

الگوی ترکیبی و جهت‌گیری رگه‌های کانه‌دار در کانسار مس پورفیبری سرچشمه: تفسیری بر پایه

داده‌های ژئوشیمیایی و ساختاری

میثم رضایی زنگی آبادی^{۱،*}، سارا درگاهی^۱، مجید امین زاده^۲، مسلم شاهی مریدی^۲

^۱ بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

^۲ مجتمع مس سرچشمه، شرکت ملی صنایع مس ایران، رفسنجان، ایران

*نویسنده مسئول Rezayi_meysam@nicico.com

چکیده

کانسار مس پورفیبری سرچشمه در محدوده یک پهنه برشی راست‌گرد عمده، واقع در میان گسل‌های رفسنجان و شهربابک، قرار گرفته است. مطالعات ساختاری در کانسار مس سرچشمه نشان می‌دهد که غالب رگه‌های کانه‌دار در آزمون‌های ۲۰ تا ۴۰ درجه و در امتداد شکستگی‌های ریدل وابسته به سامانه گسلی شمالی-جنوبی توسعه یافته‌اند. این رگه‌ها عمدتاً در زون سوپرژن و در سطوح استخراجی فوقانی (پله‌های بالایی) معدن حضور دارند؛ با این حال، مشاهدات اخیر از حفاری‌های انجام‌شده در سطوح تحتانی (پله‌های پایینی) نیز مؤید تداوم حضور این رگه‌ها در اعماق بیشتر است. ترکیب کانی‌شناسی این رگه‌ها متغیر بوده و می‌تواند شامل پیریت اکسیدشده سیاه‌رنگ، پیریت فعال، رگه‌های کربناته و رگه‌های حاوی اکسید آهن-منگنز در بخش‌های سوپرژن، و رگه‌های سیلیسی-آرژیلیک حاوی کالکوپیریت یا کالکوسیت در زون هایپوژن باشد. تشخیص و تفکیک دقیق این کانی‌ها، به‌ویژه در فرآیند برآورد عیار و مدلسازی اقتصادی کانسنگ، از اهمیت تعیین‌کننده‌ای برخوردار است.

کلید واژه‌ها: کنترل ساختاری، رگه‌های معدنی، زون سوپرژن، زون هایپوژن، کانسار مس پورفیبری سرچشمه

Compositional and Orientational Patterns of Ore Veins in the Sarcheshmeh Porphyry Copper Deposit: An Interpretation Based on Geochemical and Structural Data

Meysam Rezayi Zangiabadi ^{1,2,*}, Sara Dargahi ¹, Majid Aminzadeh ², Moslem Shahimoridi ²

¹Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

²Sarcheshmeh Copper Complex, National Iranian Copper Industries Company, Rafsanjan, Iran

*Corresponding author: Rezayi_meysam@nicico.com

Abstract

The Sarcheshmeh porphyry copper deposit is situated within a major dextral shear zone bounded by the Rafsanjan and Shahr-e-Babak fault systems. Structural investigations reveal that the predominant mineralized veins, striking 20° to 40°, have developed along Riedel shears associated with the principal north-south fault system. These veins are primarily observed within the supergene zone and upper mining levels; however, recent drill core data from deeper levels confirm their persistence at greater depths. The mineralogical composition of these veins is highly variable. In the supergene zone, they may consist of black oxidized pyrite, active pyrite, carbonate veins, and Fe-Mn oxide veins. In contrast, the hypogene zone is characterized by silicic-argillic veins containing chalcopyrite or chalcocite. Accurate identification and discrimination of these mineral phases are of critical importance for ore grade estimation and economic modeling of the orebody.

Keywords: Structural control, Mineral veins, Supergene zone, Hypogene zone, Sarcheshmeh porphyry copper deposit.

مقدمه

کمربند آتشفشانی-ساختاری ارومیه دختر، به عنوان یکی از مهم‌ترین زون‌های فلززایی در ایران و بخشی از کمان ماگمایی آلپ-همیمالیا، میزبان مجموعه‌ای از کانسارهای مس پورفیری در سطح جهانی است. در این میان، کانسارهای غول‌پیکری چون سرچشمه، میدوک و سونگون، نه تنها نقش تعیین‌کننده‌ای در اقتصاد معدنی کشور ایفا می‌کنند، بلکه به دلیل پیچیدگی فرآیندهای تشکیل، پهنه‌ای ارزشمند به سوی درک تکامل ماگماتیسم و سیستم‌های هیدروترمال در یک محیط مرتبط با فرورانش ارائه می‌دهند (درگاهی، ۱۳۸۶). موقعیت این کمربند در بخش جنوبی کوهزاد زاگرس، که با راندگی‌های گسترده و سنگ‌های متنوع پیوند خورده است، بر اهمیت مطالعه تأثیر همزمان فرآیندهای ماگمایی و ساختاری بر تمرکز و توزیع کانی‌سازی در آن تأکید می‌کند. این مقاله با پذیرش این اصل که ساختارهای زمین‌شناسی اغلب به عنوان کنترل‌کننده‌های اصلی محل استقرار و آرایش کانسارها عمل می‌کنند، به بررسی نقش گسل‌ها و سیستم‌های درزه‌ها در کنترل کانی‌زایی در کانسار مس سرچشمه می‌پردازد.

کانسار مس پورفیری سرچشمه در فاصله‌ای حدود ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان، ۶۵ کیلومتری جنوب غرب رفسنجان و ۳۰ کیلومتری شمال شهر پاریز واقع شده است. دسترسی به این معدن از طریق جاده‌های آسفالت به رفسنجان و سیرجان و نیز شبکه ریلی سراسری میسر است. متوسط ارتفاع ناحیه از سطح دریا ۲۶۲۰ متر و مختصات جغرافیایی مرکز کانسار ۵۳°۵۵' طول شرقی و ۵۸°۲۹' عرض شمالی می‌باشد. این کانسار به شکل بیضوی با قطر بزرگ حدود ۳۰۰۰ متر (با روند شرقی-غربی) و قطر کوچک حدود ۲۰۰۰ متر برون‌زد یافته است. توده نفوذی اصلی، یک استوک گرانودیوریتی متعلق به اواخر دوره ترشیاری (میوسن) است که بخشی از یک مجموعه بزرگتر ماگمایی مرتبط با تزریق توده‌های نفوذی با فاصله زمانی نزدیک به هم را تشکیل می‌دهد.

کانسار سرچشمه در بخش جنوبی کمربند چین‌خورده و گسلیده ارومیه-دختر جای گرفته است. فعالیت تکتونیکی اواخر ترشیاری، تزریق توده‌های نفوذی را در مجاورت محور تاقدیس‌های منطقه میسر ساخته که کانی‌زایی مس در پیوندی تنگاتنگ با این تزریق‌ها شکل گرفته است. شواهد باستان‌شناسی از جمله آثار ذوب‌کاری و تفاله‌های به‌جامانده در منطقه، حاکی از بهره‌برداری اولیه از ذخایر اکسیدی سطحی در ادوار کهن است. کانه‌زایی اصلی مس و مولیبدن در این کانسار به صورت نوع پورفیری و درون‌سنگ‌های میزبان، عمدتاً توف‌های آندزیتی (سنگ‌های آذرآواری) و گرانودیوریت، و در زون هیپوژن متمرکز شده است. یک تمایز کلیدی در رفتار این دو عنصر مشاهده می‌شود: در حالی که کانه‌زایی مس به صورت پراکنده در متن سنگ صورت گرفته، تمرکز مولیبدن غالباً در امتداد سطوح گسل‌ها و درزه‌ها مشهود است. این الگو، نشانه‌ای اولیه از کنترل ساختاری بر توزیع کانی‌ها و نقش گسل‌ها به عنوان مجاری اصلی انتقال سیالات کانه‌دار را ارائه می‌دهد (موسوی‌نژاد و کلاگری، ۱۳۹۳). چنین مشاهداتی، این پرسش کلیدی را در ذهن زمین‌شناسان معدن مطرح می‌سازد که آیا دیگر کانی‌های بااهمیت اقتصادی، مانند کالکوسیت، نیز می‌توانند تحت تأثیر مستقیم رژیم تکتونیکی منطقه قرار گرفته باشند. این فرضیه که گسل‌ها و مناطق برشی، نقش تعیین‌کننده‌ای در هدایت سیالات هیدروترمال و مکانیابی کانی‌زایی ایفا می‌کنند، اساس تحلیل‌های بعدی این مقاله را تشکیل می‌دهد. هدف این پژوهش، واکاوی این نقش کنترل‌کننده با تمرکز بر رگه‌های کانه‌دار و توزیع کانی‌های ثانویه، به‌ویژه در ارتباط با سامانه‌های گسلی اصلی در معدن سرچشمه است.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، عملیات صحرایی جهت بررسی و تفکیک واحدهای سنگی محدوده کانسار، مطالعه سنگ دربرگیرنده و مناطق دگرسانی و همچنین برداشت ساختاری گسل‌ها و درزه‌ها و نمونه برداری از مواد پرکننده گسل‌ها و درزه‌ها جهت

انجام مطالعات ژئوشیمیایی انجام گردید. تجزیه شیمیایی نمونه ها به روش جذب اتمی برای ۵ نمونه و ICP-OES برای ۳ نمونه (مجموعاً ۸ نمونه) در آزمایشگاه مرکزی مجتمع مس سرچشمه انجام شد (جداول ۱ و ۲).

جدول شماره (۱) نتایج آنالیز جذب اتمی نمونه های مورد مطالعه

Element	Unit	R1	R2	R3	R4	R5
As	%	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03
Cu	%	0.09	0.04	0.45	0.1	1.82
Fe	%	13.18	7.07	38.64	9.28	37
Mn	%	1.67	0.43	0.06	0.67	<0.01
Mo	%	35	14	24	10	151
Pd	%	3.18	0.24	0.01	0.15	0.02
Zn	%	8.01	0.64	0.01	0.32	<0.01

جدول شماره (۲) نتایج آنالیز ICP-OES نمونه های مورد مطالعه

Element / Compound	Unit	Sample 2650 Bench-west	Sample 2650 Bench-southwest	Sample 2375 Bench
Zn	%	0.02	0.37	0.14
V	ppm	34	160	200
Sr	Ppm	540	80	60
Pb	%	0.01	0.05	0.05
Ni	ppm	28	62	38
Mn	%	1.58	0.48	0.07
Mg	%	1.82	1.86	0.78
Fe	%	5.9	14.04	5.6
Cu	%	0.02	0.8	0.6
Cr	ppm	46	54	58
Co	ppm	180	40	20
Cd	ppm	1	6	6
Ca	%	25.78	4.48	0.99
Bi	ppm	100	280	80
Ba	%	0.03	0.01	0.05
As	%	0.05	0.02	0.03
Al	%	1.7	5.5	7.41

بحث

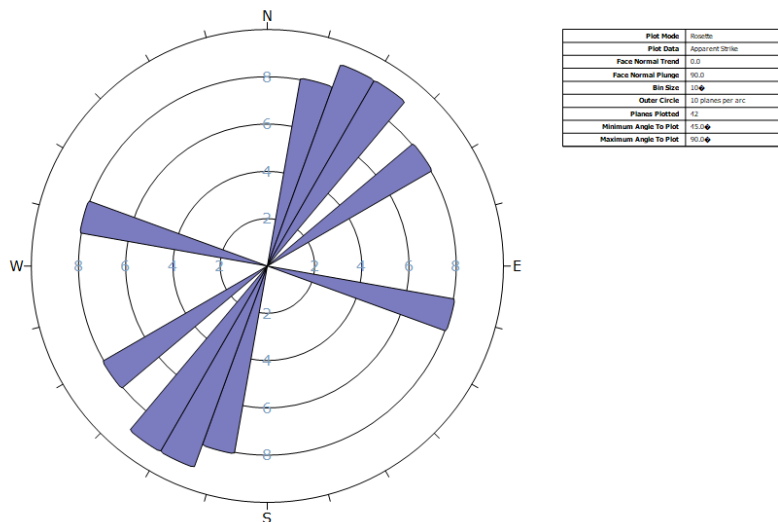
مشاهدات صحرایی، داده‌های ساختاری و نتایج تجزیه شیمیایی، الگوهای مهمی را در توزیع کانی‌ها و کنترل ساختاری رگه‌ها در معدن سرچشمه آشکار می‌سازند. جدول ۱ نتایج آنالیزهای جذب اتمی رگه های حاوی مواد تیره رنگ در نمونه های ترازهای بالا یا به عبارتی زون سوپرژن معدن سرچشمه را نشان می دهد. همانطور که در این جدول به خوبی مشهود است نمونه R5 و

R3 با بالاترین میزان مس همراه با آهن بالا، به خوبی حضور پیریت پوشیده شده با کالکوسیت یا همان پیریت فعال را در نمونه‌ها نشان می‌دهند؛ درحالی‌که در نمونه‌های R1 و R4 میزان آهن به صورت خاص متوسط تا نسبتاً بالاست که این مسئله می‌تواند مبین پیریت اکسیدشده یا هوازده در نمونه‌ها باشد. میزان مس پایین در این نمونه‌ها نشان می‌دهد که فرآیند جایگزینی با کالکوسیت در آنها محدود یا ناچیز بوده است. در نمونه R2 کمترین مقدار آهن و مس دیده می‌شود که احتمالاً نشانگر آن است که فاز سولفیدی غالبی در نمونه وجود ندارد و ممکن است این نمونه عمدتاً از اکسیدها/هیدروکسیدهای آهن (مانند گوتیت/هماتیت) که رنگ سیاه ایجاد می‌نمایند همراه با مواد باطله تشکیل شده باشد. وجود منگنز نسبتاً بالا (۰.۴۳٪) نیز می‌تواند موید این موضوع باشد. البته تأیید نهایی این تفاسیر مستلزم مطالعات کانی‌شناسی مستقیم (مانند مقاطع صیقلی یا میکروسکوپ الکترونی) است.

جدول ۲ مقایسه ترکیب رگه‌های سیاه رنگ زون سوپرژن (تراز ۲۶۵۰ متری) و هیپوژن (تراز ۲۳۷۵ متری) است. بر این اساس مس توان اینگونه تفسیر کرد که در نمونه بخش جنوب غربی زون سوپرژن، عیار بالای کلسیم، منیزیم و استرانسیم نشان‌دهنده غلبه کانی‌های کربناته (مانند کلسیت یا دولومیت) به عنوان مواد پرکننده رگه است. مقدار کم آهن و مس نیز حاکی از آن است که سولفیدهای آهن و مس (پیریت، کالکوسیت) یا وجود ندارند یا به میزان ناچیز در این رگه حضور دارند. با توجه به میزان نسبتاً بالاتر عیار منگنز، رنگ سیاه ممکن است ناشی از حضور اکسیدهای منگنز در نمونه‌ها باشد. این نمونه‌ها به احتمال زیاد فاقد ارزش اقتصادی مستقیم برای مس است و یک رگه کربناته باطله محسوب می‌شوند. اما در نمونه بخش جنوبی زون سوپرژن، غلظت بسیار بالای آهن و مس قابل توجه همراه با کاهش شدید کلسیم نسبت به نمونه جنوب غربی دیده می‌شود. این الگو از مشخصه‌های متداول مواد سوپرژن غنی از سولفیدهای ثانویه است. نسبت بالای آهن نشان‌دهنده حضور فراوان پیریت است. عیار قابل اندازه‌گیری مس (۰.۸٪) قویاً حکایت از آن دارد که حداقل بخشی از این پیریت، به شکل "پیریت فعال" بوده و سطح آن توسط کالکوسیت ثانویه پوشانده شده است. این نمونه یک کانسنگ ثانویه با عیار متوسط مس محسوب می‌شود که رنگ سیاه آن ناشی از همان پیریت/کالکوسیت است.

بررسی نمونه زون هیپوژن (تراز ۲۳۷۵ متری) مبین کاهش چشمگیر کلسیم و کاهش آهن نسبت به نمونه سوپرژن جنوب غربی همراه با عیار مس نسبتاً بالا و غلظت بالای آلومینیوم است. این نوسانات عیاری مبین تغییر فاز از محیط سوپرژن به هیپوژن می‌باشد. کاهش کلسیم، ضعیف‌شدن رگه‌های کربناته را تأیید می‌کند. مقدار مس (۰.۶٪) همراه با آهن نه‌چندان بالا، می‌تواند نشان‌دهنده حضور کالکوپیریت اولیه به جای کالکوسیت ثانویه باشد. با این حال، برای تأیید این موضوع، نسبت Cu/Fe نیاز به بررسی بیشتر دارد. غلظت بالای آلومینیوم نشان می‌دهد این رگه احتمالاً در ارتباط با دگرسانی‌های سیلیسی-آرژیلیک (فیلیک/آرژیلیک پیشرفته) تشکیل شده و حاوی کانی‌های رسی (مانند ایلیت، کائولینیت) است. رنگ سیاه ممکن است ناشی از سولفیدهای ریزدانه و یا حتی حضور کالکوسیت ثانویه باشد. زیرا مطالعات کانی‌شناسی نشان می‌دهد حضور کالکوسیت ثانویه در زون هیپوژن ناشی از شسته‌شدگی و نفوذ مجدد از سوپرژن است و این مسئله یک چالش تشخیصی مهم را ایجاد می‌کند.

تحلیل‌های ساختاری مبتنی بر برداشت‌های میدانی و رسم نمودارهای گل سرخی، حاکی از کنترل قوی ساختاری بر جایگیری رگه‌ها در معدن مس سرچشمه است. جهت‌گیری غالب رگه‌ها در آزمون ۲۰ تا ۴۰ درجه (شمال شرق-جنوب غرب)، هم‌خوانی روشنی با مدل شکستگی‌های ریدل (Riedel fractures) مرتبط با یک سامانه گسلی راست‌گرد شمالی-جنوبی دارد (شکل ۱).



شکل شماره (۱) نمودار گل سرخی روند درزه های برداشت شده از معدن سرچشمه

نتیجه گیری

در یک جمع بندی کلی می توان گفت نتایج حاصل از آنالیزهای شیمیایی، یک تغییر سیستماتیک با عمق را نشان می دهد. رگه های سیاه رنگ زون سوپرژن، فاقد کالکوپیریت ولی دارای تنوع ترکیبی از رگه های غنی از کلسیت و دولومیت، رگه های دارای پیریت فعال و یا رگه های حاوی اکسیدهای آهن و منگنز هستند. در حالی که در بخش هایپوژن، رگه های کربناته عملاً حذف شده و به جای آن رگه های سیلیسی-آرژیلیک حاوی سولفیدهای اولیه و یا احتمالاً کالکوسیت پدیدار می گردند. نکته حائز اهمیت، حضور همیشگی پیریت در غالب نمونه هاست که با توجه به نقش آن به عنوان یک عامل کاهنده عیار در فرآوری، چه به صورت اکسیدشده و چه پوشیده از کالکوسیت ثانویه، از اهمیت عملیاتی بالایی برخوردار است. گفتنی است ظهور رگه های سیاه رنگ در پله های پایین تر معدن و شباهت ظاهری این رگه ها با رگه های سیاه رنگ زون سوپرژن، علی رغم تفاوت معنادار کانی شناسی و عیار مس در آنها، می تواند منجر به خطای تشخیص در عملیات کنترل عیار شده و باعث بارگیری و ارسال نادرست مواد به مدار سنگ شکن و فرآوری گردد که پیامد مستقیم آن کاهش بازبایی نهایی مس است. برای مدیریت این ریسک، اجرای برنامه های نمونه برداری سیستماتیک تر، به کارگیری روش های شناسایی سریع (مانند XRF پرتابل) در جبهه کار، و آموزش تخصصی کارشناسان کنترل عیار پیشنهاد می گردد.

تقدیر و تشکر

باسپاس فراوان از مدیریت محترم امور معدن سرچشمه جناب آقای دکتر مهدی عبدلهی ریس و معاونت بخش زمین شناسی و زهکشی معدن مس سرچشمه جناب آقای مهندس عباس بنی اسدی شهربابکی که امکانات انجام این تحقیق را فراهم نمودند.

مراجع

- درگاهی، س.، ۱۳۸۶. ماگماتیسیم پس از برخورد میوسن در گستره سرچشمه- شهربابک، شمال باختر کرمان: بررسی دانه های ایزوتوپی، تحلیل پتروژنتیکی و الگوی ژئودینامیکی توده های گرانیتوئیدی و نقش ماگماتیسیم آداکیتی در توسعه کانه زایی مس، رساله دکتری پترولوژی، دانشگاه باهر کرمان، دانشکده علوم، بخش زمین شناسی، ۳۱۱ ص.
- موسوی نژاد، ن.، کلاگری، ع.، ۱۳۹۳. بررسی زون های دگرسانی به ویژه آرژیلیک شمال معدن مس سرچشمه، استان کرمان. ششمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران.