

تعیین تیپ کانسار قبچاق (شمال باختر قره چمن، آذربایجان شرقی) براساس شواهد زمین شناسی، کانه زایی و زمین شیمی

حسین کوهستانی^{۱*}، میر علی اصغر مختاری^۲، محمد صحبتلو^۳

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان kouhestani@znu.ac.ir

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان amokhtari@znu.ac.ir

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

sohbatloo.mohammad1370@gmail.com

چکیده فارسی

کانه زایی در کانسار قبچاق به صورت رگه های برشی کوارتز- سولفیدی درون توالی آتشفشانی ائوسن و توده های نفوذی الیگوسن رخ داده است. پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و طلا همراه با اندکی رآلگار، پسیلوملان و پیرولولزیت، کانه های فلزی و کوارتز، سریسیت، کلریت و کلسیت، کانی های باطله می باشند. بافت های کانسنگ شامل دانه پراکنده، رگه- رگچه ای، برشی، شانه ای، کاکلی، گل کلمی، پوسته ای، پرمانند و پُرکننده فضای خالی است. پنج مرحله کانه زایی در قبچاق قابل تشخیص است. مرحله اول کانه زایی با سیلیسی شدن سنگ های میزبان همراه با اندکی پیریت دانه پراکنده مشخص می شود. مرحله دوم شامل رگه- رگچه های کوارتزی و برش های گرمابی است که حاوی مقادیر متغیری پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، $\pm$ طلا $\pm$ رآلگار می باشند. مرحله سوم با کوارتز و اکسیدها- هیدروکسیدهای منگنز (پسیلوملان، پیرولولزیت و براونیت) در رگه ها و سیمان گرمابی برش ها قابل تشخیص است. مرحله چهارم شامل رگه و رگچه های کوارتز (کلسیت- کلریت) و مرحله پنجم شامل کلسیت با بافت های رگچه ای و پرکننده فضاهای خالی می باشد. دگرسانی های گرمابی شامل سیلیسی، آرژیلیک متوسط، کربناتی، کلریتی و پروپلیتیک می باشد. الگوی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی به هنجار شده به کندریت برای نمونه های کانه دار و سنگ های میزبان، مشابه و بیانگر نقش این سنگ ها در تأمین عناصر کانه ساز می باشد. کانسار قبچاق از نوع کانسارهای اپی ترمال سولفیداسیون متوسط است.

واژه های کلیدی: کانه زایی اپی ترمال، فلزات پایه و گران بها، سولفیداسیون متوسط، قبچاق، قره چمن.

Type of Qebchaq deposit, (NW Qarachaman, East Azerbaijan) based on geology, mineralization, and geochemical evidence

Abstract

Mineralization at Qebchaq occurs as the quartz-sulfide brecciated veins hosted by Eocene volcanic rocks and Oligocene intrusions. Pyrite, chalcopryrite, galena, sphalerite, and gold along with minor realgar, psilomelane, and pyrolusite are the main ore minerals; quartz, sericite, chlorite, and calcite are present in the gangue minerals. The ore minerals show disseminated, vein-veinlet, brecciated, comb, cockade, colloform, crustiform, plumose, and vug infill textures. Five stages of mineralization can be distinguished at Qebchaq. Stage 1 is represented by silicification of host rocks along with minor disseminated pyrite. Stage 2 is characterized by quartz veins and breccias that contain variable amounts of disseminated pyrite, chalcopryrite, galena, sphalerite $\pm$ native gold $\pm$ realgar. Stage 3 is marked by quartz- manganese oxides-hydroxides (psilomelane, pyrolusite, braunite) veins and breccia cement. Stage 4 is represented by quartz (calcite-chlorite)

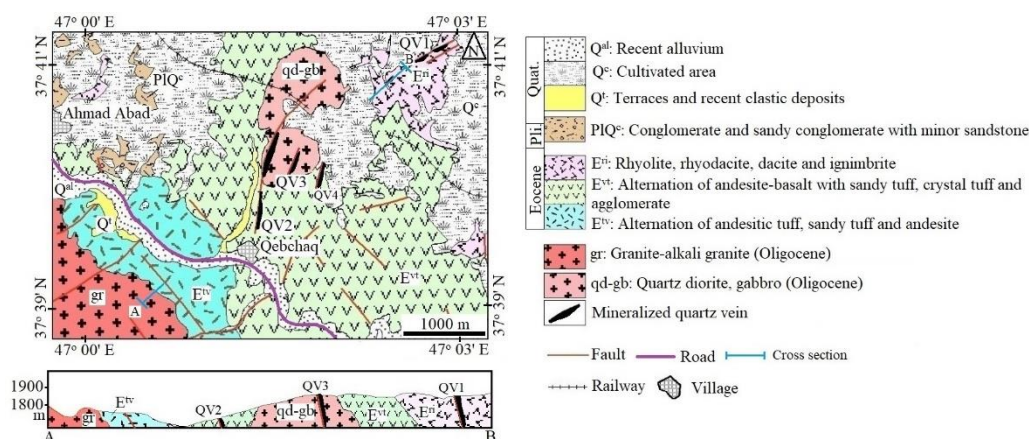
vein-veinlets and stage 5 is characterized by veinlets or vug infill texture of calcite. Wall-rock alterations include silicification, intermediate argillic, carbonate, chlorite, and propylitic alteration. Comparison of Chondrite-normalized rare elements and REE patterns of the mineralized samples and host rocks are similar indicate that leaching of some elements from the host rock units may have been involved in mineralization. The Qebchaq deposit is an example of intermediate-sulfidation type of epithermal deposits.

مقدمه

کانسار فلزات پایه و گران‌بهای قبچاق در ۱۵ کیلومتری شمال‌باختر قره‌چمن در استان آذربایجان شرقی واقع شده و بخشی از پهنه البرز باختری- آذربایجان می‌باشد. آثار فعالیت‌های اکتشافی و استخراجی قدیمی به‌صورت ترانشه‌های پُر شده و تونل‌های ریزش کرده در این کانسار قابل مشاهده است. با این وجود، تاکنون مطالعه علمی دقیقی بر روی این کانسار انجام نشده است. در این مقاله، ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی و زمین‌شیمیایی کانسار قبچاق مورد بررسی قرار گرفته و تیپ کانه‌زایی آن تعیین شده است. مطالعه دقیق این کانه‌زایی می‌تواند عوامل کلیدی توزیع زمانی و مکانی برای اکتشاف کانه‌زایی‌های مشابه در این منطقه را تعیین کرده و به‌عنوان الگوی اکتشافی در دیگر مناطق مورد استفاده قرار گیرد.

بحث

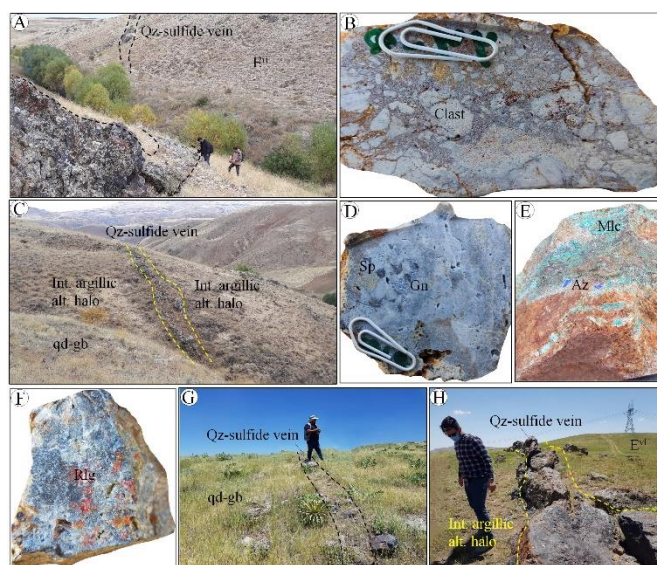
واحدهای سنگی میزبان کانسار قبچاق شامل توالی توف و گدازه ائوسن هستند که توسط توده‌های نفوذی الیگوسن، مورد هجوم قرار گرفته‌اند (شکل ۱). توالی سنگی ائوسن به‌ترتیب از پایین به بالا شامل توالی توف آندزیتی و توف ماسه‌ای با میان‌لایه‌های گدازه‌های آندزیتی (واحد E^{IV})، توالی گدازه‌های آندزیتی- بازالتی با توف‌های ماسه‌ای، کریستال توف و آگلومرا (واحد E^{VI}) و توالی ریولیت، ریوداسیت- داسیت و ایگنمبریت (واحد E^{II}) می‌باشد. توده‌های نفوذی الیگوسن ترکیب کوارتز دیوریت- گابرو (qd-gb) و گرانیت- آلکالی گرانیت (gr) دارند. براساس روابط صحرایی، توده گرانیتی- آلکالی گرانیتی نسبت به توده کوارتز دیوریتی- گابرویی جوان‌تر است. از نظر ساختاری، منطقه قبچاق با یکسری گسل‌های عادی با روند عمومی شمال‌خاوری- جنوب‌باختری و شمال‌باختری- جنوب‌خاوری مشخص می‌شود. در این بین، گسل‌های با روند شمال‌خاوری- جنوب‌باختری، مهم‌ترین گسل‌ها در این منطقه محسوب می‌شوند که کنترل‌کننده کانه‌زایی منطقه هستند.



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی کانسار قبچاق. برای بهتر نشان دادن موقعیت رگه‌های کانه‌دار، ضخامت آنها بیشتر نشان داده شده است.

کانه‌زایی در کانسار قبچاق شامل چهار رگه سیلیسی- برشی کانه‌دار است (شکل ۱). رگه اول (QV1) درون واحد E^{II} رخ داده و حدود ۱۵۰ متر درازا و ۱/۵ متر پهنا دارد (شکل ۲-۱). این رگه برشی دارای قطعات جورنشده و زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه‌دار سنگ میزبان سیلیسی و آرژیلی شده در سیمانی از جنس کوارتز و پیریت (اغلب اکسید شده) است (شکل ۳-۱). رگه دوم (QV2) درون توده qd-gb و واحد E^{VI} رخ داده و حدود ۱۰۰۰ متر درازا و ۱-۱/۵ متر پهنا دارد (شکل ۳-۲). دگرسانی

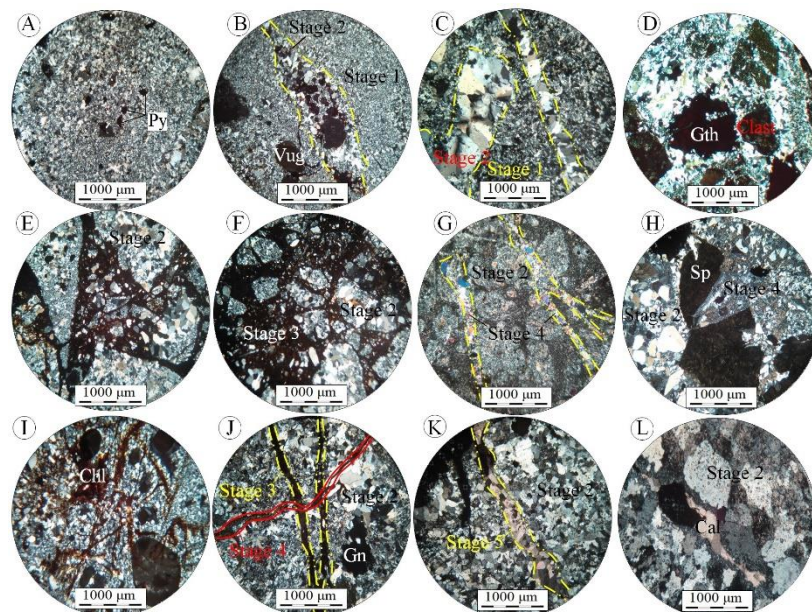
آرژیلیک متوسط با پهنای ۵-۱۰ متر در اطراف این رگه کانه‌دار دیده می‌شود (شکل ۳-۱). پیریت، کالکوپریت، گالن، اسفالریت و رآلگار، مهم‌ترین سولفیدهای موجود در این رگه هستند (شکل ۳-۲ تا F). این رگه دارای حجم زیادی اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز می‌باشد. رگه سوم (QV3) با ۵۰ متر درازا و ۰/۵ تا ۱ متر پهنای توده qd-gb را قطع کرده است (شکل ۳-۳). کانه‌زایی محدود گالن همراه با اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز و آغشتگی به هیدروکسیدهای آهن در این رگه قابل مشاهده است. رگه چهارم (QV4) طولی تا بیش از ۲۰۰ متر و پهنایی بین ۲ تا ۴ متر دارد. سنگ میزبان این رگه واحد Evt است (شکل ۳-۴). این رگه دارای مقادیر محدودی گالن و مقادیر زیادی اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز همراه با آغشتگی به هیدروکسیدهای آهن است. دگرسانی آرژیلیک متوسط به ضخامت ۲ متر، اطراف این رگه‌های کانه‌دار دیده می‌شود. عیار نمونه‌های برداشت‌شده از رگه‌های کانه‌دار در کانسار قبچاق تا ۷/۴ درصد مجموع سرب و روی، ۰/۴ درصد مس، ۴۵/۸ گرم در تن نقره و ۴/۶ گرم در تن طلا را مشخص کرده است.



شکل ۲: تصاویر صحرایی و نمونه دستی از رگه‌های کوارتز- سولفیدی در کانسار قبچاق. A: رگه QV1 درون واحد Evt (دید شمال‌خاور). B: برش‌های گرمابی با سیمان کوارتز- پیریت در رگه QV1. C: بخشی از رگه QV2 که توده qd-gb را قطع کرده است (دید باختر- جنوب‌باختر). رگه توسط دگرسانی آرژیلیک متوسط دربر گرفته شده است. D-F: رگه QV2 حاوی گالن و اسفالریت (D)، کالکوپریت‌های دگرسان‌شده به مالاکیت و آزوریت (E) و رآلگار (F). G: رگه QV3 که توده qd-gb را قطع کرده است (دید شمال‌خاور). H: رگه QV4 درون واحد Evt (دید شمال‌خاور). Az: آزوریت، Gn: گالن، Mlc: مالاکیت، Rlg: رآلگار، Sp: اسفالریت

کانه‌زایی در کانسار قبچاق به پنج مرحله قابل تفکیک است. مرحله اول کانه‌زایی شامل سیلیسی‌شدن سنگ‌های میزبان است که با اندکی پیریت همراهی می‌شود (شکل ۳-۱). این مرحله از کانی‌سازی عموماً توسط مرحله دوم قطع شده است (شکل ۳-۱ تا C). مرحله دوم (اصلی) کانه‌زایی با حضور رگه- رگچه‌ها و برش‌های گرمابی با سیمان کوارتز- سولفیدی (پیریت، کالکوپریت، گالن، اسفالریت، $\pm$ طلا $\pm$ رآلگار) به ضخامت چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر قابل شناسایی است. این مرحله اغلب مرحله اول کانه‌زایی را قطع کرده (شکل ۳-۱ و C) و خود توسط رگه‌های مراحل بعدی کانه‌زایی قطع شده است (شکل ۳-۱ تا D). قطعات برشی این مرحله از کانه‌زایی، اغلب در سیمان گرمابی برش‌های مرحله سوم کانه‌زایی دیده می‌شوند (شکل ۳-۱ و E-F). کانه‌زایی مرحله سوم با حضور کوارتز و اکسیدها- هیدروکسیدهای منگنز (پسیلوملان، پیرولویت و براونیت) در رگه‌ها و سیمان گرمابی برش‌ها مشخص می‌شود. این مرحله عموماً مرحله دوم کانه‌زایی را قطع کرده (شکل ۳-۱ و E-F) و خود توسط مرحله چهارم کانه‌زایی قطع شده است (شکل ۳-۱). مرحله چهارم کانه‌زایی با حضور رگه و رگچه‌های کوارتز (کلست- کلریت) با ضخامت چند میلی‌متر تا کمتر از ۱ سانتی‌متر مشخص می‌شود که مراحل قبلی کانه‌زایی را قطع کرده‌اند

(شکل ۳-G تا J). هیچگونه کانی سولفیدی یا اکسیدی با این مرحله مشاهده نمی‌شود. کانه‌زایی مرحله پنجم با فراوانی کلسیت به صورت رگچه‌ای (ضخامت تا ۲ میلی‌متر) و پرکننده فضاهای خالی مشخص می‌شود که مراحل قبلی کانه‌زایی را قطع کرده است (شکل ۳-K و L).



شکل ۳: تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) از مراحل کانه‌زایی در کانسار قیچاق. A تا C: مرحله اول کانه‌زایی به صورت سیلیسی شدن سنگ میزبان حاوی پیریت‌های ریزبلور و دانه‌پراکنده (A) که توسط رگچه‌های کوارتز-سولفیدی مرحله دوم (B و C) قطع شده است. D: مرحله دوم کانه‌زایی به صورت سیمان گرمایی برش‌ها. E و F: قطعات برشی مرحله دوم با سیمان گرمایی مرحله سوم. G: قطعات برشی مرحله دوم که توسط رگچه‌های کوارتزی مرحله چهارم قطع شده‌اند. H: بلور درشت اسفالریت مرحله دوم که توسط رگچه‌های کوارتزی-کلسیتی-کلریتی مرحله چهارم قطع و برشی شده است. I: رگچه‌های کلریتی مرحله چهارم که مرحله دوم را قطع کرده‌اند. J: رگچه‌های کوارتز-اکسیدی مرحله سوم که مرحله دوم را قطع کرده و خود توسط رگچه‌های کلریتی مرحله چهارم قطع شده‌اند. K و L: مرحله پنجم کانه‌زایی به صورت کلسیت رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی. (Cal: کلسیت، Chl: کلریت، Gn: گالن، Gth: گوتیت، Py: پیریت، Sp: اسفالریت، Vug: فضای خالی)

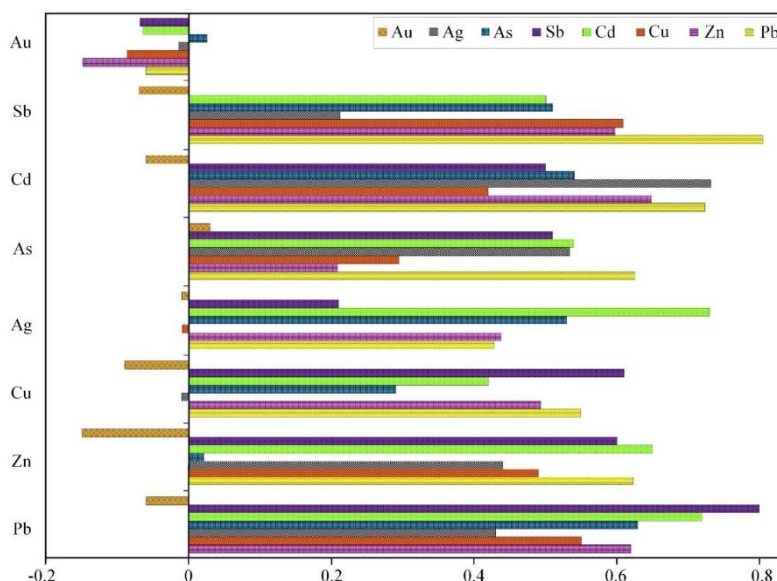
پیریت، کالکوپیریت، گالن و اسفالریت، کانی‌شناسی اصلی ماده معدنی در کانسار قیچاق هستند که با اندکی طلا، رآلگار، پسیلوملان و پیرولولزیت همراهی می‌شوند. کوارتز، سریسیت، کلریت و کلسیت مواد باطله در این کانسار هستند. مالاکیت، آزوریت، اسمیت‌زونیت، سروزیت، گوتیت، پیرولولزیت ثانویه و براونیت در اثر فرایندهای برون‌زاد تشکیل شده‌اند. ساخت و بافت کانسنگ شامل دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، برشی، پرکننده فضای خالی، شانه‌ای، کاکلی، گل‌کلمی، پوسته‌ای، پرماند، بازماندی، اسکلتی و جانشینی است. دگرسانی گرمایی در کانسار قیچاق شامل دگرسانی‌های سیلیسی، آرژلیک متوسط، کربناتی، کلریتی و پروپیلیتیک می‌باشد که در این میان، دگرسانی‌های سیلیسی، آرژلیک متوسط، کربناتی و کلریتی منطبق بر بخش‌های کانه‌دار بوده و دگرسانی پروپیلیتیک در خارج از بخش‌های کانه‌دار، سنگ‌های میزبان را تحت تأثیر قرار داده است.

ضرایب همبستگی عناصر کانه‌ساز در کانسار قیچاق در جدول ۱ و شکل ۴ نشان داده شده است. بر این اساس، طلا عملاً با هیچ یک از عناصر همبستگی مثبت نداشته و با برخی عناصر (مانند روی و مس) همبستگی منفی ضعیف نشان می‌دهد که با عیارهای بالای طلا در رگه‌های کوارتزی مجزا همخوانی دارد. نقره همبستگی مثبت ضعیف با آنتیموان (۰/۲۱)، همبستگی مثبت متوسط با سرب (۰/۴۳)، روی (۰/۴۴) و آرسنیک (۰/۵۳) و همبستگی مثبت قوی با کادمیم (۰/۷۳) دارد. همبستگی مثبت نقره با سرب و روی می‌تواند به حضور نقره در شبکه کانی‌های گالن و اسفالریت دلالت داشته باشد. نقره همبستگی مشخصی با طلا و مس

نشان نمی‌دهد. سرب همبستگی مثبت قوی با آنتیموان ($0/80$) و کادمیم ($0/72$)، همبستگی مثبت متوسط با آرسنیک ($0/63$) و روی ($0/62$)، مس ($0/55$) و نقره ($0/43$) نشان می‌دهد. همبستگی مثبت سرب، روی و مس با همراهی این عناصر در رگه‌های کوارتزی سرب و روی و مس‌دار در منطقه مطابقت دارد. روی همبستگی مثبت متوسط با کادمیم ($0/65$) نشان می‌دهد که این امر می‌تواند به دلیل شباهت ویژگی‌های شیمیایی Zn^{2+} با Cd^{2+} و جایگزینی کادمیم به جای روی در ساختار اسفالریت باشد. روی همبستگی مثبت متوسط با سرب ($0/62$) و آنتیموان ($0/60$) و مثبت ضعیف با مس ($0/49$)، نقره ($0/44$) و آرسنیک ($0/21$) دارد. مس همبستگی مثبت با آنتیموان ($0/61$)، سرب ($0/55$)، روی ($0/49$) و کادمیم ($0/42$) و همبستگی مثبت ضعیف با آرسنیک ($0/29$) دارد. مس با نقره و طلا همبستگی مشخصی نشان نمی‌دهد.

جدول ۱: ضرایب همبستگی عناصر برای نمونه‌های برداشت‌شده از رگه‌های کانه‌دار در کانسار قبچاق.

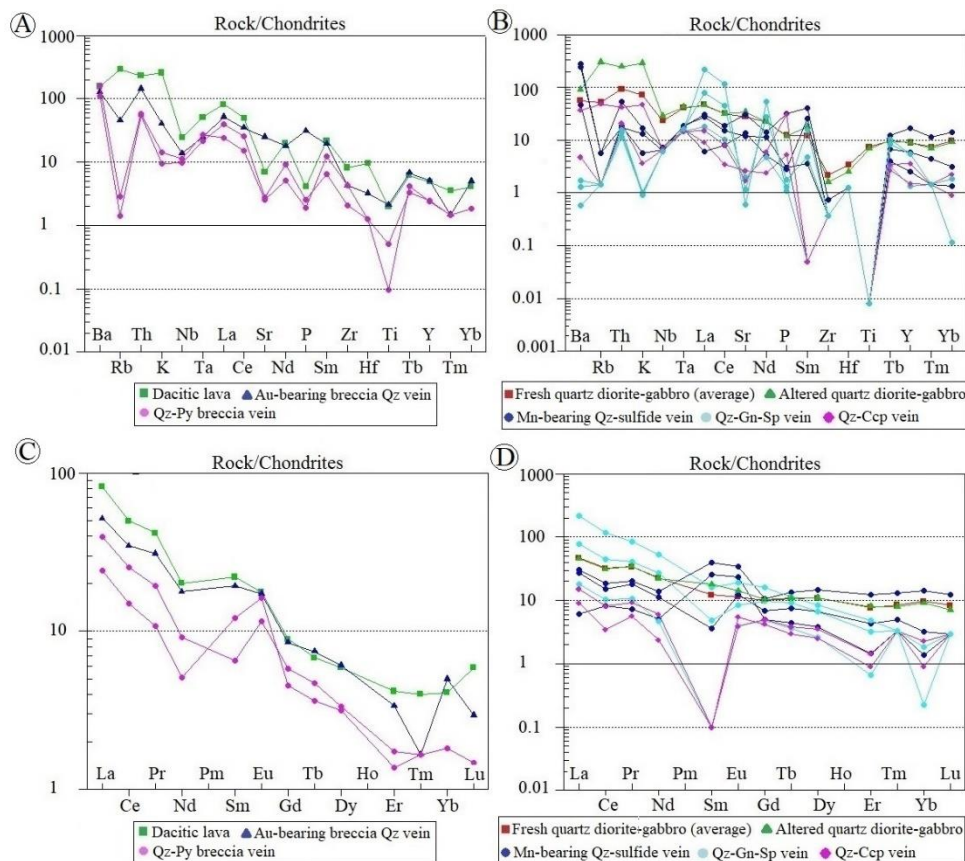
	Pb	Zn	Cu	Ag	As	Cd	Sb	Au
Pb	۱							
Zn	۰.۶۲	۱						
Cu	۰.۵۵	۰.۴۹	۱					
Ag	۰.۴۳	۰.۴۴	-۰.۰۱	۱				
As	۰.۶۳	۰.۲۱	۰.۲۹	۰.۵۳	۱			
Cd	۰.۷۲	۰.۶۵	۰.۴۲	۰.۷۳	۰.۵۴	۱		
Sb	۰.۸۰	۰.۶۰	۰.۶۱	۰.۲۱	۰.۵۱	۰.۵۰	۱	
Au	-۰.۰۶	-۰.۱۵	-۰.۰۹	-۰.۰۱	۰.۰۳	-۰.۰۶	-۰.۰۷	۱



شکل ۴: نمودار همبستگی عناصر کانه‌ساز برای نمونه‌های برداشت‌شده از رگه‌های کانه‌دار در کانسار قبچاق.

الگوی عناصر کمیاب برای نمونه‌های کانه‌دار مشابه و بیانگر تشکیل آنها در ارتباط با یک سیستم کانه‌زایی است. تفاوت‌های موجود در آنومالی‌های مثبت و منفی برخی عناصر در رگه‌های کانه‌دار بیانگر تفاوت کانی‌شناسی آنها می‌باشد. همچنین، الگوی عناصر کمیاب در نمونه‌های کانه‌دار تقریباً مشابه با الگوی این عناصر در گدازه داسیتی (شکل ۵-A) و توده کوارتزدیوریتی-گابرویی سالم و دگرسان‌شده (شکل ۵-B) است. در حالت کلی، نمونه‌های کانه‌دار در مقایسه با سنگ‌های میزبان از عناصر کمیاب تهی‌شدگی نشان می‌دهند که این امر می‌تواند در ارتباط با شسته‌شدن این عناصر طی فرایندهای دگرسانی و کانه‌زایی باشد. الگوی عناصر کمیاب خاکی در نمونه‌های کانه‌دار تقریباً شبیه به الگوی این عناصر در سنگ‌های میزبان است که این امر می‌تواند بیانگر نقش

احتمالی سنگ‌های میزبان در تامین عناصر برای کانه‌زایی باشد. الگوی عناصر کمیاب خاکی برای نمونه‌های برداشت‌شده از رگه برشی کوارتز- پیریت، رگه برشی کوارتز طلا دار و گدازه داسیتی، پرشیب با نسبت بالای عناصر کمیاب خاکی سبک به سنگین است (شکل ۵- C) در حالیکه الگوی این عناصر برای نمونه‌های برداشت‌شده از رگه کوارتز- سولفیدی منگنزدار، رگه کوارتز- گالن- اسفالریت، رگه کوارتز- کالکوپیریت و توده کوارتزدیوریتی- گابرویی سالم و دگرسان‌شده کم‌شیب بوده و دارای نسبت متوسط تا پایین عناصر کمیاب خاکی سبک به سنگین می‌باشد (شکل ۵- D).



شکل ۵: A و B: الگوی تغییرات عناصر کمیاب برای رگه‌های کانه‌دار، گدازه داسیتی و توده کوارتزدیوریتی- گابرویی سالم و دگرسان‌شده در کانسار قیچاق که نسبت به کندریت (Thompson, 1982). بهنجار شده‌اند. C و D: الگوی تغییرات عناصر کمیاب خاکی برای رگه‌های کانه‌دار، گدازه داسیتی و توده کوارتزدیوریتی- گابرویی سالم و دگرسان‌شده در کانسار قیچاق که نسبت به کندریت (Nakamura, 1974) بهنجار شده‌اند.

مقایسه شواهد زمین‌شناسی، کانه‌زایی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت در کانسار قیچاق با انواع کانسارهای فلزات پایه و گران‌بها نشان می‌دهد کانه‌زایی در این کانسار در دسته کانسارهای اپی‌ترمال (Hedenquist et al., 2000; Simmons et al., 2005) قرار دارد. مهم‌ترین شواهد این مقایسه عبارتند از: ۱- کانه‌زایی در کانسار قیچاق توسط ساختارهای گسلی کنترل شده است. ۲- دگرسانی‌های گرمایی در کانسار قیچاق با مجموعه سریسیت، ایلیت، کلسیت و کلریت در نزدیکی رگه‌های کانه‌دار مشخص می‌شود. ۳- کانه‌زایی در کانسار قیچاق شامل مجموعه کانیایی پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، طلا، رآلگار و کانی‌های منگنزدار (پسیلومان و پیرولولزیت) است که با مجموعه کانی‌های باطله کوارتز، سریسیت، کلریت و کلسیت همراهی می‌شوند. ۴- ساخت و بافت‌های کانه‌زایی اپی‌ترمال مانند رگه- رگچه‌ای، برشی، شانه‌ای، کاکلی، گل کلمی، پوسته‌ای، پرمانند و پُرکننده فضای خالی به خوبی در کانسار قیچاق توسعه یافته است. مقایسه این ویژگی‌ها با انواع کانسارهای اپی‌ترمال نشان می‌دهد که این مجموعه کانیایی، ساخت و بافت و الگوی دگرسانی بیشترین شباهت را با کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط (Einaudi et al., 2000; Hedenquist et al., 2000) دارد.

آرژلیک پیشرفته با مجموعه کانی‌های آلونیت، کائولینیت و پیروفیلیت و همچنین نبود مجموعه کانیایی آدولاریا، انارژیت، لوزونیت و تنانتیت در رگه کانه‌دار کانسار قیچاق بیانگر متفاوت بودن کانه‌زایی فلزات پایه و گران‌بها در کانسار قیچاق از کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین و بالا است. به علاوه، کانی‌های دگرسانی (مجموعه سریسیت، ایلیت، کلسیت و کلریت) در کانسار قیچاق جزء دگرسانی‌های گرمایی حرارت پایین تا متوسط هستند که شاخص کانی‌های دگرسانی در کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون متوسط می‌باشند (Hedenquist et al., 2000; Einaudi et al., 2003; Sillitoe and Hedenquist, 2003).

مراحل تکوین و تکامل کانسار قیچاق شامل یک توالی چهار مرحله‌ای است (شکل ۶-۱): مرحله نخست با تشکیل توالی‌های آتشفشانی - رسوبی ائوسن در منطقه همراه است (شکل ۶-۲). براساس مطالعات وردل و همکاران (Verdel et al., 2011)، سن توالی‌های مزبور را می‌توان ۴۹ تا ۴۱ میلیون سال در نظر گرفت. در مرحله دوم، مجموعه سنگ‌های ائوسن تحت تاثیر فازهای فشارشی پیرنه در ائوسن پایانی قرار گرفته و گسل‌ها، شکستگی‌ها و چین‌خوردگی‌های فراوانی در آنها ایجاد شده است (شکل ۶-۳). این ساختارها، معابر مناسبی را برای نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی در منطقه ایجاد کرده و طی آن به‌ترتیب توده‌های کوارتزیدیوریتی - گابرویی و گرانیتی - آلکالی گرانیتی الیگوسن (اسدیان و همکاران، ۱۳۷۲) در واحدهای سنگی ائوسن نفوذ کرده‌اند. مرحله سوم با نفوذ گنبدی نیمه‌آتشفشانی داسیتی - ریوداسیتی به داخل مجموعه آتشفشانی و نفوذی ائوسن - الیگوسن مشخص می‌شود (شکل ۶-۴). هرچند داده‌های سن‌سنجی برای این گنبدی در دسترس نیست اما براساس روابط صحرایی، در نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (بهریزی و همکاران، ۱۳۷۵)، سن گنبدی مزبور الیگومیوسن لحاظ شده است. رخنمون این گنبدی در بخش‌های باختری منطقه و در اطراف کانه‌زایی‌های اپی‌ترمال فلزات پایه و گران‌بهای قرزل‌احمد، کورملا و تیکمه‌داش قابل مشاهده است که احتمالاً می‌تواند بیانگر ارتباط زمانی و مکانی این گنبدی و کانه‌زایی‌های اپی‌ترمال باشد. چنین ارتباطی برای کانه‌زایی‌های اپی‌ترمال فلزات پایه و گران‌بهای موجود در زیرپهنه طارم - هشتجین توسط محققین مختلف (Kouhestani et al., 2018, 2019a, b, 2020, 2022a, b) بیان شده است. گنبدی نیمه‌آتشفشانی داسیتی - ریوداسیتی به‌عنوان موتور حرارتی عمل کرده و سبب چرخش آب‌های جوی در منطقه شده‌اند. این آب‌ها علاوه بر توسعه پهنه‌های دگرسانی در منطقه، سبب شسته‌شدن عناصر فلزی از سنگ‌های مسیر و تمرکز مجدد آنها به‌صورت رگه‌های سیلیسی - سولفیدی کانه‌دار شده است (شکل ۶-۵). بررسی داده‌های زمین‌شیمی نیز بیانگر شباهت الگوی بهنجار شده عناصر کمیاب و کمیاب خاکی در نمونه‌های برداشت شده از رگه‌های کانه‌دار و سنگ‌های میزبان است (شکل ۵) که نشان می‌دهد بخشی از عناصر کانه‌ساز از شستشوی سنگ‌های میزبان تأمین شده است. مطالعات ایزوتوپی انجام شده بر روی کانه‌زایی‌های اپی‌ترمال نشان می‌دهد که سیالات مسئول کانه‌زایی و دگرسانی در این کانه‌زایی‌ها مخلوطی از سیالات ماگمایی و جوی بوده و گوگرد و مواد معدنی توسط توده‌های نفوذی و سنگ‌های میزبان تأمین شده‌اند (Hedenquist et al., 2000; Sillitoe and Hedenquist, 2003; Wang et al., 2019). لذا احتمال اینکه بخشی از ماده معدنی و سیالات گرمایی از گنبدی نیمه‌آتشفشانی داسیتی - ریوداسیتی منشأ گرفته باشد نیز وجود دارد. مرحله چهارم با بالا آمدگی منطقه و توسعه فرایندهای هوازدگی و فرسایش همراه بوده و طی آن ریخت‌شناسی امروزی منطقه حاصل شده است (شکل ۶-۵).

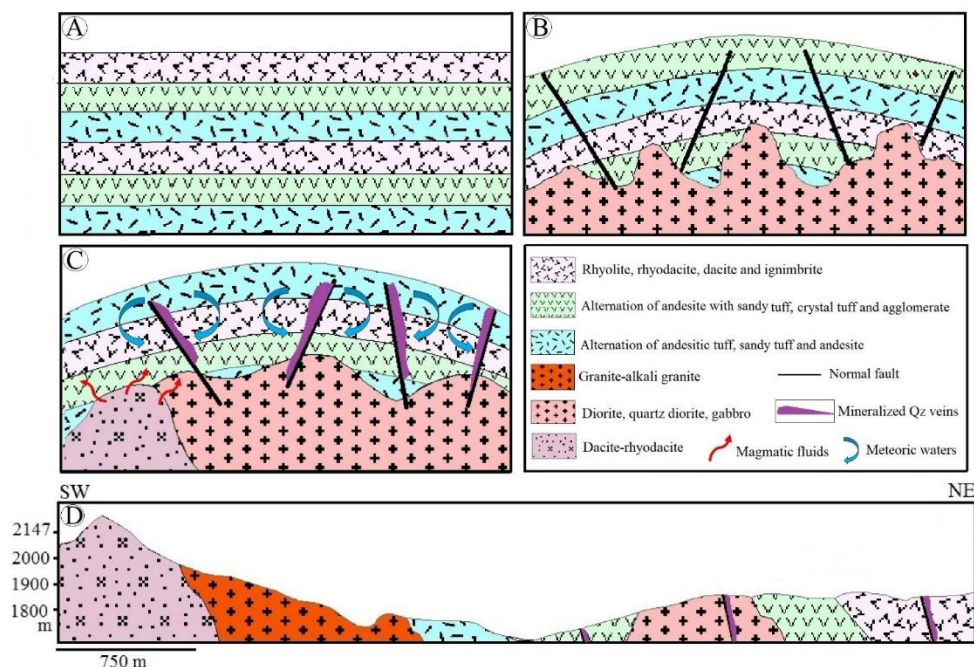
نتیجه‌گیری

۱- شواهدی از قبیل مشاهدات صحرایی، ساخت و بافت، سنگ میزبان، پاراژنز، زمین‌شیمی و الگوی دگرسانی‌ها در کانسار قیچاق نشان می‌دهد که این کانسار از نوع کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون متوسط بوده و از این نظر قابل مقایسه با کانه‌زایی‌های اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون متوسط در ایران است.

۲- تشابه روند الگوی بهنجار شده عناصر کمیاب و کمیاب خاکی در رگه‌های کانه‌دار بیانگر تشکیل آنها در ارتباط با یک سیستم کانه‌زایی می‌باشد.

۳- ژئومتری رگه‌های کانه‌زایی در کانسار قیچاق نشان می‌دهد که ساختارهای گسلی معبر اصلی برای عبور جریان سیالات کانه‌ساز بوده‌اند. این رگه‌ها ارتباط نزدیکی با پهنه‌های دگرسانی سیلیسی، آرژلیک متوسط، کربناتی و کلریتی دارند. از این رو،

مطالعات دورسنجی از طریق تلفیق داده‌های مربوط به روند‌های تکتونیکی، دگرسانی و سنگ میزبان می‌تواند از نظر اکتشاف کانسارهای اپی‌ترمال در این منطقه حائز اهمیت باشد.



شکل ۶: تصویر شماتیک از مراحل تکوین و تکامل کانه‌زایی در کانسار قیچاق. A: تشکیل توالی آتشفشانی ائوسن. B: چین‌خوردگی واحدهای سنگی ائوسن طی فاز کوه‌زایی پیرنه (ائوسن بالایی) و نفوذ توده‌های کوارتز دیوریت-گابرو و گرانیت-آلکالی گرانیت الیگوسن به داخل آنها. C: نفوذ گنبد‌های نیمه‌آتشفشانی داسیت-ریوداسیت الیگومیوسن به داخل واحدهای سنگی ائوسن و الیگوسن. نفوذ این گنبد‌های نیمه‌آتشفشانی سبب چرخش آب‌های جوی و شکل‌گیری کانه‌زایی به صورت رگه‌های سیلیسی-سولفیدی کانه‌دار درون واحدهای آتشفشانی و نفوذی منطقه شده است. D: بالآمدگی ناحیه‌ای و توسعه فرایندهای هوازدگی و فرسایش.

مراجع

اسدیان، ع.، امینی فضل، ع.، خدابنده، ع.ا.، ۱۳۷۲. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ترکمن‌چای-قره‌چمن. سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
بهروزی، ع.، امینی فضل، ع.، امینی آذر، ر.، ۱۳۷۵. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بستان‌آباد. سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.

- Einaudi, M.T., Hedenquist, J.W. and Inan, E.E., 2003. Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments. In: Simmons, S.F. & Graham, I. (eds.), Volcanic, geothermal, and ore-forming fluids: rulers and witnesses of processes within the earth. Society of Economic Geologists, Littleton, 285–313.
- Gemmell, J. B., 2004. Low- and intermediate-sulfidation epithermal deposits. In: Cooke, D.R., Deyel, C.L. & Pongratz, J. (eds.), 24 Ct Gold Workshop. University of Tasmania, Hobart, Australia, 57–63.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. and Gonzalez-Urien, E., 2000. Exploration for epithermal gold deposits. In: Hagemann, S.G. & Brown, P.E. (eds.), Gold in 2000. Society of Economic Geologists, Littleton, 245–277.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M.A.A., Chang, Z. and Johnson, A.C., 2018. Intermediate-sulfidation type base metal mineralization at Aliabad-Khanchy, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. Ore Geology Reviews, 93: 1–18.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M.A.A., Qin, K.Z. and Zhao, J.X., 2019a. Fluid inclusion and stable isotope constraints on ore genesis of the Zajkan epithermal base metal deposit, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. Ore Geology Reviews, 109: 564–584.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M.A.A., Qin, K.Z. and Zhao, J.X., 2019b. Origin and evolution of hydrothermal fluids in the Marshoun epithermal Pb-Zn-Cu (Ag) deposit, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. Ore Geology Reviews, 113: 103087.

- Kouhestani, H., Mokhtari, M.A.A., Qin, K.Z. and Zhang, X.N., 2020. Genesis of the Abbasabad epithermal base metal deposit, NW Iran: Evidences from ore geology, fluid inclusion and O-S isotopes. *Ore Geology Reviews*, 126: 103752.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M.A.A. and Zhang, X.N., 2022a. Fluid inclusion and stable isotope constraints on the genesis of epithermal base-metal veins in the Armaqan Khaneh mining district, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. *Australian Journal of Earth Sciences*, 69 (6): 844–860.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M.A.A., Chang, Z., Qin, K.Z., Aghajani Marsa, S., 2022b. Fluid inclusion, zircon U-Pb geochronology, and O-S isotopic constraints on the origin and evolution of ore-forming fluids of the Tashvir and Varmazyar epithermal base metal deposits, NW Iran. *Frontiers in Earth Sciences*, 10: 990761
- Nakamura, N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in Carbonaceous and Ordinary Chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38 (5): 757–775.
- Sillitoe, R. H. and Hedenquist, J. W., 2003. Linkages between volcano-tectonic settings, ore fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits. In: Simmons, S.F. & Graham, I. (eds.), *Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids: Rulers and Witnesses of Processes Within the Earth*. Economic Geology Special Publication 10, Littleton, 315–343.
- Simmons, S.F., White, N.C. and John, D.A., 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. In: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J. & Richards, J.P. (eds.), *One Hundredth Anniversary Volume*. Society of Economic Geologists, Littleton, 485–522.
- Thompson, R.N., 1982. Magmatism of the British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology*, 18 (1): 49–107.
- Verdel, C., Wernicke, B.P., Hassanzadeh, J. and Guest, B., 2011. A Paleogene extensional arc flare-up in Iran. *Tectonics* 30 (3).
- Wang, L., Qin, K.Z., Song, G.Y. and Li, G.M., 2019. A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification. *Ore Geology Reviews*, 107: 434–456.