IRANIAN SOCIETY of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Vol. 16, No. 2, summer 1387/2008

IRANIAN JOURNAL of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Geothermobarometry and mineral chemistry of ferroanpargasite gabbroic cumulates in volcanic rocks from South of Shahrood

Ghasem Ghorbani

School of Earth Sciences ,Damghan University of Basic Sciences ,Damghan ,Iran .
E-mail: ghasemghorbani@ yahoo.com

(Received: 16/6/2007, in revised form: 12/4/2008)

Abstract: The study area is located about 110 Km south of Shahrood in north of Central Iran structural zone. There are many cumulate enclaves with ferroanpargasite gabbroic composition within the Middle Eocene basic volcanic rocks in the study area. Amphiboles are one of the most important minerals in gabbroic cumulates and host basaltic rocks. Based on results of electron microprobe analyses, amphibole minerals present in these cumulates, according to leake et al. classification are calcic and show ferropargasite compositions. Plagioclase shows a notably CaO-rich composition and has normal zoning from anorthite in the core to bytownite at the rim. Clinopyroxene composition range between calcic augite and diopsite. According to the amphibole geobarometer of Schmidt, amphiboles in these gabbroic cumulates are crystallized at ~7.5 Kbar corresponding to a depth of ~26 Km. Geothermometry of amphiboles of these rocks also were calculated with different thermometer and range from 830 to 860^{0C}. The low contents of HREE and La/Yb and Dy/Yb ratios of gabbroic cumulstes suggest that their parental magma was probably formed by relatively high degree of partial melting (16 to 18%) of the mantle.

Keywords: *Mineral chemistry, Geothermobarometry, Gabbroic cumulates, South of Shahrood.*

Archive of SID

www.SID.ir

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال شانزدهم، شمارهٔ **2**، تابستان **87**، از صفحهٔ **265** تا **278**

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

زمین دما-فشار سنجی و شیمی کانی انباشته‌ای فروپارگازیت گابرویی در سنگ‌های آتشفشانی جنوب شاهرود

قاسم قربانی

دانشکده علوم زمین ، دانشگاه علوم پایه دامغان

پست الکترونیکی : ghasemghorbani@ yahoo.com

(دریافت مقاله: 1386/3/26، نسخه نهایی: 1387/1/24)

چکیده: منطقهٔ مورد مطالعه در حدود 110 کیلومتری جنوب شاهرود و در شمال زون ساختاری ایران مرکزی واقع شده است. برونبومهای کومولیتی زیادی با ترکیب فروپارگازیت گابرویی در میان سنگ‌های آتشفشانی بازیک ائوسن میانی منطقهٔ مورد مطالعه وجود دارند. آمفیبول‌ها یکی از کانی‌های مهم این انباشته‌های گابرویی و بازالت‌های میزبانند. بر پایهٔ نتایج حاصل از ریزپردازندهٔ الکترونی، آمفیبول‌های موجود در انباشته‌های مورد مطالعه، بر پایهٔ تقسیم‌بندی لیک و همکاران، در گروه کلسیک قرار می‌گیرند و از نوع فروپارگازیتند. پلاژیوکلازها به صورت چشمگیری ترکیب غنی از کلسیم نشان می‌دهند، و منطقه‌بندی عادی از آنورتیت در مرکز تا بایتونیت در حاشیه دارند. ترکیب کلینوپیروکسن‌ها بین کلسیک اوژیت و دیوپسید تغییر می‌کند. بنابر نتایج حاصل از زمین فشار سنج آمفیبول اشمیت، آمفیبول‌ها در این انباشته‌های گابرویی در فشار حدود 7/5 کیلو بار، در عمق حدود 26 کیلومتری متبلور شده‌اند. زمین دماسنجی آمفیبول‌های این سنگ‌ها نیز با دماسنجهای مختلف، تغییرات دمایی بین 830 تا 860 درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند. مقادیر پایین HREE و نسبت‌های La/Yb و Dy/Yb انباشته‌های گابرویی نشان می‌دهد که ماگمای مادر آنها احتمالاً در درجه‌های ذوب بخشی نسبتاً بالا (16 تا 18 درصد) از یک خاستگاه گوشته‌ای ریشه گرفته است.

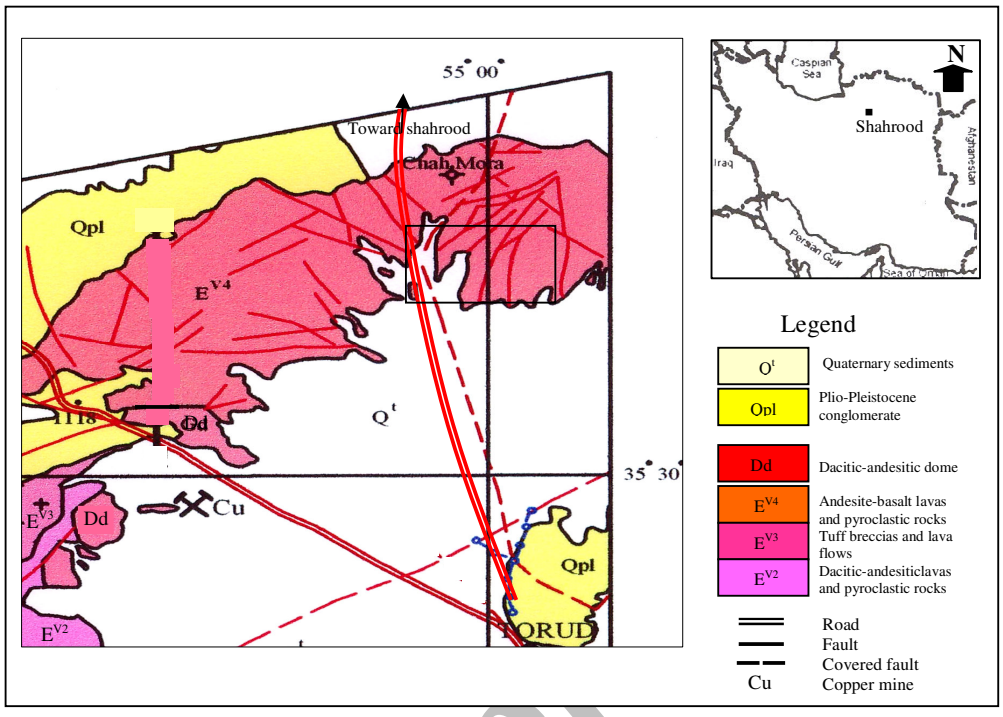
واژه‌های کلیدی: *شیمی کانی‌ها، زمین دما-فشار سنجی، انباشته‌های گابرویی، جنوب شاهرود.*

مقدمه

منطقهٔ مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی $55^{\circ}00'$ طول خاوری و $35^{\circ}36'$ عرض شمالی، در حدود 110 کیلومتری جنوب شهرستان شاهرود واقع شده است (شکل 1). این منطقه که در بخش شمال خاوری نوار ماگمایی ائوسن جنوب شاهرود قرار دارد، از نظر ساختاری در بخش شمالی زیر زون ماگمایی ایران مرکزی قرار دارد، و بر پایهٔ مطالعات [1، 2] تکامل زمین-ساختی و ماگمایی آن احتمالاً به گسل‌های تراکششی (حوضه-های چاک‌دار) حاصل از دوران خرد قارهٔ ایران مرکزی وابسته است. سنگ‌های آتشفشانی نوار ماگمایی یاد شده از لحاظ سنگ‌شناختی از مجموعه سنگ‌های اولیوین بازالت تا داسیت و معادل‌های آذرآواری آنها تشکیل شده است. در سنگ‌های آندزیت بازالتی- بازالتی خاور این نوار، تعداد زیادی از برونبومهای انباشته‌ای با ترکیب گابرویی مشاهده می‌شوند و آمفیبول‌ها یکی از کانی‌های مهم تشکیل دهندهٔ این انباشته‌ها و سنگ‌های میزبانند. تجربیات پژوهشگران مختلف نشان داده است که میزان آلومینیم کل هورنبلند، رابطهٔ مستقیمی با فشار و دمای تبلور آن دارد و از اینرو می‌توان از ترکیب شیمیایی آمفیبول برای محاسبات زمین دما-فشار سنجی استفاده کرد [3]. بررسی شیمی کانی‌های انباشته‌ای گابرویی برای محاسبهٔ زمین دما-فشار سنجی و شرایط مخزن ماگمایی آنها، هدف اصلی این مقاله است. مسلماً مطالعهٔ برونبومها در گدازه‌ها (برونبومهای تمام بلورین همزاد، زینولیت‌ها و ...) اطلاعات مهمی در ارتباط با سیستم ماگمایی زون‌های آتشفشانی، مانند خاستگاه زون ماگماتیسم و دینامیک مخازن ماگمایی و ویژگی-های گوشتهٔ زیرین فراهم می‌آورد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 1 نقشهٔ زمین‌شناسی ساده شدهٔ منطقهٔ مورد مطالعه، واقع در جنوب شاهرود که در آن گسترهٔ گسترش برونبومهای گابرویی مشخص شده است (اقتباس با تغییر از نقشهٔ زمین شناسی 250000: 1 طرود).

زمین شناسی عمومی منطقه

منطقهٔ مورد مطالعه در جنوب شهرستان شاهرود واقع است. در این منطقه نوار ماگمایی با روند شمال خاوری – جنوب باختری و متشکل از سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی وجود دارد. حجم اصلی سنگ‌های آذرین را سنگ‌های آتشفشانی به سن ائوسن میانی [2] و با ترکیب بازیک تا اسیدی تشکیل می‌دهند. سنگ‌های حدواسط آندزیتی حجم اصلی واحدهای آذرین بیرونی منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. چندین تودهٔ نفوذی کوچک عمیق و نیمه عمیق با ترکیب حدواسط تا اسیدی و احتمالاً در ائوسن فوقانی - اولیگوسن، به درون سنگ‌های آتشفشانی نفوذ کرده‌اند. انباشته‌های گابرویی مورد مطالعه را می‌توان در رخنمون‌های فاز پسا فعالیت آتشفشانی بازیک ائوسن میانی، واقع در شمال خاوری این نوار ماگمایی، در درون سنگ‌های آندزیت بازالت تا بازالت سمت چپ جادهٔ شاهرود به روستای طرود، مشاهده کرد. اندازهٔ این انباشته‌ها تا 15 سانتی‌متر می‌رسد (شکل 2). زنجیرهٔ آتشفشانی در این منطقه از گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری متناوب تشکیل شده است، و ترکیب سنگ‌شناختی این مجموعه از بازالت، آندزیت تا داسیت تغییر می‌کند. دایک‌های موازی متعددی با ترکیب بازالتی و گابرویی و با روند شمال خاوری - جنوب باختری نیز این مجموعه آتشفشانی را قطع کرده‌اند.

انتخاب نمونه‌ها و روش تجزیه

به منظور تجزیهٔ شیمیایی و تعیین شرایط دما و فشار تشکیل کانی‌های انباشته‌های گابرویی مورد مطالعه از نمونه‌های سالم و دگرسان نشده استفاده شد. با توجه به وجود شکستگی و دگرسانی در سنگ‌های منطقه، پس از بررسی و سنگ‌شناختی تعداد زیادی از مقاطع نازک، یک نمونه از مقاطع نازک صیقلی انباشته‌های گابرویی برای مطالعه شیمی کانی تشکیل دهندهٔ آن به وسیلهٔ یک ریزپردازندهٔ الکترونی، انتخاب شد. تجزیه این نمونه با دستگاه یاد شدهٔ مدل CAMECA SX – 50 در آزمایشگاه میکروسوند مرکز تحقیقات دریایی اروپا در فرانسه انجام شد. کانی‌های آمفیبول، پیروکسن، پلاژیوکلاز، و کانی‌های تیره مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج حاصل در جدول‌های 1 تا 3 ارائه شده‌اند. همچنین تعداد سه نمونه به روش XRF در آزمایشگاه امدل استرالیا مورد بررسی شیمیایی سنگ کل قرار گرفتند.

Archive of SID

www.SID.ir

شکل 2 تصویر یک نمونهٔ دستی از برونبوم گابرویی در سنگ‌های آتشفشانی میزبان.

جدول 1 نتایج تجزیه ریزپردازش الکترونی پلاژیوکلازهای انباشته‌های گابرویی جنوب شاهرود، بر پایهٔ 8 اکسیژن.

	Gb-13	Gb-17	Gb-18	Gb-5	Gb-7
Na_2O	1,964	0,8694	0,918	0,8223	2,429
K_2O	0,0928	0	0,0133	0,1277	0,5324
FeO	0,7757	0,6046	0,5866	0,5686	0,6329
SiO_2	47,321	45,0962	45,121	44,948	47,265
P_2O_5	0,0664	0,0115	0,0183	0,0252	0,0298
MgO	0,0597	0,0182	0,0199	0,0415	0,0497
CaO	16,799	18,7392	18,529	18,48	15,547
MnO	0	0,0207	0,0723	0,0207	0
Al_2O_3	33,184	34,7787	34,893	34,14	32,885
TiO_2	0	0,0684	0	0,0417	0
Cr_2O_5	0,0365	0,0058	0	0	0
Sum	100,303	100,215	100,178	99,219	99,377
Si	2,175	2,082	2,083	2,096	2,19
Ti	0	0,002	0	0,001	0
Al	1,797	1,891	1,897	1,875	1,795
Fe^2	0,030	0,023	0,023	0,022	0,025
Mn	0	0,001	0,003	0,001	0
Mg	0,004	0,001	0,001	0,003	0,003
Ca	0,827	0,927	0,917	0,923	0,772
Na	0,175	0,078	0,082	0,074	0,218
K	0,005	0	0,001	0,008	0,031
Sum	5,013	5,005	5,007	5,003	5,034
Ab	17,4	7,8	8,2	7,4	21,4
An	82,1	92,2	91,7	91,8	75,6

Archive of SID

www.SID.ir

Or	0/5	0	0/1	0/8	3

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 2 نتایج تجزیه ریزپردازش الکترونی پیروکسن‌های انباشته‌های گابرویی منطقه جنوب شاهرود ، بر اساس 6 اکسیژن .

	Gb-10	Gb-12	Gb-165	Gb-167	Gb-169	Gb-15	Gb-120	Gb-125	Gb-131	Gb-136
Na_2O	0,46	0,35	0,36	0,44	0,38	0,37	0,31	0,41	0,39	0,40
K_2O	0	0	0,02	0,01	0	0	0	0	0,03	0
FeO	7,48	7,16	8,37	7,99	7,18	7,87	7,30	7,24	9,48	8,65
SiO_2	51,45	51,21	50,01	51,82	51,29	50,24	50,93	51,39	51,30	50,29
P_2O_5	0	0,02	0	0	0	0,05	0,04	0	0	0,04
MgO	13,45	14,99	13,95	15,13	14,67	13,77	14,65	14,48	15,10	13,96
CaO	22,90	22,54	22,26	21,85	22,78	22,36	23,01	22,22	20,04	21,47
MnO	0,28	0,39	0,25	0,31	0,42	0,30	0,31	0,46	0,72	0,38
Al_2O_3	4,01	3,13	4,67	2,48	3,03	4,14	2,54	3,32	3,12	4,51
TiO_2	0,48	0,29	0,63	0,23	0,36	0,55	0,19	0,25	0,33	0,62
Cr_2O_3	0	0,09	0	0	0	0,01	0,09	0	0	0,04
Sum	100,52	100,19	100,53	100,27	100,13	99,66	99,36	99,78	100,52	100,35
T Site										
Si	1,897	1,885	1,842	1,907	1,891	1,868	1,894	1,901	1,890	1,858
Al	0,103	0,115	0,158	0,093	0,109	0,132	0,106	0,099	0,110	0,142
M1 Site										
Al	0,071	0,020	0,045	0,014	0,022	0,050	0,005	0,046	0,026	0,055
Ti	0,013	0,008	0,018	0,006	0,010	0,015	0,005	0,007	0,009	0,017
Fe^{2+}	0,176	0,147	0,171	0,149	0,161	0,172	0,175	0,149	0,135	0,158
Cr	0	0,003	0	0	0	0	0,003	0	0	0,001
Mg	0,739	0,823	0,766	0,830	0,806	0,763	0,812	0,799	0,830	0,769
M2 Site										
Fe^{2+}	0,054	0,074	0,087	0,097	0,060	0,073	0,052	0,076	0,157	0,109
Mn	0,009	0,012	0,008	0,010	0,013	0,009	0,010	0,014	0,022	0,012
Ca	0,905	0,889	0,879	0,862	0,900	0,891	0,916	0,881	0,791	0,850
Na	0,033	0,025	0,026	0,032	0,027	0,027	0,022	0,029	0,028	0,029
K	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0
Sum cat.	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Sum oxy.	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Wo	48,1	45,7	46,0	44,24	46,4	46,7	46,6	46,0	41,0	44,7
En	39,2	42,3	40,1	42,6	41,5	40,0	41,3	41,6	42,8	40,6
Fs	12,7	12,0	13,9	13,0	12,1	13,3	12,1	12,4	16,2	14,7

جدول 3 نتایج تجزیه ریزپردازش الکترونی آمفیبول‌های انباشته‌های گابرویی جنوب شاهرود، بر پایهٔ 23 اکسیژن .

Archive of SID

www.SID.ir

	Gb-26	Gb-30	Gb-144	Gb-147	Gb-153	Gb-154	Gb-159	Gb-162	Gb-164
Na_2O	2,33	2,30	2,39	2,06	2,24	2,36	2,41	2,38	2,18
K_2O	1,15	1,21	1,23	1,28	1,29	1,28	1,08	1,12	1,26
FeO	11,03	11,81	10,98	11,17	11,52	11,69	10,42	11,53	11,50
SiO_2	40,66	41,63	40,79	43,39	41,60	42,07	44,01	41,99	41,95
P_2O_5	0	0,02	0,01	0,03	0,05	0,03	0	0,03	0,06
MgO	14,72	14,16	14,35	14,38	13,87	14,19	14,31	14,08	13,79
CaO	12,19	11,50	12,34	11,9	11,94	11,66	11,92	11,83	11,61
MnO	0,20	0,23	0,16	0,31	0,36	0,14	0,21	0,07	0,19
Al_2O_3	13,12	12,62	12,77	12,29	12,81	12,88	13,31	13,23	12,39
TiO_2	1,88	2,02	1,94	1,91	1,93	1,94	1,85	1,80	1,87
Cr_2O_3	0	0	0,002	0,11	0,10	0,013	0	0	0,02
sum	97,28	97,50	96,97	98,84	97,71	98,26	96,54	98,08	96,85
T Site									
Si	6,044	6,173	6,087	6,311	6,161	6,183	6,111	6,173	6,251
Al[4]	1,956	1,827	1,913	1,689	1,839	1,817	1,889	1,827	1,749
Sum	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
M1 - M2 Site									
Al[6]	0,341	0,376	0,332	0,416	0,398	0,413	0,445	0,463	0,426
Cr	0	0	0	0,013	0,012	0,002	0	0	0,003
Ti	0,210	0,225	0,218	0,209	0,215	0,214	0,208	0,199	0,210
Mg	3,261	3,131	3,192	3,119	3,064	3,11	3,178	3,085	3,062
Fe^{2+}	1,188	1,267	1,258	1,243	1,313	1,262	1,169	1,252	1,300
sum	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
M4 - Site									
Fe^{2+}	0,183	0,197	0,113	0,116	0,113	0,175	0,130	0,165	0,133
Mn	0,025	0,029	0,021	0,038	0,046	0,017	0,027	0,006	0,025
Ca	1,792	1,774	1,867	1,847	1,841	1,808	1,843	1,829	1,842
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sum	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
A Site									
Ca	0,150	0,052	0,107	0,008	0,054	0,028	0,059	0,035	0,012
Na	0,671	0,660	0,691	0,582	0,644	0,672	0,697	0,679	0,631
K	0,217	0,229	0,234	0,238	0,243	0,241	0,206	0,211	0,240
Sum	1,039	0,941	1,032	0,828	0,941	0,940	0,963	0,924	0,883
Sum Cat	16,039	15,941	16,032	15,828	15,941	15,940	15,963	15,924	15,883

شیمی کانی‌های انباشتهٔ فروپارگازیت گابرویی

کانی‌های اصلی و مهم انباشتهٔ گابرویی مورد مطالعه را کانی-های پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول، کانی‌های تیره، و در برخی

Archive of SID

www.SID.ir

نمونه‌ها به مقدار کم اولیوین (به کلریت و اکسید آهن تجزیه شده است) تشکیل می‌دهند، و دارای بافت کومولایی یا انباشتی و پوئی کیلیتی هستند (شکل 3- الف تا د).

پلاژیوکلاز: ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازها نشاندهنده بالا بودن میزان کلسیم درآنهاست. ترکیب آنها از نوع بایتونیت و آنورتیت است (شکل 4). درصد آنورتیت تا $An_{92/2}$ می‌رسد (جدول 1). برخی بلورها دارای ساخت منطقه‌ای از نوع عادی و نوسانی هستند. در انواع با ساخت منطقه‌ای عادی، از مرکز به حاشیه ترکیبی از $An_{92/2}$ تا $An_{75/6}$ دیده می‌شوند (جدول 1).

وجود پلاژیوکلاز کلسیک در نمونه‌های مورد مطالعه، بیانگر بالا بودن فشار آب است. به تجربه معلوم شده که فشار بالای آب در سیستم آلبیت - آنورتیت - آب، باعث غنی شدن ترکیبهای پلاژیوکلاز از آنورتیت می‌شود [4]. در [5] نیز اشاره شده است که از شاره‌های بازالتی آبدار، پلاژیوکلازهایی با درصد آنورتیت بالاتر، نسبت به شاره‌های بازالتی بدون آب، متبلور می‌شوند.

پیروکسن: تمامی پیروکسن‌ها از نوع کلینوپیروکسن هستند و بر پایهٔ تقسیم‌بندی [6]، در نمودار Q – J در قلمرو کلسیک (شکل 5 - الف) قرار می‌گیرند و از نوع اوژیت و دیوپسید ($Wo_{41-48}\ En_{43-39}\ Fs_{16-13}$) هستند (شکل 5- ب). به نظر می‌رسد وجود کلینوپیروکسن‌های با کلسیم بالا نتیجهٔ فعالیت پایین سیلیس در آبگون است و احتمالاً نشاندهندهٔ بالابودن فعالیت آب است [7]. شرایط P_{H2O} بالا در ماگمای نمونه‌های مورد مطالعه با وجود پیروکسن‌های غنی از کلسیم به جای اولیوین نیز مشخص می‌شود (جدول 2 و شکل 5)، به طوریکه پیروکسن‌های با کلسیم کم از شاره‌های بازالتی و آندزیت بازالتی مرطوب متبلور نمی‌شوند [8].

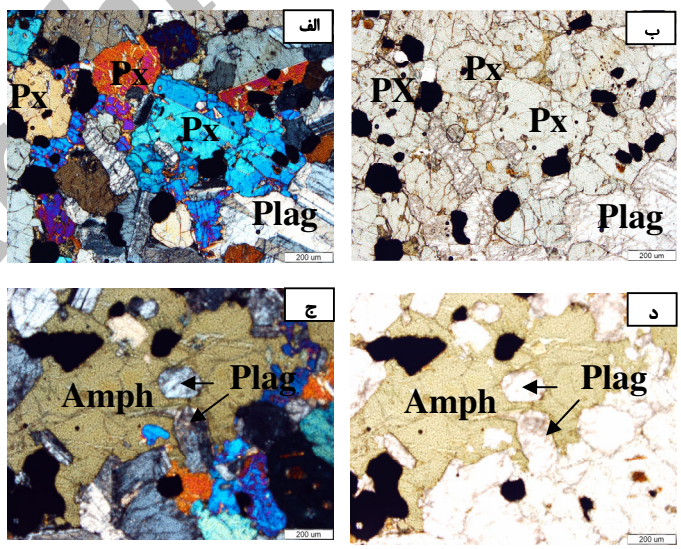
آمفیبول: آمفیبول‌ها، بی شکل تا نیمه شکل‌دار، با پلئوکروئیسم سبز کم رنگ و به دو صورت اولیه و ثانویه در این سنگ‌ها حضور دارند. آمفیبول‌های ثانویه حاصل تبدیل پیروکسن‌اند و در حاشیهٔ این بلورها مشاهده می‌شوند، و آمفیبول‌های اولیه، برخی به صورت پوئی کیلیتی، بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن را در بر می‌گیرند (شکل 3 - ج). بر پایهٔ تقسیم‌بندی [9] با توجه به نوع عناصری که درموقعیت B ساختار بلوری آمفیبول قرار می‌گیرند آنها را به چهار گروه رده‌بندی کرده‌اند:

1- آمفیبول‌های گروه Mg - Fe - Mn - Li، که در این گروه مقدار $(Ca + Na)_B < 1$ و $(Mg, Fe, Mn, Li)_B \geq 1$ است.

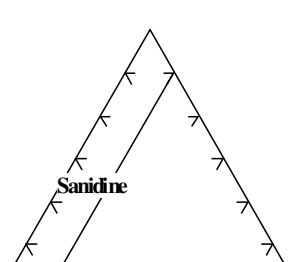
2- آمفیبول‌های گروه کلسیک، در این گروه مقدار $(Ca + Na)_B \geq 1$ و $Na_B < 0/5$ ، $Ca_B > 1/5$ است.

3-آمفیبول‌های گروه سدیک - کلسیک، در این گروه $(Ca + Na)_B \geq 1$ و $Na_B = 0/5 - 1/5$ است.

4- آمفیبول‌های گروه سدیک که در آنها مقدار $Na_B \geq 1/5$ است .



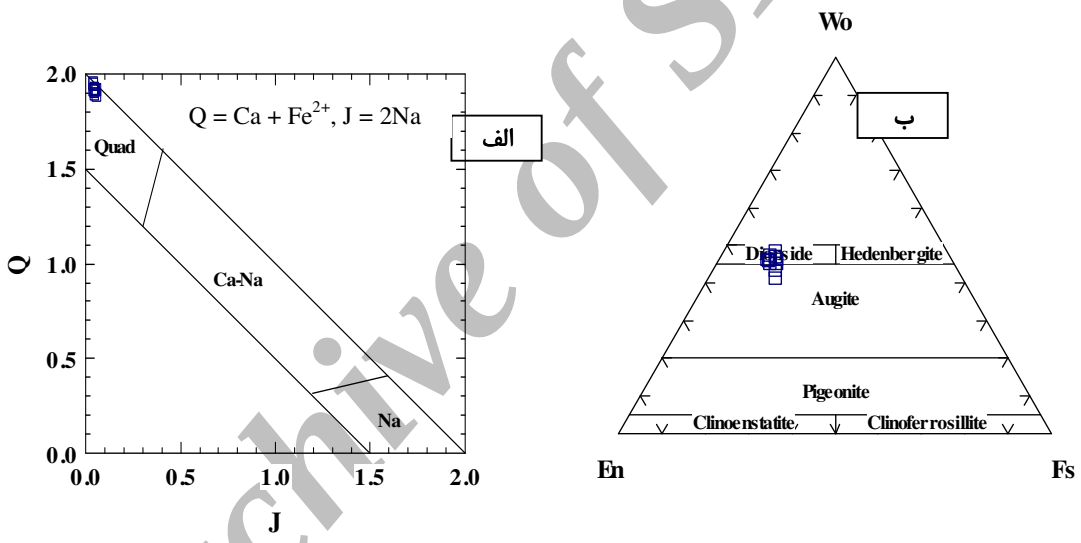
شکل 3 الف تا د - برونبومهای گابرویی متشکل از کانی های پیروکسن (Px)، پلاژیوکلاز (Plag)، کانی‌های تیره و آمفیبول فروپارگازیت (Amph) با بافت انباشتی (الف، ب) و پوئی کیلیتی (ج، د). تصاویر الف و ج ، XPL و تصاویر ب و د ، PPL .



Archive of SID

www.SID.ir

شکل 4 نامگذاری فلدسپارهای انباشته‌های گابرویی در نمودار Ab-An-Or. پلاژیوکلازها دارای ترکیب بایتونیت و آنورتیت هستند.



شکل 5 منطقه‌بندی پیروکسن‌های انباشته‌های گابرویی بر پایهٔ رده بندی [6] . الف – جدایش پیروکسن‌های کلسیک، کلسیک – سدیک و سدیک بر پایهٔ نمودار Q-J ، نمونه‌های مورد مطالعه در گروه کلسیک قرار می‌گیرند و ب – از نوع دیوپسید و اوژیت هستند.

با توجه به تقسیم‌بندی بالا و بر پایهٔ 23 اکسیژن، آمفیبول-های مورد مطالعه در گروه کلسیک قرار می‌گیرند (شکل 6 - الف) و بیشتر در قلمرو فروپارگازیت و فروپارگازیت هورنبلند و سپس پارگازیت و پارگازیت هورنبلند قرار می‌گیرند (شکل 5 - ب). با توجه به انباشت بیشتر نمونه‌ها در قلمرو فروپارگازیت و روی مرز مشترک آن با کانی‌های مجاور، نشان می‌دهد که ترکیب آمفیبول‌های مورد مطالعه باید از نوع فروپارگازیت باشند.

با توجه به مطالعات سنگ‌شناختی و ترکیب شیمیایی، این آمفیبول‌ها ماگمایی بوده و به نظر می‌رسد که مستقیماً از ماگمای مرطوب و احتمالاً پس از تبلور پیروکسن، اولیوین و پلاژیوکلاز متبلور شده‌اند. خاستگاه ماگمایی آمفیبول‌ها چنانکه در جدول 3 آمده است، از مقدار بالای K (> 0/2)، Na (0/6 >)، Al (> 6) و Ti (> 0/2) کاملاً مشخص است [10] و از نوع آمفیبول‌های دمای بالا هستند. بنابر این حضور آمفیبول ماگمایی نشان می‌دهد که ماگما بایستی دارای مقدار زیادی آب بوده باشد [11]. آمفیبول‌های سنگ‌های میزبان نیز به لحاظ ترکیب مشابه آمفیبول‌های انباشته گابرویی بوده و از نوع پارگازیت و فروپارگازیت هستند [2].

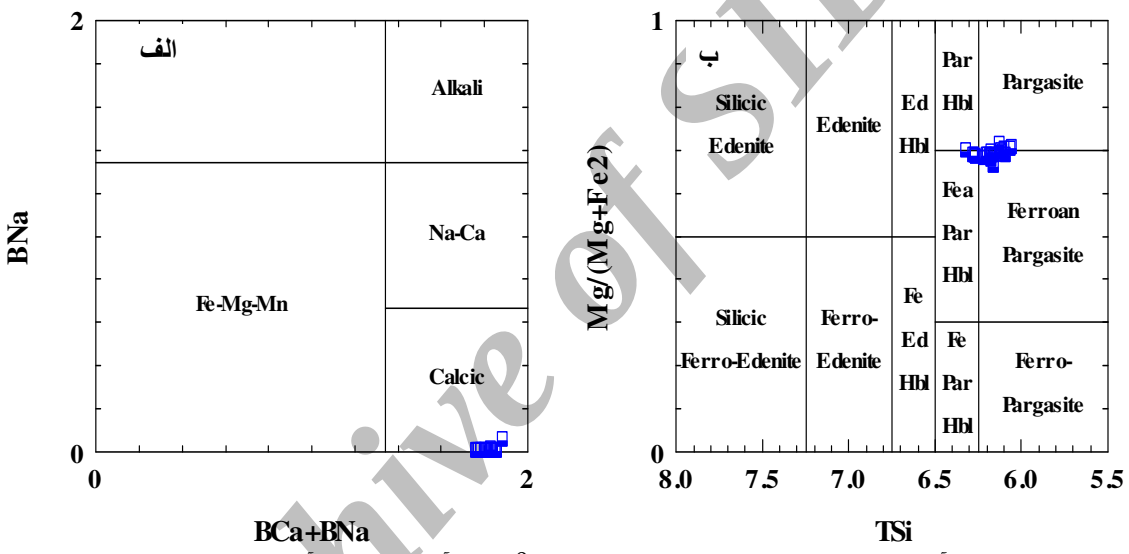
Archive of SID

www.SID.ir

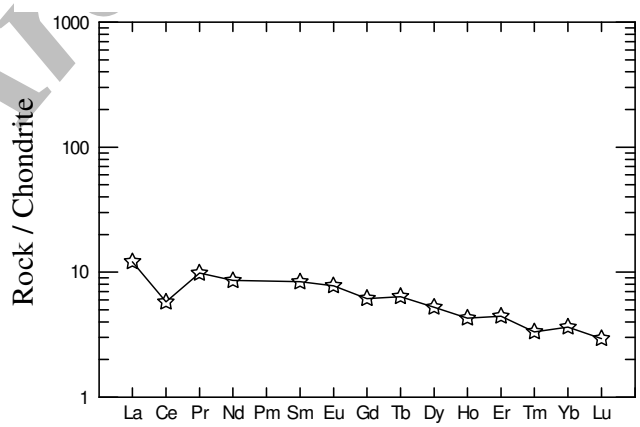
کـانی‌هـای تیـره: از نـوع مگنتیـت و تیتانومگنتیـت و حـاوی $FeO = 79/08 - 83/57$٪ و $TiO_2 = 4/34 - 7/16$٪ هستند.

مشخصات ژئوشیمیایی انباشته‌های فروپارگازیت گابرویی

بررسی الگوهای عنکبوتی، فراوانی‌های عناصر نادر خاکی نمونه‌های انباشته‌ای فروپارگازیت گابرویی مورد مطالعه که بر پایهٔ ثابت‌های [12] نسبت به کندریت بهنجار شده‌اند، نشاندهندهٔ غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) است (شکل 7). یک غنی‌شدگی نسبی از La و تهی‌شدگی از Ce در نمودار وجود دارد که غنی‌شدگی La، احتمالاً وجود گارنت در خاستگاه را تعیین می‌کند [13]. این امر توسط مقادیر پائین عناصر نادر خاکی سنگین و شیب خیلی کم آنها تأئید می‌شود (شکل 7). نابهنجاری منفی Ce می‌تواند بیانگر تاثیر دگرسان بر نمونه‌های مورد مطالعه باشد [14]. نابهنجاری جزیی مثبت Eu (نسبت Eu / Eu^* برابر با 1/08 است، $\{ Eu^* = (Sm + Gd)^N / 2 \}$) و میزان بالای Al_2O_3 نمونه‌های تجزیه شده، انباشت پلاژیوکلاز را نشان می‌دهد.



شکل6 نمودار منطقه‌بندی آمفیبولهای انباشته‌های گابرویی بر پایهٔ رده‌بندی [9]. الف- آمفیبولها از نوع آمفیبول‌های کلسیک هستند و ب- عمدتاً در قلمرو فروپارگازیت-فروپارگازیت هورنبلند قرار می‌گیرند. پارامترهای این نمودار شامل $ANa + AK > 0/5$، $Ti < 0/5$ و $Fe3 < AlVI$ است.



شکل 7 الگوی بهنجار شدهٔ کندریتی نمونه های مورد مطالعه بر پایهٔ ثابت‌های [12].

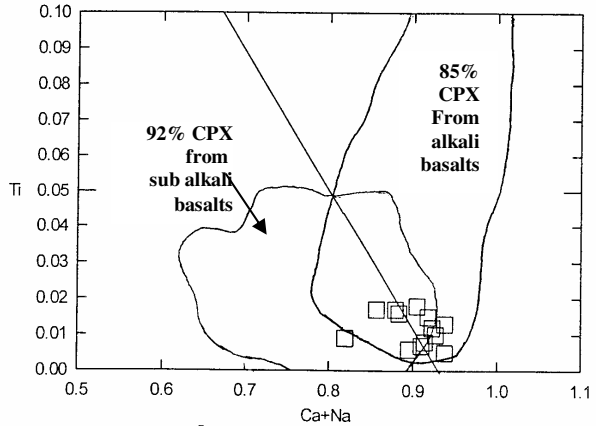
Archive of SID

www.SID.ir

نمونه‌های مورد مطالعه دارای سیلیس پایین (میانگین 43 درصد) بوده و در قلمرو پیکریت بازالت قرار می‌گیرند [2]. ماهیت ماگمای تشکیل دهندهٔ انباشته‌های گابرویی بر پایهٔ عناصر اصلی، قلیایی - نیمه قلیایی است، و در نمودارهای جداکنندهٔ ترکیبهای بازی بر پایهٔ ترکیب کلینوپیروکسن (شکل 8) نیز، نمونه‌های مورد مطالعه در مرز قلمرو قلیایی بازالت‌ها و نیمه قلیایی بازالت‌ها قرار می‌گیرند [15]. بر پایهٔ نسبت Rb/Sr به Ba/Rb [16]، نمونه‌های مورد مطالعه نشاندهنده خاستگاه پریدوتیتی هستند. در نمودار TiO_2 بر حسب FeO کل، که بر پایهٔ آبگونهای حاصل از آزمایشهاست [16] و دو خاستگاه گوشتهٔ پریدوتیتی تهی شده و بارور در آن تمیز داده شده‌اند، نمونه‌های مورد مطالعه بین قلمرو خاستگاه پریدوتیتی تهی شده و غنی شده قرار می‌گیرند (شکل 9). بر پایهٔ نسبت $(Hf/Sm)^N$ به $(Ta/Th)^N$ [17] نمونه‌های مورد مطالعه نزدیک به میدان گوشتهٔ تهی شده قرار گرفته‌اند (شکل 10) و نسبت-های Ti / Yb و Nb / Th [18] نشاندهنده خاستگاه گوشته لیتوسفری قاره‌ای برای نمونه‌های مورد مطالعه است.

غنی‌شدگی La و تهی‌شدگی HREE (حدود 2 تا 4 برابر کندریت) نمونه‌های مورد مطالعه احتمالاً نشاندهنده وجود گارنت در خاستگاه آنهاست [13]. در شکل 11 که بر پایهٔ نسبت Dy / Yb به La / Yb است و منحنی ذوب خاستگاه گارنت لرزولیت و اسپینل لرزولیت را نشان می‌دهد [19]، انباشته‌های گابرویی نزدیک به منحنی خاستگاه گارنت لرزولیتی و درجه‌های ذوب بخشی نسبتاً زیاد 16 تا 18 درصد واقع می‌شوند. با توجه به ماهیت ماگمایی و شیب الگوی فراوانی‌های عناصر نادر خاکی، همخوانی خوبی بین این ویژگی-ها و درجهٔ ذوب‌بخشی و خاستگاه نمونه های مورد مطالعه وجود دارد. چنانکه شکل 7 نشان می‌دهد، عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین دارای غنی شدگی بیشتری هستند $((La / Yb)^N = 3/35)$. میزان این غنی شدگی بسته به درجهٔ ذوب بخشی تغییر می‌کند. درجات ذوب بخشی پایین گوشتهٔ فوقانی (کمتر از 10 درصد) منجر به تشکیل ماگماهای بازالتی قلیایی و در نتیجه باعث غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک نسبت به سنگین می‌شوند [20]. با افزایش درجهٔ ذوب بخشی از غنی شدگی عناصر نادر خاکی سبک نسبت به سنگین کاسته می‌شود، و سری ماگمایی از قلیایی به نیمه قلیایی تغییر می‌یابد. این مطلب با ماهیت نمونه‌های مورد مطالعه (قلیایی – نیمه قلیایی) و افزایش درجهٔ ذوب بخشی نسبت به ماگماهای با ماهیت قلیایی (کمتر از 10 درصد ذوب بخشی) هماهنگی دارد. انباشته‌های گابرویی مورد مطالعه احتمالاً حاصل جدایش بلورین فاز متبلور اولیهٔ ماگمای مربوط به گدازه‌های میزبان هستند که به وسیلهٔ ماگمای باقیمانده به سطوح بالا حمل شده‌اند. بررسی این برونبومها برای تعیین عمق و فشار مخزن ماگمایی بسیار مفید خواهند بود.

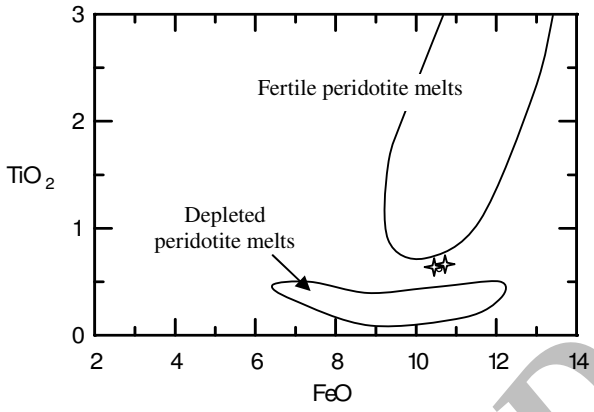
مطالعات توده‌های نفوذی مافیک روی سیستم‌های نسبتاً بی آب متمرکز شده است بنابراین، اطلاعات در مورد چگونگی جدایش ماگماهای مافیک آبدار در عمق، کمتر است [21]. با توجه به بالا بودن درصد آنورتیت پلاژیوکلازها، میزان بالای کلسیم در کلینوپیروکسن و وجود هورنبلند ماگمایی، احتمالاً نمونه‌های مورد مطالعه از یک شارهٔ نسبتاً آبدار متبلور شده و برآورد می‌شود که شاره‌های مخزن ماگمایی مورد مطالعه 1/5 تا 3 درصد آب داشته‌اند [21].



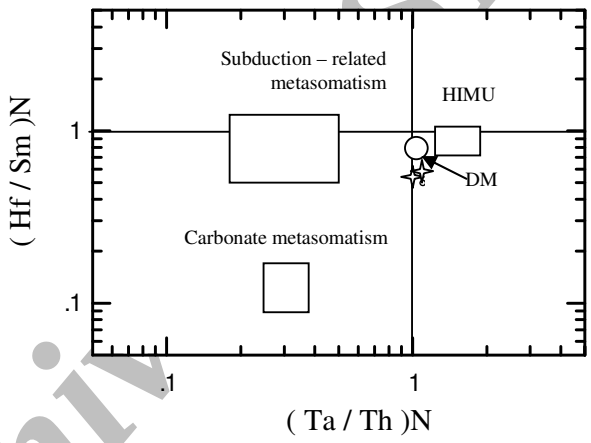
شکل 8 نمودار Ti نسبت به مجموع Ca + Na، بر پایهٔ ترکیب کلینوپیروکسن که در آن گسترهٔ قلیایی‌ها . نیمه قلیایی‌های بازالتی جدا شده است [15]. نمونه های مورد مطالعه در مرز این دو قرار می‌گیرند.

Archive of SID

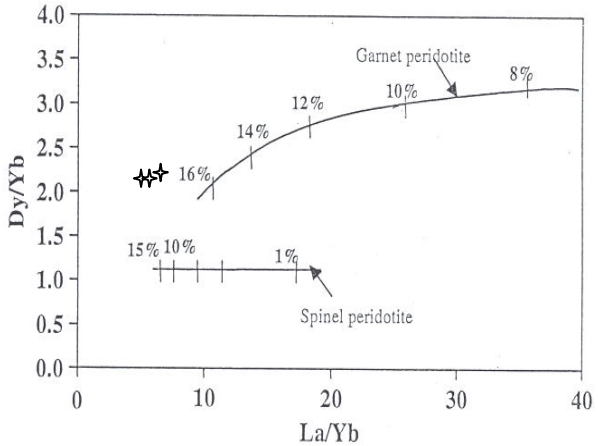
www.SID.ir



شکل 9 نمودار TiO_2 نسبت به FeO کل. قلمرو آبگونهای پریدوتیتی غنی و تهی شده بر پایهٔ کارهای تجربی [16] است. نمونه‌های مورد مطالعه در حدواسط قلمروهای پریدوتیتی غنی و تهی شده قرار می‌گیرند .



شکل 10 نمودار لگاریتمی (Hf / Sm)N نسبت به (Ta / Th)N برای نمونه‌های مورد مطالعه. چنانکه مشاهده می‌شود نمونه‌های مورد مطالعه نزدیک قلمرو گوشتهٔ تهی شده (DM) قرار می‌گیرند ([17] ؛ DM = Depleted Mantle و HIMU = Mantle with high U / Pb ratio) .



شکل11 نمودارDy / Yb نسبت به La / Yb برای نمونه‌های مورد مطالعه. منحنی‌ها درجه‌های آبگونی یک خاستگاه گارنت لرزولیت و اسپینل لرزولیت را نشان می‌دهند [19].

Archive of SID

www.SID.ir

زمین دما-فشار سنجی

بسیاری از زمین فشارسنجها بر پایهٔ میزان آلومینیم هورنبلند [3، 22 تا 25] ساخته شده‌اند. دماسنج آمفیبول - پلاژیوکلاز [24، 26] بر پایهٔ مقدار سیلیس و کاتیون‌های آلومینیم روی موقعیت‌های آمفیبول چهار وجهی کنترل می‌شود.

زمین فشار سنجی با استفاده از آلومینیم هورنبلند

بررسیهای تجربی نشان داد که ترکیب آمفیبول علاوه بر فشار به دما، فوگاسیته اکسیژن، ترکیب کل، و فازهای همزیست بستگی دارد [3]. با در نظر گرفتن این پارامترها، و به ویژه میزان Al^{total} آمفیبول، فرمول‌های زیادی تا کنون توسط پژوهشگران برای محاسبهٔ فشار جایگیری سنگ‌های آذرین ارائه شده‌اند که قابل قبول‌ترین آنها مدل [25] است، زیرا با داده-های صحرایی برازش خوبی دارد. در این مقاله نیز از این فرمول استفاده شده است. بر پایهٔ این زمین فشارسنجی ($P = -3{,}01 + 4{,}76\ Al^{total} \pm 0{,}6$ Kbar)، و ترکیب آلومینیم کل آمفیبول حاشیه ، نمونه‌های مورد مطالعه، فشار تعادل بین 7,34 تا 7,60 کیلوبار، معادل با اعماق بین 26 تا 27 کیلومتر را نشان می‌دهند. در جدول 4، فشار تعادل نمونه‌های مورد مطالعه، بر پایهٔ فرمول های ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف محاسبه و برای مقایسه آورده شده‌اند. چنانکه مشاهده می‌شود سازش نسبتاً خوبی بین فشارهای به دست آمده وجود دارد.

به طور کلی هورنبلند تبلور یافته در شرایط فوگاسیتهٔ بالای اکسیژن، نسبت به هورنبلندهای رشد یافته در شرایط فوگاسیتهٔ پایین، نتایج بهتر و قابل اطمینان‌تری را برای زمین دما-فشارسنجی ارائه می‌دهند [3]. فراوانی مگنتیت و تیتانومگنتیت ($FeO = 79 - 83$ ٪ و $TiO_2 = 4 - 7$ ٪) و نابهنجاری مثبت جزیی Eu در نمونه‌های مورد مطالعه (شکل 7) نیز نشاندهندهٔ بالا بودن فشار بخشی اکسیژن است .

زمین‌دماسنجی

برای محاسبه زمین دماسنجی نمونه‌های مورد مطالعه، از میزان آلومینیم و تیتانیوم حاشیه کانی‌های آمفیبول استفاده شده است. با استفاده از [27] به منظور ارزیابی وابستگیهای ممکن بین فشار، دما، و ترکیب شیمیایی هورنبلند، فرمول زیر را برای محاسبه دما ارائه کرده‌اند : $T = 25{,}3\ P + 654{,}9$. زمین دماسنجی حاشیهٔ آمفیبول‌های مورد مطالعه بر پایهٔ این فرمول نشاندهنده دمای 840 تا 847 درجه سانتی‌گراد است (جدول 4). مقدار فشار لازم در این فرمول از رابطهٔ [25] محاسبه و در فرمول قرار داده شده است. دمای تعادل حاشیهٔ بلورها، نشاندهنده شرایط نهایی تبلور این کانی‌هاست.

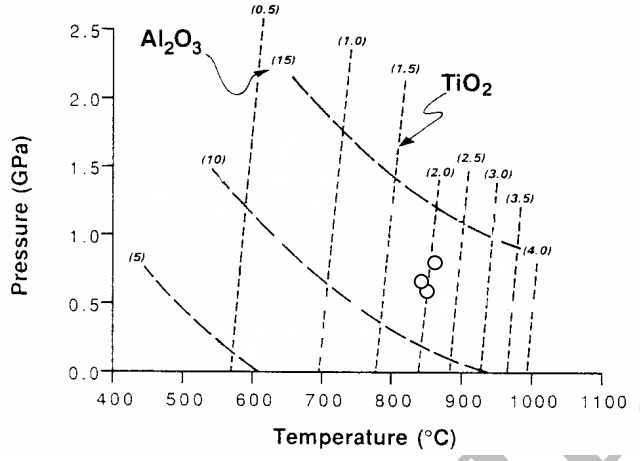
بررسیهای تجربی روی پایداری آمفیبول‌های غنی از Ti نشان می‌دهد که حد بالایی پایداری Ti- پارگازیت/ کرسوتیت در 10 Kbar و دماهای کمتر از 1100 درجه سانتی‌گراد است [28] . میزان Ti، کلسیم آمفیبول‌ها با افزایش دما همخوانی مثبتی دارد و افزایش می‌یابد، ولی تقریباً مستقل از فشار است [29]، و بر پایهٔ کارهای تجربی [29]، میزان Ti در دماهای بالای 500 درجه سانتی‌گراد یک دماسنج نیمه کمّی است. در ژمین دما-فشارسنجی نیمه کمّی [29] که بر پایهٔ ترکیب تغییرات میزان اکسیدهای TiO_2 و Al_2O_3، کلسیم آمفیبول-های سنگ‌های متابازالتی ارائه شده است، نمونه‌های مورد مطالعه، دمای 830 تا 860 درجه سانتی‌گراد و فشار 6 تا 7,5 کیلوبار را نشان می‌دهند (شکل 12 و جدول 3).

جدول 4- نتایج زمین دما-فشارسنجی نمونه‌های مورد مطالعه بر پایهٔ مدل‌های ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف .

زمین دما - فشارسنج	Gb-144 وسط	Gb-154 حاشیه	Gb-159 وسط	Gb-164 حاشیه	Gb-26 وسط	Gb-30 حاشیه
[3]	7,37 Kbar	7,30 Kbar	7,82 Kbar	7,02 Kbar	7,63 Kbar	7,16Kbar
[22]	7,90 Kbar	7,82 Kbar	8,04 Kbar	7,51 Kbar	8,02 Kbar	7,66 Kbar
[23]	6,06 Kbar	6,00Kbar	6,41 Kbar	5,77 Kbar	6,29 Kbar	5,89 Kbar
[24]	7,76 Kbar	7,69 Kbar	8,21 Kbar	7,41 Kbar	8,02 Kbar	7,55 Kbar
[25]	7,68 Kbar	7,60 Kbar	8,01 Kbar	7,34 Kbar	7,92 Kbar	7,48 Kbar
[27]	850^{0C}	847^{0C}	859^{0C}	840^{0C}	855^{0C}	844^{0C}

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 12 ایزوپلت‌های Al_2O_3 و TiO_2 کلسیم آمفیبول‌ها بر پایهٔ درصد وزنی به عنوان تابعی برای تعیین فشار و دما [30] و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی آن.

زمین دما-فشارسنجی سنگ‌های آندزیت بازالتی - بازالتی میزبان، بر پایهٔ فرمول‌های [27] و [24]، به ترتیب دماهای تعادل 874 تا 900 و 800 تا 900 درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند [2]. ژمین دما- فشارسنجی انباشته‌های گابرویی و سنگ‌های میزبان آندزیت بازالتی - بازالتی با استفاده از دماسنجهای مختلف نشاندهندهٔ دماهای تعادل نزدیک به یکدیگرند. بنابر این با توجه به نتایج به دست آمده، احتمالاً مخزن ماگمایی سنگ‌های مورد مطالعه در عمق حدود 26 کیلومتری پوسته برآورد می‌شود، و سنگ‌های گابرویی توصیف شده نتیجهٔ جدایش بلوری اولیهٔ ماگمای مادر سنگ‌های میزبان در مخزن ماگمایی هستند.

برداشت

انباشته‌های گابرویی موجود در سنگ‌های آتشفشانی جنوب شاهرود از کانی‌های آمفیبول، پلاژیوکلاز، پیروکسن، اولیوین، و کانی‌های تیره تشکیل شده‌اند. ماهیت ماگمای انباشته‌های گابرویی مورد مطالعه بر پایهٔ عناصر اصلی و ترکیب کلینوپیروکسن، قلیایی – نیمه قلیایی هستند. نتایج حاصل از بررسیهای ریزپردازندهٔ الکترونی نشان می‌دهد که آمفیبول‌های موجود در این انباشته‌ها از نوع فروپارگازیت، فروپارگازیت هورنبلندند. این آمفیبول‌ها از نوع ماگمایی و دمای بالا هستند. حضور آمفیبول ماگمایی نشان می‌دهد که ماگما بایستی مقدار زیادی آب داشته باشد. شواهد متعددی نشان می‌دهد که کومولاهای گابرویی مورد مطالعه از یک ماگمای بازالتی نسبتاً آبدار بلوری شده و بر پایهٔ بالا بودن میزان آنورتیت پلاژیوکلاز، کلسیک کلینوپیروکسن و وجود هورنبلند ماگمایی، برآورد می‌شود که آبگونهای مخزن ماگمایی مورد مطالعه بین 1/5 تا 3 درصد آب داشته‌اند [21]. الگوی تغییرات عناصر کمیاب و نادر خاکی نشاندهنده ریشهٔ گارنت لرزولیتی با درجه‌های نسبتاً بالای ذوب بخشی (حدود 16 تا 18 درصد) از محل گوشتهٔ لیتوسفری زیر قاره‌ای است. زمین فشارسنجی این سنگ‌ها با استفاده از آلومینیم کل حاشیهٔ آمفیبول و بر پایهٔ رابطهٔ اشمیت، نشاندهندهٔ قلمرو فشار بین 7/34 تا 7/60 کیلوبار، معادل عمقهای حدود 26 تا 27 کیلومتری پوسته است. زمین-دمافشارسنجی این سنگ‌ها نیز بر پایهٔ میزان آلومینیم و تیتانیوم آمفیبول، نمایانگر دمای تعادل بین 830 تا 860 درجه سانتی‌گراد است.

مراجع

[1] خادمی م.، *"ویژگی های ساختاری و وضعیت زمین ساختی منطقه طرود"*، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی (1386)، ص230 .

[2] قربانی ق.، *"پترولوژی سنگ های ماگمایی جنوب دامغان"*، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، (1384) ص 355.

[3] Hammarstrom J.M., Zen E-An., *"Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer"*, Am.Mineral. 71(1989) 1297-1313.

[4] Johannes W., *"Melting of plagioclase in the system Ab-An-H_2O at P_{H2O} = 5Kbar an equilibrium problem"*, Contrib. Mineral. Petrol. 66(1978) 295-303.

Archive of SID

www.SID.ir

[5] Arculus R. J., Wills K. J. A., *"The petrology of plutonic blocks and inclutions from the lesser Antilles island arc"*, J. Petrol. 21 (1980) 743-799.
[6] Morimoto N., *"Nomenclature of pyroxenes, Bull . Mineral"*, 111(1988) 535-550.
[7] Shi P., *"Low-pressure phase relationships in the system Na_2O-CaO-FeO-MgO-Al_2O_3-SiO_2 at 1100^0C , with implication for Shirly DN (1986) compaction of igneous cumulates"*, J. Geol. 94 (1993) 795-809.
[8] Sisson T. W., Grove T. L., *"Experimental investigation of the role of H_2O in calc-alkaline differentiationand subduction zone magmatism"*, Contrib. Mineral. Petrol. 113(1993_a) 143-166.
[9] Leake B. E., et al., *"Nomenclature of amphiboles of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and mineral names"*, Eur. J. mineral. 9 (1997) 623 – 651.
[10] Ernst W. G., *"Paragenesis and thermobarometry of Ca-amphiboles in the Barcroft granodioritic pluton, central White Mountains, eastern California"*, Am.Mineral. 87(2002) 478-490.
[11] Otten M. T., *"The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerites"*, Contrib. Mineral. Petrol. 86(1984) 189-199.
[12] Nakamura N., *"Determination of REE , Ba , Fe , Mg , Na , and K in carbonaceous and ordinary chondrites"*, Geochim. Cosmochim. Acta , 38(974) 757 – 775 .
[13] Kocak K., Isik F., Arslan M., Zedef V., *"Petrological and source region characteristics of ophiolitic hornblende gabbros from the Aksaray and Kayseri regions, central Anatolian crystalline complex"*, Turkey. J. of Asian Earth Sciences, 25 (2005) 883-891.
[14] Hole M. J., et al., *"Subduction of pelagic sediments: implications for the Ce anomalous basalts from the Mariana Islands"*, J. Geo. Soci. London, 141 (1984) 453-472.
[15] Leterrier J., Maury R. C., Thonon P., Girard D., Marchal M., *"Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series"*, Earth Planet. Sci. Lett.59 (1982) 139-154.
[16] Fallon T. J., et al., *"Anhydrous partial melting of a fertile and depleted peridotite from 2 to 30 Kbar and applications to basalt petrogenesis"*, J. Petrol. 29 (1988) 1257-1282.
[17] Wang Y., et al., *"Early Cretaceous gabbroic rocks from the Taihang Mountains: Implications for a paleosubduction-related lithospheric mantle beneath the central North China Craton"*, Lithos 86(2006) 281-302.
[18] M_CDonough W. F., *"Constraints on the composition of the continental lithospheric mantle"*, Earth Planet. Sci. Lett. 101 (1990) 1-18.
[19] Kuepouo G., et al., *"Transitional tholeiitic basalts in the Tertiary Bana volcano-plutonic complex, Cameroon Line"*, Journal of African earth sciences 45 (2006) 318-332.
[20] Hirschman M. M., et al. *"Calculation of peridotite partial melting from thermodynamic models of minerals and melts"*, J. Petrol.39 (1998) 1091-1115.
[21] Claeson D. T., Meurer W. O., *"Fractional crystallization of hydrous basaltic arc-type magmas and the formation of amphibole-bearing gabbroic cumulates"*, Contrib. Mineral. Petrol 147 (2004) 288-304.
[22] Holister L.S., Grisson G.C, Peters E.K., Stowell H.H. Sisson V.B., "Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons". Am. Mineral., 72(1987) 231-239.
[23] Johnson M.C., Rutherford M.J., "Experimental colibration of the aluminum-in hornblende geobarometer with application to Long Valley (California)volcanic rocks". Geology, 17(1989) 837-841.
[24] Blundy J.D., Holland T.J.B., "Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer". Contrib. Mineral. Petrol. 104(1990) 208-224.
[25] Schmidt M.W., "Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al – in hornblende barometer". Contrib. Mineral. Petrol. 110 (1992) 304 – 310.
[26] Holland T., Blundy J., "Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry". Contrib. Mineral. Petrol. 116(1994) 433-447.
[27] Vyhnal C.R., M_CSween H.Y., Jr., *"Hornblende chemistry in southern Appalachian granitoids Implications for aluminum hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability"*, Am.Mineral. 76(1991) 176-188.
[28] Barclay J., Carmichel I. S. E., "A hornblende basalt from western Mexico: water saturated phase relations constrain a pressure-temperature window of eruptibility". J. Pertol. 45 (2004) 485-506.
[29] Ernst W. G., Liu J., "Experimental phase-equilibrium study of Al- and Ti-contents of calcic amphibole in MORB- A semiquantitative thermobarometer". Am. Mineral. 83 (1998) 952-969.

Archive of SID

www.SID.ir