

بررسی کانی سازی اسکارن علم کوه در منطقه ی کلاردشت (شمال ایران) با تأکید بر بررسی - های میانبارهای شاری

بهزاد حاج علیلو^{۱*}، بهرام وثوق^۱، نوراله رضوی زاده^۱، محسن مؤید^۲

۱- گروه زمین شناسی دانشگاه پیام نور، ایران

۲- دانشکده علوم زمین، دانشگاه تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۹۰/۲/۱، نسخه نهایی: ۹۰/۷/۶)

چکیده: توده ی نفوذی گرانیات قلیایی علم کوه با سن وابسته به پلیوسن در کلاردشت چالوس (شمال ایران) دنباله ی چینه ای گسترده ای از پرکامبرین تا سنوزوئیک را تحت تأثیر دگرگونی گرمایی و دگرتهادی خویش قرار داده است. دگرتهادی اسکارنی مهم ترین نوع دگرتهادی در منطقه ی مورد بررسی است که گسترش هاله های دگرگونی آن به پهنای یک تا دو کیلومتر است. این گرانیات قلیایی به احتمال در شرایط زمین ساختی همزمان و پس از کوهزایی تشکیل شده و در گروه گرانیات های نوع A قرار می گیرد. نفوذ توده ی گرانیتی علم کوه در سنگ های درونگیر منطقه ضمن گسترش زون های اسکارنی باعث کانی سازی اکسیدی و سولفیدی در منطقه شد که بیشتر از مگنتیت، کالکوپیریت و پیریت تشکیل شده است. بررسی میانبارهای شاری نشانگر وجود پنج نوع میانبار V ، $V + L$ ، $L + V$ ، $L + S$ و $V + L + S$ است. شواهد زمین-دما سنجی بیانگر تشکیل فاز اکسیدی در گستره ی دمایی 478°C تا 488°C و فاز سولفیدی در گستره ی دمایی 368°C تا 378°C است. اختلاط شاره های ماگمایی و آب های جوی در تولید شاره های کانه ساز فرآیند مهمی بوده است. مشاهدات صحرایی، میکروسکوپی و دماسنجی مؤید زایش اسکارنی کانی سازی های فلزی موجود در حاشیه ی توده نفوذی علم کوه است.

واژه های کلیدی: اسکارن، ایران، کانی سازی، میانبارهای شاری، دماسنجی، توده ی نفوذی، علم کوه.

مقدمه

واژه ی اسکارن به سنگ هایی گفته می شود که در نتیجه ی جانشینی عناصری مانند Al ، Si ، Fe و Mg در سنگ های آهکی، دولومیتی و رسی حاصل می شود. این جانشینی در نتیجه ی نفوذ شاره های دگرتهاد حاصل از توده های آذرین درونی صورت می گیرد [۱]. شکل این کانسارها بسیار نامنظم و از درز و شکاف سنگ ها ریشه می گیرد. بررسی میانبارهای شاری در بسیاری از اسکارن های دنیا دمای همگن شدن شاره ها

را بین ۴۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی گراد نشان می دهد [۲]. میانگین شوری ۱۰ تا ۴۵ درصد وزنی معادل کلرید سدیم و مقدار CO_2 پایین همراه با جوشش شاره ها در بخش بالایی سیستم از ویژگی های مهم شاره ها در کانسارهای اسکارنی است [۲]. در همبری توده ی نفوذی علم کوه با واحدهای رسوبی موجود در منطقه کانی سازی های اسکارنی چندی پدید آمده اند و در این پژوهش سعی شد تا شرایط تشکیل این رویداد دگرتهادی در منطقه یاد شده با استفاده از میانبارهای شاری

* نویسنده مسئول، تلفن- نمابر: ۲۶ ۲۹ ۵۴۳ (۰۴۱۱)، پست الکترونیکی: hajalilou@pnu.ac.ir

مورد بررسی قرار گیرد.

$^{\circ}\text{C}$ ۶۰۰+ و با دقت $^{\circ}\text{C}$ ۱/۱ $\pm$ صورت گرفت.

روش بررسی

برای بررسی‌های میانبارهای شاری، هفت نمونه از رگه‌ها و رگچه‌های کوارتزی که نسبتاً شفاف بوده و همزمان با کانی-سازی تشکیل شده‌اند، انتخاب و مقاطع نازک دوبر صیقل از آنها تهیه شد. رشد همزمان رگچه‌های کوارتز، مگنتیت و سولفیدها که با شواهد صحرایی و میکروسکوپی همخوانی دارند، مؤید تشکیل همزمان آنهاست. بررسی‌های سنگ‌نگاری میانبارهای شاری با استفاده از میکروسکوپ تحقیقاتی OLYMPUS-BX51 با عدسی‌های شیئی ۲۰X، ۴۰X، ۵۰X و ۱۰۰X (با استفاده از روغن ایمرسیون) صورت گرفت.

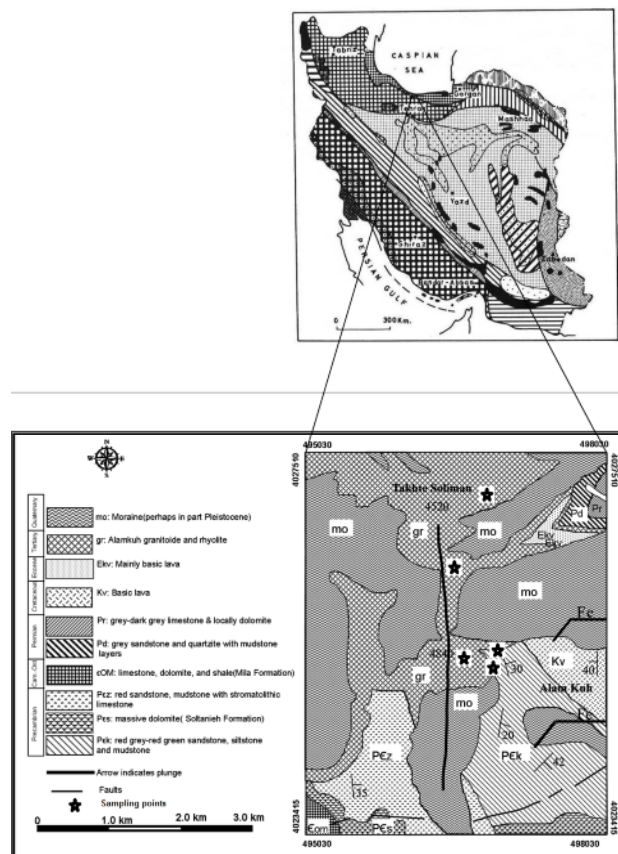
ابعاد میانبارهای بررسی شده بین ۶ تا ۴۵ میکرون در نوسان بوده‌اند. تصاویری که با عدسی ۵۰X گرفته شدند، مقیاس خطی ۵۰ pix برابر ۱۰ میکرون و تصاویری که با عدسی شیئی ۱۰۰X گرفته شده، مقیاس خطی ۱۰۰ pix برابر ۱۰ میکرون است. بررسی‌های دماسنجی و یخزدگی با صفحه‌ی لینکام مدل THMS600 با گستره‌ی دمایی $^{\circ}\text{C}$ ۱۸۰- تا

برای مدرج کردن دستگاه از نیترات پتاسیم، نیترات باریم و تتراکلرید کربن استفاده شد. به منظور تعیین درصد شوری، چگالی و ترسیم نمودارها از نرم‌افزار مدلسازی PVTX طراحی شده‌ی شرکت لینکام استفاده شد. کلیه مراحل آماده‌سازی و آزمایش‌های مربوط به نمونه‌های میانبارهای شاری در آزمایشگاه‌های گروه زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور تبریز صورت پذیرفت.

بحث و بررسی

زمین‌شناسی عمومی

توده‌ی علم‌کوه با وسعتی در حدود ۴۰ کیلومتر مربع در بخش کلاردشت شهرستان چالوس استان مازندران قرار دارد (شکل ۱). قله‌ی علم‌کوه با بلندای ۴۸۵۰ متر و قله‌ی تخت سلیمان با بلندای ۴۷۵۰ متر از سطح دریا از بلندترین قله‌ی البرز غربی و بلندترین قله‌ی غیر آتشفشانی ایران محسوب می‌شدند [۴،۳]. یخچال‌های علم‌کوه از معروف‌ترین یخچال‌های ایرانند.



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی در پهنه‌بندی ساختاری ایران [۷] و نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده شده آن با اقتباس از [۶].

دایک) مشاهده می‌شوند. بافت گرانیت‌های قلیایی بیشتر دانه‌ای بوده و کانی‌های اصلی آن شامل فلدسپار قلیایی و کوارتزند که مجموعاً ۹۰ درصد از حجم سنگ را اختصاص داده‌اند. کانی‌های فرعی شامل بیوتیت، اسفن، پلاژیوکلاز در این سنگ‌ها تشکیل شده‌اند. کلریت، هیدروکسید آهن و کانی‌های رسی به صورت ثانویه در سنگ‌ها دیده می‌شوند (شکل ۲).

نمونه از سنگ‌های منطقه در آزمایشگاه‌های ALS-Chmex و ونکوور (کانادا) به شیوه‌ی XRF (برای ده اکسید اصلی) و ICP-MS (برای عناصر فرعی و کمیاب) تجزیه‌ی شیمیایی شدند. نمونه‌های H8 و M3 وابسته به ریولیت‌ها، نمونه‌های T2 و M2 وابسته به گرانیت‌ها و نمونه‌های M4 و M22 وابسته به دایک‌های میکروگابرویی تا میکرودیوریتی منطقه هستند (جدول ۱). با توجه به بررسی‌های پتروشیمیایی و بر اساس نمودار [۱۴، ۱۵]، ترکیب توده‌ی نفوذی علم‌کوه در گستره‌ی گرانیت تا مونزونیت قرار می‌گیرد (شکل ۳). بر اساس نمودارهای [۱۶، ۱۷]، گرانیت علم‌کوه در سری‌های غنی از پتاسیم و پرآلومینوس قرار دارند. نمودارهای [۱۸، ۱۹] نشانگر آنند که از نظر محیط زمین‌ساختی توده‌ی نفوذی علم‌کوه احتمالاً در همزمان و پس از کوهزایی تشکیل شده است (شکل ۴ و ۵). البته برای تعیین دقیق شرایط و رژیم تکتونوماگمایی این گرانیت، بررسی‌های بیشتری لازم است. بر اساس [۲۰]، گرانیت علم‌کوه یک گرانیت نوع A است. رفتار عناصر نادر خاکی در نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده به کندریت و گوشته‌ی اولیه [۲۱]، نشان داد که خاستگاه ماگمای گرانیت علم‌کوه با سنگ‌های ریولیتی منطقه یکسان بوده ولی میکروگابروهای مشاهده شده در منطقه از نظر خاستگاه با گرانیت‌ها یکسان نیستند (شکل ۶).

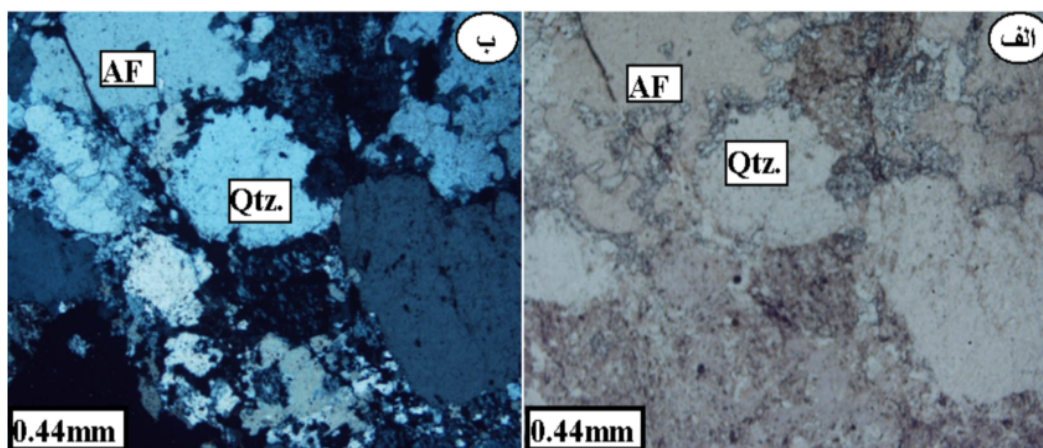
منطقه‌ی علم‌کوه در ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ قزوین-رشت [۵] و ۱:۱۰۰۰۰۰ شکران [۶] واقع شده و در تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری ایران، در زون زمین‌ساختی البرز قرار می‌گیرد [۷]. پیکره‌ی اصلی علم‌کوه متشکل از توده‌ی گرانیتوئیدی به سن پلیوسن است [۸] که ضمن نفوذ در واحدهای قدیمی‌تر (پرکامبرین پسین تا سنوزوئیک)، باعث تشکیل اسکارن و کانی‌سازی در برخی از این واحدها شده است (شکل ۱).

قدیمی‌ترین واحد رخنمون یافته در منطقه‌ی علم‌کوه، سازند کهر است [۹، ۱۰]. سازندهای سلطانی، باروت، زاگون، لالون، لشکرک، مبارک، درود و روته وابسته به پالئوزوئیک، سازند الیکا، شمشک، چالوس، الیکا و تیزکوه وابسته به مزوزوئیک و سازند کرج وابسته به سنوزوئیک در این منطقه رخنمون دارند [۵، ۱۱-۱۳].

ترکیب توده‌ی نفوذی علم‌کوه غالباً گرانیت قلیایی است (با توجه به بالا بودن مقادیر $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) که با نفوذ در سازندهای درود و روته (از سمت شمال و شمال خاوری)، کرج (از سمت غرب)، لشکرک (از سمت جنوب)، کهر و سلطانی (از سمت جنوب خاوری) و شمشک و سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه (از سمت خاور) باعث گسترش هاله‌ی دگرگونی، گاهی به پهنای ۱ تا ۲ کیلومتر و تشکیل رخساره‌های آلبیت-اپیدوت هورنفلس و پیروکسن هورنفلس با کانی‌شناسی پیروکسن، گارنت، آمفیبول، اسفن، سریسیت و کلریت در سنگ‌های رسوبی شده است [۵، ۸].

سنگ‌نگاری و سنگ‌شناسی سنگ‌های آذرین

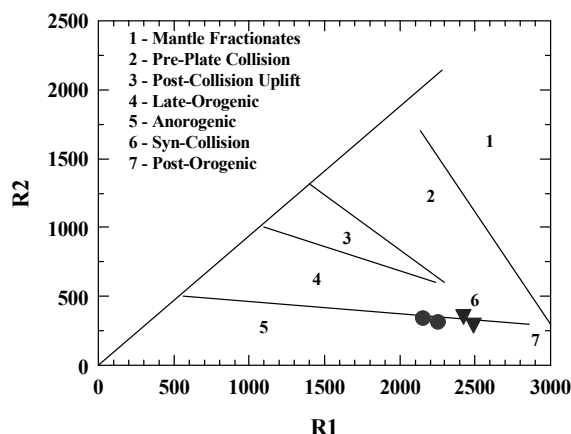
حجم اصلی توده‌ی نفوذی علم‌کوه را گرانیت قلیایی تشکیل داده است، ولی در بخش‌هایی از این توده، سنگ‌هایی با ترکیب کوارتز-سینیت، کوارتز - مونزونیت و میکرودیوریت (به صورت



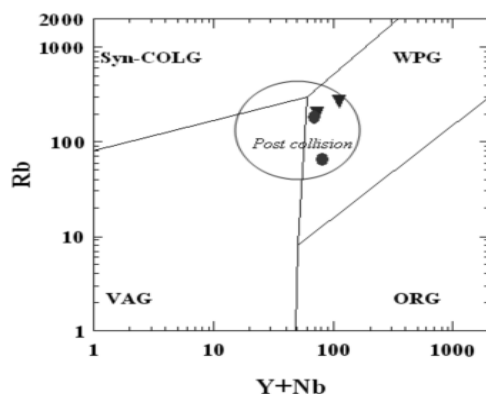
شکل ۲ فلدسپار قلیایی (AF) و کوارتز (Qtz) در گرانیت قلیایی با بافت دانه‌ای (الف: ppl و ب: xpl).

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های آذرین منطقه.

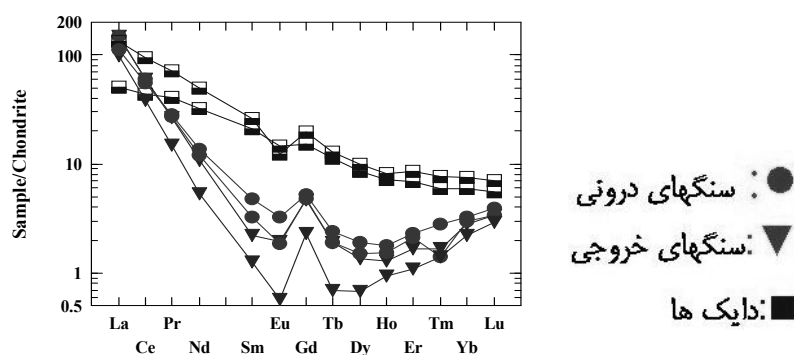
نمونه ها عناصر	شماره نمونه ها					TA-2 (گرانیت)
	H8 (ریولیت)	M2 (گرانیت)	M3 (ریولیت)	M4 (دایک)	M22 (دایک)	
SiO ₂ (%)	۷۲٫۲	۷۳٫۷	۷۵٫۸	۵۷٫۶	۵۴٫۱	۷۲٫۷
Al ₂ O ₃ (%)	۱۲٫۵	۱۲٫۶۵	۱۲٫۶۰	۲۱٫۱	۱۳٫۰۵	۱۳٫۰۵
Fe ₂ O ₃ (%)	۱٫۱۲	۱٫۴۲	۰٫۸۲	۱٫۲۲	۲٫۳۴	۱٫۳۶
CaO (%)	۰٫۸۰	۰٫۵۸	۰٫۳۳	۹٫۹۴	۱۵٫۶۰	۰٫۷۶
MgO (%)	۰٫۴۱	۰٫۱۸	۰٫۰۳	۲٫۰۶	۷٫۳۴	۰٫۰۸
Na ₂ O (%)	۳٫۵۹	۴٫۴۴	۴٫۰۷	۴٫۷۷	۴٫۰۵	۴٫۴۴
K ₂ O (%)	۴٫۸۱	۴٫۴۲	۴٫۶۶	۲٫۶۳	۰٫۳۱	۴٫۵۷
TiO ₂ (%)	۰٫۱۳	۰٫۱۶	۰٫۰۸	۰٫۴۸	۰٫۶۲	۰٫۱۸
MnO (%)	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۱۰	۰٫۲۲	۰٫۰۲
P ₂ O ₅ (%)	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۱۴	۰٫۲۵	۰٫۰۲
Ba (ppm)	۶۴۲	۱۸۷٫۶	۸۸٫۱	۴۲۲	۵۹۰	۲۵۵
Ce (ppm)	۵۷٫۲	۵۷٫۵	۳۷٫۰	۸۹٫۹	۴۱٫۴	۵۲٫۲
Co (ppm)	۰٫۷	۰٫۹	۰٫۶	۲٫۱	۴٫۷	۰٫۷
Cr (ppm)	۵۰	۲۰۰	۱۷۰	۱۴۰	۹۰	۱۵۰
Cs (ppm)	۱٫۹۰	۳٫۷۱	۲٫۷۳	۱٫۱۷	۰٫۸۵	۲٫۷۱
Cu (ppm)	۵	<۵	۱۰	۶	<۵	<۵
Dy (ppm)	۰٫۵۱	۰٫۵۷	۰٫۲۶	۳٫۷۷	۳٫۲۵	۰٫۷۲
Er (ppm)	۰٫۴۲	۰٫۵۳	۰٫۲۷	۲٫۱۴	۱٫۷۳	۰٫۵۷
Eu (ppm)	۰٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۰۵	۱٫۰۷	۱٫۲۷	۰٫۲۸
Ga (ppm)	۱۹٫۹	۲۳٫۱	۲۵٫۷	۲۳٫۳	۱۷٫۵	۲۲٫۱
Gd (ppm)	۱٫۴۳	۱٫۴۷	۰٫۷۱	۶٫۰۴	۴٫۶۱	۱٫۶۰
Hf (ppm)	۵٫۵	۶٫۷	۶٫۳	۵٫۲	۴٫۵	۶٫۳
Ho (ppm)	۰٫۱۱	۰٫۱۳	۰٫۰۶	۰٫۶۹	۰٫۶۱	۰٫۱۵
La (ppm)	۵۴٫۸	۵۴٫۳	۳۵٫۸	۴۹٫۰	۱۸٫۷	۴۰٫۷
Lu (ppm)	۰٫۱۳	۰٫۱۳	۰٫۱۱	۰٫۲۷	۰٫۲۱	۰٫۱۵
Nb (ppm)	۶۹٫۰	۷۶٫۱	۱۱۰	۱۱٫۴	۲۰٫۵	۶۵٫۰
Nd (ppm)	۷٫۶	۸٫۶	۳٫۸	۲۵٫۳	۲۲٫۷	۹٫۸
Pr (ppm)	۳٫۶۲	۳٫۷۲	۲٫۰۶	۹٫۷	۵٫۵۴	۶٫۸۶
Rb (ppm)	۱۹۹	۲۲۹	۲۶۹	۹۴	۱۰	۱۸۳٫۵
Sm (ppm)	۰٫۶۱	۰٫۷۵	۰٫۲۹	۶٫۰۵	۴٫۸۳	۱٫۱۰
Sr (ppm)	۹۵٫۶	۶۶٫۸	۴۷٫۴	۴۳۴	۳۷۷	۱۱۱
Ta (ppm)	۳٫۷	۴٫۰	۵٫۸	۰٫۹	۱٫۲	۳٫۶
Tb (ppm)	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۰۴	۰٫۷۵	۰٫۶۶	۱۴٫۰
Th (ppm)	۵۱٫۰	۵۹٫۱	۵۱٫۶	۱۱٫۴۵	۸٫۶۵	۴۲٫۳
Tl (ppm)	۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵
Tm (ppm)	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۲۷	۰٫۲۱	۰٫۱
Y (ppm)	۳٫۸	۴٫۳	۲٫۳	۱۸٫۹	۱۵٫۸	۴٫۹
Yb (ppm)	۰٫۷	۰٫۷۴	۰٫۵۵	۱٫۸۷	۱٫۴۸	۰٫۸۱
Zr (ppm)	۱۴۷	۱۹۲	۱۲۸	۱۷۶	۸۱	۱۹۸



شکل ۴ نمودار تعیین محیط تکتونوماگمایی سنگ‌های آذرین علم‌کوه بر اساس [۱۸].



شکل ۵ نمودار تعیین محیط تکتونوماگمایی تشکیل سنگ‌های آذرین علم‌کوه بر اساس [۱۹].



شکل ۶ عناصر نادر خاکی بهنجار شده به کندریت بر اساس [۲۱].

کانی‌سازی در علم‌کوه

نفوذ گرانیتوئید علم‌کوه در سنگ‌های درونگیر این ناحیه باعث گسترش زون‌های اسکارنی و کانی‌سازی اکسیدی و سولفیدی در منطقه شده است. مگنتیت تنها کانی تشکیل شده در فاز اکسیدی است که در انتهای مرحله پیش‌رونده‌ی اسکارنی تشکیل شده است [۴]. مگنتیت‌های خودشکل و نیمه‌خودشکل دارای بافت موزائیکی بوده و شدت ماریتی شدن (جانشینی هماتیت بجای مگنتیت) در آنها بسیار کم است (شکل ۷-الف).

با توجه به نمودار بهنجار شده به کندریت [۲۱]، به نظر می‌رسد گرانیت‌ها با ریولیت‌ها و میکروگرانیت‌های منطقه هم‌ریشه هستند. در واقع این سنگ‌ها زبانه‌هایی از توده‌ی اصلی تشکیل داده‌اند که به سرعت سرد شده و ساخت سنگ‌های خروجی را نشان می‌دهند. در نمودارهای عنکبوتی این دو مجموعه قرابت نزدیکی دارند ولی سنگ‌های میکرو گابرویی منطقه با آنها هم ریشه نیست و روند غنی‌شدگی و تهی‌شدگی آنها با یکدیگر کاملاً فرق دارند.

(شکل ۷-ج).

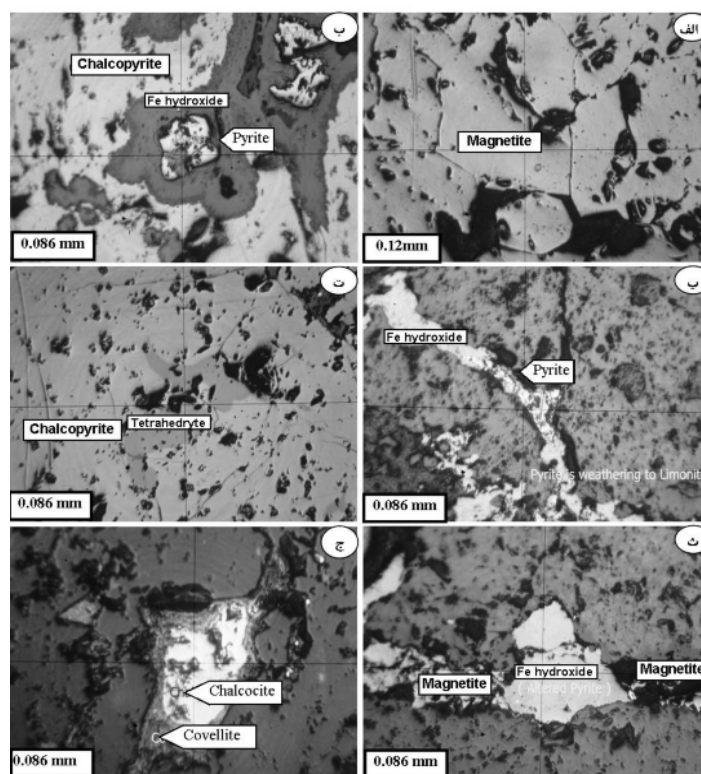
ترتیب زمانی کانی سازی فلزی علم کوه در شکل ۸ نشان داده شده است [۴]. مرحله ی درونزادی اولیه تقریباً منطبق بر مرحله ی پیشرونده و پسرونده ی اسکارنی شدن و مرحله برونزادی یا ثانویه با مرحله ی دگرسانی همخوانی دارد.

بررسی های میانبارهای شاری

بررسی دمای تشکیل کانسارها، شوری و ترکیب شیمیایی شاره های کانه ساز و فشار حاکم بر محیط کانی سازی در شناخت نوع کانی سازی منطقه و ارائه الگوی پی جویی بسیار مفید و کارساز است [۲۲]. شاره های کانه ساز که در درون میانبارهای شاری به دام افتاده اند می توانند دارای خاستگاه ماگمایی، جوی، دگرگونی و آب های فسیلی باشند، ولی نقش آب های ماگمایی و جوی بسیار مهم تر است [۲۳]. شاره های ماگمایی بدام افتاده نخست به صورت شاره های همگن اند که پس از سرد شدن، به فازهای مختلف گاز، آبگون و جامد جدا می شوند [۲].

کانی سازی سولفیدی در علم کوه در مرحله ی پسرونده ی اسکارنی رخ داده و شامل کانی سازی کالکوپیریت و پیریت چهاروجهی است. کالکوپیریت به شکل دانه های ریز و پراکنده و یا به صورت رگچه ای در نمونه ها مشاهده می شوند که اغلب با کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن در حال جایگزینی است. وجود پیریت خود شکل که با کالکوپیریت احاطه شده است، نشانگر آن است که تشکیل پیریت پیش از کالکوپیریت بوده است (شکل ۷-ب). پیریت هم به صورت خود شکل و هم به صورت رگچه ای در این کانی سازی مشاهده می شود (شکل ۷-پ) [۴].

کانی چهاروجهی گاهی به شکل اذخال در کالکوپیریت مشاهده می شود (شکل ۷-ت). از دگرسانی پیریت و آزاد شدن اکسیدهای آهن از این فرایند نیز کانی های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن تشکیل شده اند (شکل ۷-ث). کانی های ثانویه در کانی سازی مورد بررسی شامل هماتیت، گوتیت، لیمونیت، کوولیت، کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت است که از دگرسانی مگنتیت، کالکوپیریت و پیریت به وجود آمده اند



شکل ۷ (الف) دانه های خود شکل مگنتیت با بافت موزائیکی (ب) پیریت خود شکل که با کالکوپیریت احاطه شده است (پ) شکل گیری پیریت به صورت رگچه ای و پدیده ی جانشینی پیریت به وسیله ی لیمونیت (ت) اذخال کانی چهاروجهی در کانی کالکوپیریت (ث) تبدیل پیریت و مگنتیت به هیدروکسیدهای آهن (ج) جانشینی کانی کوولیت در حاشیه ی کانی کالکوسیت.

سنگ‌نگاری میانبارهای شاری در کانی‌سازی‌های اسکارنی علم‌کوه

بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری صورت گرفته روی هفت نمونه کوارتز شفاف تهیه شده، پنج نوع میانبار شاری در این کانی‌سازی تشخیص داده شد که عبارتند از:

- نوع A: سه فاز، شامل مایع، گاز و جامد ($V + L + S$): فاز جامد هالیت همیشه وجود دارد و در کنار آن گاهی سیلویت و کانی کدر نیز مشاهده می‌شود. بلورهای هالیت به صورت مربع کامل و سیلویت به صورت مربع تا مثلث مشاهده می‌شود (شکل ۹-الف، ب). مقدار شوری این نوع میانبارها حداقل ۳۴ و گاهی بیش از ۳۷ درصد وزنی معادل کلرورسدیم است.

- نوع B: دو فاز، شامل گاز، مایع و غنی از گاز ($V + L$): حباب گاز بیشترین حجم داخل میانبار را اشغال کرده و اغلب درجه‌ی پرشدگی آنها کمتر از ۵۵ درصد است (شکل ۹-پ، ت). دمای همگن‌شدن این نوع میانبارها بالا، شوری و چگالی آنها کم است.

- نوع C: دو فاز، شامل مایع، گاز و غنی از مایع ($L + V$): حباب گاز کوچک، درجه‌ی پرشدگی بالای ۶۰ درصد و اغلب بین ۶۵ تا ۹۵ درصد است (شکل ۹-ث، ج). بیشترین میانبارهای شاری مشاهده شده در کانی‌سازی اسکارنی علم‌کوه از این نوع است. میزان شوری این نوع میانبارها بین ۴ تا ۱۴ درصد وزنی معادل کلرور سدیم است.

- نوع D: تک‌فازی غنی از مایع (L): در این میانبارها فقط فاز

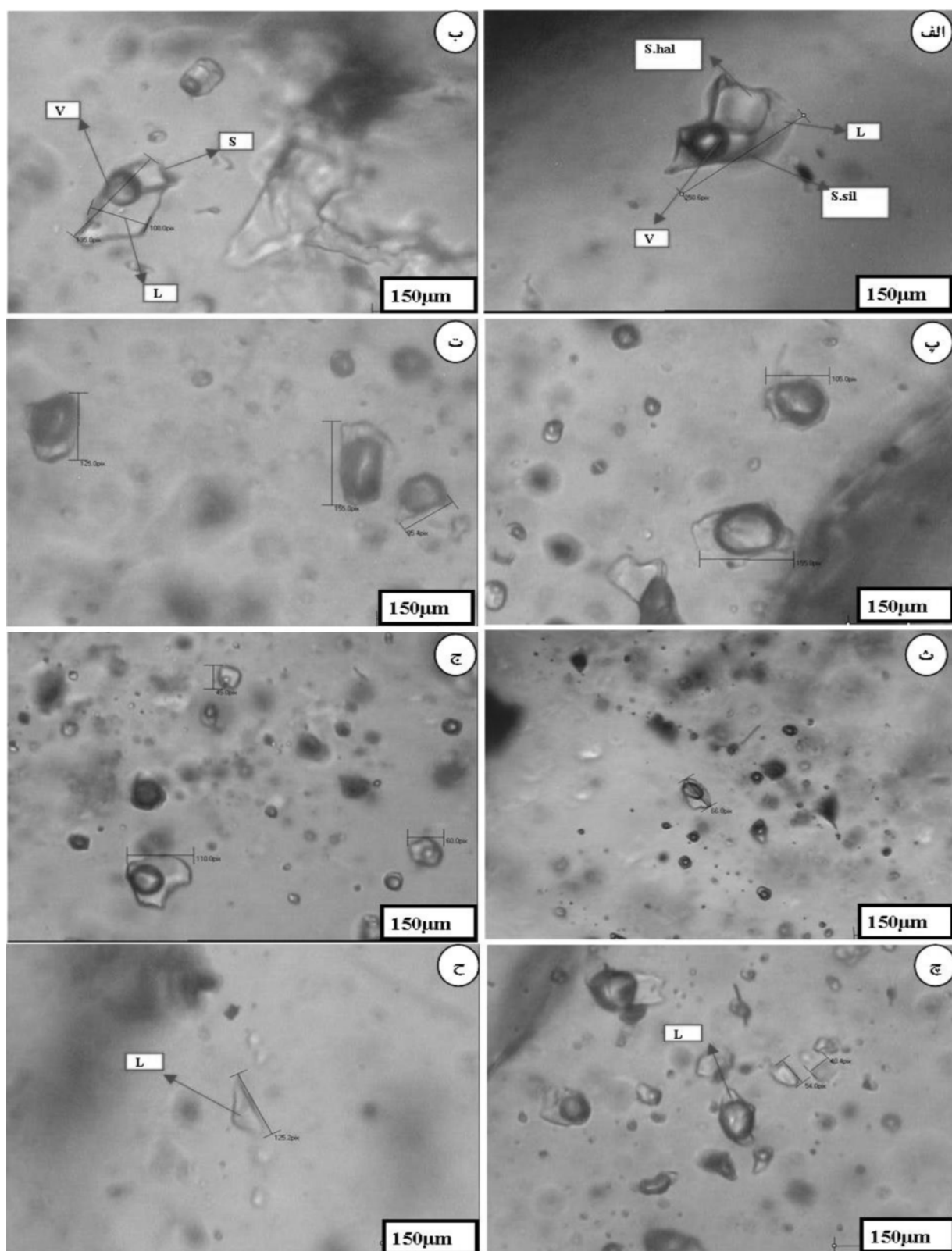
مایع در میانبار مشاهده می‌شود و کمترین نوع از میانبارهای کانی‌سازی علم‌کوه را تشکیل می‌دهند (شکل ۹-چ و ح). به دلیل تک فاز بودن نمی‌توان از آنها در بررسی‌های دماسنجی استفاده کرد.

- نوع E: تک‌فازی غنی از گاز (V): این نوع که فراوانی آن بیش از نوع D است، فقط در فاز گازی بوده و تقریباً فاز مایع در آنها وجود ندارد (شکل ۹-خ، د).

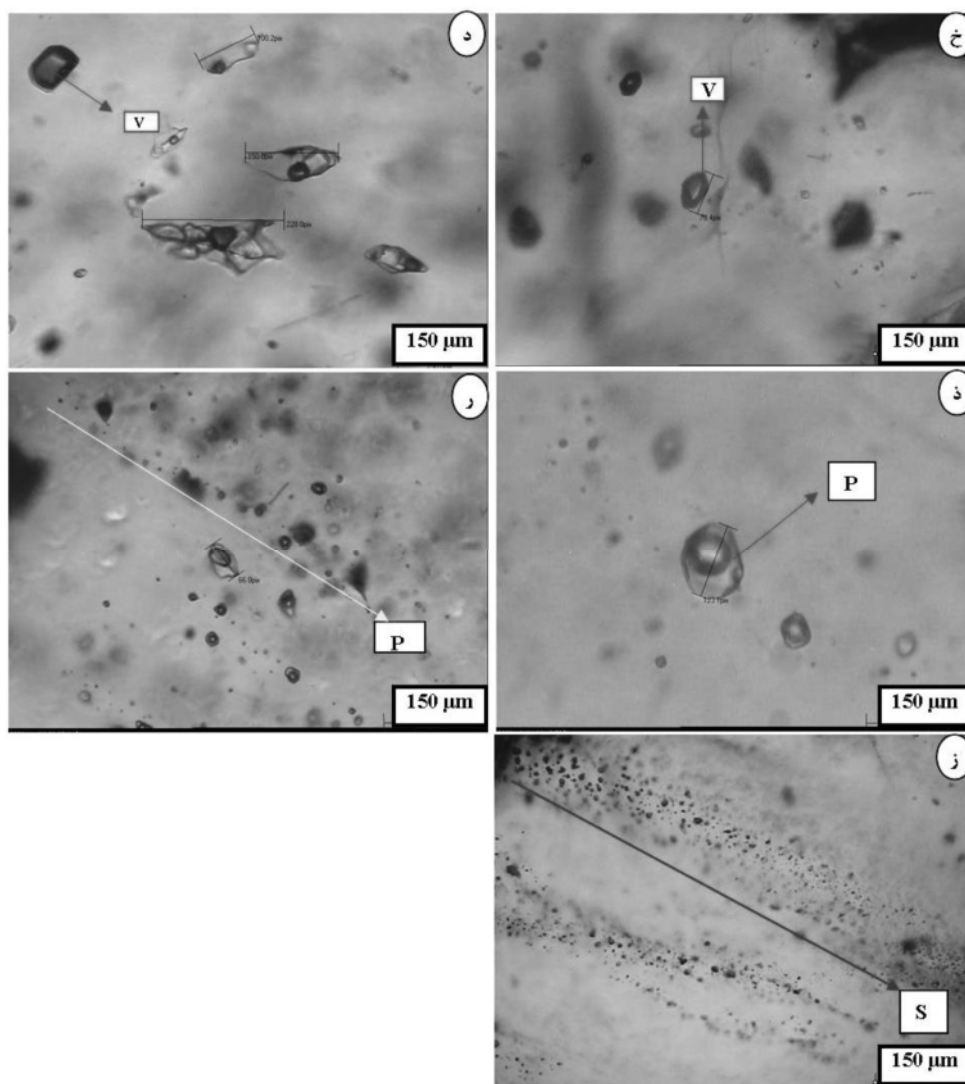
میانبارهای شاری مورد بررسی از نظر خاستگاه به صورت اولیه‌ی (P)، ثانویه‌ی (S) و ثانویه‌ی کاذب (PS) یافت می‌شوند (شکل ۹-ذ، ر، ز). اغلب آنها از نوع ثانویه‌اند که نمی‌توان از آنها برای بررسی‌های دماسنجی استفاده کرد. به همین دلیل، میانبارهای شاری اولیه مورد بررسی قرار گرفتند. چگالی میانبارها بسته به فازهای درونی و درجه‌ی پرشدگی آنها بین انواع A و B و C بین ۰/۴۸ تا ۱ در نوسان است (شکل ۱۰). میانبارهای شاری نوع B ($V + L$) دارای پایین‌ترین چگالی و کمترین درجه‌ی پرشدگی و میانبارهای نوع A (سه فاز $L + V + S$) دارای بیشترین چگالی هستند. میانبارهای نوع C ($L + V$) دارای چگالی متوسط (بین ۰/۶۴ تا ۰/۸۸) و پرشدگی بالا (۷۲ تا ۸۳ درصد) هستند. در شکل ۱۱ که فراوانی میانبارها نسبت به چگالی نشان داده شده به راحتی می‌توان ملاحظه کرد که میانبارهای نوع A در سمت راست نمودار، میانبارهای نوع C در بخش میانی و میانبارهای نوع B در سمت چپ نمودار متمرکز شده‌اند.

Minerals	Stages	
	Hypogene Stage	Supergene Stage
Magnetite		
Pyrite		
Chalcopyrite		
Tetrahedrite		
Hematite		
Covellite		
Chalcocite		
Goethite		
Malachite		
Azurite		
Limonite		

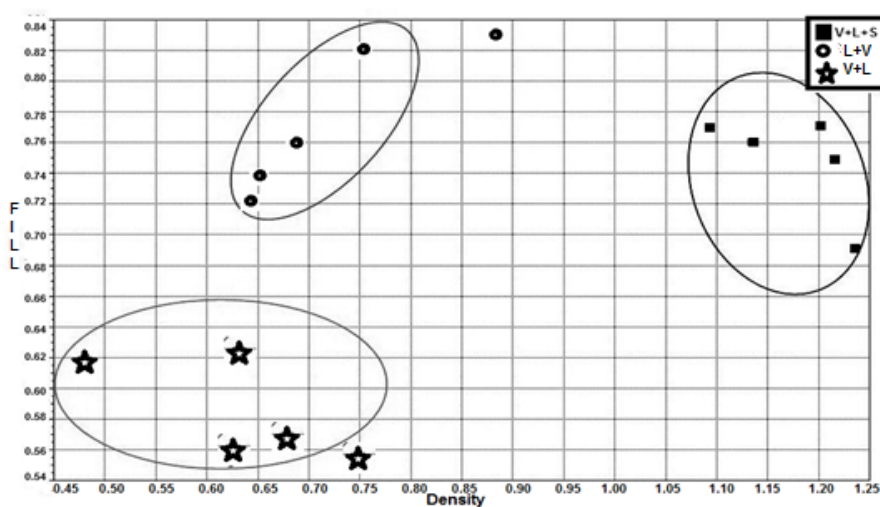
شکل ۸. توالی پاراژنتیک کانی‌سازی‌های فلزی در منطقه علم‌کوه.



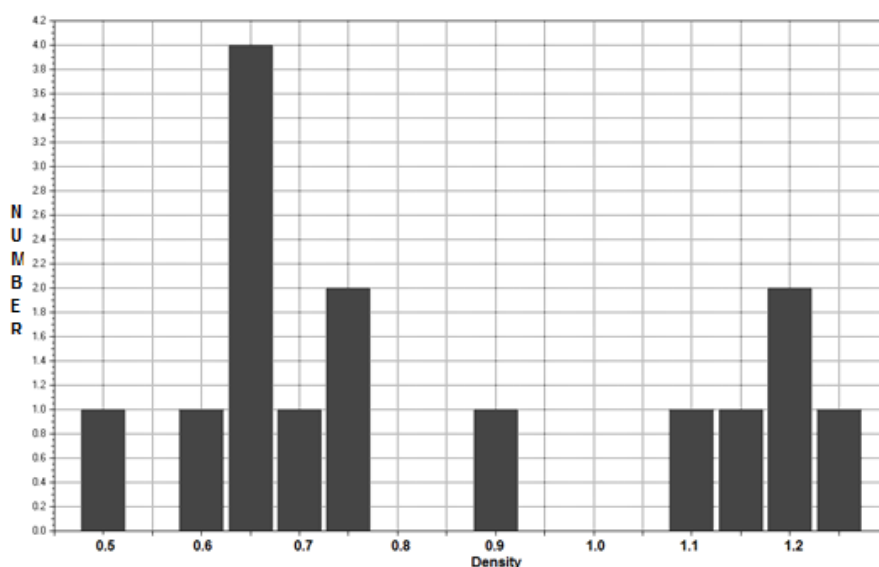
شکل ۹ (الف) میانبرهای شاری سه فازه شامل مایع-گاز-جامد (هالیت + سیلوایت) (ب) میانبرهای شاری سه فازه شامل مایع-گاز-جامد (هالیت) (پ، ت) میانبرهای شاری (دو فاز گاز-مایع) با چگالی پائین (ث) میانبرهای شاری مختلف غنی از مایع (ج) میانبرهای شاری (فاز مایع-گاز) با شوری متوسط (چ، ح) میانبرهای شاری تک فاز مایع.



شکل ۹: د، میانبرهای شاری تک فاز گاز د، میانبرهای شاری اولیه ر، تصاویر میانبرهای شاری ثانویه ی کاذب ز، تصاویر میانبرهای شاری ثانویه.



شکل ۱۰: موقعیت چگالی میانبرهای شاری نسبت به پرشدگی آن. میانبرهای شاری نوع A ($L + V + S$) با درجه‌ی پرشدگی و چگالی بالا، میانبرهای شاری نوع B ($V + L$) با چگالی پائین و درجه‌ی پرشدگی کم، میانبرهای شاری نوع C ($L + V$) با شوری متوسط و درجه پرشدگی بالا

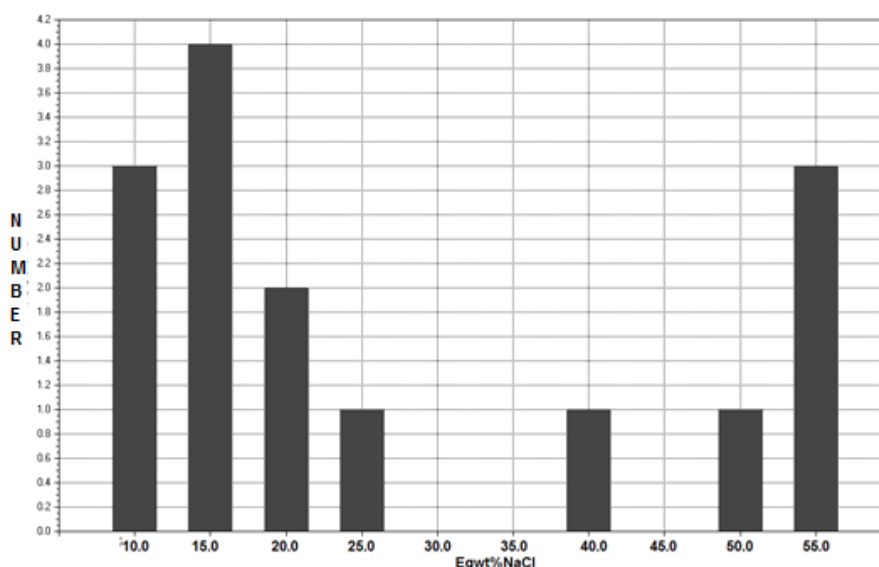


شکل ۱۱ نمودار ستونی چگالی بر حسب فراوانی میانبرهای شاری نمونه‌های مورد بررسی.

آزمون سرمایش

با اندازه‌گیری تغییرات درجه‌ی انجماد در میانبرهای شاری می‌توان میزان شوری شاره‌های کانه‌ساز را بدست آورد. دمای ذوب اولین بلور یخ به نام دمای اوتکتیک (Te) معروف است. نقطه‌ی اوتکتیک سیستم $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ تقریباً -20.8°C است. در حالی که در برخی نمونه‌ها دمای اوتکتیک کمتر از -20.8°C بدست آمد. این نشان می‌دهد که غیر از کلرور سدیم، نمک‌های دیگری نیز می‌باید در شاره‌ی کانه‌ساز وجود داشته باشد. بر اساس دمای ذوب آخرین بلور یخ در میانبرهای شاره و استفاده از نمودارها و فرمول‌های مختلف [۲]، [۲۴،۲۵]

می‌توان مقدار شوری شاره‌ی کانه‌ساز را محاسبه کرد. در این پژوهش برای محاسبه‌ی شوری از نرم‌افزار PVTX شرکت لینکام استفاده شد. بر اساس بررسی‌های انجام شده، دو گستره‌ی شوری در نمونه‌ها مشاهده شد. گستره‌ی اول به میانبرهای شاری به نوع $A (L + V + S)$ وابسته است که شوری بین ۳۷ تا بیش از ۵۷ درصد معادل وزنی کلرور سدیم را نشان می‌دهد. گستره‌ی دوم به میانبرهای نوع B و C وابسته است که شوری بین ۷ تا ۲۷ درصد معادل وزنی کلرور سدیم را به نمایش می‌گذارند (شکل ۱۲).



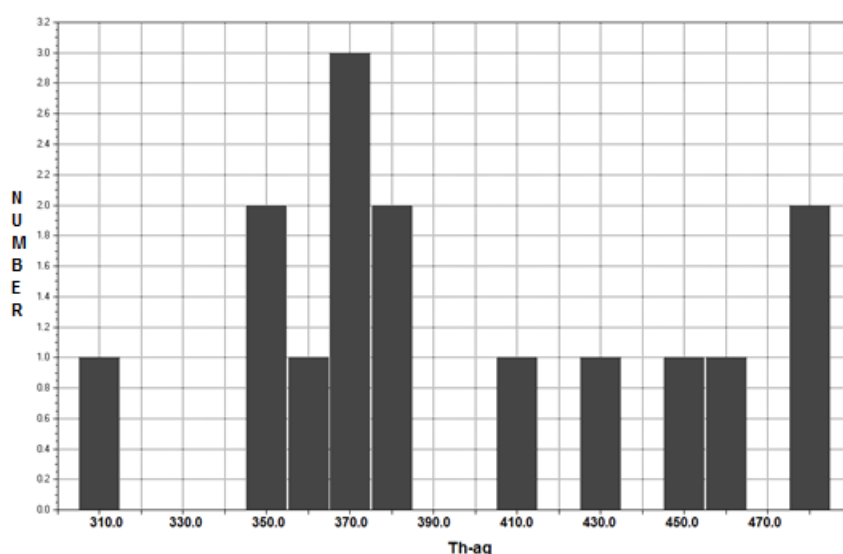
شکل ۱۲ نمودار ستونی درجه‌ی شوری میانبرهای شاری بر حسب فراوانی آنها.

آزمون گرمایش

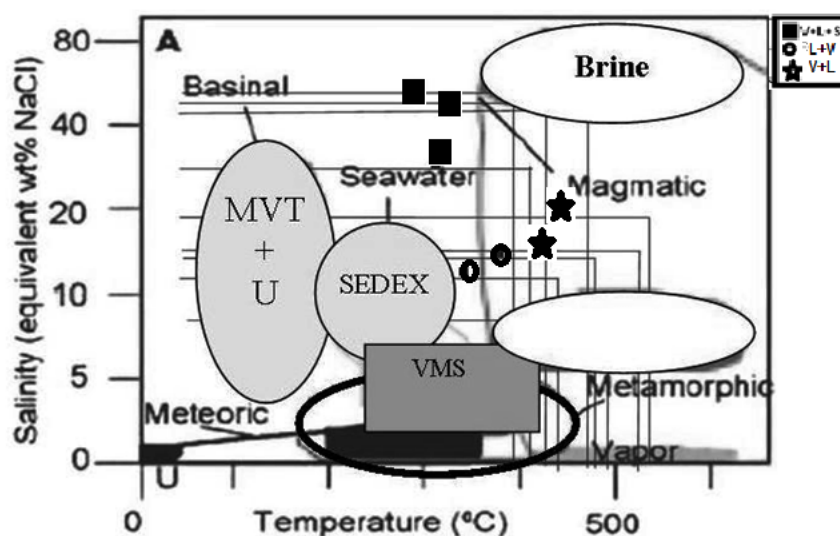
با همگن کردن فازهای درون میانبارهای شاری و به دست آوردن دمای یکنواختی، می‌توان حداقل دمای تشکیل کانسار را بدست آورد. همگن‌شدن نمونه‌های مورد بررسی در نوع B به فاز گاز و در نوع A و C به فاز مایع صورت گرفته است. نمونه‌های بررسی شده در گستره‌ی دمایی 308°C تا 498°C همگن شده‌اند، ولی بیشترین فراوانی دمای همگن‌شدن در حد فاصل 368°C تا 378°C بوده است (شکل ۱۳).

خاستگاه شاره‌های کانه‌ساز علم‌کوه

برای مشخص کردن خاستگاه شاره‌های کانه‌ساز موجود در میانبارهای شاری در کانی‌سازی مورد بررسی، از نمودار تغییرات شوری نسبت به درجه‌ی همگن‌شدگی [۲۲] استفاده شد. با وارد کردن اطلاعات وابسته به نمونه‌های بررسی شده در نمودار مذکور (شکل ۱۴)، مشخص شد که شاره‌های میانبارهای شاری نوع B و C دارای خاستگاه ماگمایی بوده ولی شاره‌های میانبارهای شاری نوع A دارای خاستگاه جوی و شوراب‌ها هستند.



شکل ۱۳ نمودار ستونی دمای همگن شدن نسبت به فراوانی میانبارهای شاری نمونه‌های مورد بررسی.



شکل ۱۴ نمودار دمای هموزن شدن نسبت به درجه‌ی شوری میانبارهای شاری نمونه‌های بررسی شده که انواع B, C دارای خاستگاه ماگمایی بوده ولی نوع A خاستگاه جوی و شوراب‌ها دارد [۲۲].

رفتار شاره‌ها در زمان کانی‌سازی

برای بررسی رفتار شاره‌های کانه‌ساز در کانی‌سازی علم‌کوه از نمودار درجه‌ی همگن‌شدن نسبت به درصد وزنی کلرور سدیم برای میانبارهای شاری درون کانی کوارتز (شکل ۱۵) استفاده شد [۲۲]. در این نمودار از میانبارهای اولیه نوع A، B و C که به صورت اولیه و ثانویه کاذب بوده‌اند استفاده شد. با توجه به روند قرار گیری نمونه‌ها نتایج زیر بدست آمد:

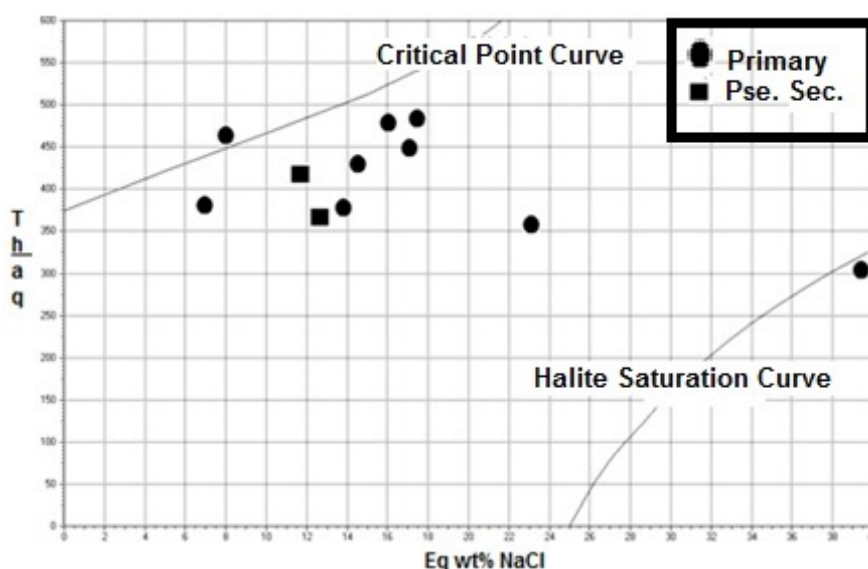
الف) شاره‌های کانه‌ساز هنگام کانی‌سازی با شاره‌های با شوری و دمای کمتر از خود ترکیب یافته‌اند.

ب) عمل جوشش شاره‌های همراه با کاهش دما رخ داده و در نهایت در 310°C سدیم به حالت اشباع رسیده و به صورت کانی هالیت رسوب می‌کند. پدیده‌ی جوشش شاره‌های کانه‌ساز نقش بسیار مهمی در ناپایداری همبافت‌های فلزی و نهشت

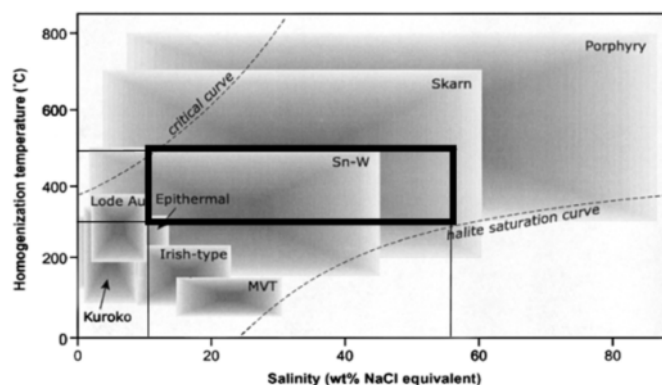
کانه‌های اکسیدی و سولفیدی در کانی‌سازی علم‌کوه داشته است.

نوع کانی‌سازی در علم‌کوه

برای بررسی نوع کانی‌سازی مورد بررسی، بر اساس شواهد بدست آمده از بررسی‌های میانبارهای شاری از نمودار [۲۶] استفاده شد (شکل ۱۶). با توجه به درجه‌ی همگن‌شدن میانبارهای شاری در کانی‌سازی علم‌کوه (310°C تا 498°C) و شوری میانبارهای شاری (۷ تا ۵۷ درصد معادل وزنی کلرید سدیم) به خوبی مشخص شد که کانی‌سازی در این منطقه در گستره‌ی نوع کانسارهای اسکارنی قرار می‌گیرد. بررسی‌های سنگ‌نگاری زونهای اسکارنی در حاشیه‌ی توده گرانیتوئیدی علم‌کوه نیز نشانگر رخداد کانی‌سازی اسکارنی در این منطقه است.



شکل ۱۵ نمودار درجه‌ی همگن‌شدن نسبت به درصد وزنی کلرور سدیم برای میانبارهای شاری درون کوارتز [۲۲].



شکل ۱۶ نمودار درجه‌ی شوری نسبت به دمای همگن‌شدن میانبارهای شاری در نمونه‌های بررسی شده [۲۶].

برداشت

نفوذ سنگ‌های گرانیتوئیدی (غالباً با ترکیب گرانیت قلیایی) در حدود ۵ میلیون سال قبل [۸] به درون واحدهای رسوبی و آذرآواری قدیمی با سن پرکامبرین انتهایی تا سنوزوئیک باعث گسترش پهنه‌های اسکارنی گاهی تا حدود ۲ کیلومتر در سنگ‌های مجاور نسبت به توده‌ی اصلی شده است. همزمان با آخرین مراحل دگرگونی پیشرونده و تشکیل کانی‌هایی مثل گارنت و پیروکسن (احتمالاً سری دیوپسید-هیدنبرژیت) در سنگ‌های رسی و کربناتی، کانی‌سازی فاز اکسیدی به صورت مگنتیت شکل گرفته است.

وجود میانبارهای شاری غنی از فاز جامد و غنی از فاز گاز به ترتیب نشانگر شوری نسبتاً زیاد شاره‌های کانه‌ساز و رخداد عمل جوشش هنگام کانی‌سازی است. جوشش شاره‌های نقش مهمی در ناپایداری همبافت‌های حمل‌کننده‌ی فلزات داشته و مانع از گسترش زیاد کانی‌سازی شده است. نتایج حاصل از دماسنجی بیانگر تشکیل فاز اکسیدی کانی‌سازی منطقه علم‌کوه در گستره‌ی دمایی $^{\circ}\text{C} 478$ تا $^{\circ}\text{C} 488$ و فاز سولفیدی در گستره‌ی دمایی $^{\circ}\text{C} 368$ تا $^{\circ}\text{C} 378$ بوده و فرایند اختلاط شاره‌های ماگمایی و آبهای جوی در تولید شاره‌های کانه‌ساز مهم بوده است [۲۷-۲۹].

بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری، سنگ‌شناسی و نهایتاً بررسی‌های میانبارهای شاری نشانگر آن است که کانی‌سازی علم‌کوه از نوع برون اسکارن است که با توده‌های نفوذی گرانیتی منتسب به پلیوسن ایجاد شده است.

مراجع

- [1] Einaudi M. T., Burt D. M., "Terminology, Classification and Composition of Skarn Deposits", *Economic Geology*, 77 (1982) 745-754.
- [2] Roedder E., "Fluid inclusions", *Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, Virginia*, 12 (1984) 640p.
- [۳] علایی طالقانی م., "ژئومورفولوژی ایران"، تهران، انتشارات قومس (۱۳۸۲) ۲۴۶ ص.
- [۴] رضوی‌زاده ن., "بررسی کانی‌سازی‌های مرتبط با توده گرانیتوئیدی علم‌کوه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه پیام‌نور تبریز (۱۳۸۹) ۱۴۹ ص.

[۵] وحدتی ف., نقشه زمین‌شناسی قزوین- رشت با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۵۵).

[6] Annells R.N., Arthurton R.S., Bazley R.A., Davies R.G., Hamed M.A.R., Rahimzadeh F., "1:100000 Geological Map of Shakran Quadrangle", Geological Survey of Iran (1977).

[۷] نبوی م.ح., "دیباچه‌ی بر زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۵۵) ۱۰۹ ص.

[8] Annells R.N., Arthurton R.S., Bazley R.A., Davies R.G., "Explanatory text of the Qazvin and Rasht 1:250,000 Quadrangle Map", Geological Survey of Iran (1975).

[9] Glaus M., "Die Gelogic des Gebietes Nordich des Kandevan - Passes (Zentral - Elbburz)", Iran, Mitt. Geologie, Institute ETH, Zurich, 48 (1965) 165p.

[10] Assereto R., "The Paleozoic Formation in Central Elburz (Iran)", *Reviews of Paleontology and Startigraphy*, 6 (1963) 503-543.

[11] Clark G.C., Davies R., Hamzehpour B., Jones C.R., Ghorashizadeh M., Hamidi B., Navai N., "1:250,000 Bandar - e - Pahlavi Quadrangle Geological Map" Geological Survey of Iran (1975).

[12] Gansser A., Hubner H., "Geological Observations in the Central Elburz (Iran)", *Schweiz Mineralogy and petrology*, 42 (1962) 583-630.

[13] Alavi-Naini M., "Etude Geologique de la Region de Djam", Geological Survey of Iran, Report, No.23 (1972) 293p.

[14] Middlemost A.K., "Naming Material in the Magma - Igneous Rock System", *Earth Sciences Reviews*, 31 (1994) 73-87.

[15] Middlemost E.A.K., "Miocene Shield Volcanoes of New South Wales", Geological Society of Australia, New South Wales Division, 1 (1985) 49-58.

[16] Le Maitre R.W. (editor), Bateman P., Dudek A., Keller J., Lameyre M., Le Bas M.J., Sabine P.A., Schmid R., Sorenson H., Streckeisen A., Woolley A.R., Zanettin B., "A

- [۲۲] حاج علیلو ب.، "ژئوترمومتری میانبرهای سیال"، انتشارات دانشگاه پیام نور (۱۳۸۶) ۳۰۶ ص.
- [۲۳] حاج علیلو ب.، خاکزاد ا.، "بررسی کانی سازی های معادن مس یولایی و رشت آباد بر اساس مطالعات سیالات درگیر"، فصلنامه علوم زمین، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۳-۳۴ (۱۳۸۰).
- [24] Shepherd T., Rankin A.H., Alderton D.H.M., "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies", Blackie, London (1985) 239p.
- [25] Potter R.W., Clyne M.A., Brown D.L., "Freezing Point Depression of Aqueous Sodium Chloride Solution", Economic Geology, 73 (1978) 284-285.
- [26] Wilkinson J.J., "Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits", Lithos, 55 (2001) 229-272.
- [27] Bodnar R.J., "Revised Equation and Table for Determining the Freezing Point Depression of H_2O -NaCl Solutions", Geochimica et Cosmochimica Acta, 57 (1993) 683-684.
- [28] Barnes H.L., "Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits", John Wiley, New York (1979) 670p.
- [29] Robb L., "Introduction to Ore Forming Processes", Blackwell Publishing (2007) 373p.
- Classification of Igneous Rocks and a Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Sub Commission on the Systematics of Igneous Rocks*", Blackwell Scientific Publications, Oxford (1989) 93p.
- [17] Maniar P.O., Piccoli P.M., "Tectonic Discrimination of granitoids", Geology Society of American Bulletin, 11 (1989) 635-643.
- [18] Batchelor R.A., Bowden P., "Petrogenetic Interpretation of Granitoid Rock Series Using Multi-Cationic Parameters", Chemical Geology, 48 (1985) 43-55.
- [19] Pearce J.A., Baker P.E., Harvey P.K., Luff I.W., "Geochemical Evidence for Subduction Fluxes, Mantle Melting and Fractional Crystallization Beneath the South Sandwich Island Arc", Journal of Petrology, 36 (1995) 1073-1109.
- [20] Whalen J. B., Currie K.L., Cappel B.W., "A Type Granites, Geochemical characteristics", Discrimination and Petrogenesis, Contribution to Mineralogy and Petrology, 95 (1987) 407-419.
- [21] Boynton W.V., "Geochemistry of the REE Meteorite Studies", In: Henderson, P. (ed.) REE Geochemistry, Elsevier, (1984) 63-114.