

زمین‌شناسی، کانه‌زایی و دگرسانی رخداد آنتیموان در محدوده اکتشافی آرپالیق، ورزقان، شمال غرب ایران

رضا ملازاده^۱، محمدرضا حسین‌زاده^۲، فردین سعیدی^{۳*}، وارطان سیمونز^۴، محسن مؤید^۲

۱- کارشناسی‌ارشد، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز

۲- استاد، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز

۳- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز - Fardinsaeedi6@gmail.com

۴- دانشیار، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز

چکیده

محدوده اکتشافی آنتیموان آرپالیق در شمال ورزقان (استان آذربایجان شرقی)، بخشی از زون متالوژنی اهر - آرسباران است که کانی‌سازی در آن به صورت رگه‌های کوارتز - استیبنیت در هورنفلسی توف و سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی کرتاسه و توده‌های نفوذی گرانودیوریتی رخ داده است. در این پژوهش، با استفاده از مطالعات میکروسکوپی، XRD، Raman و SEM، ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژنتیکی این رخداد بررسی شد. زون‌های دگرسانی غالب شامل آرژیلیک (گسترده‌ترین زون)، سیلیسی و پروپیلیتیک است. بررسی‌های پاراژنزی نشان می‌دهد که استیبنیت کانی اصلی سولفیدی است که همراه با مقادیر کمتری از پیریت، اسفالریت و گالن مشاهده می‌شود. نتایج آنالیز Raman و XRD حضور فاز استیبنیت و بیسموت را تایید کرد. با توجه به بافت‌های کانی‌سازی (رگه‌ای، شکافه‌پرکن و برشی) و ماهیت دگرسانی‌ها، رخداد آنتیموان آرپالیق در دسته ذخایر اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین تا متوسط طبقه‌بندی می‌شود که تشکیل آن تحت کنترل ساختارهای تکتونیکی و فعالیت‌های هیدروترمال مرتبط با توده‌های نفوذی منطقه بوده است.

کلیدواژه‌ها: آرپالیق، استیبنیت، اپی‌ترمال، دگرسانی گرمایی

Geology, Mineralization, and Alteration of the Antimony Occurrence in the Arpaligh Exploration Area, Varzeqan, Northwest Iran

Reza Mollazadeh¹; Mohammad Reza Hosseinzadeh²; Fardin Saeedi^{3*}; Vartan Simmonds⁴; Mohsen Moayyed²

¹ M.Sc., Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

² Professor, Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ M.Sc. Student, Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran - Fardinsaeedi6@gmail.com

⁴ Associate Professor, Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract

The Arpaligh antimony prospect, situated north of Varzeqan (East Azerbaijan Province), is part of the Ahar-Arasbaran metallogenic zone. Mineralization occurs as quartz-stibnite veins hosted within hornfelsed tuffs, Cretaceous andesitic volcanic rocks, and granodioritic intrusions. In this study, the mineralogical and genetic characteristics of the occurrence were investigated using optical microscopy, XRD, Raman spectroscopy, and SEM analysis. The predominant alteration assemblages consist of widespread argillic (the most extensive zone), silicic, and propylitic alterations. Paragenetic studies reveal that stibnite is the principal sulfide mineral, associated with minor pyrite, sphalerite, and galena. Raman and XRD analytical results confirmed the presence of both stibnite and bismuth phases. Based on the mineralization textures (vein, fissure-filling, and brecciated) and the nature of the hydrothermal alterations, the Arpaligh antimony occurrence is classified as a low-to-intermediate sulfidation epithermal deposit. Its formation was controlled by tectonic structures and hydrothermal fluid circulation related to regional intrusive activity.

Keywords: Arpaligh, Stibnite, Epithermal, Hydrothermal alteration

۱- مقدمه

زون متالوژنی اهر - ارسباران در شمال غرب ایران، به دلیل استقرار در کمر بند تیتین و فعالیت‌های ماگمایی گسترده در دوران نوزیست، یکی از مهم‌ترین مناطق پتانسیل‌دار برای ذخایر پورفیری و اپی‌ترمال (مس، طلا، مولیبدن و آنتیموان) محسوب می‌شود. ذخایر آنتیموان در ایران عمدتاً با سیستم‌های گرمابی در ارتباط با فعالیت‌های آتشفشانی - نفوذی میوسن - پلیوسن مرتبط بوده و اغلب در زون‌های تکتونیزه و گسلی متمرکز شده‌اند.

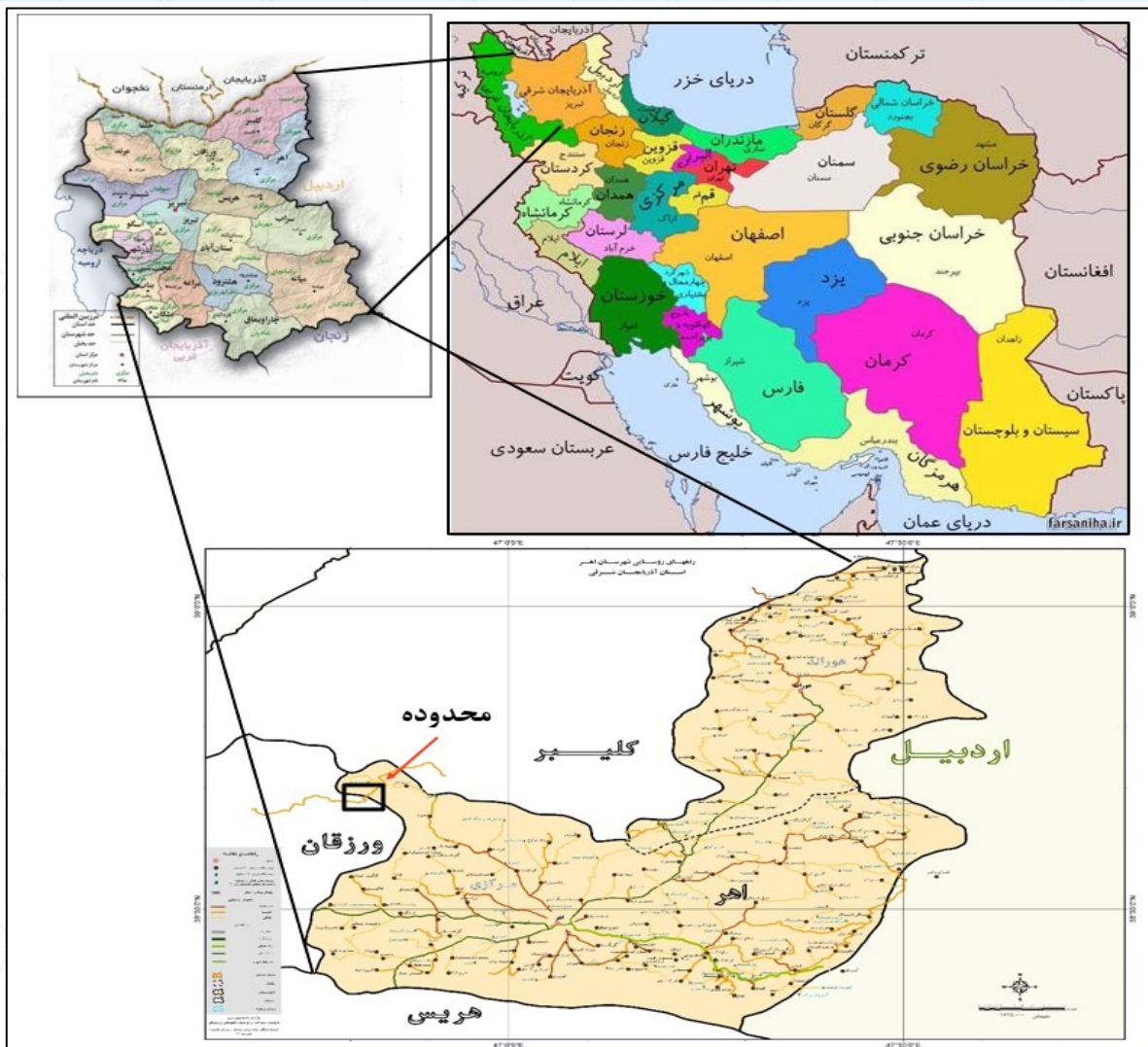
محدوده اکتشافی آرپالیک به مختصات جغرافیایی $46^{\circ}44'42''$ تا $46^{\circ}53'24''$ طول شرقی و $38^{\circ}40'53''$ تا $38^{\circ}45'02''$ عرض شمالی در شمال شهرستان ورزقان، استان آذربایجان شرقی و در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰.۰۰۰ ورزقان واقع گردیده است. شکل‌های ۱ و ۲ جغرافیایی محدوده اکتشافی آرپالیک نسبت به شهرها و روستاهای مجاور و معادن سونگون و انجرد و راه‌های دسترسی به محدوده را نشان می‌دهند.

محدوده مورد مطالعه (آرپالیک) در حاشیه توده‌های پورفیری شناخته شده‌ای نظیر سونگون قرار دارد. با وجود پتانسیل‌های معدنی در این منطقه، رخدادهای آنتیموان آن کمتر مورد واکاوی علمی قرار گرفته است. کانی‌سازی آنتیموان در این محدوده با زون‌های دگرسانی شدیدی همراه است که شناسایی دقیق آن‌ها کلید فهم تکامل سیستم گرمابی منطقه است. در این تحقیق، تلاش شده است تا با تلفیق داده‌های صحرایی، میکروسکوپی و آنالیزهای پیشرفته دستگاهی (SEM و Raman)، ضمن تعیین توالی پاراژنزی و الگوهای دگرسانی، مدل ژنتیکی کانی‌سازی آنتیموان در این بخش از زون اهر-ارسباران ارائه گردد.

۲- زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی

در محدوده آرپالیک، رخنمون‌های سنگی عمدتاً از واحدهای آتشفشانی کرتاسه تشکیل شده و در کنار آن‌ها، با گستره‌ای محدودتر، توده‌های نفوذی الیگوسن دیده می‌شود. سنگ‌های آتشفشانی منطقه متنوع بوده و شامل لایه‌بندی‌هایی از ولکانوکلاستیک‌ها همراه با گدازه‌های حدواسط، توفیت‌های حاوی فسیل نومولیت، توف‌های شیشه‌ای، مارن‌های توفی و نیز توالی‌هایی از توف و گدازه‌های آندزیتی هستند. این مجموعه آتشفشانی نقش سنگ میزبان برای نفوذی‌های الیگوسن را ایفا می‌کند. ترکیب توده‌های نفوذی از میکرودیوریت، گرانودیوریت تا کوارتز دیوریت، میکروگرانودیوریت تا دیوریت پورفیری و دایک داسیتی متغیر می‌باشد.

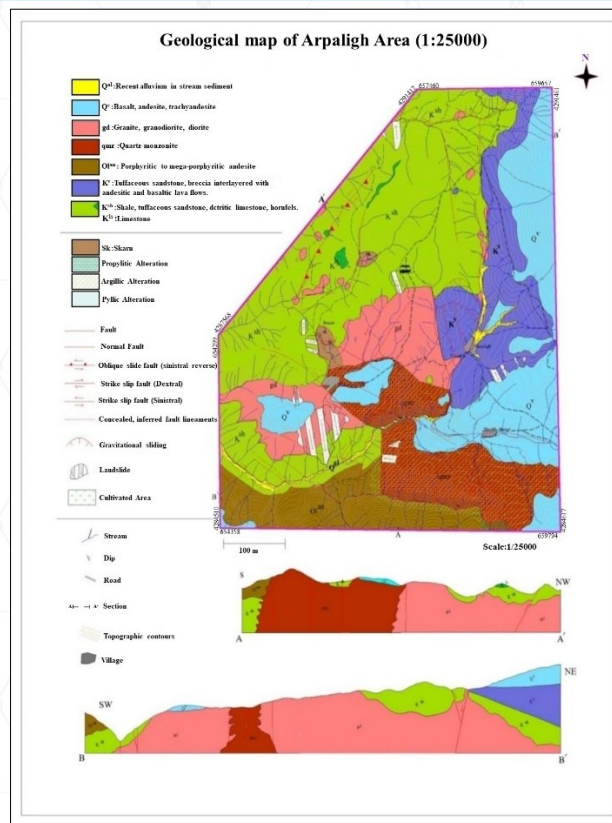
سایر واحدهای سنگی محدوده آرپالیک بر اساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰ آرپالیک (شکل ۳) از قدیم به جدید عبارتند از واحد شیل و ماسه‌سنگی کرتاسه فوقانی (K^{sh})، ولکانیک و ولکانو-کلاستیک کرتاسه فوقانی (K^v)، آندزیت بازالت تا آندزیت‌های پورفیری الیگوسن (OI^{an})، توده کوارتز مونزونیت پورفیری (qmz)، توده گرانودیوریتی تا دیوریتی (gd) به سن الیگوسن و سنگ‌های آتشفشانی کواترنری (Q^v) می‌باشد (فریدی، ۱۳۹۳).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه ایران، استان آذربایجان شرقی و شهرستان اهر و ورزقان



شکل ۲- الف: تصویر ماهواره‌ای از موقعیت محدوده مطالعاتی آپارلیق نسبت به معدن نزدیک (تصویر برگرفته از Google Earth) و ب: نمایی از روستای آپارلیق، توده ی پورفیری آپارلیق و موقعیت آن نسبت به معدن مس سونگون



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده از کل محدوده مورد مطالعه (فریدی، ۱۳۹۳)

۳- مواد و روش‌ها

مطالعات این پژوهش در سه مرحله صحرایی، آزمایشگاهی و دفتری صورت گرفت. در پیمایش‌های صحرایی، ضمن ثبت ویژگی‌های ساختاری و لیتولوژیکی، تعداد ۱۶ نمونه سنگی از زون‌های دگرسانی و رگه‌های کانی‌سازی جهت مطالعات آزمایشگاهی برداشت شد. از این میان، ۱۶ مقطع نازک برای بررسی‌های پتروگرافی واحدهای سنگی نفوذی، آتشفشانی و دگرسان، با هدف شناسایی بافت سنگ، ترکیب کانی‌شناسی، نوع و شدت دگرسانی و ۱۲ مقطع صیقلی برای بررسی‌های کانه‌نگاری نوری و تصویربرداری با میکروسکوپ پلاریزه انعکاسی جهت شناسایی کانی‌های کدر و ساختارهای میکروسکوپی کانی‌زایی، تهیه و در آزمایشگاه زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه تبریز مورد مطالعه میکروسکوپی و کانی‌شناسی قرار گرفت.

جهت شناسایی دقیق فازهای کانیایی در زون‌های دگرسانی و کانی‌های سولفیدی، تعداد ۶ نمونه تحت آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) با دستگاه مدل Tongda/TD-3700 مجهز به تابش CuK α با طول موج ۱/۵۴۰۶ آنگستروم و ۶ نمونه تحت آنالیز طیف‌سنجی رامان (Raman) با استفاده از دستگاه Uni-Dron-A ساخت شرکت Andor Technology مجهز به لیزر ۵۳۲ نانومتر و آشکارساز CCD خنک‌شونده با پلتیر (هر دو آنالیز در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز انجام شدند) قرار گرفتند.

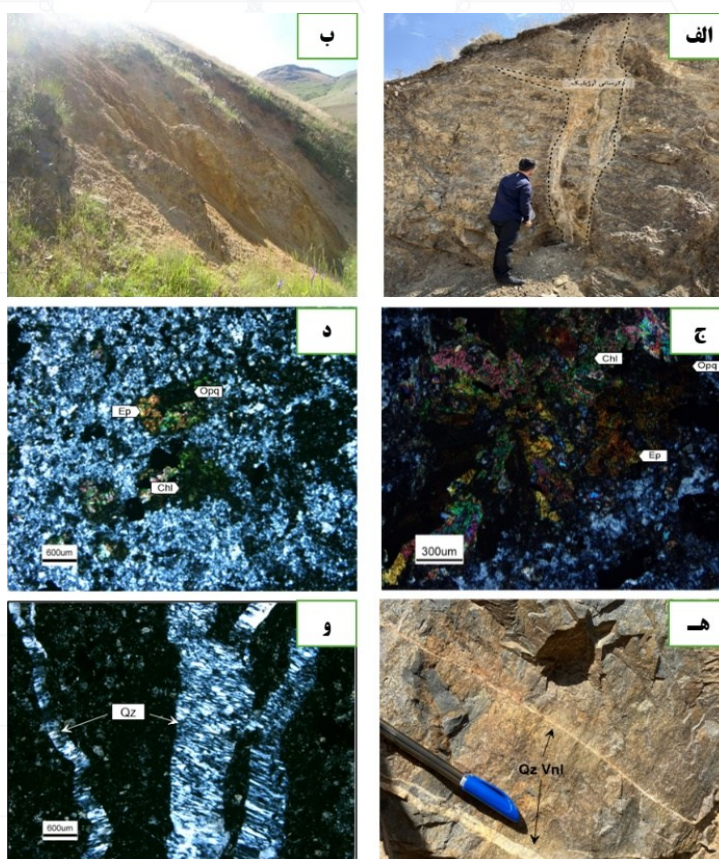
همچنین، جهت بررسی بافت‌های ریز و ترکیب نیمه‌کمی کانی‌ها، تعداد ۶ نمونه از رگه‌های کانه‌دار حاوی استیبنیت توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (SEM-FE) مورد مطالعه قرار گرفتند. آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی با استفاده از دستگاه Tescan/MIRA3 SEM-FE مجهز به آشکارساز EDS در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز انجام گرفت. تصاویر در بزرگنمایی تا ۵۰,۰۰۰ برابر و با قدرت تفکیک ۱ نانومتر ثبت شدند. در این مطالعه، تعداد ۱۰ تصویر با وضوح بالا از ۶ نمونه استیبنیت برداشت گردید.

۴- بحث

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی در محدوده آرپالیک، بیانگر یک سیستم گرمابی پویا است که تحت کنترل مستقیم فاکتورهای لیتولوژیکی و ساختاری شکل گرفته است. در این بخش، با تلفیق شواهد کانی‌شناسی، الگوهای دگرسانی و نتایج آنالیزهای دستگاهی (SEM و Raman)، فرآیندهای فیزیکوشیمیایی حاکم بر تشکیل رخداد آنتیموان و مدل ژنتیکی آن مورد واکاوی قرار می‌گیرد.

۴-۱- دگرسانی و کنترل‌های ساختاری

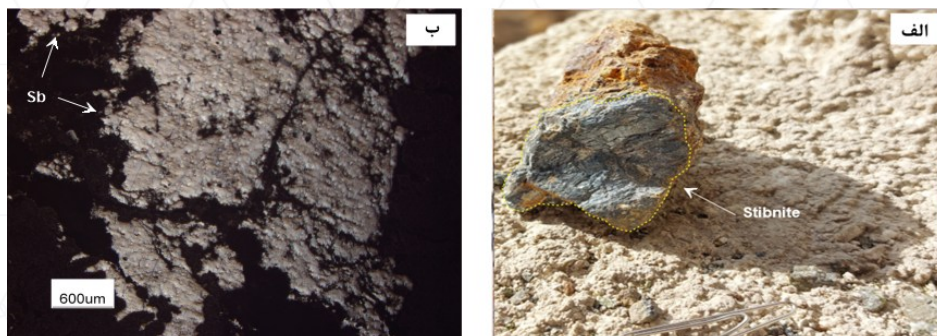
کانی‌سازی استبنیت در منطقه آرپالیک بصورت رگه‌ای و پرکننده شکاف داخل سنگ‌های واحدهای توفی و هورنفلسی کرتاسه مشاهده می‌شود (شکل ۴ - الف) و به‌طور مستقیم تحت کنترل سیستم‌های گسلی فرعی منشعب از گسل‌های اصلی با روند غالب NW-SE است که به عنوان معبری برای صعود سیالات گرمابی عمل کرده‌اند. بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد که سیال مهاجم باعث ایجاد یک زونینگ دگرسانی منظم شده است. دگرسانی آرژیلیک به عنوان گسترده‌ترین هاله، با حضور کانی‌های رسی (کائولینیت و دیکیت) شناسایی شد (شکل ۴ - ب) که نشان‌دهنده فعالیت سیالات اسیدی در دمای پایین (کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) است. حضور دگرسانی پروپیلیتیک در حاشیه دورتر، بیانگر کاهش تدریجی دما و خنثی شدن سیال در واکنش با سنگ دیواره (توده‌های نفوذی الیگوسن) است (شکل ۴ - ج - د). در مرکز رگه‌ها، دگرسانی سیلیسی (Silicification) مشاهده می‌شود که مستقیماً با کانی‌سازی استبنیت در ارتباط است. (شکل ۴ - ه - و).



شکل ۴- الف: تصویر صحرایی از دگرسانی آرژیلیک در اطراف شکستگی‌های داخل واحد هورنفلس. ب: نمایی از آلتراسیون آرژیلیکی در جنوب روستای آرپالیک (دید به سمت شمال شرق). ج: تصویر میکروسکوپی از دگرسانی پروپیلیتیک در واحد گرانودیوریتی که پلاژیوکلازها به اپیدوت تبدیل شده‌اند. د: تصویر میکروسکوپی از دگرسانی پروپیلیتیک در واحد گرانودیوریتی که اپیدوت به کلریت تبدیل گردیده‌اند. ه: تصویر صحرایی رگچه کوارتزی در داخل واحد هورنفلسی. و: تصویر میکروسکوپی از رگچه کوارتزی داخل واحد هورنفلسی

۲-۴- کانی‌شناسی و توالی پاراژنزی:

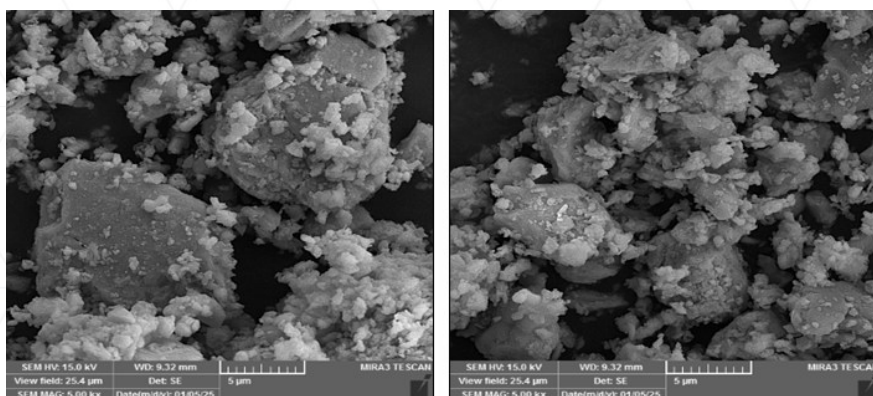
مطالعات مقاطع صیقلی نشان داد که استیبنیت (Stibnite) کانی اصلی و شاخص منطقه است که در نمونه دستی اغلب به صورت تیغه‌ای و رگچه‌ای و همچنین گاهی اوقات به صورت توده‌ای مشاهده می‌شود. کانی استیبنیت در نمونه دستی به رنگ خاکستری و در مقاطع میکروسکوپی به صورت کریستال‌های تیغه‌ای کنار هم تا انهدرال آمیبی شکل و فراوانی آن بیشتر از ۵۰ درصد مشاهده می‌شود (شکل ۵). در زون سوپرژن، تحت شرایط اکسیدان، استیبنیت به اکسیدهای ثانویه آنتیموان (نظیر والنتینیت یا استیبیکونیت) تغییر یافته که همراه با گوتیت و لیمونیت دیده می‌شوند.



شکل ۵- الف) نمونه دستی دارای کانی زایی شکاف پرکن از محدوده آرپالیک ب) تصویر میکروسکوپی از کانی سازی استیبنیت

۳-۴- تحلیل داده‌های دستگاهی (Raman, XRD, SEM):

آنالیزهای پیشرفته، نتایج کانی‌شناسی نوری را تایید و تکمیل کردند:
آنالیز XRD: علاوه بر تایید استیبنیت، حضور فاز بیسموت در برخی نمونه‌ها شناسایی شد. همراهی Sb-Bi در سیستم‌های گرمایی معمولاً نشان‌دهنده پیوند ژنتیکی با توده‌های نفوذی عمیق‌تر و احتمالاً دمای بالاتر در مراحل آغازین سیال است.
طیف‌سنجی رامان: پیک‌های قوی در فرکانس‌های ۱۵۶، ۱۸۸ و ۲۵۰ سانتی‌متر معکوس، حضور استیبنیت را با ساختار بلوری منظم تایید کرد. جابجایی جزئی در برخی پیک‌ها می‌تواند ناشی از جانشینی‌های عنصری در شبکه بلوری باشد.
تصویربرداری SEM: تصاویر الکترونی، بلورهای کشیده و تیغه‌ای استیبنیت را در ابعاد میکرونی نشان داد که در فضاهای متخلخل کوارتز رشد کرده‌اند. تحلیل EDS نیز خلوص بالای آنتیموان و گوگرد را در این فازها اثبات کرد.



شکل ۶- تصاویر SEM از نمونه‌های استیبنیت آرپالیک

۴-۴- مدل ژنتیکی و نوع کانسار:

با تلفیق یافته‌ها، مدل کانی‌سازی آرپالیک یک سیستم اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین (Low-Sulfidation) پیشنهاد می‌شود. شواهدی که این ادعا را تقویت می‌کنند، شامل: ۱- بافت‌های برشی، رگه‌ای و پرکننده فضای خالی، ۲- همراهی کوارتز با بافت شکافه پرکن با استیبنیت، ۳- چیرگی دگرسانی آرژلیک و سیلیسی، ۴- شکل‌گیری در سنگ‌های آتشفشانی-نفوذی ترشیری، می‌باشند. منشأ سیال احتمالاً ترکیبی از سیالات ماگمایی (مشتق شده از توده‌های پورفیری منطقه) و آب‌های جوی است که در اثر چرخش همرفتی، آنتیموان را از سنگ‌های دیواره شسته و در زون‌های شکسته و گسلی نهشته کرده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

رخداد آنتیموان آرپالیک بر اساس پاراژنز کانایی (استیبنیت-پیریت)، بافت‌های رگه‌ای-شکافه‌پرکن و زون‌های دگرسانی آرژلیک-سیلیسی، در دسته ذخایر اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین تا متوسط طبقه‌بندی می‌شود. کنترل‌های ساختاری (گسل‌های NW-SE) و حضور فاز بیسموت در آنالیزهای XRD و Raman، نشان‌دهنده پیوند ژنتیکی این کانی‌سازی با سیستم‌های ماگمایی - هیدروترمال عمیق‌تر در حاشیه توده‌های پورفیری منطقه است.

۶- مراجع

شاهی، ا.، (۱۳۹۵). کانی‌شناسی و ژئوشیمی زون‌های دگرسان منطقه آرپالیک (شمال ورزقان، استان آذربایجان شرقی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه اورمیه، ۱۲۶ ص.
ملازاده، ر. (۱۴۰۴). رخداد آنتیموان در حاشیه توده پورفیری آرپالیک (شمال ورزقان، استان آذربایجان شرقی) با تاکید بر دگرسانی، کانی‌شناسی و مینرال شیمی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تبریز، ۹۷ ص
موید، م.، عظیم زاده، م.، اعظمی‌راد، ح.، تقیزاده، م.، اسمعیلی، ع.، مرنگی، ح.، (۱۳۹۵): معرفی اندیس طلای پورفیری آرپالیک بر پایه مطالعات سنگ‌نگاری، سنگ‌شناسی، دگرسانی و میانبارهای سیال (شهرستان اهر، شمال غرب ایران). دومین همایش تخصصی و ملی کاربرد سیالات درگیر در علوم زمین

Akçay, M., Özkan, H. M., Moon, C. J., & Spiro, B. (2006). Geology, mineralogy and geochemistry of the gold-bearing stibnite and cinnabar deposits in the Emirli and Halıköy areas (Ödemiş, İzmir, West Turkey). *Ore Geology Reviews*, 29(1), 19–51.

Calagari, A. A. (2004). Geology and Fracture-Related Hypogene Hydrothermal Alteration and Mineralization of Porphyry Copper Deposit at Sungun, Iran. *Journal of the Geological Society of India*, 64(5), 595–618.

Mehrpour, M., Amini Fazl, A., and Radfar, J. (1992). Geologic map of Varzeghan. Geological Survey of Iran, scale 1:100000, 1 sheet.

Sillitoe, R. (1993). Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features. *Geological Association of Canada Special Paper*. 40. 403-417.

Wang, L., Qin, K.-Z., Song, G.-X., & Li, G.-M. (2019). A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification. *Ore Geology Reviews*, 107, 434–456