



کانی‌سازی اپی‌ترمال آنتیموان در منطقه‌ی ارغش: کانی‌شناسی، دگرسانی و زمین‌شیمی

فرزانه نوری اصل^۱، غلامحسین شمعیان^{۱*}، بهنام شفیعی^۱، مجید عظیم محسنی^۲، محمد جعفری^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

۲- گروه آمار، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

۳- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه‌ی شمال شرق

(دریافت مقاله: ۸۹/۱۰/۲۵، نسخه نهایی: ۹۰/۳/۸)

چکیده: کانسار آنتیموان ارغش در جنوب نیشابور و در بخش شرقی زون سبزوار واقع شده است. این کانسار در مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی وابسته به ائوسن تا الیگوسن تشکیل شده است. کانی‌سازی از نوع پرکننده‌ی فضای خالی است و به صورت رگه‌ها، رگچه‌های نامنظم و برش‌های گرمایی رخمون دارد. کانی‌شناسی رگه‌ها نسبتاً ساده است و استینیت کانی اولیه آنتیموان‌دار است. کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت سولفیدهای دیگری هستند که همراه با استینیت یافت می‌شوند. کوارتز، ایلیت، آدولاریا، کلریت، اپیدوت، کلسیت و کائولینیت مهم‌ترین کانی‌های باطله‌ی گرمایی را تشکیل می‌دهند که در اطراف رگه‌ها تشکیل شده‌اند. دگرسانی گرمایی در اطراف رگه‌ها دارای منطقه‌بندی است و سه نوع اصلی سیلیسی شدن در فاصله‌ی نزدیک به رگه‌ها، دگرسانی رسی پیرامون رگه‌ها و دگرسانی پروپیلیتی در فاصله‌ی دور از رگه‌ها را تشکیل می‌دهند. شدت دگرسانی رسی و سیلیسی شدن با افزایش عمق و دور شدن از رگه‌ها کاهش می‌یابد. ارزیابی داده‌های زمین‌شیمیایی بر پایه تحلیل‌های آماری چند متغیره، نشان دهنده‌ی همبستگی مثبت بین عناصر Zn، Ag، As و Sb و الگوی توزیع مشابه این عناصر در گمانه‌های مورد بررسی است. ویژگی‌های کانی‌شناسی، دگرسانی و زمین‌شیمیایی منطقه‌ی مورد بررسی و مقایسه‌ی آن با کانسارهای اپی‌ترمال نشان می‌دهد که سامانه‌ی رگه-ای کوارتز-آنتیموان ارغش در یک محیط اپی‌ترمال از نوع سولفیدی شدن پایین تشکیل شده است. این داده‌ها نشان می‌دهد که جوشش و سردشدگی محلول گرمایی از مهم‌ترین فرایندهای نهشت کانسنگ در منطقه‌ی مورد بررسی است.

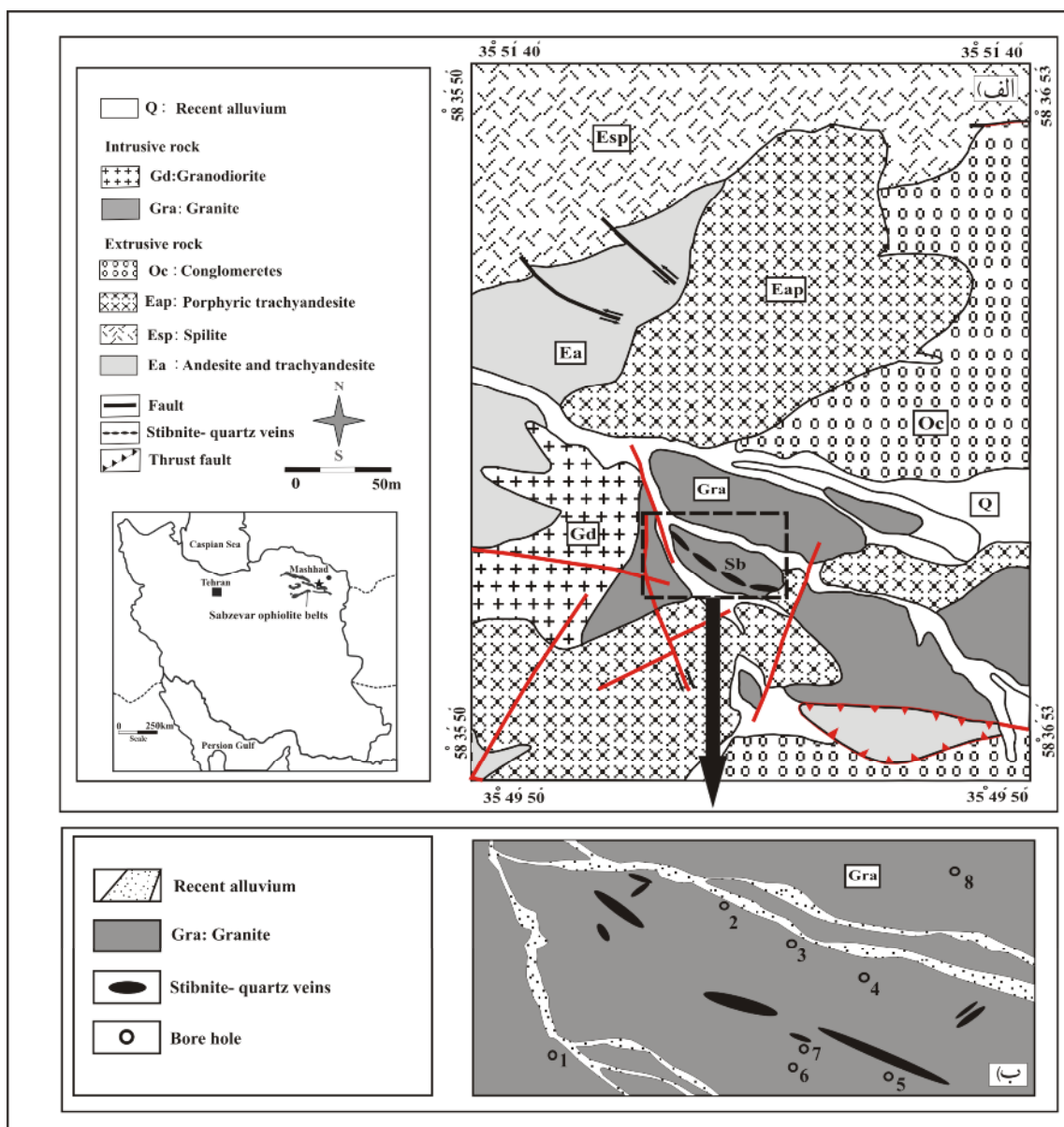
واژه‌های کلیدی: اپی‌ترمال؛ دگرسانی؛ استینیت؛ سردشدن؛ جوشش؛ ارغش.

مقدمه

چکشی [۳] در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، بررسی‌های زمین‌شناسی معدنی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ [۴] و حفر ترانشه و گمانه‌های پی-جویی از سوی سازمان زمین‌شناسی در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۶ است. علاوه بر این، بررسی‌های زمین‌شیمی ایزوتوپی [۵] و میانبارهای شاری [۵] روی رگه‌های طلادار انجام شده است. در این مقاله تغییرات مکانی کانی‌سازی و دگرسانی گرمایی در کانسار آنتیموان ارغش بر پایه‌ی مشاهدات صحرایی، سنگ‌نگاری و تحلیل‌های آماری مورد بررسی قرار گرفته و با تلفیق این اطلاعات الگوی خاستگاهی کانی‌سازی ارائه شده است.

کانسار آنتیموان ارغش با مختصات جغرافیایی $35^{\circ} 35'$ طول شرقی و $40^{\circ} 35'$ عرض شمالی در فاصله‌ی ۴۵ کیلومتری جنوب غربی نیشابور و در بخش شرقی زون ساختاری سبزوار قرار دارد (شکل ۱-الف). این کانسار در سال ۱۳۷۳ همراه با ۴ سامانه‌ی رگه‌ای طلادار بر اساس بررسی‌های زمین‌شیمیایی ناحیه‌ای از سوی سازمان زمین‌شناسی کشور شناسایی شده است. بررسی‌های قبلی در منطقه‌ی ارغش به‌طور کلی بر سامانه‌ی رگه‌ای طلادار متمرکز بوده و شامل بررسی‌های نیمه تفصیلی زمین‌شناسی [۱]، زمین‌شیمیایی [۲] و پی‌جویی‌های

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۷۵۶۷۰۹، نامبر: ۲۲۴۵۹۶۴ (۰۱۷۱)، پست الکترونیکی: shamanian@yahoo.com



شکل ۱ (الف) نقشه‌ی زمین‌شناسی کانسار آنتیموان ارغش با اصلاحات از [۴]. منطقه‌ی مورد بررسی روی نقشه‌ی ایران با ستاره مشخص شده- است. (ب) نقشه‌ی طرح گونه از موقعیت ۸ گمانه پی‌جویی در گستره‌ی کانسار آنتیموان ارغش.

روش بررسی

شناسی به روش‌های مرسوم میکروسکوپی روی ۵۴ مقطع نازک و ۳۳ مقطع صیقلی انجام شد و تعداد ۱۰ نمونه به روش پراش پرتو ایکس (XRD)، برای شناسایی کانی‌های مجهول، از سوی شرکت کانساران بینالود مورد بررسی قرار گرفتند. با تلفیق نتایج حاصل از بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی پاراژنز کانیایی، مجموعه‌های دگرسانی گرمایی و تغییرات مکانی آن تعیین شد. برای بررسی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی از نتایج تجزیه شیمیایی ۳۱۶ نمونه که از مغزه‌های حفاری ۸ گمانه اکتشافی (شکل ۱ - ب) برداشت شده بودند و به روش

برای بررسی ماهیت کانی‌سازی، بررسی‌ها در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی به انجام رسید. در بخش صحرایی، ویژگی‌های ساختی و بافتی و چگونگی ارتباط بین پدیده‌ها در رخنمون‌های سطحی، و به ویژه در مغزه‌های حفاری بررسی شدند و از رگه‌ها، سنگ میزبان و هاله‌های دگرسانی به‌طور تصادفی نمونه برداری به عمل آمد. از دیدگاه آزمایشگاهی بررسی‌هایی در زمینه‌ی سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی کانسنگ، سنگ میزبان و هاله‌های دگرسان صورت گرفت. بررسی‌های بافتی و کانی-

کانی‌شناسی کانسنگ و دنباله‌ی پارائزنی

کانی‌سازی در منطقه‌ی مورد بررسی از نوع شکافه پرکن است که به شکل رگه، رگچه و برش‌های گرمایی در میزبانی از سنگ‌های گرانودیوریتی و گرانیتی و سنگ‌های آتشفشانی متوسط تا اسیدی تظاهر دارد. رگه‌ی اصلی دارای طول ۴۰۰ متر و پهنای متوسط ۰/۵ متر است که در امتداد یک گسل اصلی با راستای شمال غربی- جنوب شرقی قرار دارد (شکل ۱- الف). براساس بررسی‌های مغزه نگاری، با افزایش عمق از ضخامت رگه کاسته شده و به صورت دسته‌ای از رگچه‌های نازک و برش‌های گرمایی دیده می‌شود (شکل ۲).

کانی‌شناسی کانسنگ به‌طور کلی شامل استیبنیت، پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و کوارتز است. براساس بررسی‌های مغزه نگاری و همراهی‌های کانی‌شناسی و بافتی، چهار مرحله‌ی کانی‌سازی در دنباله‌ی پارائزنی این کانسار شناسایی شدند (جدول ۱). مرحله‌ی اول با حضور کانی‌های کوارتز، پیریت‌های شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار، کالکوپیریت و اسفالریت مشخص می‌شود. مراحل دوم و سوم از نظر کانی‌سازی استیبنیت دارای اهمیت است و با حضور کوارتز، استیبنیت و پیریت‌های منطقه بندی شده در مرحله‌ی دوم و کوارتز، استیبنیت و پیریت‌های کلوفرمی در مرحله‌ی سوم مشخص می‌شوند. در آخرین مرحله، پیریت‌های فرامبوییدی در فضای خالی بین کانی‌ها و در شرایط دمایی کم تشکیل شده‌اند. اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن ثانویه، والتینیت و کوولیت از محصولات دگرسانی برونزادند.

استیبنیت، کانی سولفیدی اصلی در کانسنگ درونزاد است که به صورت منشورهای سوزنی با اندازه‌ی حدود یک سانتی متر و انباشت شعاعی در فضاهای خالی تشکیل شده‌است. این کانی بر اثر دگرسانی برونزاد در حاشیه با والتینیت (Sb_2O_3) جانشین شده‌است (شکل ۳- الف). پیریت یکی از فراوانترین کانی‌های سولفیدی است که بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی به چهار نوع مختلف شناسایی شدند: ۱) پیریت‌های شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با اندازه‌ی ۵۰ تا ۶۰۰ میکرون که پیش از انواع دیگر پیریت تشکیل شده‌اند (شکل ۳ - ب، ۲) پیریت‌های شکل‌دار و نیمه شکل‌دار منطقه بندی شده با اندازه‌ی متوسط ۵۰ میکرون که دارای حاشیه‌های تیره نسبت به بخش‌های داخلی‌اند (شکل ۳ - پ، ۳) پیریت‌های با بافت کلوفرمی با اندازه‌ی چند تا ۵۰ میکرون که فضای خالی کانی‌های دیگر را

فلوئورسانی پرتو ایکس (XRF) از سوی سازمان زمین شناسی کشور تجزیه بودند، استفاده شد. بررسی تغییرات غلظت عناصر از سطح به عمق با استفاده از نرم افزار لاگ پلات و تحلیل‌های آماری چند متغیره شامل آنالیز واریانس، آزمون دانکن و تحلیل‌های خوشه‌ای به روش k-means با نرم افزارهای SPSS(16) و Minitab(15) انجام گرفت.

زمین‌شناسی

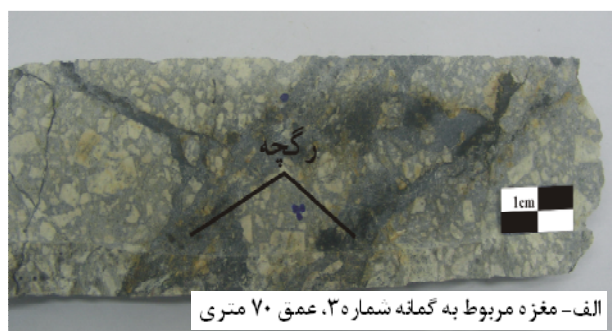
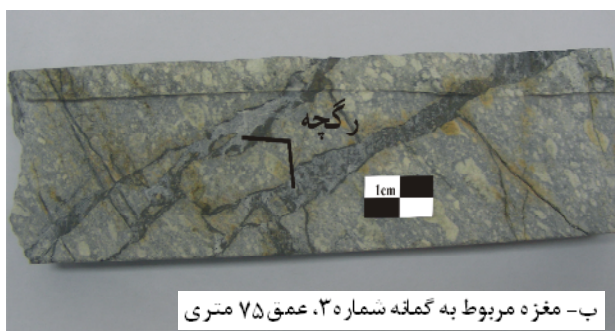
مجموعه سنگ‌های آذرین ناحیه‌ی ارغش شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی ائوسن- الیگوسن است که درون زون سبزواری تزریق شده‌اند. مقایسه‌ی ویژگی‌های زمین شیمیایی این مجموعه با گدازه‌ها و مواد آذرآواری آندزیتی زون سبزواری نشانگر گستره‌ی کالکوالکالن برای این سری از سنگ‌هاست که به عنوان بخشی از مجموعه سنگ‌های آذرین حاشیه‌ی جزیره اقیانوسی محسوب می‌شود [۶]. بر اساس [۴]، سنگ‌های آذرین ناحیه ارغش در سه گروه شامل گدازه‌های آندزیتی تا ریوداسیتی پالئوسن فوقانی- ائوسن، واحدهای آذرآواری- آتشفشانی ائوسن بالایی و توده‌های نفوذی دیوریتی تا گرانودیوریتی ائوسن- الیگوسن قابل بررسی است.

در کانسار آنتیموان ارغش سنگ‌های آتشفشانی بیشتر از گدازه‌های آندزیتی تا ریوداسیتی پالئوسن فوقانی- ائوسن و به مقدار کمتر آگلومرا و برش آتشفشانی تشکیل شده است که دارای بیشترین رخنمون در بخش‌های شمالی و جنوبی منطقه- ی مورد بررسی است (شکل ۱- الف). توده‌های نفوذی گرانودیوریتی تا گرانیتی که بر اساس روابط چینه‌شناسی دارای سن ائوسن- الیگوسن هستند [۴]، سنگ‌های آتشفشانی را قطع کرده‌اند.

از نظر ساختاری، منطقه‌ی مورد بررسی در شمال گسل چپ لغز درونه و گسل راندگی تکنار قرار دارد. عملکرد این گسل‌ها و پیامدهای حاصل از آن بهم ریختگی شدیدی را در واحدهای سنگی منطقه پدید آورده و موجب گسل‌ها و درز و شکاف‌های فراوان شده است. این گسل‌ها در راستای شمال غربی- جنوب شرقی و جنوب غربی- شمال شرقی قرار گرفته‌اند. کانی‌سازی به‌طور کلی در راستای گسل‌ها صورت گرفته است و تحت تاثیر کنترل کننده‌های ساختاری قرار دارند.

برخوردارند. کالکوپیریت به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار با اندازه‌ی ۳۰ تا ۱۵۰ میکرون و همراه با پیریت‌های نوع اول دیده می‌شود (شکل ۳ - ج). اسفالریت به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار با اندازه‌ی ۵۰ تا ۱۰۰ میکرون همراه با کالکوپیریت و پیریت کانی سازی کرده است.

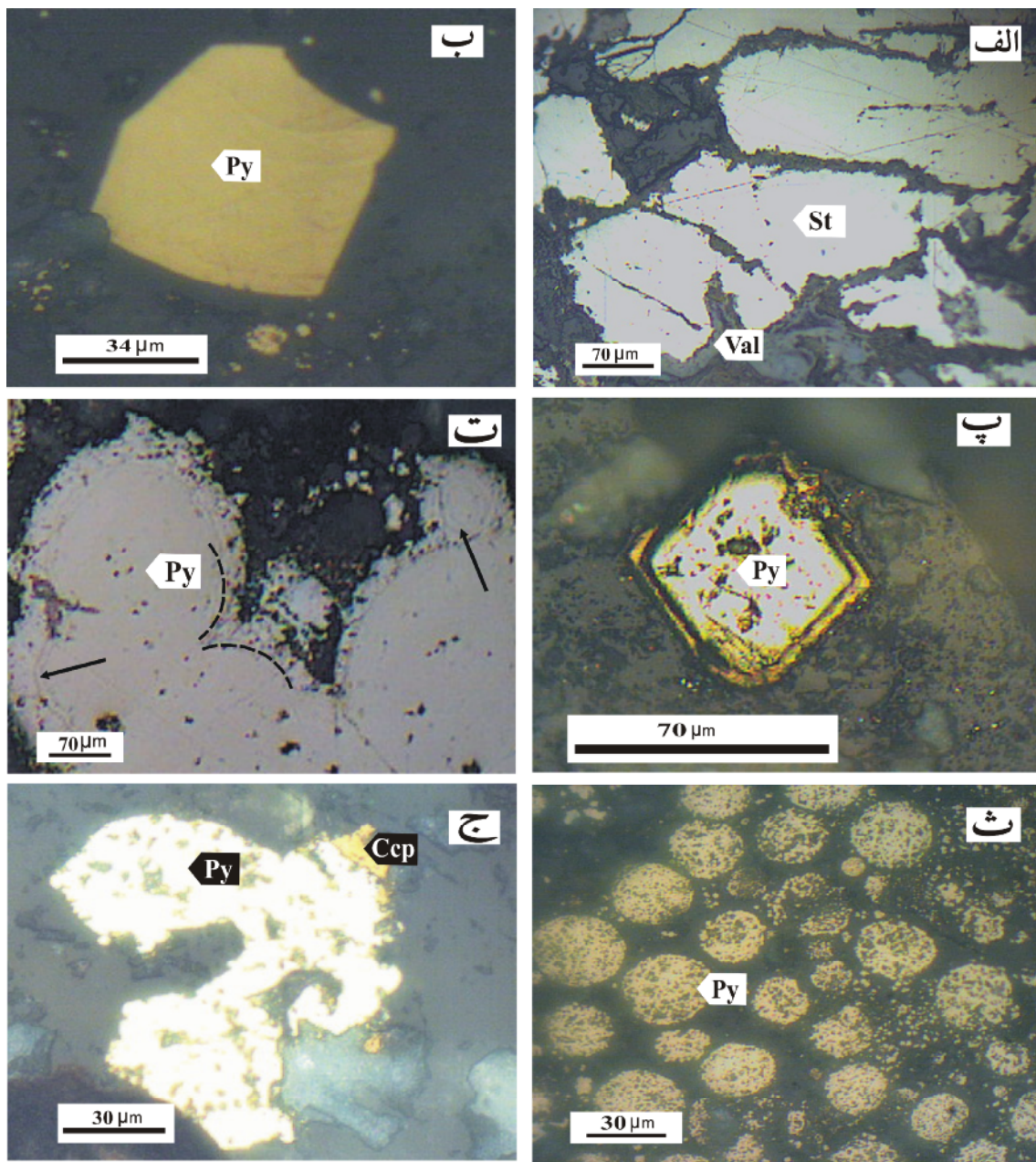
پر کرده‌اند (شکل ۳- ت) و نشان دهنده‌ی سردشدن سریع محلول‌های گرمایی غنی از سولفید آهن‌اند [۷]، [۴] پیریت‌های فرامبوییدی که به صورت رگچه‌های نازک در شکستگی‌های ریز موجود در کوارتز تشکیل شده‌اند (شکل ۳ - ث). کالکوپیریت و اسفالریت از کانی‌سازی محدودی در منطقه‌ی مورد بررسی



شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی از رخداد کانی‌سازی در گمانه‌های شماره ۳ و ۴. با افزایش عمق از ضخامت رگه کاسته شده و کانی‌سازی به صورت رگچه‌ای (الف، ب) و برش گرمایی (پ و ت) دیده می‌شود.

جدول ۱ دنباله‌ی پاراژنزی کانی‌ها در کانسار آنتیموان ارغش.

Mineral	Stage I	Stage II	Stage III	Stage IV	Supergene
Quartz	—				
Chalcopyrite	—				
Sphalerite	—				
Euhedral to subhedral pyrite	—				
Zoned pyrite		—			
Colloform pyrite			—		
Framboidal pyrite				—	
Stibnite		—	—		
Covelite					—
Fe oxides					—
Jarosite					—
Valentinite					—



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از بافت‌ها و کانی‌های مختلف در کانسار آنتیموان ارغش. الف) استینیت که از حاشیه در حال تبدیل به والتینیت است، ب) بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار پیریت، پ) پیریت‌های منطقه‌بندی شده، ت) پیریت‌های کلوفرمی، ث) انباشت‌هایی از پیریت‌های فرامبوییدی، ج) کالکوپیریت و پیریت. اختصارها: St = استینیت، Py = پیریت، Ccp = کالکوپیریت، Val = والتینیت. همه تصاویر در نور بازتاب قطبشی.

دگرسانی گرمابی

کانسار آنتیموان ارغش با دگرسانی گرمابی مشخصی همراه است. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی و پراش پرتو ایکس مجموعه‌ای از کانی‌های دگرسان شامل کوارتز، آدولاریا، ایلیت، کائولینیت، مونتموریلونیت، کلسیت، کلریت، اپیدوت و جاروسیت شناسایی شد.

کوارتز فراوانترین کانی گرمابی در منطقه‌ی مورد بررسی است که می‌تواند نشان دهنده‌ی دگرسانی سیلیسی باشد [۸]. این کانی به دو صورت جاننشینی در زمینه‌ی سنگ و گاه در بطن کانی‌های اولیه (شکل ۴-الف) و نهشت مستقیم در شکستگی‌ها و فضا‌های خالی سنگ دیده می‌شود (شکل ۴-ب). فراوانی کوارتز در نمونه‌های مورد بررسی متغیر و گاه تا بیش از ۷۰

درصد حجمی سنگ را در بر می‌گیرد. بررسی توزیع مکانی این دگرسانی در گمانه‌های اکتشافی و ارتباط آن با پدیده‌های کانی‌سازی نشان می‌دهد که با نزدیک شدن به رگه‌ها و رگچه‌های کانی‌ساز، بر شدت دگرسانی سیلیسی افزوده می‌شود. آدولاریا تنها فلدسپات گرمابی است که همراه با کوارتز گرمابی مشاهده شد (شکل ۴- پ). به عقیده‌ی رایز (۱۹۹۰) [۹] این کانی در pH نزدیک به خنثی تا قلیایی و در ارتباط با کانسارهای اپی ترمال نوع سولفیدی شدن پایین دیده می‌شود [۱۰، ۱۱]. حضور این کانی از شواهد رخداد جوشش و میعان بخارهای اسیدی است که باعث تبدیل ایلیت به آدولاریا می‌شود [۱۱، ۱۲].

ایلیت از متداولترین کانی‌های رسی در منطقه‌ی مورد بررسی است که به روش پراش پرتو ایکس شناسایی شد. این کانی که در دمای بیشتر از ۲۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و pH کمی اسیدی تا خنثی تشکیل می‌شود [۹، ۱۲، ۱۳] جانشین پلاژیوکلازها و فلدسپات پتاسیم شده‌است و دارای بیشترین گسترش در اطراف رگه‌ها و رگچه‌های کانی‌سازی است. بر اساس نتایج کانی‌شناسی، با افزایش عمق از فراوانی ایلیت کاسته شده و کانی‌های کلریت و اپیدوت دیده می‌شوند.

کائولینیت و مونتموریلونیت از دیگر کانی‌های رسی است که به روش پراش پرتو ایکس شناسایی شدند. کائولینیت در بخش‌های سطحی منطقه‌ی مورد بررسی گسترش یافته و به شدت کانی‌های فلدسپات و پلاژیوکلازها را جانشین کرده است. تشکیل کائولینیت در کانسارهای اپی‌ترمال به محلول‌های گرمابی- ماگمایی وابسته به سیستم‌های گرمابی نوع سولفیدی شدن بالا [۱۴]، میعان بخارهای داغ نزدیک سطح زمین [۱۳] و محلول‌های اسیدی حاصل از اکسایش کانی‌های سولفیدی [۱۵] نسبت داده می‌شود. با توجه به گسترش سطحی کائولینیت و نبود شواهدی دال بر کانی‌سازی نوع سولفیدی بالا در منطقه ارغش، به نظر می‌رسد تشکیل و گسترش کائولینیت بیشتر به میعان بخارهای داغ شکل گرفته است. مونتموریلونیت در تعدادی از نمونه‌های مورد بررسی شناسایی شد که نشانگر محیط‌های خنثی تا کمی قلیایی و تغییر شرایط pH از اسیدی به قلیایی است [۱۶].

کلسیت به دو صورت جانشینی به جای پلاژیوکلاز (شکل ۴-ت) و شکافه پرکن به صورت رگچه‌ای و پرکننده‌ی فضای

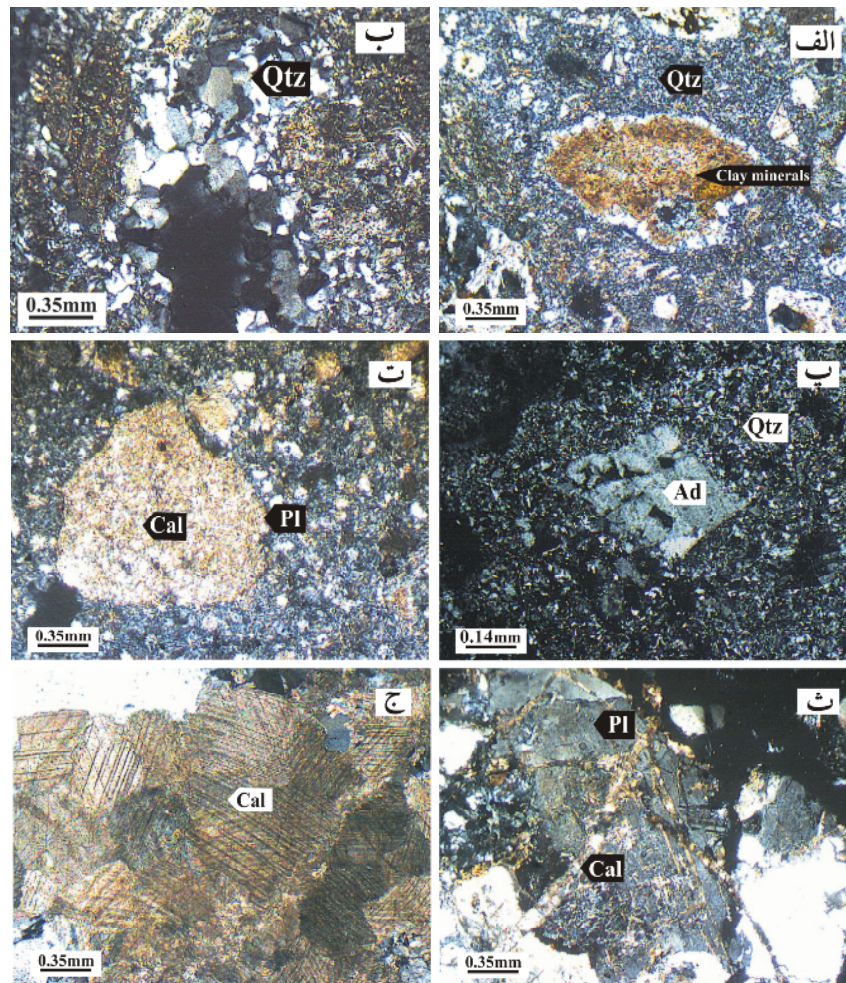
خالی (شکل ۴-ث) قابل مشاهده است. بلورهای صفحه‌ای این کانی نیز در تعدادی از نمونه‌ها و به ویژه همراه با برش‌های گرمابی مشاهده شد (شکل ۴-ج). حضور این کانی که در دامنه‌ی گسترده‌ی دمایی تشکیل می‌شود [۱۳] معرف شرایط قلیایی بر اثر رخدادهایی مانند جوشش و از دست رفتن CO₂ است که نقش مهمی در ته نشست این کانی دارد [۱۲].

کلریت و اپیدوت از دیگر کانی‌های حاصل از دگرسانی گرمابی است که اغلب با کلسیت همراه بوده و باعث دگرسانی پروپیلیتی در پیرامون رگه‌های کانی‌سازی، به ویژه در بخش‌های عمیق تر کانسار شده‌اند. کلریت معمولاً با نزدیک شدن به رگه‌ها بر فراوانی آن افزوده می‌شود و اغلب جانشین بیوتیت شده‌است. اپیدوت به صورت رگچه‌ای، پرکننده‌ی فضاهای خالی و جانشینی دیده می‌شود و با افزایش عمق بر فراوانی آن افزوده شده‌است. بر اساس [۱۳]، این کانی در حضور مقادیر بالای CO₂ و در بخش‌های عمیق تر سامانه‌های اپی ترمال در دمای بالاتر از ۲۵۰ °C تشکیل می‌شود.

حضور جاروسیت و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن ثانویه که در بخش‌های سطحی کانسار دیده می‌شوند و به سمت عمق از فراوانی آن‌ها کاسته می‌شود، طی بررسی‌های میکروسکوپی شناسایی و به روش پراش پرتو ایکس تأیید شدند.

توزیع مکانی مجموعه‌های دگرسان

دگرسانی‌های رسی، پروپیلیتی و سیلیسی، مهم‌ترین دگرسانی‌های وابسته به کانسار آنتیموان ارغش را تشکیل می‌دهند. برای بررسی توزیع مکانی این دگرسانی‌ها، دو برش عرضی در راستای گمانه‌های ۲-۳-۴ و گمانه‌های ۶-۷-۸ (شکل ۱-ب) انتخاب و کلیه اطلاعات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی وابسته به آن‌ها با یکدیگر تلفیق شد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که با نزدیک شدن به رگه‌ها و رگچه‌های کانی‌سازی بر شدت سیلیسی شدن سنگ دیواره افزوده می‌شود. دگرسانی رسی در بخش‌های سطحی منطقه و به‌طور محلی پیرامون رگه‌ها دارای بیشترین گسترش است و با دور شدن از رگه‌ها و افزایش عمق از شدت آن کاسته می‌شود. دگرسانی پروپیلیتی پیرامون دگرسانی‌های رسی و سیلیسی گسترش یافته است.



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی از مهمترین فراورده‌های دگرسانی گرمایی در کانسار آنتیموان ارغش. الف) جانشین‌های کوارتزهای ریزبلور در زمینه‌ی سنگ و در بطن کانی‌های اولیه، ب) نهشت مستقیم کوارتز در درزه‌ها و فضاهای خالی سنگ دیواره، پ) آدولاریا و کوارتز ریز بلور در سنگ دیواره، ت) جانشین‌های کلسیت به جای پلاژیوکلاز، ث) رگچه‌هایی از کلسیت که درشت بلورهای پلاژیوکلاز و سنگ دیواره را قطع کرده‌اند، ج) رخداد کلسیت‌های ورقه‌ای در برش‌های گرمایی. همه‌ی تصاویر در نور عبوری قطبیده. اختصارها: Qtz= کوارتز، clay minerals = کانی‌های رسی، Ad= آدولاریا، Cal= کلسیت، Pl= پلاژیوکلاز.

زمین شیمی کانسنگ

نتایج آمار توصیفی عناصر $As, Ba, Cu, Fe, Rb, S, Sb, Zn$ در ۳۱۶ نمونه برداشت شده از ۸ گمانه‌ی اکتشافی در جدول ۲ ارائه شده‌اند. بررسی ویژگی‌های زمین شیمیایی و الگوی توزیع مکانی این عناصر در هر یک از گمانه‌های مورد بررسی بیانگر روند تغییرات مشابه عناصر Ag, Zn است (شکل ۵) که با نتایج حاصل از همبستگی پیرسون که دلالت بر همبستگی مثبت بین این عناصر دارد، سازگار است. این بررسی‌ها همچنین نشان دهنده‌ی کانی‌سازی آنتیموان در عمق‌های کمتر از ۶۰ متری است که با افزایش عمق از مقدار آن به شدت کاسته می‌شود. بیشترین مقدار این

عصر در عمق ۳۷ متری گمانه‌ی ۵ با مقدار ۱/۸ درصد مشاهده شد. تلفیق داده‌های زمین شیمیایی و دگرسانی گرمایی دلالت بر افزایش مقدار آنتیموان در بخش‌های به شدت سیلیسی شده دارد که با حضور رگه‌های کوارتز-استینیت مشخص می‌شود. برای بررسی هرچه بهتر رابطه‌ی بین عناصر، کلیه داده‌های تجزیه‌ی شیمیایی بر مبنای تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، خوشه‌بندی شدند و عناصر در ۵ خوشه‌ی مختلف قرار گرفتند. هدف از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، دستیابی به ملاکی برای رده‌بندی مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها براساس تشابه هرچه بیشتر درون گروهی و اختلاف هرچه بیشتر بین گروهی است [۱۷]. خوشه‌بندی داده‌ها نشان می‌دهد که در اغلب گمانه‌های

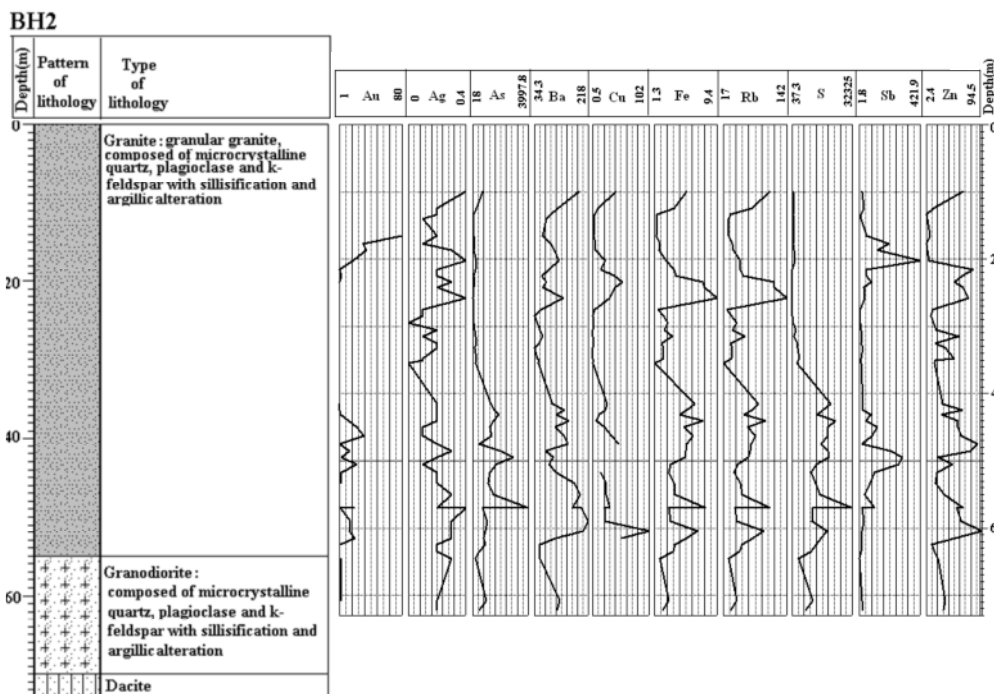
غلظت پایین فلزات پایه در این کانسار را می‌توان به شوری پایین محلول‌های کانی‌ساز نسبت داد. همبستگی مثبت بین عناصر Zn, Ag, As و Sb و شوری پایین محلول‌های کانی‌ساز پیشنهاد کننده‌ی رخداد کانی‌سازی اپی ترمال نوع سولفیدی شدن پایین در منطقه‌ی مورد بررسی است.

مورد بررسی عناصر Zn, Ag, As و Sb در خوشه‌های یکسان قرار می‌گیرند.

تحلیل داده‌های زمین شیمیایی در کانسار مورد بررسی نشان دهنده‌ی غلظت پایین فلزات پایه در این کانسار است که با نتایج کانی‌شناسی کانسنگ همخوانی دارد. بر اساس [۱۸]،

جدول ۲ نتایج آمار توصیفی برای عناصر اندازه‌گیری شده در ۳۱۶ نمونه برداشت شده از گمانه‌های اکتشافی در کانسار آنتیموان ارغش. غلظت طلا بر حسب بخش در بیلیون و سایر عناصر بر حسب بخش در میلیون است.

Au	Ag	As	Ba	Cu	Fe	Rb	S	Sb	Zn	Hg	
۵۱,۷۸	۰,۳۶۸	۴۷۱,۴۳	۱۶۶,۸۴	۳۳,۳۴	۳,۸۶	۷۱,۸۷	۶۷۰۳,۵۲	۱۹۹,۱۲	۴۵,۲۷	۰,۳۱	میانگین
۱۳	۰,۲	۲۱۲	۹۶,۶	۲۰,۵	۳,۵	۶۲,۳	۴۳۹۱,۴۵	۲۸,۴	۳۷,۸۵	۰,۲۴	میانه
۱	۰,۱	۱۶,۲	۵۹,۷	۰,۶	۳,۱	۰,۸	۳۷,۳	۵,۵	۲	۰,۰۵	مد
۱۰۵,۶۱	۱,۷۰	۶۳۳,۶۲	۱۷۵,۷۷	۵۲,۱۹	۱,۹۴	۶۷,۹۴	۷۲۲۴,۶۹	۱۲۳۸,۶۶	۴۳,۲۵	۰,۲۸	انحراف معیار
۱۱۱۵۳	۲,۸۹	۴۰۱۴۷۹	۳۰۸۹۷,۶	۲۷۲۴,۵۹	۳,۷۹	۴۶۱۶,۸۱	۵۲۱۹۶۱۸۶	۱۵۳۴۲۸۱	۱۸۷۰,۷۱	۰,۰۸۳	واریانس
۴,۴۱	۱۶,۶۲	۲,۳۲	۲,۳۰	۶,۳۳	۲,۶۹	۸,۳۱	۱,۸۰	۱۱,۷۱	۳,۱۷	۱,۷۰	چولگی
۲۶,۴۵	۲۸۶,۵۵	۶,۶۷	۵,۰۵۹	۵۸,۳۸	۱۸,۶۳	۱۰۸,۷۶	۴,۲۸	۱۵۵,۰۱	۱۶,۶	۳,۲۷	کشیدگی
۸۹۹	۲۹,۸	۳۹۹۱,۷	۱۰۱۹	۶۲۵,۸	۲۰,۱	۹۹۵,۶	۴۲۶۳۹	۱۸۲۸۰	۳۷۰,۹	۱,۳۲	دامنه
۱	۰	۶,۱	۳۱,۵	۰,۵	۱	۰,۸	۳۷,۳	۰,۶	۱	۰,۰۵	مینیمم
۹۰۰	۲۹,۸	۳۹۹۷	۱۰۵۰,۵	۶۲۶,۳	۲۱,۱	۹۹۶,۴	۴۲۶۷۷	۱۸۲۸۱	۳۷۱,۹	۱,۳۷	ماکزیمم



شکل ۵ نمونه‌ای از ستون لیتولوژی و نمودارهای تغییرات مقدار عناصر در گمانه‌های مورد بررسی. در این شکل لیتولوژی و تغییرات مقدار عناصر در گمانه‌ی پی‌جویی شماره‌ی ۲ نشان داده شده‌است. غلظت طلا بر حسب بخش در بیلیون و عناصر دیگر بر حسب بخش در میلیون است.

بحث و برداشت

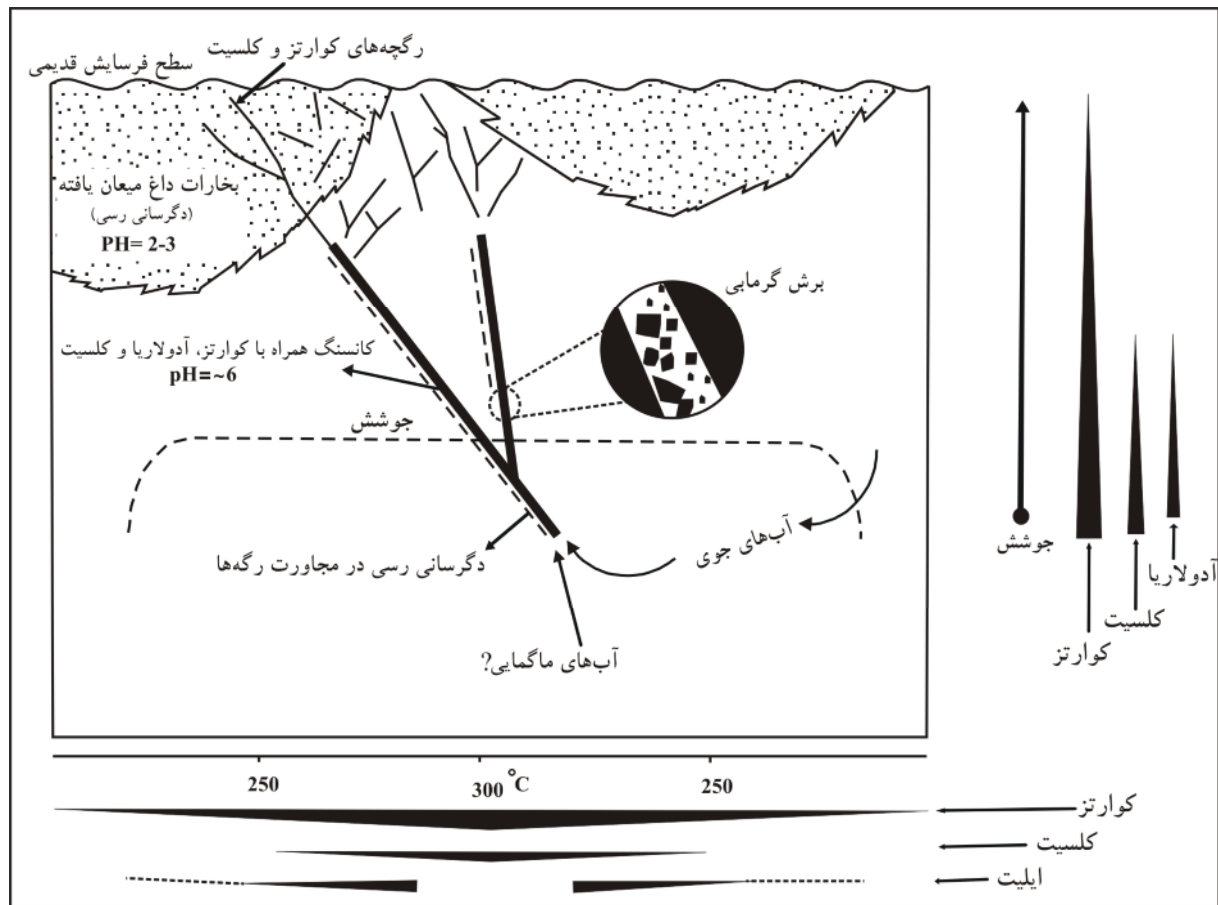
کانی‌سازی در کانسار آنتیموان ارغش از نوع شکافه پرکن است و به شکل رگه، رگچه و برش‌های گرمایی تظاهر دارد. بررسی توزیع مکانی رگه‌ها، رگچه‌ها و برش‌های گرمایی نشانگر نقش گسل‌ها در توزیع مکانی کانی‌سازی است. گسل خوردگی و گسترش زون‌های گسلی با افزایش نفوذپذیری سنگ‌ها و سهولت گردش محلول‌های گرمایی باعث گسترش زون‌های دگرسان شده‌است. بررسی مجموعه‌های دگرسان نشان دهنده-ی دگرسانی‌های رسی، پروپیلیتی و سیلیسی شدن است که نسبت به رگه‌های کوارتز-استینیت دارای منطقه‌بندی بوده و می‌توان آن را به عنوان یک ابزار پی‌جویی مورد استفاده قرار داد. سیلیسی شدن سنگ دیواره با نزدیک شدن به رگه‌ها شدیدتر شده و با تمرکز رگه‌ها و رگچه‌های کوارتز-استینیت در این زون مشخص می‌شود. دگرسانی رسی در بخش‌های سطحی کانسار و اغلب در پیرامون مناطق سیلیسی گسترش دارد. دگرسانی پروپیلیتی در پیرامون دگرسانی‌های رسی و سیلیسی گسترش یافته است.

نتایج حاصل از بررسی‌های کانی‌شناسی و دگرسانی گرمایی در کانسار آنتیموان ارغش نشان دهنده‌ی نقش محلول‌های گرمایی با pH نزدیک به خنثی تا کمی قلیایی [۱۴] در این کانسار است. با توجه به حضور کانی‌های کلریت و اپیدوت در مجموعه‌های دگرسانی گرمایی، به نظر می‌رسد این محلول‌ها در دمای بیشتر از 250°C [۱۲] باعث دگرسانی سنگ‌ها و پدید آمدن این کانی‌ها در بخش‌های عمیق‌تر سامانه گرمایی شده‌اند. با مهاجرت محلول گرمایی به سمت بالا و کاهش دما، مجموعه‌ای از کانی‌های رسی، ایلیت، کوارتز و کلسیت تشکیل شده‌است. بررسی مجموعه‌های دگرسانی گرمایی در گمانه‌های پی‌جویی منطقه‌ی مورد بررسی پیشنهاد کننده‌ی تغییرات دمایی قائم از دمای بیش از 250°C در عمق کانسار (حضور کلریت و اپیدوت) به 220°C در بخش میانه (حضور ایلیت) و احتمالاً کمتر از 220°C در بخش بالایی کانسار است. البته حضور اسمکتیت و یا کانی‌های میان لایه ایلیت-اسمکتیت که در دامنه‌ی دمایی 140°C تا 220°C تشکیل می‌شوند [۱۹]،

در این بررسی شناسایی نشد و می‌تواند پیشنهاد کننده‌ی از بین رفتن بخش بالایی کانسار طی فرایندهای هوازگی و فرسایش باشد.

شواهد بافتی و کانی‌شناسی در منطقه‌ی مورد بررسی نشان دهنده‌ی نقش جوشش و سردشدن محلول‌های گرمایی در نهشت کانسنگ است. جوشش بر اثر افت ناگهانی فشار به وقوع پیوسته که با حضور برش‌های گرمایی، آدولاریا، کلسیت ورقه‌ای و کوارتز ریز دانه [۲۰، ۲۱] در منطقه‌ی مورد بررسی مشخص می‌شود. میعان مواد فرار و بخارهای داغ غنی از CO_2 در زون‌های وادوز که طی جوشش محلول‌های گرمایی از آن جدا می‌شوند باعث تشکیل آب‌های اسیدی می‌شود [۱۲]. این آب‌های اسیدی یکی از عوامل موثر در تشکیل کائولینیت در کانسارهای اپی‌ترمال است که در منطقه‌ی مورد بررسی در بخش‌های سطحی کانسار با تأثیر بر زون‌های دگرسان قبلی باعث تشکیل کائولینیت و گسترش دگرسانی رسی در بخش‌های سطحی کانسار شده‌است.

بررسی کانی‌شناسی کانسنگ و داده‌های زمین شیمیایی نشان دهنده‌ی کانی‌سازی بسیار ضعیف فلزات پایه در کانسار آنتیموان ارغش است که می‌تواند معرف شوری پایین گرمایی‌ها باشد [۱۸]. تلفیق این داده‌ها با نتایج حاصل از بررسی‌های زمین‌شناسی و دگرسانی گرمایی پیشنهاد کننده‌ی کانی‌سازی اپی‌ترمال از نوع سولفیدی شدن پایین در کانسار آنتیموان ارغش است. در شکل ۶ مدل پیشنهادی شکل‌گیری این کانسار نشان داده شد. مقایسه‌ی کانسار آنتیموان ارغش با کانسارهایی مانند گولدن کراس در نیوزیلند، [۲۲، ۲۳] بیانگر نقش توده‌های نفوذی فلسیک در فعالیت‌های گرمایی در منطقه‌ی مورد بررسی است. این توده‌ها می‌توانند منجر به تشکیل گرمایی‌های غنی از مواد فرار و احتمالاً عناصر کانسار ساز شده و گرمای مورد نیاز برای مهاجرت گرمایی‌های غنی از عناصر کانی‌ساز را فراهم نمایند [۲۴]. نتایج حاصل از بررسی‌های ایزوتوپی گوگرد و اکسیژن روی تعدادی از نمونه‌های وابسته به رگه‌های کوارتز-استینیت ارغش که توسط [۵] به انجام رسید، بیانگر نقش آب‌های جوی در کانی‌سازی این رگه‌هاست.



شکل ۶ مدل پیشنهادی شکل‌گیری کانسار آنتیموان ارغش (بدون مقیاس).

رهیافتهای اکتشافی

بررسی دگرسانی گرمابی و توزیع مکانی مجموعه‌های دگرسان در گمانه‌های اکتشافی بیانگر منطقه بندی زون-های دگرسان در اطراف رگه‌های کانی‌سازی است که می‌توان از آن به عنوان یک ابزار اکتشافی استفاده کرد. فرایندهای کانی‌سازی در ارتباط با دگرسانی سیلیسی از شدت بیشتری برخوردار است که با تمرکز رگه‌ها و رگچه‌های کوارتز-استیبینیت و افزایش مقدار آنتیموان در زون‌های به شدت سیلیسی شده مشخص می‌شود. بررسی الگوی توزیع مکانی عناصر در گمانه‌های مختلف نشان دهنده روند تغییرات مشابه عناصر As, Ag, Zn و Sb از سطح به عمق است که با نتایج حاصل از بررسی همبستگی این عناصر و خوشه‌بندی آن‌ها همخوانی دارد.

از اینرو می‌توان از این عناصر به عنوان عناصر ردیاب در شناسایی مناطقی که واجد کانی‌سازی آنتیموان است، استفاده کرد. از آنجا که جوشش یکی از فرایندهای موثر در نهشت کانسنگ است، از اینرو شناسایی زون‌های جوشش اهمیت دارد. تشکیل کائولینیت و دگرسانی رسی وابسته به بخارهای داغ میعان یافته می‌تواند یکی از معیارهای صحرائی مفید در تشخیص زون‌های جوشش و کانی‌سازی وابسته به آن باشد.

مراجع

- [۱] پورلطیفی ع، "گزارش نقشه زمین‌شناسی منطقه ارغش، جنوب نیشابور با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، گزارش انتشار نیافته، (۱۳۷۷) ص. ۱۱۵.

and depositional environment of the Paleocene epithermal Au-Ag deposits of the El Barqueno district, Jalisco, Mexico", *Economic Geology* 101 (2006) 235-247.

[12] Hedenquist J.W., Arribas R.A., Gonzales-Urien E., "Exploration for epithermal gold deposits", *SEG reviews* 13 (2000) 245-277.

[13] White N.C., Hedenquist J.W., "Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration", *Society of Economic Geologists Newsletter* 23 (1995) 9-13.

[14] Simmons S. F., White N. C., John D. A., "Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits", *Economic Geology* 100th Anniversary (2005) 485-522 .

[15] Hedenquist J.F., Arribas A., Reynolds T.J., "Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system; Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines", *Economic Geology* 93 (1998) 373-404.

[۱۶] میسون ب.، کارلتون ب.م.، "اصول ژئوشیمی" مترجم: مرف.، شرفی ع.ا.، انتشارات دانشگاه شیراز، (۱۳۸۳) ۵۶۶ص.

[17] Davice C., "Statistics and Data Analysis in Geology", Third edition. John Wiley& Sons Inc, 638 (2002).

[18] Albinson T., Norman D.I., Cole D., Chomiak B., "Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: constraints from fluide inclusion and stable isotope data", *Society of Economic Geology* 8 (2001) 1-32.

[19] Brown P.R.L., Ellis .A.J., "The Ohaki-Broadlands geothermal area, New Zealand: Mineralogy and related geochemistry", *American Journal of Science* 269 (1970) 97-131.

[20] Simmons SF., Christenson BW., "Origins of calcite in a boiling geothermal system", *AM J Sci* 294 (1994) 361-400.

[21] Dong G., Morrison G., Jaireth S., "Quartz textures in epithermal veins, Queensland: classification, origin, and implication", *Economic Geology* 90 (1995) 1841-1856.

[۲] کوثری س.، "اکتشافات ژئوشیمیایی نیمه تفضیلی منطقه ارغش، طرح اکتشاف طلا، جنوب نیشابور"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، جلد اول (۱۳۷۷).

[۳] شمعیان غ.ح.، "گزارش اکتشافات چکشی منطقه ارغش، جنوب نیشابور با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، گزارش انتشار نیافته، (۱۳۷۷) ۷۵ص.

[۴] کیوانفر م.، عسکری ع.، "گزارش نقشه زمین‌شناسی - معدنی ۱:۵۰۰۰ ناحیه معدنی ارغش- چشمه زرد، جنوب نیشابور، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، گزارش انتشار نیافته، (۱۳۷۹) ۴۶ص.

[5] Ashrafpour E., Ansedell K.M., Alirezaei S., "Sulfur, carbon and oxygen Isotope Variations of Sulfide and carbonate in Argash Gold prospect, Southwest Neishabour, Northeastern Iran", *Geosciences, Quarterly Journal of the Geological Survey of Iran* 70 (1386) 174-183.

[6] Spices O., Lench G., Mihm A., "Geochemistry of the post -ophiolitic Tertiary volcanic between Sabzevar and Quchan/NE-Iran", *Geological survey of Iran, report No, 51* (1983) 247-267.

[7] Simmons S.F., Browne R.L., "Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadland Ohaaki geothermal system implication for understanding low sulfidation epithermal environments", *Economic Geology* 95 (2000) 971-999.

[8] Aral H., "Antimony mineralization in the Northern Murat Dagi (Western Turkey)", *Economic Geology* 84 (1989) 780-787.

[9] Reyes A.G., "Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 43 (1990) 279-309

[10] Buchanan L.J., "Precious metal deposits associated with volcanic environments in the southwest", *Arizona Geological Society Digest* 14 (1981) 237-262.

[11] Gamprubi A., Partida E.G., Iriondo A., Levresse G., "Mineralogy, fluid characteristics,

841-871.

[24] Kuscu I., Erler A., "Pyrite Deformation Textures in the Deposits of the Küre Mining District (Kastamonu-Turkey)", Turkish Journal of Earth Sciences 11 (2002) 205-215.

[25] Ortega L., Oyarzun R., Gallego M., "The Mari Rosa late Hercynian Sb-Au deposit, western Spain Geology and geochemistry of the mineralizing processes", Miner Deposita 3 (1996) 172-187.

[22] Simpson M.P., Mauk G.L., Simmons S.F., "Hydrothermal Alteration and Hydrologic Evolution of the Golden Cross Epithermal Au-Ag Deposit, New Zealand", Economic Geology 96 (2001) 773-796.

[23] Mauk J.L., Simpson M.P., "Geochemistry and Stable isotope composition of altered rocks at the Golden Cross epithermal Au-Ag deposit, New Zealand", Economic Geology 102 (2007)