



کانی‌شناسی اورانیم در کانسار تالمسی، ناحیه انارک، ایران مرکزی

خالق خشنودی*^{ID}، سمانه ضیاپور^{ID}

پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران - ایران

*Email: kkhoshnoodi@aeoi.org.ir

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۸/۲۱ تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۱۸

چکیده

کانسار تالمسی در حدود ۳۰ کیلومتری غرب شهر انارک و ۲۰۰ کیلومتری شرق اصفهان و در ناحیه انارک در زون ساختاری ایران مرکزی واقع شده است. سنگ میزبان اصلی کان‌زایی در کانسار تالمسی، آندزیت تا آندزیت بازالت است. مطالعات کانی‌شناسی توسط میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی حاکی از وجود حداقل چهار مرحله کان‌زایی در کانسار تالمسی است. مرحله اول شامل کان‌زایی مس سولفیدی شکافه پرکن در ارتباط با ولکانیسم ائوسن است. مرحله دوم به صورت کان‌زایی آرسنیدی رگه‌ای یا تزریقی نیکل-مس بوده و کانی اصلی در این مرحله نیکلین همراه با مقادیر فرعی کالکوسیت و پیریت است. در مرحله سوم با افزایش مقدار آرسنیک، آرسنیدهای نیکل، کبالت و مس (دومیکیت، راملزبریت، سافلوریت، اسکوترودیت، کوتیکیت، کوتینائیت) و مقادیر فرعی سولفید مس (کالکوسیت) همراه با کانی‌های اورانیم شامل اورانینیت، برانریت و کافینیت نهشته شده‌اند. در مرحله آخر با هجوم سیالات اکسیدان، کانی‌های مراحل قبل توسط آرسنات‌های نیکل (مانند زانتیوسیت) و مس و کانی‌های ثانویه اورانیم جانشین شده‌اند. در حین این مرحله کانی‌های اولیه اورانیم به کانی‌های ثانویه اورانیم مانند آرسنات اورانیم (چادویکیت)، آرسنات مس-اورانیم (کوپروسکلودوسکیت، زئونریت)، سیلیکات کلسیم-اورانیم (اورانوفان)، کربنات اورانیم (رادرفوردین)، کربنات کلسیم-اورانیم (شارپیت) و فسفات کلسیم-اورانیم (اوتونیت) تبدیل شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: کانسار تالمسی، ناحیه انارک، کان‌زایی اورانیم

Uranium mineralogy in the Talmessi deposit, Anark district, Central Iran

Kh. Khoshnoodi*, S. Ziapour

Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 11365-8486, Tehran - Iran

Research Article

Received: 12.11.2023,

Revised: 26.12.2023,

Accepted: 8.1.2024

Abstract

The Talmessi deposit is located approximately 30 km west of Anarak city and 200 km east of Isfahan, in the Anark district within the structural zone of Central Iran. The main host rock for mineralization in the Talmessi deposit is andesite to andesite-basalt. Mineralogical studies conducted using a field emission electron microscope indicate the presence of at least four stages of mineralization in the Talmessi deposit. The first stage involves fissure-filling copper sulphide mineralization, which is related to Eocene volcanism. The second stage presents itself in the form of nickel-copper vein arsenide mineralization, with the primary mineral being nickeline, accompanied by minor amounts of chalcocite and pyrite. In the third stage, nickel, cobalt, and copper arsenides (such as domeykite, rammelsbergite, safflorite, skutterudite, koutekite, and kutinaite) are deposited, along with minor amounts of copper sulfide (chalcocite), as well as uranium minerals including uraninite, brannerite, and coffinite. During the final stage, as oxidant fluids infiltrate, the minerals from the previous stages are replaced by nickel arsenates (such as xanthiosite), copper arsenates, and secondary uranium minerals. Primary uranium minerals undergo a transformation into secondary uranium minerals, such as uranium arsenate (chadwickite), copper-uranium arsenate (cuprosklodowskite, zeunerite), calcium-uranium silicate (uranophane), uranium carbonate (rutherfordine), calcium-uranium carbonate (sharpite), and calcium-uranium phosphate (autunite).

Keywords: Talmessi deposit, Anarak area, Uranium mineralization



۱. مقدمه

ذخایر رگه‌ای گرمایی چندفلزی متعددی از Cu-Bi-Co-Ni-As در ارتباط با ماگماتیسیم سنوزوئیک در کمان ماگمایی ارومیه- دختر وجود دارد [۱-۳]. همچنین ذخایر رگه‌ای چندفلزی در کشورهای مختلفی از جمله آلمان، چک، کانادا، مراکش و سوئیس گزارش شده است [۲]. در این ذخایر، وجود فلزات طبیعی باارزش مانند نقره و طلا و همچنین عنصر راهبردی اورانیم همراه با آرسنیدها و سولفوآرسنیدهای نیکل-کبالت- آهن سبب شده که این ذخایر با تناژ کم و عیار بالا در صنعت معدن‌کاری در گذشته به عنوان اهداف پرجاذبه در نظر گرفته شوند [۲-۳]. ناحیه انارک از مناطق دارای سابقه طولانی فعالیت‌های معدنی در ایران مرکزی است که بیش از ۱۵۰ کانسار و اندیس در این ناحیه شناسایی شده است. در این منطقه حدود ۴۰ اندیس مس و مس-نیکل-کبالت شناسایی شده است و همچنین کانی‌های آرسنیک، آنتیموان، روی، نقره و به مقدار کمتر طلا و اوانیم مشاهده شده است. ترکیب کانیایی و جایگاه زمین‌شناسی این ذخایر مشابه با تشکیلات پنج عنصری است [۴، ۵]. منطقه‌بندی مشخصی از کانسارها در ناحیه فلزایی انارک وجود دارد که از غرب به شرق سه نوع کانسار مس قابل تشخیص است: ۱) کانه‌زایی مس در ارتباط با ولکانیک‌های ائوسن، ۲) کانه‌زایی مس-نیکل-کبالت-اورانیم با نسبت $Cu/(Ni+Co)$ از ۲ تا ۵۰ همراه با سنگ‌های ولکانیکی، ۳) کانه‌زایی مس-نیکل-کبالت-آرسنیک با نسبت متغیر $Cu/(Ni+Co)$ ۰/۰۲ در فاصله ۵ تا ۲۰ کیلومتری از ولکانیک‌های ائوسن [۵]. کانه‌زایی مس در انارک عمدتاً متأثر از ولکانیسم و به طور کلی ماگماتیسیم ائوسن وابسته به فروورانش می‌باشد که چه از نظر ایجاد سیالات گرمایی و چه از نظر موتور حرارتی نقش مؤثری ایفا نموده است [۵، ۶].

کانسار تالمسی در ناحیه فلزایی انارک و در طول جغرافیایی $27^{\circ} 53'$ شرقی و عرض جغرافیایی $33^{\circ} 23'$ شمالی قرار دارد. این کانسار در حدود ۲۰۰ کیلومتری شرق اصفهان و ۳۰ کیلومتری غرب انارک به دلیل وجود کانه‌زایی مس، نیکل، کبالت، آرسنیک و اورانیم از دیرباز مورد توجه محققان و معدن‌کاران بوده است. از نظر تقسیمات زمین‌شناختی ایران، این منطقه در محل تلاقی دو خطواره اصلی یعنی گسل درونه با روند شرقی-شمال شرقی و کمر بند تکتونوماگمایی ارومیه دختر با روند شمال غربی واقع شده است [۴، ۷].

باریاند [۸] و سارکیا و سارکیا [۹] برای اولین بار به کانه‌زایی اورانیم در کانسارهای تالمسی و مسکنی اشاره نمودند. کارشناسان شرکت تکنواکسپورت (۱۹۷۹-۱۹۷۶) به بررسی کانه‌زایی‌های چندفلزی در ناحیه انارک پرداختند و کانه‌زایی مس-نیکل-کبالت را در کانسارهای تالمسی و مسکنی در عمق شناسایی کردند. کانه‌زایی در کانسار تالمسی به همراه سیستم گسل‌های کوچک در سنگ‌های ولکانیکی دگرسن شده به سن ائوسن زیرین که به ولکانیک‌های گرگاب مشهورند، رخ داده است و کانه‌زایی در شمال و جنوب توسط یک سری گسل با امتداد شمال غربی و شمال شرقی محدود شده است [۴، ۷، ۱۰].

به عقیده تارکیان و همکاران [۱۰] و باقری [۴]، کانه‌زایی در این کانسار در دو دوره زمانی مجزا در ارتباط با ماگماتیسیم ترشیری اتفاق افتاده است. کانه‌زایی سولفیدی مس در ارتباط با کمپلکس‌های ولکانیکی (شوشونیت‌های عشین) ائوسن بوده (نوع ولکانوژنیک) و ساختارهای تکتونیکی ائوسن میانی کنترل‌کننده آن هستند. کانه‌زایی مس-نیکل-کبالت-نقره-بیسموت-اورانیم نیز احتمالاً در ارتباط با ماگماتیسیم گرانیته دوران با سن میوسن است. براساس نظر این محققان، کانه‌زایی در کانسار تالمسی با کمپلکس‌های ولکانیکی ائوسن (شوشونیت‌های عشین) ارتباط تنگاتنگی دارد و از انواع ولکانوژنیک است [۴، ۵، ۱۰، ۱۱]. علی‌رغم انجام مطالعات قبلی بر روی این کانسار [۴-۱۳]، تاکنون مطالعات کانی‌شناسی دقیق بر روی کانه‌زایی اورانیم در کانسار تالمسی انجام نشده است و فقط به حضور پیچبلند در این کانسار اشاره شده است. در این مقاله سعی بر این است تا با استفاده از مطالعات کانی‌شناسی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی، مراحل مختلف کانه‌زایی در کانسار تالمسی و کانی‌های میزبان اورانیم شناسایی شود.

۲. زمین‌شناسی

منطقه تالمسی با مساحت حدود ۹۰ کیلومتر مربع در حاشیه غربی کوه دره انجیر و کوه عشین و در حاشیه شمالی محدوده گسل بزرگ کویر قرار داد. کانسار تالمسی در بلوک انارک-خور جای گرفته است که مهم‌ترین و قدیمی‌ترین بلوک‌های تکتونیکی در ناحیه انارک است. بلوک انارک-خور دارای گسترش ۲۵۰ کیلومتری از جنوب غرب تا شمال غرب و عرض حدود ۶۰ کیلومتری است که قسمت جنوب غربی آن در انارک

Journal of Nuclear Science, Engineering and Technology
Vol. 46 (1), Serial Number 111, 2025, P 37-46

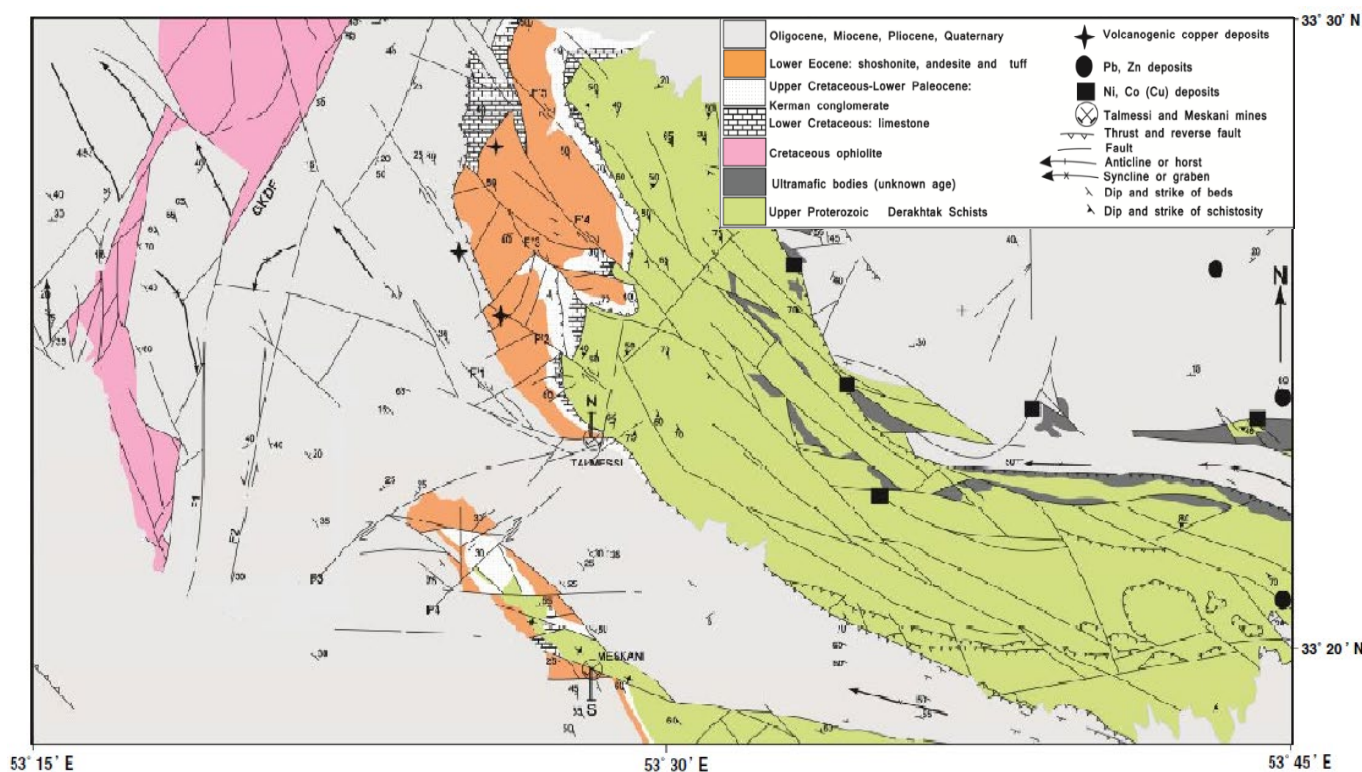


دانه و تحکیم نیافته و لایه‌های کنگلومرای درشت دانه و قلوه سنگ‌ها با گسترش نسبتاً زیاد، منطقه را پوشانده است [۴، ۷].

کانه‌زایی در کانسار تالمسی تحت کنترل و عملکرد دو دسته گسل با امتداد شمال‌غربی- جنوب شرقی از نوع معکوس با جابه‌جایی چپ‌گرد در جنوب غرب کانسار و با امتداد شمال شرقی به عنوان گسل‌های ثانویه با جابه‌جایی اندک اتفاق افتاده است. به طور کلی محل برخورد این دو نوع گسل دارای دگرسانی شدید و تمرکز کانه‌زایی است [۴]. بنابراین، احتمالاً حوضه‌های کشتی ایجاد شده در محل برخورد برای مدت زمان طولانی قادر به بقا نبوده‌اند و مجاری بزرگ‌تر و منفرد که به انتقال ماگما و سیالات گرمایی همراه با یکدیگر منجر شده، به مجاری کوچک‌تر تبدیل می‌شوند. این مجاری کوچک تنها به عنوان مجرای برای به گردش در آوردن سیالات جوی عمل کرده که ماگما در آن تنها نقش یک موتور حرارتی را ایفا می‌کند. این پدیده به شکل‌گیری منطقه کانه‌زایی با چندین کانسار کوچک مشابه در محل برخورد دو گسل در منطقه انارک منجر شده است [۱۴]. توده معدنی دارای شکل هرمی بوده که به سمت عمق گسترش آن کم می‌شود. کانه‌زایی به صورت پراکنده در متن سنگ و به‌صورت رگه‌های باریک تا متوسط ضخامت (حداکثر ۱۵ سانتی‌متر) اتفاق افتاده است [۴].

قرار گرفته است. نقشه زمین‌شناسی ساده شده ناحیه انارک در شکل ۱ ارائه شده است. سنگ‌های دگرگونی شامل شیست سبز و اپیدوت آمفیبولیت سازند درختک، پی‌سنگ منطقه با سن پروتروزوئیک بالایی- پالئوزوئیک زیرین را تشکیل داده است که بر روی آنها کنگلومرای کرمان با سن پالئوسن به طور دگرشیب قرار گرفته است. کنگلومرای کرمان یک کنگلومرای پلی‌ژنتیک با قطعات ریز و درشت گرد شده و نیمه گردشده از سنگ‌های دگرگونه و سنگ آهک خاکستری کرتاسه در یک زمینه ماسه سنگی- آهکی می‌باشد. متعاقب آن واحد ضخیم آندزیتی (آندزیت- تراکی آندزیت- آندزی بازالت) با سن ائوسن (سازند گرگاب) قرار دارد که گسترش و ضخامت این واحدهای ائوسن در غرب و شمال غرب کانسار قابل ملاحظه می‌باشد. توده آندزیتی مذکور میزبان کانه‌زایی است که به شدت تحت تأثیر دگرسانی آرژیلیکی و کربناتی قرار گرفته است [۴-۷].

این توده آندزیتی توسط یک توده ضخیم از کنگلومرای ولکانیکی خاکستری پالئوسن به همراه مارن و توف، لایه‌های منظمی از آهک قهوه‌ای و کنگلومرا با سن ائوسن بالایی- الیگوسن زیرین و آهک‌های ضخیم لایه فسیل‌دار به سن الیگوسن میانی تا بالایی پوشانده شده است. در نهایت نهشته‌های کوارترنری متشکل از لایه‌های ماسه سنگی درشت



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه [۱۲].



۳. روش کار

پس از بررسی صحرایی و بازدید از محدوده کانسار و تونل‌های معدن تالمسی، تعداد ۲۷ نمونه از واحدهای پرتوزا برداشت شد. پس از بررسی ماکروسکوپی نمونه‌ها، مطالعات دقیق کانی‌شناسی بر روی ۱۲ مقطع صیقلی و نازک- صیقلی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی مدل FESEM SIGMA/VP-ZEISS در مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد.

۴. کانه‌زایی

سنگ میزبان کانه‌زایی در کانسار تالمسی، آندزیت تا آندزیت بازالت است. زمینه سنگ میزبان عمدتاً از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز، کانی اوپک، آلکالی فلدسپار و کربنات تشکیل شده است. بافت اصلی سنگ میزبان پورفیری، بادامکی و جریان‌ی بوده و فنوکریست‌ها عمدتاً از پلاژیوکلاز و گاهی آلکالی فلدسپار، آمفیبول، کلینوپیروکسن و اولوین تشکیل شده‌اند. حفره‌ها نیز عمدتاً با کلسیت و کوارتز پر شده است. دگرسانی کربناته و سیلیسی شدن به شکل جانیشینی و رگچه‌ای قابل مشاهده است [۴، ۷].

براساس مطالعات باقری و همکاران [۵]، کانه‌زایی در کانسار تالمسی در دو مرحله اصلی رخ داده است. اولین مرحله شامل کانه‌زایی سولفیدی مس به صورت شکافه پرکن (رگه، رگچه‌ای و استوک ورک) از نوع آتشفشان‌زاد و مرتبط با ولکانیسم ائوسن است. در مرحله دوم با فاصله نسبتاً زیاد نسبت به مرحله اول و در دوران میوسن، کانه‌زایی چند فلزی Cu-Ni-Co-As-U به صورت تلسکوپی و کانی‌های آرسنیدی نیکل، کبالت و مس و اکسیدهای اورانیم بر روی مرحله اول نهشته شده است. مطالعات کانی‌شناسی انجام شده در این پژوهش نشان داد که کانه‌زایی در کانسار تالمسی در چهار مرحله رخ داده است.

۱.۴ مرحله کانه‌زایی سولفیدی مس

مرحله اول، کانه‌زایی سولفیدی مس در ارتباط با ولکانیسم ائوسن اتفاق افتاده است. کانه‌زایی سولفیدی به صورت رگه‌های نازک عمدتاً در سطوح عمیق کانسار متشکل از بورنیت، کالکوپیریت، دیژنیت، کالکوسیت، تتراهدریت و پیریت رخ داده است. کوارتز و کلریت، کانی‌های باطله اصلی این مرحله کانه‌زایی هستند. کانه‌زایی سولفیدی به ندرت به صورت توده‌های نامنظم ضخیم‌تر نیز دیده شده است. بورنیت‌ها دارای تیغه‌های برون رستی کالکوسیت هستند و یا به صورت درهم‌رشدی با دیژنیت و

کالکوپیریت وجود دارند. در برخی موارد، کالکوپیریت جایگزین بورنیت شده است. در این مرحله، کالکوسیت به صورت بلورهای بزرگ بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار تشکیل شده است که در ادامه گاهی از حاشیه توسط کوولیت جانشین شده است [۴].

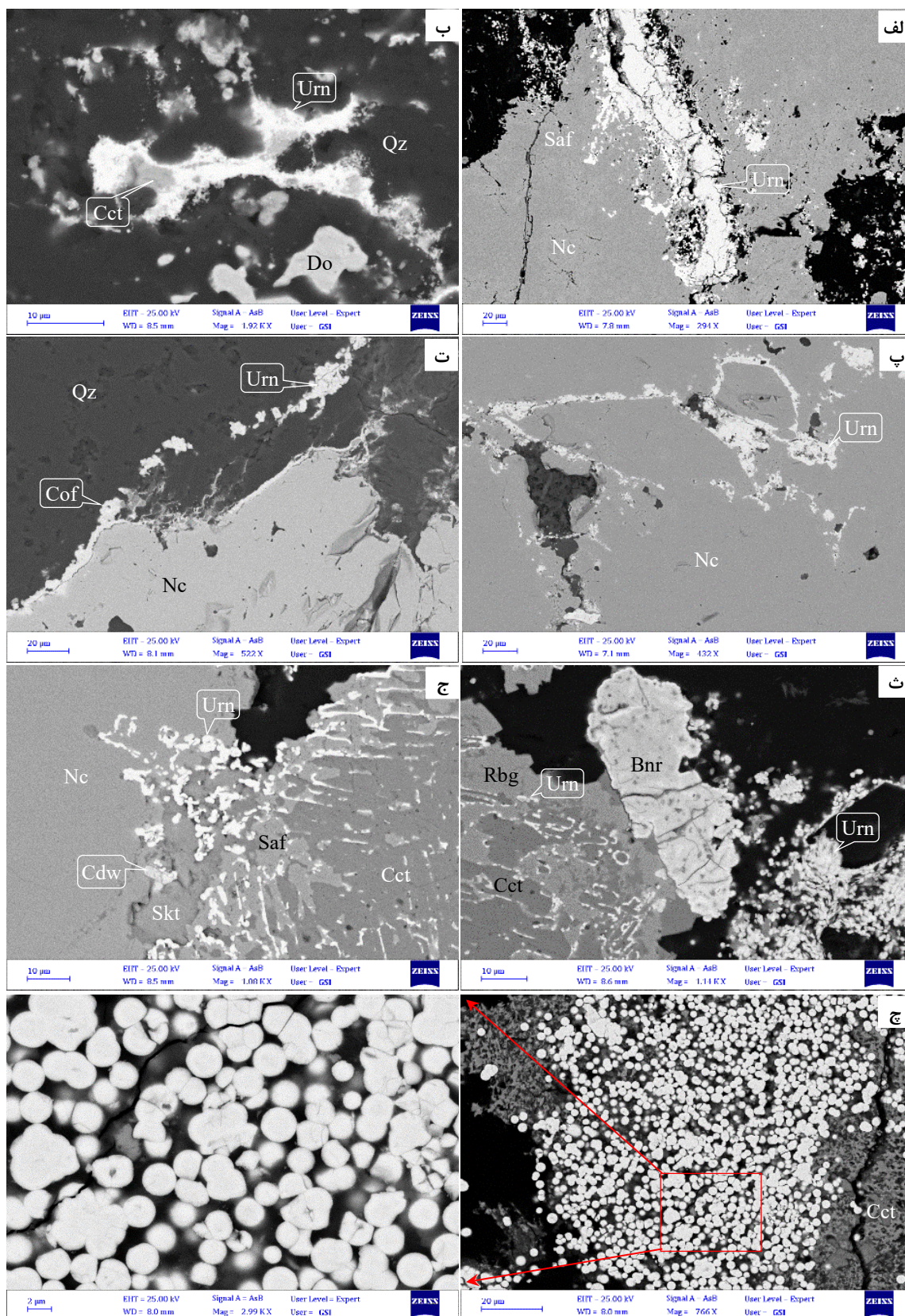
۲.۴ مرحله کانه‌زایی آرسنیدی مس- نیکل- کبالت

آرسنیدهای نیکل- کبالت اغلب در ذخایر سولفیدی ماگمایی تشکیل می‌دهند، اما در ذخایر رگه‌ای گرمابی غنی از آرسنیک نیز از فراوانی بالایی برخوردارند و می‌توانند با سایر عناصر مانند بیسموت، آرسنیک، نقره و اورانیم همراه باشند [۱۵-۱۷]. این گونه سیستم‌ها تحت عنوان ذخایر رگه‌ای پنج عنصری شناخته می‌شوند [۱۵-۱۸]. کانه‌زایی آرسنیدی در کانسار تالمسی به صورت رگه‌های بسیار نازک و یا به صورت تزریقی در سنگ‌ها اتفاق افتاده است. این مرحله کانه‌زایی در ارتباط با سیالات حاوی مقادیر بالا نیکل و آرسنیک است. نیکلین فراوان‌ترین کانی در این مرحله است که معمولاً به صورت تجمعی از بلورهای نسبتاً بزرگ دیده می‌شود (شکل ۲-الف، پ، ت). نیکلین گاهی نیز با ابعاد کوچک و بی‌شکل تشکیل شده است. کالکوسیت و پیریت نیز در مقادیر کمی در این مرحله تشکیل شده‌اند. کانی کالکوسیت تحت هجوم سیالات نیکل‌دار قرار گرفته و در حال جانشین شدن با نیکلین است. کانی‌های باطله همراه با رگه‌های این مرحله آرسنیدی شامل کوارتز، کلسیت و آنکريت و مقادیر فرعی کلریت است.

۳.۴ مرحله کانه‌زایی نیکل، کبالت و اورانیم

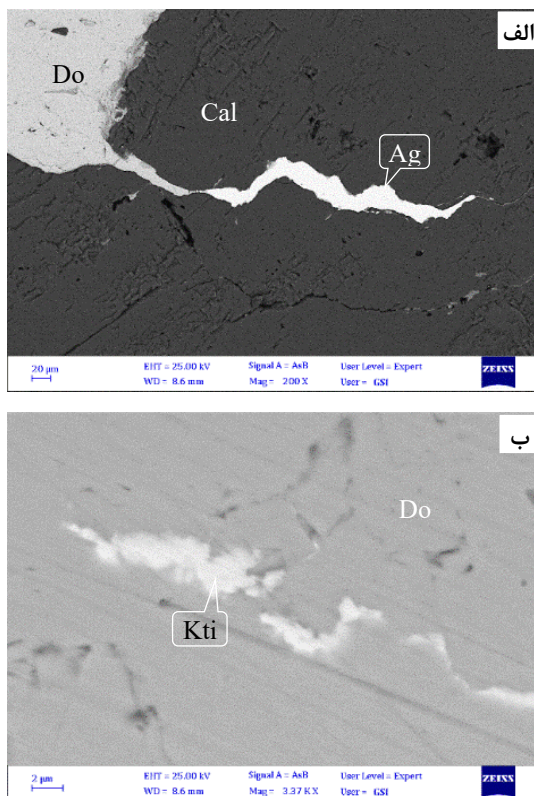
این مرحله با افزایش مقدار آرسنیک در ترکیب کانی‌های آرسنیدی نیکل و کبالت و تشکیل کانی‌های درون‌زاد اورانیم شامل اورانینیت $\{UO_2\}$ ، برانریت $\{UTi_2O_6\}$ و کافینیت $\{U(SiO_4).nH_2O\}$ مشخص می‌شود (شکل‌های ۲، ۴ و ۵). در این مرحله کانی‌های آرسنیدی نیکل مانند سافلوریت، راملزبرژیت و اسکوترویدیت به صورت زون‌بندی متحدالمرکز در اطراف بلورهای نیکلین نسبتاً بزرگ مرحله قبل تشکیل شده‌اند. گاهی نیز اسکوترویدیت و سافلوریت غایب بوده و نیکلین مستقیماً توسط راملزبرژیت احاطه شده است. وجود کانی راملزبرژیت در اطراف و حاشیه نیکلین حاکی از افزایش مقدار آرسنیک نسبت به نیکل در سیالات کانه‌زا است (شکل ۲-ث). سافلوریت‌ها در این کانسار فقیر از آهن هستند. در این مرحله نیکلین گاهی توسط کالکوسیت جانشین شده است (شکل ۲-ث).





شکل ۲. تصاویر BSE از، الف) پر شدن شکستگی نیکلین توسط اورانینیت همزمان با سافلوریتی شدن آن، ب) پارائز اورانینیت با کالکوسیت و دومیکیت، پ) رگچه اورانینیت در نیکلین که حاکی از تقدم تبلور نیکلین است، ت) رگچه اورانینیت و کافینیت در حاشیه نیکلین و در زمینه کوارتز، ث) پارائز اورانینیت و برانریت با کالکوسیت و راملزبرژیت، ج) پارائز اورانینیت با سافلوریتی و اسکوترویدیت، چ) بلورهای ریز پیچبلند با بافت فرامبوئیدال (Bnr): برانریت، Cct: کالکوسیت، Cdw: چادوئیکیت، Cof: کافینیت، Do: دومیکیت، Nc: نیکلین، Qz: کوارتز، Rbg: راملزبرژیت، Saf: سافلوریت، Skt: اسکوترویدیت، Urn: اورانینیت).





شکل ۳. تصاویر BSE از، الف) رگه‌های نقره طبیعی در کلسیت، ب) رگچه کوتینائیت در دومیکیت (Cal: کلسیت، Do: دومیکیت، Kti: کوتینائیت).

۴.۴ مرحله سوپرژن

این مرحله با تشکیل آرسنات‌های مس و اورانیم مشخص می‌شود. در این مرحله، کانی‌های آرسنیدی مراحل قبل تحت تأثیر سیالات اکسیدان قرار گرفته و توسط کانی‌های آرسناتی جانشین شده‌اند. آرسنیدهای نیکل و مس توسط آرسنات نیکل و مس جانشین شده‌اند (شکل ۴-الف تا پ). دومیکیت و راملزبرژیت پاراژن با کانه‌زایی اورانیم در این مرحله به ترتیب به آرسنات مس و آرسنات نیکل (مانند زانتیوسیت) تبدیل شده‌اند (شکل ۴-الف تا پ). طی این مرحله کانی‌های اولیه اورانیم نیز توسط کانی‌های ثانویه اورانیم جانشین می‌شوند (شکل‌های ۴ و ۵). چادویکیت $\{(\text{UO}_2)(\text{HAsO}_4)\}$ بر اثر دگرسانی جانشین برانریت و اورانینیت شده است (شکل ۴-پ، ۵-الف، ۵-ب، ۵-ث). کافینیت تشکیل شده در مرحله سولفیدی بر اثر دگرسانی به کوپروسکلودوسکیت $\{\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3\text{OH})_{2.6}\text{H}_2\text{O}\}$ و اورانوفان $\{\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3\text{OH})_{2.5}\text{H}_2\text{O}\}$ تبدیل می‌شود (شکل ۵-ج). اورانینیت نیز عمده‌تاً توسط چادویکیت و کمتر توسط زئونریت $\{\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_{2.12}\text{H}_2\text{O}\}$ ، کوپروسکلودوسکیت، اورانوفان، رادرفوردین $\{(\text{UO}_2)\text{CO}_3\}$ ، شارپیت $\{\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{CO}_3)_{2.3}\text{H}_2\text{O}\}$ و اوتونیت $\{\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_{2.10-12}\text{H}_2\text{O}\}$ جایگزین شده است.

دومیکیت از آخرین کانی‌های اصلی آرسنیدی تشکیل شده در این مرحله است که معمولاً جانشین آرسنیدهای نیکل و کبالت مراحل قبلی از حاشیه شده است (شکل ۲-ب). همچنین دومیکیت با ابعاد بزرگ تا متوسط به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار نیز تشکیل شده است. وجود دومیکیت ریزدانه در بین دانه‌های درشت نیکلین بیانگر تقدم تبلور نیکلین نسبت به دومیکیت و سایر کانی‌های آرسنیدی است. به نظر می‌رسد در این کانسار احتمالاً به دلیل پایین بودن دما، کمبود گوگرد و بالا بودن مقدار آرسنیک، عناصر نیکل و کبالت و مس در مرحله قبل و این مرحله با آرسنیک ترکیب شده و کانی‌های آرسنیدی را تشکیل داده‌اند. مس با وجود خاصیت کالکوفیلی آن به دلیل پایین بودن مقدار گوگرد در این مرحله با آرسنیک ترکیب شده و کانی دومیکیت را به وجود آورده است.

اورانیم عمده‌تاً به صورت اورانینیت، برانریت و کافینیت همراه با آرسنیدهای مس (دومیکیت، کوتکیت، کوتینائیت) یا کالکوسیت تشکیل شده است (شکل ۲). کانی‌های دیگر همراه با کانه‌زایی اورانیم، شامل کوارتز همراه با مقادیر فرعی کلسیت و مگنتیت هماتیتی شده است. هماتیتی شدن [۱۰] هم‌زمان مگنتیت‌ها با تشکیل کانی‌های اورانینیت حاکی از ماهیت اکسیدان سیالات کانه‌زا در این مرحله است. کانی اکسیدی اورانیم به صورت بلورهای اورانینیت ریز شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار (شکل ۲-الف، ج) و یا دانه‌های پیچ‌بلند بی‌شکل (شکل ۲-چ) بر روی آرسنیدها مرحله قبل (مانند نیکلین) برنشته شده است. گاه رگچه‌های نازک از کانی‌های اورانیم همراه با کوارتز در شکستگی‌های کانی نیکلین تشکیل شده‌اند (شکل ۲-الف، پ). کانی‌های اورانیم ریزدانه همچنین به صورت درهم‌رشدی با دومیکیت و کالکوسیت مشاهده می‌شوند (شکل ۲-ب، ج).

باقری و همکاران [۱۳] معتقد هستند که در کانسار تالمسی، کمپلکس‌های کربناته عامل انتقال اورانیم بوده‌اند ولیکن مطالعات تارکیان و همکاران [۱۰] و مشاهدات این پژوهش نشان می‌دهد که مقادیر کانی‌های کربناته پاراژن با کانه‌زایی اورانیم کم بوده و کمپلکس‌های کربناته نمی‌توانند عامل اصلی انتقال اورانیم باشند.

در این مرحله مس طبیعی نیز به صورت پاراژن با دومیکیت مشاهده شد. همچنین در این مرحله نقره به صورت نقره طبیعی و کانی کوتینائیت در داخل شکستگی‌های دومیکیت و در زمینه کلسیت تشکیل شده است (شکل ۳-الف و ب).

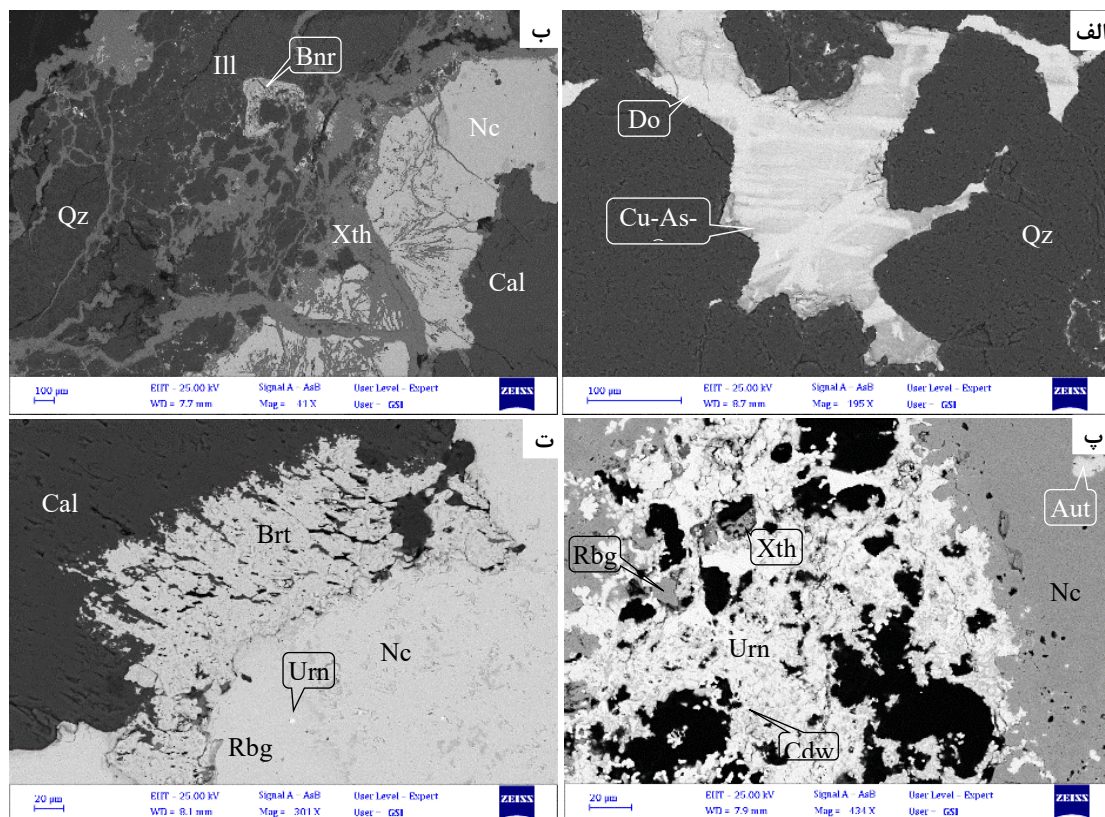


احتمالاً کانه‌زایی مس دارای منشأ ولکانیسم ائوسن، نیکل و کبالت دارای منشأ سنگ‌های اولترامافیک (اوفیولیت‌ها) و اورانیم دارای منشأ گرانیتوئیدی باشند. به طوری که توده نفوذی گرانیتوئیدی به عنوان موتور حرارتی و تأمین‌کننده اورانیم و بخشی از مس عمل کرده است. بخش عمده‌ای از مس احتمالاً از سنگ‌های آتشفشانی میزبان تأمین شده است. با توجه به وجود کانی‌های آرسنیدی با دمای تشکیل متوسط تا پایین، احتمالاً گردش سیالات گرمابی عمدتاً جوی در داخل توده گرانیتی در عمق، سبب انتقال اورانیم از این توده‌ها و شستن نیکل و کبالت از سنگ‌های اوفیولیتی ناحیه شده و در ادامه کانه‌زایی سولفیدی مرحله اول به عنوان سد کاهشی عمل نموده است و سبب نهشت کانی‌های آرسنیدی مرحله دوم و در نهایت نهشت کانی‌های آرسنیدی و اورانیم در مرحله سوم شده است. اورانیم در سیالات حامل آن در اثر تغییر شرایط اکسایشی به کاهشی از حالت U^{+4} به U^{+6} در آمده و به صورت اورانینیت، برانریت و کافینیت متبلور می‌شود. در ادامه، دگرسانی کانی‌های مراحل پیشین سبب تشکیل کانی‌های ثانویه مانند آرسنات‌ها و کانی‌های رسی شده است.

(شکل ۴-پ، ۵-الف تا ث، ۵-ج). کانی‌های سوپرژن اورانیم به صورت رورشدی بر روی کالکوسیت و دومیکیت و هم‌زمان با کانی‌های رسی (کائولینیت و ایلیت) تشکیل شده‌اند (شکل ۴-ب، ۵-ت).

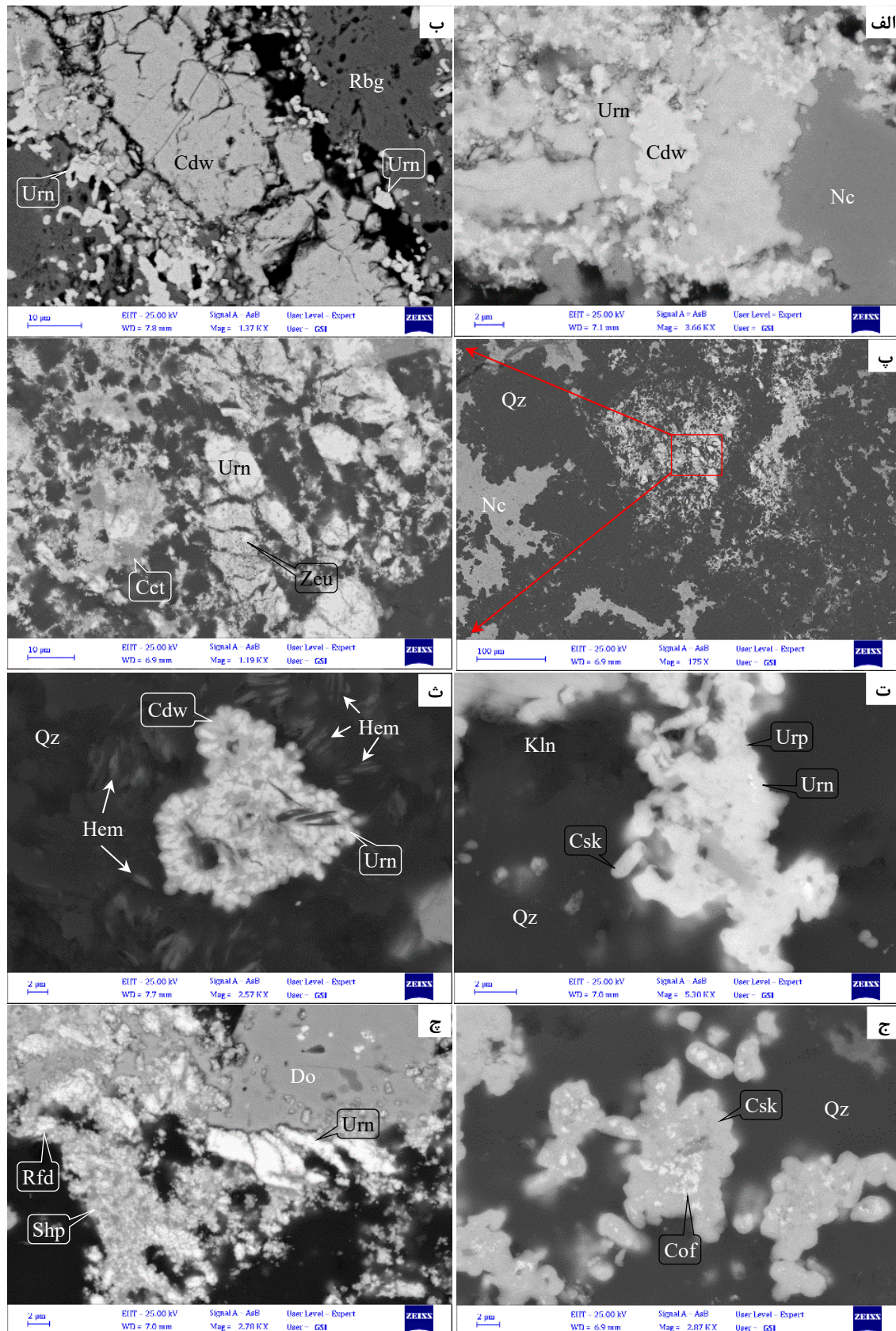
در این مرحله از دگرسانی کانی‌های سیلیکاته، کانی‌های رسی تشکیل شده‌اند و هم‌زمان با آن، باریت نیز در فضا‌های خالی و امتداد شکستگی‌های کوارتز و کلسیت نهشته شده است (شکل ۴-ت).

توده‌های اولترامافیک سرپانتینی شده با سن نامشخص در ناحیه انارک که از گسترش و ضخامت قابل توجهی برخوردار هستند، احتمالاً تأمین‌کننده نیکل و کبالت در این کانسار بوده‌اند [۱۳]. براساس مشاهدات صحرایی انجام شده توسط نویسندگان مقاله از کانسار مسکنی، رخنمون توده گرانیتوئیدی در ارتباط با کانه‌زایی چندفلزی مشاهده گردید که از لحاظ شواهد ماکروسکوپی مشابه با گرانیتوئید کالکافی با سن ائوسن است و از طرفی سنگ‌های آتشفشانی حدواسط میزبان کانه‌زایی در کانسار تالمسی نمی‌تواند منشأ مناسبی برای تأمین اورانیم باشد، در نتیجه به نظر می‌رسد سنگ‌های گرانیتوئیدی اسیدی با سن ائوسن در عمق منشأ اورانیم در کانسار تالمسی بوده است.



شکل ۴. تصاویر BSE از، الف) تبدیل دومیکیت به آرسنات مس، ب) دگرسانی برانریت به چادوبیکیت و نیکلین به زانتیوسیت هم‌زمان با تشکیل کانی رسی، پ) تشکیل اوتونیت در نیکلین، جانشینی راملزبریت توسط زانتیوسیت و جانشینی اورانینیت توسط چادوبیکیت در دگرسانی سوپرژن، ت) راملزبریتی شدن نیکلین، انکلوزیون اورانینیت و تشکیل باریت تأخیری (Aut): اوتونیت، Bnr: برانریت، Brt: باریت، Cal: کلسیت، Cdw: چادوبیکیت، Do: دومیکیت، Ill: ایلیت، Nc: نیکلین، Qz: کوارتز، Rbg: راملزبریت، Urn: اورانینیت، Xth: زانتیوسیت.





شکل ۵. تصاویر BSE از: الف) جانشینی اورانینیت توسط آرسنات اورانیم (چادویکیت)، ب) جانشینی رگجه اورانینیت توسط چادویکیت، پ) اورانینیت زئونریتی شده، ت) جانشینی اورانینیت توسط اورانوفان و کوپروسکلودوسکیت هم‌زمان با تشکیل کانولینیت، ث) آرسناتی شدن اورانینیت، ج) جانشینی کافینیت توسط کانی ثانویه کوپروسکلودوسکیت، چ) تشکیل رادرفوردین و شارپیت در مرحله آخر بر روی دومیکیت (Cct: کالکوسیت، Cdw: چادویکیت، Cof: کافینیت، Cskl: کوپروسکلودوسکیت، Do: دومیکیت، Hem: هماتیت، Kln: کانولینیت، Nc: نیکلین، Qz: کوارتز، Rbg: راملزبریت، Rfd: رادرفوردین، Shp: شارپیت، Urn: اورانینیت، Urp: اورانوفان، Zeu: زئونریت).



۵. نتیجه گیری

مطالعات کانی‌شناسی حاکی از وجود حداقل چهار مرحله کانه‌زایی در کانسار تالمسی است. مرحله اول به صورت کانه‌زایی مس سولفیدی شکافه پرکن و مربوط به ولکانیسم ائوسن است. مرحله دوم به صورت کانه‌زایی آرسنیدی رگه‌ای یا تزریقی نیکل-مس رخ داده است. کانی اصلی این مرحله نیکلین همراه با مقادیر فرعی کالکوسیت و پیریت است. در مرحله سوم با افزایش میزان آرسنیک در محیط، کانه‌زایی آرسنیدی نیکل، کبالت و مس تشکیل شده که به همراه آن کانه‌زایی اورانیم نیز رخ داده است. در این مرحله آرسنیدهای نیکل، کبالت و مس (دومیکیت، راملزبریت، سافلوریت، اسکوتروید، کوتکیت، کوتینائیت) و مقادیر فرعی سولفید مس (کالکوسیت) همراه با کانی‌های اورانیم شامل اورانینیت، برانریت و کافینیت نهشته شده‌اند. همراه با کانی‌های اورانیم، کوارتز و مقادیر فرعی کلسیت و مارتیت تشکیل شده است. فراوان‌ترین کانی اورانیم در کانسار تالمسی، اکسید اورانیم به صورت اورانینیت ریز شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و گاهی پیچبلند بی‌شکل است که معمولاً بر روی کانی‌های مرحله قبل بر نهشته شده است. کانه‌زایی نقره نیز به صورت نقره طبیعی و گاه کانی کوتینائیت به صورت رگچه‌ای رخ داده است.

در مرحله آخر، کانی‌های مراحل قبل تحت تأثیر سیالات اکسیدان قرار گرفته و توسط آرسنات‌های نیکل (مانند زانتیوسیت) و مس و کانی‌های ثانویه اورانیم جانشین شده‌اند. طی این مرحله کانی‌های اولیه اورانیم توسط کانی‌های ثانویه اورانیم مانند آرسنات اورانیم (چادویکیت)، آرسنات مس-اورانیم (کوپروسکلودوسکیت، ژئونریت)، سیلیکات کلسیم-اورانیم (اورانوفان)، کربنات اورانیم (رادرفوردین)، کربنات کلسیم-اورانیم (شارپیت) و فسفات کلسیم-اورانیم (اوتونیت) جانشین شده‌اند. هم‌زمان با این مرحله، دگرسانی رسی و نهشت باریت نیز اتفاق افتاده است.

به نظر می‌رسد کانه‌زایی نیکل و کبالت دارای منشأ سنگ‌های اولترامافیک، مس دارای منشأ ولکانیسم ائوسن و اورانیم دارای منشأ گرانیتوئیدی باشند. توده نفوذی گرانیتوئیدی در عمق به عنوان موتور حرارتی و تأمین‌کننده اورانیم عمل کرده است. با توجه به روابط پارژنتیکی، کمپلکس‌های کربناته نمی‌توانند عامل اصلی انتقال اورانیم در کانسار تالمسی باشند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت‌های مادی و معنوی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای انجام شده است و از مسئولین و کارشناسان محترم مربوطه سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

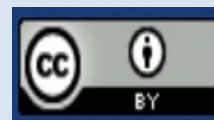
- Boomeri M, Nakashima K, Lentz D. The Sarcheshmeh porphyry copper deposit, Kerman, Iran: A mineralogical analysis of the igneous rocks and alteration zones including halogen element systematics related to Cu mineralization processes. *Ore Geology Reviews*. 2010;38(4):367-381.
- Rezazadeh S, Hosseinzadeh M.R, Raith J.G, Moayyed M. Mineral chemistry and phase relations of Co-Ni arsenides and sulfarsenides from the Baycheh-Bagh deposit, Zanjan province, Iran. *Ore Geology Reviews*. 2020;1217:103836.
- Rezazadeh S, Hosseinzadeh M.R, Raith J.G, Moayyed M. Sulfosalts record evolution of Cu-Bi-Co-Ni-As mineralization at Baycheh-Bagh deposit, NW Iran. *Ore Geology Reviews*. 2021;139:104465.
- Bagheri H. The role of tectonomagmatic controls on Cu-Ni-Co-As(U) mineralization in the Talmessi mining area [dissertation]. Shiraz, Iran: Shiraz University. 2006 [In Persian].
- Bagheri H, Moore F, Alderton D.H.M. Cu-Ni-Co-As (U) mineralization in the Anarak area of Central Iran. *Asian Earth Sciences*. 2007;29:651-665.
- Sayari M. Petrology of Eocene volcanic rocks in north of Anarak area (NE of Isfahan province) [dissertation]. Isfahan, Iran: Isfahan University. 2006 [In Persian].
- Kheradmand A. Economic geology of Cu Talmessi deposit (Anarak area) [dissertation]. Tehran, Iran: Shahid Beheshti University. 1998 [In Persian].
- Bariand P. Contribution a la mineralogie de l'Iran. *Bull. Soc. franc. Min. Crist.* 1963;86:17-64.
- Sarcia J, Sarcia J. Indices uranifères dans la région d, Anarak (plateau central Iran). *Compte Rendu Sommaire des Séances de la Société Géologique de France*. 1960;4:76-78.
- Tarkian M, Bock W.D, Neumann M. Geology and mineralogy of the Cu-Ni-Co-U ore deposits at Talmessi and Meskani, Central Iran. *TMPM Tschermarks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*. 1983;32:111-133.
- Ahmadi M. Geological and petrological studies of the north of Talmessi mine shoshonitic association, west of Anarak (north east of Isfahan province) [dissertation]. Isfahan, Iran: Isfahan University. 2003 [In Persian].
- Bagheri H. Crustal lineament control on mineralization in the Anarak area of Central Iran. *Ore Geology Reviews*. 2015;66:293-308.



13. Bagheri H, Moore F, Romanko A. Role of U-bearing carbonate complexes in U-Cu-Ni-Co mineralization at Talmessi area and the its exploratory and ecological importance. 7th Conference of the Geology of Iran. [Isfahan, Iran: Isfahan University](#). 2003 Aug; 26-28. [In Persian].
14. Mokhtarzadeh B.M, Bagheri H. Geochemical, mineralogical and fluid inclusion studies of Cu, Ni, Co and U of Meskani ore deposit, Anarak (Central Iran). [Petrology](#). 2011;5:1-18 [In Persian].
15. Markl G, Burisch M, Neumann U. Natural fracking and the genesis of five element veins. [Mineral Deposita](#). 2016;51:703-712.
16. Burisch M, Gerdes A, Walter B.F, Neumann U, Fettel M, Markl G. Methane and the origin of five-element veins: mineralogy, age, fluid inclusion chemistry and ore forming processes in the Odenwald, SW Germany. [Ore Geology Reviews](#). 2017;81:42-61.
17. Kreissl S, Gerdes A, Walter B.F, Neumann U, Wenzel T, Markl G. Reconstruction of a >200Ma multi-stage “five elements” Bi-Co-Ni-Fe-As-S system in the Penninic Alps, Switzerland. [Ore Geology Reviews](#). 2018;95:746-788.
18. Kissin S.A. Five-element (Ni-Co-As-Ag-Bi) veins. [Geoscience Canada](#). 1992;19:113-124.

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

خشنودی، خالق، ضیاپور، سمانه. (۱۴۰۴)، کانی‌شناسی اورانیم در کانسار تالمسی، ناحیه انارک، ایران مرکزی. مجله علوم، مهندسی و فناوری هسته‌ای، ۱۱۱(۱)، ۳۷-۴۶.

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1623.html .DOI: <https://doi.org/10.24200/nst.2024.1623>

