



## رخداد کانی‌های سولفوسالتی جدید و نادر در کانسار باریکا، شرق سردشت

حسینعلی تاج‌الدین\*، ابراهیم راستاد

گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۹/۷/۱۲، نسخه نهایی: ۹۹/۱۰/۱۰)

**چکیده:** کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد باریکا، در ۱۸ کیلومتری شرق شهرستان سردشت و در شمال‌شرق پهنه دگرگونه سندج-سیرجان قرار دارد. واحدهای سنگی رخنمون یافته در کانسار باریکا مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشان-رسوبی شامل فیلیت، اسلیت، آندزیت و توفیت‌های کرتاسه هستند که در رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند. کانسار باریکا، که تنها نمونه شناخته شده از کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد غنی از طلا در ایران است، از نظر کانی‌شناسی تنوع بسیاری دارد و از پیریت، اسفالریت، گالن، استیب‌نیت، الکتروم و مجموعه‌ای از سولفوسالت‌های با ترکیب پیچیده تشکیل شده است. باریکائیت، فردوسی‌ایت و آرسن‌کوانترودیت از جمله کانی‌های سولفوسالتی غنی از نقره هستند که برای نخستین بار در کانسار باریکا شناسایی شده و تاکنون رخداد آنها در هیچ نقطه دیگر از دنیا گزارش نشده است. گتاردیت نیز از جمله کانی‌های نادر سولفوسالتی است، که براساس نمونه‌های کانسار باریکا، ساختار کانی‌شناسی آن تعیین گردید. کانسار باریکا با دارا بودن کانی‌های سولفوسالتی نادر، زمینه مناسبی برای پژوهش‌های کانی‌شناسی و بلورشناسی فراهم آورده است.

**واژه‌های کلیدی:** کانسار باریکا، سولفید توده‌ای، کانی‌های سولفوسالتی، سردشت.

## مقدمه

درجه اول طلا در این ورقه معرفی شد. ادامه اکتشافات، که توسط سازمان زمین‌شناسی و پی جویی معدنی کشور در ورقه آلوت به اجرا درآمد، به معرفی کانسار باریکا، به‌عنوان یک ذخیره باریت با تمرکز قابل توجهی از طلا و نقره، منجر گردید [۱۲]. در آن گزارش، عیار طلا در بخش‌های مختلف از کانسنگ‌های باریتی و سولفیدی برداشت شده از معدن، تا ۵۵ گرم در تن بیان شده است. بر پایه بررسی‌های انجام شده توسط یارمحمدی و همکاران [۱۳، ۱۴]، تاج‌الدین [۱۵] و تاج-الدین و همکاران [۱۶]، کانسار باریکا یک کانسار سولفید توده-ای غنی از طلاست که در اثر فرایندهای زمین‌ساختی و قرار داشتن در پهنه برشی، بشدت دگرشکل شده است. آن پژوهشگران، کانسار طلای باریکا را با ذخائر غنی از طلای Au-Zn-Pb-Ag معرفی شده توسط لارچ و همکاران [۱۷] و هیوستون [۱۸] و چند ذخیره نوع کروکو با سن میوسن در

از میان حدود ۵۵۰۰ کانی شناخته شده در جهان [۱] و تا سال ۲۰۱۳، تنها ۷ کانی سنلیت [۲]، تالمسیت [۳]، پرتلیکیت [۴]، متاولتین [۵]، خادمیت [۶]، ایرانیت [۷] و دلیرانیت [۸] برای نخستین بار در ایران شناسایی و معرفی شدند. در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴، سه کانی دیگر به نام‌های باریکائیت [۹]، فردوسی‌ایت و آرسن‌کوانترودیت [۱۰]، در کانسار باریکا شناسایی و به این مجموعه اضافه شدند و تعداد کانی‌های ایرانی به ۱۰ عدد رسید.

کانسار باریکا، که تنها نمونه شناخته شده از کانسارهای نوع سولفید توده‌ای غنی از طلا (و نقره) در ایران است، در ۱۸ کیلومتری شرق شهرستان سردشت قرار دارد (شکل ۱). در گزارش اکتشافات زمین‌شیمیائی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ آلوت [۱۱]، کانسار باریکا، به‌عنوان یکی از محدوده‌های با بی‌هنجاری

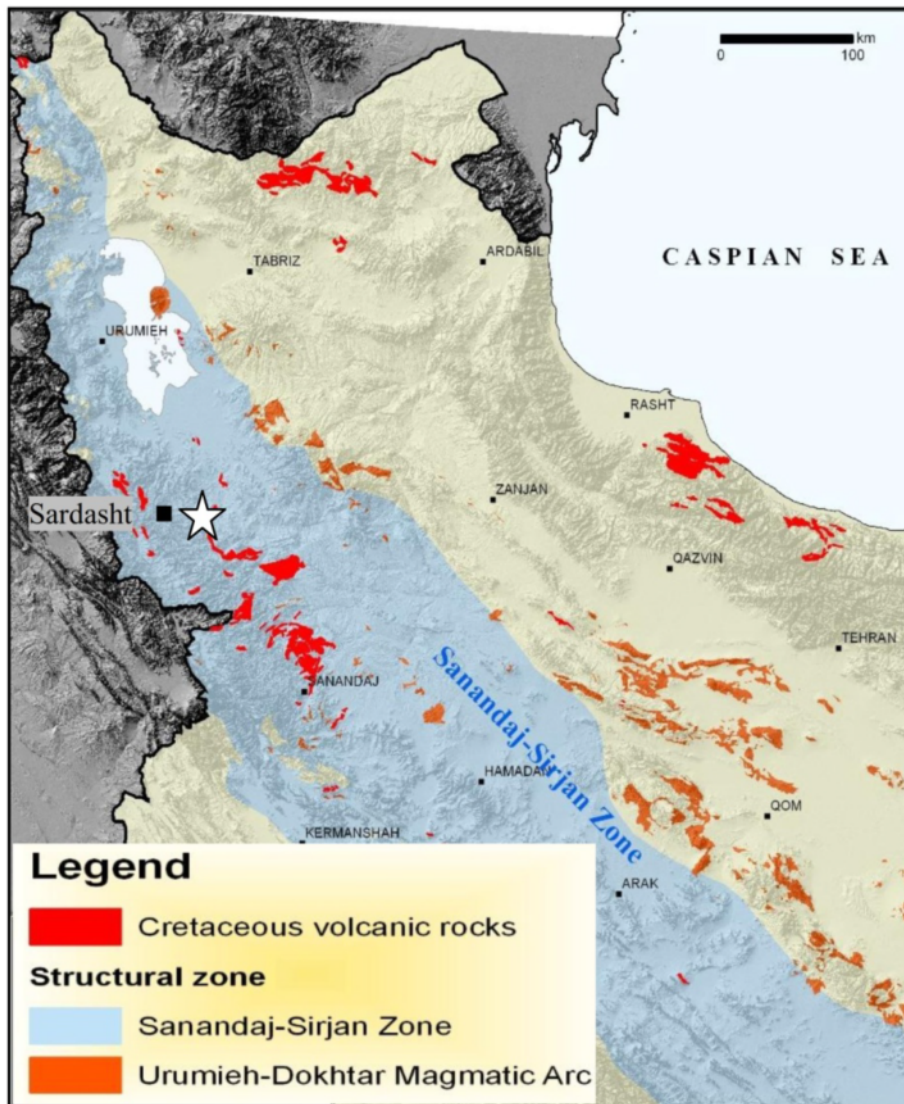
خاستگاه‌های کم نظیر کانی‌های سولفوسالتی نادر را معرفی نماید و زمینه مناسبی برای پژوهش‌های مشابه و غنای گنجینه کانی‌شناسی کشور فراهم آورد.

#### زمین‌شناسی

کانسار باریکا در شمال‌غرب پهنه سنندج-سیرجان (شکل ۱) و در زیرپهنه حاشیه‌ای آن [۲۰] قرار دارد. عزیزی و جهانگیری [۲۱] و عزیزی و معین‌وزیری [۲۲] سنگ‌های آتشفشانی رخمون یافته در شمال‌غرب پهنه سنندج-سیرجان را به جزایر قوسی و یا حاشیه‌های فعال قاره‌ای با ماهیت آهکی قلیایی، که در زمان کرتاسه میانی-پسین تشکیل شدند، نسبت داده‌اند.

حوضه هوکوروکو (Hokuroko Basin) ژاپن قابل مقایسه دانسته‌اند.

افزون بر اینکه کانسار باریکا تنها کانسار سولفید توده‌ای غنی از طلای کشور است، این کانسار خاستگاه تنوع قابل توجهی از کانی‌های سولفوسالتی با ترکیب پیچیده است [۱۶]. شناسایی و معرفی سه کانی جدید در کانسار باریکا [۱۰، ۹]، این کانسار را از موقعیت‌های زمین‌شناسی کم نظیر در دنیا به-شمار می‌آورد که در آن بیش از یک کانی جدید شناخته شده است [۱۹]. در این پژوهش، ویژگی‌های کانی‌شناسی سولفوسالت‌های موجود در کانسار باریکا، با تأکید بر سه کانی باریکایت، فردوسی‌ایت و آرسن‌کوانترویدیت بررسی شده‌اند. امید است که نتایج ارائه شده بتواند برخی از جنبه‌های کانی‌شناسی کانسار باریکا، به‌عنوان یکی از



شکل ۱ موقعیت کانسار باریکا در پهنه سنندج-سیرجان. کانسار باریکا، که با ستاره سفید رنگ نشان داده شده است، در همراهی با سنگ‌های آتشفشانی (کرتاسه) رخ داده است.

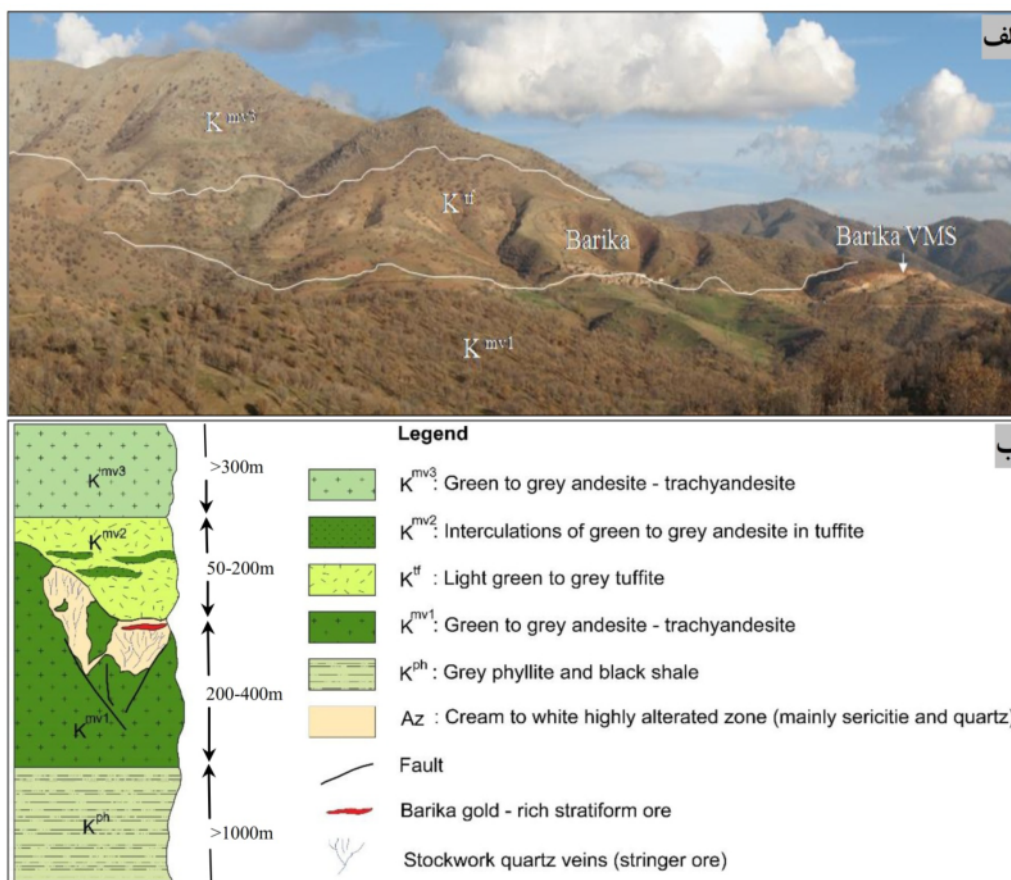
آندزیتی تشکیل شده است.

محدوده باریکا، مانند دیگر بخش‌های سندنج-سیرجان، در اثر فازهای متعدد کوهزایی، که مهمترین آنها فاز کوهزایی آلپین است، در رخساره شیست سبز دگرگون شده و دستخوش دگرشکلی‌های چندمرحله‌ای شده است. عملکرد مراحل مختلف دگرشکلی‌ها به ایجاد برگواگی، خطوارگی، چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی‌های مختلف در سنگ‌های منطقه مورد بررسی منجر شده است.

### کانی‌سازی

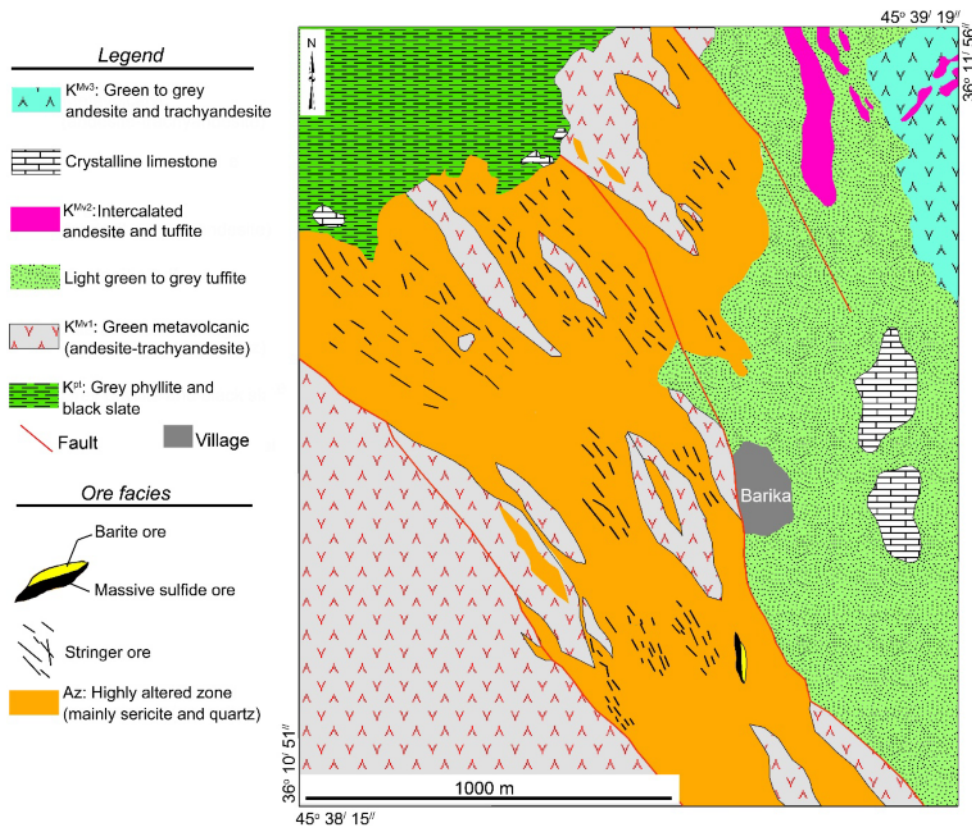
کانسار باریکا، یک کانسار سولفید توده‌ای غنی از طلا (و نقره) است که از دو بخش کانسنگ چینه‌سان و کانسنگ رگه‌ای (پهنه رگه-رگچه‌ای) تشکیل شده است. سنگ میزبان این کانسار واحد گدازه آندزیتی ( $K^{mv1}$ ) بوده که در رخساره شیست سبز دگرگون شده است. از نظر چینه‌نگاری، بخش چینه‌سان کانسار باریکا در بخش بالایی واحد  $K^{mv1}$  و نزدیک به قاعده واحد توفیتی ( $K^{tf}$ ) قرار دارد (شکل‌های ۲ و ۳).

واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده باریکا مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی زیردریایی دگرگون شده با سن کرتاسه، شامل آتشفشانی با ترکیب آندزیت- تراکی آندزیت، توفیت، فیلیت و اسلیت هستند که در رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند. براساس پیمایش‌های انجام شده، این توالی از نهشته‌ها، با ستبرای حدود ۱۵۰۰ متر، از قدیم به جدید از واحدهای زیر تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۲ و ۳).  
 (۱) واحد  $K^{ph}$ : شامل اسلیت و فیلیت با میان‌لایه‌هایی از آهک دگرگون شده، لای سنگ و ماسه‌سنگ است. (۲) واحد  $K^{mv1}$  از گدازه‌های با ترکیب غالب آندزیتی و کمتر تراکی آندزیت و آندزیت لاتیت تشکیل شده است. این واحد میزبان کانسار باریکاست و هر دو بخش کانسنگ چینه‌سان و پهنه رگه-رگچه‌ای را دربر دارد. (۳) واحد  $K^{tf}$  توف زیردریایی (توفیت) با درون‌لایه‌هایی از آهک دگرگون شده، اسلیت، ماسه‌سنگ و گدازه‌های آندزیتی (واحد  $K^{mv2}$ ) است. (۴) واحد  $K^{mv3}$  مشابه واحدهای گدازه‌ای  $K^{mv1}$  و  $K^{mv2}$ ، از گدازه‌های با ترکیب



شکل ۲ الف) نمایی از توالی واحدهای سنگی در منطقه معدنی باریکا. کانسار باریکا در واحد گدازه‌ای ( $K^{mv1}$ ) و در زیر واحد توفیتی ( $K^{tf}$ ) قرار دارد. ب) توالی چینه‌ای سنگ‌های کرتاسه در منطقه باریکا [۱۵].





شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه باریکا [۱۵].

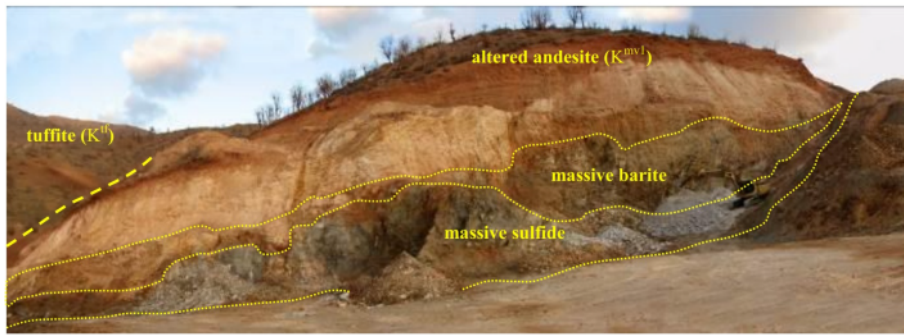
بیش از یک میلیون و ۵۰۰ هزار تن کانسنگ نقره با عیار متوسط ۱۰۲ گرم در تن برآورد شده است (شرکت معدن طلای گلدیس سردشت، ۱۳۸۷). عیار مجموع فلزات پایه در بخش‌های مختلف کانسار باریکا همواره کمتر از ۱ درصد است [۱۵].

**پهنه رگه-رگچه‌ای:** این بخش از کانسار در گستره‌ای به طول بیش از ۳ کیلومتر و پهنای ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ متر با راستای شمال-شمال غرب، جنوب-جنوب شرق، در کمربند کانسنگ چینه‌سان باریکا رخ داده است (شکل ۳). پهنه رگه-رگچه‌ای از رگه-رگچه‌های کوارتزی سولفید-طلا دار با ساختار داریستی و متاندزیت‌های میزبان، که با دگرسانی کوارتز-سریسیت-ایلیت-سولفید همراه هستند، تشکیل شده است. رگه و رگچه‌های کوارتزی پهنه رگه-رگچه‌ای، در طول‌های چند سانتی‌متر تا ده‌ها متر و با ستبراهای کمتر از میلی‌متر تا ۱ متر رخمون دارند. مقادیر متوسط طلا و نقره در رگه‌های کوارتزی این پهنه به ترتیب ۰/۴۸ و ۲۱ گرم در تن و مقدار مجموع فلزات پایه کمتر از ۱ درصد اندازه‌گیری شده است.

**کانسنگ چینه‌سان:** بخش چینه‌سان کانسار ویژگی‌های بخش کانسنگ سیاه از کانسارهای نوع کوروکو [۲۳، ۲۴] را نشان می‌دهد [۱۵، ۱۶] و شامل کانسنگ‌های سولفید و باریت توده‌ای-نواری همراه با بخش‌های فرعی از نوارهای سیلیسی است که در مجموع با طول ۱۵۰ متر و ضخامت ۱ تا ۲۰ متر رخمون دارند (شکل‌های ۳ و ۴). هندسه این بخش از کانسار به صورت یک عدسی در راستای N20-35W و با شیب ۴۵ تا ۷۰ درجه به سوی شمال شرق است.

بر پایه بررسی‌های سنگ‌نگاری و داده‌های ریزپردازش الکترونی، کانه‌های تشکیل دهنده در بخش کانسنگ چینه‌سان کانسار باریکا تنوع بسیاری دارند (جدول ۱ و شکل‌های ۵ تا ۷) و شامل پیریت، اسفالریت، گالن، استیب‌نیت، الکتروم، مجموعه‌ای از کانه‌های سولفوسالتی، مالاکیت، آزوریت و کوولیت هستند. باریت، کوارتز، سریسیت-مسکوویت و کلریت مهم‌ترین کانی‌های غیر فلزی کانسنگ را تشکیل داده‌اند.

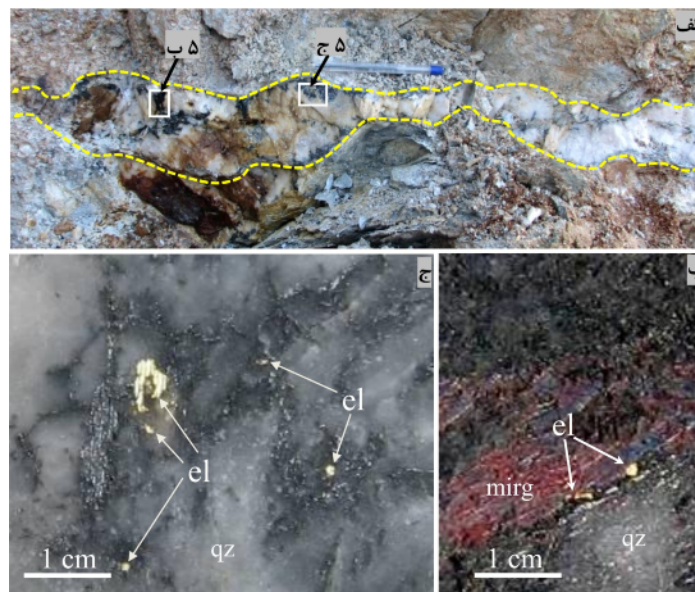
مقدار ذخیره فلزات گرانبها در بخش کانسنگ چینه‌سان، که بخش عمده ذخائر طلا و نقره کانسار را دربردارد، بیش از ۷۷۰ هزار تن کانسنگ با عیار متوسط ۱/۸ گرم در تن طلا و



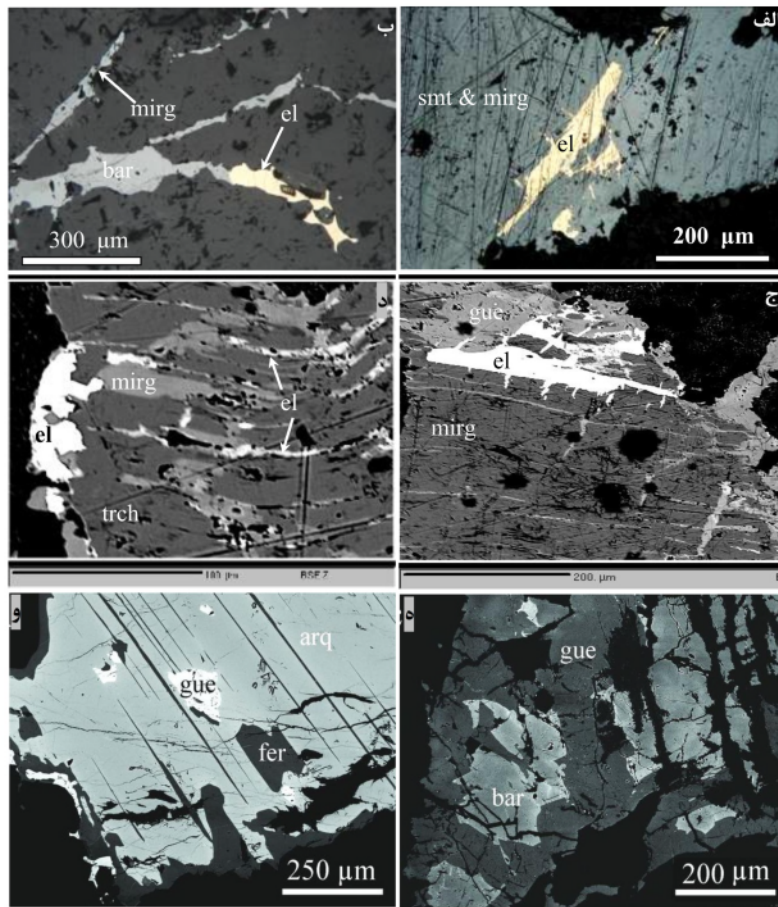
شکل ۴ نمایی از زمین‌شناسی، هندسه و اندازه کانسنگ‌های باریتی و سولفیدی در بخش چینه‌سان کانسار باریکا. در این تصویر کانسنگ‌های سولفیدی و باریتی در واحد متاآندزیتی (واحد  $K^{mvI}$ ) رخ داده‌اند.

جدول ۱ مقدار متوسط عناصر در کانی‌های سولفوسالتی کانسار باریکا (بر حسب به درصد).

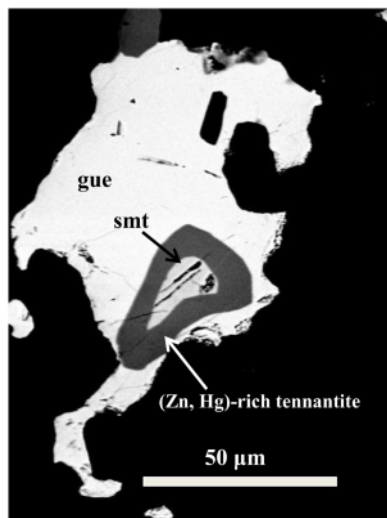
کانی	عناصر	As	Sb	Hg	Pb	Cu	Zn	Ag	S	Total
اسفائیت		۰٫۳۷	۱۵٫۱۱	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۶۹٫۲۷	۱۵٫۲۲	۱۰۰٫۰۶
پیرارگریت		۵٫۱۹	۱۳٫۱۵	۰٫۰۸	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۶۳٫۷۶	۱۷٫۰۷	۹۹٫۳۲
پیرارگریت		۲٫۶۵	۲۰٫۴۶	۰٫۰۴۶	۰٫۰۰	۰٫۰۱۲	۰٫۰۸۴	۵۹٫۴۳	۱۸٫۱۶	۱۰۰٫۸۴
تریچمانیت		۱۸٫۹۶	۱۴٫۱۱	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۲۳٫۹۱	۴۲٫۳۶	۹۹٫۴۱
میرارزیریت		۹٫۲۱	۲۴٫۷۲	۰٫۸۴	۰٫۵۳	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۴۰٫۱۵	۲۲٫۸۸	۹۸٫۴۰
اندوریت غنی از As		۷٫۸۶	۳۲٫۹۹	۰٫۸۸	۲۰٫۳۲	۰٫۹۰	۰٫۰۲	۲۳٫۰۴	۱۳٫۰۳	۹۹٫۰۴
تنانتیت غنی از Hg و Zn		۱۳٫۰۲	۶۴۲	۸٫۹۴	۰٫۰۰	۳۰٫۵۷	۳٫۸۵	۲۴٫۳۰	۱۱٫۵۴	۹۸٫۶۳
ژئوکروبینت غنی از As		۴٫۶۹	۹٫۸۲	۰٫۰۰	۶۶٫۸۴	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۲۵	۱۷٫۶۱	۹۹٫۲۵
سلیگمانیت غنی از Sb		۹٫۸۴	۱۰٫۰۴	۰٫۰۰	۴۳٫۷۲	۱۳٫۹۲	۰٫۰۷	۲۰٫۶۸	۰٫۲۱	۹۸٫۴۸
توینیت/گتاردیت		۱۳٫۶۱	۲۲٫۹۲	۰٫۰۰	۳۶٫۸۸	۰٫۰۶۲	۰٫۰۲۲	۱٫۲۴	۲۳٫۵۸	۹۸٫۳۲
اسمائیت		۱۹٫۱۹	۱۳٫۶۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱۳	۰٫۰۵۳	۲۴٫۰۲	۴۱٫۷۲	۹۸٫۶۲
باریکایت [۹]		۱۵٫۶۴	۱۸٫۳۳	۰٫۱۰	۳۵٫۷۷	-	۰٫۰۴	۵۸۰	۲۴٫۰۰	۹۹٫۶۸
آرسن کوانترویدیت [۹]		۶٫۵۶	۳۵٫۵۳	-	۲۰٫۳۰	-	-	۱۴٫۴۶	۲۳٫۴۵	۱۰۰٫۲۰
فردوسی ایت [۱۰]		۱۰٫۱۷	۲۷٫۵۵	-	-	-	-	۳۹٫۰۶	۲۳٫۲۲	۱۰۰٫۰۰
گتاردیت [۳۱]		۱۴٫۹۷	۲۲٫۷۸	-	۳۷٫۶۳	-	-	-	۲۴٫۳۶	۹۹٫۷۴



شکل ۵ تصویری از عدسی سیلیسی، که با خط چین زرد رنگ مشخص شده است و در بخش چینه‌سان کانسار رخداد دارد. در این عدسی سیلیسی، کانه‌های سولفوسالتی تیره رنگ تمرکز قابل توجهی دارند. ب و پ) ذرات الکتروم، در اندازه‌های ۰٫۵ تا ۴ میلی‌متر، در همراهی با کانه‌های سولفوسالتی مشاهده می‌شوند.



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپ نوری بازتابی (الف، ب، ث، ج) و تصاویر میکروسکوپ الکترونی (BSE) (پ و ت) از رخداد برخی سولفوسالت‌ها و الکتروم در کانسنگ‌های طلا دار باریکا: (الف) الکتروم در همراهی با اسمایتیت و میرارژیریت، (ب) الکتروم در همراهی با باریکائیت و میرارژیریت، (پ) الکتروم در همراهی با گتاردیت و میرارژیریت، (ت) الکتروم در همراهی با میرارژیریت و تریچمانیت، (ث) باریکائیت، به‌طور قابل توجهی توسط گتاردیت جانشین شده است. (ج) گتاردیت و فردوسی‌ایت به‌طور قابل توجهی توسط آرسن کواتراندوریت جانشین شده‌اند. arq: آرسن کواتراندوریت، bar: باریکائیت، el: الکتروم، fer: فردوسی‌ایت، mirg: میرارژیریت، smit: اسمایتیت، trch: تریچمانیت و gue: گتاردیت).



شکل ۷ تصویر میکروسکوپ نوری بازتابی از کانی گتاردیت (gue) که در حال جانشین شدن به جای تنانتیت غنی از روی-جیوه است. ساختار بلورین کانی گتاردیت، از روی این نمونه تعیین شده است.

**روش بررسی**

به منظور شناسایی نوع و شیمی کانه‌های موجود در کانسنگ‌های با عیار بیش از ۱ گرم در تن، پس از بررسی‌های کانه‌نگاری و مشخص کردن کانی‌های مورد نظر، تعداد ۱۰ نمونه از بخش‌های مختلف کانسنگ چینه‌سان انتخاب و کانه‌های منتخب علامت‌گذاری شدند. پس از این مرحله، ۱۵۰ نقطه از کانه‌های علامت‌گذاری شده در آزمایشگاه کانی‌شناسی مؤسسه تحقیقات پیشرفته فرآوری مواد معدنی ایران و بخش زمین‌شناسی دانشگاه کپنهاگ دانمارک با دستگاه ریزپردازشگر الکترونی مدل EPMA Cameca SX-100، ساخت کشور فرانسه تجزیه شدند. به این ترتیب، ترکیب شیمیایی کانه‌ها شناسایی شد و تصاویر الکترونی پس‌پراکنده (BSE) ثبت گردید. بررسی‌های تکمیلی پیرامون ویژگی‌های دقیق و تفصیلی چهار کانی باریکائیت، فردوسی‌ایت، آرسن کواتراندوریت و گتاردیت در آزمایشگاه‌های کانی‌شناسی دانشگاه‌های کپنهاگ دانمارک و سالزبورگ اتریش انجام شد. این بررسی‌های تکمیلی شامل تعیین شیمی کانی‌ها، تعیین ویژگی‌های فیزیکی (از جمله سختی، برگوارگی، عدد سختی ویکرز، VHN)، شناسایی ساختار بلورین و داده‌های سلول واحد و مشخصه‌یابی نوری (ناهمسانگردی، رنگ، جلا و بازتابندگی در طول موج‌های مختلف) بود.

**بحث**

شناسایی و معرفی کانی‌های جدید نقش چشمگیری در گسترش علوم زمین دارد و هر کانی جدید نشانگر محیط زمین‌شناسی و فرایندهای ویژه زمین‌شناسی برای تشکیل آن است [۱۹]. انجمن بین‌المللی کانی‌شناسی (IMA) و کارگروه نامگذاری و رده‌بندی کانی‌های جدید (IMA CNMNC) تنها مرجع برای معرفی و نامگذاری کانی‌هاست و این مجموعه هر ساله، کانی‌های جدیدی که در دنیا کشف می‌شوند را به جامعه زمین‌شناسی و کانی‌شناسی معرفی می‌کند.

تا سال ۲۰۱۳، تنها ۷ کانی سئلیت، تالمسیت، پرتلیکیت، متاولتین، خادمیت، ایرانیت و دلیرانیت برای نخستین بار در ایران شناسایی و معرفی شدند [۲-۸]. در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴، سه کانی دیگر به نام‌های باریکائیت [۹]، فردوسی‌ایت

و آرسن کواترودیت [۱۰] در کانسار طلای باریکا شناسایی و به این مجموعه اضافه شدند و تعداد کانی‌های ایرانی به ۱۰ عدد رسید. این سه کانی، بیش از یک چهارم از کانی‌های جدید کشف شده در ایران را شامل می‌شوند و از این‌رو شایسته است که کانسار باریکا، که خاستگاه پیدایش آنهاست، نه تنها در مقیاس ملی بلکه به عنوان یک میراث زمین‌شناسی جهانی مورد توجه قرار گیرد [۱۹].

بر پایه بررسی‌های سنگ‌نگاری و داده‌های ریزپردازش الکترونی، کانه‌های تشکیل دهنده بخش کانسنگ چینه‌سان کانسار باریکا تنوع بسیاری دارند و شامل پیریت، اسفالریت، گالن، استیب‌نیت، الکتروم و انواعی از کانه‌های سولفوسالت شامل تتراهدريت - تنانتیت، استفانیت، پیرارژیریت، تریچمانیت، اسمایتیت، میارژیریت، آندوریت، ژئوکرونیت، سلیگمانیت، گتاردیت، باریکائیت، فردوسی‌ایت و آرسن-کواتراندوریت هستند (شکل‌های ۵ تا ۷). ترکیب شیمیایی میانگین کانی‌های سولفوسالتی موجود در بخش چینه‌سان کانسار باریکا در جدول ۱ آمده است.

نتایج ریزپردازش الکترونی نشان می‌دهد که طلا به صورت الکتروم با درجه خلوص (عیار) ۷۷۰ تا ۸۷۵ در بخش‌های مختلف کانسنگ چینه‌سان حضور دارد [۱۵]. الکتروم‌ها بیشتر در همراهی با کانی‌های سولفوسالتی غنی از Ag-As-Sb و کمتر در مرز و لبه پیریت‌ها دیده شده‌اند (شکل‌های ۵ و ۶). همچنین برپایه داده‌های ریزپردازشی، همه کانی‌های سولفوسالتی که در شکستگی‌ها تمرکز یافته‌اند، مقادیر بالایی از عناصر Ag, As و Sb را دارا هستند، به طوری که مقادیر Ag تا ۶۹٫۲۷ درصد (در استفانیت)، Pb تا ۶۶٫۸۴ درصد (در ژئوکرونیت) و جیوه تا ۸٫۹۴ درصد (در تنانتیت) اندازه‌گیری شده‌اند (جدول ۱).

خلاصه‌ای از ویژگی‌های کانی‌شناسی باریکائیت، فردوسی‌ایت، آرسن کواتراندوریت و گتاردیت به اجمال در ادامه بیان می‌شوند:

باریکائیت: بلورهای این کانی در اندازه‌های کوچکتر از یک میلی‌متر دیده شدند. این کانی با فرمول  $Ag_3Pb_{10}(Sb_8As_{11})S_{19}S_{40}$  دارای رنگ سیاه مایل به خاکستری در نور طبیعی و سفید مایل به خاکستری در نور



تنانتیت (شکل ۷) گردیده و به‌طور قابل ملاحظه ای توسط آرسن کواتراندوریت (شکل ۶ ج) جانشین شده است.

#### برداشت

کانسار باریکا، به‌عنوان تنها کانسار شناسایی شده از نوع سولفید توده‌ای غنی از طلا در ایران، خاستگاه تعداد قابل توجهی از کانی‌های سولفوسالتی نادر است. رخداد کانی‌های جدید سولفوسالتی غنی از نقره باریکایت، فردوسی‌ایت و آرسن-کوانترودیت و نیز کانی نادر گتاردیت در باریکا، این کانسار را از موقعیت‌های زمین‌شناسی کم نظیر در دنیا معرفی می‌کند که در آن بیش از یک کانی جدید کشف و معرفی شده است. سه کانی نام برده، بیش از یک چهارم از کانی‌های جدید کشف شده در ایران را شامل می‌شوند. کانسار باریکا با دارا بودن تنوعی از کانی‌های سولفوسالتی نادر، یک ثروت ملی بوده و زمینه مناسبی برای پژوهش‌های کانی‌شناسی و بلورشناسی پدید آورده است.

#### مراجع

- [1] "IMA Database of Mineral Properties, RRUFF Project", 2020. Department of Geosciences, University of Arizona.
- [2] Bariand P., Bachet B., Brassy C., Medenbach O., Deliens M., Piret P., "Seelite, a new uranium mineral from the Talmessi mine, Iran, and Rabejac, France", The Mineralogical Record 24 (1993) 463-467.
- [3] Catti M., Ferraris G., Ivaldi G., "Hydrogen bonding in the crystalline state. Structure of talmessite,  $Ca_2(Mg,Co)(As_4O_{12}) \cdot 2H_2O$ ", and crystal chemistry of related minerals. Bulletin de la Société française de Minéralogie et de Cristallographie, 100 (1977) 230-236.
- [4] Ertl A., Dyar M.D., Hughes J.M., Brandstätter F., Gunter M.E., Prem M., Peterson R.C., "Pertlikite, a new tetragonal Mg-rich member of the voltaite group from Madeni Zakh", Iran. Canadian Mineralogist, 46 (2008) 661-669.
- [5] Blas "Konigliche Akademie der Wissenschaften", Vienna, Sitzber.: 87 (1883) 155 (Metavoltine).
- [6] Bariand P., Berthelon J. P., Cesbron F., Sadrzadeh M., "New aluminum sulfate hydrate, khademite of Saghand (Iran)", Comptes Rendus

بازتابی است. باریکایت با ناهمسانگردی آشکار در گستره رنگ-های خاکستری دارای ساختار منوکلینیک است. در مقاطع میکروسکوپی بررسی شده از کانسار باریکا، باریکایت به‌طور قابل توجهی توسط گتاردیت جانشین شده است (شکل‌های ۶ب و ۶ث).

فردوسی‌ایت: بلورهای این کانی در اندازه‌های کوچکتر از ۴۰۰ میکرومتر دیده شدند. این کانی با فرمول  $Ag_8(Sb_5As_3)S_{16}$  دارای رنگ سیاه مایل به خاکستری در نور طبیعی و سفید مایل به خاکستری در نور بازتابی است. فردوسی‌ایت با ناهمسانگردی آشکار از قهوه‌ای تیره تا خاکستری مایل به آبی دارای ساختار منوکلینیک است. در مقاطع میکروسکوپی بررسی شده از کانسار باریکا، این کانی به‌طور قابل توجهی توسط آرسن کواتراندوریت جانشین شده است (شکل ۶ ج).

آرسن کواتراندوریت: بلورهای این کانی در اندازه‌های کوچکتر از ۲ میلی‌متر دیده شدند. این کانی با فرمول  $Ag_{17.6}Pb_{12.8}Sb_{38.1}As_{11.5}$  دارای رنگ سیاه مایل به خاکستری در نور طبیعی و سفید مایل به خاکستری در نور بازتابی است. فردوسی‌ایت با ناهمسانگردی آشکار دارای ساختار منوکلینیک است. در مقاطع میکروسکوپی، این کانی به‌صورت بلورهای بزرگ توسط فردوسی‌ایت و گتاردیت جانشین شده است (شکل ۶ ج).

گتاردیت، این کانی از نادرترین کانی‌های سولفوسالتی است که نخستین بار توسط جامبور [۲۵، ۲۶] در سال ۱۹۶۷ در معدن مادوک (Madoc) اونتاریو، به‌عنوان یک کانی سولفوسالت با سیستم بلورین تک میل با فرمول  $Pb(Sb_{1.12}As_{0.88})S_{22.4}$  کشف و معرفی شد. البته همزمان یک کانی دیگر از همان معدن با نام تووینیت، با فرمول  $Pb(Sb_{1.26}As_{0.74})S_{24}$ ، که یک کانی سولفوسالتی با سیستم راستگوش است، یافت شد. گتاردیت و تووینیت دو عضو بسیار مشابه از سولفوسالت‌های آرسنیک‌دار با نام سری سارتوریت هستند [۲۷-۳۰]. در سال ۲۰۱۲، براساس نمونه‌های کانسار باریکا، برای نخستین بار ساختار بلورین گتاردیت تعیین شد [۳۱] و برخی از اختلاف‌های آن با کانی تووینیت مشخص گردید. در بیشتر نمونه‌های میکروسکوپی باریکا، گتاردیت به‌طور قابل توجهی جانشین کانی‌های باریکایت (شکل ۶ ث) و



- and their significance for gold transport models”, *Econ. Geol. Monogr.* 6 (1989) 520-563.
- [18] Huston D.L., “Gold in volcanic-hosted massive sulfide deposits; distribution, genesis, and exploration”, in Hagemann, S.G. ed., *Gold in 2000: Reviews in Economic Geology*. 13 (2000) 401-426.
- [19] Ruban D. A., “New mineral discovery geosites: Valuing for geoconservation purposes”, *Geoconservation Research*, 1, 24-27.
- [20] Mohajjel M., Fergusson C.L., Sahandi M.R., “Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan Zone, western Iran”, *J. Asian Earth Sci.* 21 (2003) 397–412.
- [21] Azizi H., Jahangiri A., “Cretaceous subduction-related volcanism in the northern Sanandaj–Sirjan Zone, Iran”, *J. Geodyn.* 45, 178–190.
- [22] Azizi H., Moinevaziri H., “Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran”, *J. Geodyn.* 47 (2009) 167–179.
- [23] Ohmoto H., “Formation of volcanogenic massive sulfide deposits: the Kuroko perspective”, *Ore geology reviews*. 10 (1996) 135-177.
- [24] Ohmot H., Mizukami M., Drummond S.E., Eldridge C.S., Pisutha – Armond V., Lenagh T.C., “Chemical processes of Kuroko formation”, *Econ. Geol. Monogr.* 5 (1983) 570-604.
- [25] Jambor J.L., “New lead sulfantimonides from Madoc”, Ontario– Part 1. *Can.Mineral.* 9 (1967), 7-24.
- [26] Jambor J.L., “New lead sulfantimonides from Madoc”, Ontario– Part 2. *Can.Mineral.* 9 (1967) 191-213.
- [27] Makovicky E., “The building principles and classification of sulphosalts based on the SnS archetype”, *Fortschr. Mineral.* 63 (1985) 45-89.
- [28] Berlepsch P., Armbruster T., Makovicky E., Topa D., “Another step toward understanding the true nature of sartorite: determination and refinement of a ninefold superstructure”, *Am. Mineral.* 88 (2003) 450-461
- [29] Berlepsch P., Makovicky E., Balić-Žunić T., “Crystal chemistry of sartorite homologues and related sulfosalts”, *Neues Jahrb. Mineral., Abh.* 176 (2001) 45-66.
- des Seances de l'Académie des Sciences, Série C, 277 (1973) 1585-1588 (in French).
- [7] Bariand P., Herpin P., “Une nouvelle espèce minérale: l'iranite, chromate hydraté de plomb”, *Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie*: 86: 133-135.
- [8] Paar W. H., Pring A., Moëlo Y., Stanley C. J., Putz H., Topa D., Roberts A. C., Braithwaite R. S. W., “Daliranite,  $PbHgAs_2S_6$ , a new sulphosalt from the Zarshouran Au-As deposit, Takab region, Iran. *Mineralogical Magazine*, 73 (2009) 871-881.
- [9] Topa D., Makovicky E., Tajeddin H., Putz H., Zagler G., “Barikaite,  $Pb_{10}Ag_3(Sb_8As_{11})\Sigma_{19}S_{40}$ ”, a new member of the sartorite homologous series. *Mineralogical Magazine*, 77, 2695-2709.
- [10] Makovicky E., Topa D., Tajeddin H., Putz H., Zagler G., “Ferdowsiite: A new mineral from the Barika ore deposit, Iran. *Mineralogical Magazine*, 77, 727-734.
- [11] “Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, “Geochemical exploration in Alut (scale 1:100,000) (2010).
- [12] Tajeddin H., “Exploration and introduction of the Barika gold mineralization (East of Sardasht, western Azarbaijan)”. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. Tehran (internal Report) (2003).
- [13] Yarmohammadi A., Rastad E., Mohajjel M., Shamsa M.J., “Barika gold occurrence: gold- rich volcanogenic massive sulfide in Iran”, *Tehran Uni. J. Sci.* 34, 47–60 (in Persian) (2008).
- [14] Yarmohammadi A., Rastad E., “Deformation effects on the gold behavior in Barika gold-rich massive sulfide deposit, east of Sardasht”, *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 16, (2008) 442-435 (in Persian).
- [15] Tajeddin H., “Ore controlling parametrs of gold mineralization in the metamorphic rocks of Sagez-Sardasht area, NW Sanandaj-Sirjan zone”, Unpublished Ph.D. thesis, Tehran, Tarbiat-Modares University, Iran, 475 p.
- [16] Tajeddin H.A., Rastad E., Yaghoupour A., Maghfouri S., Peter J.M., Goldfarb R., Mohajjel M., “The Barika gold-bearing, Koruko-type volcanogenic massive sulfide (VMS) deposit, Sanandaj-Sirjan zone, Iran (2020).
- [17] Large R.R., Huston D.L., McGoldrick P.J., Ruxton P.A., “Gold distribution and genesis in Australian volcanogenic massive sulfide deposits

*Commission on Ore Mineralogy*”, Eur. J. Mineral. 20 (2008) 7-46.

[31] Makovicky E., Topa D., Tajeddin H.A., Rastad E., Yaghubpur A., “*The crystal structure of Guettardite, PbAsSbS<sub>4</sub>, and the Twinnite-Guettardite problem*”, The Canadian Mineralogist; 50 (2012) 253-265.

[30] Moëlo y., Makovicky E., MozGova N.N., Jambor J.L., Cook N., Pring A., Paar W., Nickel E.H., Graeser S., Karup-Møller S., Balić-Žunić T., Mumme W.G., Vurro F., Topa D., Bindi L., Bente K., Shimizu M., “*Sulfosalt systematics: a review. Report of the Sulfosalt sub-committee of the IMA*