



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 شده‌است. این کانسار در مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی وابسته به ائوسن تا الیگوسن تشکیل شده‌است. کانی‌سازی از نوع پرکننده‌ی فضای خالی است و به‌صورت رگه‌ها، رگچه‌های نامنظم و برش‌های گرمایی رخنمون دارد. کانی‌شناسی رگه‌ها نسبتاً ساده است و استیبنیت کانی اولیه آنتیموان‌دار است. کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت سولفیدهای دیگری هستند که همراه با استیبنیت 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 As ، Ag ، Zn 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 شده‌است. این داده‌ها نشان می‌دهد که جوشش و سردشدگی محلول گرمایی از مهم‌ترین فرایندهای نهشت کانسنگ در منطقه‌ی مورد بررسی است.

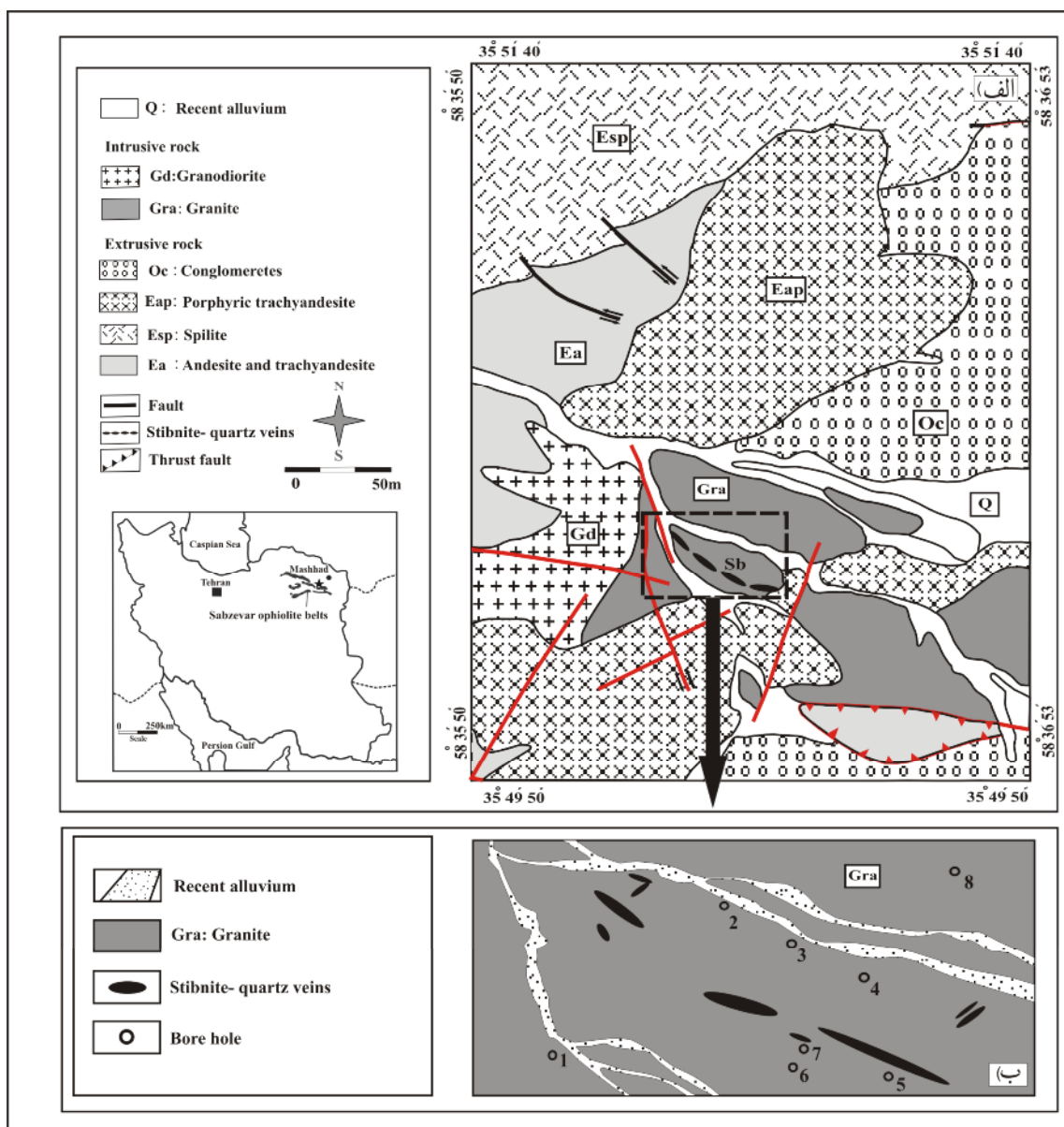
واژه‌های کلیدی: اپی‌ترمال؛ دگرسانی؛ استیبنیت؛ سردشدن؛ جوشش؛ ارغش.

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 $35^{\circ} 40'$ 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 سامانه-های 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 پاراژنری

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 پاراژنری 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، والنتینیت 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 والنتینیت (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

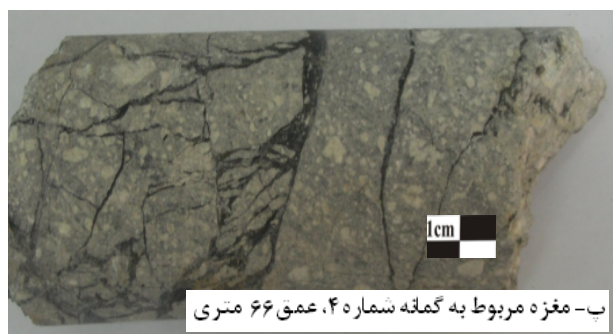
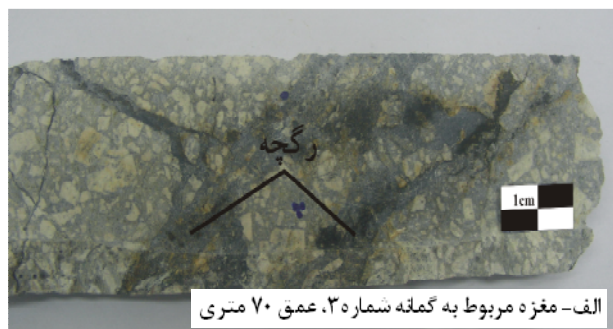
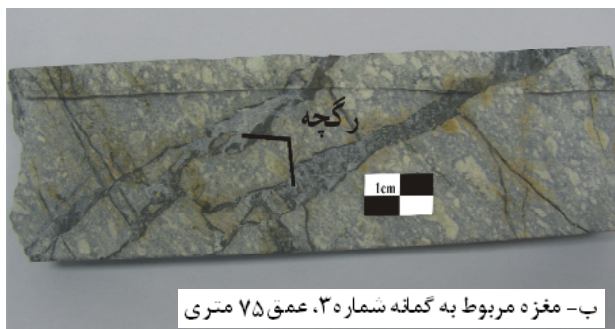
مجموعه سنگ‌های آذرین ناحیه‌ی ارغش شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی ائوسن- الیگوسن است که درون زون سبزوآر تزریق شده‌اند. مقایسه‌ی ویژگی‌های زمین شیمیایی این مجموعه با گدازه‌ها و مواد آذرآواری آندزیتی زون سبزوآر نشانگر گستره‌ی کالکوالکالن برای این سری از سنگ‌هاست که به عنوان بخشی از مجموعه سنگ‌های 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.

برخورد دارند. 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 کانی‌سازی کرده است.

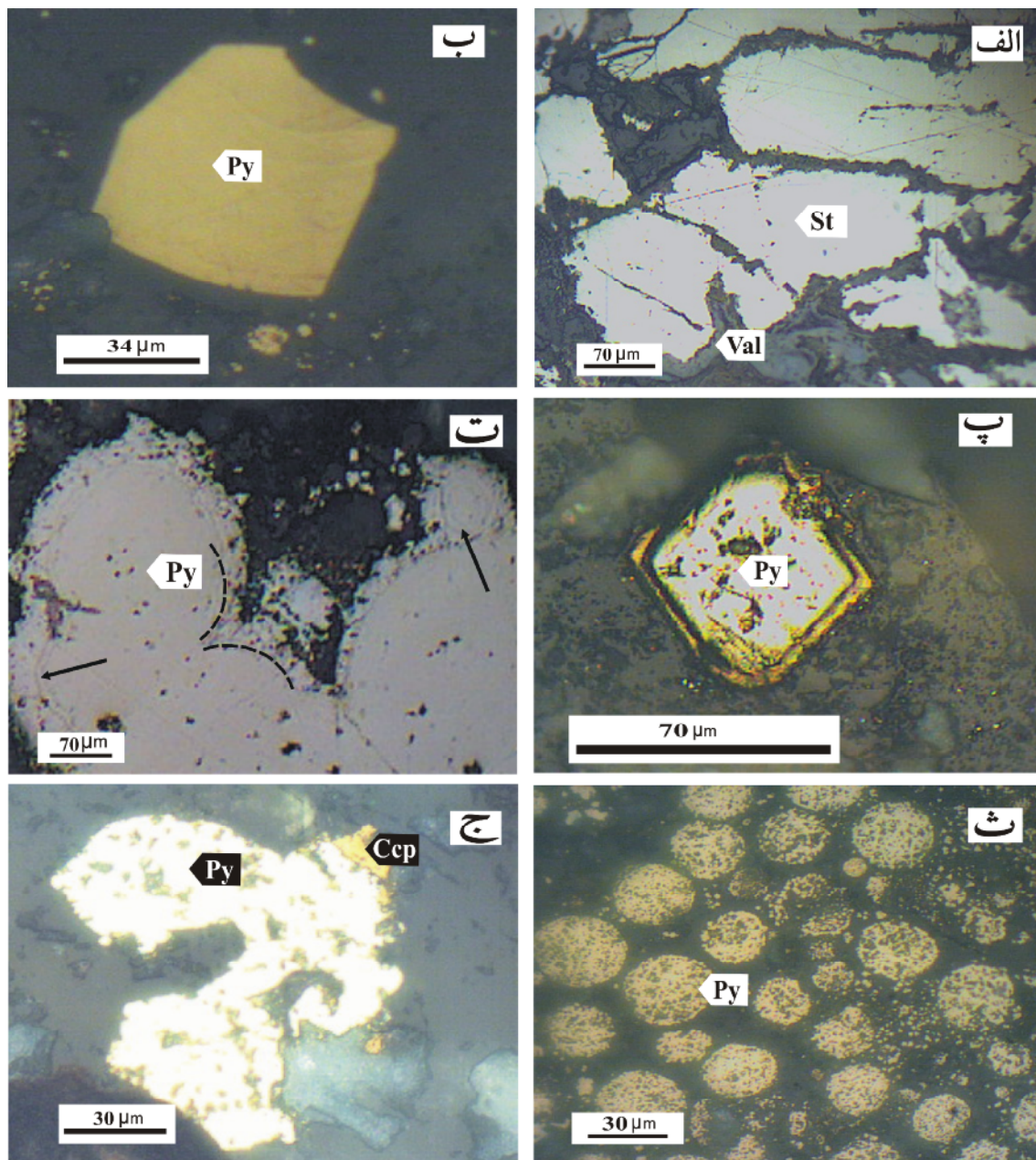
پر کرده‌اند (شکل ۳- ت) و نشان دهنده‌ی سردشدن سریع محلول‌های گرمایی غنی از سولفید آهن‌اند [۷، ۴]. پیریت‌های فرامیویدی که به صورت رگچه‌های نازک در شکستگی‌های ریز موجود در کوارتز تشکیل شده‌اند (شکل ۳ - ث). کالکوپیریت و اسفالریت از کانی‌سازی محدودی در منطقه‌ی مورد بررسی



شکل ۲ تصاویر ماکروسکوپی 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 جانیشینی 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 می گیرد. بررسی توزیع مکانی این دگرسانی در گمانه های اکتشافی و ارتباط آن با پدیده های کانی سازی نشان می دهد که با نزدیک شدن به رگه ها و رگچه های کانی ساز، بر شدت دگرسانی سیلیسی افزوده می شود. آدولاریا تنها فلدسپات گرمابی است که همراه با کوارتز گرمابی مشاهده شد (شکل ۴- پ). به عقیده ی رایز (۱۹۹۰) [۹] این کانی در pH نزدیک به خنثی تا قلیایی و در ارتباط با کانسارهای اپی ترمال نوع سولفیدی شدن پایین دیده می شود [۱۰، ۱۱]. حضور این کانی از شواهد رخداد جوشش و میعان بخارهای اسیدی است که باعث تبدیل ایلیت به آدولاریا می شود [۱۱، ۱۲].

ایلیت از متداولترین کانی های رسی در منطقه ی مورد بررسی است که به روش پراش پرتو ایکس شناسایی شد. این کانی که در دمای بیشتر از ۲۲۰ درجه ی سانتی گراد و pH کمی اسیدی تا خنثی تشکیل می شود [۹، ۱۲، ۱۳] جانشین پلاژیوکلازها و فلدسپات پتاسیم شده است و دارای بیشترین گسترش در اطراف رگه ها و رگچه های کانی سازی است. بر اساس نتایج کانی شناسی، با افزایش عمق از فراوانی ایلیت کاسته شده و کانی های کلریت و اپیدوت دیده می شوند.

کائولینیت و مونتموریلونیت از دیگر کانی های رسی است که به روش پراش پرتو ایکس شناسایی شدند. کائولینیت در بخش های سطحی منطقه ی مورد بررسی گسترش یافته و به شدت کانی های فلدسپات و پلاژیوکلازها را جانشین کرده است. تشکیل کائولینیت در کانسارهای اپی ترمال به محلول های گرمابی- ماگمایی وابسته به سیستم های گرمابی نوع سولفیدی شدن بالا [۱۴]، میعان بخارهای داغ نزدیک سطح زمین [۱۳] و محلول های اسیدی حاصل از اکسایش کانی های سولفیدی [۱۵] نسبت داده می شود. با توجه به گسترش سطحی کائولینیت و نبود شواهدی دال بر کانی سازی نوع سولفیدی بالا در منطقه ارغش، به نظر می رسد تشکیل و گسترش کائولینیت بیشتر به میعان بخارهای داغ شکل گرفته است. مونتموریلونیت در تعدادی از نمونه های مورد بررسی شناسایی شد که نشانگر محیط های 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 رگچه ای و پرکننده ی فضای

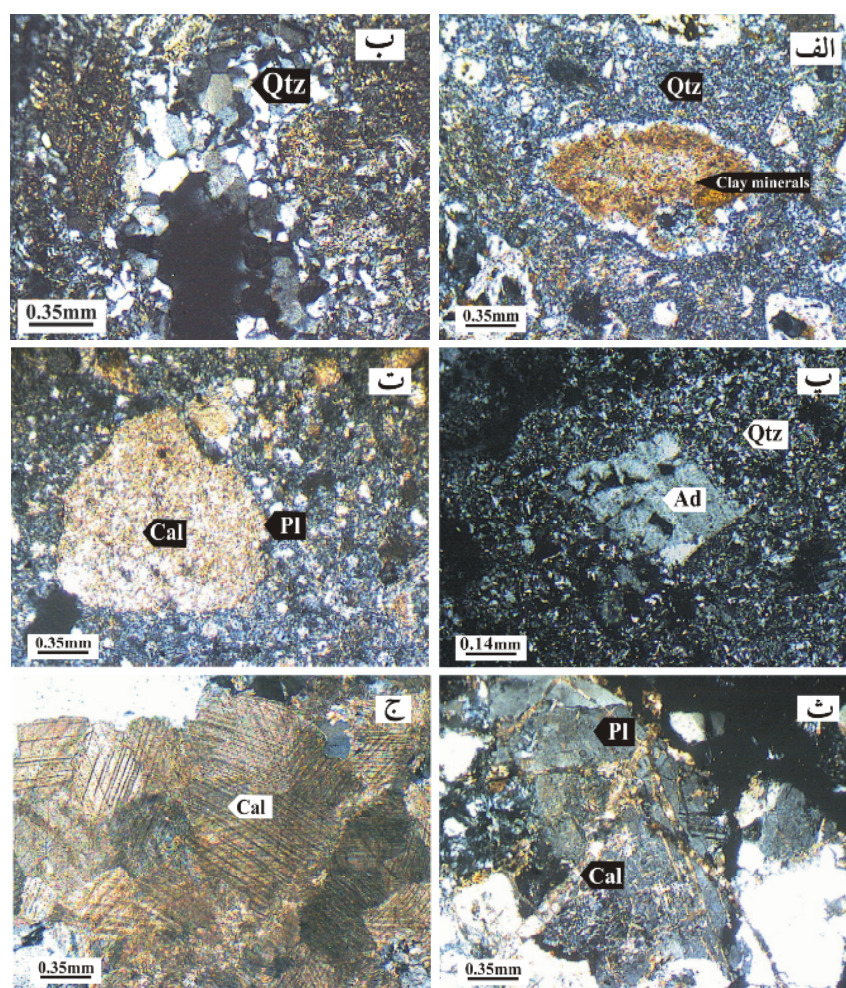
خالی (شکل ۴-ث) قابل مشاهده است. بلورهای صفحه ای این کانی نیز در تعدادی از نمونه ها و به ویژه همراه با برش های گرمابی مشاهده شد (شکل ۴-ج). حضور این کانی که در دامنه ی گسترده ی دمایی تشکیل می شود [۱۳] معرف شرایط قلیایی بر اثر رخدادهایی مانند جوشش و از دست رفتن CO₂ است که نقش مهمی در ته نشست این کانی دارد [۱۲].

کلریت و اپیدوت از دیگر کانی های حاصل از دگرسانی گرمابی است که اغلب با کلسیت همراه بوده و باعث دگرسانی پروپیلیتی در پیرامون رگه های کانی سازی، به ویژه در بخش های عمیق تر کانسار شده اند. کلریت معمولاً با نزدیک شدن به رگه ها بر فراوانی آن افزوده می شود و اغلب جانشین بیوتیت شده است. اپیدوت به صورت رگچه ای، پرکننده ی فضاهای خالی و جانشینی دیده می شود و با افزایش عمق بر فراوانی آن افزوده شده است. بر اساس [۱۳]، این کانی در حضور مقادیر بالای CO₂ و در بخش های عمیق تر سامانه های اپی ترمال در دمای بالاتر از ۲۵۰ °C تشکیل می شود.

حضور جاروسیت و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن ثانویه که در بخش های سطحی کانسار دیده می شوند و به سمت عمق از فراوانی آن ها کاسته می شود، طی بررسی های میکروسکوپی شناسایی و به روش پراش پرتو ایکس تایید شدند.

توزیع مکانی مجموعه های دگرسان

دگرسانی های رسی، پروپیلیتی و سیلیسی، مهم ترین دگرسانی های وابسته به کانسار آنتیموان ارغش را تشکیل می دهند. برای بررسی توزیع مکانی این دگرسانی ها، دو برش عرضی در راستای گمانه های ۲-۳-۴ و گمانه های ۶-۷-۸ (شکل ۱-ب) انتخاب و کلیه اطلاعات سنگ شناسی و کانی شناسی وابسته به آن ها با یکدیگر تلفیق شد. نتایج این بررسی نشان می دهد که با نزدیک شدن به رگه ها و رگچه های کانی سازی بر شدت سیلیسی شدن سنگ دیواره افزوده می شود. دگرسانی رسی در بخش های سطحی منطقه و به طور محلی پیرامون رگه ها دارای بیشترین گسترش است و با دور شدن از رگه ها و افزایش عمق از شدت آن کاسته می شود. دگرسانی پروپیلیتی پیرامون دگرسانی های رسی و سیلیسی گسترش یافته است.



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی از مهمترین فراورده‌های دگرسانی گرمایی در کانسار آنتیموان ارغش. الف) جانشینی 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) جانشینی 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, As و Sb 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

عنصر 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].

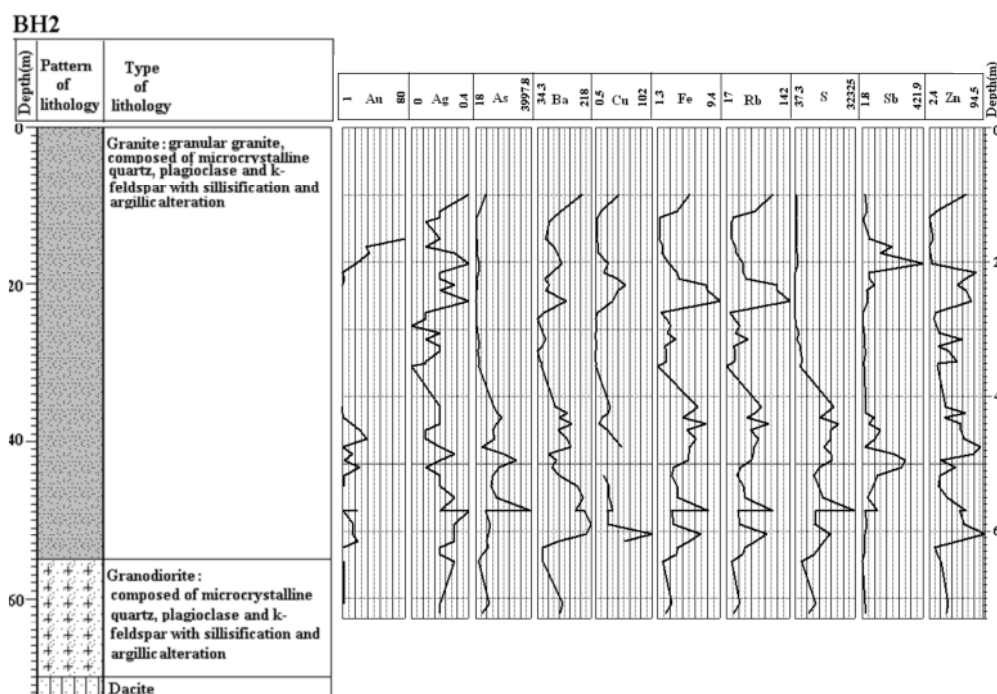
غلظت پایین فلزات پایه در این کانسار را می‌توان به شوری پایین محلول‌های کانی‌ساز نسبت داد. همبستگی مثبت بین عناصر Zn , Ag , As و Sb و شوری پایین محلول‌های کانی‌ساز پیشنهاد کننده‌ی رخداد کانی‌سازی اپی ترمال نوع سولفیدی شدن پایین در منطقه‌ی مورد بررسی است.

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 بلیون 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 بلیون و عناصر دیگر بر حسب بخش در میلیون است.

بحث و برداشت

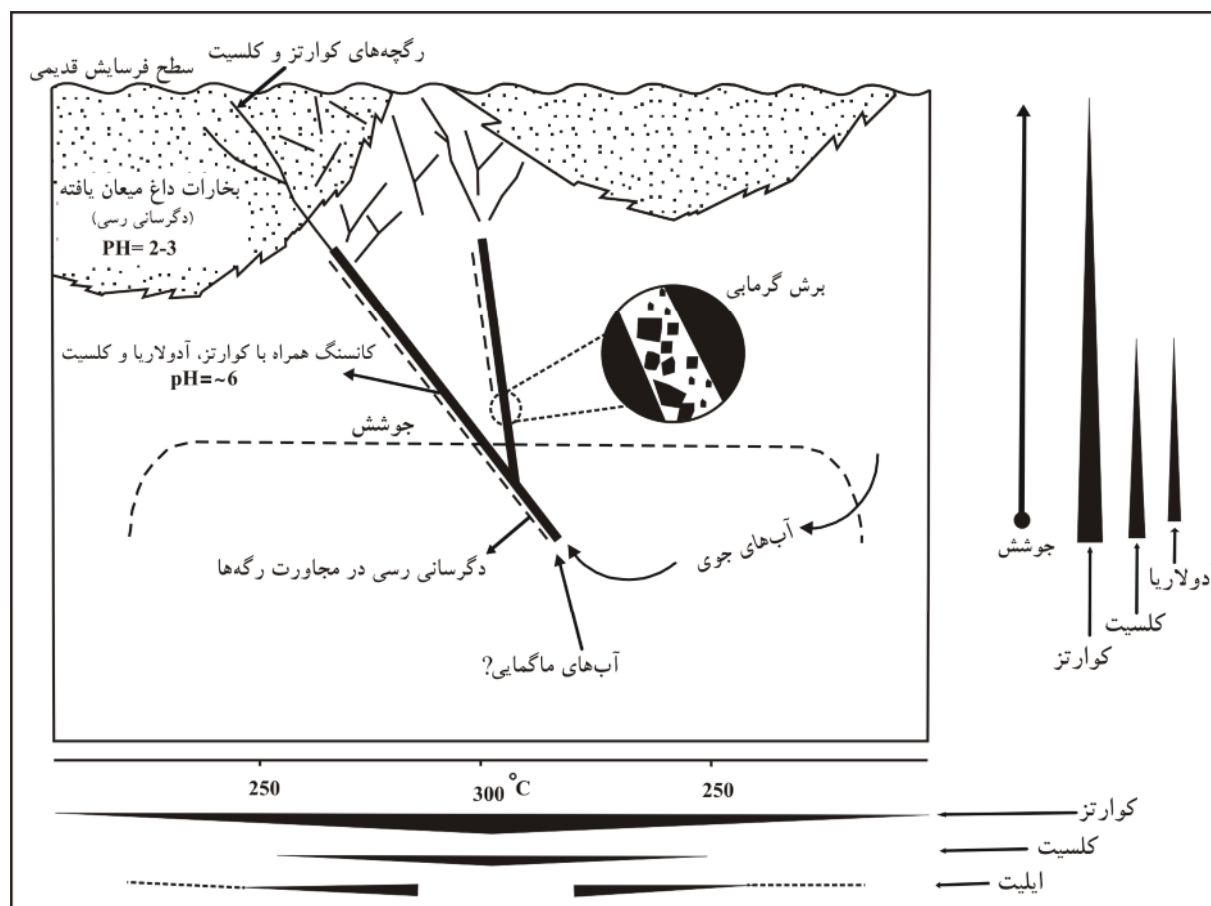
کانی‌سازی در کانسار آنتیموان ارغش از نوع شکافه پرکن است و به شکل رگه، رگچه و برش‌های گرمایی تظاهر دارد. بررسی توزیع مکانی رگه‌ها، رگچه‌ها و برش‌های گرمایی نشانگر نقش گسل‌ها در توزیع مکانی کانی‌سازی است. گسل خوردگی و گسترش زون‌های گسلی با افزایش نفوذپذیری سنگ‌ها و سهولت گردش محلول‌های گرمایی باعث گسترش زون‌های دگرسان شده‌است. بررسی مجموعه‌های دگرسان نشان دهنده‌ی دگرسانی‌های رسی، پروپیلیتی و سیلیسی شدن است که نسبت به رگه‌های کوارتز- استیبنیت 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- استیبنیت 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 هوازدگی 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 زمین شناسی 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- استیبنیت 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 صحرایی 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) ۱۱۵ص.

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] Dvice 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 fluid 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.ج.، "گزارش اکتشافات چکشی منطقه ارغش، جنوب نیشابور با مقیاس ۱:۲۰۰۰، 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)