

بررسی کانی‌سازی، زمین‌شیمی و سیال درگیر کانسار مس خانکشی، استان مرکزی (ایران)

رضوان پورمعصومی^{۱*}، علیرضا جعفری راد^۱، محمد لطفی^۲، پیمان افضل^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال و پژوهشکده علوم زمین وابسته به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

۳- گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۲/۸)

چکیده: کانسار مس خانکشی در استان مرکزی و در ۸۰ کیلومتری جنوب غرب تهران واقع است. این کانسار از توالی سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری بیشتر جنس تراکی آندزیت و آندزیت با سن ائوسن تشکیل شده است. جانیشینی پیریت با کالکوپیریت و بورنیت، بصورت بلورهای ریز کروی در زمینه میکرایتی اولیه و نیز ته‌نشست این دو کانی توسط محلول‌های گرمابی بصورت بلورهای نیمه شکل دار درون رگه و رگچه‌های دولواسپارایت ناشی از تبلور سنگ‌های کربناتی میکرایتی به شکل روزادی بوده است؛ آنها فرآورده‌های ثانویه برونزاد را تولید نموده‌اند و همراه با آذرآواری‌ها و توف‌های برشی وابسته نماینده یک چرخه آتشفشانی هستند که بصورت چینه کران در آن کانه‌زایی مس رخ داده است. با حضور کانی‌های همیافت، دگرسانی پروپیلیتی در کنار سایر دگرسانی‌ها، دگرسانی معمول خانکشی بوده که شدت آن در کانه‌زایی سنگ میزبان بیشتر است. براساس نتایج بررسی‌های شیمی، کانی‌های آلپیت، کلسیت، کوارتز و کائولینیت در فاز اصلی حضور دارند که نشانگر حضور دگرسانی پروپیلیتی هستند و به مقدار کمتر دگرسانی آرژیلیک و اکسایش آهن را نشان می‌دهند. همچنین بررسی‌های زمین‌شیمی خانکشی نشانگر رخداد آتشفشانی هستند و ماهیت پتاسیم قلیایی بالا دارند و در اثر فرایندهای کشتی در کرانه حوضه پشت کمانی قرار گرفته‌اند. میانبارهای سیال، دمای همگن‌شدگی را بین ۱۲۹/۴ تا ۲۲۷/۱ درجه سانتیگراد و گستره تغییرات شوری را از ۱/۹۱ تا ۱۳/۴ درصدوزنی نمک طعام نشان می‌دهند. عمق به دام افتادن میانبارهای سیال در این کانسار، کمتر از ۲۰۰ متر و فشار کمتر از ۷۴ بار است. این کانسار بر پایه ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، بافت و ساخت، زمین‌شیمی و داده‌های به دست آمده از میانبارهای سیال، قابل مقایسه با کانسارهای مس نوع مانتو است.

واژه‌های کلیدی: کانه نگاری؛ زمین‌شیمی؛ میانبارسیال؛ مس نوع مانتو؛ خانکشی.

مقدمه

های معدنی، این پهنه را به یک واحد فلززایی بی‌مانند تبدیل کرده است. از نظر اهمیت زیاد، ارزش اقتصادی و مصرف روزافزون فلز راه بردی مس، نیاز به پی‌جویی ذخایر جدید مس از انواع شناخته شده و نیز شناخته نشده این فلز در کشور ضروری به نظر می‌رسد. افزون بر کانسارهای مس پورفیری در

کمربند ماگمایی ارومیه دختر مهم‌ترین و غنی‌ترین منطقه مس‌دار در ایران محسوب می‌شود. ویژگی‌های زمین‌شناسی و پراکندگی گسترده سامانه‌های متنوع مس از جمله ذخایر معدنی مس پورفیری و رگه‌ای به همراه سایر عناصر و نشانه

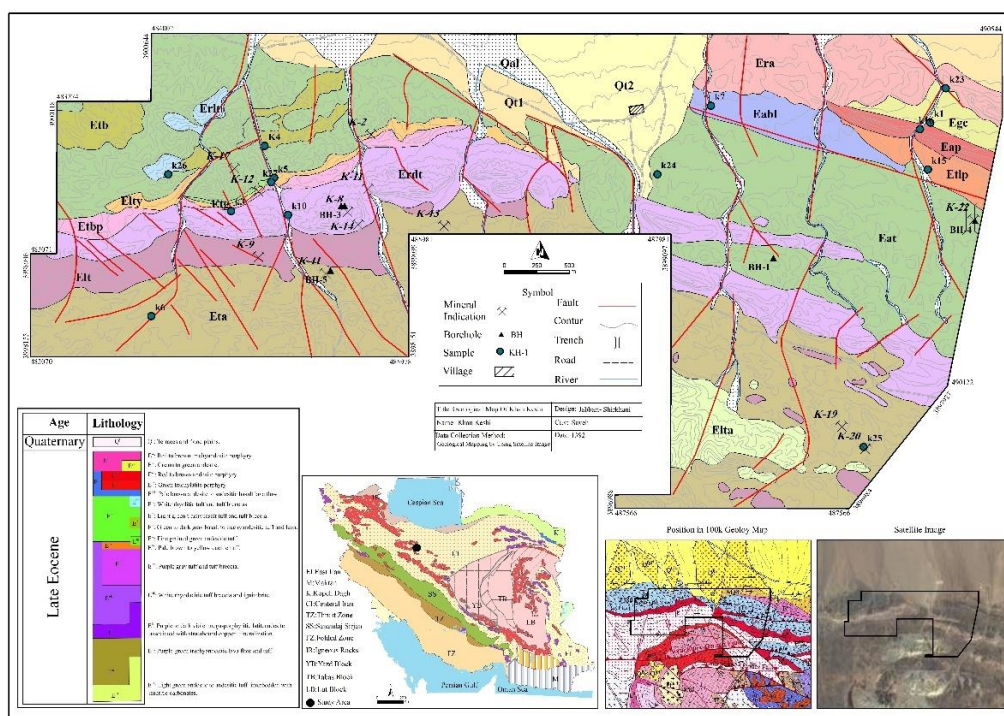
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۰۱۷۴۳۰۷۹۵، پست الکترونیکی: Rez_pourmasoomi@yahoo.com

Copyright © 2025 The author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited



کمان ماگمایی ارومیه دختر، مجموعه دیگری از کانه‌زایی‌های مس در این کمان ماگمایی و سایر پهنه‌های ساختاری ایران شناسایی شده‌اند که در ارتباط با گدازه‌ها و آذرآواری‌ها هستند. این نوع کانسارها به کانسارهای نوع مانتو معروف بوده و از ویژگی‌های شاخص آنها محدود بودن کانه‌زایی به یک واحد چینه‌ای ویژه (چینه کران) است [۱] واژه ذخایر نوع مانتو یا نوع شیلی برای نخستین بار در شیلی و برای ذخایر مس چینه کران با سنگ میزبان آتشفشانی- رسوبی استفاده شده و در ناحیه کردیلرای ساحلی و کردیلرای مرکزی کمر بند فلز زایی مهمی از مس را ایجاد کرده است [۲]. این نوع ذخایر مس پس از کانسارهای مس پورفیری و کانسارهای اکسید آن-مس-طلا (IOCG)، سومین ذخایر بزرگ مس در شیلی به شمار می‌آیند. بیشتر این ذخایر دارای سن ژوراسیک تا کرتاسه هستند. مهمترین کانسارهای نوع مانتو که در ایران شناخته شده‌اند، کانسارهای مس منطقه عباس آباد در شمال پهنه سبزوار هستند [۳]. از کانسارهای دیگر نوع مانتو که در ایران شناخته شده‌اند می‌توان به کانسارهای ورزگ [۴]، قبله بولاغ [۵]، کشکویه [۶]، کشت مهکی [۷]، وشنوه [۸] و نارباغی شرقی [۹] اشاره کرد. کانسار مس خانکشی در ۸۰ کیلومتری جنوب غرب تهران در استان مرکزی واقع است و در شمال کمان

ماگمایی ارومیه دختر، مجموعه دیگری از کانه‌زایی‌های مس در این کمان ماگمایی و سایر پهنه‌های ساختاری ایران شناسایی شده‌اند که در ارتباط با گدازه‌ها و آذرآواری‌ها هستند. این نوع کانسارها به کانسارهای نوع مانتو معروف بوده و از ویژگی‌های شاخص آنها محدود بودن کانه‌زایی به یک واحد چینه‌ای ویژه (چینه کران) است [۱] واژه ذخایر نوع مانتو یا نوع شیلی برای نخستین بار در شیلی و برای ذخایر مس چینه کران با سنگ میزبان آتشفشانی- رسوبی استفاده شده و در ناحیه کردیلرای ساحلی و کردیلرای مرکزی کمر بند فلز زایی مهمی از مس را ایجاد کرده است [۲]. این نوع ذخایر مس پس از کانسارهای مس پورفیری و کانسارهای اکسید آن-مس-طلا (IOCG)، سومین ذخایر بزرگ مس در شیلی به شمار می‌آیند. بیشتر این ذخایر دارای سن ژوراسیک تا کرتاسه هستند. مهمترین کانسارهای نوع مانتو که در ایران شناخته شده‌اند، کانسارهای مس منطقه عباس آباد در شمال پهنه سبزوار هستند [۳]. از کانسارهای دیگر نوع مانتو که در ایران شناخته شده‌اند می‌توان به کانسارهای ورزگ [۴]، قبله بولاغ [۵]، کشکویه [۶]، کشت مهکی [۷]، وشنوه [۸] و نارباغی شرقی [۹] اشاره کرد. کانسار مس خانکشی در ۸۰ کیلومتری جنوب غرب تهران در استان مرکزی واقع است و در شمال کمان



شکل ۱ نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ منطقه خانکشی [۱۴].

روش بررسی

این پژوهش بر پایه بازدیدهای صحرایی، بازنگری نقشه زمین-شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه، بررسی نقشه زمین-شناسی ۱:۵۰۰۰ گستره معدنی خانکشی و انجام نمونه برداری برای بررسی های آزمایشگاهی گوناگون استوار است. نمونه های برداشت شده از بخش های مختلف شامل رخنمون های منطقه معدنی، حفاری های سطحی و گمانه ها هستند. برای بررسی های سنگ نگاری، شناسایی مجموعه های دگرسانی و روند کانه زایی، از سنگ های آتشفشانی همراه با کانه زایی و بدون کانه زایی نمونه برداری شد و با روش های میکروسکوپی نوری بازتابی و عبوری بررسی شدند. تجزیه عناصر اصلی، فرعی و کمیاب سنگ های منطقه مورد بررسی در مرکز آزمایشگاهی زرآما ایران انجام گردید. نمونه های انتخابی شامل ۶ نمونه برای تجزیه اکسیدهای اصلی به روش طیفسنجی فئورسانس پرتوی X (XRF)، ۲ نمونه برای پراش پرتوی ایکس (XRD) و ۶۲ نمونه برای تجزیه عناصر کمیاب به روش طیفسنجی نشر اتمی پلاسما جفت شده القایی (ICP-AES) بود. برای آگاهی از ماهیت و ویژگی های فیزیکی- شیمیایی سیال های کانه ساز، تعداد ۶ مقطع دوبرصیق از کلسیت به عنوان کانی باطله اصلی کانسار تهیه و برای شناسایی میانبارهای سیال در آزمایشگاه شرکت آذین زمین پویا بررسی شدند. نتایج این بررسی ها برای تعیین شرایط فیزیکی- شیمیایی سیال های عامل کانه سازی و دگرسانی، شامل شوری، فشار، دما و نیز در تعیین مراحل تکامل سامانه گرمایی و کانه سازی در ارتباط با آن استفاده شد که پس از سنگ نگاری میانبارهای سیال، اندازه گیری های ریزدماسنجی بر آنها انجام گردید. گستره دمایی اندازه گیری دستگاه از ۱۹۶- تا ۶۰۰ درجه سانتی گراد و خطای اندازه گیری دستگاه در حد ± 0.1 درجه سانتی گراد بود. در مجموع، اندازه گیری های ریزدماسنجی بر ۶۰ میانبار سیال انجام شد. شوری میانبارهای غنی از مایع و غنی از بخار بر اساس رابطه مرجع [۱۵] و بر پایه دمای ذوب آخرین قطعه یخ (T_{mice}) محاسبه گردید.

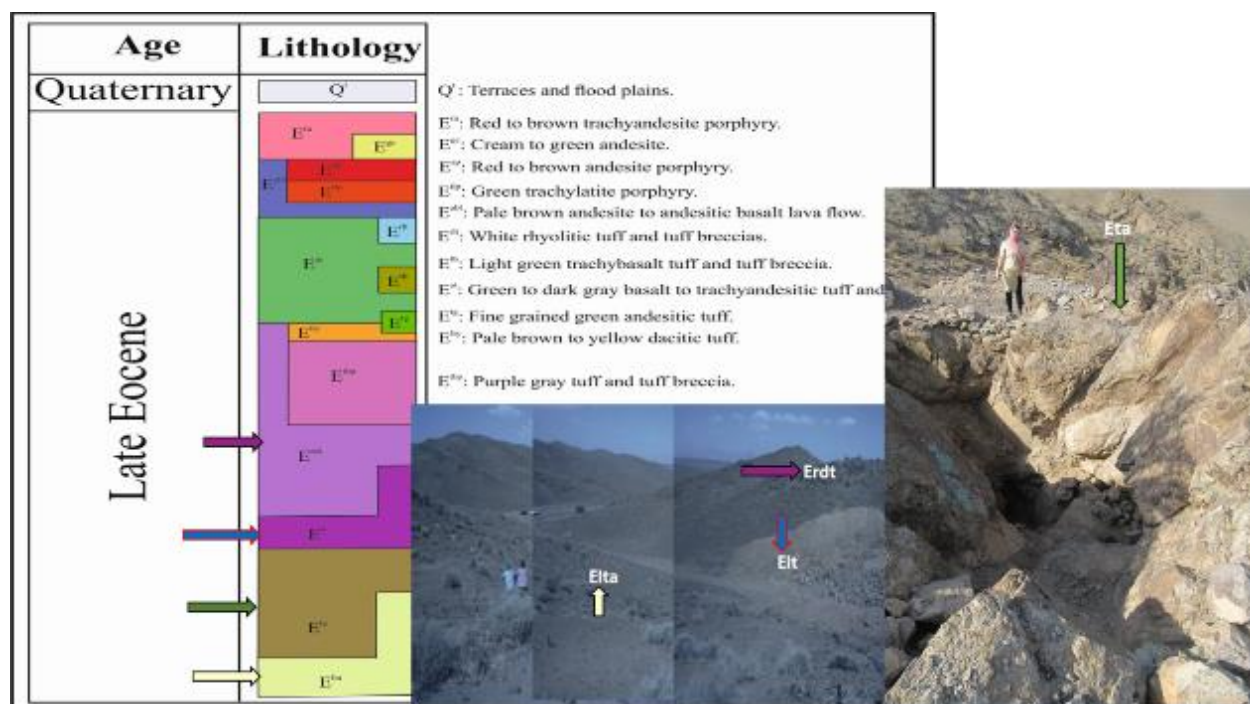
زمین شناسی و سنگ شناسی

بر اساس تقسیم بندی محیط های ساختاری- رسوبی ایران زمین، گستره مس خانکشی در شمال پهنه ارومیه دختر قرار دارد که ادامه شمال غربی این پهنه از گسسته ترین و طویل ترین مناطق ساختاری ایران زمین است. این کانسار در پهنه ساختاری

کوشک نصرت، دربخش شرقی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی زاویه از توابع استان مرکزی و جنوب شرق ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه قرارداد. مجموعه سنگ های ائوسن پایانی بیشترین برونزد را در منطقه معدنی خانکشی دارند (شکل های ۱ و ۲). قدیمی ترین واحد سنگی واحد E^{lta} در جنوب شرقی منطقه معدنی خانکشی است. این واحد با ریختار ملایم و رنگ روشن، شاخص حوضه ای با فعالیت خاکسترهای آتشفشانی همزمان با رسوبگذاری و فعالیت بروندها بوده است. در این راستا، توف های سبز با لایه بندی ظریف همزمان با کربنات های ریزبلوری نوع میکرایتی، در این حوضه شکل گرفته اند. از سویی، حضور آهک های میکرایتی همراه با پیریت های فرامبوئیدی در این واحد، توجیه کننده محیط احیایی در رخداد کانه زایی سولفیدی و بیانگر فعالیت بروندها به مانند ژل سولفیدی است که می تواند منبع تغذیه کننده گوگرد در کانه زایی سولفیدی نوع مانتو این منطقه باشد. دگرسانی های کلریتی و اپیدوتی شدن در برخی نقاط این واحد وجود دارند. واحد E^{ta} شامل جریان های گدازه تراکی آندزیت به رنگ سبز صورتی همراه با آذرآوری های وابسته از نوع برش های آتشفشانی و توف برشی است. واحد E^{lt} با ترکیب لاتیت آندزیت از دیدگاه کانه زایی مس شاخص بوده (شکل ۳ الف) و شامل همبرزایی کانایی کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت و مالاکیت و همراه با رگچه های دولومیتی- دولواسپارایتی است. در واقع، این واحد به همراه آذرآوری های توف و توف برشی وابسته (واحد E^{lta})، نماینده یک چرخه آتشفشانی است که به صورت چینه کران در آن کانه زایی مس رخ داده است (شکل ۳ ب). از ویژگی های آن وجود دگرسانی های کلریتی و اپیدوتی است که در تماس با پهنه کانه زایی هستند. واحد E^{rdt} شامل توف اسیدی ریوداسیتی با بافت ایگنمبریتی بوده که گستره آن بیشتر در بخش میانی نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ خانکشی و اغلب به حالت صخره ساز است و به صورت همشیب با واحدهای زیرین و بالای خود برونزد دارد. قطع شدگی این واحد توسط گسله های عرضی باعث تغییر روند آن از شمال شرق- جنوب غرب به سمت شمال غرب- جنوب شرق در بخش شرقی نقشه شده است. واحد E^{tbp} شامل لاپیلی توف، آگلومرا و توفیت با ترکیب لاتیت آندزیت همراه با لایه های آهکی نومولیت دار بیشتر گستره شمال غربی نقشه ۱:۵۰۰۰ خانکشی را شامل شده است. واحد E^{ly} با ترکیب توف سنگی داسیتی در بخش شمال غرب نقشه و به

گرفته است. واحد توف ریولیتی (E^{rlt}) به صورت بین‌لایه‌ای درون واحد لاتیت آندزیت (E^{at}) بروزد دارد. سایر واحدهای زمین‌شناسی واحد توف آندزیتی (E^{abl})، واحد E^{up} از نوع لاتیت تا تراکی آندزیت سبز رنگ، واحد E^{ap} از نوع آندزیت پورفیری، واحد E^{gc} از نوع آندزیت و واحد تراکی- آندزیت پورفیری (E^{ra}) هستند. همه واحدهای نامبرده نشان دهنده ترادف چینه‌ای جانبی هستند و بطور ناهمگون با پادگانه‌های آبرفتی عهد حاضر (Q^1) و با شیب کم فرا گرفته شده‌اند.

طور هم‌شیب بر واحد E^{rtd} قرار داشته و به طور جانبی با واحد E^{tp} ترادف چینه‌ای دارد. از ویژگی‌های واحد E^{lty} ، رخداد دگرسانی گرمایی شدید است. واحد E^{tg} شامل توف ریزدانه سبز رنگ است. واحد E^{at} با ترکیب بازالت تا تراکی آندزیت همراه با آذرآواری‌های وابسته بیشترین گستره شمال نقشه ۱/۵۰۰۰ خانکشی را فراگرفته و توسط گسله‌های عرضی بصورت قائم و عمود جابه‌جا شده است. مهمترین فعالیت معدنی قدیمی در معدن خانکشی در راستای گسله‌ای قائم و در واحد E^{at} صورت



شکل ۲ ستون چینه شناسی منطقه معدنی خانکشی.



شکل ۳ (الف) نمونه سنگی از واحد Elt با ترکیب لاتیت آندزیت به عنوان پهنه کانه‌زا؛ (ب) نفوذ سیال گرمایی کانه‌ساز به صورت شبه آتشفشانی (واحد Elt) با رنگ روشن‌تر به درون توده قدیمی آتشفشانی با رنگ تیره‌تر (واحد Elta).

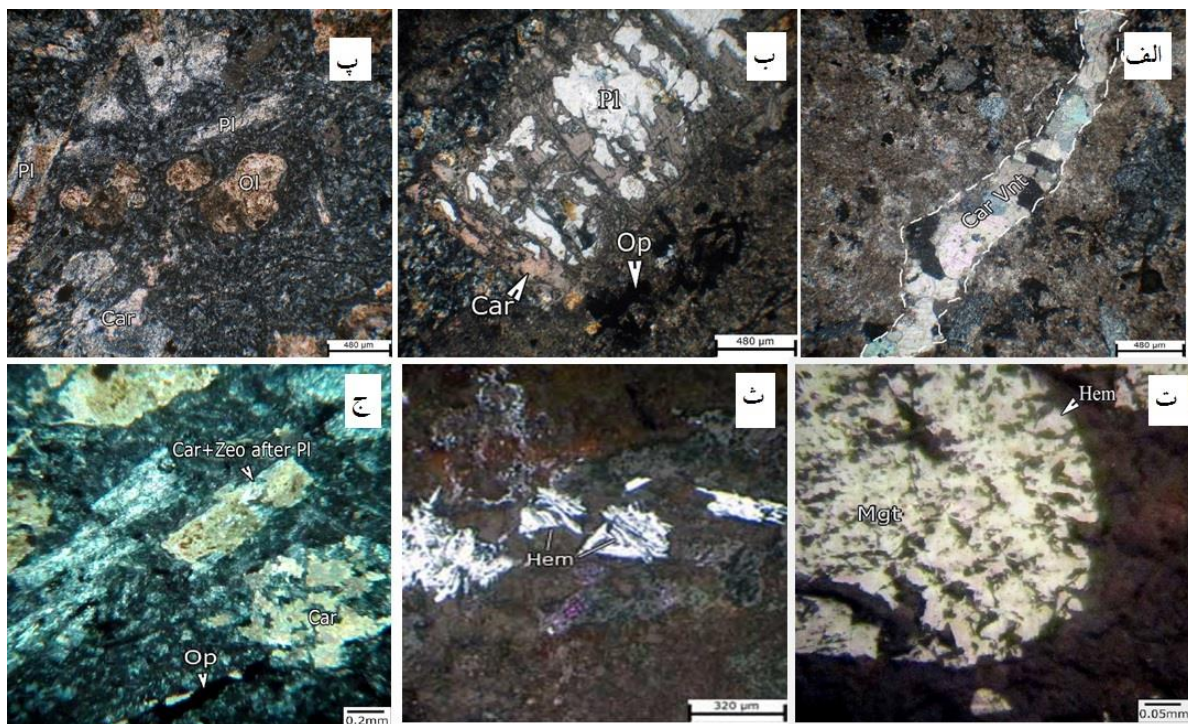
دگرسانی‌ها

بر پایه بررسی‌های صحرایی، سنگ‌های آتشفشانی دارای دگرسانی با گسترش محلی هستند. دگرسانی پروپیلیتی در کنار سایر جوار دیگر دگرسانی‌ها، دگرسانی معمول خانکشی بوده که شدت آن در کانه‌زایی سنگ میزبان بیشتر است. با توجه به حضور کانی‌های همیافت دگرسانی پروپیلیتی، و اینکه باطله اصلی همراه با رگه‌های سولفیدی در منطقه مورد بررسی از نوع کربنات بوده، شدت این دگرسانی در واحد سنگی لاتیت

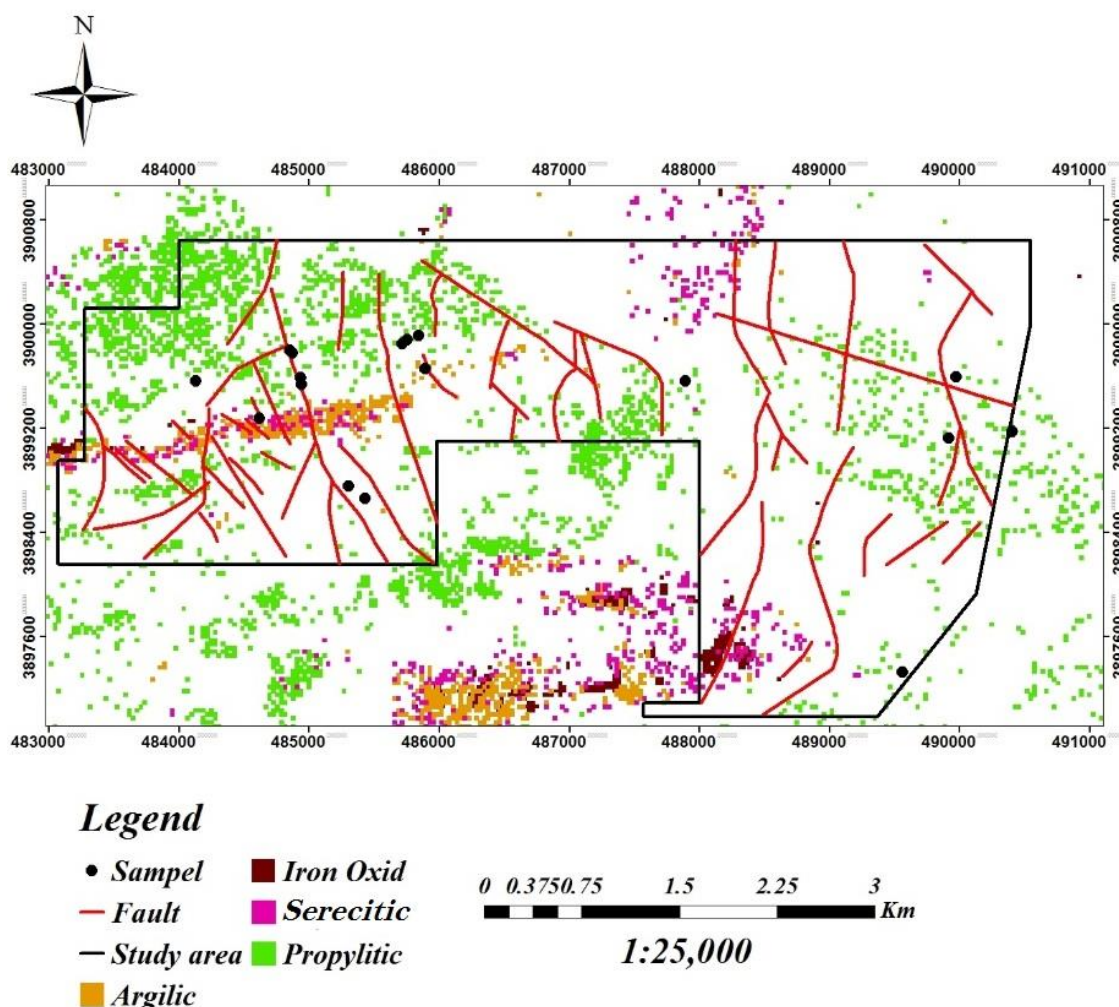
آندزیت به عنوان سنگ میزبان بالاست. سایر دگرسانی‌های در ارتباط با کانه‌زایی با مقدار کمتر شامل آرژیلیک (کائولینیستی شدن)، اکسایش آهن و کمتر سرسیتی شدن (فیلیک)، است. (شکل‌های ۴ و ۵). نقشه کلی دگرسانی‌ها بر اساس نمونه‌برداری و بازدیدهای صحرایی که با دگرسانی‌های پروپیلیتی و آرژیلیک و فیلیک (سریسیت) همخوانی دارد در شکل ۶ آورده شده است.



شکل ۴ دگرسانی‌های موجود در منطقه خانکشی را نشان می‌دهد.



شکل ۵ الف) نمای از یک رگه کلسیت (Car Vnt) که سطح مقطع آهک میکرایتی را قطع کرده است؛ ب) نمای از واپاشی درشت بلور پلاژیوکلاز (Pl) و جانشینی آن با کربنات (Car)؛ پ) نمای از بافت پورفیری که در آن درشت بلورهای مافیک اولیوین (Ol) با کربنات جانشین شده‌اند؛ ت) یک بلور مگنتیت (Ma) که هماتی-مارتیتی (Hem) شده است؛ ث) بلورهای سوزنی تا تیغه‌ای هماتیت (Hem) که در سطح مقطع پراکندگی دارند؛ ج) نمای کلی از نمونه نشانگر بلورهای درشت بلور پلاژیوکلاز با دگرسانی کربناتی و زئولیتی (Car+ Zeo) در یک خمیره ریزسنگی-شیشه-ای.



شکل ۶ نقشه کلی دگرسانی‌ها که براساس کنترل صحرایی نقاط نمونه‌برداری بر دگرسانی‌های پروپیلیتی؛ و آرژیلیک و فیلیک (سریسیت) منطبق است.

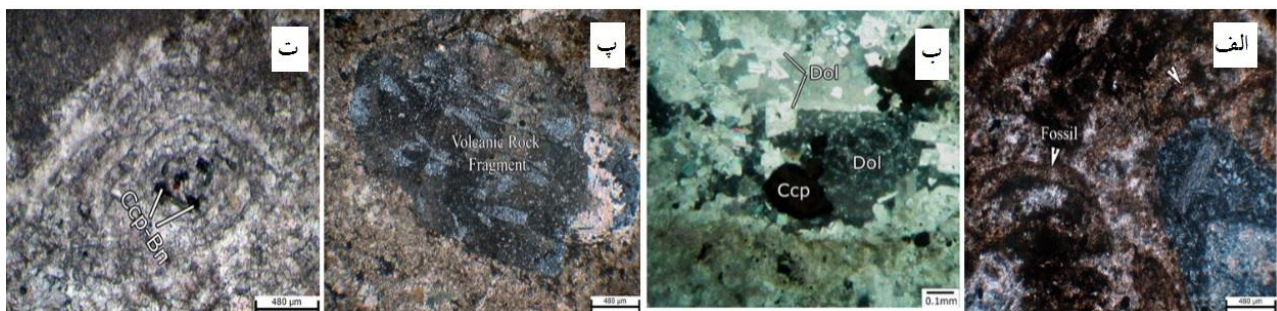
بررسی‌های مینرالوگرافی و تعیین نوع کانه زایی

بررسی‌های انجام شده در کانسار مس خانکشی نشان می‌دهد که واحد E^{lt} به عنوان سنگ میزبان کانه‌زایی در این کانسار از نوع لاتیت آندزیت با بافت پورفیری بزرگ است و از دیدگاه کانه‌زایی مس شاخص بوده و وضعیت چینه‌کران در آن به خوبی قابل تشخیص است. واحد E^{lt} به صورت توف‌های آندزیتی سبز رنگ و همراه با کربنات‌های ریزبلورین نوع میکرایتی و در بخش زیرین واحد E^{lt} قرار دارد؛ این نشان می‌دهد که درون این واحد سنگی، کربنات میکرایتی از گروه وکستون‌های تبلور یافته فسیل دار و دولومیتی شده به همراه مقادیر کمتری از خرده‌های سنگی آتشفشانی حضور دارند و به دلیل وضعیت احیایی خود (وجود آهک‌های میکرایتی همراه با پیریت‌های فرامبوئیدی می‌تواند منبع تغذیه کننده گوگرد در

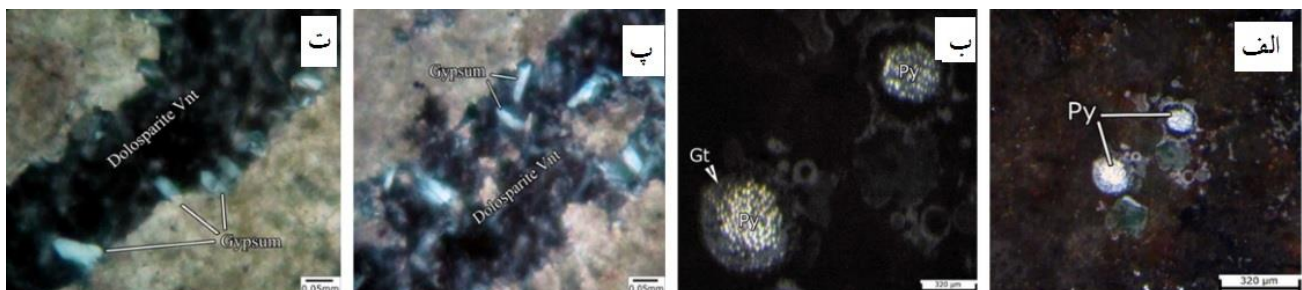
کانه‌زایی سولفیدی نوع مانتو این منطقه باشد. در برخی از نقاط، واحد سنگی E^{lt} با بخش‌هایی از آهک میکرایتی فسیل‌دار آمیخته شده و سرانجام سنگی را بوجود آورده است که در گروه سنگ‌های پیریت رده بندی می‌شود. وجود چنین سنگ‌هایی ارتباط بین محیط تشکیل سنگ میزبان کربناتی با فعالیت‌های آتشفشانی در یک توالی آتشفشانی- رسوبی را نشان می‌دهد (شکل ۷ الف). الگوی پیشنهادی برای شکل‌گیری کانسار خانکشی را می‌توان در دو مرحله برای رخداد کانه‌زایی در نظر گرفت. مرحله نخست شامل درون‌زایی اولیه بوده در آن فعالیت‌های ماگمایی با تشکیل مگنتیت به صورت ماگمایی دانه چیره که همزمان با تشکیل سنگ میزبان رسوبی است، خود را نشان می‌دهد. کربنات میکرایتی و میکرودايت فسیل‌دار در یک محیط کم انرژی تشکیل شده که در هنگام رسوب‌گذاری،

بعدی فعالیت‌های گرمایی، میکرایت‌ها به رگه و رگچه‌های دولواسپارایتی تبدیل شده‌اند که نتیجه فرایندهای ثانویه درونزاد بوده است. مرحله دوم مرحله تدفین است. در محیط‌های کشتی به دلیل فعالیت آتشفشانی گسترده، توالی ضخیمی از واحدهای آتشفشانی- رسوبی تشکیل می‌شود که این توالی گرمای زیادی را در خود حفظ می‌کند [۱۷]. در منطقه خانکشی، فرآیند آتشفشانی سبب تدفین سریع واحدهای سنگی موجود شده است. وجود زئولیت در واحد سنگی نشانگر پیشرفت تدفین واحدهای سنگی تا مرحله درونزایی تدفینی است (شکل ۵ ث). دفن‌شدگی واحدهای آتشفشانی منطقه و افزایش فشار و همچنین وجود مخزن ماگمایی یا موتور گرمایی در زیر واحدهای سنگی منطقه سبب تحرک سیال‌های اکسایشی شورابه‌ای [۱۸] در میان توالی آتشفشانی می‌گردد. این سیال‌ها به دلیل دمای بالای محیط و چرخش در میان واحدهای سنگی آتشفشانی بازالت و آندزیت‌های زیر دریایی، از مس غنی می‌گردند. سیال‌های اکسایشی غنی از مس به سمت نقاط کم فشار و واحدهای بالایی حرکت می‌کنند.

سنگ‌شدگی و درونزایی فعالیت‌های زیر دریایی آتشفشانی رخ داده و با تغییر PH، باعث تشکیل پیریت فرامبوئیدی به صورت همزاد شده است (شکل‌های ۸ الف و ب). تشکیل انبوه‌های پیریت از آنجا که به کانه‌زایی تقدم دارد و از سویی، همزاد است، می‌تواند عاملی بر تغذیه گوگرد به صورت کمپلکس بی-سولفیدی و آهن به صورت کمپلکس کلریدی برای کانی‌سازی-های بعدی به شکل ذخایر نوع مانتو و چینه کران باشد. گوگرد مورد نیاز برای تولید پیریت فرامبوئیدی می‌تواند از سولفات موجود در آب دریا باشد که حضور دولومیت و سنگ گچ شاهدهی بر این امر است. حضور بلورهای سنگ گچ درون رگچه‌های دولواسپارایت کانه‌دار نقش سولفات آب دریا در تأمین گوگرد در مراحل کانه‌زایی سولفیدی را نشان می‌دهد که طی فرایند احیای باکتریایی در مرحله درونزایی اولیه گوگرد لازم برای تولید پیریت‌های اولیه را فراهم می‌کند [۱۶]، (شکل-های ۸ پ و ت). سیال‌های کانه‌ساز می‌توانند برآمده از سیال-های درونزاد یا درون حوضه‌ای ناشی از آب دریا بوده باشند، زیرا این سیال‌ها دربردارنده منیزیم بسیار بوده و در مراحل



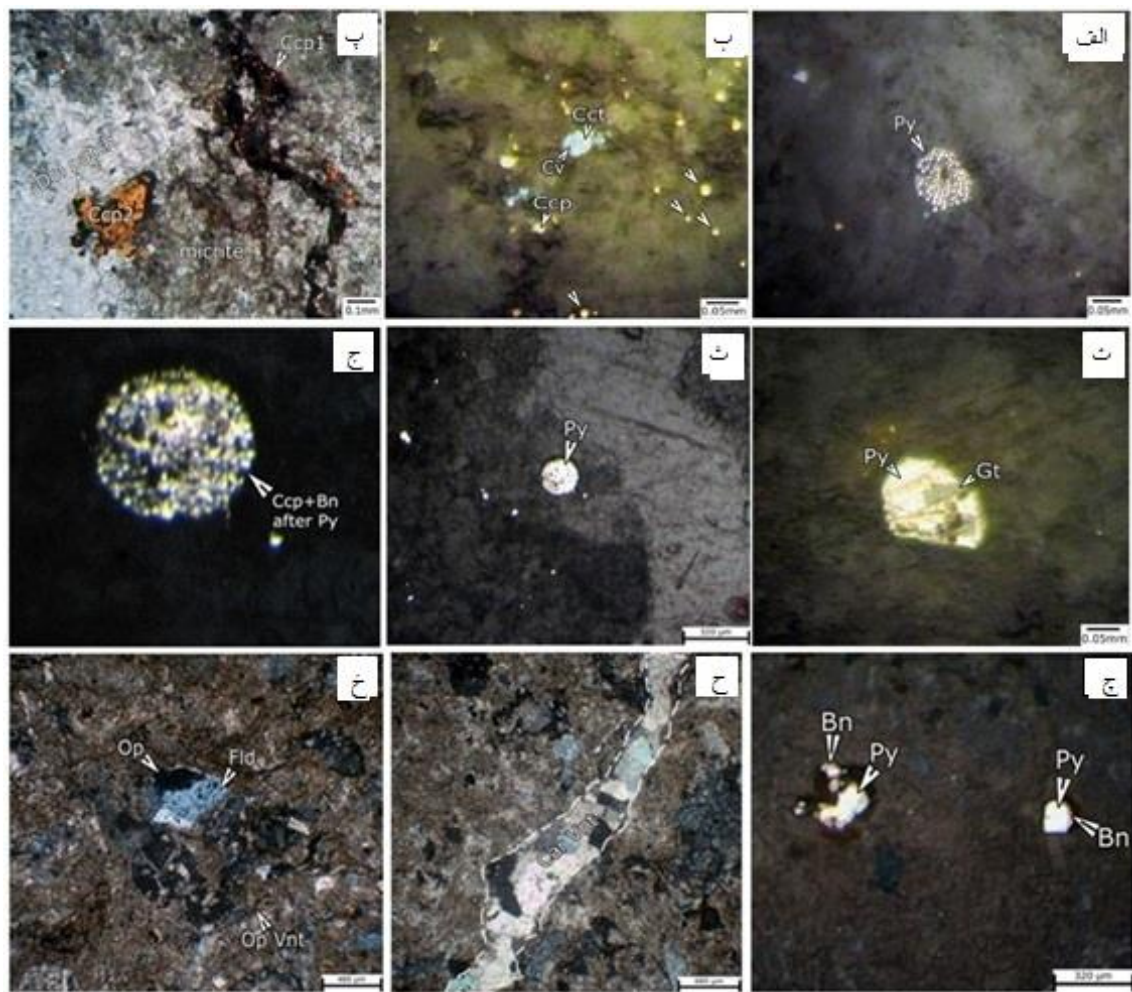
شکل ۷ الف) آهک میکرایتی فسیل‌دار که با گدازه‌های آذرپلی آمیخته شده و سنگی به نام پیریت را ایجاد کرده است؛ ب) رگچه دولواسپارایت شامل بلورهای درشت دولومیت که بلورهای کالکوپیریت (Ccp) در زمینه آنها تشکیل شده است؛ پ) یک که پلاژیوکلازهای آن به صورت فرم تیغه‌ای منشوری کاملاً آذرپلیک شده‌اند؛ ت) سنگواره میکرایتی نومولیتس همراه با رسوب‌های میکرایتی دارای دانه‌های کروی کالکوپیریت و بورنیت که پس از پیریت فرامبوئیدی تشکیل شده است.



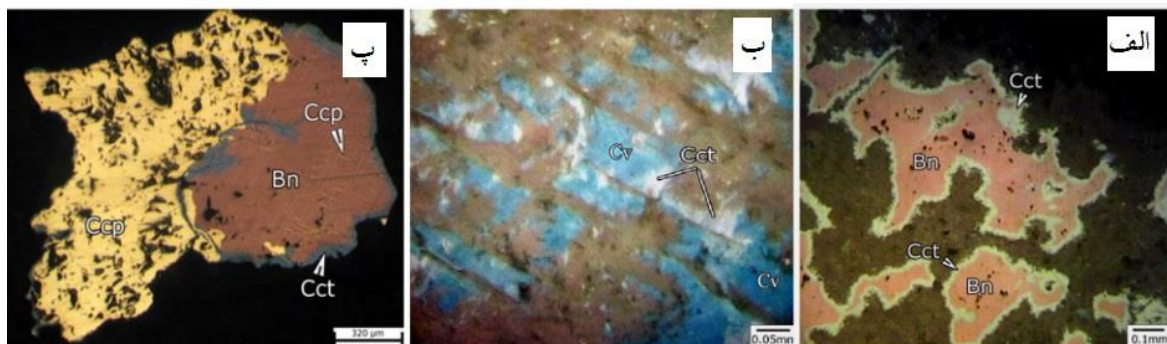
شکل ۸ الف و ب) انباشت پیریت فرامبوئیدی در رسوب‌های میکرایتی؛ پ و ت) بلورهای سنگ گچ درون رگچه‌های دولواسپارایت کانه‌دار.

با توجه به شوری و دمای سیال‌های کانه‌ساز در کانسار مس خانکشی، مس به شکل عمده توسط کمپلکس‌های کلریدی حمل شده است. ورود سیال‌های غنی از مس به واحد لاتیت آندزیت غنی از پیریت موجب احیای آنها و ته نشست مس به شکل سولفیدی می‌گردد. برخورد سیال‌های اکسایشی با پیریت سبب آزاد شدن آهن و جانشینی مس به جای آن می‌شود که آهن آزاد شده در نزدیک سولفیدهای مس گوتیت را تشکیل می‌دهد. در بخش‌های با شدت بالای فرآیند اکسایش، پیریت‌ها به‌طور کامل با اکسیدهای آهن جانشین می‌شوند. مقدار بالای گوتیت در کنار سولفیدهای مس در واحد آندزیتی میزبان نتیجه این فرآیند است [۱۶، ۱۹-۲۱] همچنین کاهش دمای سیال‌های اکسایشی عامل دیگری برای تخریب کمپلکس‌های کلریدی حمل‌کننده و ته‌نشست سولفیدهای مس به حساب می‌آید. این کاهش دما می‌تواند در اثر برخورد سیال اکسایشی با آب‌های بین‌منفذی موجود در واحد لاتیت آندزیت (آب دریای به دام افتاده) رخ دهد [۱۸]. بلورهای کروی کالکوپیریت و بورنیت به صورت مشخص و گسترده جانشین انبوهه‌های پیریت فرامبوئیدی شده‌اند (شکل ۹). در برخی از نقاط، جانشینی کالکوپیریت بجای پیریت به صورت بخشی صورت گرفته است، به طوری که دانه‌های ریز پیریت فرامبوئیدی هنوز در زمینه شکل‌های کروی کالکوپیریت در زمینه سنگ کربناتی اولیه دیده می‌شوند (شکل ۹ ب)؛ افزون بر این، در برخی نقاط، کالکوپیریت و بورنیت به صورت درشت بلورهای نیمه شکل‌دار در زمینه رگه-رگچه‌های دولواسپارایت تشکیل شده‌اند (شکل ۷ ب)؛ از این رو، دو رخداد فاز کانه‌زایی مس برای کالکوپیریت و بورنیت وجود دارد. رگچه‌های دولواسپارایت دربردارنده کانه کالکوپیریت در راستای سطوح شکستگی جایگزین شده‌اند و به این دلیل می‌توان گفت که کانی‌زایی می‌تواند در اثر آب‌های درون رسوب‌ها باشد که با ماگما یا توده ماگمایی بعدی گرم شده‌اند. همچنین درجه شوری متوسط میانبارهای سیال درگیر نشان‌دهنده یک آمیختگی نسبی بین سیال درونزاد (آب دریا) و سیال گرمابی است که می‌تواند توسط یک توده نفوذی به عنوان موتور گرمایی گرم شده و شاهی در این زمینه باشد. صعود و نفوذ سیال‌های گرمابی بالا رونده در رسوب‌های میکرایتی با حضور رگه و رگچه‌های کلسیتی و دولواسپارایتی به

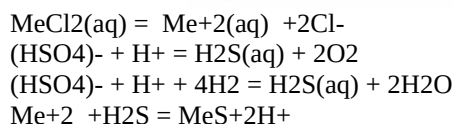
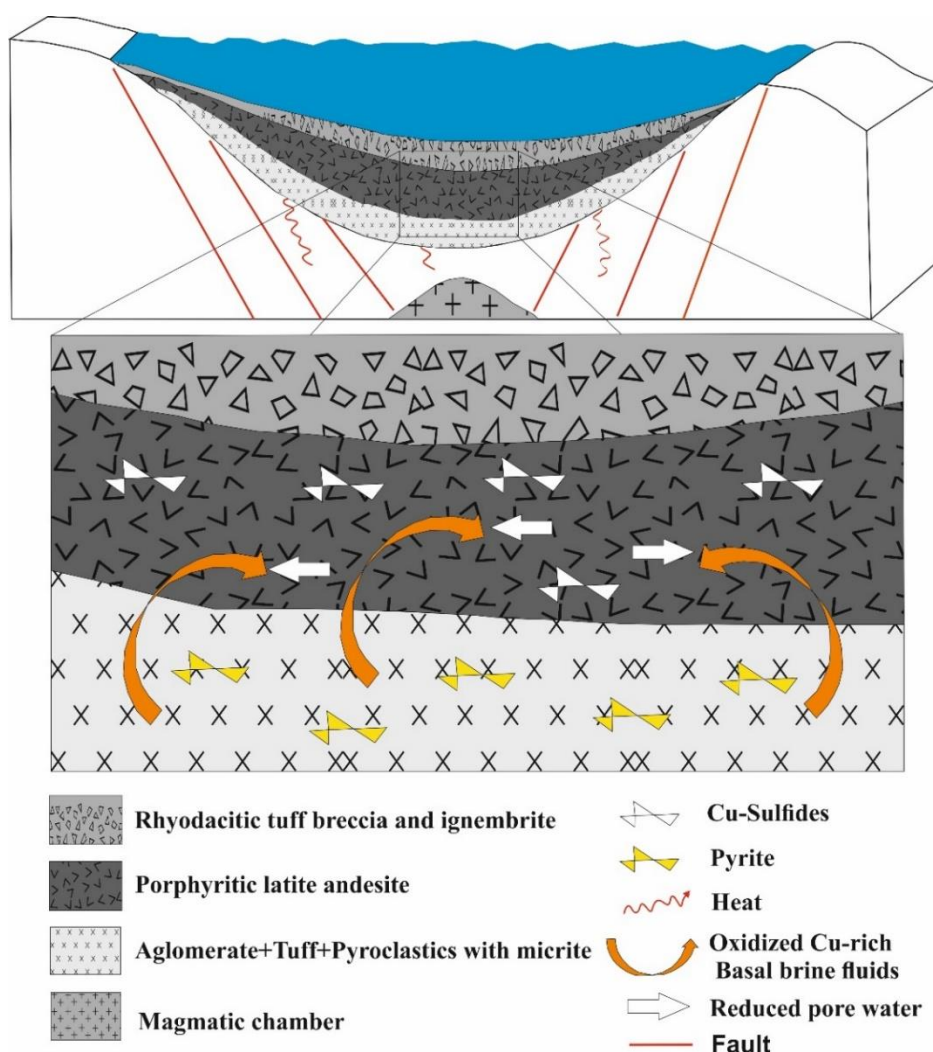
صورت ریز شکاف‌ها نمایان می‌شوند که سنگ میزبان میکرایتی را قطع کرده‌اند و محلول‌های گرمابی کانه‌ساز به طرف بالا صعود کرده و به عنوان سیال کانه‌ساز وارد شکستگی‌ها می‌شوند. نفوذ سیال دربردارنده آهن، مس و گوگرد باعث تولید کالکوپیریت و بورنیت به صورت مستقل و یا به صورت جانشینی در پیریت فرامبوئیدی می‌شود. کالکوپیریت و بورنیت با رگه‌های کلسیتی و دولواسپارایتی کنترل شده و درون آنها به صورت همزیست زایش پیدا کرده‌اند و از این رو دگرزاد یا روزادی هستند. نتیجه رخداد فرآیندهای درونزایی اولیه و تدفینی تشکیل بافت‌های دانه‌پراکنده و پرکننده فضای خالی، قطع‌شدگی و جانشینی پیریت با سولفیدهای مس، شکل‌های جانشینی پیریت و تشکیل رگه-رگچه‌های دارای سولفیدهای مس در سنگ لاتیت آندزیت میزبان کانه‌زایی است. وجود آنها از ویژگی‌های کانسارهای چینه‌کرن روزادی است که باعث ایجاد کانه‌زایی‌های مس به صورت کالکوپیریت و بورنیت به عنوان فاز یک (شکل ۹) و فاز دو روزادی (شکل‌های ۱۰ الف، پ) و کالکوسیت و کوولیت به عنوان فاز دو روزادی می‌شود (شکل‌های ۱۰ الف تا پ). حضور این کانی‌ها در واحد آتشفشانی لاتیت آندزیت با بافت مگاپورفیری نشان می‌دهد که این واحد بهترین شاخص نوع چینه‌کرن و کانه‌زایی اپی‌ژنتیک در منطقه بوده و بی‌ارتباط با یک مجرای دودکش مانند گرمابی نیست. کانسارهای نوع مانتو اواخر سیلورین-اوایل دونین در کمر بند کوهزایی آسیای مرکزی با میزبانی توالی آتشفشان-رسوبی، برش‌های آتشفشانی آندزیت و با کانه‌زایی کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت با بافت دانه پراکنده، رگه-رگچه‌ای، برشی و جانشینی شناخته می‌شوند [۲۲]. فرایند برونزایی باعث تشکیل بافت جانشینی شده که نتیجه آن لبه کوولیت-کالکوسیت پیرامون هر دو کانی کالکوپیریت و بورنیت است. در یک مرحله پیشرفته‌تر، بلورهای کالکوسیت سرانجام با کانی کوولیت جانشین شده‌اند. کانسار مس خانکشی با توجه به نوع ساخت و بافت، نوع سنگ درونگیر، محیط زمین‌ساختی و نوع دگرسانی بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع مانتو نشان می‌دهد. در پایان طرحواره‌ای از رخداد درونزایی اولیه تشکیل پیریت و تدفین و تشکیل سولفیدهای فلزی در حوضه کششی پشت قوس منطقه خانکشی در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۹ الف) انبوهه کروی شکل از بلورهای ریز پیریت فرامبوئیدی در زمینه آهک میکرایتی؛ ب) جانشینی کالکوپیریت با کانی‌های کوولیتو کالکوسیت که خود پیشتر جانشین خوشه‌های کروی شکل پیریت فرامبوئیدی به صورت بخشی شده‌اند؛ پ) بلورهای ریز و کروی شکل کالکوپیریت نسل اول (Ccp1) به صورت یک نوار فلزی دگرشکل در بخش میکرایتی نمونه به رنگ تیره و بلور درشت کالکوپیریت نسل دوم (Ccp2) در زمینه یک پیچ درشت‌بلور دولواسپارایتی که درون زمینه میکرایتی اولیه به صورت ثانویه جانشین شده است؛ ت) بلور پیریت که به طور بخشی گوتیتی شده است؛ ث) پیریت فرامبوئیدی که در مرحله بعدی کانی‌سازی توسط کالکوپیریت و بورنیت جانشین شده است (تصویر ج، زوم شده تصویر ت می‌باشد)؛ چ) جانشینی پیریت فرامبوئیدی با بورنیت؛ ح) رگه دولواسپارایتی که سطح مقطع آهک میکرایتی را قطع کرده است و به صورت روزادی می‌تواند حامل کانه‌زایی باشد؛ خ) کانی‌های کدر (سولفیدی) در متن میکرایت که به صورت رگچه‌ای مواد میکرایتی را به صورت قطع کرده است.



شکل ۱۰ الف) بلورهای بورنیت با لبه کالکوسیتی‌شده؛ ب) جانشینی کوولیت با کالکوسیت؛ پ) همزیستی دو بلور کالکوپیریت و بورنیت.



شکل ۱۱ طرحواره‌ای از رخداد مربوط به درونزایی اولیه تشکیل پیریت و تدفین و تشکیل سولفیدهای فلزی در حوضه کششی پشت قوس منطقه خانکشی.

بحث و بررسی

زمین‌شیمی و محیط زمین‌ساختی

به منظور رده‌بندی سنگ‌شناسی، از واحدهای سنگی مختلف نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها پس از خردایش در مجموعه آزمایشگاهی زرازا ایران به روش‌های XRD و ICP-AES تجزیه شدند و نتایج زمین‌شیمیایی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب تحلیل زمین‌شناسی شدند (جدول ۱ و ۲).

نتایج XRD نمونه KP-7 نشانگر حضور کانی‌های کلسیت، آل‌بیت، ایلیت و کوارتز در فاز اصلی ارتوکلاز و فاز فرعی مالاکیت است. کلسیت دگرسانی پروپیلیتی را نشان می‌دهد که برآمده از دگرسانی پلاژیوکلاز کلسیم‌دار است. در فازهای ثانویه

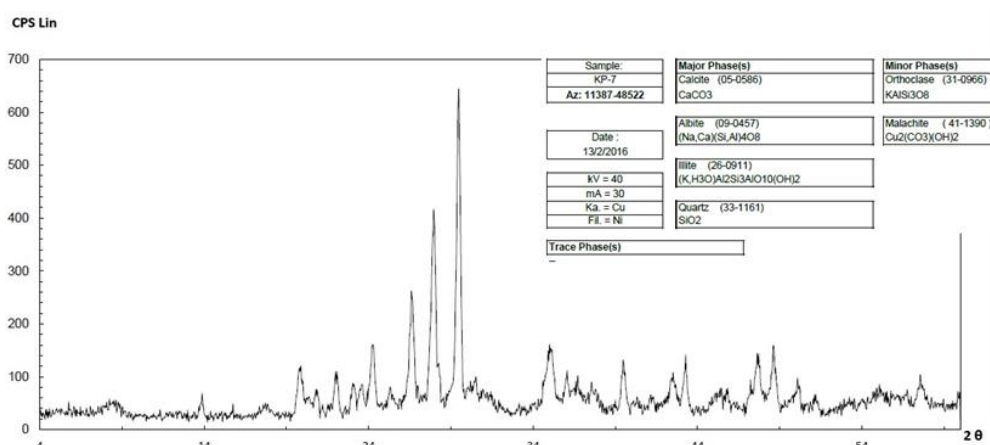
ارتوکلاز و مالاکیت، کانی‌های کربنات مس هستند. این در حالی است که در نمونه KP-15، کانی‌های آل‌بیت، کلسیت، کوارتز و کائولینیت در فاز اصلی حضور دارند. در این نمونه نیز مانند نمونه قبل، کلسیت نشانگر دگرسانی پروپیلیتی است که فاز ثانویه، کانی‌های ارتوکلاز و مونت موریلویت با دگرسانی آرژیلیک و مگنتیت را نشان می‌دهد فعالیت‌های ماگماتی دانه چیره در زمان تشکیل سنگ میزبان رسوبی بوده است. نتایج XRD نشانگر حضور دگرسانی پروپیلیتی و به مقدار کمتر دگرسانی آرژیلیک و اکسایش آهن بوده که این نتایج در شکل-های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۱ نتایج تجزیه XRD نمونه های کانسار مس خانکشی (بر حسب درصد وزنی).

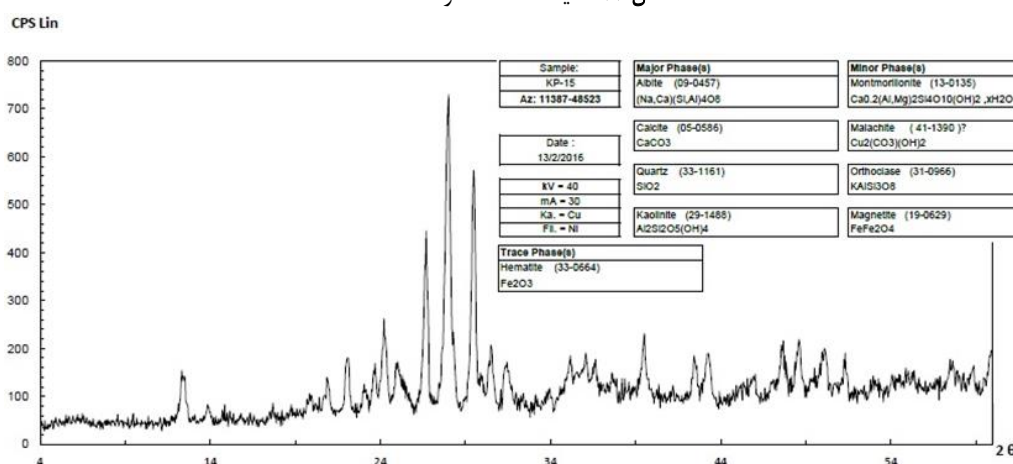
Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	BaO	CaO	Fet	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Cu	Pb	Zn	LOI
KP-6	۴۵٫۲۰	۱۷٫۴۰	۰٫۰۲	۱۰٫۵۵	۶٫۵۲	۰٫۴۳	۳٫۸۸	۰٫۱۱	۳٫۲۲	۰٫۲۱	۰٫۰۵	۰٫۸۵	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۸٫۸۱
KP-7	۴۶٫۰۷	۲۰٫۷۴	۰٫۰۱	۹٫۸۵	۱٫۱۸	۳٫۵۶	۰٫۷۸	۰٫۲۹	۳٫۰۶	۰٫۲۵	۰٫۰۶	۰٫۹۵	۰٫۰۱	۰٫۵۵	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۱۲٫۱۴
KP-15	۴۴٫۹۴	۱۳٫۹۷	۰٫۰۳	۷٫۹۱	۳٫۷۶	۱٫۳۹	۱٫۹۸	۰٫۲۱	۳٫۴۸	۰٫۳۹	۰٫۱۵	۰٫۶۷	۰٫۰۱	۷٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۱۲٫۶۳
KP-16	۵۲٫۸۱	۱۷٫۴۸	۰٫۰۸	۸٫۳۵	۴٫۹۴	۲٫۷۸	۲٫۵۸	۰٫۱۲	۲٫۸۲	۰٫۳۹	۰٫۰۵	۰٫۷۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۴٫۷۳
KP-17	۵۰٫۹۷	۱۷٫۴۸	۰٫۰۸	۹٫۸۲	۴٫۶۰	۲٫۲۲	۱٫۶۵	۰٫۱۳	۲٫۷۶	۰٫۳۳	۰٫۱۷	۰٫۸۲	۰٫۰۱	۰٫۹۵	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۵٫۹۹
KP-18	۴۹٫۲۶	۱۷٫۱۱	۰٫۰۸	۹٫۱۵	۵٫۵۱	۱٫۹۱	۳٫۳۰	۰٫۱۴	۲٫۱۸	۰٫۳۰	۰٫۰۵	۰٫۸۰	۰٫۰۱	۰٫۰۶	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۷٫۸۰

جدول ۲ بخشی از نتایج تجزیه ICP-AES نمونه های کانسار مس خانکشی (بر حسب ppm).

Element	Ag	Al	As	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	La	Li	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Th	V	Y	Yb	Zn	Au
BH6-1	۰٫۲۵	۹۴۷۳۹	۷٫۷	۷۲۲۴۴	۰٫۲۳	۳۲	۲۳	۱۳	۱۲۰	۴۵۷۶۹	۲۴	۱۶	۱۵۲۹۶	۹۳۵	۰٫۷۶	۱۶	۱۶۳۴	۲۲	۶۸	۱٫۱۱	۳۲٫۳	۷٫۴	۲۵۶	۳۲	۱٫۹	۱۵۲	.
BH6-10	۰٫۳۴	۵۹۸۸۵	۲٫۶	۶۶۰۳۰	۰٫۲	39	۱۹	۴	۹۴۶	۳۳۵۱۸	۲۹	۲۰	۷۳۵۴	۱۱۰۲	۰٫۵۹	۷	۲۲۴۱	۶	۹۱	۱٫۰۴	۱۵٫۷	۵٫۳	۹۴	۲۸	۱٫۱	۳۸	۳٫۷۵
BH6-11	۰٫۲۶	۸۷۴۶۰	۲٫۷	۶۴۴۷۷	۰٫۱۹	40	۱۹	۱۴	۱۵۳	۴۵۵۴۹	۳۱	۲۳	۱۱۸۴۲	۱۰۷۸	۰٫۷۴	۱۰	۲۰۳۵	۸	۱۲۱	۱٫۰۳	۲۰٫۴	۷٫۲	۱۷۱	۳۵	۱٫۸	۷۵	۳٫۷۵
BH6-12	۰٫۲۸	۶۶۳۴۱	۲٫۵	۷۱۲۸۹	۰٫۱۹	40	۱۷	۴	۴۷۶	۳۴۸۵۲	۳۱	۲۰	۱۰۲۷۰	۸۸۵	۰٫۶۹	۹	۲۲۲۸	۶	۷۰	۰٫۹۸	۱۲٫۵	۵٫۵	۱۰۱	۲۹	۱٫۲	۳۹	۳٫۷۵
BH6-13	۰٫۹	۵۸۷۱۵	۲٫۵	۱۱۷۰۸۸	۰٫۱۹	۳۹	۱۴	۳	۳۹۰	۳۲۶۶۶	۳۰	۱۶	۱۰۵۹۲	۱۹۹۵	۰٫۷۴	۸	۱۸۲۶	۶	۱۴۷	۱٫۱۲	۱۳٫۱	۶٫۹	۱۰۰	۳۵	۱٫۶	۳۹	۵
BH6-14	۰٫۲۶	۷۶۱۷۰	۳٫۴	۸۶۳۱۶	۰٫۲	۲۵	۲۶	۱۶	۱۶۶	۴۹۸۷۶	۲۰	۲۶	۱۲۶۲۸	۱۱۶۰	۰٫۵۸	۱۳	۱۴۸۵	۱۸	۱۰۱	۱٫۱۶	۳۵	۴٫۳	۲۱۲	۳۱	۱٫۷	۱۵۱	۳٫۷۵
BH6-15	۰٫۲۳	۱۰۲۹۸۵	۲٫۳	۱۰۱۸۶۱	۰٫۲۱	۱۸	۲۲	۲۲	۴۰	۴۷۶۵۴	۱۴	۳۰	۱۵۸۴۰	۱۰۱۲	۰٫۳۸	۱۳	۱۱۴۶	۸	۷۴	۱٫۱۹	۳۷٫۶	۴٫۴	۲۶۰	۲۶	۱٫۷	۱۰۸	۳٫۷۵
BH6-16	۰٫۲۶	۹۴۸۸۰	۲٫۶	۶۰۱۹۴	۰٫۲	۲۰	۳۴	۲۹	۱۲۸	۵۸۷۸۸	۱۵	۳۷	۱۹۸۴۸	۹۰۷	۰٫۵۲	۲۱	۱۱۶۶	۹	۹۴	۱٫۲۵	۳۱٫۴	۴٫۳	۲۴۹	۲۵	۱٫۵	۳۴۵	۳٫۷۵
BH6-17	۰٫۳۳	۸۳۱۴۷	۲٫۶	۱۱۲۲۷	۰٫۲	۱۹	۲۲	۲۵	۱۱۱	۴۴۱۴۳	۱۵	۲۸	۱۱۳۶۶	۱۹۵۶	۰٫۶۱	۱۹	۱۱۳۶	۸	۱۸۲	۱٫۰۸	۳۱٫۱	۴٫۲	۲۰۳	۲۳	۱٫۳	۱۶۵	۳٫۷۵
BH6-18	۰٫۳۳	۹۹۷۹۷	۲٫۵	۷۰۱۸۹	۰٫۲	۲۰	۳۱	۲۶	۱۰۲	۵۶۰۹۲	۱۶	۲۹	۱۹۶۲۴	۸۳۲	۰٫۳۸	۲۱	۱۱۷۰	۸	۹۲	۱٫۱۷	۳۰٫۴	۴	۲۳۶	۲۵	۱٫۵	۱۴۶	۳٫۷۵
BH6-19	۰٫۳۲	۱۱۵۷۸۳	۲٫۴	۵۱۲۵۹	۰٫۲	۱۸	۳۳	۲۲	۱۶۰	۶۷۱۵۱	۱۴	۳۶	۲۲۲۹۰	۹۱۳	۰٫۳۸	۱۵	۱۳۲۲	۹	۹۹	۱٫۱۷	۲۷٫۹	۳٫۷	۲۲۰	۲۳	۱٫۴	۱۸۶	۳٫۷۵
BH6-2	۰٫۳	۴۴۶۰۵	۲۳٫۶	۶۹۲۳۶	۰٫۲۳	۱۸	۱۳	۱۳	۱۳	۴۳۱۴۳	۱۳	۳	۳۸۸۲	۱۶۸۴	۰٫۶۹	۹	۱۴۵۲	۲۰	۱۰۷	۱٫۲	۲۱٫۸	۸٫۵	۱۱۱	۱۵	۰٫۸	۳۸	۳٫۷۵
BH6-20	۰٫۲	۸۵۳۴۰	۴٫۸	۷۷۴۷۴	۰٫۱۹	۲۳	۳۱	۲۰	۶۷	۵۵۰۲۱	۱۸	۲۸	۱۸۱۰۳	۱۰۳۱	۰٫۳۸	۱۵	۱۴۴۳	۸	۸۰	۱٫۲۵	۲۸٫۴	۴٫۴	۱۹۶	۲۹	۱٫۷	۱۰۶	۳٫۷۵
BH6-21	۰٫۳۱	۷۴۸۸۲	۲٫۶	۴۸۵۹۷	۰٫۱۹	۳۶	۱۶	۵	۳۱۶	۴۴۴۰۳	۲۸	۲۴	۱۲۰۷۸	۶۲۴	۰٫۷۱	۶	۲۰۴۹	۷	۲۰۰	۱٫۱۱	۱۲٫۷	۵٫۶	۱۷۰	۲۹	۱٫۴	۵۸	۳٫۷۵
BH6-22	۱	۶۶۱۴۵	۴٫۱	۶۹۹۵۸	۰٫۱۸	۳۳	۲۳	۵	۲۵۷۴	۵۸۰۵۹	۲۵	۳۰	۱۴۸۵۸	۱۰۱۵	۰٫۷۹	۱۱	۱۸۶۸	۹	۷۹۷	۱٫۱۵	۱۵٫۵	۵٫۴	۱۸۶	۲۹	۱٫۵	۹۱	۷
BH6-23	۰٫۴۴	۷۰۱۹۸	۲٫۳	۷۹۶۷۵	۰٫۲	۲۶	۳۱	۱۴	۱۰۴۵	۵۶۳۴۷	۲۰	۲۳	۱۶۶۹۶	۱۰۲۱	۰٫۳۸	۱۱	۱۶۶۵	۹	۱۰۶	۱٫۳۲	۳۳٫۸	۴٫۲	۳۱۱	۳۱	۲٫۷	۲۰۵	۳٫۷۵
BH6-24	۰٫۲۷	۸۸۷۶۷	۲٫۳	۵۳۲۲۰	۰٫۲	۲۲	۳۶	۱۳	۱۵۹	۶۶۲۳۶	۱۷	۳۳	۲۰۵۱۸	۱۰۶۹	۰٫۳۸	۱۲	۱۶۵۳	۱۰	۹۴	۱٫۲۶	۳۵٫۵	۳٫۹	۳۲۹	۲۷	۱٫۶	۲۲۷	۳٫۷۵
BH6-25	۰٫۸	۹۸۶۴۰	۳٫۸	۴۸۴۹۴	۰٫۱۹	۳۱	۳۳	۱۳	۱۱۵۴۲	۵۲۱۱۷	۲۴	۴۲	۱۸۳۹۹	۵۸۶	۱٫۲۳	۱۹	۱۶۳۴	۱۰	۱۳۳	۱٫۱۱	۲۳٫۸	۶٫۴	۲۴۳	۲۸	۱٫۶	۱۶۱	۵
BH6-26	۰٫۳۱	۹۷۵۷۷	۹٫۹	۵۰۱۹۴	۰٫۲۲	۳۱	۲۱	۱۲	۵۵۲	۵۲۸۸۸	۲۴	۱۳	۱۵۰۶۹	۶۸۰	۰٫۹	۱۴	۱۶۱۹	۲۹	۹۹۶	۰٫۹۸	۲۱٫۶	۷٫۸	۲۴۶	۲۹	۱٫۷	۱۰۹	۳٫۷۵
BH6-27	۰٫۲۱	۹۰۷۰۴	۲٫۸	۵۹۸۵۲	۰٫۱۸	۳۹	۱۸	۶	۳۶	۴۳۳۵۴	۲۹	۶	۱۱۰۶۵	۶۹۱	۰٫۹۱	۹	۲۰۱۵	۷	۷۹	۱٫۰۴	۲۰٫۱	۷٫۸	۱۸۳	۳۵	۱٫۹	۶۶	۳٫۷۵
BH6-28	۱٫۱	۵۲۶۰۳	۲٫۶	۷۵۸۷۷	۰٫۲۲	۴۰	۱۸	۴	۱۸۲۴	۴۱۶۱۰	۳۱	۲۱	۸۷۹۳	۱۰۴۸	۰٫۷۷	۸	۲۰۵۷	۷	۱۶۳	۱٫۱۲	۱۴٫۶	۵٫۹	۱۰۲	۳۱	۱٫۳	۵۴	۵
BH6-29	۰٫۱۹	۷۷۹۶۰	۲٫۴	۴۷۶۷۶	۰٫۱۹	۳۸	۲۰	۶	۸۶	۴۶۰۹۲	۲۸	۶	۱۳۳۹۵	۷۱۵	۰٫۷۸	۹	۱۹۹۹	۸	۵۱	۱٫۱۳	۲۳٫۳	۷٫۳	۱۹۰	۳۶	۱٫۹	۷۴	۳٫۷۵
BH6-3	۰٫۳	۳۸۳۶۶	۲۵٫۲	۹۰۷۲۵	۰٫۲۳	۱۷	۹	۲۳	۱۲	۴۶۴۳۰	۱۳	۲	۳۱۵۴	۱۱۲۲	۰٫۵۹	۷	۱۱۷۵	۱۸	۸۷	۱٫۱۵	۲۸٫۸	۷٫۳	۲۲۳	۱۷	۱٫۱	۴۰	۳٫۷۵
BH6-30	۰٫۲۲	۹۰۱۸۵	۲٫۴	۶۴۱۶۹	۰٫۱۹	۳۸	۱۶	۶	۴۶۷	۴۰۷۲۷	۳۰	۲۶	۱۲۹۴۰	۱۰۰۸	۰٫۸۳	۹	۱۸۸۲	۷	۵۶	۱٫۰۷	۲۰٫۹	۷	۱۶۶	۳۴	۱٫۷	۷۷	۵
BH6-31	۰٫۲۳	۹۸۳۵۸	۳٫۵	۶۳۹۱۸	۰٫۲	۴۰	۱۶	۹	۱۲۷	۴۰۱۵۶	۳۰	۱۲	۱۱۳۵۸	۱۰۷۷	۱	۱۰	۲۰۲۵	۷	۵۹	۰٫۹۹	۲۱٫۷	۷٫۸	۱۶۴	۳۴	۱٫۸	۵۷	۳٫۷۵
BH6-32	۰٫۲۳	۴۲۱۴۸	۳٫۸	۸۱۰۴۷	۰٫۲۱	۴۴	۱۱	۴	۱۴	۳۵۲۱۹	۳۱	۳	۱۱۶۵۶	۱۹۰۳	۰٫۷۸	۵	۲۳۷۲	۸	۶۷	۱٫۰۲	۲۴٫۹	۸٫۵	۱۷۰	۴۰	۲	۳۲	۳٫۷۵



شکل ۱۲ طیف XRD نمونه KP-7.



شکل ۱۳ طیف XRD در نمونه KP-15.

شش مقطع دوبر صیقلی تهیه گردید که پس از انجام سنگ-نگاری میانبارهای سیال آنها، چهار نمونه برای اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی انتخاب شد. بیشتر میانبارها کروی، بی‌شکل، نیمه‌شکل‌دار، شکل‌دار و کشیده هستند (شکل ۱۵). این میانبارها به صورت اولیه، ثانویه و شبه ثانویه بوده و به صورت مجزا و انباشت میانباری واحد هستند. میانبارهای دوفازی غنی از مایع، دارای بیشترین فراوانی هستند و همه اندازه‌گیری‌ها روی این میانبارها انجام شد. ۷۵ تا ۹۰ درصد حجم این میانبارها را فاز مایع تشکیل می‌دهد و همگن‌شدگی در این میانبارها در فاز مایع صورت می‌گیرد. دمای همگن‌شدگی میانبارهای دوفازی بررسی شده بین ۱۲۹/۴ تا ۲۲۷/۱ درجه سانتی‌گراد متغیر است. از این میان، دمای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین فراوانی را دارد که نشان می‌دهد که دمای سیال‌های کانه‌دار در این کانسار در گستره درونزادی تدفینی است. درجه شوری میانبارهای سیال از ۱/۹۱ تا ۱۳/۴ درصد وزنی نمک طعام تغییر می‌کند و به طور متوسط بیشترین مقدار شوری حدود ۱۲ درصد وزنی نمک طعام است. با بررسی

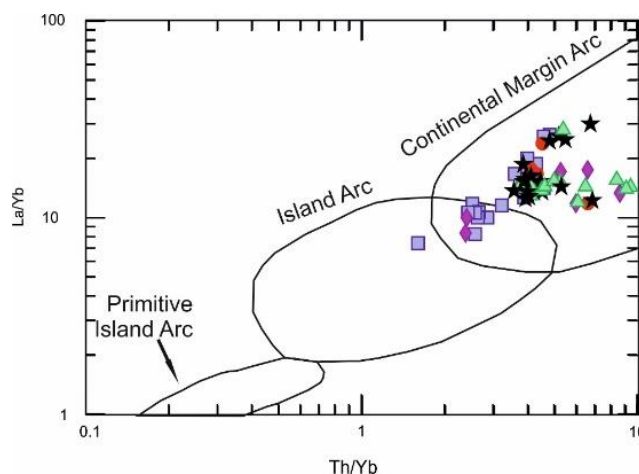
نتایج ICP-AES در نمودار La/Yb نسبت به Th/Yb نشان می‌دهد که نمونه‌ها در گستره کرانه حوضه پشت کمانی قرار دارند (شکل ۱۴). به طور کلی داده‌های زمین‌شیمی منطقه خانکشی، نشانگر رخداد آتشفشانی و تشکیل واحدهای سنگی آتشفشانی در این منطقه در اثر فرایند کششی است. در شکل ۱۴، با توجه به تعداد محدود نمونه‌های برداشت شده سطحی برای ICP-AES، از نتایج ICP-AES مربوط به گمانه‌های شماره ۶ و ۷ استفاده شد.

دما فشارسنجی میانبارهای سیال

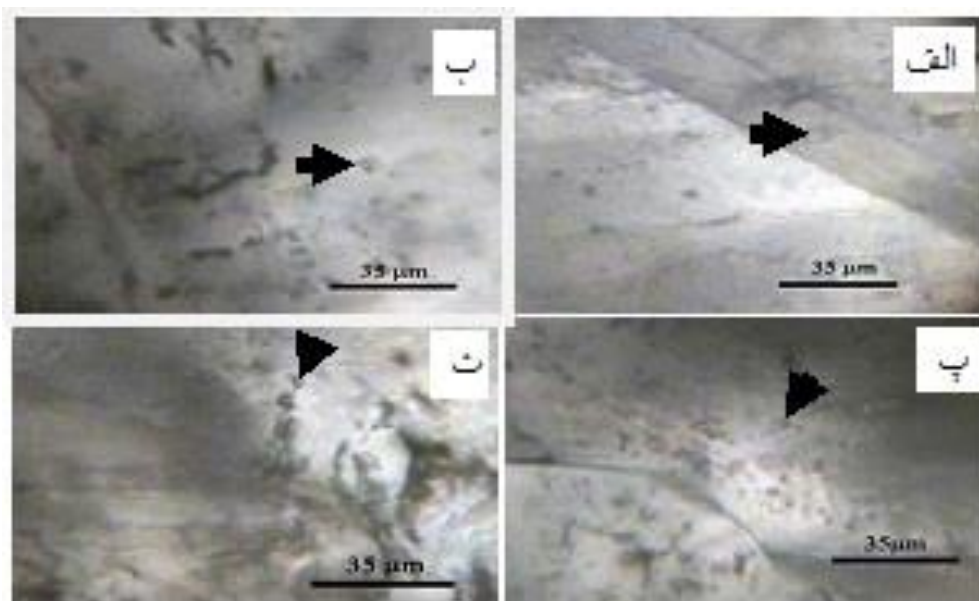
برای بررسی سیال‌های درگیر کانسار مس منطقه خانکشی، ۵ نمونه از کلسیت‌های همراه با رگه‌های سولفیدی انتخاب شدند. این رگه‌ها همراه با کالکوپریت، بورنیت و کالکوسیت هستند. بررسی میانبارهای سیال به منظور تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی سیال‌های عامل کانه‌ساز چون شوری، فشار، دما و تعیین مراحل تکامل سامانه گرمابی و کانه‌سازی در ارتباط با آن انجام شد. همچنین برای بررسی میانبارهای سیال،

کانی سازی وجود دارد. عمق به دام افتادن سیال ها در این کانسار کمتر از ۲۰۰ متر و فشار کمتر از ۷۴ بار بوده است. هم پوشی آشکاری میان گستره دما و شوری منطقه خانکشی با منطقه کانسارهای مانتو شیلی وجود دارد. این منطقه با توجه به ویژگی های سیال ها و کانه زایی، قابل مقایسه با معدن بزرگ مس عباس آباد، شاهرود و ذخایر نوع مانتو شیلی است (شکل ۱۵ ت). این کانسارها دارای گستره دمای تشکیل از ۱۵۰ تا ۳۶۰ درجه سانتی گراد و دارای فشار پایین و نزدیک به منحنی جوشش است [۲۶،۲۵]. دامنه تغییرات شوری این کانسارها متغیر و از ۱/۵ تا ۶۲ درصد وزنی معادل نمک طعام است.

میانبارهای سیال از رگچه های کلسیتی همراه با کانی سازی مس در منطقه خانکشی مشخص گردید که سیال تشکیل دهنده این رگه ها دمای متوسط حدود ۱۷۵ درجه سانتی گراد و شوری متوسط حدود ۱۲ درصد وزنی معادل نمک طعام داشته است که می تواند نشانگر شکل گرفتن سیال ها از آب های درون حوضه ای با شوری متوسط باشد که تأییدی بر تشکیل سیال ها از فرآیندهای تدفینی است. از سویی، این شوری نشانگر حمل-شدگی مس توسط لیگندهای کلریدی است [۲۳]. از این رو، گستره مس خانکشی از نوع کانسارهای دما پایین و شوری متوسط است. با استفاده از دمای همگن شدگی و شوری بر پایه نمودار مرجع [۲۴]، امکان تعیین ژرفای تشکیل سیال ها و



شکل ۱۴ بر روی نمودار La/Yb نسبت به Th/Yb که بر پایه آن نمونه های مورد بررسی در موقعیت حوضه پشت کمانی قرار دارند.



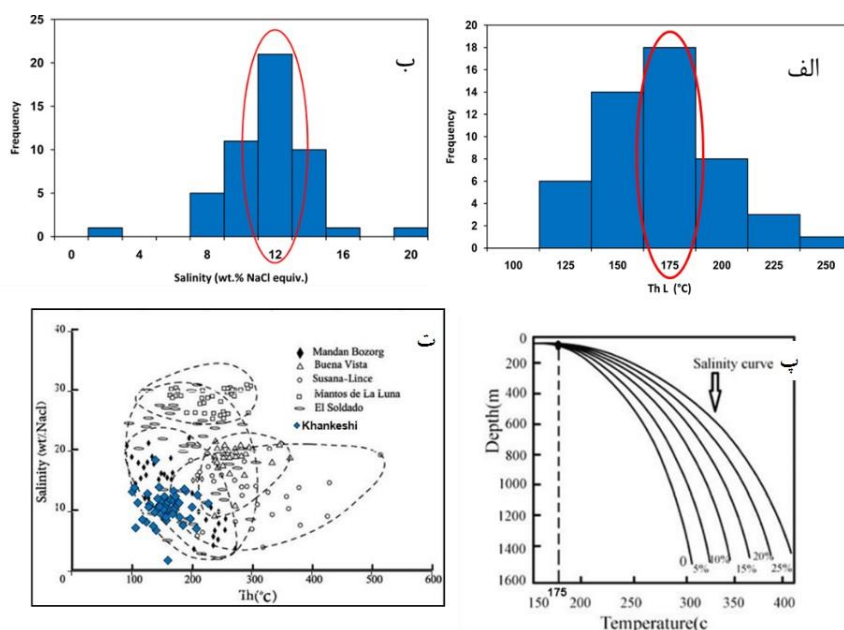
شکل ۱۵ الف) میانبار دوفازی غنی از مایع منفرد؛ ب) میانبار تک فازی مایع منفرد؛ پ) میانبار دو فازی غنی از مایع منفرد؛ ت) دو میانبار تک فازی مایع منفرد.

تشکیل انبوه‌های پیریت از آنجا که به کانی‌زایی تقدم دارد و از سویی، همزاد است، می‌تواند عاملی بر تغذیه گوگرد به صورت کمپلکس بی‌سولفیدی و آهن به صورت کمپلکس کلریدی برای کانی‌سازی‌های بعدی به شکل ذخایر نوع مانتو باشد. بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میانبارهای سیال در رگچه‌های کلسیتی در ارتباط با کانی‌سازی سولفیدی و بررسی عمق به دام افتادگی سیال‌ها نشان می‌دهد که گستره مس خانکشی از نوع کانسارهای دما پایین و شوری متوسط است. مهمترین عامل ته‌نشست کانسنگ مس فرایند آمیختگی همدم با سیال-های درونزادی با شوری پایین‌تر است. از سویی، نزدیکی و همپوشی آشکاری میان گستره‌های دما و شوری منطقه خانکشی با کانسارهای مانتو شیلی وجود دارد و نشان می‌دهد که این منطقه قابل مقایسه با کانسارهای نوع مانتو است. در کمان ماگمایی ارومیه دختر، کانه‌زایی نوع مانتو کمتر مورد توجه بوده است، در حالی که می‌تواند به عنوان دومین الگوی اکتشافی مهم مس پس از کانسار مس پورفیری در ایران مورد توجه باشد. از آنجا که سن واحدهای سنگی منطقه مورد بررسی ائوسن است، بخش‌هایی از کمان ماگمایی ارومیه-دختر که رخداد کشش عامل تشکیل آتشفشانی‌های ائوسن بوده است، می‌توانند برای پی‌جویی کانسارهای نوع مانتو مستعد باشند.

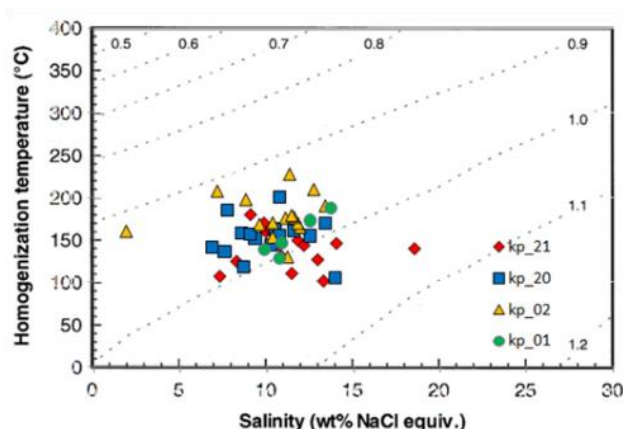
تغییرات در دمای همگن‌شدگی سیال‌ها و شوری کانسارهای مس نوع شیلی نشانگر شکل‌گیری آنها از شورابه‌های حوضه‌ای است (شکل ۱۶). با توجه به بررسی‌های میانبارهای سیال در رگچه‌های کلسیتی، گستره مس خانکشی از نوع کانسارهای دما پایین و شوری متوسط است. محاسبه چگالی هر میانبار نشان می‌دهد که سیال گرمابی در زمان به دام افتادن به شکل فاز مایع و با چگالی ۰/۹۸ گرم بر سانتی مترمکعب بوده است (شکل ۱۷).

برداشت

بررسی‌های انجام شده در منطقه معدنی خانکشی، می‌تواند منجر به پی‌جویی کانسارهای مس از این نوع در کمان ماگمایی ارومیه-دختر گردد. با توجه به حضور کانی‌های همیافت، دگرسانی پروپیلتیک در کنار دیگر دگرسانی‌ها، دگرسانی معمول خانکشی است که شدت آن در کانه‌زایی سنگ میزبان بیشتر است. براساس نتایج XRD، کانی‌های آلبیت، کلسیت، کوارتز و کائولینیت در فاز اصلی حضور دارند که نشانگر حضور دگرسانی پروپیلیتی است و به مقدار کمتر دگرسانی آرژلیک و اکسایش آهن را نشان می‌دهند. همچنین با توجه به بررسی‌های زمین‌شیمی، این منطقه نشانگر رخداد آتشفشانی است و این سنگ‌ها از نوع آتشفشانی هستند و از نظر سری ماگمایی، ماهیت قلیایی پتاسیم بالا دارند و از دیدگاه زمین‌ساختی، در اثر فرایندهای کششی در کرانه حوضه پشت کمانی قرار دارند.



شکل ۱۶ الف) توزیع فراوانی دمای همگن‌شدگی در گستره مس خانکشی؛ ب) نمودار ستونی مقادیر شوری در گستره مس خانکشی؛ پ) داده‌های میانبار سیال در گستره مس خانکشی روی نمودار ژرفای به دام افتادن میانبارهای سیال؛ ت) گستره دما و شوری میانبارهای سیال در منطقه خانکشی و مقایسه آن با داده‌های دما و شوری معدن بزرگ عباس آباد و چند کانسار مس نوع مانتو در شیلی [۲، ۱۸، ۲۵، ۲۶].



شکل ۱۷ نمودار دمای همگن شدن نسبت به شوری برای میانبارهای سیال نمونه های مورد بررسی. خطوط چگالی بر پایه رابطه مرجع [۲۷] و نرم افزار FLINCOR محاسبه شده اند. چگالی میانبارهای سیال حدود ۱ گرم بر سانتی متر مکعب است که نشان می دهد که فاز سیال در زمان به دام افتادن به صورت مایع بوده است.

قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی شرکت معدنی جدید گستر سیرجان به انجام رسیده است. نگارندگان از زحمات شرکت معدنی فوق الذکر و همه عزیزانی که در این پژوهش به نوعی کمک رسانی و همکاری نموده اند، نهایت سپاس و تشکر را دارد.

مراجع

province", master's thesis in economic geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University (1994).

[6] Abulipour M., "Geology, mineralogy, geochemistry and copper mineralization of the boundary layer in Eocene volcanic-sedimentary rocks in Kashkouiye region, West Rafsanjan", thesis. Master's degree in economic geology, Tarbiat Modares University, 301 p (2012).

[7] Boiri Kenari M., Rastad A., "Varshidenjad Omran, N., 2014- Volcanic Red Bed type copper ore production in Mehki deposit, north of Bakhtar Safashehr, Sanandaj-Sirjan region", Earth Sciences Quarterly, No. 93, pp. 19-36.

[8] Mehrabi B., Fazeli A., "Investigating the type of copper mineralization in Vashnoh deposit (south of Qom province)", 20th meeting of earth sciences (2001).

[9] Fazli N., Qaderi M., "Copper mineralization of the Eastern Narbaghi mantle-type boundary layer in the Eocene sedimentary volcanic sequence, northeast of Saveh", 33rd National Geosciences Meeting (2014).

[10] Lotfi M., Behrouzi A., Nogel Sadat A., Houshmandzadeh A., "Geological map 1:250000 of Saveh", Geological Organization of the country.

[11] Omid M., Shahrabi M., "Geological map 1:100,000 angle", Geological Organization of Iran (2005).

[12] Farshidenjad L., "Report on the end of the copper exploration operation in Yunus Abad (Khankashi)" (2018).

[13] Fazli N., Qaderi M., Movahadnia M., Maghfouri S., "Mantle-type copper mineralization

[1] Nouri F., Azizi H., Stern R.J., Asahara Y., Khodaparast S., Madanipour S., Yamamoto K., "Zircon U-Pb dating, geochemistry and evolution of the late Eocene Saveh magmatic complex, Central Iran: Partial melts of Sub-Continental Lithospheric mantle and magmatic differentiation", Lithos, 314-315, 274-292.

[2] Kojima S., Trista-Aguilera D., Hayashi K., "Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits", Resource Geology 59(1) (2008) 87 – 98.

[3] Maghfouri S., Movahadnia M., Lai C.K., "Geology and oreogenesis of copper deposits of Abbas Abad Shahrud and their comparison with copper deposits of Manto type", 18th conference of Geological Society of Iran (2014).

[4] Alizadeh V., Momenzadeh M., Emami M., "Petrography, geochemistry, mineralogy, study of fluid intermediates and determination of the type of mineralization of Varzag Qain deposit", Iranian Journal of Earth Sciences, No. 86 (2012) pp. 48-58.

[5] Behzadi M., "Investigation of the economic geology of the copper index of Qibla Bolagh located in the Lower Tarem region- Zanjan

- [21] Haggan T., Parnell J., Cisternas M.E., "Fluid history of andesite-hosted CuS-bitumen mineralization, Copiap district", North Central Chile, J. Geoch. Exp. 78-79 (2003) 631-635
- [22] Shen Y., Pan H., Li Z., Sun G., Li C., Feng H., Cao C., "A Manto- type Cu deposit in the central Asian Orogenic belt: The Hongguleleng example (Xinjiang, China)", Ore Geology Reviews, 124 (2020) 103656.
- [23] Oyarzun R., Ortega L., Sierra J., Lunar R., Oyarzun J., "Cu, Mn, and Ag mineralization in the Quebrada Marquesa quadrangle, Chile: the Talcuna and Arqueros districts", Mineralium Deposita, 33(6) (1998) 547-559.
- [24] Haas J. I., "The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure", Economic Geology 66 (1971) 940-946.
- [25] Kojima S., Astudillo J., Rojo J., Trista D., Hayashi K., "Ore mineralogy, fluid inclusion, and stable isotopic characteristics of stratiform copper deposits in the coastal Cordillera of northern Chile", Mineralium Deposita 38 (2003) 208-216.
- [26] Salehi L., Rasa A., Alirezai S., Kazemi-Mehrnia A., "The copper deposit of the large mine with a volcanic host, an example of mantle-type copper deposits, East Shahrood", Journal of Earth Sciences, No. 98 (2014) pp, 93 - 104.
- [27] Zhang Y.G, Frantz J.D., "Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaClKClCaCl₂H₂O using synthetic fluid inclusions", Chemical Geology, 64(3-4) (1987) 335-350.
- in the middle part of Urmia-Dokhtar magmatic arc (Qom-Saveh district) with emphasis on eastern Narbaghi deposits", northeast of Saveh. Geology of Iran, No. 15 (1400) 69-90.
- [14] Jabari M., Shirkhani R., "preparation of geological map 1/5000 of Khankashi area of Arak province (2013).
- [15] Bodnar R.J., "Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions", Geochimica et Cosmochimica Acta, V.57 (1993) 683-684.
- [16] Wilson N.S.F., Zentilli M., "Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts", central Chile, International Journal of Coal Geology 65:158 (2006) 169.
- [17] Kirkham R.V., "Volcanic red bed copper, Geol.Sur. of Canada", Canadian mineral deposit types, 8 (1996) 241-252
- [18] Boric R., Holmgren C., Wilson N.S.F., Zentilli M., "The Geology of the El Soldado Manto Type Cu (Ag) Deposit, Central Chile. In Porter, T.M. (Ed.)", Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective, V. 2, PGC Publishing, Adelaide 163-184.
- [19] Wilson N.S.F., Zentilli M., Spiro B., "A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanichosted El Soldado Manto-type Cu deposit", Chile: The essential role of bacteria and petroleum, Econ Geol 98 (2003) 163-174
- [20] Wilson N.S.F., "Organic petrology, chemical composition, and reflectance of pyrobitumen from the El Soldado Cu deposit, Chile", International Journal of Coal Geology, v. 43 (2000) p. 53-82.