

خصوصیات ماگما و نقش آن در تکوین کانسار مس پورفیری هفت چشمه (آذربایجان شرقی)

زنبق عادل^(۱*)، ایرج رساء^۲ و علی درویش‌زاده^۳

۱. دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، گروه زمین‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳. استاد گروه معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۲۶

چکیده

کانسار مس پورفیری هفت چشمه در ۴۵ کیلومتری شمال شرق شهرستان اهر و در ۲۸ کیلومتری شمال شهرستان ورزقان در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. هدف کلی این تحقیق بررسی خصوصیات ماگما در تشکیل و تکوین این کانسار است. در منطقه مورد مطالعه توده‌های نفوذی (نیمه عمیق) الیگومیوسن بیشترین برونزد را داشته و به واسطه کانه‌سازی مس و مولیبدن از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. این نفوذی‌ها شامل پورفیری‌هایی از نوع کوارتزگابرودیوریت تا کوارتزدیوریت (Qdi)، کوارتزمونزونیت (Qmz) و گرانودیوریت (Grd) می‌باشند که یک روند تفریقی را نشان می‌دهند. براساس مطالعات صورت گرفته توده‌های نفوذی منطقه از یک ماگما مشتق شده و تفریق یافته‌اند. سنگهای منطقه ماهیت کالک آلکالن داشته و در زون فرورانش حاشیه قاره ای تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها مشابه گرانیتهای تیب I می‌باشند، اما شواهدی از آغشتگی و آرایش ماگما یا پوسته نیز وجود دارد. جوشش، فرآیند مهمی در منطقه مورد مطالعه بوده و موجب خروج فازهای بخار و تسریع تمرکز فلزات در سیال باقیمانده و نهایتاً ته‌نشست عناصر مس و مولیبدن در منطقه شده است. در این کانسار فرآیند غنی‌شدگی سوپرژن مشاهده نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: تفریق ماگمایی، رنگ‌های کالک آلکالن، گرانیتهای تیب I، مس پورفیری

مقدمه

کانسار مس هفت چشمه در ۴۵ کیلومتری شمال شرق شهرستان اهر و در ۲۸ کیلومتری شمال شهرستان ورزقان در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این محدوده بین طول‌های جغرافیایی $39^{\circ} 22'$ و $39^{\circ} 41'$ و عرض‌های جغرافیایی $38^{\circ} 25'$ و $38^{\circ} 27'$ شمالی با مساحتی در حدود ۱۰ کیلومتر مربع قرار گرفته است. این محدوده در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورزقان واقع شده و بخشی از زون البرز غربی-آذربایجان می‌باشد (باباخانی و همکاران، ۱۳۶۹).

اهداف و روش‌ها

هدف کلی این تحقیق، بررسی خصوصیات ماگمای تشکیل دهنده کانسار هفت چشمه و نقش آن در تکوین این کانسار است. بدین منظور پس از پی‌جویی‌های صحرایی، مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک، تنوع سنگ‌شناسی و دگرسانی منطقه شناسایی و سپس ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر در سنگ‌های منطقه به کمک داده‌های ۱۷ نمونه XRF و ۶۰ نمونه ICP بررسی شده است. در نهایت به کمک آنالیزهای ایزوتوپ‌های پایدار، منشاء سیال کانه‌ساز بررسی شده است. مطالعه میکروپروب بیوتیت‌ها و پلازیوکلازها نیز نقش مهمی در این تحقیق داشته‌اند. به کمک

توده‌های نفوذی بیشترین برونزد را دارند، به نحوی که تنها واحد کوارتز دیوریت پورفیری (Qdi) بیش از ۷۰ درصد محدوده را پوشش داده است. (شکل ۱) این توده‌های نفوذی به زمان پس از الیگوسن پیشین نسبت داده شده‌اند و تحت تاثیر گسلش به شدت شکسته و خرد شده‌اند.

پتروگرافی

سنگ‌های نفوذی (نیمه عمیق) الیگومیوسن به واسطه کانه‌سازی مس و مولیبدن در منطقه از اهمیت ویژه ای برخوردارند. این نفوذی‌ها از قدیم به جدید شامل پورفیری‌هایی از نوع کوارتز گابرو دیوریت تا کوارتز دیوریت (Qdi)، کوارتز مونزونیت (Qmz) و گرانودیوریت (Grd) می‌باشند.

کوارتز دیوریت پورفیری (Qdi)، دارای بافت پورفیریتیک با خمیره میکرو لیتی دانه متوسط است و کانی‌های عمده تشکیل دهنده آن پلاژیوکلاز، کوارتز، کلینوپیروکسن، هورنبلند و بیوتیت ثانویه و کانی‌های اپاک می باشد. در این سنگ‌ها به میزان کمتر، کلریت، کوارتز، اپیدوت و اکتینولیت دیده می‌شود که حضور اکتینولیت در کنار سایر کانی‌ها، معرف زون پتاسیک سنگ‌های حدواسط تا بازیک است (خوئی و همکاران، ۱۳۷۸).

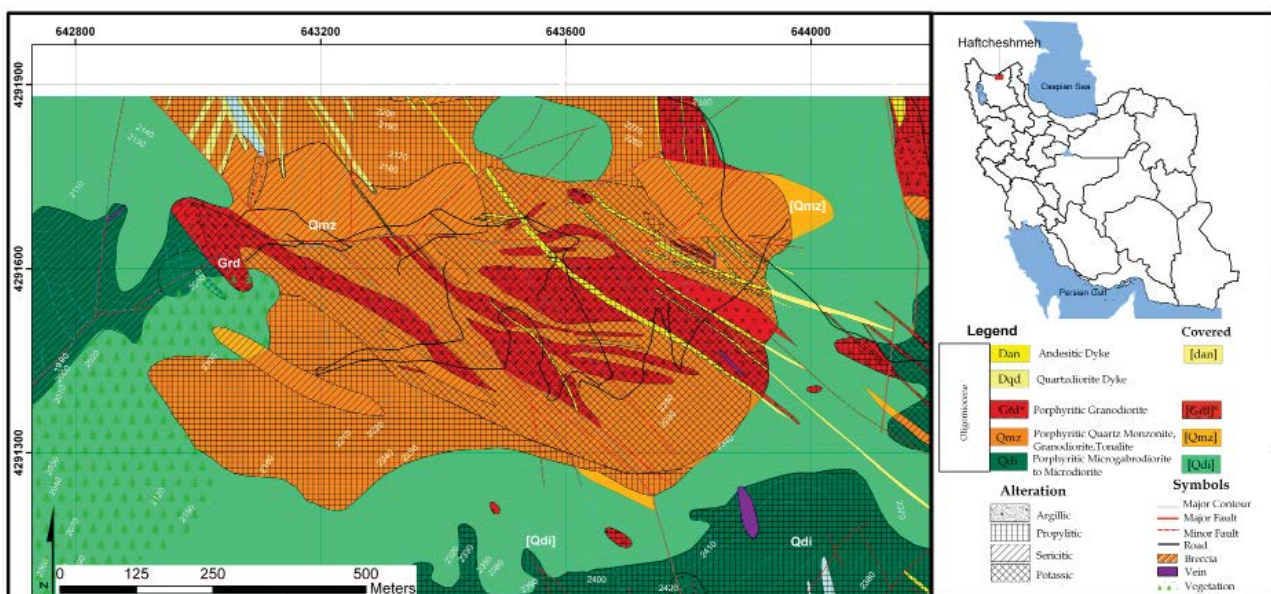
کوارتز مونزودیوریت پورفیری تا کوارتز مونزونیت پورفیری (Qmz)، بافت میکروگرانولار داشته و در آن حضور رگه‌ها و رگچه‌های کوارتز پررنگ است. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده آن شامل کوارتز، فلدسپات آلکالن و پلاژیوکلاز هستند. بیوتیت ثانویه به فراوانی در این سنگ دیده می‌شود و سایر کانی‌های ثانویه شامل ترمولیت، اکتینولیت، انیدریت، کلریت و کلسیت است که با توجه به حضور آهن در محیط، امکان تشکیل کربنات‌های آهن فراهم آمده است.

کوارتز مونزودیوریت پورفیری تا گرانودیوریت‌های منطقه (Grd)،

این داده‌ها، ترکیب پلاژیوکلازهای منطقه مشخص و به کمک ژئوترموبارمتری بیوتیت‌ها، عمق تشکیل کانسار محاسبه شده است. سپس اطلاعات به دست آمده از روش‌های مختلف با یکدیگر تلفیق شده و چشم اندازی از چگونگی تشکیل کانسار مس پورفیری هفت چشمه را فراهم نموده است.

زمین‌شناسی منطقه

بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ (شکل ۱) در منطقه مورد مطالعه، سنگ‌های قدیمی‌تر از کرتاسه برونزد نداشته و واحدهای لیتواستراتیگرافی موجود از قدیم به جدید عبارتند از: (۱) سازندهای رسوبی - آتشفشانی (کرتاسه - پالئوژن) شامل سنگ‌های رسوبی آهکی، ماسه‌سنگی، رخساره فلیشی و سنگ‌های آتشفشانی بازالتی تا آندزیت بازالتی. (۲) توده‌های نفوذی گرانودیوریتی تا کوارتز دیوریتی که سری‌های آتشفشانی - رسوبی (کرتاسه - پالئوژن) را قطع نموده و دگرسانی‌ها و کانی‌سازی‌هایی از نوع پورفیری، اسکارنی و رگه‌ای در منطقه ایجاد نموده‌اند. (۳) ولکانیسم‌ها و سنگ‌های ساب ولکانیک پلیوکواترنز و کواترنز که عمدتاً شامل دو نوع گنبد‌های ریولیتی داسیتی پورفیری و گدازه‌های آندزیت بازالتی تا تراکی آندزیتی هستند (باباخانی و همکاران، ۱۳۶۹). قدیمی‌ترین واحد در محدوده ایگنیمبریت و توف‌های کرتاسه و جدیدترین واحد، پیش از واحدهای کواترنز دایک‌های آندزیتی است. نفوذ یک توده کوارتز گابرو دیوریتی بعد از کرتاسه در منطقه، امکان دگرسانی و کانی‌زایی‌های پراکنده در سنگ‌های اطراف خود را فراهم نموده است (مهرپرتو، ۱۳۷۱). این توده نفوذی می‌تواند قابل قیاس با توده نفوذی سونگون، نبی جان و خوناری باشد. با توجه به اینکه کانسار هفت چشمه در زون کانی‌سازی اهر واقع شده، از نظر کانی‌سازی مشابه کانسار سونگون و از نوع مس مولیبدن‌دار است. در منطقه مورد مطالعه



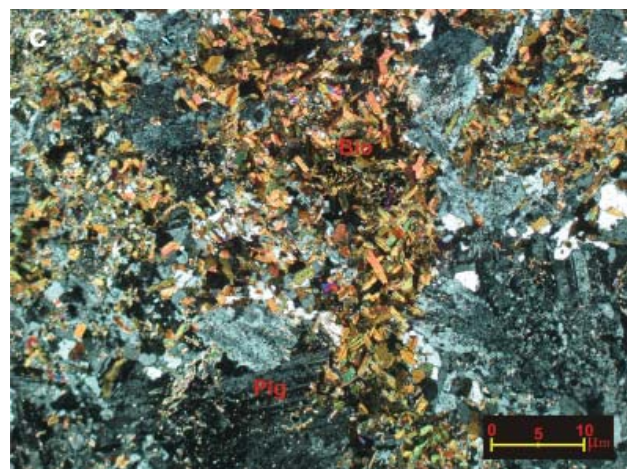
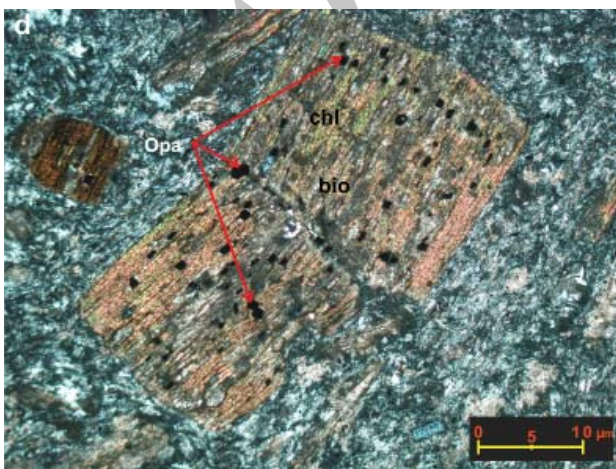
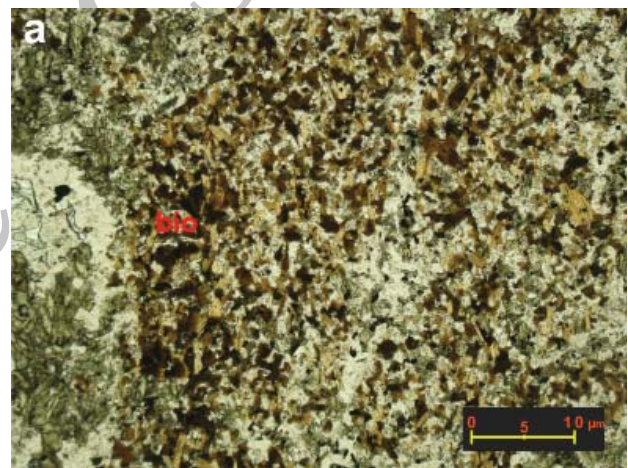
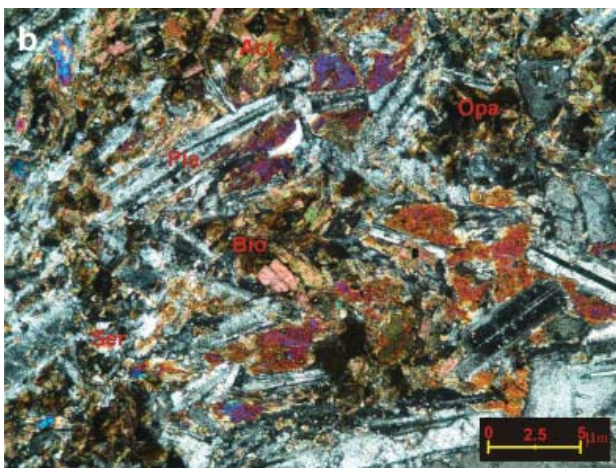
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده هفت چشمه و نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ منطقه (شرکت ملی مس ایران، ۱۳۸۸)

در هر سه توده نفوذی و حتی در سنگ‌های نیمه عمیق تا خروجی کانسار هفت چشمه، بیوتیت‌ها به دو نسل اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند، برخی از بیوتیت‌های نسل اول تحت تاثیر سیالات ماگمایی تجدید تبلور یافته‌اند یا به کلریت تجزیه شده‌اند (شکل ۲- d). بیوتیت‌های نسل دوم به صورت آگرگات دانه ریز دیده می‌شوند (شکل ۲- a, b, c). بیوتیت‌های ثانویه به عنوان کانی اصلی دگرسانی، دانه درشت‌تر و شکل‌دار هستند و به صورت جان‌شینی، رگچه‌ای و پراکنده دیده می‌شوند. این سه توده نفوذی نه تنها از نظر بافت، کانی‌های تشکیل دهنده و نوع کانی‌های ثانویه شباهت بسیار زیادی با یکدیگر دارند بلکه با سنگ‌های نیمه عمیق تا خروجی منطقه نیز شباهت دارند. به طوری که این شباهت‌ها منشاء یکسان این سنگ‌ها را تداعی می‌نماید.

پدیده تفکیک ماگمایی

بر اساس مطالعات میکروسکوپی نمونه‌ها، چنین به نظر می‌رسد که سنگ‌های منطقه از یک توده مشتق شده‌اند و روند تفریقی نشان می‌دهند. در جواب به این سوال که آیا واقعاً تفریق در ماگمای

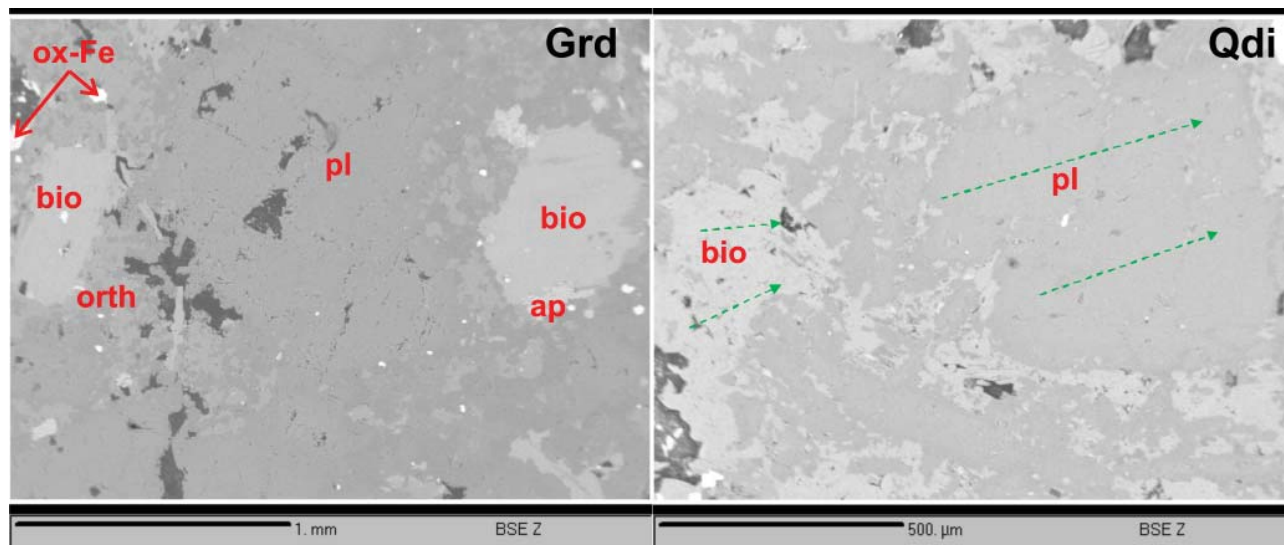
بافت پورفیریک با خمیره دانه متوسط داشته و کانی‌های عمده تشکیل دهنده آن شامل فلدسپات آلکالن، پلاژیوکلاز و کوارتز است. این واحد نیز به شدت دگرسان و تکتونیزه شده است. کانی‌های اولیه مانند پلاژیوکلاز به سریسیت و کائولینیت تجزیه شده‌اند اما بیوتیت و کوارتز اصلی‌ترین کانی‌های ثانویه هستند. جوان‌ترین واحدی که در محدوده هفت چشمه برنزد دارد سنگ‌های نیمه عمیق تا خروجی الیگومیوسن می‌باشند که دارای ترکیب تراکی‌آندزیت تا آندزیت پورفیری (Dan) هستند. بافت میکروسکوپی آن‌ها پورفیریک با خمیره میکروولیتی تا دانه متوسط می‌باشد. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده، پلاژیوکلاز، کوارتز و کانی‌های مافیک مانند آمفیبول (هورنبلند) و بیوتیت بوده که به شدت به کلریت و اکسیدهای آهن تجزیه شده‌اند. آلکالی فلدسپات نیز هم به صورت درشت بلور و هم به صورت ریز بلور در خمیره سنگ قابل مشاهده است. کانی‌های ثانویه نیز به ترتیب فراوانی شامل کلریت، کانی‌های رسی، سریسیت و کربنات، ترمولیت، اکتینولیت، اپیدوت و اسفن می‌باشند. دگرسانی این واحد در حد دگرسانی پروپیلیتیک تا آرژیلیک است.



شکل ۲: a: پیروکسن، پلاژیوکلاز و بیوتیت‌ها در واحد کوارتزادیوریت پورفیری (Qdi) که برخی در حال تبدیل به کلریت هستند و نسل دوم بیوتیت‌ها به صورت آگرگات دیده می‌شود. b: بیوتیت‌های نسل دوم به صورت آگرگات در پلاژیوکلاز و بیوتیت‌ها در واحد گرانودیوریت پورفیری (Grd): d بیوتیت نسل اول در واحد آندزیت پورفیری (Dan)

لابرادوریت دارند. بنابراین این پلاژیوکلازها دارای هسته کلسیک و حاشیه سدیک هستند. پلاژیوکلازها در واحد گرانودیوریت پورفیری (Grd) از مرکز به حاشیه ترکیب آندزین تا الیگوکلاز دارند که این پلاژیوکلازها نیز دارای حاشیه سدیک تری نسبت به هسته خود می باشند. با توجه به این دو نمودار می توان به وضوح فرآیند تفریق ماگما را براساس تفریق پلاژیوکلاز کلسیک (بیتونیت) به پلاژیوکلاز سدیک (الیگوکلاز) در سنگ های منطقه مشاهده نمود.

کانسار هفت چشمه رخ داده است، بررسی های بیشتری صورت گرفته است. به این منظور، واحد کوارتزیدیوریت پورفیری (Qdi) به عنوان اولین قطب و واحد گرانودیوریت پورفیری (Grd) به عنوان آخرین قطب تفریق فرض شده است. در مرحله بعد بلورهای پلاژیوکلاز سنگ های منطقه مورد آنالیز مایکروپروب قرار گرفته که نتایج آن در جدول های ۱ و ۲ و شکل ۳ قابل مشاهده است. بر اساس نمودار مثالی (شکل ۴) پلاژیوکلازها در واحد کوارتزیدیوریت پورفیری (Qdi) از مرکز به حاشیه ترکیب بیتونیت تا



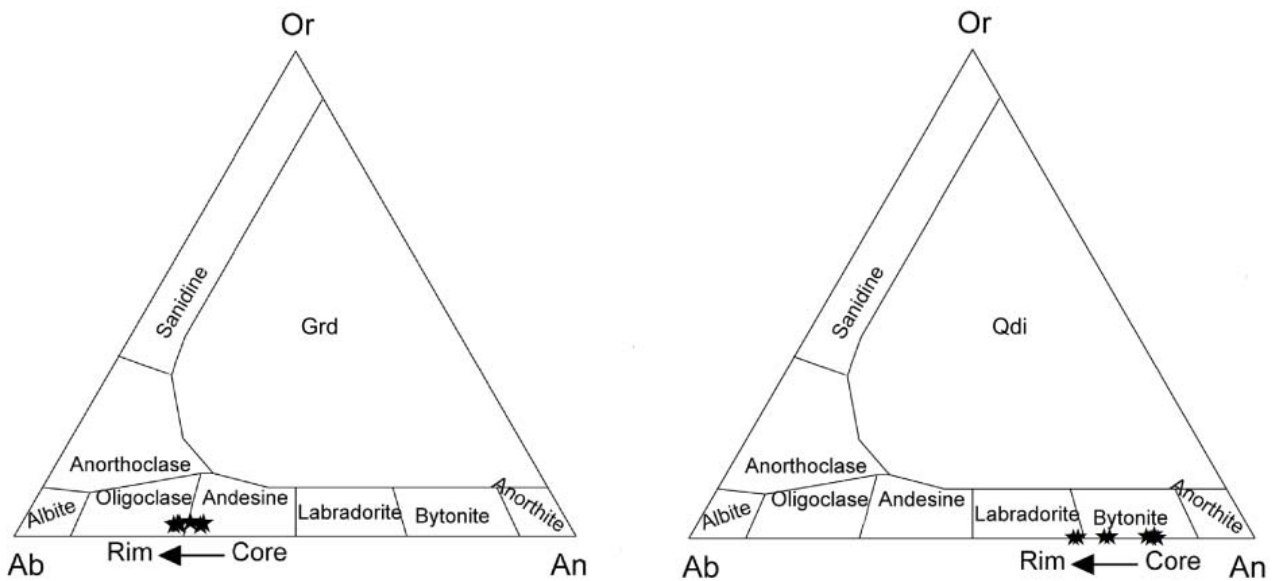
شکل ۳. کانی های پلاژیوکلاز و بیتونیت که آنالیز مایکروپروب روی آن ها صورت پذیرفته است.

جدول ۱. نتایج آنالیز پلاژیوکلاز در کوارتزیدیوریت های پورفیری کانسار هفت چشمه (بر حسب درصد).

Row	Na ₂ O	K ₂ O	Ag	MgO	CaO	MnO	FeO	BaO	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Total
1	2.15	0.06	0	0.03	16.68	0.06	0.69	1.35	32.7	0	46.24	0	99.96
2	1.99	0.05	0	0.04	17.38	0.49	0.36	0	33.34	0.01	46.42	0.55	100.64
3	2.01	0.13	0	0.13	17.11	0	0.47	0	33.19	0	46.43	0.05	99.52
4	3.09	0.07	0	0.02	15.66	0	0.58	0	31.4	0.03	48.43	0	99.29
5	2.09	0.04	0	0.03	16.87	0	0.71	0	32.54	0	46.89	0.01	99.17
6	3.73	0.06	0	0.02	14.43	0	0	0	31.13	0.02	49.78	0	99.17
7	2.97	0.05	0	0.09	15.69	0	0.45	0	31.92	0.02	48.12	0	99.35
8	3.47	0.07	0	0	13.91	0	0.33	0	30.98	0	51.41	0	100.17

جدول ۲. نتایج آنالیز پلاژیوکلاز در گرانودیوریت های پورفیری کانسار هفت چشمه (بر حسب درصد).

Row	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Total
1	9.08	0.52	0	6.35	0	0.15	22.1	0	0.02	62.58	0	100.8
2	8.59	0.55	0	6.35	0.15	0.15	22.75	0.01	0.02	61.9	0.01	100.48
3	7.78	0.48	0.01	6.84	0	0.1	24.8	0	0.02	60.69	0	100.71
4	8.29	0.5	0	6.13	0	0.12	24.29	0	0.02	60.86	0.01	100.21
5	7.59	0.53	0	6.11	0	0.09	24.35	0	0.02	60.99	0.01	99.66
6	6.98	0.49	0.02	6.3	0	0.09	24.49	0.10	0.02	61.51	0.01	99.88



شکل ۴. نمودار مثلی ترکیب پلاژیوکلازها در دو قطب کوارتزیدوریت پورفیری و گرانودیوریت پورفیری (Deer et al., 1992).

به دلیل وجود آلتراسیون گسترده در منطقه، روند خاصی نشان نمی‌دهد.

بنابراین با توجه به شباهت سنگ‌شناسی، ترکیب پلاژیوکلازها و روند تغییرات اکسید عناصر اصلی نسبت به SiO_2 محتمل است که توده‌های نفوذی کانسار هفت چشمه، از یک ماگما واحد مشتق و تفریق یافته‌اند.

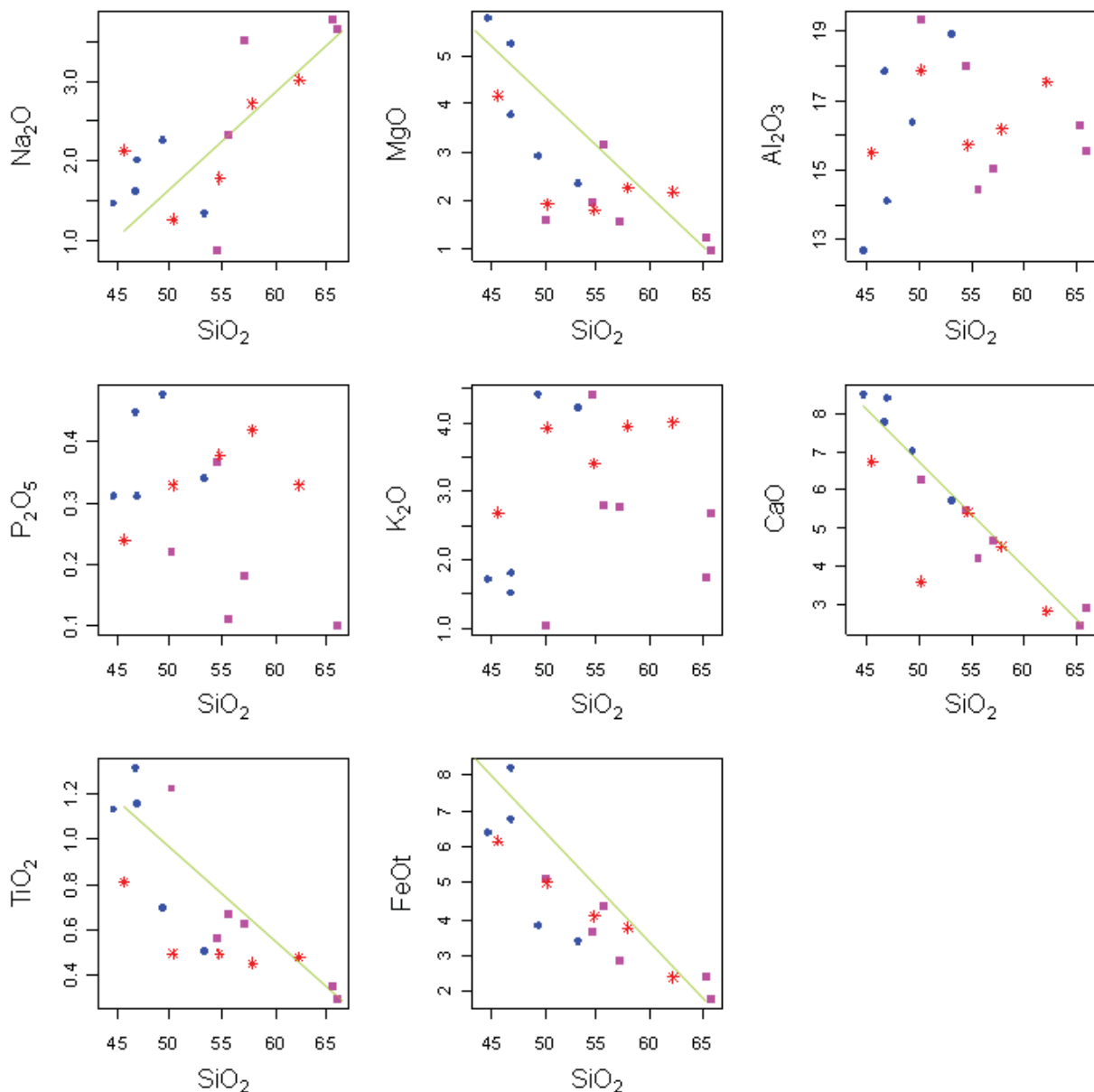
ویژگی‌های ماگما

کانسار هفت چشمه کمتر از ۱۰ کیلومتر با کانسار سونگون فاصله دارد. لذا انتظار می‌رود شباهت‌هایی بین این دو کانسار

سنگ‌های منطقه‌ی هفت چشمه تحت تاثیر آلتراسیون گسترده‌ای قرار گرفته‌اند. غلظت اکسیدهای عناصر اصلی در کم دگرسان ترین سنگ‌های منطقه به کمک تجزیه شیمیایی به روش XRF، اندازه‌گیری شده است همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود. برخی از نمونه‌ها همچنان بسیار بالا می‌باشد اما در نمودار هارکر (Harker, 1909) (شکل ۵) علیرغم دگرسانی‌های شدید سیلیسی و پتاسیک منطقه، همچنان شواهدی از روند تفریق ماگما قابل مشاهده است. برای مثال میزان TiO_2 , CaO , FeO و MgO ماگما با افزایش SiO_2 کاهش می‌یابند که این مسئله تفریق بلوری ماگما را تأیید می‌کند. لازم به توضیح است که مقادیر K_2O

جدول ۳. نتایج تجزیه شیمیایی ۲۰ نمونه از سنگ‌های نفوذی منطقه به روش XRF

Sample	H13	H17	H18	H19	H23	H24	H27	H29	H3	H33	H39	H40	H41	H47	H49	H51	H56	H58	H59	H7
Type	GRD	QMZ	QDI	QMZ	GRD	QMZ	QDI	GRD	GRD	QMZ	QMZ	QDI	GRD	QDI	QMZ	QMZ	GRD	QMZ	QDI	QDI
Lol	2.97	19.57	6.37	5.21	6.53	3.5	6.5	8.13	3.93	27.3	10.7	13.57	4.13	8.88	9.1	3.59	7.93	5.83	9.98	8.36
Na ₂ O	3.02		1.46	3.52	2.13	3.67	1.62	1.26	2.73			1.04	1.33	1.33	0.87	3.78	1.78	2.33	2.26	2.01
MgO	2.18	5.54	5.76	1.57	4.18	0.95	5.23	1.92	2.27	9.78	1.58	4.57	1.15	2.35	1.96	1.22	1.8	3.17	2.92	3.78
Al ₂ O ₃	17.54	14.35	12.68	15.05	15.5	15.54	17.84	17.87	16.18	4.54	19.34	12.27	10.22	18.89	18.02	16.3	15.72	14.43	16.35	14.11
SiO ₂	62.25	33.92	44.72	57.12	45.59	65.88	46.81	50.23	57.88	24.29	50.12	33.35	71.49	53.22	54.5	65.45	54.71	55.61	49.44	46.98
P ₂ O ₅	0.33	0.21	0.31	0.18	0.24	0.1	0.45	0.33	0.42	0.04	0.22	0.13	0.2	0.34	0.37		0.38	0.11	0.48	0.31
SO ₃	1.38	1.77	9.43	5.73	8.22	2.29	3.25	6.54	2.91	3.06	3.75	14.03	3.15	0.6	0.5	2.09	3.48	5.59	2.15	2.71
K ₂ O	4.01	0.7	1.71	2.77	2.69	2.69	1.5	3.93	3.95	0.68	1.04	2.37	3.27	4.23	4.42	1.73	3.41	2.81	4.43	1.8
CaO	2.85	15.11	8.51	4.69	6.75	2.92	7.77	3.62	4.51	21.84	6.27	10.54	3	5.69	5.45	2.47	5.43	4.22	6.98	8.37
TiO ₂	0.48	0.92	1.13	0.62	0.81	0.29	1.13	0.49	0.45		1.22	0.88	0.28	0.5	0.56	0.35	0.49	0.67	0.69	1.15
MnO		0.21								0.48				0.26	0.23					0.16
Fe ₂ O ₃	2.67	7.62	7.06	3.12	6.87	1.96	7.52	5.55	4.18	7.82	5.68	6.85	1.46	3.72	4.03	2.63	4.52	4.84	4.25	9.1
CuO	0.26	0.07	0.8	0.35	0.44	0.16	0.2	0.09	0.38		0.08	0.41	0.15			0.39	0.28	0.39		1.17
SrO	0.07				0.04			0.05	0.09				0.07				0.07		0.09	
ZrO ₂				0.06		0.05			0.11											
Ar ₂ O ₃										0.15										
Total	100.01	99.99	100	99.99	99.99	100	100	100.01	99.99	99.98	100	100.01	99.9	100.01	100.01	100	100	100	100.02	100.01



شکل ۵. نمودارهای تغییرات اکسید عناصر اصلی نسبت به سیلیس (علامت دایره معادل واحد کوارتز دیوریتی پورفیری، علامت مربع معادل واحد کوارتز مونزونیتی پورفیری و علامت ستاره رنگ معادل واحد گرانودیوریتی پورفیری)

بر اساس شکل ۶ در کانسار هفت چشمه دو سری ماگمایی قابل تشخیص است. سری آلکالن منیزیم و پتاسیم دار که ترکیبی مشابه گرانیتهای تیپ I داشته و مربوط به پیش از تصادم می باشد و در نمودار، خط a را دنبال می کند. سری دیگر، سری کالک آلکالن است که ابتدا از منیزیم و سپس از آهن غنی شده است. این دسته، در شکل ۶ خط b را دنبال می کند. این سنگهای گرانیتهای، روند تفریقی کالک آلکالن دارند و می توانند حاصل ذوب آناتکسی پوسته ی قاره ای در مراحل بعد از تصادم باشند (Buda, et al., 2004).

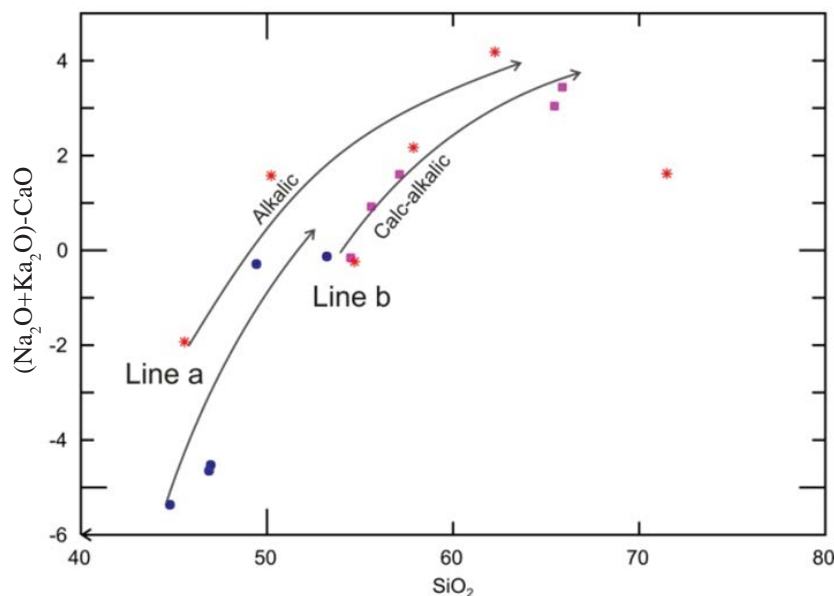
بر اساس شکل ۷ (Chappell and With, 2001) سنگهای محدوده هفت چشمه در محدوده پراآلومینوس و متآلومینوس

وجود داشته باشد. مهرپرتو (۱۳۷۳)، در مطالعاتی که بر روی کانسار سونگون انجام داد، روند کالک آلکالن سنگهای نفوذی این منطقه را مشخص و ویژگی گرانیتهای تیپ (I) را به آن نسبت داد. همچنین از نظر جایگزینی تکتونیکی نیز ویژگی قوس قاره ای را برای کانسار سونگون تعیین نمود. بنابراین در ادامه این تحقیق سعی خواهد شد ویژگی ماگمای کانسار هفت چشمه و جایگاه تکتونیکی آن بررسی گردد.

در جدول شماره ۴ نتایج آنالیز ایزوتوپ اکسیژن ارائه شده است برای مبنا میانگین ایزوتوپ اکسیژن در هفت چشمه، حدود +۹ و مشابه گرانیتهای تیپ I می باشد. لذا با توجه به این نتایج، منشاء آب در این کانسار، ماگمایی می باشد (عادلی، ۱۳۹۱).

جدول ۴. نتایج حاصل از آنالیز ایزوتوپی اکسیژن در سیلیکات‌های کانسار هفت چشمه

Isotopic Calculations for oxygen in silicates		18O VSMOW CIF3 Corr	Yield Umol/mg	Accepted Value
Laboratory Standard Kaolinite		21.4		21.5
Laboratory Standard Quartz		11.61		11.5
Laboratory Standard Carbon Dioxide		9.86		10.1
H25-1	Qtz	9.86	15.42	
H25-2	Qtz	9.81	15.69	
H24	Qtz	10.2	15.43	
H43-1	Ser	7.47	13.78	
H43-2	Ser	7.36	14.42	



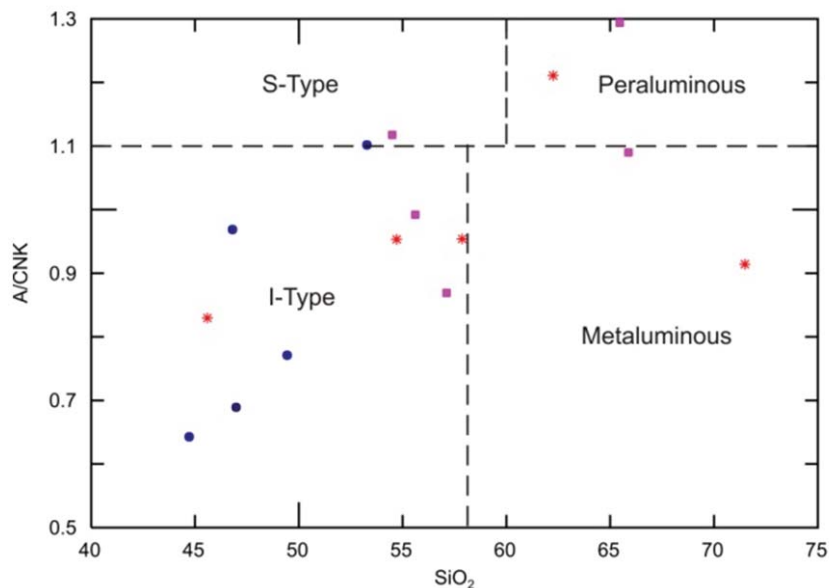
شکل ۶. ماهیت آلکان و کالک آلکان توده‌های هفت چشمه (Buda et al., 2004)

قرار گرفته‌اند. در این نمودار بیشتر نمونه‌ها در محدوده گرانیت‌های تیپ I واقع شده‌اند ولی تعداد کمی از نمونه‌ها در محدوده گرانیت‌های تیپ S قرار گرفته‌اند (عادل، ۱۳۹۱). این مسئله می‌تواند دو دلیل داشته باشد یا می‌تواند ناشی از آغشتگی ماگما با پوسته باشد و یا نمونه‌ها بر اثر تفرق ماگماهای گرانیتی تیپ I، در محدوده پراآلمینوس قرار گرفته‌اند (King et al., 1997; Chappell, 1999).

با تأیید وجود روند تفریقی ماگمای هفت چشمه، این سوال مطرح می‌شود که آیا آغشتگی ماگما با پوسته نیز رخ داده است؟ در جواب به این سوال از غلظت عناصر فرعی سنگ‌ها که به روش ICP-MS آنالیز شده‌اند استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصله، آنومالی منفی عنصر Nb در نمودار عنکبوتی (شکل ۸) می‌تواند یکی از نشانه‌های آرایش پوسته‌ای ماگما باشد (Reichew et al., 2004).

متآلومینوس بودن، کاهش P_2O_5 ، غنی‌شدگی عناصر LILE (شامل Cs, Rb, K, Ba) و تهی‌شدگی عناصر HFSE (شامل

در نمودارهای عنکبوتی همگی حکایت از منشاء ماگمایی تیپ I این کانسار دارد. اما حقیقت امر این است که آرایش ماگمایی همراه با مشاهده زینولیت در بررسی‌های صحرایی، موجب تغییر در فراوانی عناصر کمیاب خصوصاً عناصر ناسازگار شده است. این رخداد موجب افزایش میزان Ba, K و Rb و کاهش Nb, Y, Zr شده است (Reichew et al., 2004). برای تأیید آرایش پوسته‌ای نمونه‌ها، نسبت La/Nb محاسبه شده که مقادیر بین ۱/۰۲ تا ۷/۵ متغیر است و مقادیر بالای این نسبت (خصوصاً مقادیر بالاتر از ۳) آرایش پوسته‌ای این نمونه‌ها را تأیید می‌کنند (شکل ۹). از نمودار Ba/Th در مقابل Th/Nb (Temel et al., 1998) برای تعیین ذوب رسوبات پوسته فوقانی و ذوب اسلب پوسته زیرین استفاده می‌شود (شکل ۱۰). تمرکز نمونه‌ها در گوشه سمت چپ و پایین نمودار حکایت از مقادیر پایین Ba/Th و Th/Nb داشته و نشانه‌ی آرایش با پوسته فوقانی در به‌وجود آمدن سنگ‌های منطقه می‌باشد (عادل، ۱۳۹۱). تنها در یک نمونه نسبت Ba/Th بالا و نسبت Th/Nb پایین می‌باشد



شکل ۷. تعیین درجه اشباع از آلومینوس (ASI) توده‌های نفوذی هفت چشمه به کمک نمودار A/CNK-SiO₂ (Chappell et al., 2004).

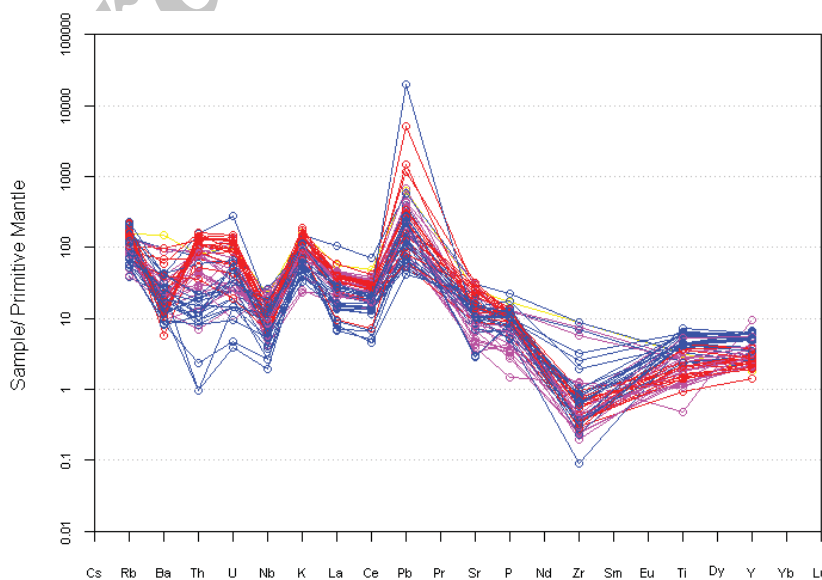
پوسته‌ای را نیز پشت سر گذاشته‌اند (عادلی، ۱۳۹۱).

که احتمالاً به دلیل فرآیندهای هضم پوسته‌ای در ماگمای مادر رخ داده است (Esquivel et al., 2007).

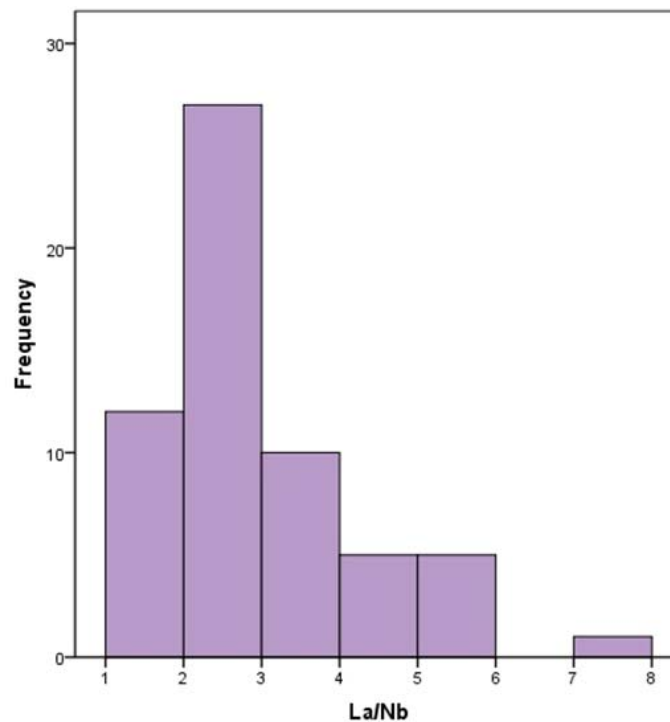
در زون فرورانش ماگما می‌تواند از ذوب ورقه اقیانوسی فرورونده و یا ذوب صفحه گوه گوشته‌ای روی آن به وجود آید. در حالت اول ماگمایی با بازالت تا آداکیت و بونینیت و در حالت دوم، ماگمایی با ترکیب آندزیتی یا دیوریتی حاصل می‌شود (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۸). همانطور که در شکل ۱۱ نیز قابل مشاهده است، ماگمای هفت چشمه خصوصیت آداکیتی ندارد و می‌توان چنین نتیجه گرفت که از ذوب صفحه گوه گوشته‌ای روی پوسته فرورونده ایجاد شده است. بنابراین همانطور که پیش تر گفته شد، توده‌های نفوذی کانسار هفت چشمه، از یک ماگمای کالک آکالن مشتق شده و تفریق یافته‌اند و آغشتگی و آرایش

محیط تکتونیکی

با توجه به دگرسانی وسیع در کانسار هفت چشمه، مناسب ترین روش جهت تعیین موقعیت تکتونیکی سنگ‌ها، استفاده از نمودارهایی است که بر اساس تغییرات عناصری چون Nb-Y-Rb-Hf-Ta ترسیم شده‌اند. در این دیاگرام‌ها (شکل ۱۲-ا) سنگ‌های نفوذی منطقه همگی در محدوده گرانیتهای کمان ماگمایی (VAG) قرار گرفته‌اند و روند افزایشی Rb در سنگ‌های منطقه، به ترتیب زمان نفوذشان کاملاً مشخص می‌باشد. این سنگ‌ها براساس نمودار مثلی ۱۲-ب قبل، همزمان و بعد از برخورد در زون فرورانش تشکیل شده‌اند و روند تفریقی ماگما در سنگ‌ها



شکل ۸. نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب سنگ‌های کانسار هفت چشمه نرمال شده با ترکیب گوشته اولیه.



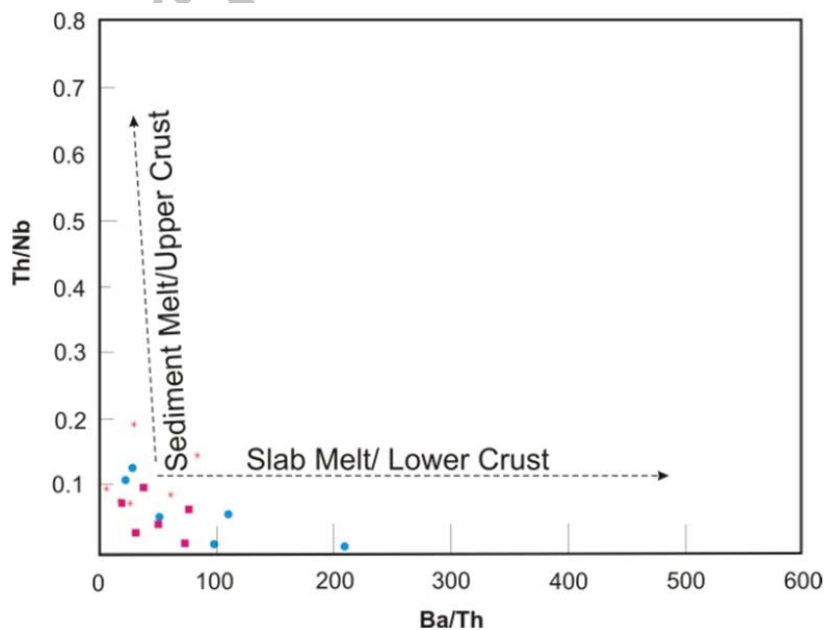
شکل ۹. فراوانی نسبت La/Nb ، مقادیر بالای ۳ بیانگر آلودگی پوسته‌ای نمونه‌ها می‌باشد.

ماگما حرکت می‌کنند. از آنجا که غلظت ماگماهای حدواسط به مقدار زیادی اسیدی است، این بخارات و گازها به آسانی خارج نمی‌شوند و قادر به ترک ماگما نخواهند بود. در واقع یک بخش مذاب داخلی غیر اشباع از آب در درون استوک هفت چشمه وجود داشته که به طور کامل توسط یک غشای متبلور گرانودیوریتی محصور شده است (شکل ۱۳). بین این دو بخش، یک مذاب غنی از آب به نام کلاهِک اشباع از آب وجود داشته که مانع ورود و

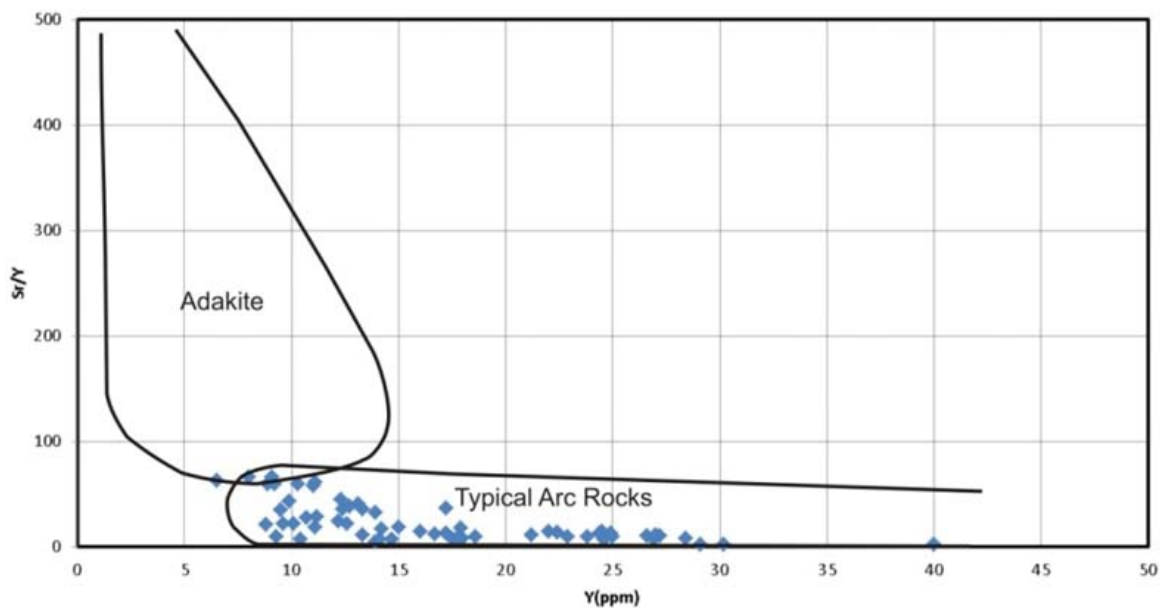
هم بر اساس آنالیز عناصر و هم بر اساس مطالعات میکروسکوپی قابل مشاهده است.

نحوه تشکیل کانسار هفت چشمه

در نتیجه حرکت رو به بالای ماگمای هفت چشمه و کاهش فشار لیتواستاتیک، کانی‌های آبدار متبلور شده و بخار آب و دیگر گازها در ماگما افزایش یافته و به آهستگی به طرف بخش فوقانی



شکل ۱۰. نمودار Ba/Th در مقابل Th/Nb برای تعیین خاستگاه ماگما و تحولات صورت گرفته مبنی بر آلودگی ماگمایی (Temel et al., 1998).

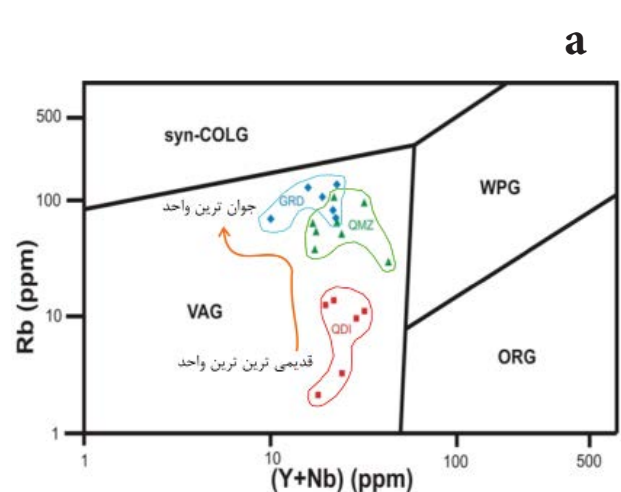
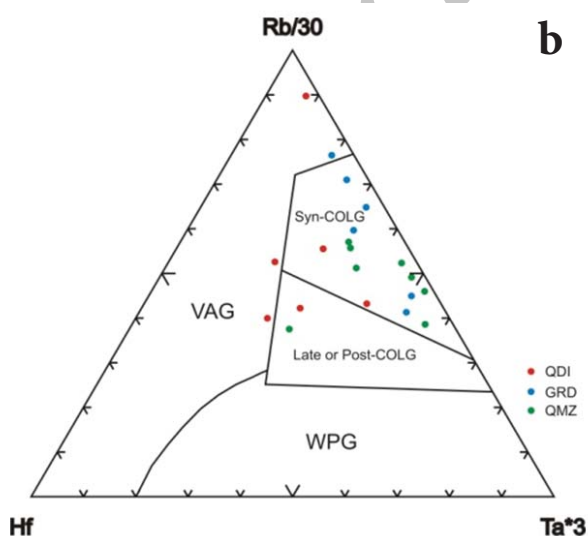


شکل ۱۱. نمودار تغییرات Y نسبت به Sr/Y در سنگ‌های مختلف منطقه حکایت از ویژگی کمانی سنگ‌ها دارد (عادلی، ۱۳۹۱).

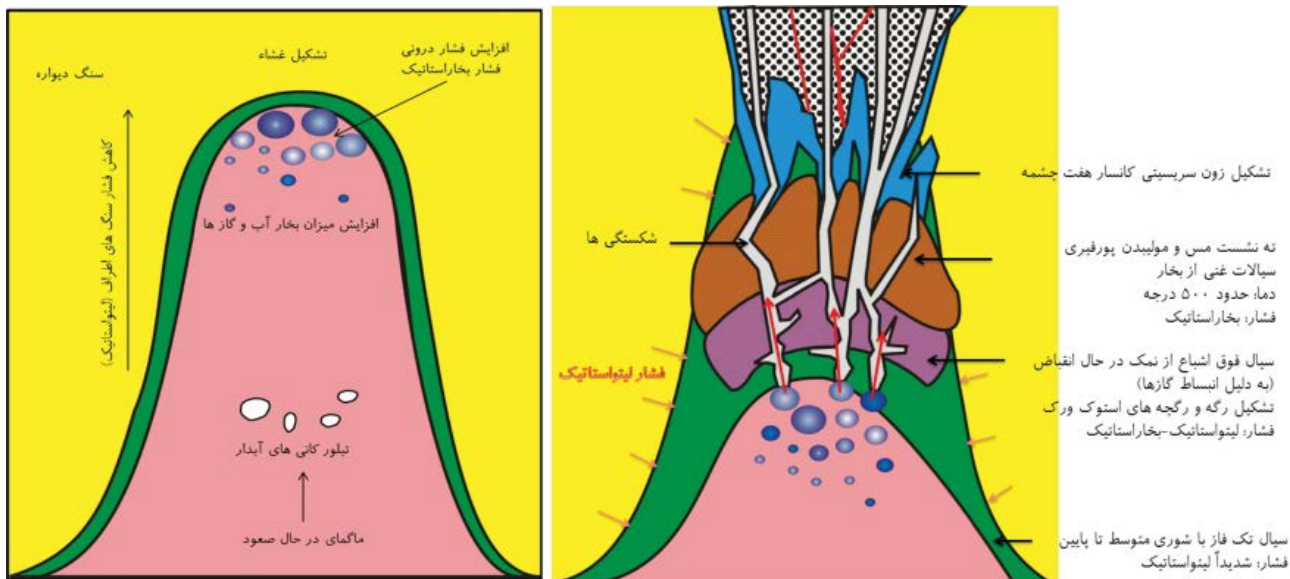
منطقه مورد مطالعه بوده و نه تنها موجب خروج فازهای بخار شده بلکه موجب تسریع تمرکز فلزات در سیال باقی مانده نیز شده است. این مکانیسم مهم، موجب حذف لیگاندهای حمل کننده فلزات از سیال و نهایتاً ته‌نشست عناصر مس و مولیبدن در منطقه شده است (شکل ۱۳).

بر اساس ژئوترموبارومتری بیوتیت‌ها و مطالعه سیالات درگیر در کانسار هفت چشمه، فشار حدود 1 ± 0.33 کیلو بار برآورد شده است که اگر چگالی سنگ‌های فوقانی را $2/8$ در نظر بگیریم عمق تشکیل کانسار می‌بایست در حدود $3/5$ کیلومتر بوده باشد (عادلی، ۱۳۹۱).

خروج گازها به داخل توده شده است. بنابراین با صعود ماگما، علیرغم کاهش فشار لیتواستاتیک، فشار درونی ماگما بر اثر افزایش گازها افزایش می‌یابد. این افزایش فشار در کانسار هفت چشمه بر اساس مطالعات سیالات درگیر تا ۷ کیلو بار برآورد شده است (عادلی، ۱۳۹۱). در نتیجه افزایش فشار بخارات، جوشش رخ داده و یک فاز سیال آبدار ایجاد شده است. فشار این سیال ایجاد شده، موجب شکستگی‌های کوچک در کلاهدک اشباع از آب شده و افزایش فشار هیدرولیکی موجب توسعه قائم شکستگی‌ها شده است. ایجاد شکستگی‌ها باعث کاهش فشار سیال و تسریع تبلور (ناشی از کاهش فشار) شده است. جوشش، فرآیند مهمی در



شکل ۱۲. (a) نمودار (Y+Nb) در مقابل Rb جهت تعیین محیط تکتونیکی (Pearce et al., 1984) که در آن ORG معادل گرانیت‌های پشته اقیانوسی VAG معادل گرانیت‌های درون صفحه‌ای VAG معادل گرانیت‌های کمان ماگمایی و syn-COLG معادل گرانیت‌های قبل و بعد از تصادم می‌باشد. (b) موقعیت نمونه‌ها در نمودار مثلی تعیین محیط تکتونیکی (Pearce et al., 1984).



شکل ۱۳. تصویری شماتیک از چگونگی تشکیل کانسار هفت چشمه (اقتباس با تغییراتی از Pirajno, 2009).

اکسیژن (جدول ۴) نیز تیپ I را تایید می کند (عادل، ۱۳۹۱). اما آنومالی های منفی عناصر Nb و Ti در نمودار عنکبوتی، افزایش میزان Ba و K و Rb و کاهش Nb و Y نسبت بالای La/Nb و مقادیر پایین Ba/Th و Th/Nb همه و همه شواهدی از آغستگی و آرایش ماگما با پوسته فوقانی هستند.

در کانسار هفت چشمه، ماگما به سمت بالا حرکت کرده و با سرد شدن آن، کانی های آبدار متبلور شده اند، ضمن تبلور این کانی ها، بخار در ماگما بالا رفته و نهایتاً جوشش رخ داده است. جوشش، فرآیند مهمی در منطقه مورد مطالعه بوده و نه تنها موجب خروج فازهای بخار شده بلکه موجب تسریع تمرکز فلزات در سیال باقی مانده نیز شده است. این مکانیسم مهم، سبب حذف لیگاندهای حمل کننده فلزات از سیال و نهایتاً ته نشست عناصر مس و مولیبدن در منطقه شده است. کانی سازی مس و مولیبدن در زون پتاسیک و زون انتقالی پتاسیک-سریسیتی رخ داده است و کانه زایی با سیلیسی شدن ارتباط تنگاتنگی دارد. در کانسار هفت چشمه، زون سوپرژن و زون اکسیده دیده نمی شود و احتمالاً فرسایش موجب حذف این زون ها شده است.

سپاسگزاری

از شرکت ملی مس ایران به خاطر کمک های مالی و از شرکت پارس اولنگ خصوصاً جناب آقای مهندس اسلام طلب به خاطر انجام هماهنگی ها صمیمانه سپاسگزاری می شود و همچنین از آقایان مهندسین فرزین طالبی راد و امیر اسکندری که کمک فراوانی در مراحل بررسی های صحرایی، مطالعه مغزه ها و مطالعات آزمایشگاهی نموده اند سپاسگزاری می گردد.

منابع

- باباخانی، ع.ر.، لسکویه، ج.ل. و دیو، ر.، ۱۳۶۹. شرح نقشه زمین شناسی چهارگوش اهر، ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و

الگوی دگرسانی کانسار هفت چشمه مشابه سایر کانسارهای مس پورفیری دنیا است ولی در این منطقه دگرسانی غالب از نوع پتاسیک بوده که در تمرکز مس و مولیبدن نقش مهمی ایفا کرده است. این دگرسانی در حرارت بالا و همراه با مس در مراحل آخر تبلور ماگما رخ داده است. در کانسار هفت چشمه مرز واضحی بین دگرسانی پتاسیک و سریسیتی وجود ندارد و تغییرات کاملاً تدریجی می باشد. نکته قابل توجه، دگرسانی وسیع سیلیسی در منطقه است که در هرجا سیلیس بیشتر است، میزان کانه سازی مس نیز افزایش نشان می دهد.

در کانسار هفت چشمه غنی شدگی سوپرژن و زون اکسیدی مشاهده نمی شود، زیرا سیلیسی شدن شدید سنگ ها، کانی های مس را در بر گرفته و در نتیجه تخلخل و نفوذپذیری سنگ به دلیل دگرسانی سیلیسی از بین رفته و فرآیند غنی شدگی سوپرژن اتفاق نیافتاده است. اما ممکن است به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی یا فرسایش، بخش های فوقانی کانسار حذف شده باشند. که با توجه به مورفولوژی کانسار، مورد دوم محتمل تر می باشد (عادل، ۱۳۹۱).

نتیجه گیری

توده های نفوذی هفت چشمه براساس مشابهت سنگ شناسی، ترکیب پلاژیوکلازها و تغییرات اکسید عناصر اصلی نسبت به SiO_2 از یک ماگما کالک آلکالن مشتق شده و تفریق یافته اند. این سنگ ها مربوط به زون فرورانش بوده و در محدوده گرانیتهای کمان ماگمایی (VAG) قرار می گیرند و قبل، همزمان و بعد از برخورد تشکیل شده اند. این سنگ ها مشابه گرانیتهای تیپ I هستند. متالومینوس بودن، کاهش P_2O_5 ، غنی شدگی عناصر LILE (شامل Cs, Rb, K, Ba) و تهی شدگی عناصر HFSE (شامل Nb, Zr, Hf) در نمودارهای عنکبوتی همگی حکایت از منشأ ماگمایی تیپ I این کانسار دارند. داده های ایزوتوپ

ing granite types. 25 years late. Australian journal of Earth Science. 48: 489- 499.

- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., 1992. An Introduction to the Rock Forming Minerals. London, Longman.

- Esquivel, T., Pwtrone, C.M., Ferrari, L., Tagmi, T. and Manetti, P., 2007. Geochemical variability in lavas from eastern Trans-Mexican volcanic belt, slab detachment in a subduction zone with varying dip. *Littos*, 93, 149-174.

- Harker, A., 1909. The Natural History of Igneous Rocks. Methuen, London. 344.

- King, P.L., White, A.J.R., Chappell, B.W. and Allen, C.M., 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites and the Lachlan Fold Belt, Southeastern Australia. *Journal of Petrology*, 38, 371-391.

- Pearce, J.A, Harris N.W. and Tindle, A.G , 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.

- Pirajno, F., 2009. Hydrothermal Processes and Mineral System. Springer, Berlin, 1950.

- Reichew, M.K., Saunders, A.D., White, R.V. and Al M-Ukhamedov, A.I., 2004. Geochemistry and Petrogenesis of Permo-Triassic Siberian Traps, Russia. *Lithos*, 79, 425-452.

- Temel, A., Gondogdu, M.N. and Gourgau, A., 1998. Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high K- calkalkaline volcanism in Konya, Central Antolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 327-357.

اکتشافات معدنی کشور.

- خوئی، ن، قربانی، م، و تاجبخش، پ، ۱۳۷۸. کانسارهای مس در ایران. سازمان زمین‌شناسی کشور.

- شرکت ملی مس ایران، ۱۳۸۸. گزارش اکتشافات نیمه تفصیلی و تفصیلی، کانسار پورفیری هفت چشمه ایران.

- عادل، ز، ۱۳۹۱. کانی‌شناسی، ژئوشیمی، نحوه تشکیل و مدل‌سازی کانسار هفت چشمه (آذربایجان شرقی). پایان‌نامه دکتر، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران.

- کریم‌پور، م.ح. و سعادت، س، ۱۳۸۸. کتاب زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی، دانشگاه فردوسی مشهد.

- مهرپرتو، م، ۱۳۷۱. نقشه زمین‌شناسی ورزقان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، برگه ۵۳۶۷.

- مهرپرتو، م، ۱۳۷۳. پژوهشی در زمین‌شناسی، ژئوشیمی، منشا کانی‌سازی و مطالعات سیالات درگیر در نهشته تپ پورفیری مس - مولیبدن سونگون (آذربایجان غربی - اهر)، فصلنامه علوم زمین، ۱۰.

- Buda, G., Ulrych, J. and Koller, F., 2004. Petrochemistry of Variscan granitoids of central Europe: Correlation of Variscan granitoids of the Tisia and Pelsonia Terranes with granitoids of the Moldanubicum, Western Carpathian and Southern Alps. A review: Part I. *Acta Geologica Hungarica*, 47/2-3, 117-138.

- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8, 173-174.

- Chappell, B.W., 1999. Aluminum saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites. *Lithos*, 46, 535-551.

- Chappell, B.W., and With, A.J.R., 2001. Two contrast-