

کانی‌سازی و اکتشافات ژئوشیمیایی منطقه اکتشافی سیرزار، استان خراسان رضوی

آزاده ملکزاده شفارودی*^۱ محمد حسن کریم‌پور^۲

۱- استادیار- گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد- دانشگاه فردوسی مشهد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۲/۲۰

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۰/۵/۱۲

چکیده

منطقه اکتشافی سیرزار در شمال غربی تربت جام در استان خراسان رضوی واقع شده است. کانی‌سازی آنتیموان به صورت رگه‌ای و جانشینی در سنگ میزبان کربناته (پرمین) تشکیل شده است. کانی‌سازی اولیه در دو مرحله رخ داده است: (۱) کانی‌سازی گالن \pm پیریت \pm کالکوپیریت \pm اسفالریت \pm سولفوسالت \pm سولفید مس - آنتیموان همراه با باطله کوارتز و باریت و (۲) استینیت \pm پیریت \pm اسفالریت همراه با باطله - های کوارتز، باریت، دولومیت و کلسیت. کانیهای ثانویه زون اکسیدان نیز شامل مالاکیت، آزوریت، کولیت، آنگلیزیت و بطور فرعی بیندهمیت، گوتیت، همتیت و اکسیدهای آنتیموان است. کانی‌سازی مرحله اول با حدود ۲۰ درصد سرب، ۱/۵ درصد مس، ۰/۵ درصد روی، ۳۰۰ گرم در تن نقره، تا ۱/۵ درصد آنتیموان و ۲۴۰ گرم در تن آرسنیک مشخص می‌شود. در کانی‌سازی مرحله دوم، تغییرات ژئوشیمیایی در نمونه‌هایی با فاصله از کانی‌سازی و از سنگ میزبان کربناته، در حریم رگه و نیز از نمونه‌های داخل تونل بررسی شد. مقدار آنتیموان تا ۶۷۰۰ گرم در تن در سنگ کربناته حریم رگه و سپس تا بیش از ۲۶ درصد در داخل تونل افزایش پیدا کرده است. مقدار روی تا حدود ۰/۱ درصد است. بیشترین مقدار آرسنیک تا ۳۴۲ گرم در تن، مس تا ۱۰۳ گرم در تن و سرب تا ۱۵۲ گرم در تن در نمونه‌های حریم رگه کانی‌سازی وجود دارد. سنگ میزبان کربناته تحت تاثیر آلتراسیون‌های سیلیسی‌شدن، باریتی‌شدن و دولومیتی‌شدن قرار گرفته است. این آلتراسیون‌ها، زمینه مناسب برای تشکیل کانی‌سازی را در سنگ میزبان فراهم نموده است. کانی‌سازی آنتیموان سیرزار از نوع اپی‌ترمال است. مجموعه توده‌های گرانیتوئیدی تربت جام در شرق منطقه، می‌تواند منشاء این کانی‌سازی باشد که تایید آن نیاز به بررسی بیشتر در منطقه وسیع‌تری دارد.

واژه‌های کلیدی: آنتیموان، تربت جام، ژئوشیمی خرده‌سنگی، سرب، کانی‌سازی

مقدمه

منطقه اکتشافی سیرزار در جنوب شرقی مشهد و در ۳۵ کیلومتری شمال غربی شهرستان تربت جام در استان خراسان رضوی واقع شده است (شکل ۱). این محدوده در بین طولهای جغرافیایی ۱۸' ۲۵" و ۶۰° تا ۲۰' ۲۶" و ۶۰° و عرضهای جغرافیایی ۳۹' ۳۰" و ۳۵° و ۵' ۳۱" قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در شمال شرق لیتوسفر ایران و در ادامه شرقی بلندیهای البرز و بینالود قرار گرفته است. این ناحیه محل برخورد قطعه لیتوسفری توران در شمال و قطعه لیتوسفری ایران در جنوب است که با بسته شدن اقیانوس پالئوتتیس، به هم متصل شده‌اند. بنابراین مرز بین بزرگ قاره گندوانا و لورازیا را می‌توان در این منطقه یافت (قائم و حسینی، ۱۳۷۸).

کانی‌سازی مشخصی که در منطقه وجود دارد، مربوط به منطقه اکتشافی آنتیموان سیرزار است که به صورت رگه‌ای در داخل سنگ میزبان کربناته به سن پرمین تشکیل شده است. تونلهای اکتشافی و آثار کارهای قدیمی متعددی در همین منطقه مشاهده می‌گردد که نشان دهنده قدمت فعالیت‌های معدنکاری می‌باشد. سعادت و شهاب‌پور (۱۳۷۶) مطالعه کانی‌شناسی و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای در منطقه اکتشافی سیرزار را انجام داده‌اند که تنها مطالعه قبلی انجام شده در منطقه است. این مقاله به بررسی کانی‌سازی و تغییرات ژئوشیمیایی در سنگ کربناته و حریم کانی‌سازی آنتیموان سیرزار پرداخته است.

کانسارهای آنتیموان با میزبان کربناته در چین (Wu, 1993; Peng *et al.*, 2003; Fan *et al.*, 2004)، هند (Khan *et al.*, 1991)، اسپانیا (Arribas and Gumiel, 1984, 1987)، اطریش (Cerny, 1981)، ایتالیا (Dehm *et al.*,

1983)، آلمان (Dill, 1985)، یوگسلاوی (Jankovic, 1979)، مالزی (Dill and Horn, 1996) و دیگر نقاط دنیا شناخته شده‌اند. این کانسارها از نوع اپی‌ترمال هستند و معمولاً کنترل ساختاری دارند. زون‌های برشی، گسل‌های کششی و چین‌خوردگیها محیط مناسبی برای تشکیل این نوع کانی‌سازی می‌باشد (Akçay *et al.*, 2006). کانسارهای آنتیموان دار معمولاً به صورت خوشه‌ای و خطی تشکیل یک محدوده متالوژنی معروف به خط- آنتیموان‌دار را می‌دهند. مثالهایی از این مورد در کمربند شیستی Murchison در آفریقای مرکزی (Vearncombe *et al.*, 1988) و کمربند Nizke Tatry در اسلواکی (Chovan *et al.*, 1996) دیده می‌شود. از سمت آسیای جنوب شرقی (شمال غربی) به طرف غرب اقیانوس آرام (جنوب شرقی) کاهش در سن و افزایش در مقدار طلای کانسارهای آنتیموان دیده می‌شود. ذخایر آنتیموان یک پوسته لیتوسفری نسبتاً ضخیم در یک ناحیه پایدارتر پشت زون ذخایر مس- طلا پورفیری و کانسارهای اپی‌ترمال اواخر سنوزوئیک را تشکیل می‌دهند. یک تصویر آینه- ای از جایگاه متالوژنیک نواحی آنتیموان‌دار در طول اقیانوس آرام در آند مرکزی، بولیوی، وجود دارد (Dill *et al.*, 2008). حدود ۵۵ درصد ذخایر آنتیموان دنیا در کشور چین قرار دارد. بزرگترین معدن آنتیموان دنیا نیز Xikuangshan در همین منطقه است. کانسارهای آنتیموان چین به انواع استینیت خالص، ذخایر آنتیموان- طلا- تنگستن و کانسارهای سولفو آنتیمونات- فلزات پایه قابل تقسیم است (Wu, 1993). همچنین کنترل سنگ شناسی واضحی در ذخایر آنتیموان چین دیده می‌شود که به ۷ دسته کانسار براساس نوع سنگ میزبان تقسیم می‌شوند (Wu, 1993; Mao

کانی‌سازی برداشت شد. این نمونه‌ها در شرکت کانساران بینالود خردایش و نمایش شده، سپس توسط همین شرکت برای عناصر Fe، Ba، Si، Mg، Mn و Ca به روش XRF تجزیه شد. همچنین نمونه‌ها برای تجزیه عناصر Sb و دیگر عناصر معدنی همراه به روش ICP-MS و ICP-ES به آزمایشگاه Acme کانادا فرستاده شدند. روش محلول سازی انتخاب شده 7TX و 7TD.1 مخصوص مواد معدنی بوده که نمونه در ۴ اسید گرم حل شده است.

زمین‌شناسی

منطقه اکتشافی سیرزار در گوشه جنوب شرقی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سفید سنگ (قائمی و حسینی، ۱۳۷۸) واقع شده است. از ویژگیهای زمین‌شناسی این محدوده وجود مجموعه افیولیتی پالئوزوئیک و سنگهای دگرگونی وابسته به آن با روند شمال غربی- جنوب شرقی است که بقایای پوسته اقیانوسی پالئوتتیس هستند و به عنوان جزیی از منشور فزاینده پس از برخورد قطعه لیتوسفری توران بر روی لبه ایران رانده شده‌اند (شکل ۱). به همین دلیل بیشتر مرز این واحدها راندگی است. مجموعه افیولیتی شامل ورلیت، دونیت، پیروکسنیت، گابرو، میکروگابرو، اسپلیت و بازالت بالشی دگرگون شده است که در محدوده مورد مطالعه نیز رخمون دارند. برای این مجموعه سن دقیقی نمی‌توان بیان کرد، اما بر اساس اینکه برخورد دو قطعه لیتوسفری ایران و توران در تریاس میانی به وقوع پیوسته است، لذا محدوده سنی آن پیش از تریاس میانی است. مجموعه دگرگونی وابسته نیز متشکل از اسلیت، فیلیت، کلریت شیست و ماسه‌سنگ دگرگون شده می‌باشد (شکل ۱) که طبقه‌بندی اولیه خود را نشان می‌دهند. کل این مجموعه تحت تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای در حد رخساره شیست‌های سبز تا

(*et al.*, 2002; Peng *et al.*, 2003) نوع کربناته (۲) نوع سنگهای آواری (۳) نوع سنگهای دگرگونی درجه پایین (۴) نوع آتشفشانیهای دریایی (۵) نوع آتشفشانیهای خشکی (۶) نوع توده-های نفوذی و (۷) کانسارهای پلاسور. عمده کانسارهای آنتیموان چین در سنگهای میزبانی به سن دونین تشکیل شده‌اند (Wu, 1993). هدف از این مقاله، مطالعه کانی‌سازی منطقه اکتشافی سیرزار، بررسی مراحل مختلف کانی‌سازی در آن، بررسی ژئوشیمیایی بر روی ماده معدنی آنتیموان، بررسی تغییرات ژئوشیمیایی در سنگ میزبان کربناته براساس فاصله از کانی‌سازی آنتیموان و در نهایت تفسیر داده‌ها است.

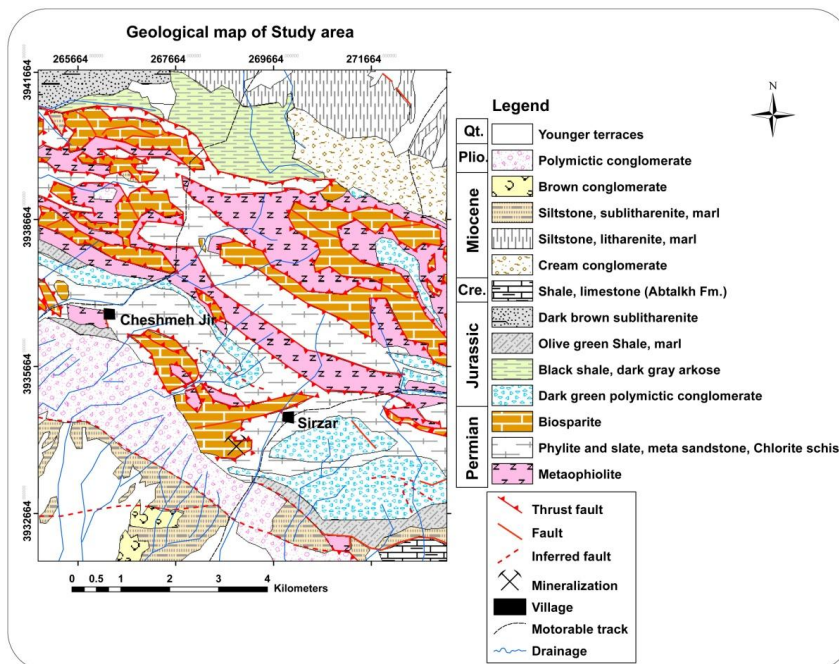
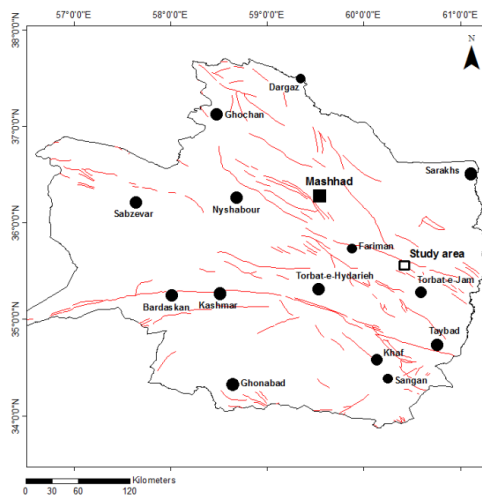
روش مطالعه

به منظور مطالعات زمین‌شناسی و کانی‌سازی منطقه سیرزار، تعداد ۲۰ عدد مقطع نازک، ۲۱ عدد مقطع نازک صیقلی و ۲۳ عدد بلوک صیقلی، جمعاً ۶۴ مقطع از واحدهای سنگی منطقه، بخشهای مختلف سنگ میزبان کربناته و کانی‌سازی آنتیموان در سطح و داخل تونلها مطالعه شد.

همچنین به منظور اکتشافات ژئوشیمیایی، تعداد ۸ نمونه خرده‌سنگی با فاصله از محل کانی‌سازی آنتیموان (حدود ۵۰۰ متر اطراف رگه و تونلها)، از سنگ میزبان کربناته برداشت شد که پس از خردایش و نمایش در شرکت کانساران بینالود برای تجزیه با ICP-MS با روش محلول‌سازی 1DX15 به آزمایشگاه Acme ارسال شد. تعداد ۲۳ نمونه خرده سنگی نیز از سنگ میزبان کربناته در نزدیکی محل کانی‌سازی آنتیموان و تونلها و نیز از نمونه‌های همراه با استیبنیت جهت بررسی ژئوشیمی ماده معدنی و بررسی تغییرات ژئوشیمیایی در سنگ میزبان بر اساس فاصله از

شده است (قائمی و حسینی، ۱۳۷۸). رسوبات ژوراسیک و کرتاسه شامل کنگلومرا، شیل، مارن، ماسه‌سنگ و سنگ آهک نیز در محدوده دیده می‌شود. میوسن میانی و بالایی در منطقه با تناوب کنگلومرا، ماسه سنگ، مارن و سیلت استون شناخته می‌شود. همچنین رسوبات مخروطی‌های آبرفتی پلیوسن با ناهمسازی زاویه‌ای بر روی رسوبات میوسن برجای گذاشته شده‌اند که ضخامت آنها ۲۵۰ متر است (شکل ۱).

اپیدوت- آمفیبولیت قرار گرفته‌اند (قائمی و حسینی، ۱۳۷۸). آهک‌های لایه متوسط تا ضخیم پرمین بر روی واحدهای مذکور رانده شده‌اند و کانه‌زایی آنتیموان به صورت رگه‌ای و جانشینی در همین واحد تشکیل شده است. این واحد آهکی در پادگانه قاره‌ای و در لبه محدوده ایران به وجود آمده و پس از برخورد دو صفحه ایران و توران به صورت راندگی بر روی مجموعه افیولیتی و سنگهای دگرگونی به سمت جنوب غرب رانده



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه اکتشافی سیرزار برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سفیدسنگ

(قائمی و حسینی، ۱۳۷۸)

کانی‌سازی

سنگ میزبان کانی‌سازی آنتیموان رگه‌ای در منطقه اکتشافی سیرزار، واحد آهکی پرمین است. کانی‌سازی کنترل گسلی داشته و به صورت رگه-ای و جانیشینی در سنگ کربناته تشکیل شده است. بر پایه مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، کانی‌سازی در سه مرحله به وجود آمده است که عبارتند از: (۱) کانی‌سازی اولیه مرحله اول (۲) کانی‌سازی اولیه مرحله دوم و (۳) کانی‌سازی ثانویه در زون اکسیدان. تغییرات ژئوشیمی ماده معدنی نیز این موضوع را تایید می‌کند.

کانی‌سازی اولیه مرحله اول: رخنمون بسیار محدودی از این بخش از کانی‌سازی در قسمت جنوبی کنسار دیده می‌شود. کانیهای آن شامل گالن و به مقدار کمتر پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، سولفید مس- آنتیموان و سولفوسالت است. مهمترین کانیهای باطله در این مرحله کوارتز و باریت هستند. اولین کانی تشکیل شده در این مرحله پیریت است که به صورت شکل‌دار و با اندازه حداکثر ۰/۳ میلی‌متر دیده می‌شود. مقدار پیریت اندک بوده و حداکثر تا ۱ درصد است. کالکوپیریت، دومین کانی تشکیل شده، بی‌شکل بوده و فراوانی آن نیز حداکثر تا ۲ درصد است. بخش عمده کالکوپیریت به کولیت، هماتیت، گوتیت، مالاکیت و آزوریت تبدیل شده است. گالن مهمترین و فراوانترین کانی تشکیل شده در مرحله اول است که به صورت بی‌شکل و توده‌ای در داخل زون گسلی دیده می‌شود. این کانی تقریباً ۶۰ درصد کانی‌سازی مرحله اول را به خود اختصاص داده و پس از پیریت و کالکوپیریت تشکیل شده است. ادخالهایی از کانی سولفوسالت و اسفالریت با اندازه چند میکرون تا حداکثر ۰/۰۷ میلی‌متر به صورت بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار درون گالن پراکنده شده‌اند (شکل ۲ الف). سولفید مس-

آنتیموان (بر پایه مطالعات SEM) آخرین کانی فلزی تشکیل شده در این مرحله است که به صورت پراکنده و محدود (حداکثر ۱ درصد) دیده می‌شود. این کانی به صورت شکل‌دار و ستونی تا اندازه حداکثر ۱ میلی‌متر حضور دارد که عمدتاً از حاشیه در حال تبدیل شدن به بیندهمیت (اکسید سرب- آنتیموان) و مالاکیت است. کوارتز اولین کانی باطله تشکیل شده در منطقه است که با اندازه حداکثر ۰/۳ میلی‌متر و با فراوانی حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد مشاهده می‌شود. باریت پس از کوارتز تا همزمان با آن تشکیل شده است. این کانی با آگرگات تیغه‌ای شکل، با اندازه حداکثر ۴ میلی‌متر و به مقدار ۱۰ تا ۱۵ درصد در نمونه‌ها مشخص می‌شود. روابط پاراژنزی کانی‌سازی مرحله اول در شکل (۳) نشان داده شده است.

کانی‌سازی اولیه مرحله دوم: بخش اصلی کانی‌سازی آنتیموان در منطقه اکتشافی سیرزار مربوط به مرحله دوم است. کانیهای این مرحله شامل پیریت، اسفالریت، استینیت، کوارتز، باریت، دولومیت و کلسیت است. پیریت به صورت دانه‌های شکل‌دار و تا اندازه حداکثر ۰/۵ میلی‌متر اولین کانی فلزی تشکیل شده در این مرحله است. فراوانی آن حدود ۰/۵ تا ۱ درصد می‌باشد. اسفالریت نیز به صورت فرعی و با دانه‌های شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با اندازه حداکثر ۰/۲ میلی‌متر و با مقدار حداکثر ۰/۱ تا ۰/۲ درصد قبل از استینیت تشکیل شده است. استینیت مهمترین و فراوانترین کانی آنتیموان در منطقه اکتشافی سیرزار است (شکل ۲ ب). این کانی به صورت جزئی پراکنده و عمدتاً توده‌ای در سنگ کربناته دیده می‌شود. شکل‌دار تا بی‌شکل بوده و اندازه ستونهای کشیده این کانی (به واسطه سیستم تبلور ارتورومبیک) گاهی تا ۳ سانتیمتر می‌رسد. استینیت غالباً دارای ماکل تیغه‌ای است. در اغلب

دگرسانی نامبرده باعث تشکیل رگچه‌های کلسیت درشت بلور به ضخامت حداکثر ۱ میلی‌متر همراه با مقدار زیادی کانی‌سازی استیبنیت شده است (شکل ۲ ت). روابط پاراژنری کانی‌سازی مرحله دوم در شکل (۳) نشان داده شده است.

کانی‌سازی ثانویه زون اکسیدان: کانیهای ثانویه که در زون اکسیدان تشکیل شده‌اند عمدتاً شامل آنگلیزیت، سروزیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، بیندهمیت، گوتیت و هماتیت است که مربوط به اکسیداسیون کانی‌سازی مرحله اول هستند. به علت حضور کم پیریت و دیگر کانیهای آهن‌دار در منطقه، کلاهدک آهنی تشکیل نشده است و مقدار هماتیت و گوتیت بسیار محدود است. استیبنیت بسیار کم اکسیده شده است و فقط در برخی نقاط پوشش قرمز-قهوه‌ای بر روی آن دیده می‌شود که مربوط به کانی والنیتینیت (Sb_2O_3) می‌باشد.

ژئوشیمی

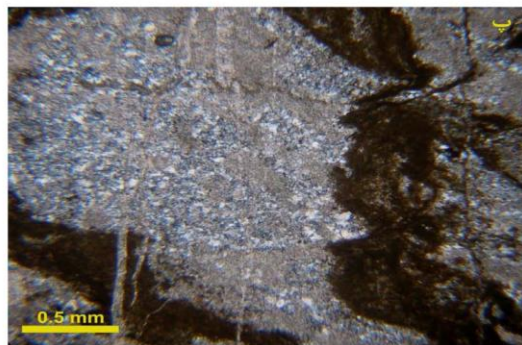
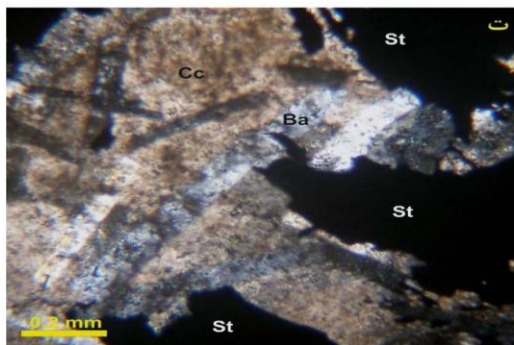
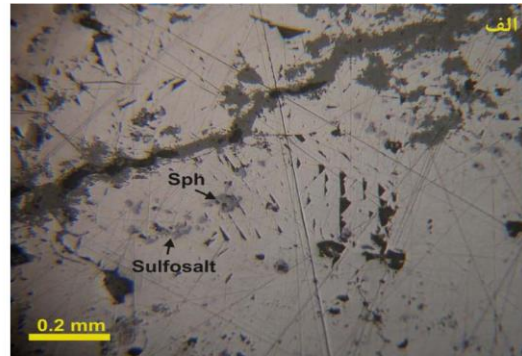
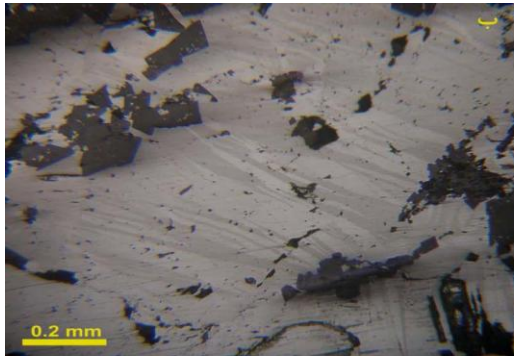
به منظور بررسی ژئوشیمی ماده معدنی آنتیموان در سیرزار در مراحل مختلف کانی‌سازی و تغییرات ژئوشیمیایی در سنگ میزبان، تعداد ۳۰ نمونه خرده‌سنگی با فاصله حدود ۵۰۰ متر و بیشتر از اطراف کانسار (عمدتاً واحد کربناته میزبان)، فاصله کمتر از ۱۰۰ متر از محدوده اکتشافی از واحد آهکی و بعضاً دگرگونی بدون کانی‌سازی استیبنیت و نمونه‌های دارای کانی‌سازی استیبنیت از محل تونلها برداشت شد. به دلیل رخنمون کم کانی‌سازی مرحله اول، یک نمونه خرده سنگی نیز از این بخش برداشت شده است. نتایج تجزیه عناصر مهم به تفکیک در جدولهای (۱) تا (۴) ارائه شده است.

نتایج تجزیه نمونه‌های مربوط به کانی‌سازی مرحله اول نشان می‌دهد که سرب حدود ۲۰ درصد، مس ۱/۵ درصد، روی ۰/۵ درصد، نقره ۳۰۰ گرم در

موارد ماکل آن دارای خمیدگی و انحنا است که نشان دهنده تشکیل آن در یک رژیم فشارشی است. استیبنیت در برخی نمونه‌های سطحی به کانیهای اکسیدی آنتیموان اکسیده شده است. سه نوع دگرسانی شامل سیلیسی شدن، باریتی شدن و دولومیتی شدن همراه با ماده معدنی آنتیموان سیرزار مشاهده می‌شود. سیلیسی شدن اولین فرایند دگرسانی در منطقه است که با کوارتزهای عمدتاً ریزبلور (اندازه حداکثر ۰/۳ میلی‌متر) و تا مقدار میانگین ۱۰ تا ۱۵ درصد مشخص می‌گردد. این دگرسانی قبل از تشکیل بخش عمده کانه‌ها به وجود آمده است. در این فرایند سیلیس جانشین کلسیت در سنگ آهک شده و درصد شکنندگی آن را افزایش می‌دهد که محل مناسب برای کانی‌سازی را فراهم می‌کند (شکل ۲ پ). سیلیسی شدن فراوانترین دگرسانی همراه با ذخایر آنتیموان اپی‌ترمال دنیا است که گاهی همراه با کربناتی شدن، پیریتی شدن و سرسیتی شدن است (Wu, 1993). باریتی شدن مهمترین و فراوانترین نوع دگرسانی در منطقه سیرزار است. بلورهای تیغه‌ای شکل باریت تا اندازه حداکثر ۴ میلی‌متر همراه با کانی‌سازی مرحله اول و دوم دیده می‌شود. اگر چه مقدار باریت در نمونه‌های با استیبنیت بیشتر افزایش یافته است، اما به نظر می‌رسد بخش عمده آن قبل از استیبنیت تشکیل شده است (شکل ۲ ت). دولومیتی شدن سنگ کربناته باعث افزایش تخلخل مفید سنگ در حدود ۱۲/۵ درصد می‌شود که این امر به دلیل چگال‌تر بودن دولومیت نسبت به کلسیت است (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۴). دولومیت جانشین کلسیت شده و قبل از تشکیل استیبنیت نیز به وجود آمده است. دولومیت‌ها با بلورهای لوزی شکل و تا اندازه حداکثر ۰/۲ میلی‌متر مشخص می‌شوند (شکل ۲ ب). خروج کلسیم واحد کربناته در اثر سه فرایند

عمدتاً در ساختار گالن، سولفید مس- آنتیموان و بیندهمیت به صورت جانشینی حضور دارد. مقدار باریم و سیلیس بالا نیز مربوط به حضور باریت و کوارتز به عنوان باطله‌های اصلی همراه با این کانی‌سازی است (جدول ۴).

تن، آرسنیک ۲۴۱ گرم در تن و آنتیموان تا ۱/۵ درصد حضور دارد. این نتایج با ترکیب کانی‌شناسی این بخش از کانی‌سازی (گالن، کالکوپیریت، اسفالریت، سولفوسالت و سولفید مس- آنتیموان، کولیت، مالاکیت، آزوریت، بیندهمیت) هماهنگی کامل دارد. نقره و آرسنیک

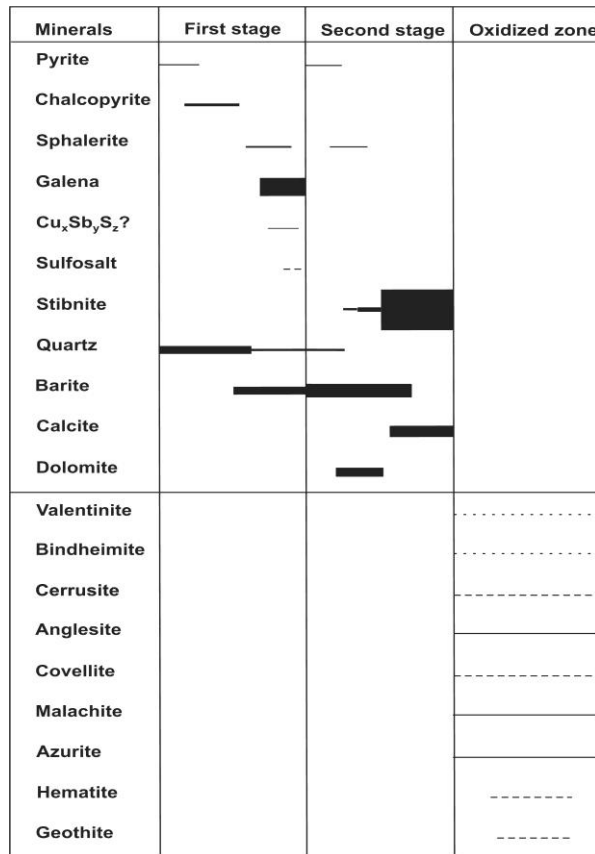


شکل ۲- تصاویری از کانی‌سازی رگه‌ای منطقه سیرزار الف) گالن همراه با ادخالهای اسفالریت و سولفوسالت مربوط به مرحله اول (نور PPL)، ب) ماکل در استینیت همراه با بلورهای لوزی شکل دولومیت که قبل از آن تشکیل شده است (نور PPL)، پ) سیلیسی شدن سنگ آهک میزبان (نور XPL)، ت) باریتی شدن و کلسیتی شدن همراه با استینیت (نور XPL)

های استینیت‌دار افزایش نشان می‌دهد، بطوریکه از ۵ گرم در تن در نمونه‌های با فاصله زیاد به حدود ۰/۱ درصد در نمونه‌های همراه با کانی‌سازی استینیت افزایش پیدا کرده است که مربوط به حضور اسفالریت است. همبستگی مثبتی بین روی و کادمیوم دیده می‌شود که مربوط به جانشینی این عنصر به جای روی است. تغییرات منظم در عناصری مانند آرسنیک، مس و سرب با فاصله از کانی‌سازی استینیت در واحد آهکی مشاهده نمی‌گردد. بیشترین مقدار آرسنیک تا ۳۴۲ گرم

نتایج تجزیه نمونه‌های مربوط به کانی‌سازی مرحله دوم نشان می‌دهد که مقدار آنتیموان از ۰/۱ تا ۷ گرم در تن در بخشهای دور از کانی‌سازی در واحدهای آهکی و شیستی وجود دارد، درحالیکه در حریم کانی‌سازی و تونلها مقدار این عنصر تا ۶۷۰۰ گرم در تن در سنگ کربناته و در نمونه‌های همراه با کانی‌سازی استینیت در تونلها به بیش از ۲۶ درصد رسیده است (جدولهای ۱ تا ۳ و شکل‌های ۴ الف تا پ). مقدار عنصر روی نیز مانند آنتیموان با نزدیک شدن به کانی‌سازی و نمونه-

در تن، بیشترین مقدار مس تا ۱۰۳ گرم در تن و بالاترین میزان سرب تا ۱۵۲ گرم در تن در نمونه های حریم رگه کانی‌سازی و با فاصله کم وجود دارد. ناهنجاری مهمی از نقره و مولیبدن نیز در این مرحله از کانی‌سازی وجود ندارد (جدولهای ۱ تا ۳).



شکل ۳- توالی پاراژنز برای مراحل مختلف کانی‌سازی در منطقه اکتشافی آنتیموان سیرزار

جدول ۱- نتایج تجزیه برخی عناصر مهم در نمونه‌های خرده سنگی از بخشهای مختلف واحد آهکی با فاصله زیاد از

کانی‌سازی آنتیموان

عنصر	X	Y	Sb	Mo	Cu	Pb	Zn	Cd	Ag
واحد			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
حد تشخیص			0.1	0.1	0.1	0.1	1	0.1	0.1
R1	۲۶۹۳۷۲	۳۹۳۴۸۹۹	۰/۱	۰/۱	۱	۲	۶	۰/۲	<۰/۱
R2	۲۷۰۱۴۷	۳۲۳۹۵۴۲	۰/۵	۱	۶	۲۳	۸۵	۰/۳	<۰/۱
R3	۲۷۰۰۳۰	۳۹۳۲۶۶۶	۰/۱	۰/۲	۱	۳	۲۴	۰/۳	<۰/۱
R4	۲۶۹۰۶۶	۳۹۳۴۲۶۹	۷	۲	۲	۷	۵	<۰/۱	<۰/۱
R5	۲۶۸۴۷۹	۳۹۳۳۷۱۷	۰/۱	۰/۳	۱۰	۱۸	۷۷	۰/۲	<۰/۱
R6	۲۶۸۷۱۰	۳۹۳۳۵۹۷	۲	۰/۳	۲	۳	۲۹	۰/۱	<۰/۱
R7	۲۶۸۹۶۰	۳۹۳۳۴۷۱	۰/۵	۰/۴	۲۷	۱۳	۴۵	۰/۲	<۰/۱
R8	۲۶۹۱۸۲	۳۹۳۳۴۶۱	۰/۱	۰/۳	۳	۱۸	۵۶	۰/۱	<۰/۱

ادامه جدول (۱)

عنصر واحد حد تشخیص	X	Y	As	Bi	Fe	Ca	Mg	Mn	Ba
			ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm
			0.5	0.1	100	0.01	100	1	1
R1	۲۶۹۳۷۲	۳۹۳۴۸۹۹	۵	<۰/۱	۳۴۰۰	۳۱/۶۳	۲۸۰۰	۵۰۷	۲۱
R2	۲۷۰۱۴۷	۳۲۳۹۵۴۲	۱۳	۰/۲	۲۲۴۰۰	۹/۹۱	۳۹۰۰	۹۳۵	۱۰۹
R3	۲۷۰۰۳۰	۳۹۳۲۶۶۶	۷	<۰/۱	۴۶۰۰	۲۸/۱۲	۲۶۰۰	۶۵۱	۱۰۰
R4	۲۶۹۰۶۶	۳۹۳۴۲۶۹	۱۴	<۰/۱	۳۳۰۰	۳۴/۸۵	۶۶۰۰	۵۷۴	۲۳
R5	۲۶۸۴۷۹	۳۹۳۳۷۱۷	۱۹	<۰/۱	۳۲۷۰۰	۱۲/۷	۶۱۱۰۰	۲۲۱۴	۲۲
R6	۲۶۸۷۱۰	۳۹۳۳۵۹۷	۴	<۰/۱	۱۱۹۰۰	۲۳/۶۷	۱۰۳۴۰۰	۷۵۱	۱۳
R7	۲۶۸۹۶۰	۳۹۳۳۴۷۱	۱۲	۰/۲	۲۳۴۰۰	۸/۵۷	۳۶۳۰۰	۱۲۶۲	۴۸
R8	۲۶۹۱۸۲	۳۹۳۳۴۶۱	۲	<۰/۱	۲۲۵۰۰	۸/۷۵	۳۹۹۰۰	۱۰۸۴	۱۴

جدول ۲- نتایج تجزیه برخی عناصر مهم در نمونه‌های خرده‌سنگی از بخشهای مختلف واحدهای آهکی و به ندرت شیبست‌ها با فاصله کم از اطراف کانسار آنتیموان و بدون مشاهده کانی‌سازی

عنصر واحد حد تشخیص	X	Y	Sb	Mo	Cu	Pb	Zn	Cd	Ag
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
			0.5	0.5	0.5	0.5	5	0.5	0.5
Sic-1	۲۶۹۲۲۸	۳۹۳۴۰۸۶	۹۰۰	<۰/۵	۲	۹	۶۹	<۰/۵	<۰/۵
Sic-4	۲۶۹۲۳۷	۳۹۳۴۰۷۷	۶۷۰۰	۱	۴۵	۹	۱۱۸	<۰/۵	<۰/۵
Sic-6	۲۶۹۱۵۲	۳۹۳۳۹۰۹	۵۷	۷	۱۰۲	۲۲	۴۰	<۰/۵	<۰/۵
Sic-7	۲۶۹۰۳۱	۳۹۳۴۱۲۲	۸۰	۲	۵۹	۱۵۲	۱۲۷	<۰/۵	<۰/۵
Sic-8	۲۶۹۰۷۴	۳۹۳۴۱۲۰	۶۷	۰/۵	۱۰۳	۱۰۲	۱۴۹	<۰/۵	<۰/۵
Sic-9	۲۶۹۰۵۵	۳۹۳۴۱۱۵	۳۸	<۰/۵	۱۱	۱۱۰	۱۱	<۰/۵	<۰/۵
Sic-10	۲۶۹۰۸۶	۳۹۳۴۱۱۸	۳۰	۰/۶	۳۳	۲۸	۹۹	<۰/۵	<۰/۵
Si-18	۲۶۹۲۳۴	۳۹۳۴۰۷۷	۵۰۰	<۰/۵	۴۰	۵	۱۰۳	۲	<۰/۵
Si-37	۲۶۹۱۲۹	۳۹۳۳۹۵۰	۲۰۰	۳	۱۰	۲۰	۴۰	<۰/۵	<۰/۵
Si-17	۲۶۹۲۳۳	۳۹۳۴۰۷۷	۴۵۰۰	۰/۶	۲	۲	۴۱	<۰/۵	<۰/۵
Si-3	۲۶۹۲۳۲	۳۹۳۴۰۷۷	۳۶۰۰	<۰/۵	۲	۴۰	۱۴۳	۱	<۰/۵
Si-8	۲۶۹۲۳۰	۳۹۳۴۰۷۸	۵۰۰	<۰/۵	۲	۰/۸	۱۸	<۰/۵	<۰/۵
Si-12	۲۶۹۲۲۸	۳۹۳۴۰۸۷	۶۵۰	<۰/۵	۲	۲	۲۹	<۰/۵	<۰/۵

ادامه جدول (۲)

عنصر	X	Y	As	Bi	Si	Fe	Ca	Mg	Mn	Ba
			ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm
			5	0.5	0.01	100	0.01	100	100	100
Sic-1	۲۶۹۲۲۸	۳۹۳۴۰۸۶	۱۶	<۰/۵	۰/۱۲	۱۷۰۰	۳۶/۹۶	۲۸۰۰	۳۰۰	۱۵۲۰۰
Sic-4	۲۶۹۲۳۷	۳۹۳۴۰۷۷	۳۴۲	<۰/۵	۲۰/۰۴	۱۸۶۰۰	۱۲/۳۷	۹۹۰۰	۷۷۰	۱۸۵۰۰
Sic-6	۲۶۹۱۵۲	۳۹۳۳۹۰۹	۶۹	<۰/۵	۳۹/۳۳	۱۶۶۰۰	۰/۴۲	۲۳۰۰	۷۰۰	۱۸۰
Sic-7	۲۶۹۰۳۱	۳۹۳۴۱۲۲	۲۴	<۰/۵	۹/۹۵	۱۴۴۰۰	۲۳/۳۶	۱۹۰۰۰	۱۶۰۰	۱۸۰
Sic-8	۲۶۹۰۷۴	۳۹۳۴۱۲۰	۶۹	<۰/۵	۱۹/۱۳	۱۶۱۰۰	۹/۶۱	۴۸۲۰۰	۱۵۰۰	۸۰
Sic-9	۲۶۹۰۵۵	۳۹۳۴۱۱۵	۷	<۰/۵	n.d	۶۳۰	۳۷/۵۶	۲۳۰۰	۲۳۰	۶۰
Sic-10	۲۶۹۰۸۶	۳۹۳۴۱۱۸	۱۱	<۰/۵	۲۹/۴۹	۲۱۴۰۰	۲/۷۰	۱۴۱۰۰	۱۰۰۰	۴۵۰
Si-18	۲۶۹۲۳۴	۳۹۳۴۰۷۷	۱۱۹	<۰/۵	۲۵/۹۴	۹۸۰۰	۷/۶۶	۲۲۶۰۰	۴۷۰	۴۷۰۰
Si-37	۲۶۹۱۲۹	۳۹۳۳۹۵۰	۲۴	<۰/۵	۱/۹۳	۶۱۰۰	۳۵/۱۴	۲۶۰۰	۸۰۰	۳۶۰
Si-17	۲۶۹۲۳۳	۳۹۳۴۰۷۷	۱۱	<۰/۵	۲/۴۵	۲۲۸۰۰	۲۱/۰۰	۵۴۸۰۰	۱۳۰۱	۹۵۸۰۰
Si-3	۲۶۹۲۳۲	۳۹۳۴۰۷۷	۴۴	<۰/۵	n.d	۴۷۰۰	۳۴/۱۸	۴۳۰۰	۵۴۰	۳۷۹۰۰
Si-8	۲۶۹۲۳۰	۳۹۳۴۰۷۸	<۵	<۰/۵	۰/۲۲	۲۰۰۰	۳۶/۰۱	۵۹۰۰	۳۹۰	۵۰۰
Si-12	۲۶۹۲۲۸	۳۹۳۴۰۸۷	۱۷	<۰/۵	n.d	۱۰۰۰	۳۶/۳۱	۳۲۰۰	۱۵۰	۱۸۰

جدول ۳- نتایج تجزیه برخی عناصر مهم در نمونه‌های خرده‌سنگی همراه با کانی‌سازی استیبنیت

عنصر	X	Y	Sb	Mo	Cu	Pb	Zn	Cd	Ag
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
			0.5	0.5	0.5	0.5	5	0.5	0.5
Sic-2	۲۶۹۲۲۹	۳۹۳۴۰۸۶	۸۴۳۰۰	<۰/۵	۵	۸	۲۹۸	۱	<۰/۵
Sic-3	۲۶۹۲۳۱	۳۹۳۴۰۷۷	۱۷۹۰۰	<۰/۵	۳۴	۳۳	۳۶۵	۰/۹	<۰/۵
Sic-5	۲۶۹۲۳۸	۳۹۳۴۰۷۷	۷۳۵۰۰	<۰/۵	۱۴	۲۵	۲۶۶	۰/۸	<۰/۵
Sic-12	۲۶۹۱۲۷	۳۹۳۳۹۴۹	۲۶۰۱۰۰	۱/۰	<۰/۵	۳۲	۵۲۴	۵	<۰/۵
Sic-13	۲۶۹۲۴۰	۳۹۳۴۰۸۰	۲۰۵۴۰۰	<۰/۵	<۰/۵	۹	۱۰۶۹	۶	<۰/۵
Si-32	۲۶۹۲۴۳	۳۹۳۴۰۸۶	۷۴۹۰۰	<۰/۵	۳	۱۴	۳۷۴	۲	<۰/۵
Si-11	۲۶۹۲۲۹	۳۹۳۴۰۸۷	۲۰۹۰۰	۱/۳	۱۲	۱۸	۱۳۰	۱	<۰/۵
Si-19	۲۶۹۲۳۶	۳۹۳۴۰۷۷	۶۲۱۰۰	<۰/۵	۳	۱۰	۹۴۴	۱	<۰/۵
Si-9	۲۶۹۲۳۰	۳۹۳۴۰۷۸	۳۳۸۰۰	<۰/۵	۱۸	۲۰	۳۵۶	۱	<۰/۵

ادامه جدول (۳)

عنصر	X	Y	As	Bi	Si	Fe	Ca	Mg	Mn	Ba
			ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm
			5	0.5	0.01	100	0.01	100	100	100
Sic-2	۲۶۹۲۲۹	۳۹۳۴۰۸۶	۱۲	<۰/۵	۶/۲۶	۳۳۰۰	۱۳/۴۹	۷۴۰۰	۲۳۰	۲۸۸۲۰۰
Sic-3	۲۶۹۲۳۱	۳۹۳۴۰۷۷	۲۲۶	<۰/۵	۲۰/۲۹	۱۱۸۰۰	۸/۹۱	۱۴۵۰۰	۸۵۰	۹۵۴۰۰
Sic-5	۲۶۹۲۳۸	۳۹۳۴۰۷۷	۷۹	<۰/۵	۱۵/۹۳	۹۳۰۰	۱۲/۷۱	۶۶۰۰	۶۰۰	۹۹۱۰۰

Sic-12	۲۶۹۱۲۷	۳۹۳۳۹۴۹	۶۴	<۰/۵	۸/۸۹	۶۴۰۰	۱۰/۱۱	۲۶۷۰۰	۳۹۰	۳۹۸۰۰
Sic-13	۲۶۹۲۴۰	۳۹۳۴۰۸۰	۱۷	<۰/۵	۲/۲۱	۳۲۰۰	۶/۵۰	۱۵۶۰۰	۱۵۰	۳۲۵۳۰۰
Si-32	۲۶۹۲۴۳	۳۹۳۴۰۸۶	۹	<۰/۵	۱/۱۸	۲۲۰۰	۲۳/۸۱	۲۴۰۰	۳۰۰	۲۰۷۰۰۰
Si-11	۲۶۹۲۲۹	۳۹۳۴۰۸۷	۶۰	<۰/۵	۱۵/۷۱	۷۴۰۰	۱۹/۱۸	۱۳۷۰۰	۶۰۰	۲۶۸۰۰
Si-19	۲۶۹۲۳۶	۳۹۳۴۰۷۷	۶۲	<۰/۵	۲۲/۴۹	۷۳۰۰	۲/۸۰	۴۵۰۰	۳۰۰	۲۰۸۳۰۰
Si-9	۲۶۹۲۳۰	۳۹۳۴۰۷۸	<۵	<۰/۵	۵/۲۰	۳۲۰۰	۲۵/۷۵	۵۶۰۰	۳۹۰	۶۲۱۰۰

جدول ۴- نتایج تجزیه برخی عناصر مهم در نمونه خرده‌سنگی کانی‌سازی مرحله اول منطقه سیرزار

عنصر	X	Y	Sb	Mo	Cu	Pb	Zn	Cd	Ag
واحد			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
حد تشخیص			0.5	0.5	0.5	0.5	5	0.5	0.5
Sic-11	۲۶۹۱۲۹	۳۹۳۳۹۵۵	۱۵۸۰۰	۲	۱۵۶۹۷	۲۰۵۲۰۰	۵۱۷۲	۱۱۴	۳۰۰

ادامه جدول (۴)

عنصر	X	Y	As	Bi	Si	Fe	Ca	Mg	Mn	Ba
واحد			ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm
حد تشخیص			5	0.5	0.01	100	0.01	100	100	100
Sic-11	۲۶۹۱۲۹	۳۹۳۳۹۵۵	۲۴۱	<۰/۵	۱۶/۳۶	۸۸۰	۰/۵۵	۲۰۰	۲۴	۲۶۳۲۰۰

می‌شود (شکل ۷). پراکندگی نمونه‌ها در دیاگرام Mg-Sb-Ba نیز نشان می‌دهد که تشکیل باریت فقط در برخی موارد همراه با استینیت بوده است و بیشتر این کانی قبل از به وجود آمدن استینیت تشکیل شده است (شکل ۸ الف). این موضوع در مطالعات پتروگرافی نیز مشخص است.

دولومیتی شدن سنگ کربناته نیز رابطه تقریباً عکس با کانی‌سازی استینیت دارد. بطوریکه در نمونه‌های همراه با کانی‌سازی مقدار منیزیم کاهش یافته است (جدولهای ۱ تا ۳ و شکل ۸ الف). بنابراین دولومیتی شدن قبل از تشکیل استینیت رخ داده است و شواهد پتروگرافی نیز این مساله را تایید می‌کند.

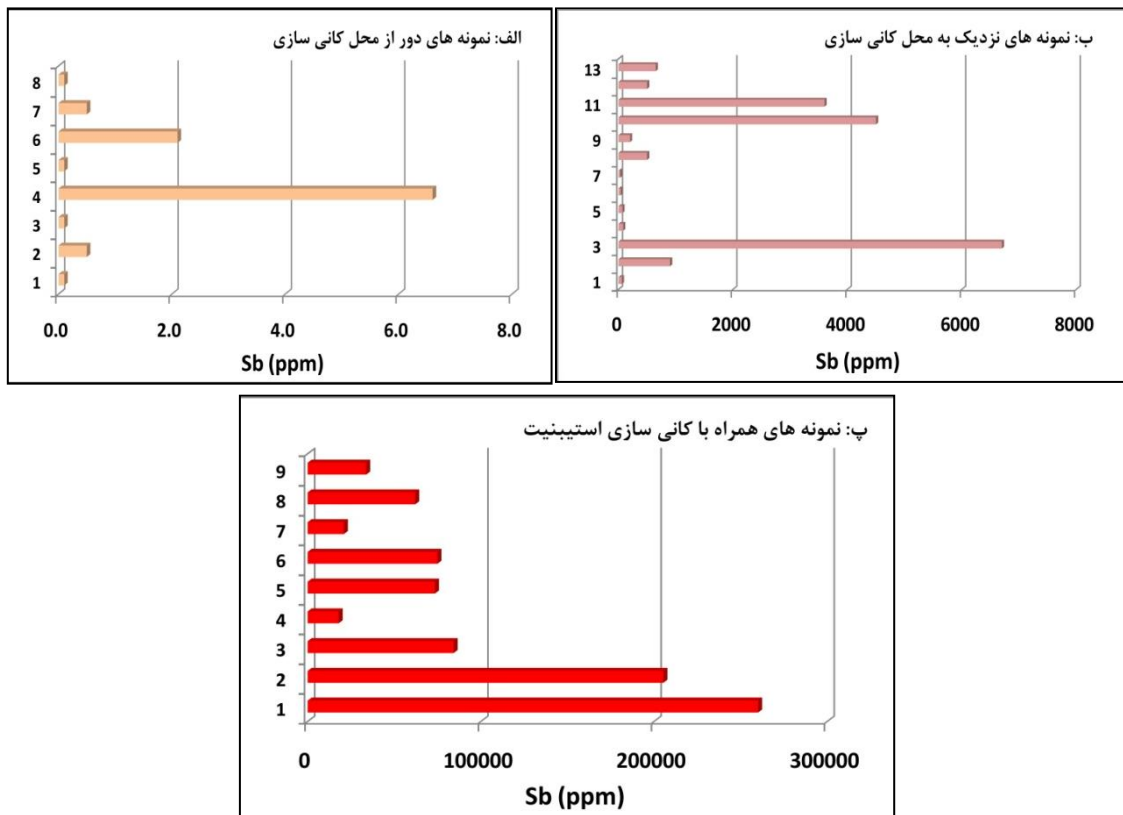
همچنین بین سه دگرسانی مهم کانسار یعنی سیلیسی شدن، دولومیتی شدن و باریتی شدن رابطه تقریباً عکسی وجود دارد، بطوریکه با باریتی شدن هرچه بیشتر نمونه میزان سیلیسی شدن و

سیلیسی شدن سنگ کربناته اولین فرایند دگرسانی در منطقه است. رابطه عکس عناصر سیلیسی و کلسیم در نمونه‌ها بیانگر جانشینی Si به جای Ca است که فضای مناسب برای کانی‌سازی را فراهم آورده است (شکل ۵).

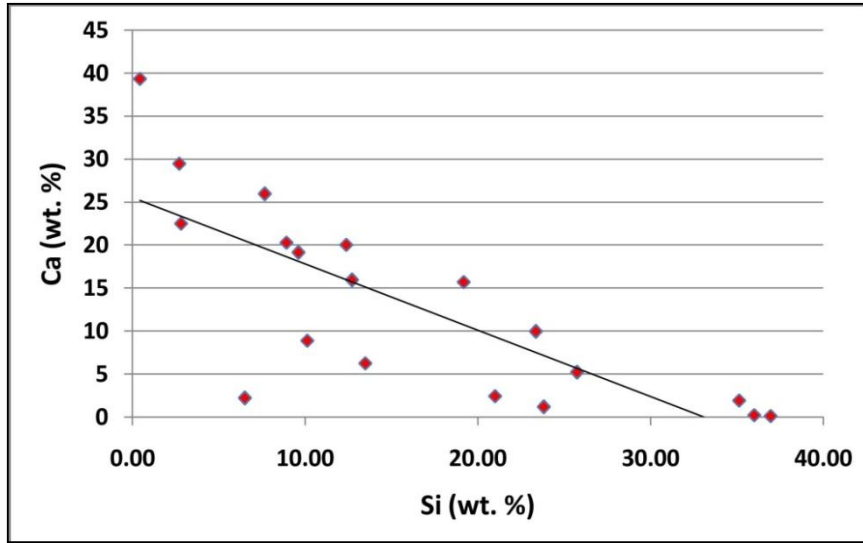
همانطور که قبلاً گفته شد، باریتی شدن مهمترین دگرسانی سنگ میزبان در منطقه است. مقدار باریت در نمونه‌های دور از محل کانی‌سازی بین ۱۳ تا ۱۰۹ گرم در تن است، در حالیکه در حریم کانی‌سازی مقدار این عنصر تا ۹۵۸۰۰ گرم در تن در سنگ کربناته و در نمونه‌های همراه با کانی‌سازی استینیت در تونلها به بیش از ۳۲ درصد افزایش یافته است (جدولهای ۱ تا ۳ و شکل‌های ۶ الف تا پ). این عنصر جانشین کلسیم در سنگ آهک شده است. هرچند این روند افزایش هماهنگ با افزایش مقدار آنتیموان است، اما همبستگی بسیار کمی بین باریت و آنتیموان دیده

بیش از ۲۰۰۰ گرم در تن در نمونه‌های با فاصله زیاد از کانی‌سازی به ۱۵۰ گرم در تن در نمونه‌های با کانی‌سازی کاهش می‌یابد. آهن نیز از بیش از ۳۲۰۰۰ تا ۶۳۰ گرم در تن متغیر است (جدولهای ۱ تا ۳). وجود کم پیریت و دیگر کانیهای آهن‌دار در منطقه سیرزار بیانگر پایین بودن آهن محلول کانه‌دار و سنگ کربناته میزبان است که در مجموع کمتر از ۲ درصد می‌باشد.

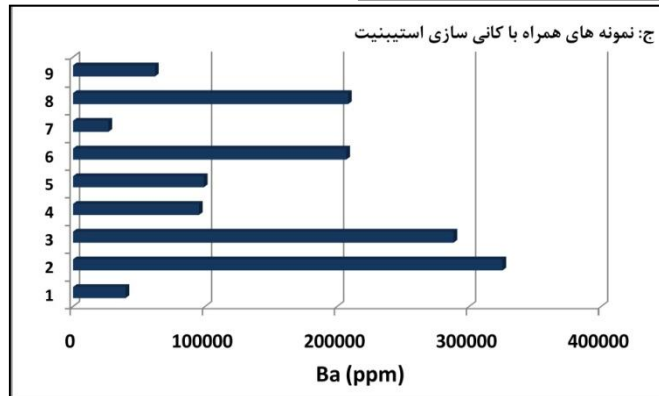
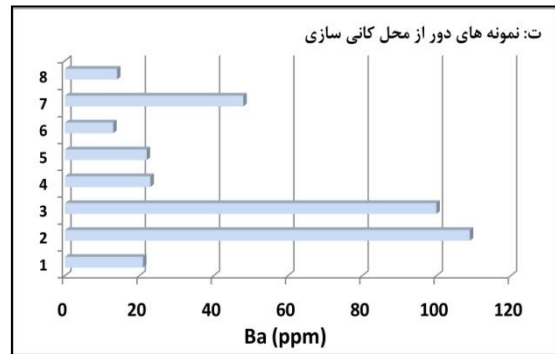
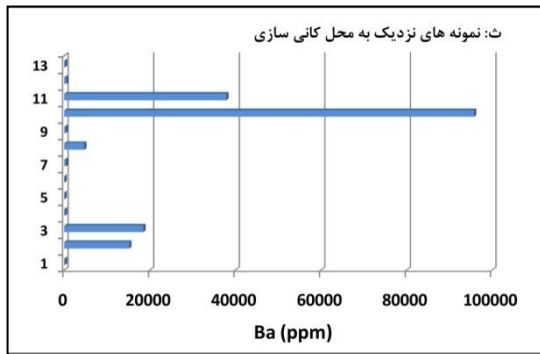
دولومیتی شدن کاهش یافته است و در نمونه‌های سیلیسی شده نیز دولومیتی شدن و باریتی شدن دیده نمی‌شود. نمونه‌های همراه با کانی‌سازی استیبنیت نیز عمدتاً با باریتی شدن همراه هستند (شکل ۸ ب). کاهش تقریباً منظمی در عناصر آهن و منگنز از نمونه‌های دور از کانی‌سازی به طرف نمونه‌های دارای استیبنیت دیده می‌شود. بطوریکه منگنز از



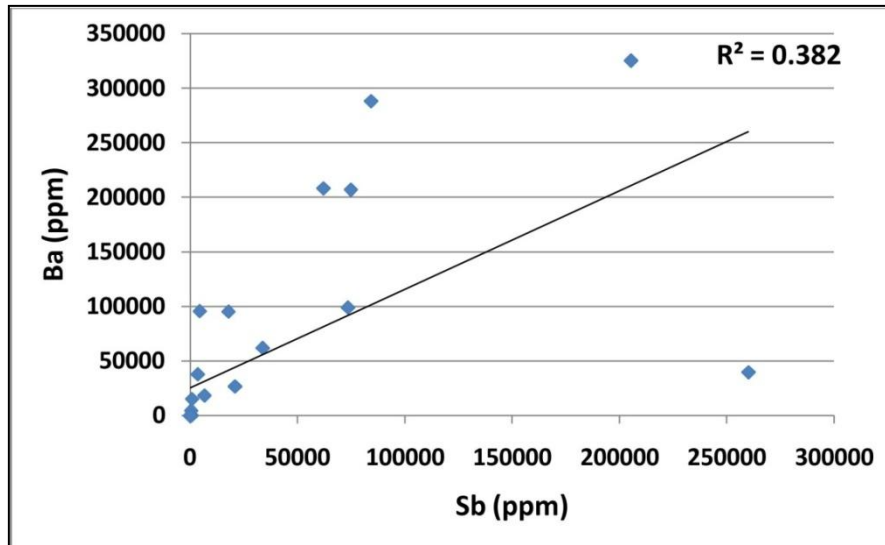
شکل ۴ الف تا پ- مقدار آنتیموان در نمونه‌های خرده‌سنگی در فواصل مختلف از محل کانی‌سازی از واحد کربناته و بعضاً شیبستی



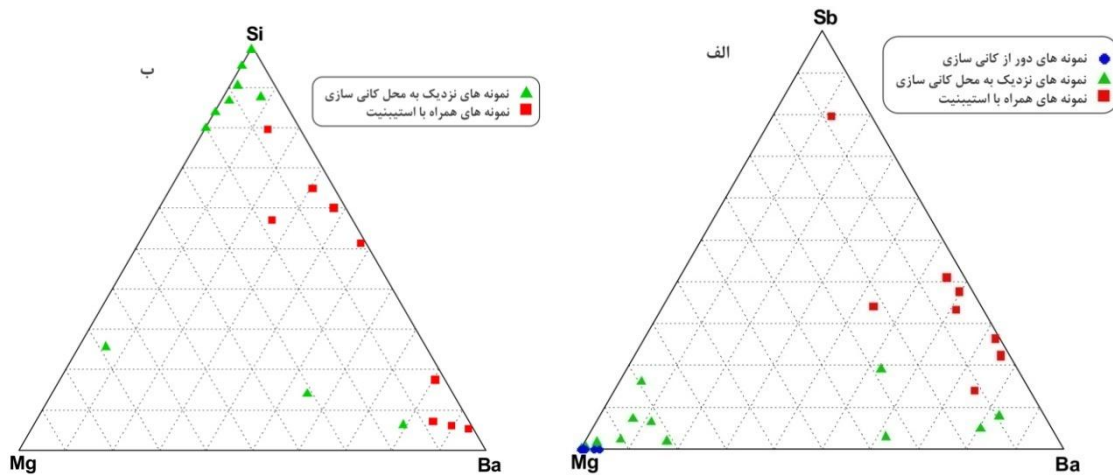
شکل ۵- رابطه معکوس بین سیلیس و کلسیم در نمونه‌های خرده‌سنگی



شکل ۶ الف تا پ- مقدار باریم در نمونه‌های خرده‌سنگی در فواصل مختلف از محل کانی‌سازی از واحد کربناته و بعضاً شیبستی



شکل ۷- همبستگی کم بین آنتیموان و باریم در نمونه‌های خرده‌سنگی



شکل ۸- (الف) پراکنندگی عناصر در نمونه‌های کانی‌سازی مرحله دوم در دیاگرام سه‌تایی Mg-Sb-Ba (ب) پراکنندگی عناصر در نمونه‌های کانی‌سازی مرحله دوم در دیاگرام سه‌تایی Mg-Si-Ba

نتیجه‌گیری

کانی‌سازی آنتیموان سیرزار به صورت رگه‌ای و جانشینی در سنگ میزبان کربناته (پرمین) که بر روی مجموعه افیولیتی و دگرگونیهای مرتبط با آن رانده شده، تشکیل شده است. کانی‌سازی اولیه در دو مرحله رخ داده است: (۱) کانی‌سازی گالن ± پیریت ± کالکوپیریت ± اسفالریت ± سولفوسالت ± سولفید مس - آنتیموان همراه با باطله کوارتز و باریت و (۲) کانی‌سازی استیبنیت ± پیریت ±

اسفالریت همراه با باطله‌های کوارتز، باریت، دولومیت و کلسیت. کانیهای ثانویه زون اکسیدان نیز شامل ملاکیت، آزوریت، کوولیت، آنگلیت و بطور فرعی بیندهمیت، گوتیت، هماتیت و اکسیدهای آنتیموان است. ژئوشیمی کانی‌سازی مرحله اول عبارتست از: سرب حدود ۲۰ درصد، مس ۱/۵ درصد، روی ۰/۵ درصد، نقره ۳۰۰ گرم در تن، آرسنیک ۲۴۱ گرم در تن و آنتیموان تا ۱/۵ درصد. در کانی‌سازی

جام به سن تریاس فوقانی قرار دارد که در مرز این توده با واحدهای رسوبی اطراف، کانی‌سازیهایی متعدد رگه‌ای مس (منطقه انبورتا)، طلا (فیروزکوه)، مس-طلا- تنگستن (تاریک‌دره) و سرب و روی (بوته‌گز) تشکیل شده است. این توده گرانیوتوئیدی متشکل از توده‌های درونی و نیمه عمیق با ترکیب دیوریت تا مونزونیت است و مطالعات در حال انجام، نشان دهنده متعلق بودن این واحدها به دسته گرانیوتوئیدهای سری ایلمنیت احيایی است. در کانسارهای آنتیموان اپی‌ترمال چین که با توده‌های نفوذی اسیدی- حدواسط در ارتباطند، توده نفوذی از نوع سری S و احيایی است (Wu, 1993). احتمال دارد که منشا این کانی‌سازی آنتیموان نیز همین توده‌های گرانیوتوئیدی تربت جام باشند که تایید آن نیاز به بررسی بیشتر در منطقه وسیع‌تری دارد.

تشکر و قدردانی

این پروژه با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۲ به شماره ۲/۱۸۰۹۵ مورخ ۹۰/۳/۲۴ انجام شده است. از شرکت پارت گوال به دلیل فراهم آوردن نیروی انسانی در ضمن عملیات صحرایی صمیمانه سپاسگزاریم. از جناب آقای مهندس پورمند و سرکار خانم نگارستانی در شرکت کانساران بینالود برای انجام آنالیزها کمال تشکر را داریم.

-رحیم‌پور بناب، ح، ۱۳۸۴. سنگ‌شناسی کربناته: ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۷ صفحه.
-قائمی، ف، و حسینی، ک، ۱۳۷۸. نقشه زمین-شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سفید سنگ. سازمان زمین‌شناسی کشور.

مرحله دوم نیز آنتیموان در نمونه‌های دارای استینیت توده‌ای به بیش از ۲۶ درصد رسیده و روی تا ۰/۱ درصد دیده می‌شود. تغییرات نسبتاً منظمی در افزایش آنتیموان و روی از نمونه‌های دور از کانی‌سازی به سمت نمونه‌های دارای استینیت در داخل تونلها دیده می‌شود. در مجموع زون‌بندی کانی‌شناسی- ژئوشیمیایی واضحی در منطقه دیده می‌شود.

مهمترین دگرسانیهای سنگ میزبان همراه با کانی‌سازی آنتیموان \pm روی شامل سیلیسی شدن، باریتی شدن و دولومیتی شدن می‌باشد. این سه فرایند همراه با خروج کلسیم از سنگ کربناته بوده است، بطوریکه کلسیم خارج شده در نهایت به صورت رگچه‌های کلسیت درشت بلور همزمان با تشکیل استینیت برجای گذاشته شده است. سیلیسی شدن و دولومیتی شدن عمدتاً قبل از تشکیل استینیت در سنگ کربناته رخ داده و محیط مناسب برای کانی‌سازی را فراهم کرده است. باریتی شدن که مهمترین فرایند دگرسانی منطقه است با افزایش مقدار آنتیموان افزایش یافته، اما همبستگی مثبتی بین باریت و آنتیموان وجود ندارد و بخش اعظم باریت قبل از استینیت تشکیل شده است.

کانی‌سازی آنتیموان سیرزار از نوع اپی‌ترمال است و منشا محلول کانه‌دار بدرستی مشخص نیست. در شرق این منطقه توده گرانیوتوئیدی بزرگ تربت

منابع

-سعادت، س، و شهاب‌پور، ج، ۱۳۷۶. نگرشی بر کانسارسازی آنتیموان در منطقه سیرزار (شمال شرق خراسان)، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱، صفحه ۴۵-۵۸.

- Fan, D., Zhang, T., and Ye, J., 2004. The Xikuangshan Sb deposit hosted by the Upper Devonian black shale series, Hunan, China: *Ore Geology Reviews*, v. 24, p. 121–133.
- Khan, M.A., Lal, J.K., Chandra, S., and Singh, R.N., 1991. Geochemical appraisal of possible mineralization of noble metals in the rocks of Bijawar Group in Sonbhadra district. Uttar Pradesh: *Records Geological Survey of India*, v.124 (8), p. 111–113.
- Jankovic, S., 1979. Yugoslavia. In: Dunning, F.W., Mykura, W., Slater, D. (Eds.), *Mineral deposits of Europe*, volume 2, Southeast Europe, Institution of Mining and Metallurgy and The Mineralogical Society, v.2, p. 143–202.
- Mao, J.W., Qiu, Y.M., Goldfarb, R.J., Zhang, Z.C., Garwin, S., and Ren, F.S., 2002. Geology, distribution, and classification of gold deposits in the western Qinling belt, central China: *Mineralium Deposita*, v. 37, p. 352–377.
- Peng, J.-T., Hu, R.-Z., and Burnard, P.G., 2003. Samarium–neodymium isotope systematics of hydrothermal calcites from the Xikuangshan antimony deposit (Hunan, China): the potential of calcite as a geochronometer: *Chemical Geology*, v. 200, p. 129–136.
- Vearncombe, J.R., Cheshire, P.E., De Beer, J.H., Killick, A.M., Mallinson, W.S., McCourt, S., and Stettler, E.E., 1988. Structures related to the antimony line, Murchison schist belt, Kaapvaal craton, South Africa: *Tectonophysics*, v. 154, p. 285–308.
- Wu, J., 1993. Antimony vein deposits of China: *Ore Geology Reviews*, v. 8, p. 213–232.
- Akçay, M., Özkan, H.M., Moon, C.J., and Spiro, B., 2006. Geology, mineralogy and geochemistry of the gold-bearing stibnite and cinnabar deposits in the Emirli and Halikoy areas (Odemis, Izmir, West Turkey): *Ore Geology Reviews*, v. 29, p. 19–51.
- Arribas, A., and Gumiel, P., 1984. First occurrence of a stratabound Sb–W–Hg deposit in the Spanish Hercynian Massif: In: Wauschkun, E. (Ed.), *Syngeneses and Epigenesis in the Formation of Mineral Deposits*, Springer, Berlin, verlag, p. 468–481.
- Arribas, A., and Gumiel, P., 1987. Antimony deposits in the Iberian Peninsula: *Economic Geology*, v. 82, p. 1453–1463.
- Cerny, I., 1981. *Geochemische Untersuchungen von Karbonatgesteinen im Antimonbergbau Schlaining (Burgenland): Berg-und hüttenmännische Monatshefte*, v. 126, p. 524–527.
- Chovan, M., Slavkay, M., and Michaľek, J., 1996. Ore mineralisation of the D'umbierske Tatry Mts. (Western Carpatians, Slovakia): *Geologica Carpathica*, v. 47, p. 371–382.
- Dehm, R.M., Klemm, D.D., Müller, C., Wagner, J., and Weber-Diefenbach, K., 1983. Exploration for antimony deposits in southern Tuscany, Italy: *Mineralium Deposita*, v. 18, p. 423–434.
- Dill, H.G., 1985. Antimoniferous mineralization from the Mid-European Saxothuringian Zone; mineralogy, geology, geochemistry and ensialic origin: *Geologische Rundschau*, v. 74, p. 447–466.
- Dill, H.G., Melcher, F., and Botz, R., 2008. Meso- to epithermal W-bearing Sb vein-type deposits in calcareous rocks in western Thailand; with special reference to their metallogenetic position in SE Asia: *Ore Geology Reviews*, v. 34, p. 242–262.
- Dill, H.G., and Horn, E.E., 1996. The origin of a hypogene sarabauite–calcite mineralization at the Lucky Hill Au–Sb mine Sarawak, Malaysia: *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, v. 14, p. 29–35.