



کانی‌شناسی و زمین‌شیمی رگه‌های آنتیموان - طلا دار در جنوب نهبندان، خاور ایران

محمدحسین زرین کوب^{۱*}، حمید گرانیان^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند

۲- دانشگاه صنعتی بیرجند

(دریافت مقاله: ۸۸/۱/۲۴، نسخه نهایی: ۸۸/۵/۱۴)

چکیده: منطقه‌ی مورد بررسی در جنوب استان خراسان جنوبی، جنوب نهبندان واقع شده است. سه زون کانی‌زایی به صورت سه رگه در این منطقه وجود دارند که رگه‌ی شماره‌ی دو از آنتیموان به صورت استیبنیت غنی است و دارای بی‌هنجاری طلا و جیوه است. این زون از یک مجموعه‌ی سیلیسی - کربناتی همراه با استیبنیت، پیریت، کالکوپیریت و هیدروکسید آهن تشکیل شده است. بافت‌های این رگه‌ها، پرکننده‌ی فضای خالی، برشی و کلونیدی است. کانی‌زایی در درون گسل‌های عمیق ریشه در کنگلومرای کرم رنگ پالئوسن رخ داده است. این کنگلومرا دارای قاعده‌ای از ته‌نشست‌های گونه‌ی فلیشی و قطعاتی از افیولیت ملانژ است. گسل‌های کانی-زایی شده دارای روند شمال باختری جنوب خاوری‌اند. فعالیت آتشفشانی جوان با ترکیب داسیت و آندزیت رخ داده است. بر اساس شواهد زمین‌شناسی صحرائی، بررسی‌های میکروسکوپی و داده‌های تجزیه‌ی کانی‌زایی در یک سیستم وراگرمایی رخ داده است. تجزیه‌ی شیمیایی، ناهنجاری‌های آنتیموان، طلا و جیوه را در این پهنه‌ها نشان می‌دهد. عیار آنتیموان بین ۱۴ گرم در تن تا ۳۲/۴۸ درصد، طلا بین ۱/۲ تا ۴۷۲ گرم در هزار تن و جیوه بین ۱۵۰ گرم در تن تا ۱/۸ درصد تغییر می‌کند.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی، زمین‌شیمی، آنتیموان، استیبنیت، افیولیت ملانژ. اپی ترمال.

مقدمه

آنتیموان به‌عنوان یک شبه فلز، عنصری کالکوفیل [۳] است و میانگین فراوانی آن در پوسته‌ی زمین ۰.۲ گرم در تن است [۴] که بیشتر همراه با طلا و جیوه یافت می‌شود [۵-۷]. کاربردهای مختلف در صنایع نظامی و غیر نظامی دارد [۸-۱۱]. امروزه آنتیموان و ترکیبات آن به‌عنوان آلاینده در لیست مواد مسموم کننده سازمان‌های وابسته به حفاظت محیط زیست قرار گرفته است. سازمان بهداشت جهانی (WHO) بیشترین غلظت مجاز آنتیموان را در آب آشامیدنی ۵ میلی‌گرم در لیتر اعلام کرده است [۱۲].

بیش از ۲۴ کانسار و اثر معدنی آنتیموان در ایران شناخته شد که بیشتر از نوع وراگرمایی‌اند [۱۳] و ارتباط تنگاتنگی با کانی‌سازی طلا، جیوه و آرسنیک دارند [۱۴-۱۷]. تناژ بالای ۳۵۰۰۰۰ تن و عیار بالاتر از ۳۲ درصد در کانسارهای آنتیموان

منطقه‌ی مورد بررسی در ۷۴ کیلومتری جنوب نهبندان و ۲۸۰ کیلومتری جنوب خاوری بیرجند، در مرز جنوبی استان خراسان جنوبی قرار گرفته است. مساحت منطقه‌ی مورد بررسی حدود ۴۰ کیلومتر مربع بوده که در یک مساحت ۵ کیلومترمربعی، سه پهنه‌ی کانی‌زا تشخیص داده شده است. این گستره‌ی در موقعیت ۰۶°، ۴۶°، ۳۰° و ۲۶°، ۵۰°، ۳۰° عرض شمالی و ۱۵°، ۰۱°، ۶۰° تا ۳۰°، ۰۷°، ۶۰° طول شرقی واقع شده است. از آنجا که این منطقه در حدود ۳۵ کیلومتری جنوب روستای حیدر آباد قرار گرفته است، نام این منطقه حیدر آباد گذاشته شد (شکل ۱). این منطقه بخشی از پهنه‌ی فلیش - کمر بند آمیزه‌ی رنگین [۱] یا زون جوش خورده‌ی سیستان [۲] در خاور ایران محسوب می‌شود که به‌منظور بررسی کانی‌زایی آنتیموان و طلا مورد بررسی قرار گرفته است.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۲۵۰۲۰۴۵ (۰۵۶۱)، نامبر: ۲۵۰۲۰۴۱ (۰۵۶۱)، پست الکترونیکی: zarinkoub@birjand.ac.ir

در ۵ مقطع نازک صیقلی با استفاده از دستگاه ریزپردازنده‌ی JEOL مدل JSM-840A و با ولتاژ شتاب دهنده‌ی ۲۰ کیلو ولت و شدت جریان ۵ nA، مجهز به سیستم ISIS ED در بخش علوم زمین دانشگاه آکسفورد انگلستان انجام گرفت. در این دستگاه برای تصحیح داده‌ها از نرم افزار ZAF استفاده شد. علی رغم تلاش زیادی که برای انجام بررسی‌های شاره‌های درگیر صورت گرفت، به علت فقدان کانی شفاف مناسب برای شاره‌های درگیر، این مهم با موفقیت همراه نبوده است.

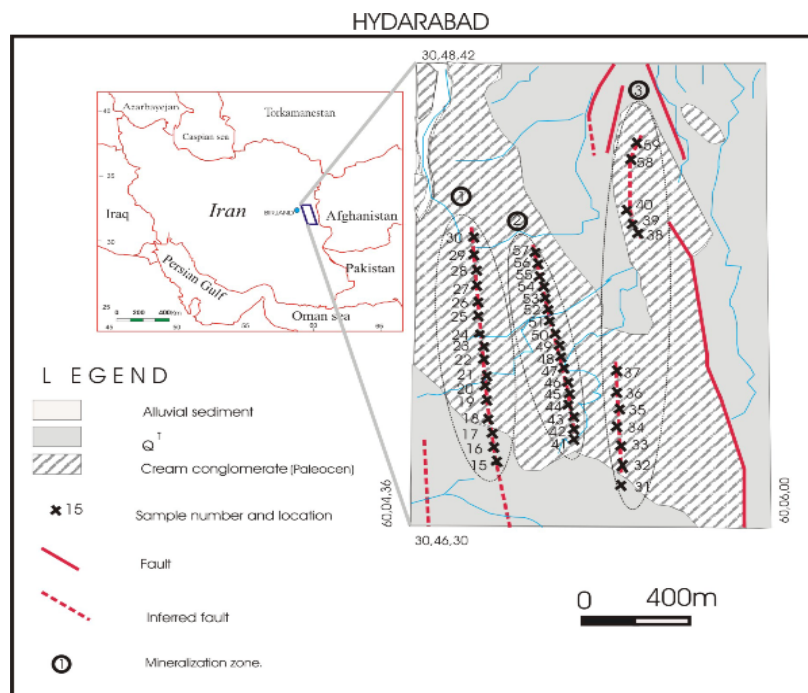
زمین‌شناسی منطقه‌ای

منطقه‌ی مورد بررسی بخشی از پهنه‌ی فلیش - آمیزه‌ی رنگین خاور ایران است. قدیمی‌ترین سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه شامل مجموعه‌ای در هم آمیخته‌ای از اجزای سنگ کوهی اقیانوسی است که با عنوان آمیزه‌ی افیولیتی معرفی شده‌اند که در آن پریدوتیت‌های سرپانتینی شده، گابرو و اسپیلیت‌ها همراه سنگ‌های رسوبی دگرگون شده‌ی وابسته به رخساره‌ی فلیش با سن کرتاسه فوقانی رخنمون دارند. در کنار این مجموعه‌ی سنگی، واحدهای رسوبی مرکب از شیل و ماسه سنگ قابل مقایسه با رخساره‌ی فلیش پالئوسن، یک مجموعه کنگلومرای کرم رنگ و یک واحد آذر آواری بیشتر از توف‌های اسیدی قرار دارند. سنگ‌های آتشفشانی با ترکیبی داسیتی و آندزیت به صورت قله‌های منفرد و یا دایک به درون مجموعه‌ی شیل و ماسه سنگی پالئوسن تزریق شده‌اند. سن فعالیت‌های

ایران گزارش نشده است [۱۸]. همراهی آنتیموان با عناصری نظیر طلا و جیوه، پایین بودن تناژ در کانسارهای آنتیموان، کاربرد متنوع آن و زهرآگین بودن آنتیموان در آب آشامیدنی همگی باعث شده‌اند تا این عنصر به عنوان یک عنصر قابل توجه مطرح شود. اهمیت عنصر آنتیموان از یک طرف و وجود کانسارهای آنتیموان در خراسان در درون گسل‌های واحدهای تهنستی [۱۴، ۱۷] ما را در بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی رگه‌های آنتیموان‌دار منطقه ترغیب کرده است.

روش کار

نخست با استفاده از عکس‌های هوایی و برداشت‌های صحرایی، نقشه‌ی زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۲۰۰۰۰ از منطقه مورد بررسی تهیه شده است. حین تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی، ضمن شناسایی واحدهای سنگی، نمونه برداری چکشی از منطقه صورت گرفت. گستره‌ی دارای اثر معدنی شناسایی شده و نمونه برداری فشرده و سیستماتیک انجام شد (شکل ۱). در این راستا ۱۰ مقطع صیقلی، ۵ مقطع نازک صیقلی، ۲۵ مقطع نازک تهیه و بررسی شدند، و ۳۲ نمونه تجزیه شیمیایی شده‌اند. نمونه برداری به صورت خرده سنگی (Chip composite) از ترانشه‌های حفر شده روی رگه‌ها انجام شده است. تجزیه‌های شیمیایی از سوی سازمان زمین‌شناسی کشور به روش طیف - نورسنجی جذب اتمی (AAS) انجام شده‌اند. تعداد ۵ نمونه برای آنالیز پراش پرتو X (XRD) در دانشگاه بیرجند با دستگاه Philips 1840 آماده‌سازی و تجزیه شد. آنالیز نقطه‌ای کانی‌ها



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده شده، موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی، پهنه‌های کانی‌زایی و محل‌های نمونه برداری شده.

کربناته (کوارتز، کلسدونی، دولومیت و کلسیت) تقریباً منقطع با طول حدود ۴۴۰۰ متر و عرض متغیر بین ۵، تا ۱/۵ متر با روند کلی شمال باختری - جنوب خاوری است. بخش عمده‌ی این رگه در نمونه‌های دستی هیچ اثری از آنتیموان را نشان نمی‌دهد، ولی در تجزیه‌های شیمیایی بی‌هنجاری آنتیموان، جیوه و طلا مشاهده می‌شود (جدول ۱). برش‌های صیقلی مربوط به این رگه، غیر از هیدروکسیدهای آهن چیزی را نشان ندادند. دنباله‌ی جنوبی این رگه در خارج از گستره‌ی مورد بررسی، دارای رگچه‌های آنتیموان است که با عنوان آنتیموان سفیدابه معرفی شده است [۲۰].

ب) رگه‌ی معدنی شماره ۲: شامل یک رگه‌ی سیلیسی - کربناتی با روند کلی شمال باختری - جنوب خاوری با طول حدود ۱۶۰۰ متر و عرض متغیر نیم تا دو متر است که به‌طور منقطع در درون کنگلومرای کرم رنگ قرار گرفته‌اند. در بخش میانی این زون، در طول حدود ۳۵۰ متر رگچه‌های کم عرض غنی از آنتیموان مشاهده می‌شود. این رگچه‌ها گسسته و به‌طور متوسط یک تا پنج سانتی‌متر عرض دارند. مهم‌ترین کانی شناخته شده در نمونه‌های دستی، استینیت است اما در برش‌های صیقلی پیریت، کالکوپیریت، کرومیت و هیدروکسید آهن نیز مشاهده شده است. نمونه‌هایی که به روش XRD بررسی شده‌اند دارای استینیت و اکسید آنتیموان هستند (شکل ۳). نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی عیارهای بالایی از آنتیموان (تا ۳۲/۴۸ درصد)، طلا (تا ۴۷۲ گرم در هزار تن) و جیوه (تا ۱/۸ درصد) را نشان می‌دهند (جدول ۲). بافت غالب در این رگه، پرکننده فضای خالی، برشی و کلوییدی است. کانی استینیت در مقاطع صیقلی به شکل زین اسبی (شکل ۴)، کاتاکلاستیک، گوه‌ای، بودینی (شکل ۵) و شعاعی (شکل ۶) دیده می‌شود. این بافت‌ها نشانه‌هایی از اعمال تنش بر منطقه پس از بروز کانی‌زایی است.

آذرین به اولیگوسن نسبت داده شده است. کنگلومرای کرم رنگ وابسته به پالئوسن [۱۹] میزبان رگه‌های کانی‌زایی شده است. رسوبات حاصل از فرسایش در مخروط‌های افکنه و رسوبات رودخانه‌ای، جوانترین واحد رسوبی در منطقه را تشکیل می‌دهند.

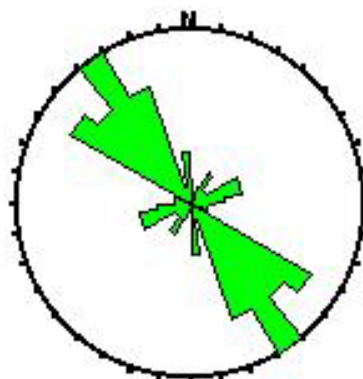
زمین‌شناسی ساختاری

منطقه‌ی مورد بررسی بین دو سیستم گسله باختری آساگی از سمت خاور و گسله نه خاوری در سمت باختر محدود شده است. این دو سیستم گسله دارای روند کلی شمالی جنوبی و از نوع راستالغز راست‌گردند [۱۹]. سیستم گسله باختری آساگی دارای سرشاخه‌هایی با روند کلی شمال باختری - جنوب خاوری (شکل ۲) به‌صورت راستالغز چپگرد است. این شکستگی‌ها که با نهشته‌های گرمابی پرشده و رگه‌های معدنی مورد بررسی را در داخل سنگ بستر خویش ایجاد کرده‌اند حاصل عملکرد گسل‌های پویایی بود که آثار حرکت و پویایی آن را به‌صورت برشی و خش لغز روی مواد پرکننده فضاهای گسلی می‌توان مشاهده کرد. رگه‌های معدنی با سیستم گسلی راستالغز چپگردی با روند کلی خاوری - باختری قطع می‌شوند. این سیستم گسله باعث قطعه قطعه شدن و جابه‌جایی مواد نهشته شده در فضاهای گسله‌های قدیمی‌تر شده است.

کانی‌شناسی و کانی‌زایی آنتیموان

بر اساس شواهد صحرایی، نتایج حاصل از بررسی‌های میکروسکوپی برش‌های نازک و صیقلی، تجزیه‌های شیمیایی و XRD انجام شده در منطقه‌ی حیدرآباد، سه زون معدنی را می‌توان معرفی کرد که در اینجا با عناوین رگه‌ی معدنی شماره یک، دو و سه بحث شده‌اند (شکل ۱).

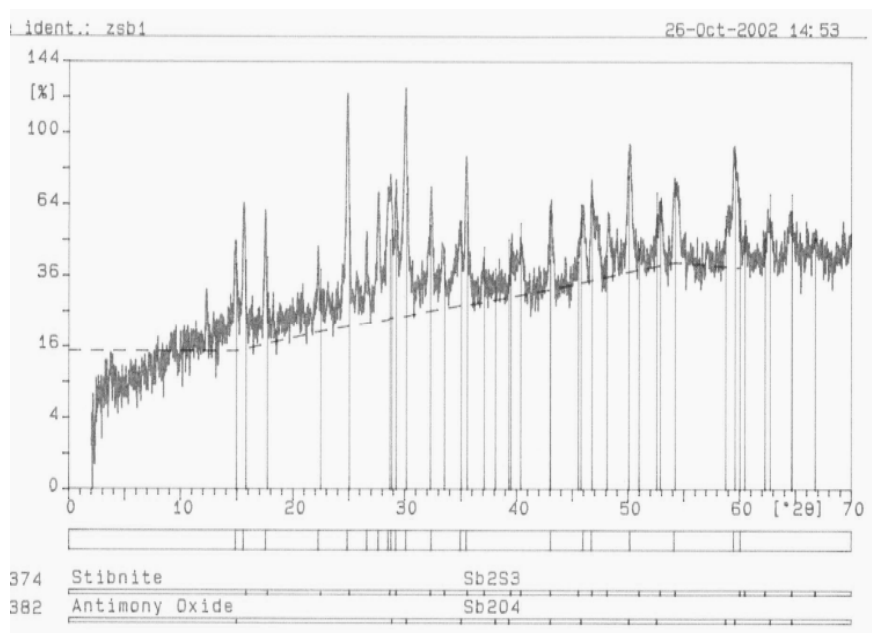
الف) رگه‌ی معدنی شماره ۱: این رگه که در درون کنگلومرای کرم رنگ پالئوسن واقع شده، شامل یک مجموعه‌ی سیلیسی -



شکل ۲ نمودار گل سرخی وابسته به شکستگی‌های کانی‌زایی شده در گستره‌ی مورد بررسی. شکستگی‌های با روند شمال باختری - جنوب خاوری میزبان رگه‌های معدنی است که خود در اثر شکستگی‌های با روند کلی خاوری باختری قطع شده‌اند.

جدول ۱ نتایج تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌های وابسته به رگه شماره ۱. بر حسب گرم در هزار تن طلا و گرم در تن برای عناصر دیگر به روش طیف _ نورسنجی جذب اتمی.

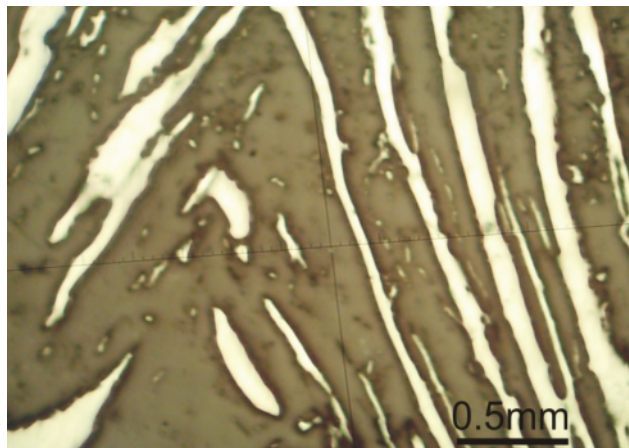
نمونه‌ها ▼	Fe	Cu	Zn	Pb	Hg	As	Ag	Bi	Sb	Au	SO ₃
H-15	۳۳۸۰۰	۳۰	۶۹	۲۸	۳۵۰	۲۰	۲	۱۴	۱۴	۱٫۴	۱۲۱۰۰
H-16	۵۴۳۰۰	۵۶	۸۷	۲۶	۳۵۰	۱۷۲	۲	۱۹	۸۳	۱٫۴	۱۱۴۰۰
H-17	۵۵۸۰۰	۶۵	۹۸	۲۸	۳۰۰	۶۸	۱٫۶	۱۲	۳۶	۲٫۲	۱۸۴۰۰
H-18	۶۵۵۰۰	۶۰	۸۳	۲۵	۲۵۰	۸۴	۲	۱۴	۲۴	۷٫۲	۸۰۰۰
H-20	۵۲۶۰۰	۴۹	۶۸	۳۰	۲۵۰	۴۰	۱٫۸	۱۳	۳۰	۱۰	۱۶۶۰۰
H-21	۵۴۲۰۰	۴۷	۶۸	۳۱	۳۵۰	۸۰	۱٫۸	۱۵	۳۵	۳٫۱	۱۰۶۰۰
H-22	۷۰۴۰۰	۴۴	۸۸	۲۲	۳۵۰	۸۴	۱٫۶	۱۱	۸۸	۲	۶۱۰۰
H-23	۷۰۳۰۰	۴۸	۷۳	۳۶	۲۵۰	۹۲	۱٫۶	۱۳	۳۱	۳٫۳	۵۳۰۰
H-24	۶۳۲۰۰	۲۷	۹۰	۳۰	۱۵۰	۲۰۰	۱٫۴	۱۷	۴۸	۳٫۲	۱۴۳۰۰
H-26	۵۶۳۰۰	۳۰	۹۲	۲۳	۱۵۰	۵۲	۱٫۸	۱۶	۴۶	۵٫۸	۶۷۰۰
H-27	۴۹۶۰۰	۵۰	۵۹	۲۹	۷۵۰	۲۸	۱٫۶	۱۶	۱۶۶	۱۱٫۵	۶۸۰۰
H-28	۴۵۴۰۰	۲۰	۵۷	۲۹	۱۷۴	۸	۲	۲۰	۳۸	۲٫۲	۶۸۰۰
H-29	۶۵۹۰۰	۵۱	۶۶	۳۱	۵۰۰	۶۴	۱٫۸	۲۱	۳۵	۳٫۲	۱۴۱۰۰
H-30	۴۶۰۰۰	۳۱	۷۴	۲۵	۱۵۰	۳۶	۱٫۸	۱۹	۳۹	۱٫۸	۱۱۹۰۰



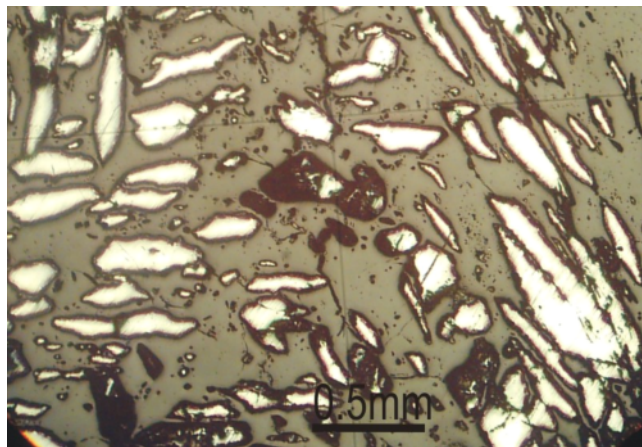
شکل ۳ نمودار پراش پرتو X (XRD) یک نمونه‌ی آنتیموان دار از رگه شماره ۲ و نتیجه حاصل از آنالیز آن.

جدول ۲ نتایج تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌های وابسته به رگه شماره ۲. بر حسب گرم در هزار تن طلا و گرم در تن برای عناصر دیگر به روش طیف _ نورسنجی جذب اتمی.

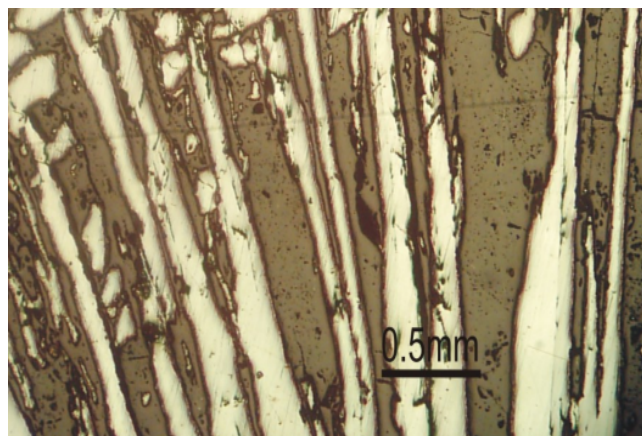
نمونه‌ها ▼	Fe	Cu	Zn	Pb	Hg	As	Ag	Bi	Sb	Au	SO ₃
H-41	۴۸۲۰۰	۲۶	۶۸	۳۴	۴۵۰	۲۸	۱٫۶	۱۷	۵۸	۳٫۶	۱۶۰۰
H-44	۵۵۶۰۰	۴۳	۹۱	۳۳	۲۰۰۰	۶۴	۱٫۸	۱۹	۱۴۰	۲۳۵	۲۱۱۰۰
H-45	۴۶۰۰	۱۴	۲۶	۴٫۵	۱۵۰۰۰	۴۸	۱٫۲	۴٫۵	۳۲۴۸۰۰	۱۶۸	۱۱۸۸۰۰
H-46	۲۵۰۰	۳	۱۷	۴٫۵	۸۰۰۰	۲۸	۱٫۶	۴٫۵	۱۳۹۴۰۰	۲۱۷	۳۱۵۰۰
H-47	۳۲۵۰۰	۲۸	۹۴	۱۷	۹۰۰۰	۴۰	۰٫۵	۴٫۵	۲۵۰۰	۱۷۰	۴۱۰۰
H-48	۸۸۰۰	۱۳	۴۹	۴٫۵	۱۶۰۰۰	۵۲	۱٫۸	۴٫۵	۳۰۶۱۰۰	۳۲۸	۱۳۵۴۰۰
H-49	۴۳۴۰۰	۳۱	۱۰۸	۱۹	۱۰۰۰۰	۶۰	۰٫۵	۴٫۵	۴۳۹	۵۲	۲۷۰۰
H-50	۷۷۰۰	۶	۷۶	۴٫۵	۱۸۰۰۰	۴۴	۱٫۲	۴٫۵	۲۷۹۸۰۰	۴۷۲	۱۳۵۴۰۰



شکل ۴ بافت زین‌اسبی در استینیت‌های رگه شماره ۲ در برش صیقلی در PPL. رگه‌های استینیت با رنگ سفید مایل به خاکستری در بستر باطله سیلیسی قرار دارد.



شکل ۵ بافت کاناکلاستیکی، گوه‌ای و بودین شکل در استینیت‌های رگه شماره ۲ در برش صیقلی در PPL.



شکل ۶ بافت شعاعی در استینیت‌های رگه شماره ۲ در برش صیقلی در PPL.

عرض این رگه بین ۳ تا ۱/۵ متر تغییر می‌کند. هیچ اثری از کانیه‌های آنتیموان‌دار در نمونه‌های دستی و برش‌های صیقلی مشاهده نشده اما نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی بی‌هنجاری از

رگه‌ی معدنی شماره ۳: در سمت خاوری زون شماره‌ی دو و به‌صورت یک رگه‌ی سیلیسی-کربناتی منقطع به طول حدود ۱۰۰۰ متر در درون کنگلومرای کرم رنگ واقع شده است.

بیسموت و طلا بی‌هنجاری مشخصی را نسبت به کلارک خود نشان می‌دهند. کلارک عناصر آنتیموان، جیوه، بیسموت و طلا به ترتیب ۰٫۲، ۰٫۰۸، ۰٫۲ و ۰٫۰۰۴ گرم در تن در نظر گرفته شده‌اند [۴]. آنالیز نقطه‌ای کانی‌های استینیت (شکل ۷) و محصولات حاصل از اکسایش و باطله‌ها در رگه‌های معدنی مورد بررسی، انجام شده است (شکل‌های ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و جدول ۴). رابطه‌ی بین عناصر آنتیموان، جیوه و بیسموت در شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ نمایش داده شده‌اند.

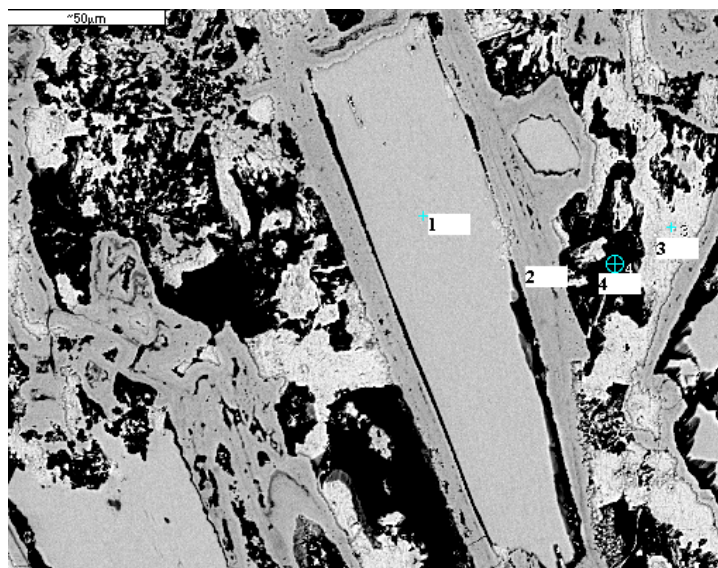
آنتیموان و جیوه را نشان می‌دهند (جدول ۳). در برش‌های سیقلی مقداری از هیدروکسیدهای آهن شناسایی شده است.

ژئوشیمی

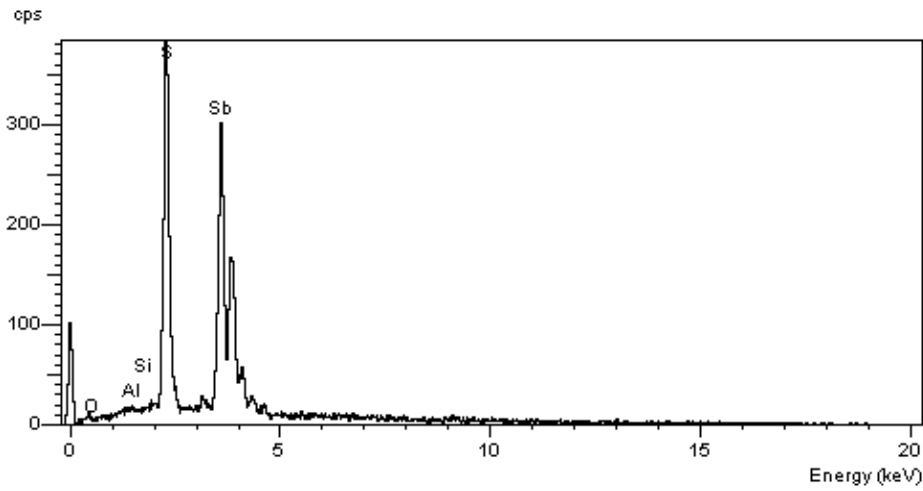
تعداد ۳۲ نمونه از مواد معدنی رگه‌های مورد بررسی، برای عیار سنجی انتخاب شدند. از آنجا که هم یافتی عناصر آنتیموان، طلا، جیوه، نقره، بیسموت، مس، سرب و روی به صورت سولفوسالت در رگه‌های گرمایی متداول است [۲۱] این نمونه‌ها برای Bi , SO_3 , Hg , Sb , Au , Fe , Cu , Zn , Pb , As , Ag آنالیز شدند (جدول‌های ۱، ۲ و ۳). عناصر آنتیموان، جیوه،

جدول ۳ نتایج تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌های وابسته به رگه شماره ۳. بر حسب گرم در هزار تن برای طلا و گرم در تن برای عناصر دیگر به روش طیف _ نورسنجی جذب اتمی.

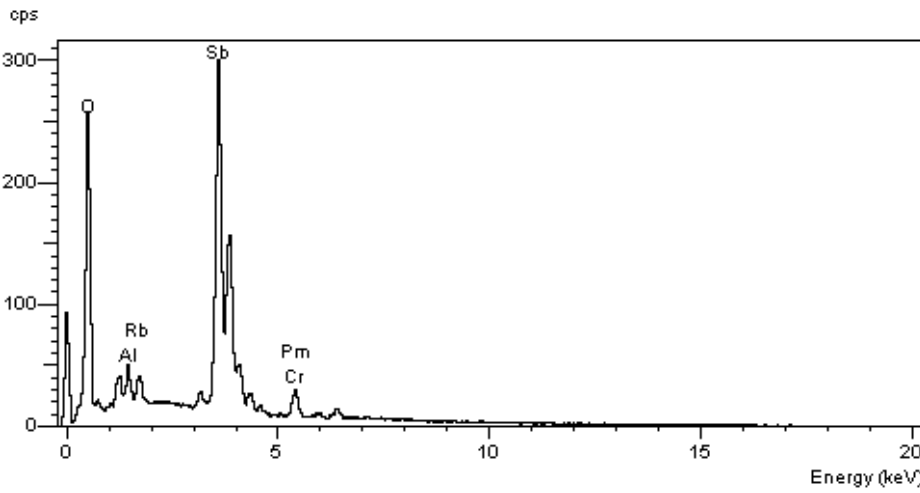
نمونه‌ها ▼	Fe	Cu	Zn	Pb	Hg	As	Ag	Bi	Sb	Au	SO ₃
H-31	۵۲۰۰۰	۴۲	۱۲۶	۳۲	۳۵۰	۱۲۸	۱٫۶	۱۳	۳۵	۴٫۸	۱۶۴۰۰
H-32	۳۷۹۰۲۰	۲۳	۵۷	۳۶	۵۰۰	۴۸	۱٫۸	۱۸	۳۸	۱٫۲	۶۷۰۰
H-33	۵۰۱۰۰	۲۳	۶۹	۲۸	۱۷۰۰	۳۲	۲	۱۹	۲۷۰۰	۲٫۶	۸۶۰۰
H-34	۴۲۰۰۰	۲۳	۵۱	۳۴	۶۰۰	۲۴	۲	۱۹	۴۴	۳٫۳	۶۸۰۰
H-35	۵۲۰۰۰	۶۳	۵۵	۲۸	۴۵۰	۲۳۲	۱٫۶	۱۷	۳۳	۳٫۶	۶۸۰۰
H-36	۵۰۹۰۰	۴۵	۸۵	۳۵	۳۵۰	۳۶	۲	۱۹	۴۷	۱٫۴	۱۲۸۰۰
H-37	۵۵۴۰۰	۳۹	۹۲	۴۴	۳۵۰	۷	۱٫۸	۱۶	۴۰	۲٫۳	۱۱۴۰۰
H-38	۴۶۰۰۰	۳۲	۱۵۶	۴۴	۳۵۰	۱۴	۲	۲۱	۵۰	۱٫۳	۲۷۰۰
H-39	۴۸۰۰۰	۶۲	۸۸	۳۳	۲۵۰	۲۲	۱٫۸	۱۷	۳۳	۱٫۸	۴۲۰۰
H-40	۵۵۴۰۰	۵۲	۸۲	۴۰	۳۵۰	۶	۱٫۸	۲۱	۲۸	۱٫۴	۵۴۰۰



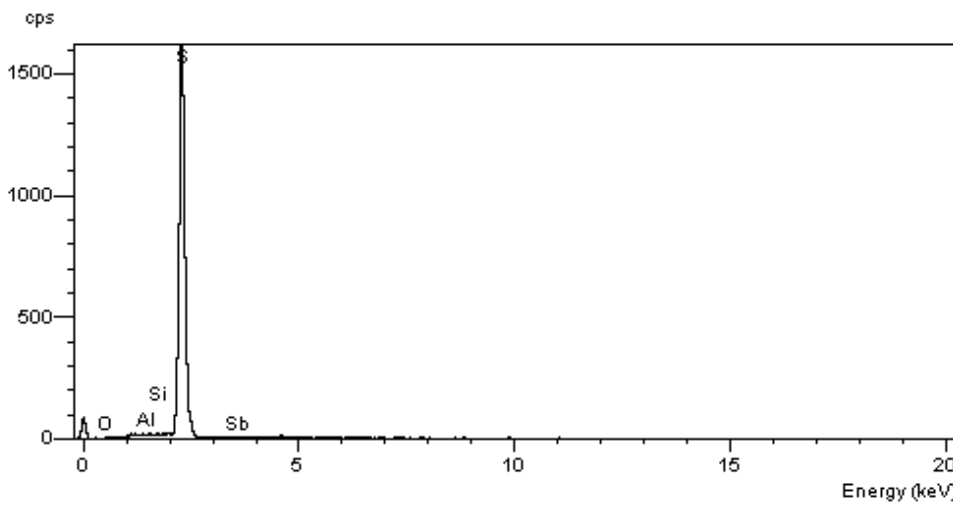
شکل ۷ تصویر (در زیر میکروسکوپ الکترونی) نمونه‌هایی که آنالیز نقطه‌ای شده‌اند با شماره‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. کانی استینیت (شماره ۱) در حال تبدیل شدن به اکسید آنتیموان (شماره ۲) و در نهایت آزاد سازی گوگرد (شماره ۳) در شرایط سطحی است که نمودارهای آنالیز نقطه‌ای آن‌ها در شکل‌های ۱۰، ۹، ۸ و ۱۱ نشان داده شده است.



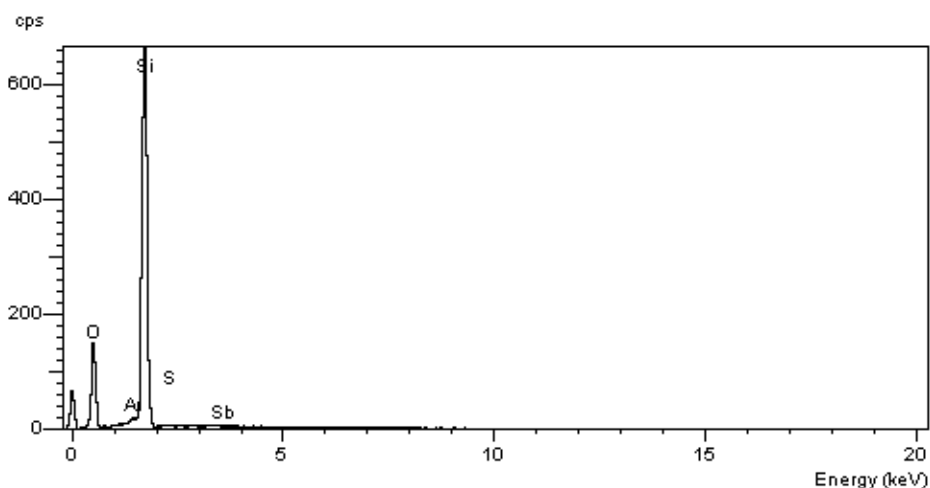
شکل ۸ نمودار آنالیز نقطه‌ای وابسته به نقطه‌ی شماره ۱ در شکل ۷. با میکروسکوپ الکترونی. این نقطه معرف کانی استیبنیت در منطقه‌ی مورد بررسی است.



شکل ۹ نمودار آنالیز نقطه‌ای وابسته به نقطه‌ی شماره ۲ در شکل ۷. با میکروسکوپ الکترونی. این ترکیب اکسید آنتیموان حاصل از اکسید شدن استیبنیت در رگه‌های معدنی مورد بررسی است.



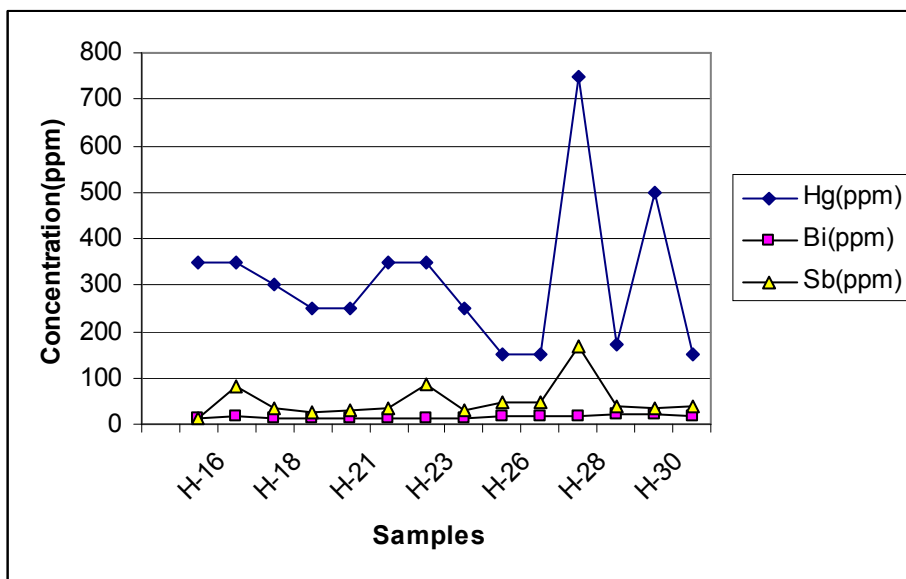
شکل ۱۰ نمودار آنالیز نقطه‌ای وابسته به نقطه‌ی شماره ۳ در شکل ۷. با میکروسکوپ الکترونی. این ترکیب گوگرد حاصل از فرایند اکسایش در شرایط سطحی است.



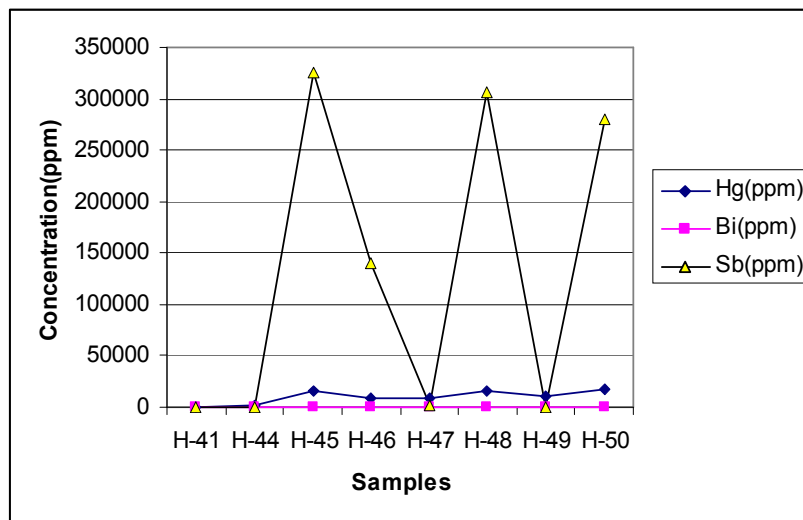
شکل ۱۱ نمودار آنالیز نقطه‌ای وابسته به نقطه‌ی شماره ۴ در شکل ۷. با میکروسکوپ الکترونی. این ترکیب باطله اصلی موجود در رگه‌های معدنی مورد بررسی است.

جدول ۴ نتایج آنالیز نقطه‌ای وابسته به ترکیب‌های نشان داده شده روی شکل ۷.

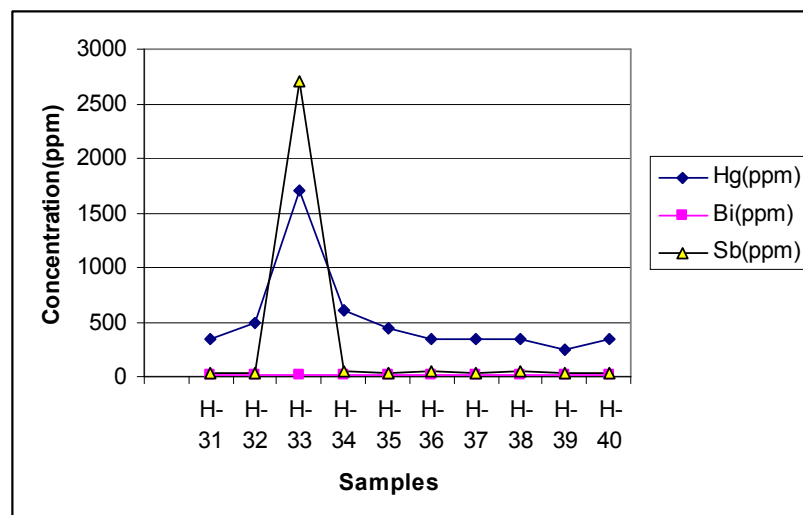
Elmt	میانگین آنالیز ۱۰ نقطه‌ی وابسته به نقطه-ی شماره ۱ شکل ۷		میانگین آنالیز ۱۰ نقطه‌ی وابسته به نقطه‌ی شماره ۱ شکل ۷			میانگین آنالیز ۱۰ نقطه‌ی مربوط به نقطه شماره ۳ شکل ۷		میانگین آنالیز ۱۰ نقطه‌ی وابسته به نقطه‌ی شماره ۴ شکل ۷	
	S	Sb	S	Sb	O	S	Sb	Si	O
Element %	۲۹,۰۷	۷۱,۵۷	۰,۲۸	۸۱,۵۸	۱۶,۵۰	۹۹,۶۰	۰,۲۲	۴۶,۷۴	۵۳,۲۵
Atomic %	۶۰,۶۶	۳۹,۳۳	۰,۵۱	۳۹,۱۷	۶۰,۳۱	۹۹,۹۳	۰,۰۰۶	۳۳,۳۳	۶۶,۶۶



شکل ۱۲ رابطه‌ی بین عناصر آنتیموان، جیوه و بیسموت در رگه‌ی شماره ۱. نمونه H-27 که بالاترین عیار جیوه و آنتیموان را داراست نسبت به نمونه‌های دیگر، از ارتفاع بالاتری برداشت شده است. تفاوت ارتفاع نمونه برداری و در نتیجه تفاوت سطح فرسایشی به‌عنوان یکی از عوامل تفاوت عیار جیوه و آنتیموان تلقی می‌شود.



شکل ۱۳ رابطه‌ی بین عناصر آنتیموان، جیوه و بیسموت در رگه‌ی شماره ۲. نمونه‌هایی که از سطح بالاتری برداشت شده‌اند نسبت به نمونه‌هایی که از سطح پایین‌تری برداشت شده‌اند، دارای عیار بالاتری از آنتیموانند.



شکل ۱۴ رابطه‌ی بین عناصر آنتیموان، جیوه و بیسموت در رگه‌ی شماره ۳.

بحث و بررسی

با توجه به اینکه انواع کانسارهای آنتیموان شناخته شده در سه رده گرماب پلوتونوژنیک، گرماب آتشفشانی و چینه‌ای قرار می‌گیرند [۹]، و با توجه به شواهد صحرایی از جمله چگونگی ساختاری زون‌های معدنی در منطقه، فعالیت‌های آتشفشانی جوان با ترکیب داسیتی و آندزیتی، قرار داشتن سنگ میزبان رگه‌های معدنی روی مجموعه‌ی افیولیت ملانژی، حضور کانی‌های کرومیت، کربنات کلسیم - منیزیم و سیلیسیم، می‌توان احتمال داد که گرمابی‌های حاوی آنتیموان از طریق گسل‌های

عمیق ریشه‌ای که مجموعه افیولیت ملانژی را نیز قطع کرده‌اند به بالاترین واحد سنگی در این منطقه آمده و رگه‌های قابل مقایسه با لیستونیت‌ها [۲۲-۲۶] را ساخته‌اند. گرمابی‌ها ضمن صعود، در شرایط مناسب، مواد همراه خود را نزدیک به سطح بجا گذاشته‌اند. سولفید آنتیموان (استینیت، Sb_2S_3) تنها کانی آنتیموان دار اولیه در این رگه‌ها است. استینیت در شرایط احیایی در حضور سولفور و در pH کم تا متوسط پایدار است که تحت شرایط بیرونی اکسید شده و اکسید آنتیموان را به صورت‌های Sb_2O_3 ، Sb_2O_4 ، Sb_2O_5 می‌سازد [۲۷، ۲۸]. رنگ

برداشت

کانی‌سازی در منطقه‌ی حیدرآباد در سه زون رخ داده‌اند که با نام زون‌های یک، دو و سه معرفی شده‌اند. کانی‌سازی آنتیموان بیشتر در زون شماره دو مشاهده می‌شود. کانی‌سازی به صورت رگه‌ای و در درون گسل‌های عمیق ریشه با روند کلی شمال باختری - جنوب خاوری قرار دارد. استینیت تنها کانی آنتیموان‌دار در این زون‌هاست که با کانی‌های دیگر از جمله پیریت، کالکوپیریت، کرومیت و هیدروکسید آهن دیده می‌شود. استینیت در شرایط بیرونی اکسید شده و اکسید آنتیموان را به صورت‌های Sb_2O_3 , Sb_2O_4 , Sb_2O_5 ایجاد کرده است و موجب تغییر رنگ استینیت از خاکستری سربی به سفید تا زرد متمایل به خاکستری شده است. کانی‌زایی در یک رگه‌ی سیلیسی - کربناتی قابل مقایسه با لیستونیت‌ها و در درون گسل‌های رخ داده در کنگلومرای پالئوسن مشاهده می‌شود. شواهد هندسی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی و پاراژنز موجود در این رگه‌ها نشانه‌هایی از وراگرمایی بودن آن‌هاست. گرمایی‌ها ضمن چرخش در سنگ‌های گسل خورده‌ی مسیر، مواد خود را در شرایط مناسب در درون گسل‌های وابسته به پهنه‌ی گسلی نهندان و در درون واحد کنگلومرای پالئوسن بجا گذاشته است. با توجه به بالا بودن عیار طلا همراه با آنتیموان انتظار می‌رود که با افزایش عمق عیار طلا در رگه‌های مورد بررسی افزایش یابد. قابلیت تحرک زیاد آنتیموان و جیوه در شرایط سطحی می‌تواند باعث آلوده شدن روان آب‌ها و در نهایت آلودگی محیط زیست شود. بررسی آلودگی محیط زیست از نظر میزان جیوه و آنتیموان در منطقه پیشنهاد می‌شود.

قدردانی

بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی در فرصت مطالعاتی نویسنده اول در بخش زمین‌شناسی دانشگاه اکسفورد انجام شده است. از آقای دکتر نورمن چانلی مسئول آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی به خاطر همکاری در امر آنالیز نمونه‌ها تشکر می‌شود.

مراجع

[۱] افتخار نژاد ج.، "تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی و ارتباط با حوضه‌های رسوبی"، نشریه انجمن نفت ایران، شماره ۸۲ (۱۳۵۹)، ص ۲۸ - ۱۹.

اکسید آنتیموان باعث می‌شود زون‌های معدنی آنتیموان‌دار در سطح زمین به رنگ سفید تا زرد متمایل به خاکستری در آیند [۲۹]. کانی‌های اکسیدی آنتیموان در آب باران و آب رودخانه‌ها تا حدود ۵۰ گرم در تن (تا ۱۰۰۰۰ برابر حد مجاز در آب آشامیدنی) حل می‌شوند [۱۲] و باعث آلوده شدن روان آب‌های سرچشمه گرفته از زون‌های معدنی می‌شوند.

شواهد هندسی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی و پاراژنز موجود در این رگه‌ها نشانه‌هایی از وراگرمایی بودن آن‌هاست. فعالیت‌های آذرین اواخر سنوزوئیک [۱۹] در منطقه، توانسته است نقش موتور گرمایی را ایفا کنند. قرارگیری واحد رسوبی کنگلومرای و شبه فلیشی روی مجموعه‌ی افیولیت ملانژی، رخداد گسل‌های عمیق ریشه مرتبط به پهنه‌ی گسلی نهندان، ایجاد فضاهای مناسب ناشی از این فرایند و رخداد آتشفشانی جوان در منطقه، شرایط مناسب برای ایجاد یک چرخه آب گرم و یک آبگون کانه‌دار غنی از آنتیموان، جیوه و طلا را فراهم کرده است. این رگه‌ها با رگه‌های وراگرمایی در مجموعه‌ی افیولیت ملانژی مختلف فرانسیسکن در کالیفرنیا [۳۰] قابل مقایسه‌اند.

توجه به حساسیت استینیت به هر تغییر دما و فشار [۳۱] و حضور بافت‌های کاتاکلاستیکی، گوه‌ای و زین اسبی در پهنه‌های کانی‌زایی شده، حاکی از بروز دگرریختی پیشرونده، پس از نهشت رگه‌های کانه‌دار در منطقه است.

معمولاً آنتیموان در گرمایی‌ها به صورت نمک‌های نوع $SbCl_3$ [۳۲] یا ترکیبات کمپلکس به شکل اسیدهای تیوآنتیمونیوس نوع Na_3SbS_3 ، که قدرت جابجایی زیاد دارد انتقال می‌یابد و کانی‌های آنتیموان در یک گستره‌ی دمایی حدود ۵۰ - ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نهشته می‌شوند [۹].

از آنجا که در بعضی کانسارهای طلای اپی ترمال، کانی‌سازی آنتیموان در سطح بالای ذخیره یافت می‌شود و کانی‌سازی آنتیموان بیشتر با سنگ‌های آذرین اسیدی و حدواسط در ارتباط است [۳۳] می‌توان انتظار داشت که با افزایش عمق عیار طلا در رگه‌های مورد بررسی افزایش یابد. نمونه‌ی H-44 نسبت به نمونه‌ی H-45 از عمق بیشتری برداشته شده است، عیار طلای بالاتری را نشان می‌دهد و می‌تواند این ادعا را تایید کند. این رابطه برای آنتیموان و جیوه برعکس است (جدول ۲).

- [۱۵] نیرومند ش.، راستاد ا.، قادری م.، و امامی م. ه.، "کانسار آنتیموان - آرسنیک - طلائی داشکسن و ویژگی‌های زمین‌شناسی"، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی آن، فشرده مقالات چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تبریز (۱۳۷۹).
- [۱۶] معانی جو م.، آلیانی ف.، "کانی‌سازی آنتیموان در ارتباط با گرانیتوئیدهای الوند (همدان)"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران. سال هشتم، شماره ۱، بهار و تابستان (۱۳۷۹)، ص ۵۸-۷۰.
- [۱۷] قادری م.، راستاد ا.، و نریمانی ا.، "کانی‌شناسی و ژئز کانسار آنتیموان - آرسنیک چلیو - کلاته چوبک کاشمر"، چکیده مقالات بیستمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۰) صفحه ۲۸-۳۰.
- [۱۸] شهاب پور، ج.، "زمین‌شناسی اقتصادی"، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۸۶) ۵۴۳ صفحه.
- [۱۹] منوچهری، م.، "نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ کوه سیاسترگی"، برگ شماره ۸۰۵۱ (۱۹۹۱)، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- [۲۰] کاوشگران مهندسی مشاور، "گزارش اکتشاف نیمه تفصیلی کانسار آنتیموان سفیدآبه"، طرح اکتشاف سراسری ذخایر معدنی، وزارت معادن و فلزات (۱۳۷۷)، ۱۲۰ صفحه.
- [21] Cook N.J., "Bismuth and bismuth-antimony sulphosalts from Neogene vein mineralisation, Baia Borsa area, Maramures, Romania", *Mineralogical Magazine*, v. 61, N. 3(1997), pp. 387-409.
- [۲۲] زرین کوب م.ح.، امینی ص.، آفتابی ع.، کریم پور م.ح.، "کانی‌شناسی، زمین‌شیمی، موقعیت ساختمانی و آرایه مدل ژنتیکی برای لیستونیت‌های خاور ایران"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران. سال سیزدهم، شماره ۲ (۱۳۸۴) پاییز و زمستان، ص ۳۶۳-۳۷۸.
- [۲۳] یوسف‌زاده م.ح.، سبزه‌ئی م.، "سنگ‌نگاری و سنگ‌شناسی لیستونیت‌های شرق خوسف"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران. شماره ۲ (۱۳۸۶)، پاییز و زمستان، ص ۲۷۱-۲۹۲.
- [24] Hall C., Zhao R., "Listvenite and related rocks: perspectives on terminology and mineralogy with reference to an occurrence at cregganbaun".
- [2] Tirrul R., Bell L. R., Griffis R.J., Camp V. E., "The sistian suture zone of eastern Iran", *G.S.A. Bulletin*, Vol. 84(1983), pp. 134-150.
- [3] Goldschmidt V. M., "Geochemistry", London, Oxford Univresity Press.(1958).
- [4] Mason B., Moore C. B., "Principles of geochemistry", John Wiley & sons,(1982), 244p.
- [5] Wilson N.J., Craw D., Hunter K., "Contributions of discharges from a historic antimony mine to metalloid content of river waters, Marlborough, New Zealand", *Journal of Geochemical Exploration*, 84(2004) 127-139.
- [6] Romberger S. B., "Disseminated gold deposits", p.21-30 in Roberts, R. G. and Sheahan, P. A.(eds), *Ore deposit model: Geoscience Canada*, reprint series,(1988) 194p.
- [7] Dill H.G., Weiser T., Bernhardt I. R., Riera Kilibarda C., "The composite gold-antimony vein deposit at Kharma (Bolivia)", *Economic Geology*,v. 90, N. 1(1995)pp. 51-66.
- [۸] کریم‌پور م.ح.، "کانی‌ها و سنگ‌های صنعتی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۷۸)، ۳۹۷، صفحه.
- [9] Smirnov V. I., Ginzburg A. I., Grigoriev V. M., Yakovlev G. F., "Studies of mineral deposits", Mir publishers(1983) 288p.
- [10] Jensen M. L., Bateman A. M., "Economic mineral deposits", John Wiley & sons(1981)593 p.
- [11] Kesler S. E., "Mineral resources, economic and the environment", Mac Millian and Maxwell publishing, New York, (1994)391 p.
- [12] Filella M., Belile N., Chen Y.W., "Antimony in the environment: a review focused on natural waters. I. Occurrences", *Earth -Science Review*, 57(2002) 125-176.
- [۱۳] باباخانی ع.ل.، رحیمی م.، جعفری راد ع.ل.، صادقی م. و دل‌آرا، س.ت.، "بررسی وضعیت ذخایر آنتیموان در ایران با نگرشی به تیپ‌های کانی‌سازی"، چکیده مقالات بیستمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۰).
- [۱۴] مظلومی ع.ر.، کریم پور م.ح.، "مطالعه زمین‌شناسی و ژئوشیمی کانسار آنتیموان طلا دار چلیو در شمال کاشمر"، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۷۷)، صفحه ۴۵۷-۴۶۰.

- [30] Smitha C.N., Keslera S.E., Bluma J.D., Rytuba J.J., "Isotope geochemistry of mercury in source rocks, mineral deposits and spring deposits of the California Coast Ranges, USA", Earth and Planetary Science Letter(2008), pp.399-407.
- [31] Kuscu I., Erler. A., "Deformation of stibnites and pyrites in the Madsan antimony deposit (Nigde, Turkey), Implications for pressure _ temperature conditions of local deformation", J. of Earth Sciences, 8(1999), pp.57-66.
- [32] Yang J., Zeng J-H., Yu S-H., Yang L., Zhang Y-H., Qian Y-T., "Pressure-Controlled Fabrication of Stibnite Nanorods by the Solvothermal Decomposition of a simple Single-Source Precursor", Chem. Mater. 12(2000), 2924-2929.
- [۳۳] کریم پور م.ح.، سعادت س.، "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۱)، ۵۳۶ صفحه.
- Co. Republic of Ireland, mineral Deposite, 30(1999), pp. 303 – 313.
- [25] Abedi A., "Ore-minerals in serpentinites of the ophiolite of South – East Birjand (IRAN)", Geology of ore deposits, V. 41, N(1999) 5, PP. 455 – 461.
- [26] Urcurm A., "Listwaenites in Turkey: perspectives on formation and precious metal concentration with refrence to occurrences in east central Anatolia". Ofioliti 25, N.1(2000), pp.15-29.
- [27] Brookins D.G., "Eh – PH diagrams for geochemistry", Springer – Verlag,(1988), 176p.
- [28] Krupp R. E., "Solubility of stibnite in hydrogen sulfide solutions, speciation, and equilibrium constants, from 25 to 350°C". Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 52, Issue 12(1988), pp.3005-3015.
- [29] Sinkankas J., "Mineralogy", Van Nostrand Company(1967), 587p.