

ویژگی هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه در کانه‌زایی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی در جنوب فاروج، شمال شرق ایران

رضا ارجمندزاده

استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران؛ r.arjmandzadeh@pnu.ac.ir

چکیده

کانسارهای سرب و روی نوع MVT در جنوب فاروج در استان خراسان شمالی (کپه‌داغ) در سنگ‌های کربناته مزوزوئیک تشکیل شده‌اند و کنترل اصلی کانه‌زایی توسط گسل‌ها و زون‌های شکستگی فراهم شده است. شواهد صحرایی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی نشان‌دهنده حضور هاله‌های اولیه شامل دولومیتی‌شدن، آنکریتی‌شدن و غنی‌شدگی عناصر همراه نظیر Mn, Cd, Ag, Sb, Mo, Co, Ni, As در اطراف زون‌های کانه‌دار است. با این حال، برخلاف بسیاری از کانسارهای کلاسیک MVT، در این محدوده هاله ژئوشیمیایی ثانویه قابل توجهی در خاک و رسوبات آبراهه‌ای مشاهده نمی‌شود. نبود کانی‌های سوپرژن شاخص نظیر اسمیت‌زونیت و سروزیت و همچنین فقدان آنومالی گسترده Zn و Pb در مطالعات ژئوشیمی سطحی، بیانگر توسعه‌نیافتگی هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه است. این وضعیت می‌تواند ناشی از ترکیب عواملی نظیر اقلیم نیمه‌خشک منطقه، نفوذپذیری پایین واحدهای پوشاننده، عمق نسبی زون کانه‌دار نسبت به سطح فرسایش فعلی و خاصیت بافری بالای سنگ‌های کربناته میزبان باشد. در چنین شرایطی، تحرک فلزات در محیط سوپرژن محدود شده و هاله‌های ثانویه گسترده شکل نگرفته‌اند. بنابراین، در اکتشاف این تیپ کانسار در جنوب فاروج، اتکا به شاخص‌های دگرسانی و هاله‌های اولیه، ساختارهای کنترل‌کننده و شواهد کانه‌زایی درون‌سنگی نسبت به ژئوشیمی سطحی از اولویت بالاتری برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: MVT، فاروج، رسوبات آبراهه‌ای، اسمیت‌زونیت، هاله ثانویه

Characteristics of primary and secondary geochemical halos in Mississippi Valley–Type mineralization from Southern Faruj, NE Iran

Reza Arjmandzadeh

Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran; r.arjmandzadeh@pnu.ac.ir

Abstract

Mississippi Valley–Type (MVT) Pb–Zn mineralization in the southern Faruj area in North Khorasan province (Kopedagh zone) is hosted by Mesozoic carbonate rocks and structurally controlled by faults and fracture zones. Field observations, mineralization, and geochemical data indicate the presence of primary alteration halos characterized by dolomitization, ankeritization, and enrichment in associated elements such as Mn, Cd, Ag, Sb, Mo, Co, Ni, As around the ore zones. However, unlike many classical MVT deposits, no significant secondary geochemical halo has developed in soils or stream sediments in the study area. The absence of typical supergene minerals such as smithsonite and cerussite, together with the lack of extensive Pb and Zn surface anomalies, suggests limited secondary geochemical halos. This condition is likely related to a combination of factors, including the region's semi-arid climate, low permeability of overlying units, the relative depth of the ore zones with respect to the present erosion level, and the strong geochemical buffering capacity of the carbonate host rocks. Under these circumstances, metal mobility in the supergene environment has been restricted, preventing the formation of widespread secondary halos. Therefore, exploration strategies for MVT mineralization in southern Faruj should prioritize primary alteration features, structural controls, and host-rock–related indicators rather than relying mainly on surface geochemical anomalies.

Keywords: MVT, Faruj, Stream sediments, smithsonite, secondary halo

۱- مقدمه

ذخایر سرب و روی تیپ (Mississippi Valley Type) MVT یکی از مهم‌ترین انواع کانسارهای سرب و روی در جهان هستند. معمولاً در سنگ‌های کربناته (آهک و دولومیت) تشکیل می‌شوند، و بیشتر در حوضه‌های رسوبی پلاتفرمی و زون‌های حاشیه‌ای پایدار قاره‌ها یافت می‌گردند. این کانسارها در دمای پایین تا متوسط (۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) و در فشار پایین شکل می‌گیرند (Shelton, 2009).

سیالات حامل فلزات از نواحی عمیق‌تر (مثلاً سنگ‌های تبخیری یا شیل‌های غنی از مواد آلی) به سمت بالا حرکت می‌کنند و هنگام تماس با سنگ‌های کربناته، در نتیجه واکنش‌های احیایی و تبادل یونی، سولفیدهای فلزی رسوب می‌کنند. عناصری که معمولاً همراه با Pb و Zn در سیال هیدروترمال بوده‌اند اما به اندازه کافی برای تشکیل کانی‌های مجزا متمرکز نشده‌اند شامل کادمیوم، منگنز، آهن و گاهی اوقات عناصر گروه باریت و فلوئوریت هستند. پس از اکسیداسیون، فلزات در هاله ژئوشیمیایی ثانویه به شکل محلول درآمده و می‌توانند جابه‌جا شوند، اما در برخی ذخایر MVT، این جابه‌جایی محدود است. عناصر کلیدی در این هاله اغلب روی و سرب هستند.

ردیف چینه‌شناسی کپه‌داغ از قدیم به جدید شامل سازندهای کشف‌رود، چمن‌بید، مزدوران، شوربچه، تیرگان، سرچشمه، سنگان، آیتامیر، آبدراز، آبتلخ، نیزار، کلات، پستلیق، چهل‌کمان و خانگیران می‌باشد و قدمتی از ژوراسیک زیرین تا نئوژن را شامل می‌شود (افشارحرب، ۱۳۷۳). گستره وسیعی از سازندهای کربناتی مزدوران و تیرگان در جنوب استان خراسان شمالی میزبان اندیس‌ها و کانسارهای سرب و روی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی می‌باشد.

با توجه به رخنمون گسترده واحدهای رسوبی ژوراسیک-کرتاسه، به‌ویژه واحدهای آهکی و ماسه‌سنگ (نظیر سازندهای مزدوران، شوربچه و تیرگان) پتانسیل بسیار مطلوبی برای شکل‌گیری ذخایر ارزشمند سرب و روی در این کمربند وجود دارد (شکل ۱). تاکنون در خصوص میزان ذخیره و پتانسیل کانی‌سازی سرب و روی و همچنین ویژگی هاله‌های ژئوشیمیایی در این منطقه مطالعه جامعی صورت نگرفته است و در مقاله فعلی، با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و صحرایی در مورد بهترین روش اکتشافات ژئوشیمیایی اندیس معدنی سرب و روی MVT باغ محله در جنوب فاروج در بحث شده است. بدین منظور تعداد ۴۰ نمونه سنگی برای تهیه مقاطع نازک - صیقلی برداشت شدند و به روش‌های XRD XRF, ICP-OES آنالیز شدند.

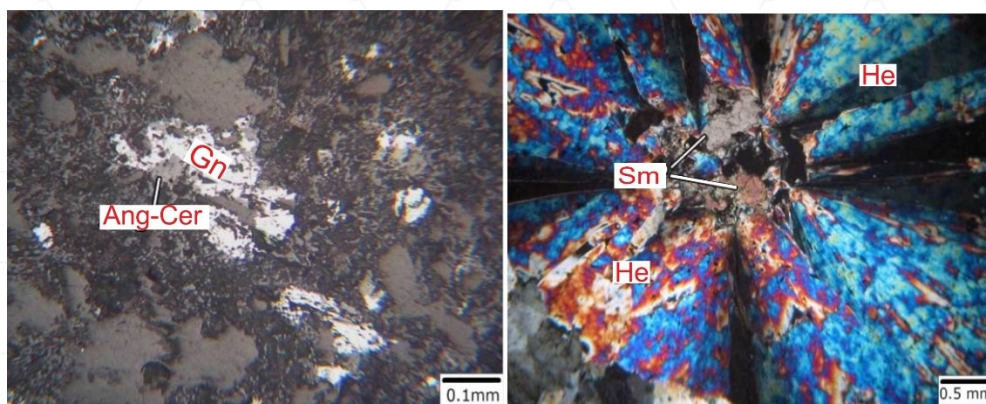
۲- زمین‌شناسی و کانی‌سازی

ردیف چینه‌شناسی کپه‌داغ از قدیم به جدید شامل سازندهای کشف‌رود، چمن‌بید، مزدوران، شوربچه، تیرگان، سرچشمه، سنگان، آیتامیر، آبدراز، آبتلخ، نیزار، کلات، پستلیق، چهل‌کمان و خانگیران می‌باشد (ژوراسیک زیرین تا نئوژن). گستره وسیعی از سازندهای کربناتی مزدوران و تیرگان در جنوب استان خراسان شمالی میزبان اندیس‌ها و کانسارهای سرب و روی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی می‌باشد. با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی استان خراسان شمالی محدوده مورد مطالعه از لحاظ ساختاری در زون کپه‌داغ واقع شده است. همچنین با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱/۵۰۰۰ محدوده اکتشافی، رخنمون‌هایی از سازندهای مزدوران، شوربچه و تیرگان و فعالیت‌های ولکانیکی مانند تراکی آندزیت و داسیت مشاهده می‌شود.

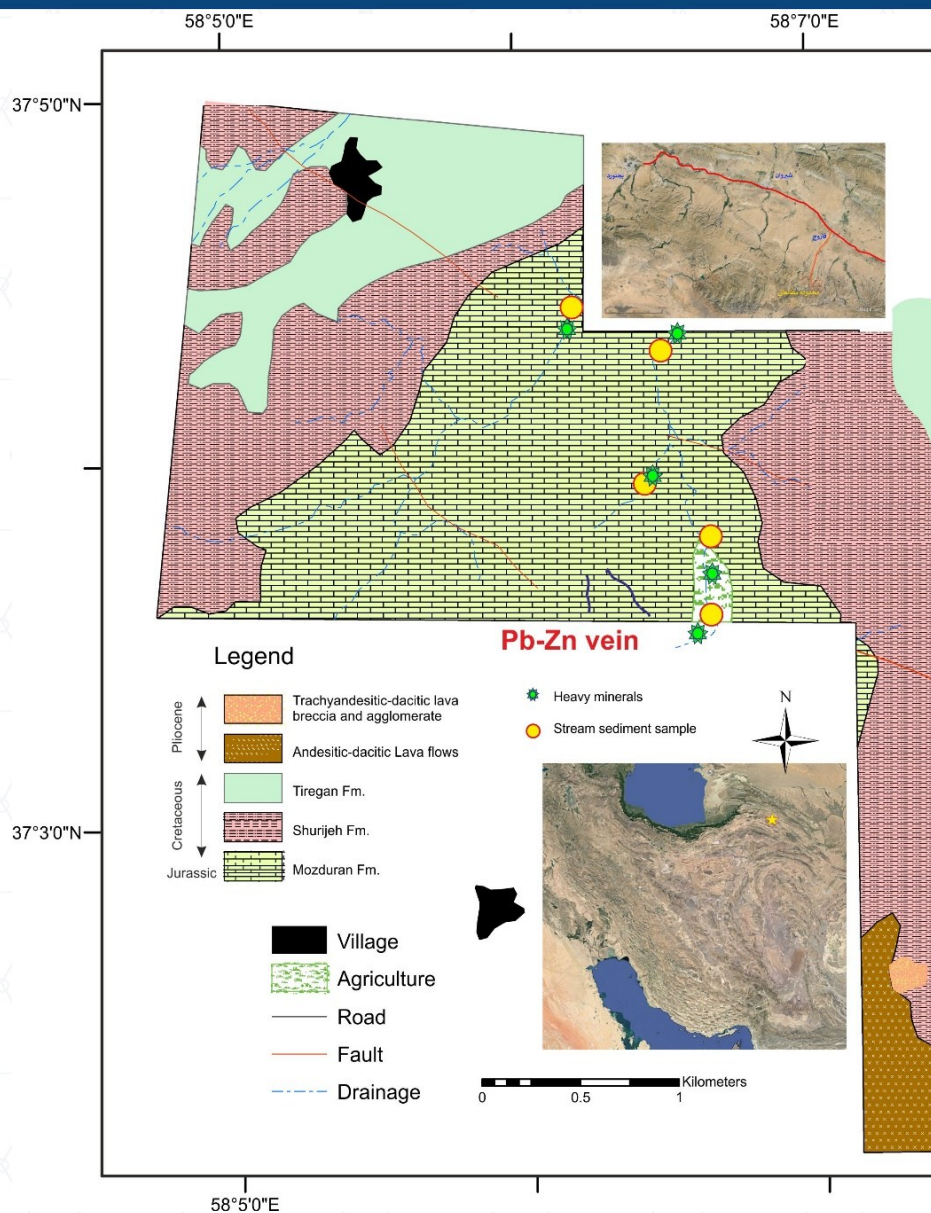
بخش اصلی کانه‌زایی قابل مشاهده شامل کانی‌های اکسیدی-کربناتی-سولفاتی آهن، روی و سرب می‌باشد (شکل ۲). البته وجود مقادیر ناچیزی از سولفیدهایی نظیر گالن درون افق‌های اکسیدی، نشان می‌دهد که این زون‌ها و رگه‌های کانه‌دار غنی از اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت، سروزیت، آنگلزیت و هیدروزینسیت همراه با لیمونیت و هماتیت، احتمالاً در نتیجه هوازدگی زون‌های سولفیدی تشکیل شده‌اند. در شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی ۱/۵۰۰۰ محدوده اکتشافی و محل نمونه برداری نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت کمر بند سرب و روی اسفراین در نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بجنورد



شکل ۲. بلورهای اسمیت زونیت همراه با همیمورفیت و بلور گالن که توسط انگلزیت-سروزیت جانشین شده است.



شکل ۳. نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰ محدوده اکتشافی باغ محله در جنوب فاروج

۳- بحث

سازندهای کربناته ژوراسیک- کرتاسه جنوب فاروج میزبان کانسار سرب و روی است. با توجه به رخداد کانه‌زایی در گسل‌های معکوس، سنگ میزبان کربناته مانند دولوستون و آهک دولومیتی، نبود مقادیر مهم باریت و قرارگیری در کمربند فورلند کوهزایی، این ذخیره را می‌توان جزو تیپ MVT در نظر گرفت (ارجمندزاده، ۱۴۰۳). کانی‌سازی سولفیدی هیپوژن در نتیجه فرایندهای هوازدگی به مقدار زیادی از بین رفته است و به جای آن زون‌های کانه‌دار غنی از اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت، سروزیت، آنکلیزیت و هیدروزینسیت همراه با لیمونیت و هماتیت تشکیل شده‌اند.

هاله اولیه همزمان با کانه‌زایی و در عمق تشکیل شده است و مستقیماً به عبور سیالات کانه‌دار از سنگ میزبان مربوط است که موجب دولومیتی شدن سنگ آهکی میزبان، سیلیسی شدن، آنکریتی شدن و آنومای هایی از Mn, Cd, Ag, As, Ni, Co, Mo, Sb در اطراف رگه های سرب و روی شده است (جدول ۱).

در حالی که هاله ثانویه در اثر هوازدگی، اکسیداسیون و تحرک مجدد عناصر بعد از بالا آمدن کانسار به نزدیکی سطح زمین تشکیل می‌شود و در بسیاری از کانسارهای MVT شامل گسترش ژئوشیمیایی Zn, Pb, Cd در خاک و رسوبات آبراهه‌ای می باشد، اما در محدوده اکتشافی جنوب فاروج این هاله تقریباً وجود ندارد یا بسیار ضعیف است. اگر زون کانه‌دار به اندازه کافی به سطح نزدیک نشده باشد، ممکن است اکسیداسیون در اعماق باعث تثبیت و عدم تحرک ژئوشیمیایی شده باشد. در اقلیم‌های کم‌بارش نیز شستشو و جابجایی عناصر محدود می‌شود و در نتیجه عناصر آزاد شده در محل باقی مانده یا اصلاً آزاد نمی‌شوند و پراکندگی ژئوشیمیایی سطحی شکل نمی‌گیرد. از طرف دیگر سنگ‌های آهکی و دولومیتی خاصیت خنثی‌کنندگی بالایی دارند و اسیدیته ناشی از اکسیداسیون سولفیدها سریع خنثی می‌شود و تحرک فلزات کاهش می‌یابد که باعث می‌شود به جای هاله گسترده، یک زون محدود و موضعی ایجاد می‌شود.

جدول ۱. آنالیز نمونه های رسوب آبراهه ای و نمونه های معدنی محدوده فلزی باغ محله به روش ICP-OES

Element	Ag	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Pb	S	Sb	Zn
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DL	0.5	100	0.5	5	1	100	0.1	1	50	0.5	1
Method	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02	ME-02
B41	<0.5	5562	9.2	33	<1	>10%	0.32	10	178	<0.5	20
B42	<0.5	3455	5.6	16	<1	>10%	0.26	4	243	<0.5	15
B43	<0.5	5292	3.9	58	<1	>10%	0.26	13	127	0.53	18
B44	<0.5	9954	34	121	<1	>10%	0.37	17	506	<0.5	38
B45	<0.5	4394	19.2	25	<1	>10%	0.28	11	204	<0.5	30
B46	<0.5	4568	2.6	22	<1	>10%	0.3	3	368	<0.5	25
B47	<0.5	2627	17	19	<1	>10%	0.34	4	186	0.52	26
B48	<0.5	20625	7.9	131	<1	>10%	0.33	17	281	<0.5	43
B49	<0.5	6872	4.4	63	<1	>10%	0.29	16	236	<0.5	31
B50	<0.5	4401	3.1	22	<1	>10%	0.35	4	198	<0.5	25
B51	<0.5	17610	5.1	145	<1	>10%	0.3	8	432	<0.5	33
BW2	<0.5	3168	11.1	18	<1	>10%	0.32	5	245	0.52	18
BM12L	3.17	5944	>100	50	2	>10%	155	1766	20333	16.41	>3%

۴- نتیجه‌گیری

نبود هاله ثانویه در یک کانسار MVT همان طور که در جنوب فاروج مشاهده می‌گردد، لزوماً نشانه نبود کانه‌زایی یا ضعف سیستم هیدروترمال نیست، بلکه می‌تواند بیانگر شرایط اقلیمی مستعد تشکیل کانی های زون اکسیدان، وجود پوشش سنگی محافظ، عمق نسبتاً زیاد زون کانه‌دار و توان بافری بالای سنگ‌های کربناته میزبان باشد. در چنین شرایطی، اکتشاف باید بر پایه هاله‌های اولیه، ساختارها، دولومیتی شدن و کنترل‌های لیتولوژیکی متمرکز شود و ژئوشیمی سطحی ممکن است منجر به نتایج واقعی نشود. کانی‌سازی سولفیدی هیپوژن در نتیجه فرایندهای هوازدگی به مقدار زیادی از بین رفته

است و به جای آن زون‌های کانه‌دار غنی از اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت، سروزیت، آنگلزیت و هیدروزینسیت همراه با لیمونیت و هماتیت تشکیل شده‌اند که از ویژگی کمر بند کانی سازی تیپ MVT در جنوب استان خراسان شمالی می باشد.

۵- تقدیر و تشکر

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه پیام نور انجام شده است.

۶- مراجع

ارجمندزاده، ر.، ۱۴۰۳. پیش‌بینی ذخیره چند ده میلیون تنی سرب و روی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی در جنوب استان خراسان شمالی، شمال شرق ایران. سی و دومین همایش ملی بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

افشار حرب، ع.، ۱۳۶۴. نقشه زمین شناسی بجنورد، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

Shelton KL, Gregg JM, and Johnson AW., 2009. Replacement dolomites and ore sulfides as recorders of multiple fluids and fluid sources in the southeast Missouri MVT district, USA: Halogen- 87Sr/ 86Sr-d18 O-d34 S systematics in the Bonnetterre Dolomite. Economic Geology 104: 733–748.