



کالن‌سازی اپی‌ترمال آنتیموان در منطقه‌ی ارغش: کالن‌شناسی، دگرسانی و زمین‌شیمی

فرزانه نوری اصل^۱، غلامحسین شمعانیان^{*}، 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

(دريافت 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 آتشفسانی و نفوذی وابسته به ائوسن تا الیگوسن تشکیل شده‌است. کالن‌سازی از نوع پرکننده‌ی فضای خالی است و به صورت رگه‌ها، رگچه‌های نامنظم و برش‌های گرمابی رخنمون دارد. کالن‌شناسی رگه‌ها نسبتاً ساده است و استیبنیت کالن اولیه آنتیموان دار است. کالن‌های پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت سولفیدهای دیگری هستند که همراه با استیبنیت یافت می‌شوند. کوارتز، ایلیت، آدولاریا، کلریت، اپیدوت، کلسیت و کائولینیت مهمترین کالن‌های باطنی گرمابی را تشکیل می‌دهند که در اطراف رگه‌ها تشکیل شده‌اند. دگرسانی گرمابی در اطراف رگه‌ها دارای منطقه بندی 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 دهنده‌ای همبستگی مثبت بین عناصر Zn، As و Sb و الگوی توزیع مشابه این عناصر در گمانه‌های مورد بررسی است. ویژگی‌های کالن‌شناسی، دگرسانی و زمین‌شیمیایی منطقه‌ی موربد بررسی و مقایسه‌ی آن با کانسارهای اپی‌ترمال نشان می‌دهد که سامانه‌ی رگه‌ای کوارتز- آنتیموان ارغش در یک محیط اپی‌ترمال از نوع سولفیدی شدن پایین تشکیل شده‌است. این داده‌ها نشان می‌دهد که جوشش و سردشدگی محلول گرمابی از مهمترین فرایندهای نهشت کانسنگ در منطقه‌ی موربد بررسی است.

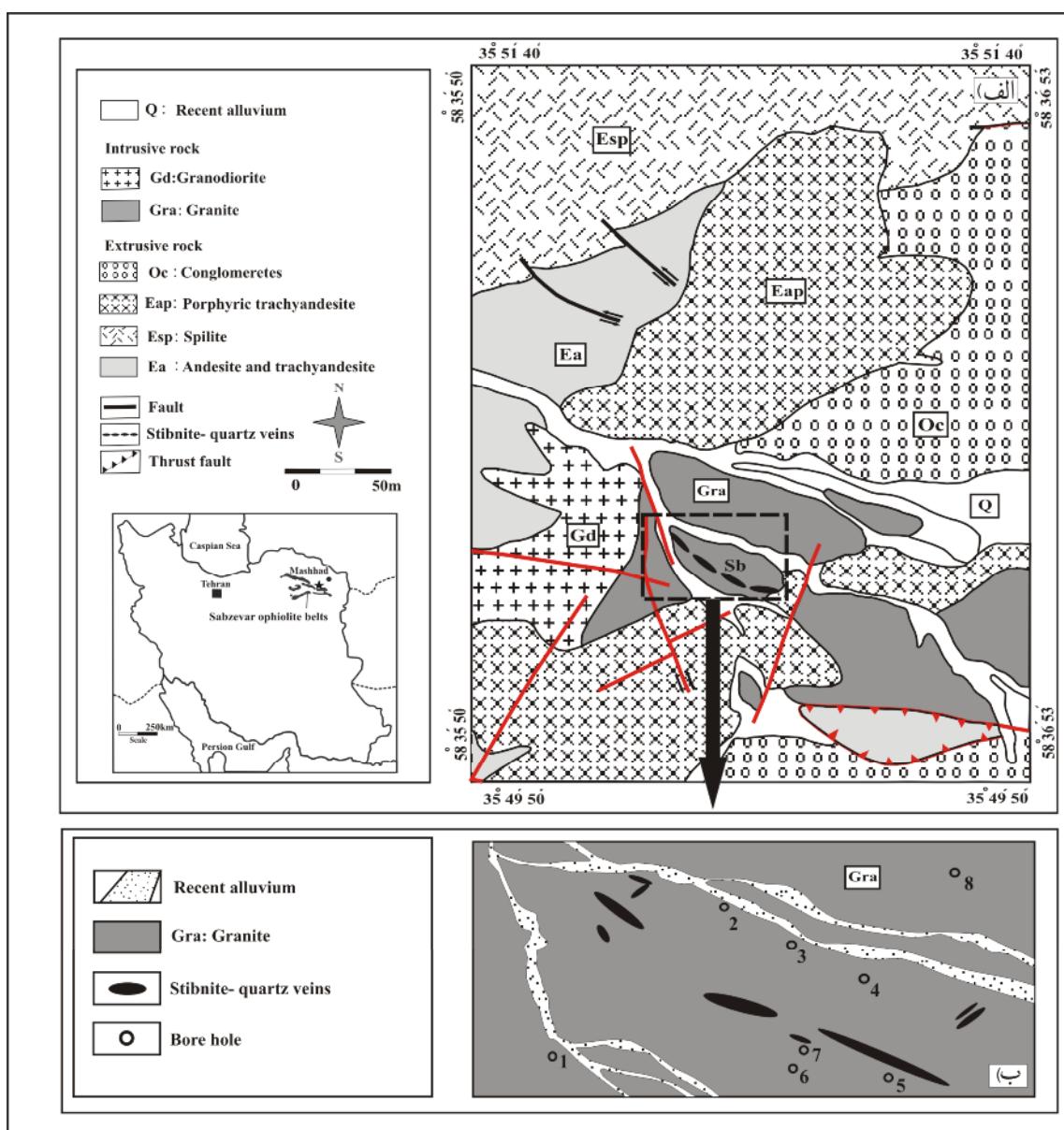
واژه‌های کلیدی: اپی‌ترمال؛ دگرسانی؛ استیبنیت؛ سردشدن؛ جوشش؛ ارغش.

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 طladar انجام شده است. در این مقاله تغییرات مکانی کالن‌سازی و دگرسانی گرمابی در کانسار آنتیموان ارغش بر پایه‌ی مشاهدات صحرابی، سنگنگاری و تحلیل‌های آماری موربد بررسی قرار گرفته و با تلفیق این اطلاعات الگوی خاستگاهی کالن‌سازی ارائه شده است.

مقدمه

کانسار آنتیموان ارغش با مختصات جغرافیایی $35^{\circ} ۵۸' E$ طول شرقی و $۳۵^{\circ} ۴۰' N$ 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 طladar بر اساس بررسی‌های زمین‌شیمیایی ناحیه‌ای از سوی سازمان زمین‌شناسی کشور شناسایی شده است. بررسیهای قبلی در منطقه‌ی ارغش به طور کلی بر سامانه‌های رگه‌ای طladar مرکز بوده و شامل بررسی‌های نیمه تفصیلی زمین‌شناسی [۱]، زمین‌شیمیایی [۲] و پی‌جویی‌های

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۷۵۶۷۰۹، نمایشگاه: ۲۲۴۵۹۶۴، 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 گمانه‌ی جویی در گستره‌ی کانسار آنتیموان ارغش.

شناسی به روش‌های مرسم میکروسکوپی روی ۵۴ مقطع نازک و ۳۳ مقطع صیقلی انجام شد و تعداد ۱۰ نمونه به روش پراش پرتو ایکس (XRD)، برای شناسایی کانی‌های مجھول، از سوی شرکت کانساران بینالود مورد بررسی قرار گرفتند. با تلفیق نتایج حاصل از بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی پاراژنز کانیایی، مجموعه‌های دگرسانی گرمابی 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

روش بررسی

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 پاراژنزی

کانی‌سازی در منطقه‌ی مورد بررسی از نوع شکافه پرکن است که به شکل رگه، رگچه و برش‌های گرمابی در میزبانی از سنگ‌های گرانوودیوریتی و گرانیتی و سنگ‌های آتشفسانی 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 گرمابی 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 پاراژنزی 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 منطقه‌ی بندی شده در مرحله‌ی دوم و کوارتز، استیبنیت و پیریت‌های کلوفرمی در مرحله‌ی سوم مشخص می‌شوند. در آخرین مرحله، پیریت‌های فرامبوبیدی در فضای خالی بین کانی‌ها و در شرایط دمای کم تشكیل شده‌اند. اکسیدهای و هیدروکسیدهای آهن ثانویه، والنتینیت و کوولیت از محصولات دگرسانی بروزنزدند.

استیبنیت، کانی سولفیدی اصلی در کانسنگ درونزد است که به صورت منشورهای سوزنی با اندازه‌ی حدود یک سانتی‌متر و انباست شعاعی در فضاهای خالی تشكیل شده‌است. این کانی بر اثر دگرسانی بروزنزد 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 تشكیل 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 زمین‌شناسی کشور تجزیه بودند، استفاده شد. بررسی تغییرات غلظت عناصر از سطح به عمق با استفاده از نرم افزار لاغ پلات و تحلیلهای آماری چند متغیره شامل آنالیز واریانس، آزمون دانکن و تحلیلهای خوش‌های به روش k-means با نرم افزارهای Minitab(16) و SPSS(15) انجام گرفت.

زمین‌شناسی

مجموعه سنگ‌های آذرین ناحیه‌ی ارغش شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفسانی و نفوذی ائوسن-الیگوسن است که درون زون سبزوار تزریق شده‌اند. مقایسه‌ی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی این مجموعه با گدازه‌ها و مواد آذرآواری آندزیتی زون سبزوار نشانگر گستره‌ی کالکوآلکالن 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- آتشفسانی ائوسن بالایی و توده‌های نفوذی دیوریتی تا گرانوودیوریتی ائوسن- الیگوسن قابل بررسی است.

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

از نظر ساختاری، منطقه‌ی مورد بررسی در شمال گسل چپ لغز درونه و گسل راندگی تکرار 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 شکل دار با اندازه‌ی ۳۰ تا ۱۵۰ میکرون و همراه با پیریت‌های نوع اول دیده می‌شود (شکل ۳ - ج). اسفالریت به صورت بلورهای نیمه شکل دار با اندازه‌ی ۵۰ تا ۱۰۰ میکرون همراه با کالکوپیریت و پیریت کانی سازی کرده است.

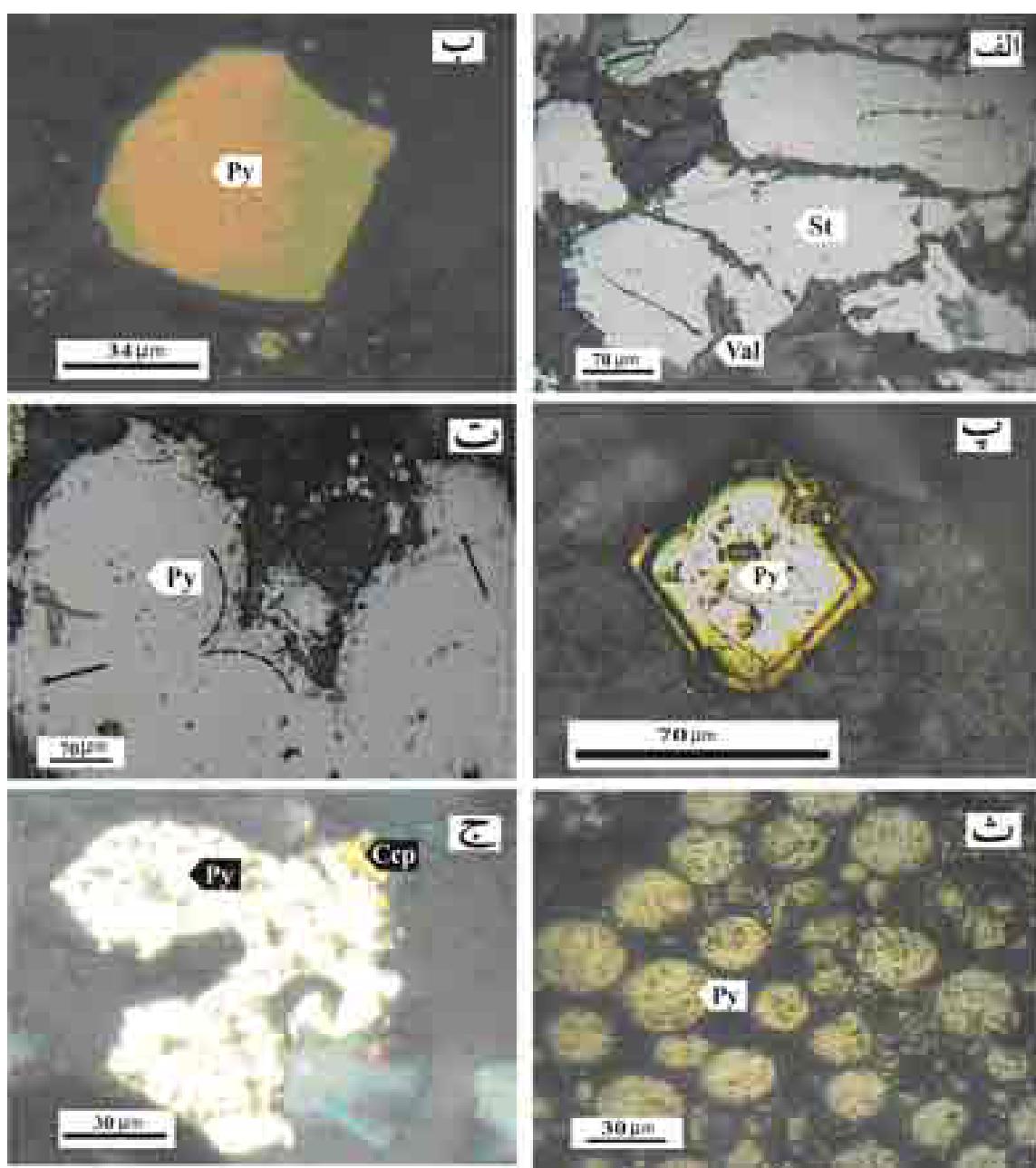
پر کرده‌اند (شکل ۳ - ت) و نشان دهنده‌ی سردشدن سریع محلول‌های گرمابی غنی از سولفید آهن‌اند [۷، ۴]. پیریت‌های فرامبوییدی که به صورت رگچه‌های نازک در شکستگی‌های ریز موجود در کوارتر تشکیل شده‌اند (شکل ۳ - ث). کالکوپیریت و اسفالریت از کانی‌سازی محدودی در منطقه‌ی مورد بررسی



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 گرمابی (پ و ت) دیده می‌شود.

جدول ۱ دنباله‌ی پارازنزی کانی‌ها در کانسar آنتیموان ارغش.

| Mineral | StageI | StageII | StageIII | StageIV | Supergene |
|------------------------------|--------|---------|----------|---------|-----------|
| Quartz | — | | | | |
| Chalcopyrite | — | | | | |
| Sphalerite | — | | | | |
| Euhedral to subhedral pyrite | — | | | | |
| Zoned pyrite | | — | | | |
| Colloform pyrite | | — | — | | |
| Framboidal pyrite | | | — | | |
| Stibnite | | — | — | | |
| Covelite | | | | | — |
| Fe oxides | | | | | — |
| Jarosite | | | | | — |
| Valentinitite | | | | | — |



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

کوارتز فراوانترین کانی گرمابی در منطقه‌ی مورد بررسی است که می‌تواند نشان دهنده‌ی دگرسانی سیلیسی باشد [۸]. این کانی به دو صورت جانشینی 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

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.

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 گستردگی دمایی تشکیل می‌شود [۱۳] معرف شرایط قلیایی بر اثر رخدادهایی مانند جوشش و از دست رفتن CO_2 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 CO_2 و در بخش‌های عمیق تر سامانه‌های اپی ترمال در دمای بالاتر از 250°C تشکیل می‌شود.

حضور جاروویت 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 تایید شدند.

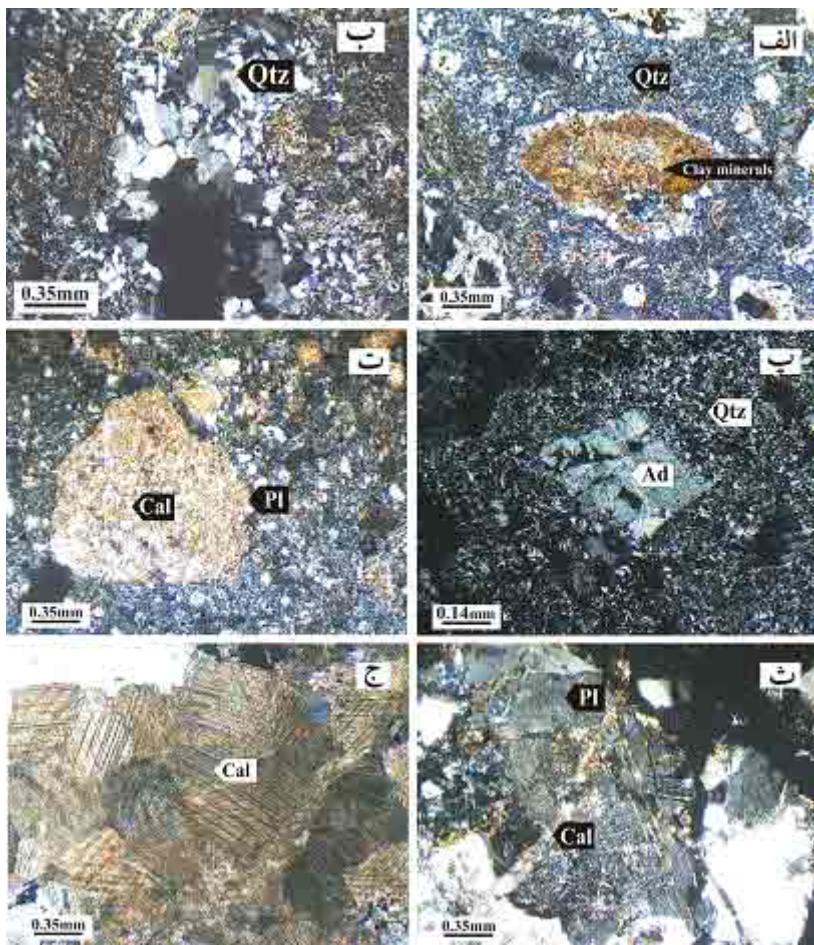
توزیع مکانی مجموعه‌های دگرسان

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 ۴-۳-۲ و ۴-۷-۶ (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 به طور 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.

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 میان 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 220°C درجه‌ی سانتی‌گراد و pH کمی اسیدی تا خنثی تشکیل می‌شود [۱۲، ۹، ۱۳] جانشین پلازیوکلازها 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 مونتموریلوئیت 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 پلازیوکلازها را جانشین کرده است. تشکیل کائولینیت در کانسارهای اپی ترمال به محلول‌های گرمابی-ماگمابی وابسته به سیستم‌های گرمابی نوع سولفیدی شدن بالا [۱۴]، میان 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 میان بخارهای داغ شکل گرفته است. مونتموریلوئیت 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 پلازیوکلاز (شکل ۴-ت) و شکافه پرکن به صورت رگچه‌ای و پرکننده‌ی فضای



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی از مهمترین فراورده‌های دگرسانی گرمابی در کانسار آنتیموان ارغش. (الف) جانشینی کوارتزهای ریزبلور در زمینه‌ی سنگ و در بطن کانی‌های اولیه، (ب) نهشت مستقیم کوارتز در درزهای خالی سنگ دیواره، (پ) آدولاریا و کوارتز ریز بلور در سنگ دیواره، (ت) جانشینی کلسیت به جای پلازیوکلаз، (ث) رگجه‌هایی از کلسیت که درشت بلورهای پلازیوکلاز و سنگ دیواره را قطع کرده‌اند، (ج) رخداد کلسیت‌های ورقه‌ای در برخشهای گرمابی. همهٔ تصاویر در نور عبوری قطبیده. اختصارها: Qtz = کوارتز، clay minerals = کانی‌های رسی، Ad = آدولاریا، Cal = کلسیت، Pl = پلازیوکلاز.

شد. تلفیق داده‌های زمین شیمیایی و دگرسانی گرمابی دلالت بر افزایش مقدار آنتیموان در بخش‌های به شدت سیلیسی شده دارد که با حضور رگه‌های کوارتز- استیبنیت مشخص می‌شود. برای بررسی هرچه بeter رابطه‌ی بین عناصر، کلیه داده‌های تجزیه‌ی شیمیایی بر مبنای تجزیه و تحلیل خوش‌های، خوش‌بندی شدن و عناصر در ۵ خوش‌های 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]. خوش‌بندی داده‌ها نشان می‌دهد که در اغلب گمانه‌های مورد بررسی عناصر Zn، As و Sb در خوش‌های یکسان قرار می‌گیرند.

زمین شیمی کانسنگ

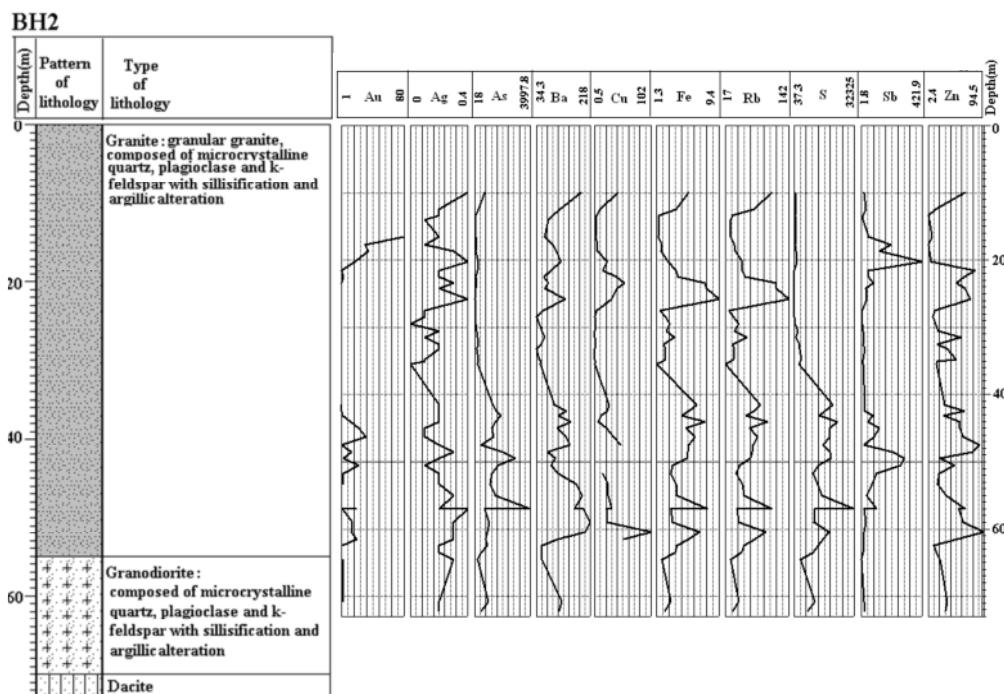
نتایج آمار توصیفی عناصر As, Ba, Cu, Fe, Rb, S, Sb, Zn, Ag, Au و Hg در ۳۱۶ نمونه برداشت شده از ۸ گمانه‌ی اکتشافی در جدول ۲ ارائه شده‌اند. بررسی ویژگی‌های زمین شیمیایی و الگوی توزیع مکانی این عناصر در هر یک از گمانه‌های مورد بررسی بیانگر روند تغییرات مشابه عناصر Ag, Zn, As و Sb است (شکل ۵) که با نتایج 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

پایین محلول‌های کانی‌ساز نسبت داد. همبستگی مثبت بین عناصر Zn، Ag و As و شوری پایین محلول‌های کانی‌ساز پیشنهاد کننده‌ی رخداد کانی‌سازی اپی‌ترمال نوع سولفیدی شدن پایین در منطقه‌ی مورد بررسی است.

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

جدول ۲ نتایج آمار توصیفی برای عناصر اندازه‌گیری شده در ۳۱۶ نمونه برداشت شده از گمانه‌های اکتشافی در کانسار آنتیموان ارگش. 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 | ۶۷۰,۳,۵۲ | 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 |
| ۱۰۵۶۱ | ۱,۷۰ | ۶۳۳,۶۲ | ۱۷۵,۷۷ | ۵۲,۱۹ | ۱,۹۴ | ۶۷,۹۴ | ۷۲۲۴,۶۹ | ۱۲۳۸,۶۶ | ۴۳,۲۵ | ۰,۲۸ | انحراف معیار |
| ۱۱۱۵۲ | ۲,۸۹ | ۴۰,۱۴۷۹ | ۳۰,۸۹۷,۶ | 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 | ۱۰,۸,۷۶ | ۴,۲۸ | ۱۵۵,۰۱ | ۱۶,۶ | ۳,۲۷ | کشیدگی |
| ۸۹۹ | ۲۹,۸ | ۳۹۹۱,۷ | ۱۰,۱۹ | 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

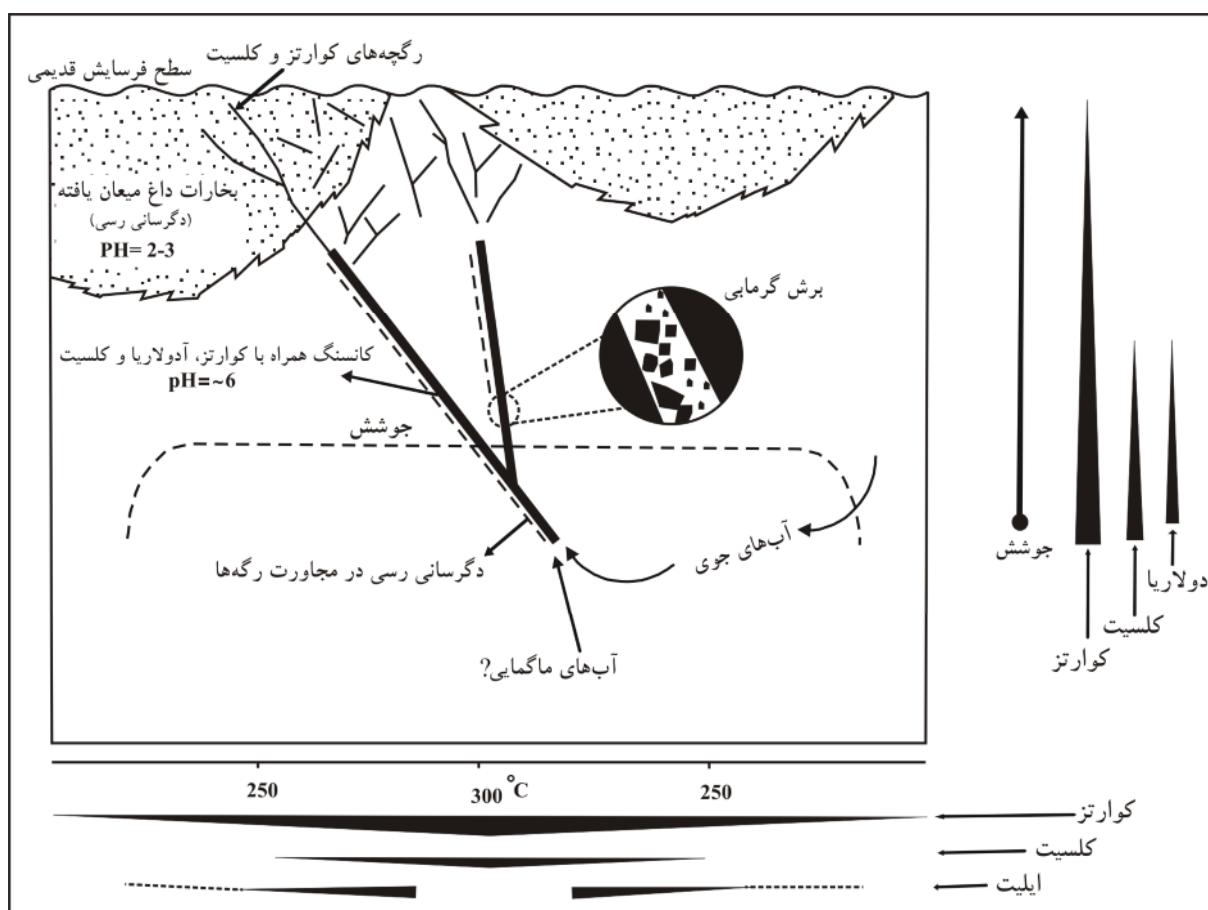
بین رفتن بخش بالایی کانسار طی فرایندهای هوازدگی و فرسایش باشد.

شواهد بافتی و کانی‌شناسی در منطقه‌ی مورد بررسی نشان دهنده‌ی نقش جوشش و سردشدن محلول‌های گرمابی در نهشت کانسنگ است. جوشش بر اثر افت ناگهانی فشار به وقوع پیوسته که با حضور برش‌های گرمابی، آدولاریا، کلسیت ورقه‌ای و کوارتز ریز دانه [۲۱، ۲۰] در منطقه‌ی مورد بررسی مشخص می‌شود. میان مواد فرار و بخارهای داغ غنی از CO_2 در زون‌های وادوز که طی جوشش محلول‌های گرمابی 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 قبلى 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 گرمابی‌ها باشد [۱۸]. تلفیق این داده‌ها با نتایج حاصل از بررسی‌های زمین‌شناسی و دگرسانی گرمابی پیشنهاد کننده‌ی کانی‌سازی اپیترمال از نوع سولفیدی شدن پایین در کانسار آنتیموان ارغش است. در شکل ۶ مدل پیشنهادی شکل‌گیری این کانسار ارغش است. در نیوزیلند، [۲۲، ۲۳] بیانگر نقش مانند گولدن کراس در میانه‌های این کانسارهایی نشان داده شد. مقایسه‌ی کانسار آنتیموان ارغش با کانسارهایی توده‌های نفوذی فلزیک در فعالیت‌های گرمابی در منطقه‌ی مورد بررسی است. این تودها می‌توانند منجر به تشکیل گرمابی‌های غنی از مواد فرار و احتمالاً عنصر کانسراز شده و گرمایی مورد نیاز برای مهاجرت گرمابی‌های غنی از عنصر کانی‌ساز را فراهم نمایند [۲۴]. نتایج حاصل از بررسی‌های ایزوتوپی گوگرد و اکسیژن روی تعدادی از نمونه‌های واپسته به رگه‌های کوارتز- استیبنیت ارغش که توسط [۵] به انجام رسید، بیانگر نقش آبهای جوی در کانی‌سازی این رگه‌هاست.

کانی‌سازی در کانسار آنتیموان ارغش از نوع شکافه پرکن است و به شکل رگه، رگچه و برش‌های گرمابی ظاهر دارد. بررسی توزیع مکانی رگه‌ها، رگچه‌ها و برش‌های گرمابی نشانگر نقش گسل‌ها در توزیع مکانی کانی‌سازی است. گسل خوردگی و گسترش زون‌های گسلی با افزایش نفوذپذیری سنگ‌ها و شهرت گردش محلول‌های گرمابی 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 گرمابی در کانسار آنتیموان ارغش نشان دهنده‌ی نقش محلول‌های گرمابی با pH نزدیک به خنثی تا کمی قلایی [۱۴] در این کانسار است. با توجه به حضور کانی‌های کلریت و اپیدوت در مجموعه‌های دگرسانی گرمابی، به نظر می‌رسد این محلول‌ها در دمای بیشتر از 25°C [۱۲] باعث دگرسانی سنگ‌ها و پدید آمدن این کانی‌ها در بخش‌های عمیق تر سامانه گرمابی شده‌اند. با مهاجرت محلول گرمابی به سمت بالا و کاهش دما، مجموعه‌ای از کانی‌های رسی، ایلیت، کوارتز و کلسیت تشکیل شده‌است. بررسی مجموعه‌های دگرسانی گرمابی 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 گمانه‌ی دمایی 140°C تا 220°C تشکیل می‌شوند [۱۹]، در این بررسی شناسایی نشد و می‌تواند پیشنهاد کننده‌ی از



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

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 میان 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) ص. ۱۱۵.

رهیافت‌های اکتشافی

بررسی دگرسانی گرمابی و توزیع مکانی مجموعه‌های دگرسان در گمانه‌های اکتشافی بیانگر منطقه بندی زون‌های 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-استیبنیت 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 خوشبندی آن‌ها همخوانی دارد.

- 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 depositories", 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: مر.ف.، شرفی ع.ا.، انتشارات دانشگاه شیراز، (۱۳۸۳) ۵۶۶ ص.
- [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 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] شمعانیان غ.ج., "گزارش اکتشافات چکشی منطقه ارغش، جنوب نیشابور با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، گزارش انتشار نیافته، (۱۳۷۷) ۷۵ ص.
- [۴] کیوانفر م., عسکری ع., "گزارش نقشه زمین‌شناسی-معدنی ۱:۵۰۰۰ ناحیه معدنی ارغش- چشمہ زرد، جنوب نیشابور، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، گزارش انتشار نیافته، (۱۳۷۹) ۴۶ ص.
- [5] Ashrafpour E., Ansedell K.M., Alirezai 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 Ohaki 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 Herceyan 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)