



بررسی ویژگی‌های زمین‌ساختی - ماگمایی و زمین‌دما فشارسنجی توده‌های منطقه سرچشمه، جنوب غرب کرمان

مهدی عبدالهی ریسه^۱، منصور وثوقی عابدینی^{۲*}، محمدهاشم امامی^۳، سیدجمال شیخ ذکریایی^۴

۱- دانشجوی دکترای پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

۲- دانشیار پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

۳- دانشیار پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

۴- استادیار پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: abdollahy_m@nicico.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۹/۸، پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۸

چکیده

معدن سرچشمه در فاصله ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان، ۵۰ کیلومتری جنوب رفسنجان و ۳۶ کیلومتری پاریز واقع است. سنگ‌های منطقه سرچشمه شامل هر دو گروه سنگ‌های پلوتونیک و آتشفشانی می‌شوند. سنگ‌های آتشفشانی منطقه، شامل طیف پیوسته‌ای از آندزیت بازالتی، آندزیت-تراکی آندزیت، داسیت-تراکی داسیت و یک نمونه ریولیت است. بر مبنای نتایج تجزیه ریزکاو، ترکیب کانی پیروکسن در این سنگ‌ها از نوع دیوپسید و اوژیت است و با توجه به ترکیب پیروکسن‌ها سنگ‌های منطقه در محدوده کلسیمی-قلیایی واقع شده‌اند و از نظر محیط زمین‌ساختی-ماگمایی، ویژگی کمان‌های ماگمایی را نشان می‌دهند. دماسنجی سنگ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که دمای شروع تبلور نمونه پیروکسن‌های سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه در محدوده ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه و میانگین فشار محاسبه شده برای نمونه‌ها، بین ۴.۸ تا ۱۱ کیلو بار (به‌طور میانگین ۸/۱ کیلو بار) است.

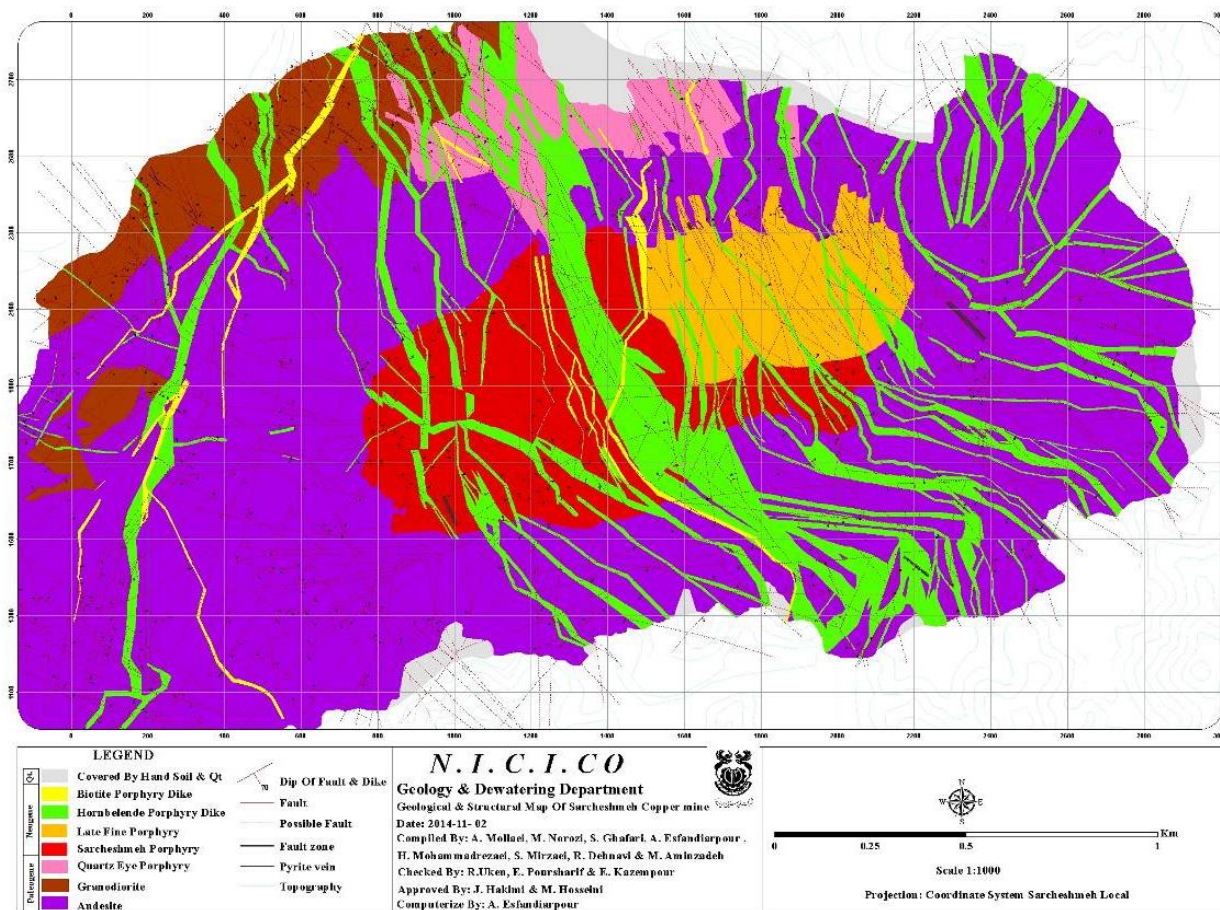
واژه‌های کلیدی: محیط‌های زمین‌ساختی-ماگمایی، سری کلسیمی-قلیایی، زمین‌دما فشارسنجی، منطقه سرچشمه، شیمی کانی

۱- مقدمه

میانی به ائوسن پسین است در نظر گرفته‌اند. نهشته‌های رسوبی دوران ترشیری و کواترنری نیز در منطقه سرچشمه گسترش یافته‌اند. سنگ‌های مورد مطالعه در منطقه شامل سنگ‌های آذرین بیرونی و سنگ‌های آذرین درونی هستند. گروه آذرین بیرونی عبارتند از (۱) آندزیت، (۲) ریوداسیت، (۳) ریولیت و (۴) دلریت و سنگ‌های گروه آذرین درونی عبارتند از (۱) گرانیت، (۲) دیوریت و (۳) دیوریت تا گابرو.

با توجه به حفاری‌های اکتشافی جدید (فاز چهارم حفاری اکتشافی شروع شده از سال ۱۳۹۰ تاکنون) و نمونه‌برداری‌های کامل‌تر، به‌ویژه در بخش‌های زیرسطحی کاوش نشده و دستیابی به اطلاعات عمقی (حفاری با عمق ۷۵۰ متر) و اطلاعات مربوط به حواشی معدن سرچشمه ضرورت بررسی ویژگی‌های زمین‌ساختی-ماگمایی و زمین‌دما فشارسنجی توده‌های منطقه سرچشمه بارزتر می‌شود. لازم به ذکر است که هدف از این پژوهش، بررسی سنگ‌نگاری، پتروفابریک، تحولات و فرایندهای ماگمایی، شناخت جایگاه محیط زمین‌ساختی-ماگمایی و تعیین دما فشارسنجی در واحدهای سنگی آذرین مربوط به گمانه‌های حفاری اکتشافی فاز جدید معدن سرچشمه خواهند بود.

معدن سرچشمه در فاصله ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان، ۵۰ کیلومتری جنوب رفسنجان و ۳۶ کیلومتری پاریز واقع است. این معدن دارای عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی است (شکل ۱). زمین‌شناسی منطقه شامل مجموعه آتشفشانی-رسوبی ائوسن است که یکی از جالب‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی در ناحیه کرمان است. این مجموعه روند شمال غرب-جنوب شرق داشته و طول آن ۵۰ کیلومتر و کمترین ضخامت آن ۱۵ کیلومتر است. بخش اعظم این مجموعه از سنگ‌های مختلف با منشأ آتشفشانی تشکیل شده است. سنگ‌های قدیمی‌تر در منطقه سرچشمه که پایه این نهشته‌ها را به‌وجود آورده‌اند، رخنمون ندارند. سنگ‌های نفوذی و نیمه‌عمیق و همچنین دایک‌ها، این مجموعه را در بسیاری از نقاط قطع کرده‌اند. به دلیل نبود فسیل در منطقه سرچشمه، سن مجموعه از روی روابط سنگ‌شناختی و مقایسه با واحدهای مشابه در نواحی دیگر برآورد شده است. با این روش، سن آن را ائوسن پسین که شامل انتقالی از ائوسن



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۲- روش بحث و بررسی

اکسیژن و ۵ کاتیون محاسبه شده است.

۲- ژئوشیمی سنگ‌های منطقه

ماگماها، مذاب‌های پیچیده‌ای هستند و به دلیل کاهش دما، تغییر در فشار و یا تغییر ترکیب، متبلور می‌شوند. اما در موارد استثنا، ماگما در صورت سرد شدن بسیار سریع، بدون تشکیل کانی خاصی به شیشه تبدیل می‌شود. بخش قابل توجهی از سنگ‌های منطقه سرچشمه دارای خمیره و یا شیشه بوده و در آنها شناسایی نوع و نسبت کانی‌ها ناممکن است. بنابراین تقسیم‌بندی سنگ‌های منطقه با استفاده از داده‌های شیمیایی و نمودارهای مربوط انجام پذیرفت (جدول ۱). با توجه به اینکه سنگ‌های منطقه سرچشمه شامل هر دو گروه سنگ‌های پلوتونیک و آتشفشانی می‌شوند، از نمودارهای مربوطه به منظور نامگذاری سنگ‌های منطقه استفاده شد. بر مبنای نمودار TAS ارائه‌شده توسط Le Bas et al., (1962)، برای سنگ‌های آتشفشانی منطقه سرچشمه، این سنگ‌ها شامل طیف پیوسته‌ای از آندزیت بازالتی، آندزیت- تراکی آندزیت، داسیت- تراکی داسیت و یک نمونه ریولیت است (شکل ۲).

پس از بررسی بانک اطلاعاتی گمانه‌های حفاری اکتشافی فاز اخیر، بررسی وضعیت عباری و در نظر گرفتن برخوردهای کانی‌سازی و خصوصیات سنگ‌شناسی، برداشت نمونه از گمانه‌های یادشده انجام شد. سپس از هر نمونه، مقطع نازک به منظور توصیف (بافت و زیربافت کانی‌های مرتبط)، نامگذاری و طبقه‌بندی سنگ‌ها و همچنین بررسی دگرسانی‌ها تهیه و مطالعه شد. پس از بررسی سنگ‌نگاری نمونه‌های کمتر دگرسان‌شده به منظور انجام تجزیه شیمی (ICP-XRF) عملیات خردایش و پودر کردن، بر روی آنها انجام و سپس برای مطالعات ژئوشیمی، این داده‌ها در نمودارهای ژئوشیمیایی رسم شدند. از این طریق به تعیین سری‌های ماگمایی و مطالعات زمین‌ساختی- ماگمایی پرداخته و خاستگاه زمین‌ساختی- ماگمایی محدوده سرچشمه مشخص شد. تجزیه شیمی نقطه‌ای (EPMA) ۱۲۰ نقطه، در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران با دستگاه Cameca مدل SX-100 انجام شد و نتایج تجزیه‌ها در نرم‌افزارهای Excel و Gcd Kit بررسی شد. فرمول ساختاری آمفیبول براساس ۲۳ اکسیژن و ۱۳ کاتیون و فرمول ساختاری پلاژیوکلاز براساس ۸

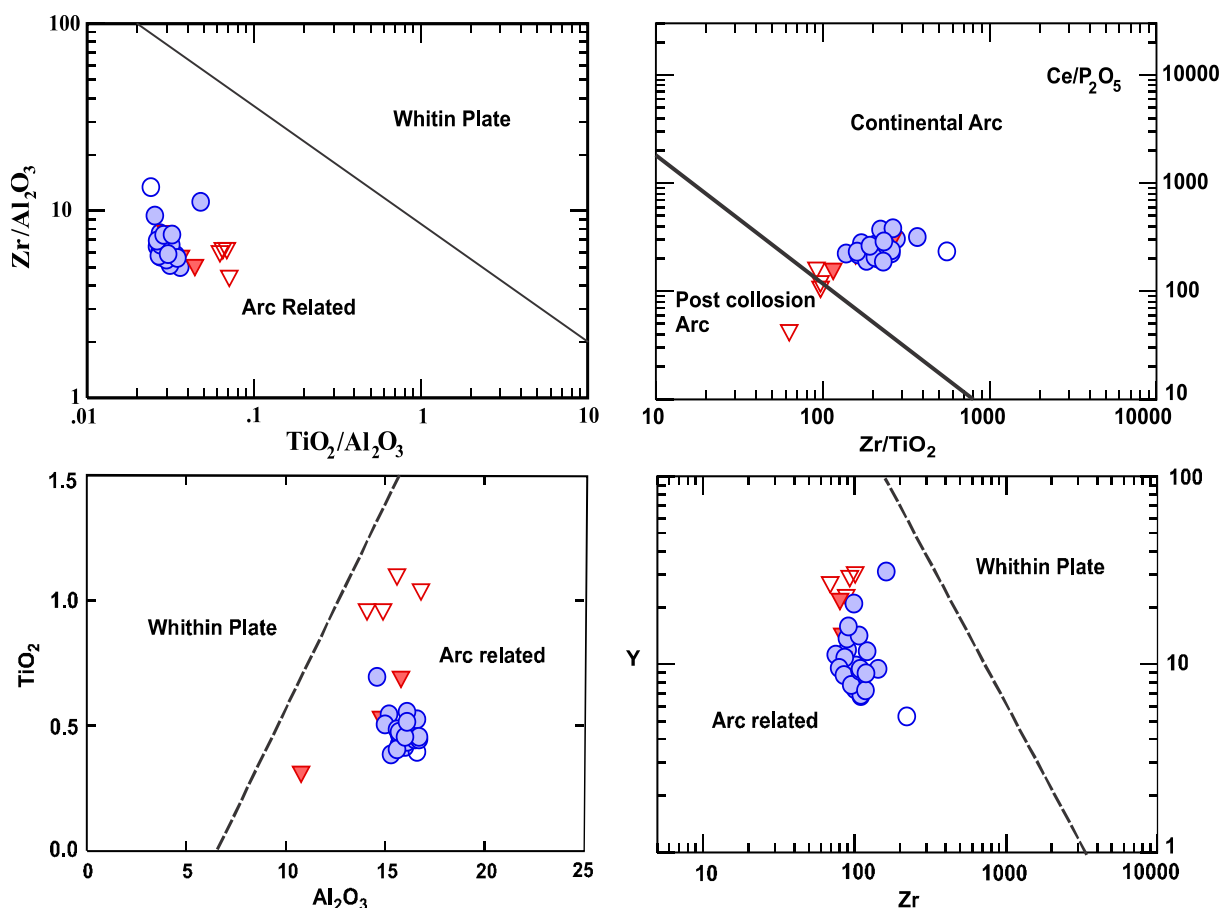
جدول ۱- نتایج تجزیه عناصر اصلی سنگ‌های پلوتونیک منطقه سرچشمه به روش XRF

Sample n.	s5b	s12d	s21d	s26b	s28b	s30c	s30d	s32c	s33c	s35g	s43a	s44c	s47b	s31b
Rock Type	Gr	Gd	Gd	Di	Di-Gb	Di	Di	Di	Di	Di	Di	Di	Di	An
SiO ₂	59.8	58.5	65.8	63.4	60.6	67.1	48.7	63.1	58.7	58.6	48.7	47.9	56.4	54.9
Al ₂ O ₃	13.8	15.3	14.2	15.6	15.1	14.3	15.1	14.2	11.5	16.6	17.7	17.5	17.1	15.6
Fe ₂ O ₃	2.3	2.99	2.12	5.15	6.15	6.42	10.5	4.5	10.4	6.01	7.96	12.3	8.5	3.91
MgO	1.4	1.44	0.84	2.6	1.99	0.56	2.62	2.58	6.3	1.54	3.78	3.03	2.98	1.39
CaO	3.98	3.89	3.17	2.55	4.87	0.43	2	1.37	4.15	1.68	6.77	6.35	1.04	4.8
Na ₂ O	0.51	3.57	3.02	2.68	3.65	1.7	1.91	2.93	1.67	0.14	3.29	2.98	1.86	4.3
K ₂ O	6.49	2.86	5.09	4.09	2.6	4.34	2.84	4.17	2.15	5.55	1.79	1.6	3.37	2.18
MnO	0.12	0.01	0.02	0.04	0.12	0.26	0.03	0.06	0.17	0.05	0.08	0.08	0.06	0.07
P ₂ O ₅	0.09	0.18	0.1	0.24	0.12	0.14	0.21	0.02	0.36	0.2	0.035	0.5	0.25	0.29
TiO ₂	0.34	0.4	0.34	0.66	0.57	0.25	0.83	0.68	1.41	0.72	1.26	1.03	0.87	0.49
Sample n.	s1b	s1a	s4d	s6a	s7a	s11c	s11d	s17a	s19b	s21c	s24c	s26c	s27b	s30e
Rock Type	Rd	An	Rd	An	An	Rd	Rd	Rd	An	Rd	An	An	Rd	Rd
SiO ₂	60.7	58.4	51.5	51.6	50.8	54.5	49	62.5	62	77.4	47.8	59.4	63.4	55.4
Al ₂ O ₃	16	15.9	14.8	16.8	15.6	15.2	14.1	16	16.4	16.6	14.9	15.7	16.1	15
Fe ₂ O ₃	5.13	3.42	5.12	9.54	12.1	4.64	9.74	3.95	3.25	2.5	9.63	3.09	4.7	3.81
MgO	2.15	1.49	2.73	4.2	6.55	2.48	4.97	2.23	0.96	0.95	4.03	1.24	0.64	2.22
CaO	1.32	4.97	4.77	3.78	6.59	3.54	5.31	0.62	3.9	3.67	6.95	3.82	0.73	4.25
Na ₂ O	3.25	3.5	1.26	2.96	1.52	2.2	1.48	3.82	4.5	3.54	2.15	4.38	1.63	3.83
K ₂ O	2.56	2.77	4.44	2.54	1.53	3.2	3.25	2.68	2.77	5.86	2.41	2.58	4.23	2.64
MnO	0.04	0.07	0.26	0.05	0.26	0.05	0.08	0.1	0.07	0.02	0.04	0.06	0.12	0.12
P ₂ O ₅	0.2	0.24	0.27	0.2	0.17	0.16	0.19	0.18	0.22	0.12	0.16	0.21	0.17	0.2
TiO ₂	0.44	0.49	0.54	1.05	1.11	0.55	0.97	0.42	0.47	0.4	0.97	0.43	0.44	0.51
Sample n.	s32b	s33a	s35f	s37a	s40a	s40e	s44a	s45a	s48c	s48d	s49c	s50e	s52	s79b
Rock Type	Rd	Rd	An	An	Rd	Rd	An	Rd	An	Rd	An	An	An	An
SiO ₂	60.4	50.7	58.5	60.1	48.2	63.7	59.2	55.9	63	64	58.9	57.4	57	62.7
Al ₂ O ₃	16.5	15.8	15.7	16.7	10.8	15.3	16.6	16.1	16.7	15.6	15.7	16	16.1	14.6
Fe ₂ O ₃	3.91	13.6	3.73	5.58	6.04	3.57	3.97	5.17	3.64	4.35	4.54	3.36	3.86	8.03
MgO	0.86	0.068	1.5	0.45	1.09	1.61	1.46	2.9	1.46	1.51	1.83	1.74	1.55	2.97
CaO	0.27	0.7	4.88	2.29	9.92	3.69	4.89	0.92	3.78	2.18	0.61	4.36	4.79	3.85
Na ₂ O	0.1	2.07	4.34	4.55	0.82	4.29	4.63	2.18	3.56	3.39	2.87	4.03	4.16	2.67
K ₂ O	4.45	3.32	2.54	2.93	3.16	2.84	2.25	3.88	2.75	4.5	3.05	2.88	2.23	1.91
MnO	<0.01	0.43	0.07	0.55	0.03	0.03	0.07	0.1	0.08	0.03	0.2	0.06	0.06	0.11
P ₂ O ₅	0.24	0.3	0.3	0.23	0.13	0.17	0.3	0.28	0.21	0.21	0.19	0.22	0.29	0.13
TiO ₂	0.45	0.7	0.47	0.45	0.32	0.39	0.53	0.56	0.46	0.41	0.48	0.46	0.52	0.7

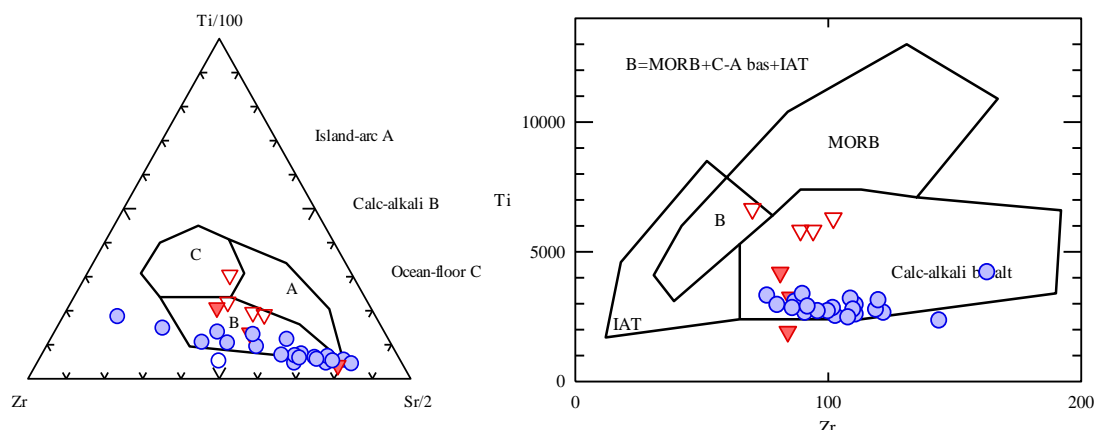
(1989) et al. که به منظور تفکیک محیط‌های کمانی از محیط‌های درون صفحه‌ای ارائه شده است، سنگ‌های آتشفشانی و پلوتونیک منطقه در محدوده کمان‌های ماگمایی ناشی از فرورانش قرار می‌گیرند (شکل ۵). در نمودارهای Pearce and Cann, (1973) نیز، سنگ‌های آتشفشانی منطقه در محدوده بازالت‌های کلسیمی-قلیایی جای دارند (شکل ۶). با توجه به نمودارهای یادشده، محیط زمین‌ساختی-ماگمایی سنگ‌های منطقه یک کمان ماگمایی (Magmatic arc) است. برای تعیین اینکه این کمان ماگمایی از نوع حاشیه‌های فعال قاره‌ای بوده یا جزایر کمانی، از نمودار Pearce, (1983) استفاده شد، که با توجه به شکل ۷ این کمان ماگمایی ناشی از فرورانش یک پوسته اقیانوسی به زیر یک پوسته قاره‌ای بوده است. بنابراین محیط زمین‌ساختی-ماگمایی منطقه مورد مطالعه را می‌توان جزو محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای (Active continental margin) به شمار آورد. این محیط‌ها خود دارای تنوع قابل ملاحظه‌ای بوده و عامل‌های متفاوتی باعث ماگماتیسم متفاوت در این محیط‌ها می‌شوند.

۴- محیط زمین‌ساختی-ماگمایی

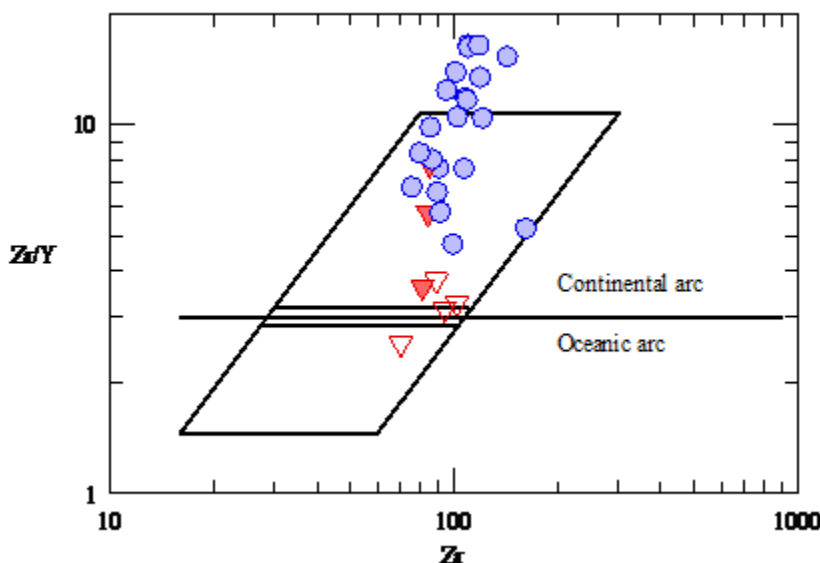
ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی سری‌های مختلف ماگمایی شناخته شده در جهان ارتباط تنگاتنگی با محیط زمین‌ساختی-ماگمایی حاکم بر آن سامانه ماگمایی دارد. از جمله ویژگی‌های شیمیایی، می‌توان به ترکیب عناصر اصلی، کمیاب و ایزوتوپی، و نمونه‌هایی از ویژگی‌های فیزیکی مانند ساختار و بافت سنگ‌ها و ریخت‌شناسی آنها بر روی زمین اشاره کرد. به منظور تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های تشکیل شده در محیط‌های ژئودینامیکی مختلف، نمودارهای مختلفی ارائه شده است. نمودار AFM، (Irvine & Bargar, 1971) به منظور تفکیک دو سری کلسیمی-قلیایی و توله‌ایتی (شکل ۴)، در نمودارهای Zr/Al_2O_3 در برابر TiO_2/Al_2O_3 ، Ce/P_2O_5 ، TiO_2/Al_2O_3 در برابر Zr/TiO_2 در برابر TiO_2 در برابر Al_2O_3 از Le Maitre و Muller and Groves, (1997) و Lu و Y در برابر Zr از Le Maitre



شکل ۵- تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه سرچشمه بر اساس نمودارهای (1997) Muller and Groves و (1989) Le Maitre et al. همان گونه که مشخص است تمامی نمونه‌های آتشفشانی در محدوده محیط‌های کمانی قرار می‌گیرند، علائم مانند شکل ۲.



شکل ۶- تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه سرچشمه براساس نمودارهای (Pearce and Cann, 1973). همان‌گونه که مشخص است نمونه‌های آتشفشانی منطقه در محدوده بازالت‌های کلسیمی-قلیایی قرار می‌گیرند، علائم مانند شکل ۲.



شکل ۷- تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه سرچشمه براساس نمودار (Pearce, 1983). همان‌گونه که مشخص است نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کمان قاره‌ای قرار می‌گیرند، علائم مانند شکل ۲.

۵- شیمی کانی‌ها

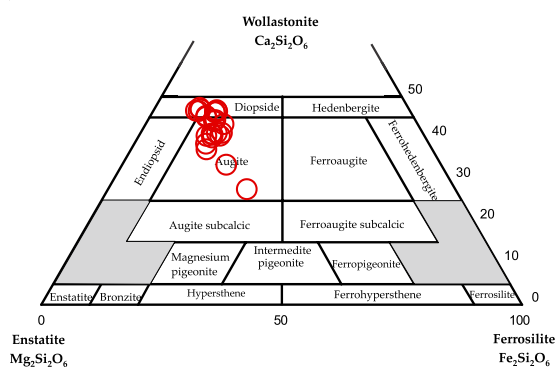
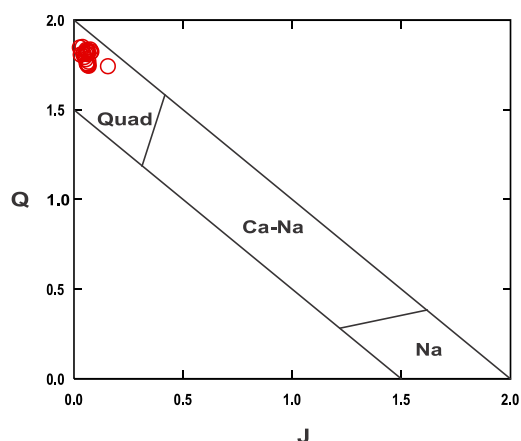
۵-۱- شیمی پیروکسن‌ها

پیروکسن‌های تجزیه‌شده در محدوده کلسیک واقع می‌شوند. همچنین بر اساس نمودار مثلثی نامگذاری پیروکسن‌ها، ترکیب کانی پیروکسن در این سنگ‌ها از نوع دیوپسید و اوژیت است (شکل ۸). به طور کلی، ترکیب کانی‌شناسی این کانی در سنگ‌های منطقه تقریباً ثابت بوده و در حدود $Wo_{47.27}En_{47.01}Fs_{29.04}$ تا $Wo_{27.65}En_{40.16}Fs_{8.82}$ تغییر است. بر اساس نمودار (Le Bas et al., 1962) (شکل ۹) بیشتر نمونه‌های به دلیل کمبود TiO_2 ، از قلمرو سنگ‌های قلیایی دور شده و در محدوده سنگ‌های کلسیمی-قلیایی واقع شده‌اند. همچنین بر اساس نمودار مثلثی $SiO_2/100-Na_2O-TiO_2$ ، کانی‌شناسی پیروکسن‌های مورد مطالعه به لحاظ محیط زمین‌ساختی-ماگمایی، ویژگی کمان‌های ماگمایی را نشان می‌دهند (شکل ۱۰). نتایج تجزیه ریزکاو پیروکسن در جدول ۲ آمده است.

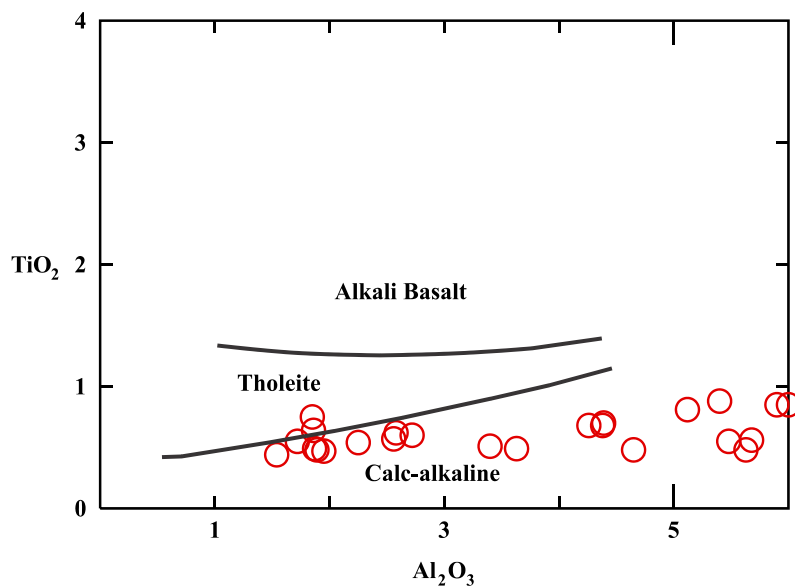
کانی کلینوپروکسن از جمله مهم‌ترین کانی‌ها در تعیین جایگاه تشکیل و محیط ژئودینامیکی در سنگ‌های آذرین، به‌ویژه انواع آتشفشانی به شمار می‌رود. برآورد دما و فشار سنگ‌های آتشفشانی نیز از دیگر مواردی است که اهمیت پیروکسن‌ها را نشان می‌دهد. به علاوه ترکیب کلینوپروکسن‌ها تابعی از ترکیب شیمیایی و محیط تشکیل ماگمای سازنده آنهاست و می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در مورد محیط زمین‌ساختی تشکیل سنگ‌ها در اختیار قرار دهد (Le Bas et al., 1962). بر مبنای نتایج تجزیه میکروپروپ، در نمودار رده‌بندی Q-J، تمامی

جدول ۲- نتایج تجزیه ریزکاو پیروکسن‌ها در منطقه سرچشمه

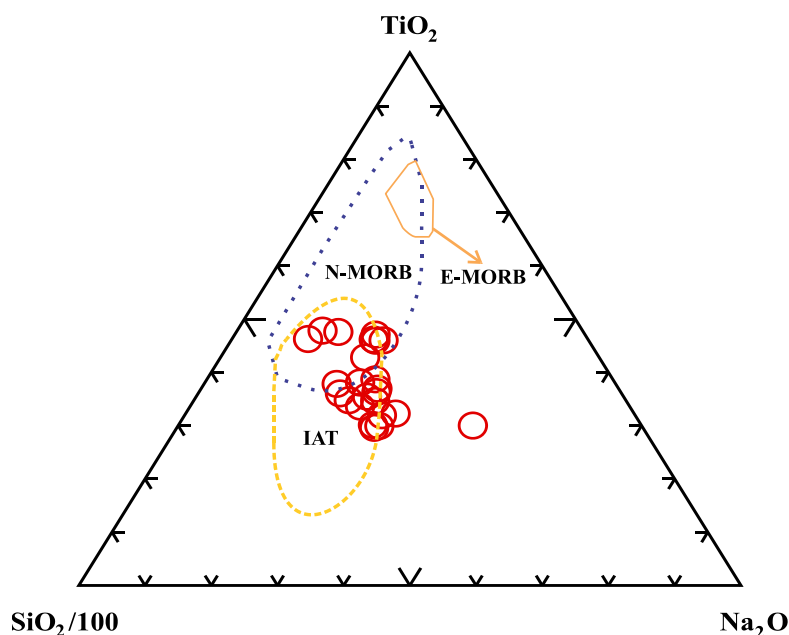
Point.No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O
HS1	49.61	0.56	5.68	0.12	6.04	0.13	15.17	22.75	0.42
HS2	49.96	0.48	5.63	0.14	5.82	0.11	15.25	23.09	0.45
HS3	50.77	0.48	4.65	0.32	5.52	0.15	15.65	22.74	0.33
HS4	49.72	0.55	5.48	0.2	5.89	0.13	15.45	22.67	0.47
HS5	51.66	0.64	1.86	0.05	9.47	0.28	15.68	20.34	0.43
HS6	51	0.49	3.63	0	7.45	0.2	15.34	22.29	0.3
HS7	49.41	0.85	5.9	0	8.25	0.23	13.84	22.23	0.4
HS8	50.05	0.88	5.4	0	8.02	0.15	14.11	22.35	0.46
HS9	49.24	0.81	5.12	0	8.22	0.18	14.07	22.76	0.4
HS10	49.28	0.85	6	0	8.05	0.2	14.09	22.22	0.44
HS11	51.34	0.75	1.85	-0.01	13.78	0.41	15.89	16.6	0.26
HS12	52.55	0.47	1.95	0.13	9.38	0.34	16.35	18.93	0.51
HS13	51.52	0.6	2.72	0.33	8.81	0.25	15.94	19.79	0.44
HS14	52.23	0.55	1.72	0.05	9.98	0.28	16.74	18.47	0.55
HS15	51.99	0.48	1.89	0.02	10.2	0.61	14.16	21.17	0.52
HS16	52.05	0.49	1.87	0	10.75	0.62	14.81	20.33	0.38
HS17	51.57	0.44	1.54	0	10.25	0.63	15.44	20.66	0.43
HS18	51.62	0.54	2.25	0	10.64	0.54	14.96	19.87	0.4
HS19	48.98	0.7	4.39	0	15.86	0.66	13.27	11.79	1.02
HS20	49.04	0.68	4.38	0.06	8.26	0.25	14.3	21.19	0.36
HS21	50.16	0.51	3.4	0.17	7.3	0.18	15.17	22.23	0.28
HS22	50.42	0.62	2.58	0.04	9.59	0.27	15.46	19.95	0.17
HS23	50.48	0.57	2.56	0.08	9.76	0.28	15.71	19.76	0.36
HS24	49.39	0.68	4.26	0.03	8.61	0.21	14.62	21.3	0.2



شکل ۸- نمودار رده‌بندی و نامگذاری کانی‌های پیروکسن موجود در سنگ‌های آتشفشانی منطقه سرچشمه. (a) براساس نمودار Q-J از Morimoto & Kitamura, (1982) (b) نمودار مثلثی Wo-En-Fs از Morimoto, (1988)



شکل ۹- تعیین سری ماگمایی نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از ترکیب شیمیایی پیروکسن در نمودار تغییرات Al_2O_3 - SiO_2 از Le Bas, (1962)



شکل ۱۰- تعیین موقعیت زمین‌ساختی نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از ترکیب شیمیایی پیروکسن در نمودار سه‌متغیره Na_2O - SiO_2 - TiO_2

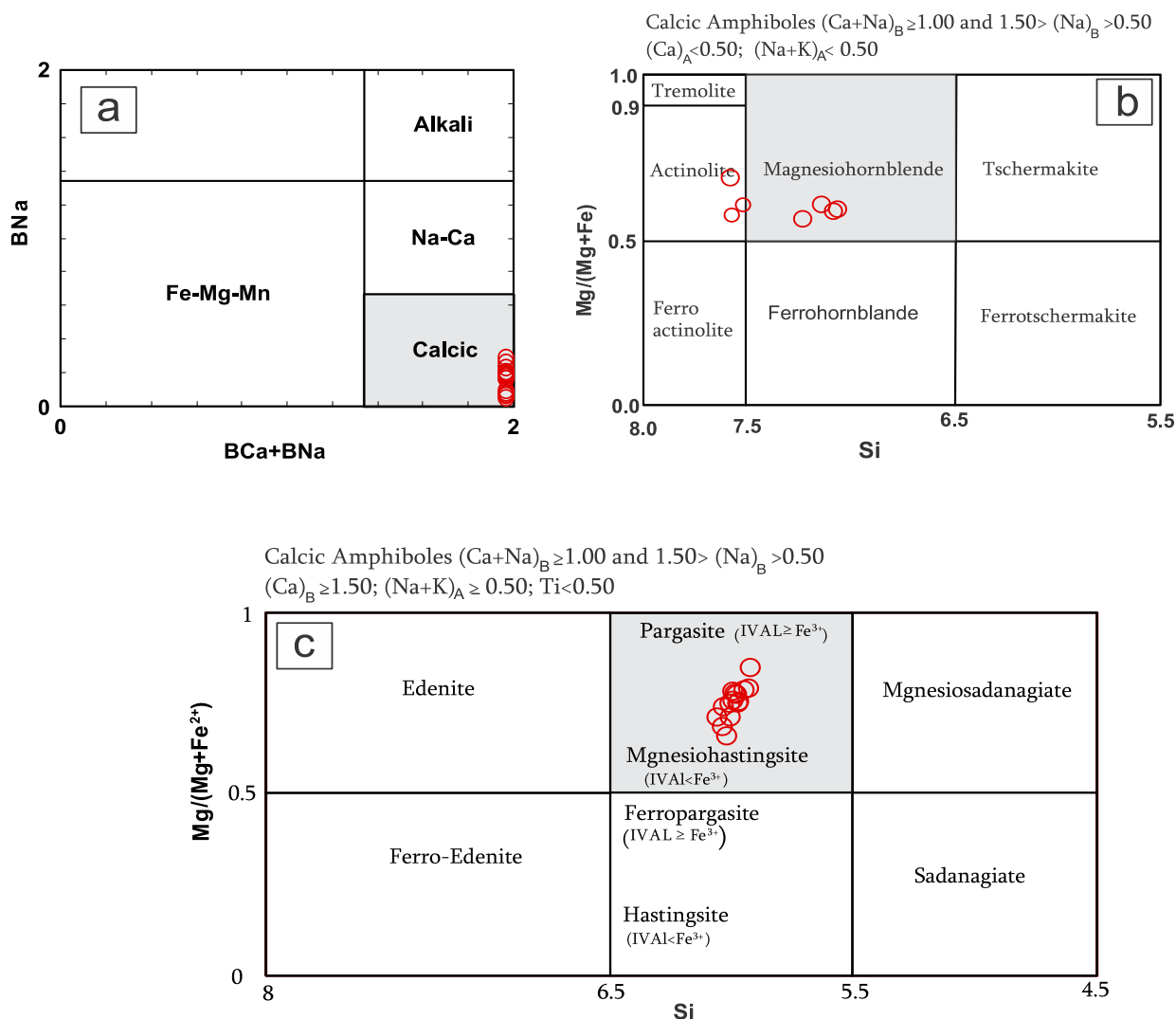
۵-۲- شیمی آمفیبول

و FeO در این کانی تغییرات وسیعی داشته و به ترتیب، بین ۳/۴ تا ۱۴ درصد و ۱۱/۵ تا ۱۹ درصد در نوسان است (جدول ۳). همچنین میزان کلسیم و منیزیم در آن به ترتیب بین ۱۱/۳ تا ۱۳ و ۱۰/۸ تا ۱۵/۲ درصد در تغییر است. در برخی نمونه‌ها که در آنها کانی آمفیبول از مرکز بلور تا حاشیه آن مورد تجزیه ریزکاو قرار گرفته است، مقادیر اکسیدهای یادشده تغییر شاخصی نشان نداده که این امر حاکی از عدم زون‌بندی در این کانی است.

تمامی آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های منطقه به گروه آمفیبول‌های کلسیک تعلق دارند. همچنین بر اساس نمودار $Mg/(Fe+Mg)$ در برابر Si ، بیشتر آمفیبول‌های منطقه ترکیبی از نوع مگنزیوهایاستینگزیت نشان می‌دهند. با این حال برخی از نمونه‌ها ترکیب مگنزیوهورنبلند نیز نشان می‌دهند. همچنین آمفیبول‌های ثانویه حاصل از تبدیل‌شدگی کانی پیروکسن، ترکیب اکتینولیتی نشان می‌دهند (شکل ۱۱). محتوای Al_2O_3

جدول ۳- نتایج تجزیه ریزکاو آمفیبول‌ها در منطقه سرچشمه

Point.No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
HHK1	48.04	0.11	6.97	18.17	0.38	11.15	12.44	0.47	0.22
HHK2	49.4	0.22	6.43	17.68	0.38	11.91	12.72	0.48	0.2
HHK3	49.44	0.24	5.64	19.02	0.71	10.84	12.41	0.32	0.24
HHK4	48.58	0.39	6.97	17.65	0.51	11.37	12.64	0.5	0.32
HHK5	52.99	0.01	3.44	13.76	0.37	14.8	12.98	0.22	0.07
HHK6	42.4	1.86	13.1	15.15	0.42	12.66	11.83	2.44	0.91
HHK7	41.44	1.67	12.86	15.32	0.41	12.37	12.04	2.46	0.92
HHK8	41.8	2.39	13.9	11.95	0.17	14.59	12.09	2.54	0.89
HHK9	41.94	2.36	13.74	11.54	0.13	14.62	12.14	2.54	0.87
HHK10	42.19	2.37	13.48	11.55	0.16	14.75	12.21	2.39	0.84
HHK11	42.65	2.1	12.96	12.83	0.22	13.91	12.15	2.54	0.99
HHK12	41.8	2.08	13.17	13.49	0.27	13.53	12.08	2.5	1.03
HHK13	41.77	2.51	13.95	11.89	0.16	14.16	12.02	2.49	0.97
HHK14	42.14	2.38	13.58	11.9	0.15	14.26	12.1	2.47	0.92
HHK15	42.5	2.37	13.29	12.01	0.21	14.27	12.17	2.46	0.92
HHK16	41.05	2.4	13.25	12.28	0.17	13.9	12.03	2.28	0.94
HHK17	41.93	2.26	13.44	12.19	0.2	14.26	12.09	2.44	0.96
HHK18	42.16	2.15	13.95	12.17	0.19	15.23	11.9	2.64	0.96
HHK19	41.24	3.96	12.78	12.67	0.31	14.04	11.31	2.37	0.85
HHK20	41.83	2.37	13.6	11.54	0.17	14.51	12.04	2.46	0.86
Point.No	Si	Al Iv	Al Vi	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mg	Ca	Na	K
HHK1	7.06	0.94	0.26	0.56	1.67	2.44	1.96	0.13	0.04
HHK2	7.14	0.86	0.23	0.48	1.66	2.56	1.97	0.13	0.04
HHK3	7.23	0.77	0.2	0.5	1.82	2.36	1.94	0.09	0.04
HHK4	7.08	0.92	0.27	0.42	1.73	2.47	1.97	0.14	0.06
HHK5	7.58	0.42	0.15	0.22	1.43	3.15	1.99	0.06	0.01
HHK6	6.05	1.95	0.25	0.85	0.96	2.69	1.81	0.67	0.17
HHK7	6.02	1.98	0.22	0.77	1.09	2.68	1.87	0.69	0.17
HHK8	5.92	2.08	0.23	0.82	0.59	3.08	1.83	0.7	0.16
HHK9	5.96	2.04	0.26	0.72	0.66	3.1	1.85	0.7	0.16
HHK10	5.98	2.02	0.24	0.75	0.62	3.12	1.86	0.66	0.15
HHK11	6.08	1.92	0.26	0.61	0.92	2.96	1.86	0.7	0.18
HHK12	6	2	0.23	0.72	0.9	2.9	1.86	0.7	0.19
HHK13	5.95	2.05	0.29	0.69	0.72	3.01	1.83	0.69	0.18
HHK14	6	2	0.28	0.66	0.75	3.03	1.85	0.68	0.17
HHK15	6.04	1.96	0.27	0.63	0.8	3.02	1.85	0.68	0.17
HHK16	5.95	2.05	0.22	0.75	0.74	3.01	1.87	0.64	0.17
HHK17	5.98	2.02	0.24	0.74	0.72	3.03	1.85	0.68	0.17
HHK18	5.88	2.12	0.17	1.06	0.35	3.16	1.78	0.71	0.17
HHK19	5.89	2.11	0.04	0.96	0.56	2.99	1.73	0.66	0.15
HHK20	5.97	2.03	0.26	0.74	0.64	3.09	1.84	0.68	0.16



شکل ۱۱- ترکیب آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های منطقه در نمودار رده‌بندی آمفیبول‌ها. همه آمفیبول‌ها در محدوده کلسیک واقع شده و عمدتاً از نوع مگنزیوهایستینگزیت هستند. برخی نمونه‌ها ترکیب مگنزیوهورنبلند داشته و آمفیبول‌های ثانویه ترکیب اکتینولیتی دارند

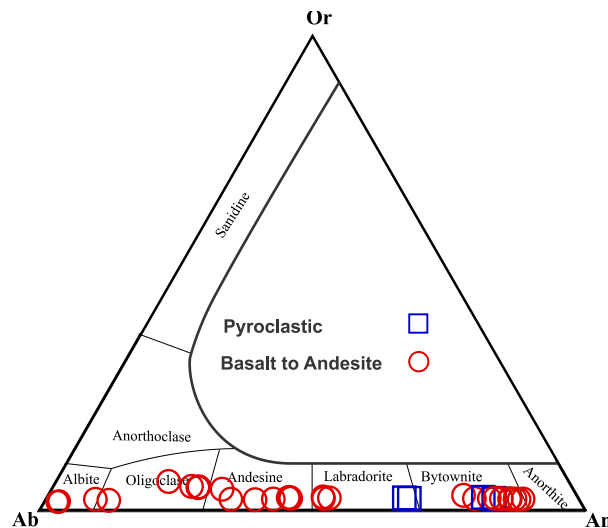
۳-۵- شیمی پلاژیوکلاز

مرکز این کانی‌ها بیشتر است (جدول ۴). به‌منظور تعیین ترکیب کانی‌های پلاژیوکلاز در سنگ‌های منطقه از نمودار مثلثی Or-Ab-An استفاده شد (شکل ۱۲). بر اساس این نمودار، پلاژیوکلازهای موجود در سنگ‌های منطقه ترکیبی گسترده از آلبیت تا بیتونیت نشان می‌دهند. پلاژیوکلازهای با ترکیب بیتونیت، ترکیبات مربوط به بلورهای کلسیک تر را نشان می‌دهد. همچنین نتایج تجزیه انجام‌شده بر روی یک نمونه آذرآوری نشان می‌دهد که کانی‌های پلاژیوکلاز در این نمونه ویژگی کلسیک داشته و ترکیب لابرادوریت تا بیتونیت نشان می‌دهند.

ترکیب این کانی نسبت به دما، فشار و محتوای آب موجود در مذاب بسیار حساس است (Putirka, 2003). پلاژیوکلاز به‌عنوان یکی از کانی‌های اصلی در ترکیب سنگ‌های آتشفشانی منطقه سرچشمه حضور دارد. بررسی و مطالعه نتایج تجزیه ریزکاو کانی پلاژیوکلاز در سنگ‌های منطقه نشان می‌دهد که برخی از کانی‌های پلاژیوکلاز ترکیبات کلسیک‌تری نشان می‌دهند. به گونه‌ای که میزان مقادیر کلسیم در حاشیه نسبت به

جدول ۴- نتایج تجزیه ریزکاو پلاژیوکلازها در منطقه سرچشمه

Point.No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	An	Ab	Or
HH1	46.87	0.04	32.82	0.6	0.01	0.1	17.33	1.97	0.05	82.7	17	0.3
HH2	47.75	0.03	32.62	0.63	0.01	0.13	16.91	2.31	0.05	80	19.8	0.3
HH3	55.19	0.06	27.85	0.7	0	0.05	11.13	5.65	0.23	51.5	47.3	1.3
HH4	44.77	0.01	33.57	0.57	0.01	0.07	18.82	1.17	0.03	89.7	10.1	0.2
HH5	44.71	0.02	33.58	0.65	0.01	0.07	18.64	1.26	0.01	89.1	10.9	0.1
HH6	50.13	0.05	29.31	0.94	0.01	0.16	14.92	2.28	0.15	77.6	21.5	0.9
HH7	65.5	0	21.21	0.18	0	0.01	2.76	10.93	0.1	12.2	87.3	0.5
HH8	66.12	0	20.36	0.1	0	0	2.72	11.36	0.14	9.6	89.7	0.7
HH9	68.1	0	19.84	0.02	0	0.01	0.21	12.63	0.08	0.9	98.7	0.4
HH10	67.45	0	20.08	0.03	0.02	0	0.16	13.02	0.09	0.7	98.9	0.4
HH11	67.99	0	19.78	0.07	0.01	0	0.22	12.43	0.11	1	98.5	0.6
HH12	62.45	0.02	23	0.15	0	0	4.67	9.11	0.1	20.9	73.8	5.3
HH13	60.87	0.01	24.13	0.15	0	0	5.86	8.22	0.76	27.1	68.7	4.2
HH14	60.87	0	23.62	0.18	0.01	0	5.67	8.56	0.8	25.6	70.1	4.3
HH15	59.7	0	25.1	0.13	0	0	7	7.9	0.61	31.8	64.9	3.3
HH16	60.93	0.03	24.04	0.16	0.01	0	5.92	8.37	0.76	26.9	68.9	4.1
HH17	60.49	0.02	24.22	0.16	0	0	5.91	8.36	0.75	26.9	69	4.1
HH18	57.11	0.09	26.33	0.8	0	0.08	9.76	6.43	0.28	44.9	53.5	1.5
HH19	54.78	0.09	26.96	0.84	0	0.15	11.24	5.44	0.19	52.7	46.2	1.1
HH20	56.72	0.08	26.49	0.7	0.01	0.08	9.96	6.44	0.25	45.5	53.2	1.4
HH21	59.14	0.02	2.05	-0.11	0.01	0	8.65	8.93	0.25	34.5	64.4	1.2
HH22	57.41	0.05	26.35	0.36	0	0	9.1	6.71	0.22	42.3	56.5	1.2
HH23	54.77	0.05	27.93	0.43	0.01	0	11.14	5.63	0.17	51.7	47.3	0.9
HH24	56.06	0.04	26.94	0.4	0	0.03	9.76	6.36	0.28	45.2	53.3	1.5
HH25	57.7	0.05	25.76	0.31	0.01	0	8.45	7.17	0.2	39	59.9	1.1
HH26	50.33	0.05	29.13	0.1	0.01	0.06	14.06	3.78	0.14	67.7	32.5	0.8
HH27	46.33	0.02	32.13	0.72	0.02	0.05	17.24	1.85	0.05	83.5	16.2	0.3
HH28	46.9	0.02	31.65	0.68	0	0.1	16.93	2.07	0.09	81.5	18	0.5
HH29	45.85	0.02	31.79	0.64	0	0.05	17.34	1.84	0.04	83.7	16.1	0.2
HH30	50.3	0.04	29.25	0.94	0.01	0.09	14.15	3.65	0.12	67.7	31.6	0.7
HH31	46.02	0.02	32.33	0.62	0.02	0.05	17.48	1.84	0.06	83.7	15.9	0.3
HH32	45.01	0.03	32.74	0.63	0.01	0.04	18.24	1.55	0.03	86.5	13.3	0.2
HH33	45.36	0	33.09	0.59	0.01	0.02	18.18	1.41	0.03	87.5	12.3	0.2
HH34	45.77	0.02	32.65	0.67	0	0.03	17.63	1.7	0.04	84.9	14.8	0.2
HH35	45.81	0.05	32.76	0.61	0.03	0.06	17.5	1.47	0.03	86.7	13.2	0.2



شکل ۱۲- نمودار تعیین ترکیب پلاژیوکلاز در سنگ‌های منطقه. ترکیب پلاژیوکلاز در سنگ‌های منطقه طیف گسترده‌ای از آلبیت تا بیتونیت را شامل می‌شود

۶- زمین‌دماسنجی با استفاده از زوج درشت بلورهای آمفیبول کلسیم‌دار و پلاژیوکلاز

A و B معرفی کردند. دماسنج A بر اساس واکنش ادنیت- ترمولیت (Edenite + 4 quartz = tremulite + albite) بوده که برای سنگ‌های آذرین حاوی کوارتز کاربرد دارد. دماسنج B بر اساس واکنش ادنیت- ریشتریت (Edenite + albite = richtrite + anorthite) است که برای سنگ‌های آذرین کوارتزدار و فاقد کوارتز به کار می‌رود. بر اساس (Anderson, 1995) دماسنج B در مقایسه با سایر دماسنج‌ها کاربردی‌تر است. معادله ارائه شده برای دماسنج B به قرار زیر است که برای بلورهای پلاژیوکلاز با مولفه آنورتیت کمتر از ۵۰ درصد (آلبیت- آنندزین) کاربرد دارد. در شرایطی که میزان مولفه آنورتیت بالای ۵۰ درصد باشد، بایستی مؤلفه Y را نیز دخالت داد:

بر پایه شواهد سنگ‌شناختی زوج درشت بلورهای آمفیبول کلسیم‌دار و پلاژیوکلاز در تعادل قرار دارند چرا که نمونه‌های آمفیبول کلسیم‌دار انتخاب شده فاقد حواشی اکتینولیتی بوده و دارای مرزهای دانه‌ای عادی با پلاژیوکلاز همزیست و مجاور خود هستند. به این دلیل برای برآورد شرایط دمای تشکیل سنگ در عمق از این زوج کانی بهره گرفته می‌شود. (Holland & Blundy, 1994) براساس مدل‌های انحلال جامد و سیستم‌های تجربی و طبیعی محدود، دو زمین‌دماسنج شامل زمین‌دماسنج

$$T(\pm 40^\circ c) = \left[\frac{-76.95 + 0.79P + Y_{ab} + 39.4X_{Na}^{ab} + 22.4X_K^{ab} + (41.5 - 2.89P)X_{Al}^{ter}}{-0.0650 - RLn[(27X_{Na}^{ab} X_{Si}^{ter} X_{ab}^{pl}) / (256X_{Na}^{ab} X_{Al}^{ter})]} \right] - 273 \quad (1)$$

$$T[\pm 313K] = \frac{81.44 - 33.6X_{Na}^{M4} - (66.88 - 2.92[kbar])X_{Al}^{M2} + 78.5X_{Al}^T + 9.4X_{Na}^A}{0.0721 - 0.0083144 \ln \left(\frac{27X_{Na}^{M4} X_{Si}^T X_{An}^{Pl}}{64X_{Ca}^{M4} X_{Al}^T X_{Ab}^{Pl}} \right)} \quad (2)$$

درجه سانتی‌گراد بر اساس روش دماسنج B است (جدول ۵). بر همین اساس برای نمونه ۲ بین ۸۸۰ تا ۱۱۰۶ درجه سانتی‌گراد بر اساس روش دماسنج A و ۷۷۴ تا ۹۵۲ درجه سانتی‌گراد بر اساس روش دماسنج B است. منظور از فشار در این محاسبات فشار سنگ ایستایی بوده است که (Holland & Blundy, 1994) در محاسبات خود از آن استفاده کرده‌اند.

در این رابطه، T دمای تعادلی بر حسب کلوین و P فشار بر حسب کیلوبار است. همان‌گونه که مشخص است برآورد میانگین دما با این دو روش A, B نشان می‌دهد فشارهای متعارف بین ۱ تا ۱۰ کیلوبار برای زوج کانی‌های آمفیبول و پلاژیوکلاز در تشکیل درشت بلورهای سنگ برای نمونه ۱ بین ۹۴۲ تا ۱۱۰۳ درجه سانتی‌گراد بر اساس روش دماسنج A و ۸۲۲ تا ۹۸۰

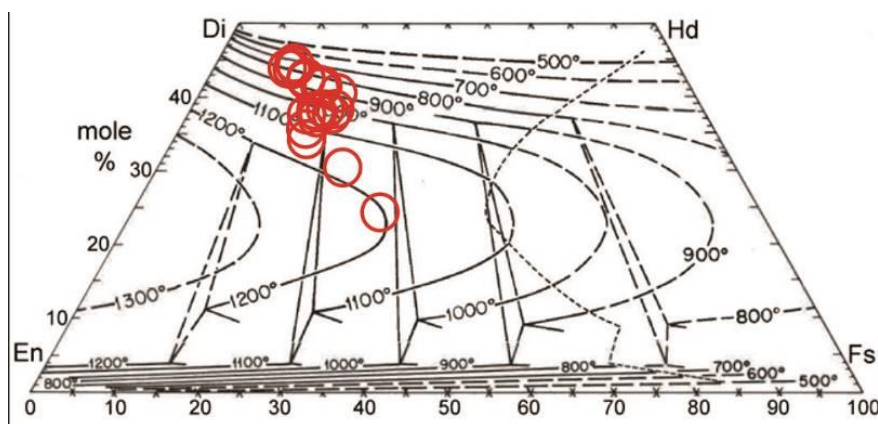
جدول ۵- دماهای محاسبه شده در فشارهای ۱ تا ۱۰ برای زوج درشت‌بلورهای آمفیبول کلسیم‌دار و پلاژیوکلاز انتخابی و مقادیر میانگین در دو نمونه از سنگ‌های آتشفشانی سرچشمه

فشار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
میانگین نمونه ۱ (دماسنج A)	۹۴۲	۹۶۰	۹۷۸	۹۹۶	۱۰۱۴	۱۰۳۱	۱۰۵۰	۱۰۶۸	۱۰۸۵	۱۱۰۳
میانگین نمونه ۱ (دماسنج B)	۸۲۲	۸۳۹	۸۵۷	۸۷۵	۸۹۲	۹۱۰	۹۲۸	۹۴۵	۹۶۳	۹۸۰
میانگین نمونه ۲ (دماسنج A)	۸۸۰	۹۰۵	۹۳۰	۹۵۵	۹۸۰	۱۰۰۶	۱۰۳۱	۱۰۵۶	۱۰۸۱	۱۱۰۶
میانگین نمونه ۲ (دماسنج B)	۷۷۴	۷۹۴	۸۱۴	۸۳۴	۸۵۳	۸۷۳	۸۹۳	۹۱۳	۹۳۳	۹۵۲

۷- زمین‌دما فشارسنجی بر اساس درشت‌بلور پیروکسن

پیروکسن استفاده کرد که مجموعه Wo+En+Fs بیش از ۹۰ درصد باشد که در مورد کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های منطقه مورد مطالعه این مطلب با توجه به داده‌های تجزیه کلینوپیروکسن‌ها صدق می‌کند. بر این اساس، دماسنجی سنگ‌های مورد مطالعه در نمودار (Lindsley, 1983) نشان می‌دهد که دمای شروع تبلور نمونه پیروکسن‌های سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه در محدوده، ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه است (شکل ۱۳).

تعدادی از دانشمندان از ترکیب تک‌کانی کلینوپیروکسن برای دماسنجی و فشارسنجی استفاده کردند. از آن جمله می‌توان به مطالعات Nimis and Taylor, (2000) و Nimis, (1995) اشاره کرد. در نمودار دماسنجی ارائه شده بر مبنای خانواده کلینوپیروکسن‌ها بر اساس نظر Jiang et al., (2006) است. در صورتی می‌توان از این نمودار برای یک



شکل ۱۳- تعیین دمای تشکیل پیروکسن‌ها با استفاده از دماسنج ترسیمی پیروکسن‌ها (Lindsley, 1983)

فشارسنجی که بر اساس توزیع Al بین کلینوپیروکسن و مذاب در برگزیده کالیبره شده است، به صورت زیر ارائه شده است.

همچنین برخی از دانشمندان نیز از ترکیب کلینوپیروکسن و مذاب در تعادل با آن، برای دما فشارسنجی استفاده کردند (Putirka, 2003). این

$$P(\text{kbar}) = -57.9 + 0.0475T(\text{K}) - 40.6(X_{\text{FeO}}^{\text{liq}}) - 47.7(X_{\text{CaTs}}^{\text{cpx}}) + 0.676(\text{H}_2\text{O}^{\text{liq}}) - 153(X_{\text{CaO}_{0.5}}^{\text{liq}} X_{\text{SiO}_2}^{\text{liq}}) + 6.89 \left(\frac{X_{\text{Al}}^{\text{cpx}}}{X_{\text{AlO}_{1.5}}^{\text{liq}}} \right) \quad (3)$$

در فرمول بالا $X_{Al}^{cpx} = X_{Al(IV)}^{cpx} + X_{Al(VI)}^{cpx}$ براساس ۶ اکسیژن است. جزئیات بیشتر محاسبه در مقاله یادشده گنجانده شده است. همچنین Nimis and Taylor, (2000) یک دماسنج براساس ترکیب بلور کلینوپیروکسن ارائه دادند. این مدل به صورت زیر ارائه می شود.

$$T(K) = \frac{93100 + 544P(\text{kbar})}{61.1 + 36.6(X_{Ti}^{cpx}) + 10.9(X_{Fe}^{cpx}) - 0.95(X_{Al}^{cpx} + X_{Cr}^{cpx} - X_{Na}^{cpx} - X_K^{cpx}) + 0.395[\ln(a_{En}^{cpx})]^2} \quad (4)$$

براساس ۶ اکسیژن بوده و a_{En}^{cpx} به صورت زیر محاسبه می شود. در این فرمول نیز $X_{Al}^{cpx} = X_{Al(IV)}^{cpx} + X_{Al(VI)}^{cpx}$

$$a_{En}^{cpx} = (1 - X_{Ca}^{cpx} - X_{Na}^{cpx} - X_K^{cpx}) \cdot (1 - 0.5(X_{Al}^{cpx} + X_{Cr}^{cpx} + X_{Na}^{cpx} + X_K^{cpx}))$$

Putirka, (2008) دماسنج دیگری را براساس کلینوپیروکسن و مزاب همزیست ارائه داد. این دماسنج برای سامانه های $P < 70 \text{ kbar}$ و درصد خطای ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی گراد کالیبره شده است. این دماسنج به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\frac{10^4}{T(K)} = 7.53 - 0.14 \ln \left(\frac{X_{Jd}^{cpx} X_{CaO}^{liq} X_{Fm}^{liq}}{X_{DiHd}^{cpx} X_{Na}^{liq} X_{Al}^{liq}} \right) + 0.07(H_2O^{liq}) - 14.9(X_{CaO}^{liq} X_{SiO_2}^{liq}) - 0.08 \ln(X_{TiO_2}^{liq}) - 3.62(X_{NaO_{0.5}}^{liq} + X_{KO_{0.5}}^{liq}) - 1.1(Mg\#^{liq}) - 0.18 \ln(X_{EnFs}^{cpx}) - 0.027P(\text{kbar}) \quad (5)$$

روش های یادشده (فرمول های ۳ تا ۵) و دمای محاسبه شده برای تشکیل سنگ های آتشفشانی منطقه، بر اساس تک بلور پیروکسن و روش پیروکسن- مزاب، در جدول زیر خلاصه شده است (جدول ۶). براساس این روش ها، محدوده دمای محاسبه شده برای این نمونه ها، بین ۷۶۴ تا ۱۱۳۴

جدول ۶- فشار و دماهای محاسبه شده براساس ترکیب کلینوپیروکسن و تعادل کلینوپیروکسن- مزاب در سنگ های آتشفشانی سرچشمه

فشار / دما	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳
Putirka, (2003)	۴/۸-۸/۸	۵/۷-۱۱	۵/۲-۸/۲
	۷/۸	۷/۴	۶/۵
Nimis & Taylor, (2000)	۷۶۴ - ۱۰۰۴	۸۴۶ - ۱۱۲۰	۹۷۹ - ۱۱۳۴
Putirka, (2003)	- ۱۱۰۱ ۱۰۹۳	۹۱۱ - ۱۰۴۹	۹۲۴ - ۹۸۶

دیوپسید و اوژیت است و با توجه به ترکیب پیروکسن ها سنگ های منطقه در محدوده کلسیمی-قلیایی واقع شده اند و از نظر محیط زمین ساختی- ماگمایی، ویژگی کمان های ماگمایی را نشان می دهند. همه آمفیبول های موجود در سنگ های منطقه به گروه آمفیبول های کلسیمی تعلق دارند و بیشتر ترکیبی از نوع مگنزیوهایستینگزیت نشان می دهند. همچنین

نتیجه گیری

براساس نمودارهای ژئوشیمیایی سنگ های منطقه در محدوده کمان های ماگمایی از نوع حاشیه های فعال قاره ای یا جزایر کمانی ناشی از فرورانش قرار می گیرند. ترکیب کانی پیروکسن در این سنگ ها از نوع

Leterrier, J., Maury, R. C., Thonon, P., Girad, D., Marchal M., 1982, "Clinopyroxene Composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series", *Earth and Planetary Science letters* 59 P. 139-154.

Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A. J., & Keller, M. J., 1989, "Lameyre Le Bas, PA Sabine, R. Schmid, H. Sorensen", A. *Streckeisen, AR Wolley, B. Zanetti. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms*, Blackwell, Oxford, P.193.

Morimoto, N., 1988, "Nomenclature of pyroxenes", *Bull. Mineral.* 111, P.535-550.

Muller, D., Groves, D. I., 1997, "Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization", *Second Updated. Springer Vrelag*, P.242.

Nimis, P., Taylor, W. R., 2000, "Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites, Part I. Calibration and testing of a Cr-in Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 139, P. 541-554.

Pearce, J.A., 1983, "Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins", In: *Hawkesworth, C.J., Nurry, M.L. (Eds.), Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva, Nantwich, P.230-249.

Pearce, J.A., Cann, J.R., 1973, "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses", *Earth and Planetary Science Letters* 19, P.290-300.

Pechersky, D.M., Genshaft, Yu.S., 2001, "Petromagnetism of the continental lithosphere and the origin of regional magnetic anomalies", *A review, Russian Journal of Earth Sciences*, 3(2), P.97-124.

Putirka, K. D., Mikaelian, H., Ryerson, F., Shaw, H., 2003, "New Clinopyroxene-liquid thermobarometers for mafic, evolved, and volatile-bearing lava composition, with application to lavas from Tibet and snake river plain, Idaho", *American Mineralogist*, 88: P.1542-1554.

آمفیبول‌های ثانویه، حاصل از تبدیل‌شدگی کانی پیروکسن، ترکیب اکتینولیتی نشان می‌دهند. کانی پلاژیوکلاز در این سنگ‌ها نشان می‌دهد که، برخی از کانی‌های پلاژیوکلاز ترکیبات کلسیک‌تری دارند. به‌گونه‌ای که میزان مقادیر کلسیم از حاشیه تا حاشیه این کانی‌ها بیشتر است. این کانی‌ها ترکیب گسترده‌ای از آلبیت تا بیتونیت نشان می‌دهند. دماسنجی سنگ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که دمای شروع تبلور نمونه پیروکسن‌های سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه در محدوده ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه و میانگین فشار محاسبه‌شده برای نمونه‌ها، بین ۴.۸ تا ۱۱ کیلوپار (به‌طور میانگین ۸/۱ کیلوپار) است.

مراجع

Anderson, J.L., Smith, D.R., 1995, "The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer", *Am Mineral* 80: P.549-559.

Berndt, J., Koepke, J., Holtz, F., 2005, "Influence of H_2O and oxygen fugacity on differentiation of MORB at 200 MPa", *J. Petrol*, 46, P.135-167.

Beccaluva, L., Macciotta, G., Piccardo, G. B., Zeda, O., 1989, "Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenic indicator", *Chemical Geology* 77, P.165-185.

Holland, T., Blundy, J., 1994, "Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry", *Contrib Mineral Petrol*, 116, P.433-447.

Irvine, T. N., Baragar, W. R. A., 1971, "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", *Canadian Journal of Earth Science*, 8, P.523-548.

Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., & Zanettin, B., 1962, "A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram", *Journal of petrology*, 27(3), P.745-750.