro (HGT2)				
SiO <sub>2</sub>	52.51	51.67	51.84	52.43	53.18	51.54	53.40	52.55	50.90
TiO <sub>2</sub>	0.46	0.45	0.42	0.36	0.52	0.31	0.41	0.35	0.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.78	3.54	3.36	2.94	2.58	2.07	2.19	1.69	3.30
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.80	1.01	0.96	0.96	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02
FeO	4.57	4.40	5.35	4.11	5.82	7.97	7.94	8.42	9.83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.81	0.77	0.94	0.73	1.02	1.41	1.40	1.49	1.74
MnO	0.73	0.64	0.67	0.51	0.26	0.08	0.39	0.12	0.51
MgO	17.77	17.78	18.96	16.73	17.02	14.35	15.21	14.10	13.95
CaO	20.12	20.52	18.21	21.83	20.17	20.62	19.43	20.98	17.87
Na <sub>2</sub> O	0.23	0.33	0.28	0.19	0.30	0.31	0.46	0.33	0.61
K <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.07
Total	100.80	101.12	100.99	100.79	100.90	98.67	100.87	100.06	99.20
O# 6									
Si	1.902	1.862	1.868	1.905	1.931	1.941	1.962	1.958	1.913
Ti	0.013	0.012	0.011	0.010	0.014	0.009	0.011	0.010	0.011
Al	0.119	0.150	0.143	0.126	0.110	0.092	0.095	0.074	0.146
Cr	0.023	0.029	0.027	0.028	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001
Fe <sup>+2</sup>	0.138	0.132	0.161	0.124	0.177	0.250	0.243	0.262	0.309
Fe <sup>+3</sup>	0.025	0.024	0.029	0.023	0.031	0.045	0.044	0.047	0.055
Mn	0.022	0.020	0.020	0.016	0.008	0.003	0.012	0.004	0.016
Mg	0.960	0.955	1.018	0.906	0.921	0.805	0.833	0.783	0.781
Ca	0.781	0.792	0.703	0.850	0.785	0.832	0.765	0.837	0.720
Na	0.016	0.023	0.020	0.013	0.021	0.023	0.033	0.024	0.044
K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003
Total	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Mg#	87.43	88.43	86.34	87.97	83.88	77.30	77.41	74.93	71.65
En %	51.09	50.82	54.09	48.19	48.91	42.66	45.25	41.62	43.15
Fs %	7.34	7.02	8.55	6.60	9.40	13.24	13.20	13.87	17.07
Wo %	41.57	42.16	37.36	45.21	41.69	44.10	41.55	44.51	39.78

جدول ۳- نتایج آنالیز نقطه‌ای ارتوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های پلوتونیک مافییک منطقه به همراه محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها

Sample	Quartz-norite (N1)					Olivine-gabbro (HNT1)				
SiO <sub>2</sub>	49.72	49.30	48.98	49.23	48.97	55.30	54.50	54.00	54.20	54.30
TiO <sub>2</sub>	0.003	0.61	0.00	0.10	0.14	0.09	0.07	0.07	0.08	0.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.40	0.40	0.42	0.43	0.42	1.52	1.50	1.05	1.49	1.52
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.06	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00
FeO	28.50	28.53	28.62	28.18	27.90	12.80	13.02	12.20	12.62	12.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.02	5.03	5.04	4.97	4.93	2.22	2.30	2.16	2.23	2.22
MnO	0.71	0.70	0.66	0.72	0.70	0.30	0.81	0.99	0.92	0.90
MgO	12.56	12.88	12.72	12.70	12.94	28.02	27.74	28.24	28.00	28.20
CaO	1.10	0.81	1.08	1.21	1.30	0.57	0.60	0.89	0.75	0.70
Na <sub>2</sub> O	0.40	0.04	0.01	0.20	0.00	0.03	0.00	0.04	0.02	0.01
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	98.44	98.36	97.55	97.74	97.30	100.86	100.54	99.66	100.31	100.52
O# 6										
Si	1.998	1.990	1.992	1.994	1.993	1.968	1.950	1.941	1.939	1.938
Ti	0.001	0.019	0.000	0.003	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Al	0.019	0.019	0.020	0.021	0.020	0.064	0.063	0.044	0.063	0.064
Cr	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Fe <sup>+2</sup>	0.95	0.96	0.97	0.95	0.94	1.22	1.23	1.21	1.22	1.22
Fe <sup>+3</sup>	0.177	0.173	0.175	0.173	0.177	0.227	0.228	0.222	0.224	0.222
Mn	0.024	0.024	0.023	0.025	0.024	0.009	0.025	0.030	0.028	0.027
Mg	0.752	0.775	0.771	0.767	0.785	1.486	1.479	1.513	1.493	1.500
Ca	0.047	0.035	0.047	0.053	0.057	0.022	0.023	0.034	0.029	0.027
Na	0.031	0.003	0.001	0.016	0.000	0.002	0.000	0.003	0.001	0.001
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Mg#	44.18	44.66	44.28	44.67	45.50	55.03	54.59	55.56	55.09	55.14
En %	42.99	43.78	43.12	43.33	44.05	54.47	54.13	54.87	54.44	54.60
Fs %	54.31	54.23	54.25	53.67	52.74	44.72	45.02	43.88	44.49	44.41
Wo %	2.70	1.99	2.63	3.00	3.21	0.81	0.85	1.25	1.07	0.99

ادامه جدول ۳.

Sample	Quartz-norite (N1)						Olivine-gabbro (HNT1)			
	SiO <sub>2</sub>	53.09	53.48	52.63	53.11	52.90	55.32	52.78	52.91	53.57
TiO <sub>2</sub>	0.54	0.49	0.75	0.70	0.52	0.01	0.50	0.44	0.70	0.66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.58	1.05	1.03	1.05	1.02	0.26	1.59	1.83	1.43	1.26
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.06	0.11	0.08	0.00	0.05	0.00	0.02	0.04	0.03
FeO	16.77	17.49	17.24	17.94	18.44	17.31	24.75	24.35	24.45	24.54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.96	3.09	3.05	3.17	3.25	3.06	4.38	4.30	4.32	4.34
MnO	0.47	0.58	0.64	0.89	0.52	0.37	0.52	0.57	0.65	0.69
MgO	22.75	22.35	23.03	22.38	21.50	20.07	12.30	12.55	12.97	12.30
CaO	2.13	1.99	1.99	1.97	2.02	0.85	1.14	1.00	0.74	1.33
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.08	0.03	0.06	0.08	0.02	0.05	0.01	0.00	0.01
K <sub>2</sub> O	0.02	0.00	0.02	0.02	0.04	0.01	0.09	0.04	0.21	0.21
Total	99.41	100.66	100.52	101.37	100.29	97.33	98.09	98.02	99.08	98.05
O# 6										
Si	1.977	1.973	1.939	1.950	1.969	2.130	2.120	2.123	2.126	2.119
Ti	0.015	0.014	0.021	0.019	0.015	0.000	0.015	0.013	0.021	0.020
Al	0.025	0.046	0.045	0.045	0.045	0.012	0.075	0.087	0.067	0.006
Cr	0.002	0.002	0.003	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001
Fe <sup>+2</sup>	0.52	0.53	0.53	0.55	0.57	0.55	0.83	0.81	0.81	0.82
Fe <sup>+3</sup>	0.094	0.105	0.095	0.098	0.105	0.106	0.148	0.151	0.145	0.151
Mn	0.015	0.018	0.020	0.028	0.016	0.012	0.018	0.019	0.022	0.024
Mg	1.263	1.229	1.265	1.225	0.193	1.152	0.736	0.750	0.767	0.737
Ca	0.085	1.079	0.079	0.077	0.081	0.035	0.049	0.043	0.031	0.057
Na	0.003	0.006	0.002	0.004	0.006	0.001	0.004	0.001	0.000	0.001
K	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002	0.000	0.005	0.002	0.011	0.011
Total	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Mg#	70.83	69.86	70.47	69.01	67.66	67.68	46.99	48.07	48.63	47.33
En %	67.61	66.86	67.50	66.14	64.69	66.32	45.57	46.78	47.69	45.66
Fs %	27.83	28.83	28.28	29.69	30.91	31.66	51.39	50.53	50.37	50.80
Wo %	4.56	4.31	4.22	4.17	4.4	2.02	3.04	2.69	1.94	3.54

## گروه آمفیبول

این کانی در مطالعات میکروسکوپی به دو صورت دیده می‌شود، به صورت کرونا به دور ارتوپروکسن و دیگری در زمینه سنگ. با توجه به نمودارهای تقسیم‌بندی آمفیبول‌ها که بر اساس Ti در مقابل Al<sup>IV</sup> (شکل ۹-الف)، Na+K در مقابل Si (شکل ۹-ب) و Na+K در مقابل Al<sup>IV</sup> (شکل ۹-پ) است، آمفیبول‌های منطقه در سه گروه قرار می‌گیرند. سری یک، آمفیبول نوع کرونا با ترکیب کانی‌شناسی ترمولیت، سری دو با ترکیب کانی‌شناسی ترمولیت-هورنبلند در سنگ‌های نوریتی و گابرویی و سری سه با ترکیب کانی‌شناسی هورنبلند در سنگ‌های نوریت کوارتزار وجود دارند. با توجه به ترکیب شیمیایی در موقعیت تترائدری آمفیبول‌ها، مقدار اندکی از Si توسط Al جانشین شده است. در حدود ۰/۲۷ تا ۰/۵۹ از Si توسط Al جانشین شده است، همچنین Fe<sup>+3</sup> نیز به مقدار کم از ۰ تا ۰/۰۸۵ و

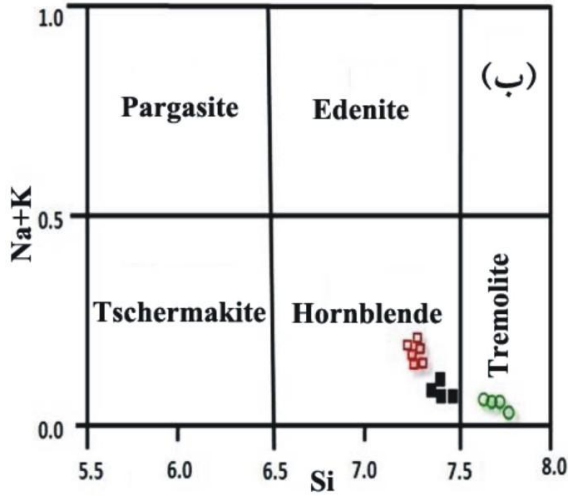
Ti نیز هیچ جانشینی با Si در موقعیت تترائدری ندارد. در موقعیت C نیز مقدار Al کم بوده و در بیشتر نمونه‌ها صفر است، ولی در بعضی از آن‌ها مقدار آن کم و محدوده‌ای بین ۰/۰۳۹ تا ۰/۱۱ را شامل می‌شود، که در مقایسه با Al موقعیت تترائدری مقدار آن کم است ولی مقدار Fe<sup>+3</sup> در موقعیت C بیشتر از موقعیت تترائدری است و محدوده‌ای بین ۰/۵۹۹ تا ۱/۰۱۷ دارد (جدول ۴). همچنین Ti نیز تمایل به قرارگیری در موقعیت C نسبت به موقعیت تترائدری دارد و محدوده‌ای بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۵۴ را شامل می‌شود. Na و Ca نیز به‌طور کامل در موقعیت B قرار می‌گیرند، ولی K در موقعیت A قرار گرفته است.

## بیوتیت

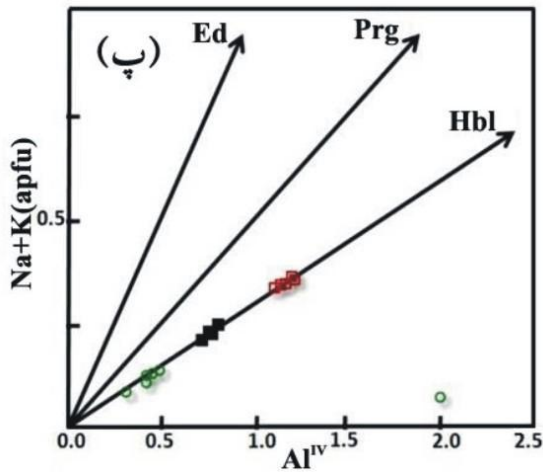
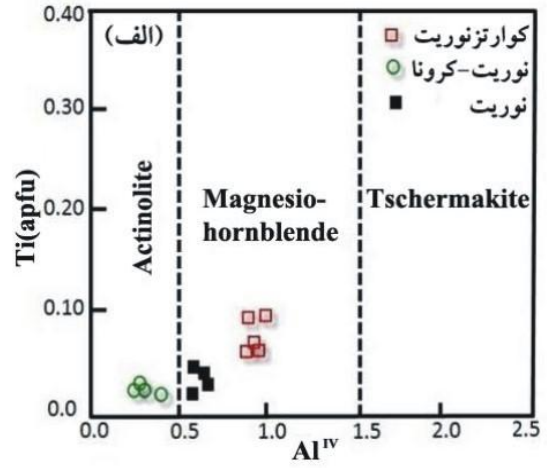
بیوتیت‌های موجود در سنگ‌های مافیک منطقه با توجه به نمودار شکل ۱۰-الف که بر اساس مقدار Al<sup>IV</sup> در برابر Fe/Fe+Mg است، دارای ترکیب سیدروفیلیت تا



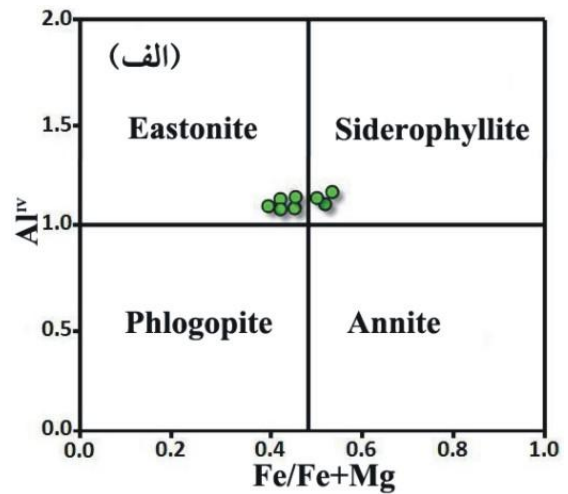
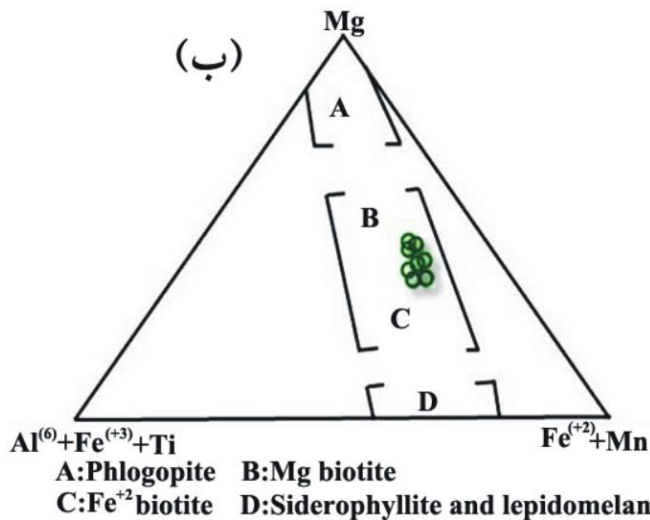
ترکیب Mg-Fe بیوتیت هستند. نتایج آنالیز نقطه‌ای بیوتیت‌ها در جدول ۵ آمده است.



ایستونیت است. همچنین در نمودار Mg- $Al^{6+}+Fe^{+3}+Ti-Fe^{+2}+Mn$  (شکل ۱۰-ب) دارای



شکل ۹- تقسیم‌بندی آمفیبول‌ها بر اساس ترکیب شیمیایی آن‌ها (Leake et al., 1997)



شکل ۱۰- تقسیم‌بندی بیوتیت‌ها بر اساس ترکیب شیمیایی به روش الف) Deer و همکاران (۱۹۹۲) و ب) Foster (۱۹۶۰)

جدول ۴- نتایج آنالیز نقطه‌های آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های پلوتونیک مافیک منطقه به همراه محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها

Sample	Norite (HK5)			Quartz-norite (N1)					Gabbro (HGT2)			
SiO <sub>2</sub>	52.37	52.63	52.57	48.78	48.78	49.24	48.96	48.99	54.88	53.12	54.67	54.47
TiO <sub>2</sub>	0.24	0.38	0.39	0.56	0.74	0.51	0.60	0.73	0.29	0.51	0.30	0.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.58	3.48	3.47	4.87	4.68	4.80	4.88	4.41	2.40	2.68	2.37	2.76
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.00	0.04	0.71	0.02	0.00	0.00	0.06	0.12	0.00	0.16
FeO	11.891	11.857	11.696	16.158	17.535	16.974	16.388	17.093	8.109	9.494	8.415	9.248
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.098	2.093	2.064	2.852	2.525	2.996	2.892	3.017	1.431	1.676	1.485	1.632
MnO	0.96	0.52	1.06	0.28	0.34	0.26	0.26	0.19	0.78	0.28	0.30	0.61
MgO	15.87	15.18	15.37	11.18	10.68	10.79	10.64	10.88	18.86	17.10	17.30	17.83
CaO	11.56	11.31	11.44	10.00	9.45	9.90	10.18	9.79	11.19	11.47	11.24	11.72
Na <sub>2</sub> O	0.47	0.42	0.44	0.58	0.58	0.66	0.60	0.59	0.25	0.30	0.23	0.35
K <sub>2</sub> O	0.23	0.23	0.25	0.29	0.21	0.25	0.26	0.28	0.16	0.31	0.15	0.18
F	0.4	0.75	1.02	0.6	0.64	0.46	0.75	0.85	0.32	0.47	0.53	0.55
Total	99.27	98.10	98.75	95.45	95.82	96.38	95.66	97.97	98.35	96.94	96.46	99.17
O# 23												
Si	7.458	7.601	7.544	7.441	7.408	7.468	7.473	7.468	7.714	7.653	7.881	7.645
Ti	0.026	0.041	0.042	0.064	0.085	0.058	0.069	0.084	0.031	0.055	0.033	0.039
Al	0.601	0.592	0.587	0.876	0.838	0.858	0.878	0.792	0.398	0.455	0.403	0.457
Cr	0.01	0.00	0.00	0.005	0.09	0.003	0.00	0.00	0.07	0.014	0.00	0.019
Fe <sup>+2</sup>	1.416	1.432	1.403	2.061	2.198	2.153	2.091	2.178	0.952	1.144	1.014	1.085
Fe <sup>+3</sup>	0.250	0.252	0.248	0.364	0.383	0.380	0.369	0.385	0.169	0.202	0.179	0.192
Mn	0.116	0.064	0.129	0.036	0.044	0.033	0.034	0.025	0.093	0.034	0.037	0.073
Mg	3.369	3.267	3.288	2.519	2.417	2.439	2.421	2.472	2.951	3.672	3.717	3.730
Ca	1.764	1.750	1.759	1.643	1.583	1.609	1.665	1.599	1.685	1.770	1.736	1.762
Na	0.130	0.118	0.122	0.172	0.171	0.194	0.178	0.174	0.068	0.084	0.064	0.095
K	0.042	0.042	0.046	0.056	0.041	0.048	0.051	0.054	0.029	0.057	0.028	0.032
Total	15.172	15.160	15.168	15.228	15.211	15.242	15.228	15.229	15.097	15.141	15.092	15.127
Fe/(Fe+Mg)	0.33	0.32	0.33	0.34	0.55	0.54	0.55	0.54	0.56	0.26	0.27	0.25
Mg #	70.40	69.52	70.09	55	52.37	53.12	53.65	53.16	75.61	76.25	78.56	77.46

جدول ۵- نتایج آنالیز نقطه‌های بیوتیت‌های موجود در سنگ‌های پلوتونیک مافیک منطقه به همراه محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها

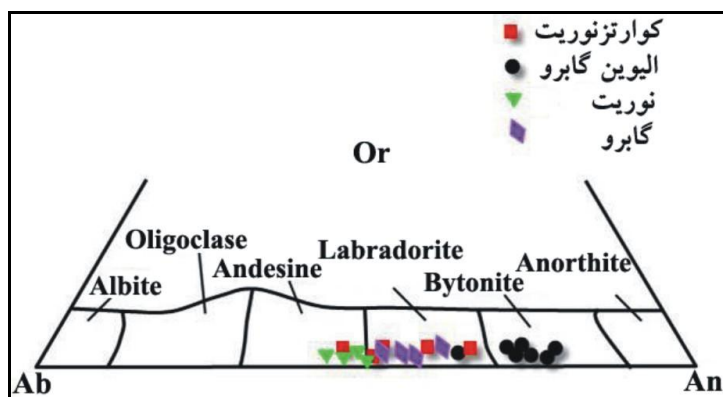
Sample	Norite (HK5)					Gabbro (HGT2)				
SiO <sub>2</sub>	36.47	36.25	36.98	36.57	36.59	36.83	37.11	36.97	36.55	36.72
TiO <sub>2</sub>	3.89	4.20	4.17	3.57	3.71	3.46	3.20	3.60	3.55	3.74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.38	14.46	14.63	14.40	14.63	14.92	14.98	14.42	14.33	14.20
FeO	16.362	16.617	16.49	16.838	16.456	15.028	15.215	15.274	17.994	17.909
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.888	2.933	2.910	2.972	2.904	2.652	2.685	2.696	3.176	3.161
MnO	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.30	0.46	0.33	0.20	0.23
MgO	11.22	11.72	11.54	9.81	11.30	11.97	12.26	12.20	9.46	9.66
CaO	0.06	0.03	0.00	0.28	0.03	0.04	0.05	0.09	0.25	0.26
Na <sub>2</sub> O	0.08	0.06	0.06	0.13	0.10	0.13	0.14	0.06	0.06	0.04
K <sub>2</sub> O	9.95	10.10	10.22	8.81	10.05	10.19	10.11	10.26	9.06	9.14
F	1.13	1.17	1.01	1.50	1.00	1.17	1.44	1.45	1.02	0.44
Total	95.30	96.38	97.00	93.66	95.77	95.52	96.21	95.90	93.65	95.42
O# 22										
Si	5.59	5.51	5.57	5.69	5.58	5.60	5.60	5.61	5.70	5.68
Ti	0.45	0.48	0.47	0.42	0.43	0.40	0.36	0.41	0.42	0.89
Al	2.60	2.59	2.60	2.64	2.63	2.67	2.66	2.58	2.63	2.30
Fe <sup>+2</sup>	2.099	2.108	2.074	2.193	2.099	1.192	1.921	1.938	2.235	2.193
Fe <sup>+3</sup>	0.371	0.372	0.366	0.387	0.371	0.338	0.339	0.342	0.395	0.387
Mn	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04	0.06	0.04	0.03	0.06
Mg	2.56	2.66	2.59	2.27	2.57	2.71	2.79	2.76	2.20	2.56
Ca	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04	0.09
Na	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02	0.25
K	1.95	1.96	1.96	1.75	1.96	1.98	1.95	1.99	1.80	1.69
Total	15.65	15.70	15.65	15.47	15.67	15.68	15.70	15.69	15.48	15.43
Fe/(Fe+Mg)	0.49	0.48	0.49	0.53	0.49	0.45	0.45	0.45	0.54	0.55

## پلاژیوکلاز

۱/۷ تا ۶/۳۷ و مقدار آلومینیوم آن نیز ۲۶/۴۵ تا ۳۲/۶

بر حسب درصد وزنی متغیر است (جدول ۶). مقادیر میانگین An ۴۰ تا ۸۴ درصد، Ab ۱۵ تا ۵۹ درصد و Or ۰/۱ تا ۰/۷ است.

ترکیب کانی‌شناسی پلاژیوکلازهای منطقه از بیوتیت تا آندزین متغیر است (شکل ۱۱) که مقادیر CaO آن بین ۸/۴۲ تا ۱۷/۵۲، مقدار Na<sub>2</sub>O آن نیز بین



شکل ۱۱- تقسیم‌بندی پلاژیوکلازها بر اساس ترکیب شیمیایی (Deer et al., 1992)

جدول ۶- نتایج آنالیز نقطه‌ای پلاژیوکلازهای موجود در سنگ‌های پلوتونیک مافیک منطقه به همراه محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها

Sample	Olivine-gabbro (HNT1)							Gabbro (HGT2)			Gabbro
SiO <sub>2</sub>	47.48	53.45	49.90	50.53	48.94	48.58	49.70	57.90	55.44	53.13	57.83
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.06	0.00	0.03	0.03	0.06	0.06	0.02	0.06	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.30	29.80	32.64	32.64	32.65	32.39	32.40	26.60	27.45	29.64	26.45
FeO	0.16	0.06	0.11	0.11	0.50	0.19	0.17	0.35	0.58	0.90	0.10
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01
CaO	17.52	12.65	15.86	15.04	16.23	15.92	15.90	8.42	9.89	11.93	8.67
Na <sub>2</sub> O	1.78	4.44	2.76	3.14	2.48	2.49	2.93	6.82	5.55	4.82	6.37
K <sub>2</sub> O	0.01	0.08	0.04	0.02	0.03	0.05	0.04	0.02	0.02	0.14	0.23
Total	100.27	101.03	101.39	101.48	100.88	99.68	99.58	99.20	99.33	100.63	99.67
O# 8											
Si	2.177	2.402	2.250	2.271	2.226	2.231	2.248	2.590	2.515	2.400	2.597
Ti	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.000
Al	1.800	1.579	1.735	1.729	1.750	1.754	1.729	1.402	1.468	1.579	1.400
Fe	0.006	0.023	0.004	0.004	0.019	0.007	0.006	0.013	0.022	0.034	0.004
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.014	0.001	0.000
Ca	0.861	0.609	0.766	0.724	0.791	0.783	0.772	0.404	0.481	0.578	0.417
Na	0.158	0.387	0.241	0.274	0.219	0.222	0.257	0.591	0.488	0.422	0.555
K	0.001	0.005	0.002	0.001	0.002	0.003	0.002	0.001	0.012	0.008	0.013
Total	5.003	5.004	5.002	5.002	5.008	5.003	5.016	5.003	5.000	5.023	4.987
An %	84.41	60.83	75.91	72.47	78.16	77.67	74.87	40.56	49.03	57.34	42.33
Ab %	15.49	38.66	23.88	27.42	21.64	22.02	24.92	59.33	49.74	41.86	56.34
Or %	0.1	0.51	0.21	0.11	0.2	0.3	0.21	0.11	1.23	0.8	1.33

ادامه جدول ۶

Sample	Norite (HK5)				Quartz-norite (N1)				
SiO <sub>2</sub>	53.49	53.44	53.33	53.34	48.42	50.20	53.60	50.80	52.04
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.03	0.07	0.06	0.00	0.00	0.10	0.06	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.82	30.34	30.15	29.48	31.41	32.60	28.30	30.42	27.79
FeO	0.04	0.00	0.00	0.10	0.12	0.10	0.05	0.10	0.15
MnO	0.40	0.39	0.54	0.76	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
CaO	12.08	12.06	12.24	12.40	14.86	11.50	11.00	13.57	10.69
Na <sub>2</sub> O	4.82	5.04	4.67	4.77	2.91	4.50	5.25	4.07	5.52
K <sub>2</sub> O	0.08	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.16	0.08	0.12
Total	100.80	101.42	101.10	101.00	97.80	99.08	98.43	99.12	98.37
O# 8									
Si	2.406	2.391	2.394	2.403	2.262	2.296	2.458	2.334	2.480
Ti	0.002	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000	0.003	0.002	0.002
Al	1.581	1.600	1.595	1.565	1.729	1.759	1.531	1.647	1.503
Fe	0.002	0.000	0.000	0.004	0.005	0.004	0.002	0.004	0.006
Mn	0.015	0.015	0.015	0.021	0.029	0.000	0.001	0.001	0.001
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000
Ca	0.582	0.578	0.589	0.598	0.744	0.564	0.540	0.688	0.526
Na	0.420	0.437	0.406	0.417	0.264	0.399	0.467	0.363	0.491
K	0.005	0.007	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004	0.005	0.007
Total	5.013	5.030	5.012	5.023	5.008	5.026	5.011	5.024	5.015
An %	57.79	56.55	58.84	58.62	73.44	58.26	53.41	65.15	51.36
Ab %	41.70	42.75	40.55	40.88	26.06	41.21	46.19	34.37	47.94
Or %	0.51	0.7	0.61	0.5	0.5	0.53	0.4	0.48	0.7

## دما و فشارسنجی گابروها

سعی شده است تا به کمک نتایج حاصل از آنالیز نقطه‌ای کانی‌ها به تعیین اوج فشار و دما در زمان تبلور سنگ‌ها پرداخته شود. بدین منظور نخست با بررسی‌های دقیق سنگ‌شناختی، مجموعه کانی‌های در حال تعادل این سنگ‌ها مشخص شد که خود اساس دما و فشارسنجی است. پس از این مرحله با توجه به آنالیز نقطه‌ای کانی‌ها به تعیین فشار و دمای تشکیل سنگ‌ها پرداخته شد. نتایج دما و فشار از روش‌های مختلف به‌دست آمده، که به‌صورت زیر ارائه می‌شود.

### فشارسنجی

#### فشارسنجی کلینوپیروکسن

برخی از پژوهشگران نظیر Wass (۱۹۷۹) پیشنهاد کرده‌اند که نسبت‌های  $Al^{VI}/Al^{IV}$ ،  $Ti+Al^{IV}/Si$  و  $TiO_2/(Mg/Mg+Fe)$  در پیروکسن‌ها می‌تواند به‌عنوان فشارسنج به‌کار گرفته شود. در نمودار  $Al^{VI}/Al^{IV}$  نمونه‌های منطقه در گستره‌ای با فشار پایین تا فشار متوسط یعنی در گستره سنگ‌های آذرین قرار می‌گیرند (شکل ۱۲- الف). همچنین در ساختار کلینوپیروکسن‌ها، Cr در تعادل با  $Al^{VI}$  است و نسبت  $Cr/Cr + Al^{VI} \approx 100$  در پیروکسن‌ها با فشار رابطه‌ای مستقیم دارد (Nimis and Taylor, 2000). به‌طوری که کلینوپیروکسن‌های غنی از Al در فشار پایین‌تر نسبت به نمونه‌های فقیر از Al تشکیل شده‌اند (Foley and Venturelli, 1989; Liu et al., 2000). با توجه به بالا بودن مقدار Al در نمونه‌های مورد بررسی می‌توان گفت که کلینوپیروکسن‌های گابروی سرابی در فشار پایین تشکیل شده‌اند. محتوای Al در کلینوپیروکسن‌ها در فشار بالا با واکنش ۱ و در فشار پایین با واکنش ۲ کنترل می‌شود.



برای تعیین عمق مخزن ماگمایی از Al موجود در

ساختار پیروکسن‌ها استفاده شده است. پژوهشگرانی از جمله Helz (۱۹۷۳) تأکید کرده‌اند که توزیع آلومینیوم در موقعیت‌های چهار وجهی و هشت وجهی کلینوپیروکسن‌ها معیار مناسبی برای برآورد مقدار آب ماگما و میزان فشار حاکم بر محیط تشکیل سنگ‌های آذرین دارد. با این مدل، فشار ۵ کیلو بار که پیروکسن‌ها در آن متبلور شده‌اند و نیز چنان‌که در شکل دیده می‌شود مقدار آب ماگما کمتر از ۱۰ درصد است (شکل ۱۲- ب). بنابراین می‌توان گفت کلینوپیروکسن‌ها از یک ماگمای مادر در فشار حدود ۵ کیلو بار متبلور شده‌اند.

### کلینوپیروکسن - پلاژیوکلاز

دو معیار مهم برای استفاده از این فشارسنج در سنگ‌های گابرویی منطقه سرابی عبارتند از الف) پاراژنز کانی‌های هم‌زیست مناسب  $Cpx+Qtz+Pl$ ، ب) شرایط P-T منطبق با معیارهای استفاده شده برای کالیبراسیون فشارسنج McCarthy و Patino Douce (۱۹۹۸). فشار تبلور ماگما، با استفاده از کالیبراسیون McCarthy و Patino Douce (۱۹۹۸) از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$P(kbar) = [5.066 \pm 0.760 + ((1300 \pm 800/T) - \ln K) / (276 \pm 16)] \cdot T \pm 2.5,$$

یا:

$$P = \{(6.330 [\pm 0.116] - \ln K) / 301 [\pm 9]\} \cdot T [\pm 1.0 \text{ kbar}], K = \alpha_{An}(Pl) / \alpha_{Cats}(Cpx)$$

فشار محاسبه شده کم و بیش برابر با ۵/۵ تا ۶/۵ کیلو بار است، در این صورت با جایگزینی توده نفوذی در عمق حدود ۱۸ کیلومتر مطابقت دارد.

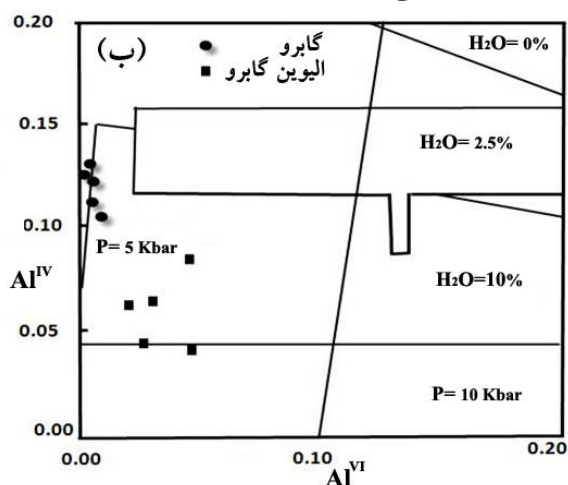
### دماسنجی

در زیر انواع دماسنج‌های به‌کار رفته برای تعیین دمای نمونه‌های گابرویی منطقه بررسی می‌شود.

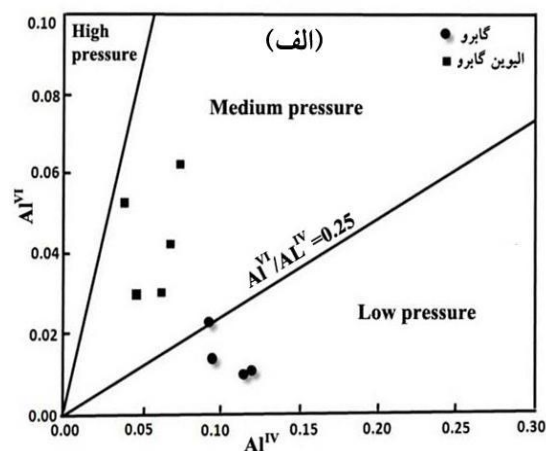
#### کلینوپیروکسن - ارتوپیروکسن

یک روش متفاوت و موفق برای دستیابی به دماسنج ارتوپیروکسن - کلینوپیروکسن توسط

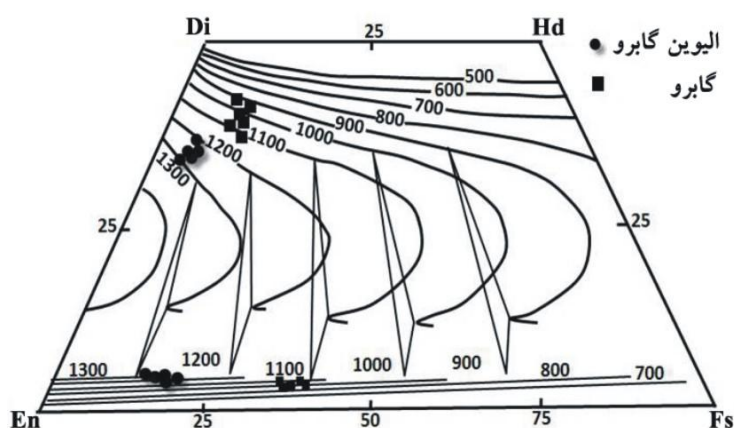
کیلوبار می‌رسد و برای روابط سولوسی تحت فشارهای یک اتمسفر و ۵، ۱۰ و ۱۵ کیلوبار با استفاده از برون‌یابی برای فشارهای مابین این فشارها ارائه شده است. با استفاده از روش سولوس لیندسلی در فشار ۵ کیلوبار برای سنگ‌های الیوین‌گابرو دمای ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ و برای گابروها دمای ۹۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد را می‌دهد (شکل ۱۳).



Lindsley (۱۹۸۳) پیشنهاد شده است. او تعادلات فازی پیروکسن‌ها را برای محدوده دمایی ۸۰۰-۱۲۰۰ درجه سانتیگراد و برای فشارهای تا حدود ۱۵ کیلوبار تعیین نموده است. ایزوترم‌های سولوسی ارتوپروکسن و کلینوپروکسن هم‌زیست به صورت ترسیمی در چهار ضلعی En-Fs-Di-Hd نشان داده شده است که تأثیر فشار به حدود کمتر از ۸ درجه سانتیگراد در هر



شکل ۱۲- نمودارهای مربوط به استفاده از شیمی کانی کلینوپروکسن در الف) برآورد کلی فشار تبلور کلینوپروکسن و ب) بررسی فشار و مقدار آب موجود در ماگما (Coltorti et al., 2007)



شکل ۱۳- تعیین دمای تعادل بین کلینوپروکسن و ارتوپروکسن هم‌زیست در گابروهای منطقه (Coltorti et al., 2007)

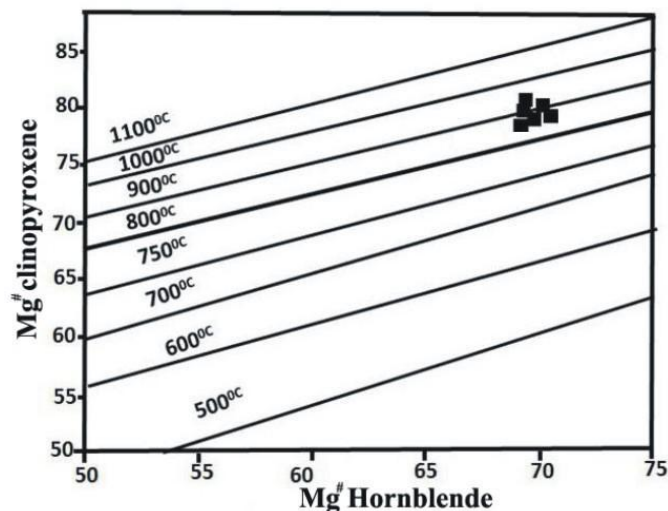
کلینوپروکسن هم‌زیست است (Anderson, 1997). این روش، دمای تعادل این دو کانی را تخمین می‌زند. از آنجایی که به برقراری تعادل کامل ترمودینامیکی

### آمفیبول - کلینوپروکسن

یکی از روش‌های دماسنجی بر پایه تبادل کاتیون‌های Mg و Fe بین کانی‌های آمفیبول و

کلینوپیروکسن‌ها، گابروهای منطقه محدوده دمایی از ۹۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد دارند و با توجه به نوع سنگ، قابل توجیه است. بر این اساس، دمای شروع تبلور نمونه‌های گابرویی منطقه، حدود ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد بوده است.

پیرامون بلور اطمینان بیشتری می‌توان داشت، بنابراین از ترکیب این کانی‌ها در حاشیه بلور استفاده شده است (شکل ۱۴). با استفاده از این روش دمای تعادلی این دو کانی در نمونه‌های گابرویی حدود ۸۵۰ تا ۹۲۰ درجه سانتیگراد است. بر اساس دماسنجی با استفاده از



شکل ۱۴- تعیین دمای تعادل بین کلینوپیروکسن و آمفیبول هم‌زیست در نمونه گابرو (Coltorti et al., 2007)

برای برآورد کلاسیکی چگونگی شرایطی که طی آن سنگ‌های ماگمایی میزبان تشکیل می‌شوند از ترکیب بیوتیت‌ها استفاده می‌شود. بنابراین، ترکیب شیمیایی بیوتیت‌های ماگمایی بازتاب دهنده شرایط تبلور ماگمایی است. برای تعیین ترکیب شیمیایی و محیط تشکیل ماگمای سازنده میکاها از دو تقسیم‌بندی استفاده شده است (شکل ۱۵). برای تعیین سرشت ماگمای سازنده میکاها از تقسیم‌بندی Nachite (۱۹۸۶) و Abdel Rahman (۱۹۹۴) استفاده گرفته شد. چنانچه مشاهده می‌شود، میکاهای منطقه در این نمودار در قلمرو نیمه‌قلیایی قرار می‌گیرند. تقسیم‌بندی Abdel Rahman (۱۹۹۴) تا حدی بیوتیت ماگمای پرآلومینیومی را از بیوتیت ماگماهای شبه آلومینیومی جدا می‌کند. در این رده‌بندی تمامی بیوتیت‌ها غنی از Al با نسبت بالای Fe/Mg وابسته به ماگمای پرآلومینیومی در نظر گرفته شده‌اند و مقدار Al بیوتیت متبلور شده، مشخص کننده میزان ماهیت

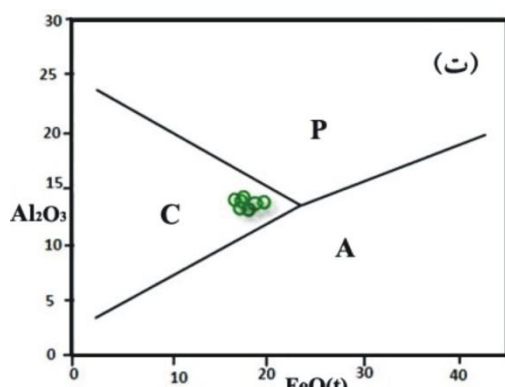
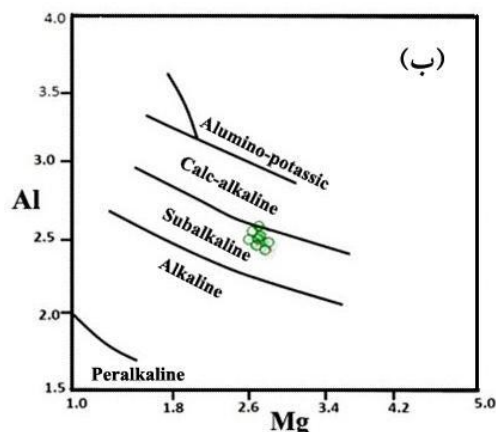
### تعیین محیط تکتونیکی و سری ماگمایی

سری ماگمایی و محیط تکتونیکی با بهره گرفتن از ترکیب کانی‌های کلینوپیروکسن، بیوتیت و آمفیبول تعیین شده است.

### تعیین محیط تکتونیکی با استفاده از بیوتیت

بیوتیت‌های ماگمایی در مراحل میانی و نهایی انجماد ماگما، هم‌زمان با هورنبلند و پلاژیوکلاز (با ترکیب حد واسط) متبلور می‌شوند (Nachite, 1986). در نمودار سه‌تایی ناچیت  $10^*TiO_2-MgO-(FeO+MnO)$  گستره بیوتیت اولیه حاصل از تبلور ماگما (A)، بیوتیت‌های حاصل از دگرسانی (B) و بیوتیت‌های حاصل از تبلور دوباره (C) از هم متمایز شده است. با توجه به شکل ۱۵- الف، بیوتیت‌های مورد مطالعه از نوع بیوتیت‌های اولیه، حاصل تبلور ماگمایی، هستند که به صورت خوددشکل در مقاطع دیده می‌شوند. ترکیب بیوتیت‌ها در سنگ‌ها تابع ترکیب ماگمای مولد، فوگاسیته اکسیژن، دمای مذاب و خاستگاه ماگما است.

شکل ۱۵- پ و ت، بیوتیت‌های مورد مطالعه در گستره کالک‌آلکانل قرار گرفته‌اند، گستره کالک‌آلکانل معادل با دو گستره شبه قلیایی و کالک‌آلکانل است. با استفاده از این رده‌بندی می‌توان محیط زمین‌ساختی ماگمای سازنده میکاها را مشخص کرد که نمونه‌ها در گستره بیوتیت‌های کالک‌آلکانل مناطق کوه‌زایی قرار می‌گیرند.

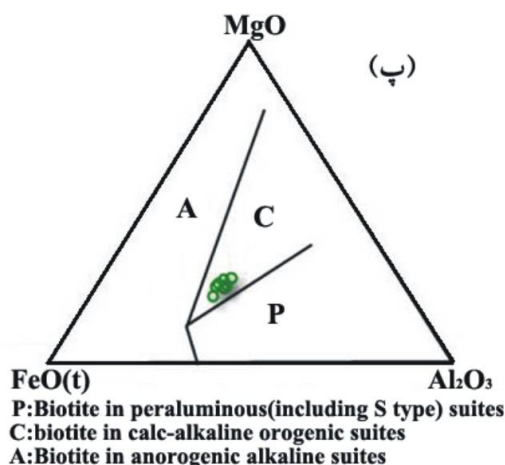
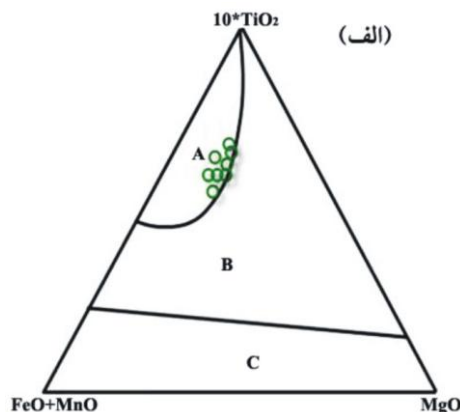


**P:** Biotite in peraluminous (including S type) suites  
**C:** Biotite in calc-alkaline orogenic suites  
**A:** Biotite in anorogenic alkaline suites

شکل ۱۵- الف) تعیین نوع بیوتیت‌های اولیه، با تبلور دوباره و ثانویه؛ ب) تعیین سری ماگمایی توسط روش Nachite (۱۹۸۶)،

پ و ت) تعیین سری ماگمایی با روش (Abdel Rahman, 1994)

پرآلومینیومی آبگون است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که قلمرو پایداری بیوتیت‌های غنی از آلومینیوم در دماهای پایین بسیار گسترده است، در حالی که منطقه پایداری Ti و Mg با افزایش دما افزایش می‌یابد (Patino Douce, 1993). مقادیر پایین Al در بیوتیت‌ها نتیجه پایداری پایین Al در بیوتیت با افزایش دماست. در



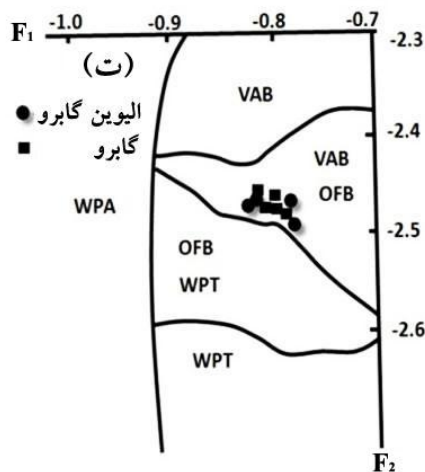
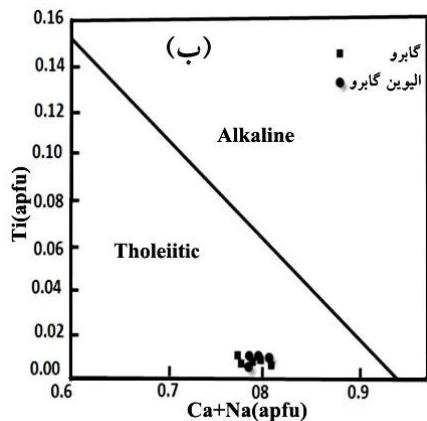
**P:** Biotite in peraluminous (including S type) suites  
**C:** Biotite in calc-alkaline orogenic suites  
**A:** Biotite in anorogenic alkaline suites

این کانی‌ها، نوع ماگما و محیط ژئودینامیکی آن را تعیین می‌کند. از نمودار  $SiO_2/Al_2O_3$  از Lebas (۱۹۶۲) و  $Ti/Ca+Na$  از Letierri و همکاران (۱۹۸۲) برای تعیین نوع ماگما استفاده شد که ماگمای موجود در منطقه از نوع ساب‌آلکانل و از نوع تولییتی است. در نمودارهای فوق، پیشنهاد شده است که اوژیت، اوژیت

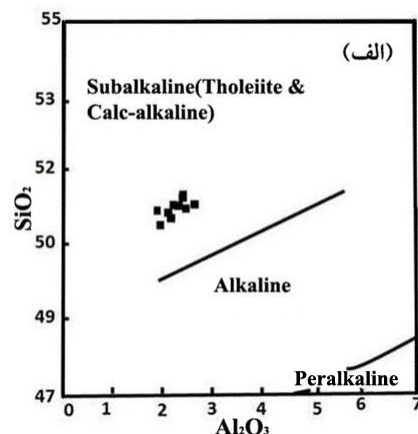
تعیین محیط زمین‌ساختی و سری ماگمایی با استفاده از کلینوپیروکسن

دامنه گسترده ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها در انواع سنگ‌های آذرین می‌تواند بیانگر سرشت خاستگاه ماگمای این کانی‌ها باشد. کلینوپیروکسن مقاوم‌ترین کانی این سنگ‌ها در برابر دگرسانی است. آنالیز نقطه‌ای

گستره VAB و OFB قرار می‌گیرند. اما با توجه به زمین‌ساخت منطقه، محیط VAB محتمل‌تر است. مقادیر Ti و Al در ترکیب شیمی کلینوپیروکسن، رابطه مستقیم با فعالیت سیلیس ماگما تشکیل‌دهنده دارند (Lebas, 1962). کانی‌های کلینوپیروکسن، با مقادیر کم Ti از ماگمای غنی از سیلیس تشکیل شده‌اند. به نظر می‌رسد مقدار کم Ti و Al و مقادیر بالای Si در کانی کلینوپیروکسن منطقه ویژگی نیمه قلیایی این سنگ‌ها را نشان دهد، نسبت بالای Si و مقادیر کم Ti و Al در ماگماهای نیمه قلیایی در مقایسه با انواع قلیایی و فوق قلیایی به علت فعالیت بالای سیلیس  $a_{SiO_2}$  در ترکیب ماگماهای نیمه قلیایی است (Lebas, 1962) که باعث افزایش مقدار Si و کاهش Al در جایگاه چهار وجهی کلینوپیروکسن شده و در نتیجه تفاوت بار یونی توسط مقادیر کم Ti در جایگاه هشت وجهی جبران شده است.



کلسیک و دیوپسید دارای ویژگی‌های کالک‌آلکال هستند. اوژیت و اوژیت کلسیم‌دار فقط در سنگ‌های با Al کم تشکیل می‌شوند. در آبگون‌های غنی از پتاسیم، نخست لابرادوریت متبلور می‌شود و با حضور لابرادوریت، فعالیت آلومینیوم کاهش می‌یابد و دیوپسید شروع به تبلور می‌کند. ولی در آبگون‌های با میزان پتاسیم پایین، نخست اوژیت و بایتونیت و سپس دیوپسید با تبلور هورنبلند و فلوگوپیت متبلور خواهد شد. در نمودار  $SiO_2/Al_2O_3$  ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها، ماگماتیسم نیمه قلیایی را نشان می‌دهند (شکل ۱۶-الف) در حالی که در نمودار Ca+Na-Ti کلینوپیروکسن‌ها گرایش به ماگمای تولیتی را نشان می‌دهند (شکل ۱۶-ب). با توجه به ترسیم نمونه‌های کلینوپیروکسن در نمودار (F1-F2) از Nisbet و Pearce (۱۹۷۷)، (شکل ۱۶-ت) در



شکل ۱۶-الف) نمودار تعیین سری ماگمایی که نمونه‌ها در محدوده نیمه قلیایی قرار می‌گیرند، ب) تقسیم‌بندی نمونه‌های نیمه قلیایی، نمونه‌ها در محدوده تولیتی قرار می‌گیرند و ت) تعیین محیط تشکیل کلینوپیروکسن با استفاده از پارامترهای F1 و F2:

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

$$F2 = -0.0469 * SiO_2 - 0.0818 * TiO_2 - 0.0212 * Al_2O_3 - 0.0041 * FeO^* - 0.1435 * MnO + 0.0029 * MgO + 0.085 * CaO + 0.0160 * Na_2O$$

OFB: Ocean-Floor Basalts

WPA: Within Plate Alkalie Basalts

VAB: Volcanic Arc Basalts

WPT: Within Plate Tholeiitic Basalts



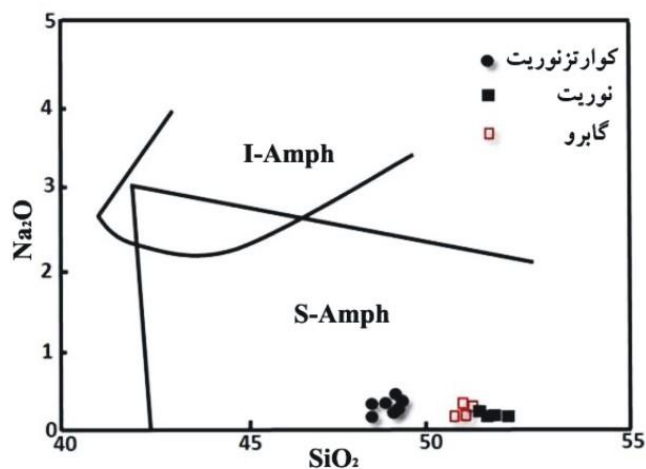
ارتوپروکسن از برونزیت تا فروهپیرستن متغیر است. ترکیب آمفیبول‌های اولیه، هورنبلند و آمفیبول‌های ثانویه، ترمولیت هستند. ترکیب میکای سیاه در حد بیوتیت و ایستونیت تا سیدروفیلیت است. ترکیب پلاژیوکلازها از بایتونیت تا آندزین متغیر است. با توجه به اینکه الیون‌گابروها در سری تبلور بوون زودتر از گابروها متبلور می‌شوند، بنابراین مقدار منیزیم الیون‌های گابروهای الیون‌دار بیشتر از گابروهای معمولی است. همچنین این تغییرات در مقدار منیزیم کلینوپروکسن‌های منطقه نیز مشاهده می‌شود. دمای تبلور گابروهای منطقه در محدوده دمایی حدود ۹۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد است. این سنگ‌ها در فشار حدود ۵-۶ کیلوبار معادل عمق ۱۵-۲۰ کیلومتر متبلور شده‌اند. این سنگ‌ها دارای ماهیت کالک‌آلکان تا تولییتی هستند و محیط تشکیل آن‌ها یک قوس آتشفشانی است.

### تعیین محیط تکتونوماگمایی با استفاده از آمفیبول

از ویژگی‌های زمین‌شیمیایی آمفیبول‌ها که بیشتر بر پایه بررسی‌های بیگانه‌سنگ‌های گوشته‌ای حاصل شده، برای مقایسه ویژگی‌های دگرنهادی محیط تکتونوماگمایی مختلف به‌ویژه محیط‌های فرورانش (subduction) و میان‌صفحه‌ای (intraplate) است (Coltorti *et al.*, 2007). آمفیبول‌های وابسته به فرورانش  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{TiO}_2$  پایین‌تری نسبت به انواع میان‌صفحه‌ای (I-Amph) دارند. بر اساس نمودار طبقه‌بندی تکتونوماگمایی Coltorti و همکاران (۲۰۰۷)، آمفیبول‌های منطقه در گستره آمفیبول‌های وابسته به محیط فرورانش (S-Amph) قرار می‌گیرند (شکل ۱۷).

### نتیجه‌گیری

ترکیب الیون موجود در سنگ‌ها، کریزولیت و کلینوپروکسن نزدیک به اوژیت است. ترکیب



شکل ۱۷- نمودار طبقه‌بندی تکتونوماگمایی آمفیبول‌ها که آمفیبول‌های منطقه در گستره آمفیبول‌های وابسته به محیط فرورانش (S-Amph) قرار می‌گیرند (Coltorti *et al.*, 2007)

### منابع

- اشراقی، ص.ع. و محمودی، م.، (۱۳۸۲) نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ توپسرکان و گزارش حاشیه آن. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- ایرانی، م. (۱۳۷۲) بررسی پترولوژی توده گرانیتهی الوند و هاله دگرگونی آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.

- ترکیان، ا. (۱۳۷۴) مطالعه پتروگرافی و پتروفابریکی پگماتیت‌های الوند (همدان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران.
- زرعیان، س.، فرقانی، ع. و فیاض، ه. (۱۳۵۰) توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن. نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران ۳(۴): ۳۷-۴۷.
- زرعیان، س.، فرقانی، ع. و فیاض، ه. (۱۳۵۱) توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن. نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران ۴(۱): ۲۳-۲۸.
- زرعیان، س.، فرقانی، ع. و فیاض، ه. (۱۳۵۱) توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن. نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران ۴(۳): ۸۳-۹۰.
- زرعیان، س.، فرقانی، ع. و فیاض، ه. (۱۳۵۱) توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن. نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران ۴(۴): ۹۷-۱۰۶.
- زرعیان، س.، فرقانی، ع. و فیاض، ه. (۱۳۵۲) توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن. نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران ۵(۳ و ۴): ۴۹-۵۴.
- زرعیان، س.، فرقانی، ع. و فیاض، ه. (۱۳۵۳) توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن. نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران ۶(۱): ۴-۳۳.
- سازمان جغرافیایی ارتش (۱۳۵۴) نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه تویسرکان.
- سپاهی‌گرو، ع. ا. (۱۳۷۸) پتروولوژی مجموعه نفوذی الوند با نگرش ویژه بر گرانیتوئیدها. رساله دکتری پتروولوژی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ایران.
- شهبازی، ح. (۱۳۸۹) پتروولوژی مجموعه سنگ‌های آذرین و میگماتیت‌های کمپلکس الوند و توده نفوذی آموقلاخ همدان و ارتباط ژنتیکی بین آن‌ها. رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
- ولی‌زاده، م. و. (۱۳۵۳) بررسی سنگ‌شناسی و شیمی کانی‌شناسی کمپلکس الوند (همدان). نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران ۱۴(۱): ۲۹-۱۴.
- هادی‌پور جهرمی، م. (۱۳۷۳) متامورفیسم و ماگماتیسم منطقه همدان - ملایر-تویسرکان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم (خوارزمی)، تهران، ایران.
- Abdel Rahman, A. M. (1994) Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas. *Journal of Petrology* 35: 525-541.
- Alavi, M. (1994) Tectonics of Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics* 229: 211-238.
- Alavi, M. (2004) Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science* 304: 1-20.
- Amidi, M. and Majidi, B. (1977) Explanatory text of Hamedan quadrangle map. 1:250000 (unpublished internal report) Geological Survey of Iran, Tehran.
- Anderson, J. L. (1997) Status of thermobarometry in granitic batholiths, *Transactions of Royal Society Edinburgh. Earth Science* 87: 125-138.
- Coltorti, M., Bonadiman, C., Faccini, B., Grégoire, M. O., Reilly, S. Y. and Powell, W. (2007) Amphiboles from suprasubduction and intraplate lithospheric mantle. *Lithos* 99: 68-84.
- Cornelis, K. and Cornelius, S. H. (1985) *Manual of mineralogy*. John Wiley and Sons, New York.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1992) *An Introduction to the rock forming minerals*. Longman, London.
- Foley, S. F. and Venturelli, G. (1989) High K<sub>2</sub>O rocks with high MgO, High SiO<sub>2</sub> affinities. In: Crawford, A. J. (Ed.): *Boninites and related rocks*. Unwin Hyman London, 72-88.
- Foster, M. D. (1960) Interpretation of the composition of trioctahedral micas. *Geological Survey of United*

- States 354B: 1-49.
- Helz, R. T. (1973) Phase relations of basalts in their melting range at  $P_{H_2O} = 5$  kb as a function of oxygen fugacity. *Journal of Petrology* 17: 139-193.
- Kretz, R. (1983) Symbols for rocks forming minerals. *American Mineralogist* 68: 227-279.
- Leake, B. E., Woolley, A. R., Arps, C. E. S., Birch, W. D., Gilbert, M. C., Grice, J. D., Hawthorne, F. C., Kato, A., Kisch, H. J., Krivovichev, V. G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J. A., 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. *American Mineralogist* 82: 1019-1037.
- Lebas, N. J. (1962) the role of aluminous in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. *American Journal of Science* 260: 267-88.
- 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.
- Liu, T. C., Chen, B. R. and Chen, C. H. (2000) Melting experiment of a Wannienta basalt in the Kuanyinshan area, northern Taiwan. *Journal of Asian Earth Sciences* 18: 519-531.
- Mccarthy, T. C. and Patino Douce, A. E. (1998) Empirical calibration of the silica-Ca-tschermak's anorthite (SCAn) geobarometer. *Journal of Metamorphic Geology* 16: 675-686.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahandi, M. R. (2003) Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 21: 397-412.
- Nachite, H. (1986) Contribution an l e' tude analytique ET experimental des biotites des granitoids applications typologiques. These de Doctorat De L'Univesite' de Bretagne accidentale, Brest, France.
- Nimis, P. and Taylor, W. R. (2000) Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I: Calibration and testing of the Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 139: 541-554.
- Nisbet, E. G. and Pearce, J. A. (1977) Clinopyroxene composition of mafic lavas from different tectonic settings. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 63: 161-173.
- Patino Douce, A. E. (1993) Titanium substitution in biotite: an empirical model with applications to thermometry,  $O_2$  and  $H_2O$  barometries and consequences form biotite stability. *Chemical Geology* 108: 133-162.
- Shahbazi, H., Siebel, W., Pourmoafee, M., Ghorbani, M., Sepahi, A. A., Shang, C. J. and Vousoughi-Abedini, M. (2010) Geochemistry and U-Pb zircon geochronology of Alvand plutonic complex in Sanandaj-Sirjan Zone (Iran): New evidence for Jurassic magmatism. *Journal of Asian Earth Sciences* 39: 668-683.
- Valizadeh, M. V. and Cantagral., J. M. (1975) Premies donne'es radiometriques (K-Ar) et (Rb-Sr) sur les micas du complex du Mont d'Alvand Pre's d'Hamadan, Iran occidental, *Comptes Rudes Academic Science Paris, serie D.* 281: 1083-1086.
- Wass, S. Y. (1979) Multiple origins of clinopyroxenes in alkali basaltic rocks. *Lithos* 12:115-132.



## **The study of minerals chemistry, thermobarometry and tectonic setting of plutonic rocks from Sarabi Tueyserkan area (Hamedan province)**

**Ali Asghar Sepahi Garoo \*, Kazem Borzoei and Seddigheh Salami**

Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

### **Abstract**

Sarabi area of Tueyserkan is located in Hamedan province which is a part of Sanandaj-Sirjan zone. Rocks of the area include igneous and metamorphic types in which the igneous rocks vary from gabbro to granite. The gabbros include olivine-gabbro, gabbro-norite, norite and gabbro. Considering different methods of thermometry for gabbros, the highest temperature belongs to olivine-gabbros which is about 1300 °C and the least temperature is about 950 °C for mafic rocks. Clinopyroxene-plagioclase barometry suggests nearly 6 Kbar pressure. Clinopyroxene, biotite and particularly amphibole were used to determine magma composition and tectonic setting. The results suggest a calc-alkaline to tholeiitic magma with approximately high oxygen fugacity during crystallization in a VAB tectonic setting.

**Key words:** Gabbro, Mineral chemistry, Thermobarometry, Volcanic arc, Sarabi Tueyserkan