

بررسی کانی‌سازی اسکارن علم‌کوه در منطقه‌ی کلاردشت (شمال ایران) با تأکید بر بررسی- های میانبارهای شاری

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

۱- گروه زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور، ایران

۲- دانشکده علوم زمین، دانشگاه تبریز، ایران

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

چکیده: توده‌ی نفوذی گرانیت قلیایی علم‌کوه با سن وابسته به پلیوسن در کلاردشت چالوس (شمال ایران) دنباله‌ی چینه‌ای گسترده‌ای از پرکامبرین تا سنوزوئیک را تحت تأثیر دگرگونی گرمایی و دگرنهادی خویش قرار داده است. دگرنهادی اسکارنی مهم‌ترین نوع دگرنهادی در منطقه‌ی مورد بررسی است که گسترش هاله‌های دگرگونی آن به پهنای یک تا دو کیلومتر است. این گرانیت قلیایی به احتمال در شرایط زمین‌ساختی همزمان و پس از کوهزایی تشکیل شده و در گروه گرانیت‌های نوع A قرار می‌گیرد. نفوذ توده‌ی گرانیتی علم‌کوه در سنگ‌های درونگیر منطقه ضمن گسترش زون‌های اسکارنی باعث کانی‌سازی اکسیدی و سولفیدی در منطقه شد که بیشتر از مگنتیت، کالکوپریت و پیریت تشکیل شده است. بررسی میانبارهای شاری نشانگر وجود پنج نوع میانبار V ، $V + L$ ، $L + V$ ، L و V در کوارتزهای همزمان با کانی‌سازی است. شواهد زمین-دما سنجی بیانگر تشکیل فاز اکسیدی در گستره‌ی دمایی $478^{\circ}C$ تا $488^{\circ}C$ و فاز سولفیدی در گستره‌ی دمایی $368^{\circ}C$ تا $378^{\circ}C$ است. اختلاط شاره‌های ماگمایی و آب‌های جوی در تولید شاره‌های کانه‌ساز فرآیند مهمی بوده است. مشاهدات صحرایی، میکروسکوپی و دماسنجی مؤید زایش اسکارنی کانی‌سازی‌های فلزی موجود در حاشیه‌ی توده نفوذی علم‌کوه است.

واژه‌های کلیدی: اسکارن؛ ایران؛ کانی‌سازی؛ میانبارهای شاری؛ دماسنجی؛ توده‌ی نفوذی؛ علم‌کوه.

مقدمه

را بین ۴۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد [۲]. میانگین شوری ۱۰ تا ۴۵ درصد وزنی معادل کلرید سدیم و مقدار CO_2 پایین همراه با جوشش شاره‌ها در بخش بالایی سیستم از ویژگی‌های مهم شاره‌ها در کانسارهای اسکارنی است [۲]. در همبری توده‌ی نفوذی علم‌کوه با واحدهای رسوبی موجود در منطقه کانی‌سازی‌های اسکارنی چندی پدید آمده‌اند و در این پژوهش سعی شد تا شرایط تشکیل این رویداد دگرنهادی در منطقه یاد شده با استفاده از میانبارهای شاری

واژه‌ی اسکارن به سنگ‌هایی گفته می‌شود که در نتیجه‌ی جان‌نشینی عناصری مانند Al ، Si ، Fe و Mg در سنگ‌های آهکی، دولومیتی و رسی حاصل می‌شود. این جان‌نشینی در نتیجه‌ی نفوذ شاره‌های دگرنهاد حاصل از توده‌های آذرین درونی صورت می‌گیرد [۱]. شکل این کانسارها بسیار نامنظم و از درز و شکاف سنگ‌ها ریشه می‌گیرد. بررسی میانبارهای شاری در بسیاری از اسکارن‌های دنیا دمای همگن شدن شاره‌ها

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

مورد بررسی قرار گیرد.

60.0°C و با دقت $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 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.

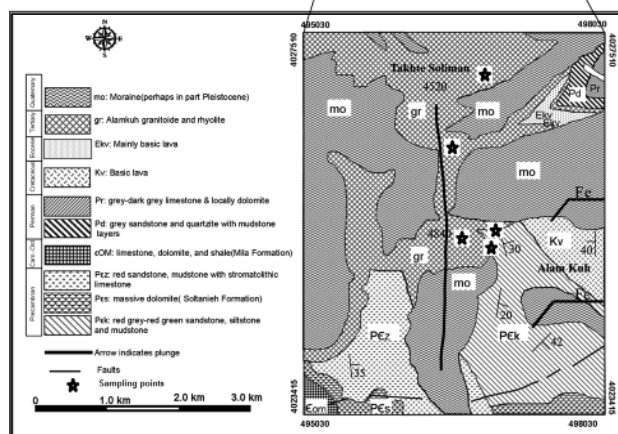
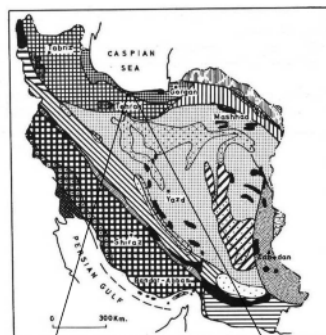
ابعاد میانبارهای بررسی شده بین ۶ تا ۴۵ میکرون در نوسان بوده‌اند. تصاویری که با عدسی ۵۰X گرفته شدند، مقیاس خطی ۵۰ pix برابر ۱۰ میکرون و تصاویری که با عدسی شیئی ۱۰۰X گرفته شده، مقیاس خطی ۱۰۰ pix برابر ۱۰ میکرون است. بررسی‌های داماسجی و یخزدگی با صفحه‌ی لینگام مدل THMS600 با گستره‌ی دمایی 180°C تا

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 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).

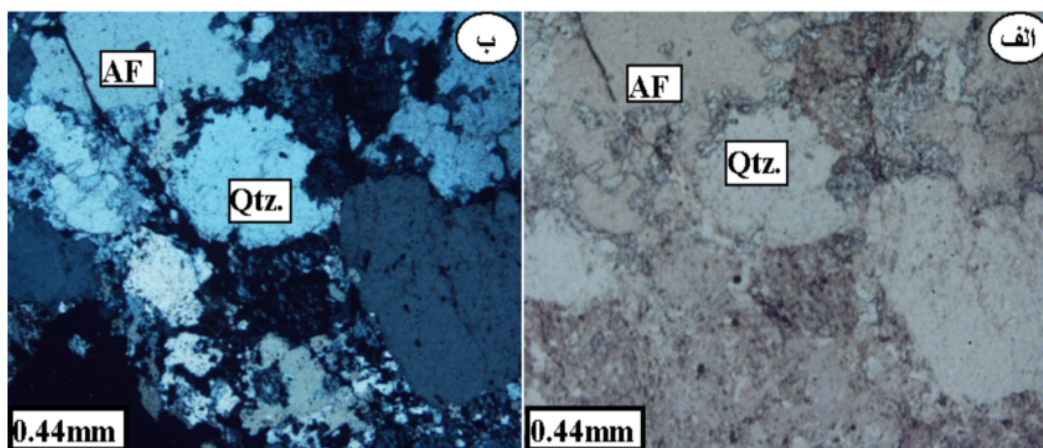
منطقه‌ی علم‌کوه در ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ قزوین-رشت [۵] و ۱:۱۰۰۰۰۰ شکران [۶] واقع شده و در تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری ایران، در زون زمین‌ساختی البرز قرار می‌گیرد [۷]. پیکره‌ی اصلی علم‌کوه متشکل از توده‌ی گرانیتوئیدی به سن پلیوسن است [۸] که ضمن نفوذ در واحدهای قدیمی‌تر (پرکامبرین پسین تا سنوزوئیک)، باعث تشکیل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

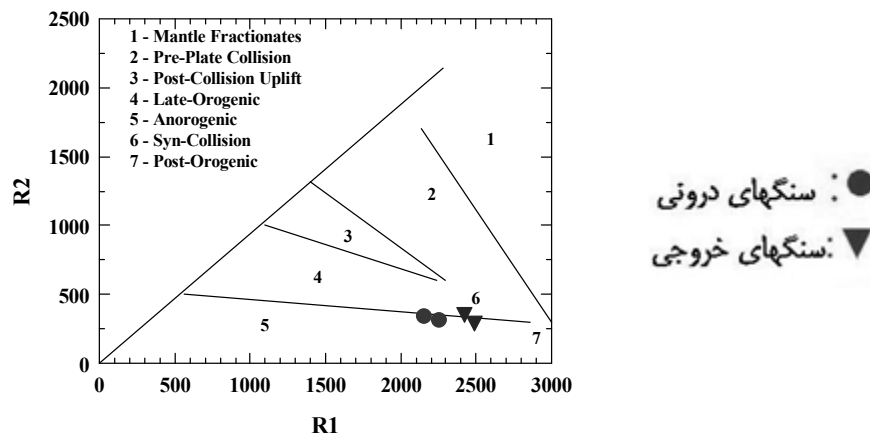
حجم اصلی توده‌ی نفوذی علم‌کوه را گرانیت قلیایی تشکیل داده است، ولی در بخش‌هایی از این توده، سنگ‌هایی با ترکیب کوارتز-سینیت، کوارتز - مونزونیت و میکرودیوریت (به صورت



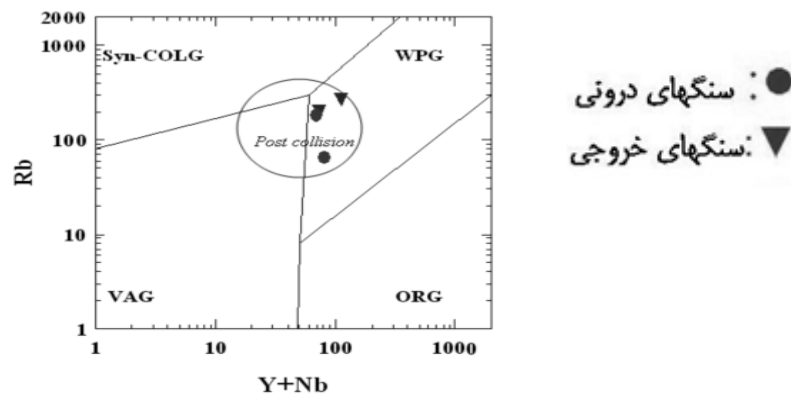
شکل ۲ فلدسپار قلیایی (AF) و کوارتز (Qtz) در گرانیت قلیایی با بافت دانه‌ای (الف: ppl و ب: xpl).

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های آذرین منطقه.

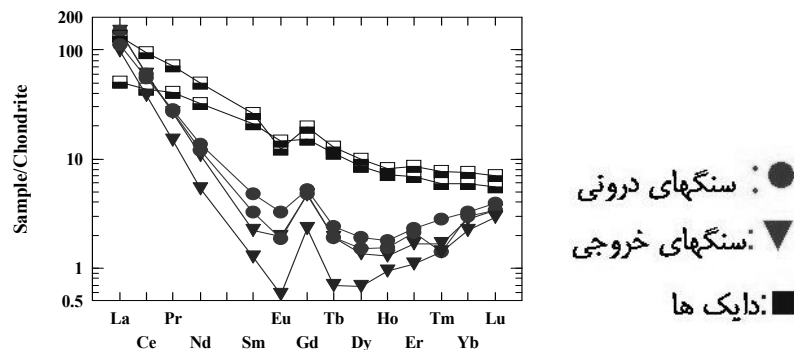
نمونه ها عناصر	شماره نمونه ها					TA-2 (گرانیت)
	H8 (ریولیت)	M2 (گرانیت)	M3 (ریولیت)	M4 (دایک)	M22 (دایک)	
SiO ₂ (%)	۷۲٫۲	۷۳٫۷	۷۵٫۸	۵۷٫۶	۵۴٫۱	۷۲٫۷
Al ₂ O ₃ (%)	۱۲٫۵	۱۲٫۶۵	۱۲٫۶۰	۲۱٫۱	۱۳٫۰۵	۱۳٫۰۵
Fe ₂ O ₃ (%)	۱٫۱۲	۱٫۴۲	۰٫۸۲	۱٫۲۲	۲٫۳۴	۱٫۳۶
CaO (%)	۰٫۸۰	۰٫۵۸	۰٫۳۳	۹٫۹۴	۱۵٫۶۰	۰٫۷۶
MgO (%)	۰٫۴۱	۰٫۱۸	۰٫۰۳	۲٫۰۶	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	۱٫۴۰
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 مارتیتی شدن (جانیشینی 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).

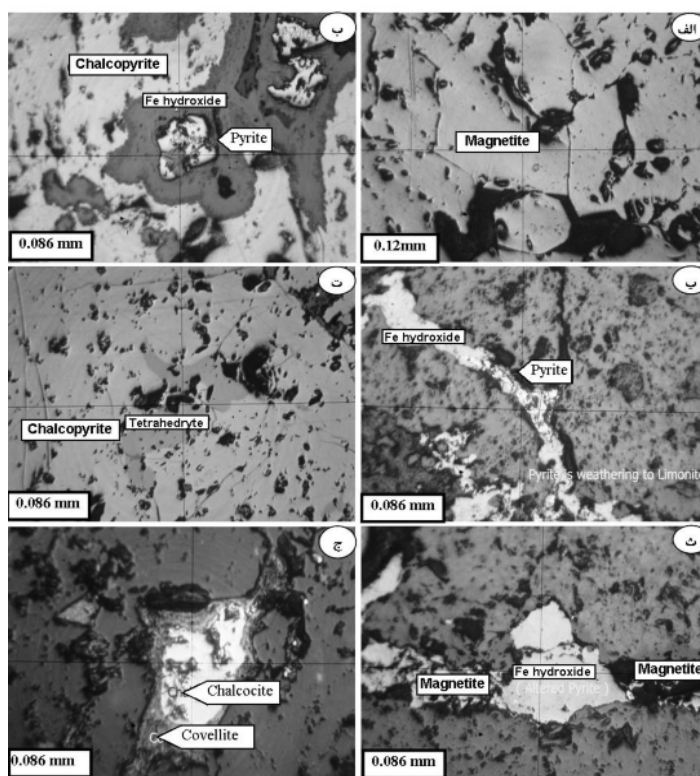
ترتیب زمانی کانی سازی فلزی علم کوه در شکل ۸ نشان داده شده است [۴]. مرحله‌ی درونزادی اولیه تقریباً منطبق بر مرحله‌ی پیش‌رونده و پس‌رونده‌ی اسکارنی شدن و مرحله‌ی برونزادی یا ثانویه با مرحله‌ی دگرسانی همخوانی دارد.

بررسی‌های میانبارهای شاری

بررسی دمای تشکیل کانسارها، شوری و ترکیب شیمیایی شاره‌های کانه ساز و فشار حاکم بر محیط کانی‌سازی در شناخت نوع کانی‌سازی منطقه و ارائه الگوی پی‌جویی بسیار مفید و کارساز است [۲۲]. شاره‌های کانه‌ساز که در درون میانبارهای شاری به دام افتاده‌اند می‌توانند دارای خاستگاه ماگمایی، جوی، دگرگونی و آب‌های فسیلی باشند، ولی نقش آب‌های ماگمایی و جوی بسیار مهمتر است [۲۳]. شاره‌های ماگمایی بدام افتاده نخست به صورت شاره‌های همگن‌اند که پس از سرد شدن، به فازهای مختلف گاز، آب‌گون و جامد جدا می‌شوند [۲].

کانی‌سازی سولفیدی در علم کوه در مرحله‌ی پس‌رونده‌ی اسکارنی رخ داده و شامل کانی‌سازی کالکوپیریت و پیریت چهاروجهی است. کالکوپیریت به شکل دانه‌های ریز و پراکنده و یا به صورت رگچه‌ای در نمونه‌ها مشاهده می‌شوند که اغلب با کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن در حال جایگزینی است. وجود پیریت خودشکل که با کالکوپیریت احاطه شده است، نشانگر آن است که تشکیل پیریت پیش از کالکوپیریت بوده است (شکل ۷-ب). پیریت هم به صورت خودشکل و هم به صورت رگچه‌ای در این کانی‌سازی مشاهده می‌شود (شکل ۷-پ) [۴].

کانی‌چهاروجهی گاهی به شکل ادخال در کالکوپیریت مشاهده می‌شود (شکل ۷-ت). از دگرسانی پیریت و آزاد شدن اکسیدهای آهن از این فرایند نیز کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن تشکیل شده‌اند (شکل ۷-ث). کانی‌های ثانویه در کانی‌سازی مورد بررسی شامل هماتیت، گوتیت، لیمونیت، کولیت، کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت است که از دگرسانی مگنتیت، کالکوپیریت و پیریت به وجود آمده‌اند



شکل ۷ (الف) دانه‌های خودشکل مگنتیت با بافت موزائیکی (ب) پیریت خودشکل که با کالکوپیریت احاطه شده است (پ) شکل‌گیری پیریت به صورت رگچه‌ای و پدیده‌ی جانیشینی پیریت به وسیله‌ی لیمونیت (ت) ادخال کانی‌چهاروجهی در کانی کالکوپیریت (ث) تبدیل پیریت و مگنتیت به هیدروکسیدهای آهن (ج) جانیشینی کانی کولیت در حاشیه‌ی کانی کالکوسیت.

سنگ‌نگاری میانبارهای شاری در کانی‌سازی‌های اسکارنی علم کوه

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 همگن شدن 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 علم کوه 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

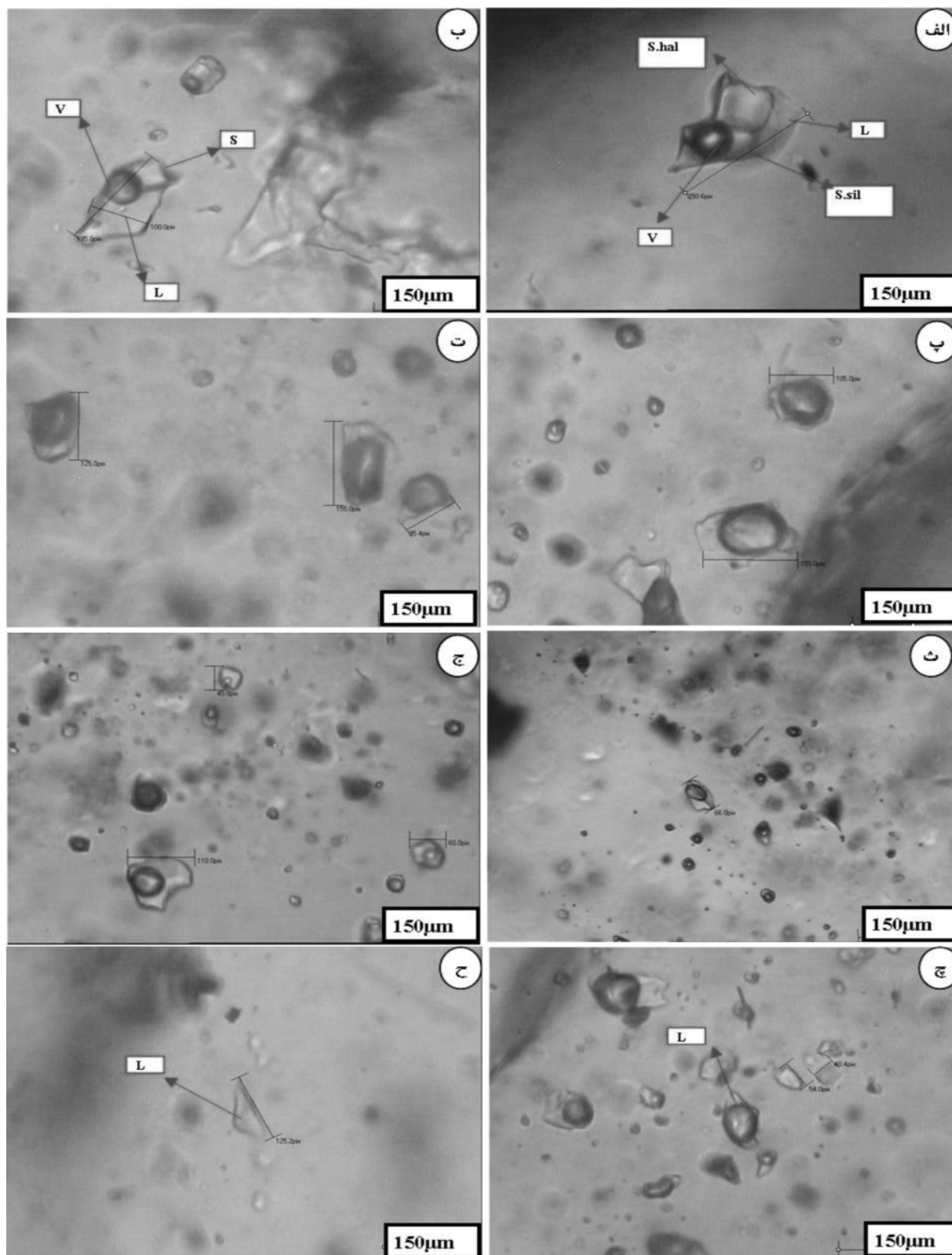
مایع در میانبار مشاهده می‌شود و کمترین نوع از میانبارهای کانی‌سازی علم کوه را تشکیل می‌دهند (شکل ۹- چ و ح). به دلیل تک فاز بودن نمی‌توان از آنها در بررسی‌های دماسنجی استفاده کرد.

- 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).

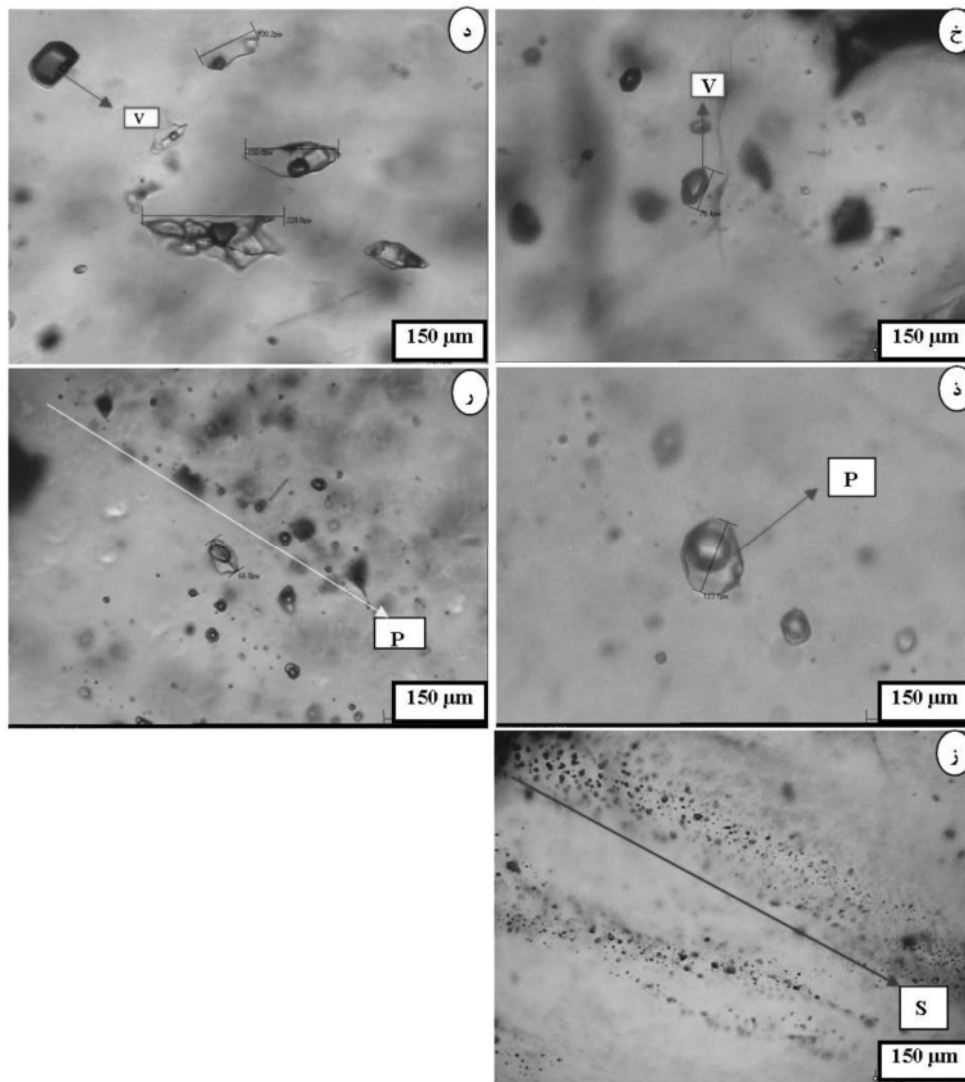
میانبارهای شاری مورد بررسی از نظر خاستگاه به صورت اولیه‌ی (P)، ثانویه‌ی (S) و ثانویه‌ی کاذب (PS) یافت می‌شوند (شکل ۹- ذ، ر، ز). اغلب آنها از نوع ثانویه‌اند که نمی‌توان از آنها برای بررسی‌های دماسنجی استفاده کرد. به همین دلیل، میانبارهای شاری اولیه مورد بررسی قرار گرفتند. چگالی میانبارها بسته به فازهای 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		

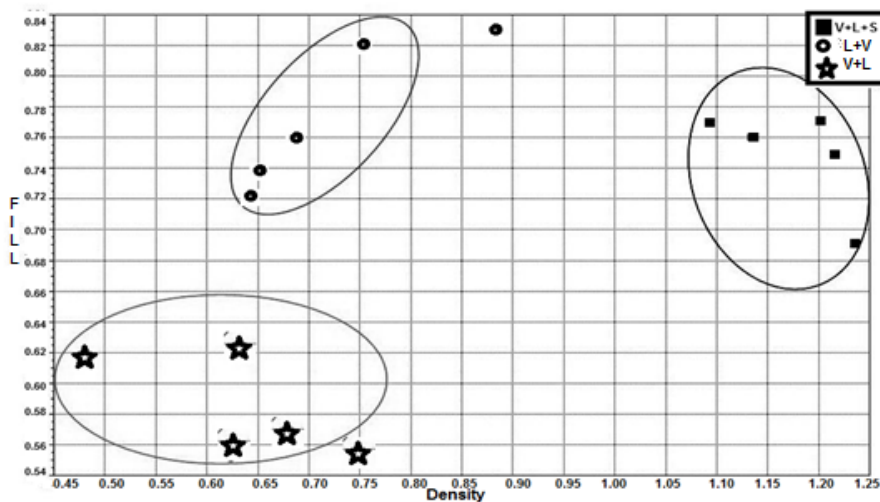
شکل ۸. توالی پاراژنتیک کانی‌سازی‌های فلزی در منطقه علم کوه.



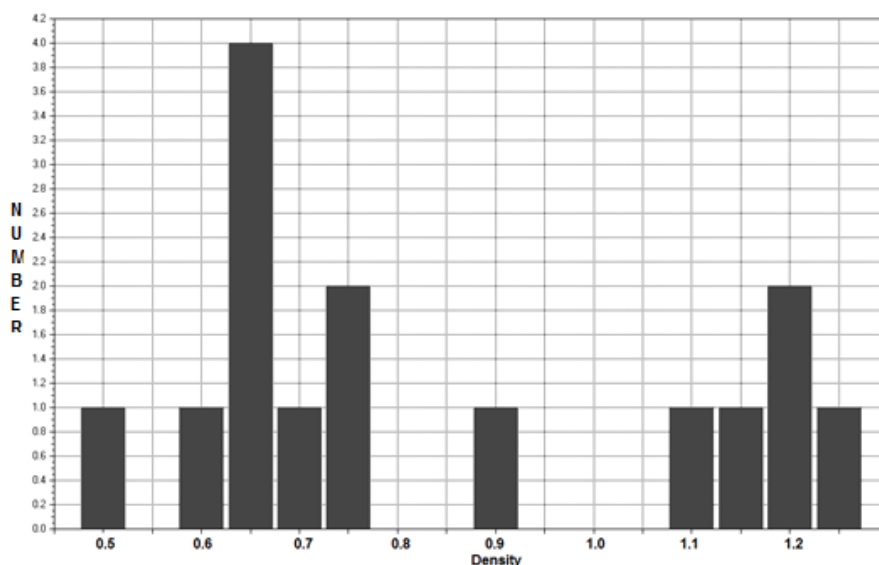
شکل ۹ (الف) میانبرهای شاری سه فازه شامل مایع- گاز- جامد (هالیت + سیلوایت) (ب) میانبرهای شاری سه فازه شامل مایع -گاز جامد (هالیت) (پ، ت) میانبرهای شاری (دو فاز گاز - مایع) با چگالی پائین (ث) میانبرهای شاری مختلف غنی از مایع (ج) میانبرهای شاری (فاز مایع-گاز) با شوری متوسط (چ، ح) میانبرهای شاری تک فاز مایع.



شکل ۹ خ، د، میانبارهای شاری تک فاز گاز د، میانبارهای شاری اولیه ر، تصاویر میانبارهای شاری ثانویه کاذب ز، تصاویر میانبارهای شاری ثانویه.



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

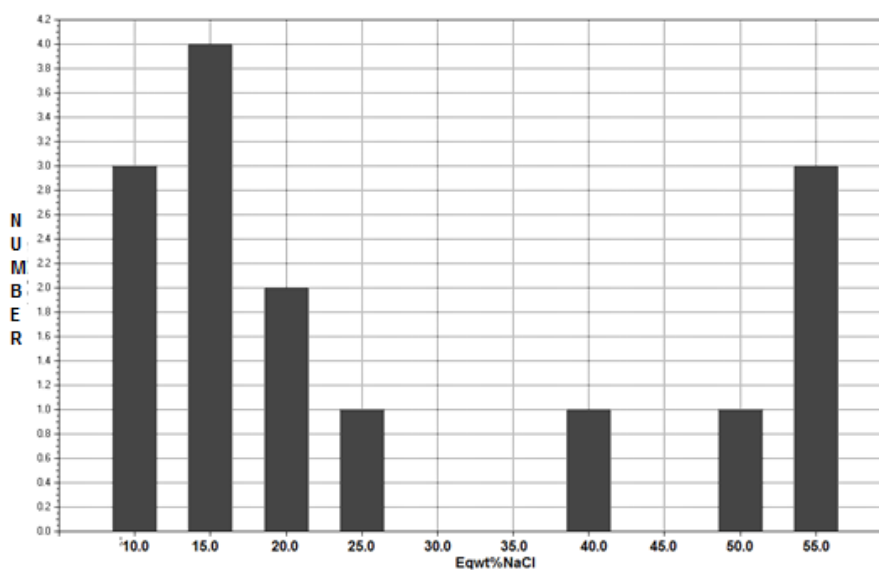


شکل ۱۱ نمودار ستونی چگالی بر حسب فراوانی میانبرهای شاری نمونه‌های مورد بررسی.

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).

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]



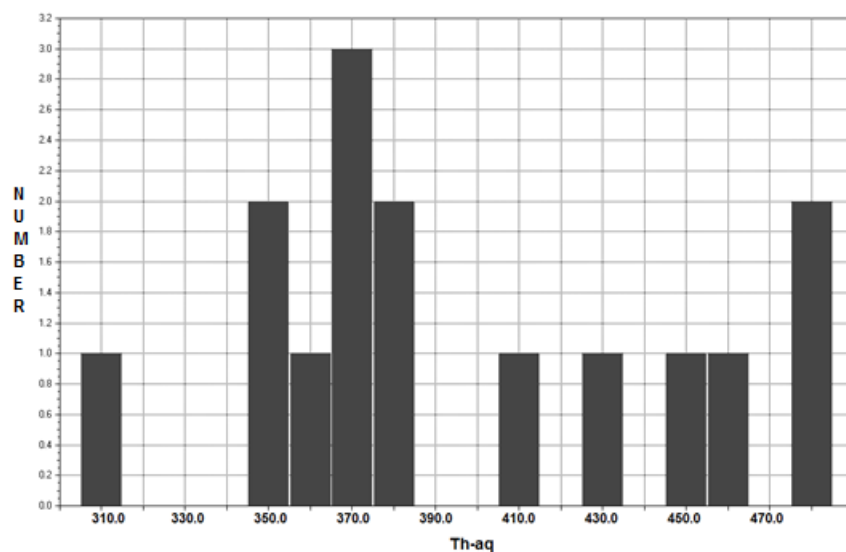
شکل ۱۲ نمودار ستونی درجه‌ی شوری میانبرهای شاری بر حسب فراوانی آنها.

آزمون گرمایش

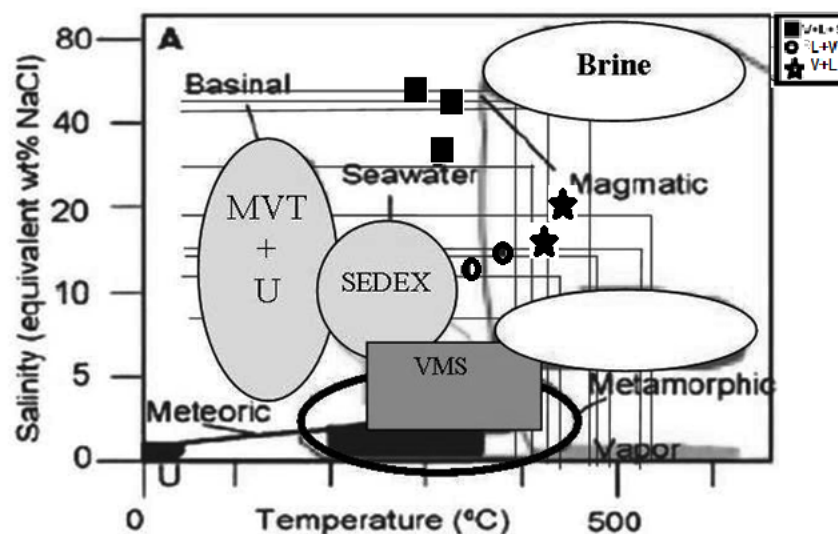
با همگن کردن فازهای درون میانبراهای شاری و به دست آوردن دمای یکنواختی، می‌توان حداقل دمای تشکیل کانسار را بدست آورد. همگن شدن نمونه‌های مورد بررسی در نوع B به فاز گاز و در نوع A و C به فاز مایع صورت گرفته است. نمونه‌های بررسی شده در گستره‌ی دمایی 308°C تا 498°C همگن شده‌اند، ولی بیشترین فراوانی دمای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

خاستگاه شاره‌های کانه‌ساز علم‌کوه

برای مشخص کردن خاستگاه شاره‌های کانه‌ساز موجود در میانبراهای 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 میانبراهای شاری نوع B و C دارای خاستگاه ماگمایی بوده ولی شاره‌های میانبراهای شاری نوع A دارای خاستگاه جوی و شورابها هستند.



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



شکل ۱۴ نمودار دمای هموزن شدن نسبت به درجه‌ی شوری میانبراهای 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:

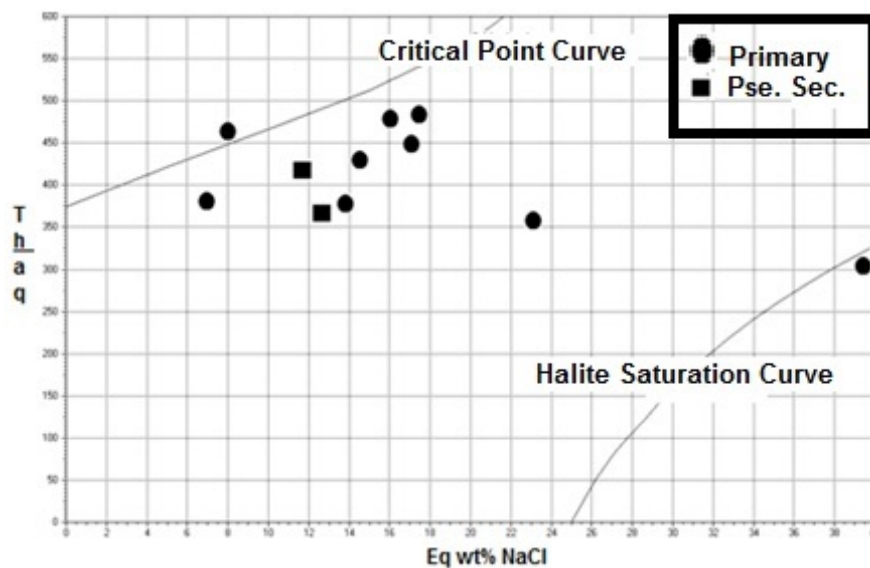
الف) شاره‌های کانه‌ساز هنگام کانی‌سازی با شاره‌های با شوری و دمای کمتر از خود ترکیب یافته‌اند.

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

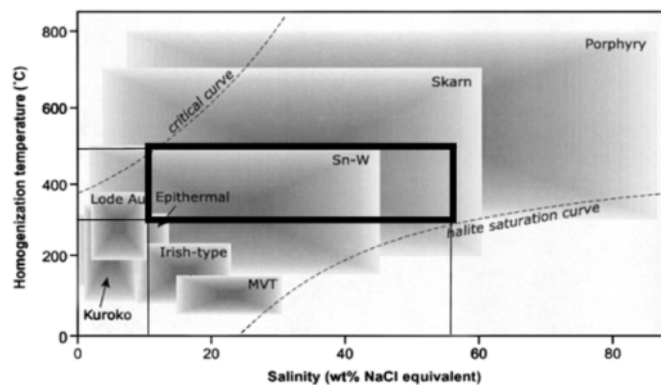
کانه‌های اکسیدی و سولفیدی در کانی‌سازی علم‌کوه داشته است.

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 آذرآوری 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-هدنبرژیت) 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 علم کوه در گستره‌ی دمایی $^{\circ}\text{C}$ ۴۷۸ تا $^{\circ}\text{C}$ ۴۸۸ و فاز سولفیدی در گستره‌ی دمایی $^{\circ}\text{C}$ ۳۶۸ تا $^{\circ}\text{C}$ ۳۷۸ 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 علم کوه 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., "دیباچه‌ای 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 Geologie des Gebietes Nordlich des Kandevan - Passes (Zentral - Elburz)", *Iran, Mitt. Geologie, Institute ETH, Zurich*, 48 (1965) 165p.

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

[11] Clark G.C., Davies R., Hamzhepour 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 میانبارهای سیال، انتشارات دانشگاه پیام نور (۱۳۸۶) ۳۰۶ ص.
- [۲۳] حاج علیلو ب.، خاکزاد ا.، "بررسی کانی سازی های معادن مس بولاعی 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 H₂O- 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.