



Research Article

Mineralogy, geochemistry and conditions of formation of The Abri and Rahbari Copper deposit, N-W of Daroneh

Afsane Soltani*¹ , Farajollah Fardoost¹

1-Department of Geology, Faculty of earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 4 May 2022 Accepted: 17 Jan 2023

Extended Abstract

Introduction: The sulphide deposits of stratabound and stratiform are one of the largest sulphide deposits for copper mineralization. In Iran, Manto type deposits have been reported just in Urumieh -Dokhtar zone, Sanandaj-Sirjan zone and Sabzevar sub-zone. Abari and Rahbari deposits are among the Manto type deposits in the volcanic-intrusive belt, Khaf- Darooneh and the southern part Sabzevar sub-zone. In this research, mineralogy, geochemistry and formation pattern of Abari and Rahbari copper deposit were discussed and investigated.

Materials and methods: In this research, 100 thin and polished sections were prepared and studied, and the studies of fluids inclusion were done by preparing and studying 3 double-polished sections from surface samples. In order to identify minerals and complete alteration studies, 6 samples were analyzed by XRD method and for geochemical studies, 22 samples of ore and volcanic-sedimentary rocks were analyzed by XRF and ICP-MS methods in Binalud deposits Laboratory and Iran mineral processing Research Center.

Results and discussion: The stages of mineralization and formation processes can be described in three stages: the first stage: initial diagenesis, the second stage: the burial diagenesis stage, and the third stage: the uplift stage (hydrothermal activities). After extensive volcanic activities, during the diagenesis stage, in this stage, seawater sulfate regenerating bacteria were present in the environment, and their activity has caused regeneration conditions in the basin. As a result, the resulting sulfur with the available iron causes the deposition of pyrite in the form of scattered grains and fills the empty spaces in the rock background. From the stage of diagenesis onwards, burial occurs as a result of the deposition of newer sediments on them. the hydrothermal fluid carries the copper released from the conversion of iron hydroxide minerals into iron oxides, as well as the copper released in the network of feldspar minerals in the transformed volcanic units due to the high environment temperature and circulation in the volcanic and pyroclastic units and then turning up in the rock units, it reached the pyroclastic unit with high porosity and permeability, and chalcocite and chalcopyrite minerals were formed in the burial diagenesis stage. upwelling Stage (hydrothermal activities): at the end of the burial process and with the beginning of the uplift of the area and faulting, the open spaces increase by Darooneh and Binalood faults, which ultimately causes the activity and concentration of sulfide and copper oxide mineralization will start again along the faults, cracks, and even the empty spaces of the pyroclastic units.

Conclusion: The Eocene volcanic rocks of the magmatic belt in the north of the structural zone of central Iran are the host of Abari and Rahbari copper deposits with the dominant composition of andesite and basaltic andesite. The effective factors copper mineralization in the study areas including: 1) The lithology of host rocks, 2) structural controls, 3) hydrothermal fluids and 4) The presence of intrusive rocks at depth and basaltic dykes. Mineralization is formed in three stages: initial diagenesis, burial diagenesis and uplift stage (hydrothermal activities). So that mineralization in the Abri and Rahbari area is epigenetic, strata bound that is similar to the manto type copper deposits.

Keywords: Bardeskan, Darooneh, Stratabound, Manto, Copper.

Citation: Afsane Soltani, Farajollah Fardoost (2023). Mineralogy, geochemistry and conditions of formation of The Abri and Rahbari, *Res. Earth. Sci.* 14(2), (61-76) DOI: 10.48308/ESRJ.2023.100775

* Corresponding author E-mail address: zarrin@um.ac.ir



کانی‌شناسی، ژئوشیمی و شرایط تشکیل کانسار مس ابری و رهبری، شمال غرب درونه

افسانه سلطانی*¹، فرج الله فردوست^۱

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۱۴ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷

چکیده گسترده

مقدمه: کانسارهای سولفیدی استراتابوند و چینهای یکی از بزرگترین ذخایر سولفیدی برای کانی‌سازی مس هستند. کانی‌سازی در ایران نهشته‌های نوع مانتو فقط در زون ارومیه-دختر، سندرچ-سیرجان و زیرپهنه سبزواری گزارش شده است. نهشته‌های ابری و رهبری از کانسارهای تیپ مانتو در کمربند آتشفشانی-نفوذی، خواف درونه و قسمت جنوبی زیرپهنه سبزواری هستند. در این تحقیق کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس ابری و رهبری مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق ۱۰۰ مقاطع نازک و صیقلی تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت و بررسی انطباق سیالات با تهیه و مطالعه ۳ برش دوبراق از نمونه‌های سطحی انجام شد. به منظور شناسایی کانی‌ها و مطالعات کامل دگرسانی، ۶ نمونه به روش XRD و برای مطالعات ژئوشیمیایی، ۲۲ نمونه سنگ معدنی و سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی به روش‌های XRF و ICP-MS در آزمایشگاه نهشته‌های بینالود و مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

بحث و نتایج: مراحل کانی‌سازی و فرآیندهای تشکیل را می‌توان در سه مرحله توصیف کرد: مرحله اول: دیاژنز اولیه، مرحله دوم: مرحله دیاژنز دفن و مرحله سوم: مرحله بالا بردن (فعالیت‌های گرمایی). پس از فعالیت‌های آتشفشانی گسترده، در مرحله دیاژنز، در این مرحله باکتری‌های احیاکننده سولفات آب دریا در محیط حضور داشتند که فعالیت آنها باعث ایجاد شرایط احیا در حوضه شده است. در نتیجه گوگرد حاصل با آهن موجود باعث رسوب پیریت به صورت دانه‌های پراکنده شده و فضاهای خالی زمینه سنگ را پر می‌کند. از مرحله دیاژنز به بعد در اثر رسوب رسوبات جدیدتر بر روی آنها دفن صورت می‌گیرد. سیال گرمایی مس آزاد شده از تبدیل کانی‌های هیدروکسید آهن به اکسیدهای آهن و همچنین مس آزاد شده در شبکه کانی‌های فلدسپات را در واحدهای آتشفشانی تبدیل شده به دلیل دمای محیط و گردش بالا در واحدهای آتشفشانی و آذرآواری حمل می‌کند. سپس با چرخش در واحدهای سنگی به واحد آذرآواری با تخلخل و نفوذپذیری بالا رسید و کانی‌های کالکوسیت و کالکوپیریت در مرحله دیاژنز دفنی تشکیل شدند. مرحله بالا آمدن (فعالیت‌های گرمایی): در پایان فرآیند تدفین و با شروع بالا آمدن منطقه و گسلش، فضاهای باز توسط گسل‌های دارونه و بینالود افزایش می‌یابد که در نهایت باعث فعالیت و غلظت کانی‌سازی سولفید و اکسید مس می‌شود.

نتیجه‌گیری: سنگ‌های آتشفشانی ائوسن کمربند ماگمایی در شمال زون ساختاری ایران مرکزی میزبان نهشته‌های مس ابری و رهبری با ترکیب غالب آندزیت و آندزیت بازالتی است. عوامل موثر کانی‌سازی مس در مناطق مورد مطالعه شامل: (۱) سنگ‌شناسی سنگ‌های میزبان، (۲) کنترل‌های ساختاری، (۳) سیالات گرمایی و (۴) وجود سنگ‌های نفوذی در عمق و دایک‌های بازالتی. کانی‌سازی در سه مرحله تشکیل می‌شود: دیاژنز اولیه، دیاژنز دفنی و مرحله بالا بردن (فعالیت‌های گرمایی). به طوری که کانی‌زایی در ناحیه ابری و رهبری به صورت اپی ژنتیکی است، طبقاتی که شبیه به کانسارهای مسی نوع مانتو است.

واژگان کلیدی: بردسکن، درونه، چینه کران، مانتو، مس.

استناد: افسانه سلطانی، فرج الله فردوست (۱۴۰۲). کانی‌شناسی، ژئوشیمی و شرایط تشکیل کانسار مس ابری و رهبری، پژوهشهای دانش زمین:

DOI: 10.48308/ESRJ.2023.100775 (۶۱-۷۶)، (۲) ۱۴

E-mail: soltani.afsane@gmail.com

* نویسنده مسئول:



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مقدمه

ذخایر سولفیدی چینه کران و چینه سان، یکی از بزرگترین ذخایر سولفیدی برای کانه‌زایی مس هستند. محیط ته-نشست این ذخایر بسیار متنوع بوده و می‌توانند در همه مراحل یک چرخه زمین‌ساختی آتشفشانی - رسوبی تشکیل شوند. کانسارهای مس تپ مانو با سن مزوزوئیک در طبقه کانسارهای با میزبان رسوبی و کانسارهای مس با میزبان آتشفشانی قرار می‌گیرند (Campus et al, 1980). سنگ‌های آتشفشانی ژوراسیک اغلب میزبان کانسارهای تپ مانو می‌باشند (Carrillo-Rosúa et al, 2014). ویژگی‌های ژئوشیمیایی مشابه با سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه پایینی، میزبان کانسار تپ مانو شیلی را دارند (Maksaev, 2012). کانسارهای تپ مانو بعد از کانسارهای مس پورفیری و کانسارهای (IOCG) Fe-Oxid-Cu-Au، سومین و مهم‌ترین منبع مس در شیلی محسوب می‌شوند. همراهی تعداد زیادی کانسار در مجاورت یکدیگر از ویژگی‌های بارز این کانسارها است (Kojima et al, 2009).

کانسارهای مس چینه کران با میزبان آتشفشانی-رسوبی، اغلب به عنوان کانسارهای تپ مانو در ایران شناخته شده‌اند (Salehi and Rasa, 2016) و در مکان‌های مختلف به عنوان منبع اقتصادی مهم مس اهمیت بسزایی دارد. در ایران مهم‌ترین کانسار مس تپ مانو شامل کانسار مس (نقره) کشت مهکی در زون سنندج-سرجان (Konariet al, 2013)، کانسار عباس آباد در زون سبزوار (Salehi and Rasa, 2009)، کانسار کشکوئیه در مجموعه ماگمایی زون ارومیه دختر (Abolipour et al, 2015)، کانسار ورزگ در بلوک لوت (Alizadeh et al, 2013)، کانسار ماری در مجموعه ماگمایی البرز (Maghfouri and Movahednia, 2015) و کانسار ابری و رهبری در زیرپهنه سبزوار (Soltani, 2016) می‌باشند. به جز کانسار کشک مهکی همه کانسارهای تپ مانو در ایران در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن تشکیل شده‌اند (Maghfouri and Movahednia, 2015). کانسارهای ابری و رهبری از جمله کانسارهای تپ مانو در کمربند آتشفشانی-نفوذی، خواف - درونه و بخش جنوبی زیر پهنه سبزوار می‌باشند.

جدول ۱: مختصات جغرافیایی مناطق ابری و رهبری

مناطق مورد مطالعه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
ابری	۲۴° ۵۷'	۳۰° ۳۵'
رهبری	۲۷° ۵۷'	۸/۱۸° ۳۵'

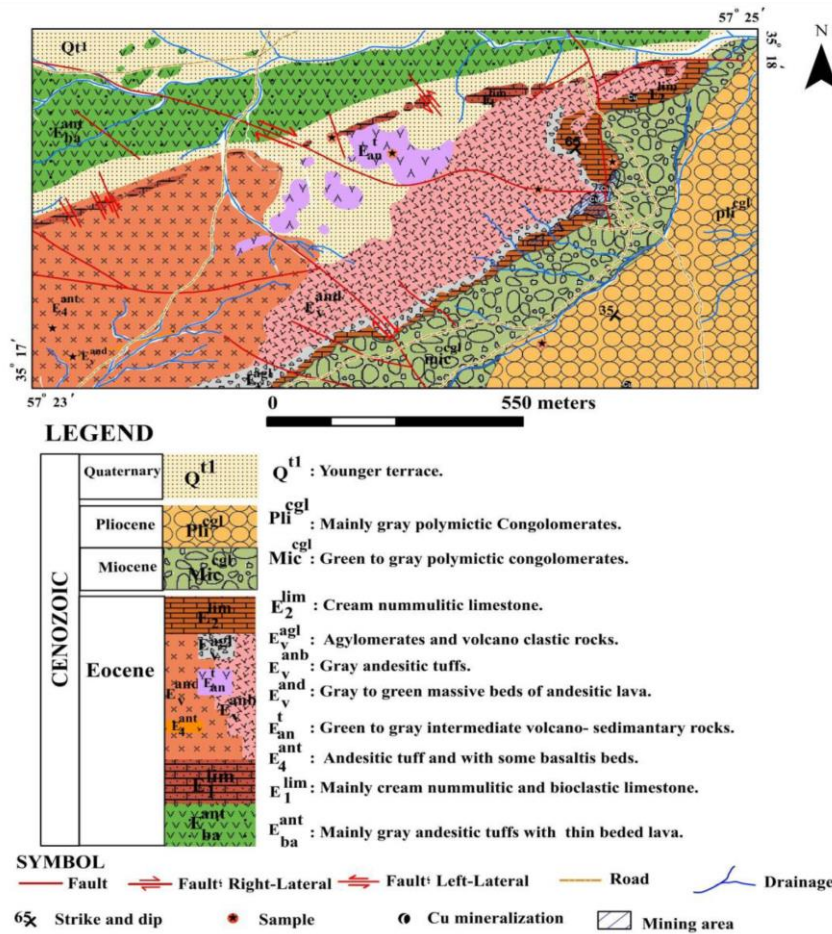
منطقه مورد مطالعه

از لحاظ موقعیت جغرافیایی، کانسار مس ابری در استان خراسان رضوی، ۸۰ کیلومتری شمال غرب بردسکن، ۲۵ کیلومتری روستای درونه، و کانسار مس رهبری در ۴ کیلومتری شرق منطقه ابری (جدول ۱)، واقع است. در این تحقیق کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس ابری و رهبری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

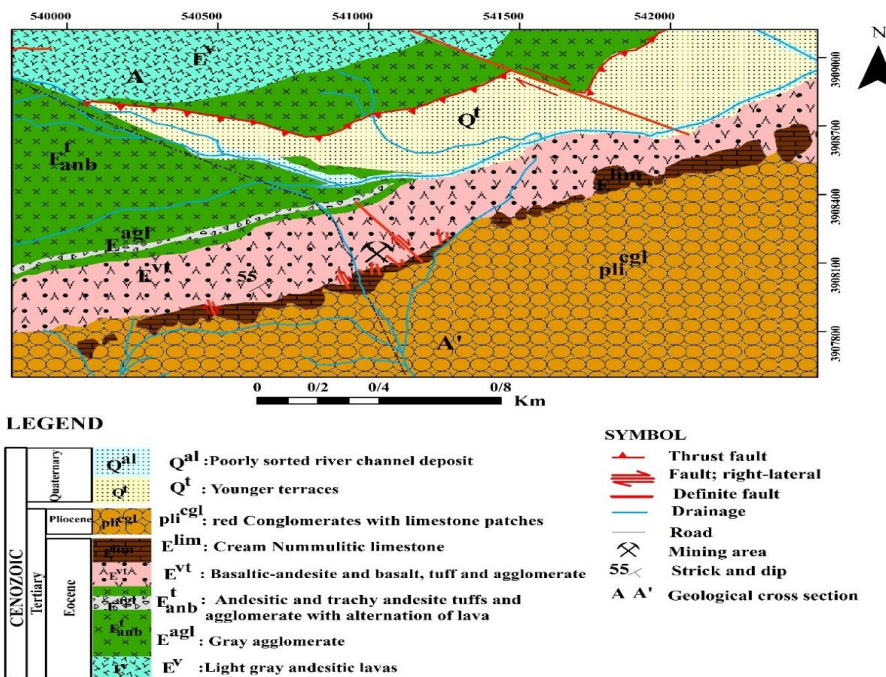
مواد و روش‌ها

در این پژوهش، پس از تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ منطقه ابری و رهبری (شکل ۱ و ۲)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پیمایش صحرائی و با استفاده از نقشه

Ghaemi and Mousavi-Hahrami, ۱:۱۰۰۰۰۰ درونه (2006)، ۱۰۰ نمونه از واحدهای سنگی منطقه (۱۰۰ مقطع نازک و صیقلی) به منظور شناسایی ترکیب کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی، دگرسانی، توالی پاراژنتیکی و روابط بافتی تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات سیالات درگیر بر روی ۵ مقطع دوبر صیقل از نمونه‌های سطحی انجام گرفت. تعداد ۶ نمونه به روش XRD، ۱۱ نمونه از سنگ‌های منطقه به عنوان نماینده برای تجزیه و تحلیل عناصر اصلی به روش XRF و تجزیه و تحلیل عناصر نادر خاکی به روش ICP-MS در آزمایشگاه کانساران بینالود و مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد (جدول ۲ و ۳).



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ منطقه ابری بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای، پیمایش صحرایی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ درونه



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس منطقه رهبری بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای، پیمایش صحرایی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ درونه

بحث و نتایج

زمین‌شناسی

سرزمین ایران به عنوان بخشی از نواحی مرکزی - غربی سامانه کوهزایی آلپ - هیمالیا به جهت تحمل زمین ساخت خاص نواحی همگرایی صفحات (Ghaemi and Talbot, 2006) جولانگاه فعالیت‌های ماگمایی (آتشفشانی و نفوذی) به‌ویژه در دوران سنوزوئیک بوده است. نوار آتشفشانی - نفوذی شمال پهنه ساختاری ایران مرکزی، واقع در لبه شمال شرقی زون ساختاری ایران مرکزی، از شمال سمنان در غرب تا خواف در شرق و شمال شرق ایران امتدا دارد (Yousefi et al, 2017). در بخش شمالی ایران مرکزی که منطقه ابری و رهبری بخش از آن است، رویدادهای ماگمایی به صورت سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشانی - رسوبی و توده‌های آذرین نیمه عمیق در آن دیده می‌شود (Ilkchi et al, 2006). این نوار آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی در نقاط زیادی توسط توده‌های آذرین نیمه عمیق (به صورت سیل، دایک، گنبد و توده‌های نفوذی) با طیف ترکیبی متنوع، قطع شده‌اند (Yousefi et al, 2017). منطقه بردسکن به دلیل قرار گرفتن بر روی نوار آتشفشانی - نفوذی، خواف - درونه که پتانسیل کانسارهای مس، آهن، طلا و غیره را دارا می‌باشد (Hübne and Bazin, 1969)، از اهمیت زیادی برخوردار است. گستره مورد مطالعه بخشی از کمربند خواف - درونه می‌باشد و بین دو گسل بزرگ درونه در جنوب و گسل بینالود در شمال، محصور شده است.

سنگ‌شناسی

براساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفته، واحدهای سنگی مناطق مورد مطالعه به سه مجموعه مختلف با سن ائوسن میانی قابل تفکیک می‌باشند که عبارتند از: (۱) مجموعه گدازه‌های زیر دریایی شامل؛ آندزیت، تراکی - آندزیت، بازالت و آندزیت - بازالت پورفیری، (۲) مجموعه آذرآواری شامل؛ توف، کریستال توف، لیتیک توف و آگلومرا (۳) مجموعه رسوبی شامل؛ آهک، آهک مارنی، مارن، سیلتستون و شیل. کلیه واحدهای فوق به صورت متناوب، هم‌شیب و با روند شمال شرقی - جنوب غربی نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند. از منطقه ابری به سمت رهبری، ضخامت گدازه‌ها نسبت به سنگ‌های آذرآواری کاهش می‌یابد.

الف: گدازه‌های زیردریایی: این مجموعه با ترکیب آندزیت، تراکی آندزیت، بازالت و آندزیت بازالتی به رنگ‌های خاکستری تیره،

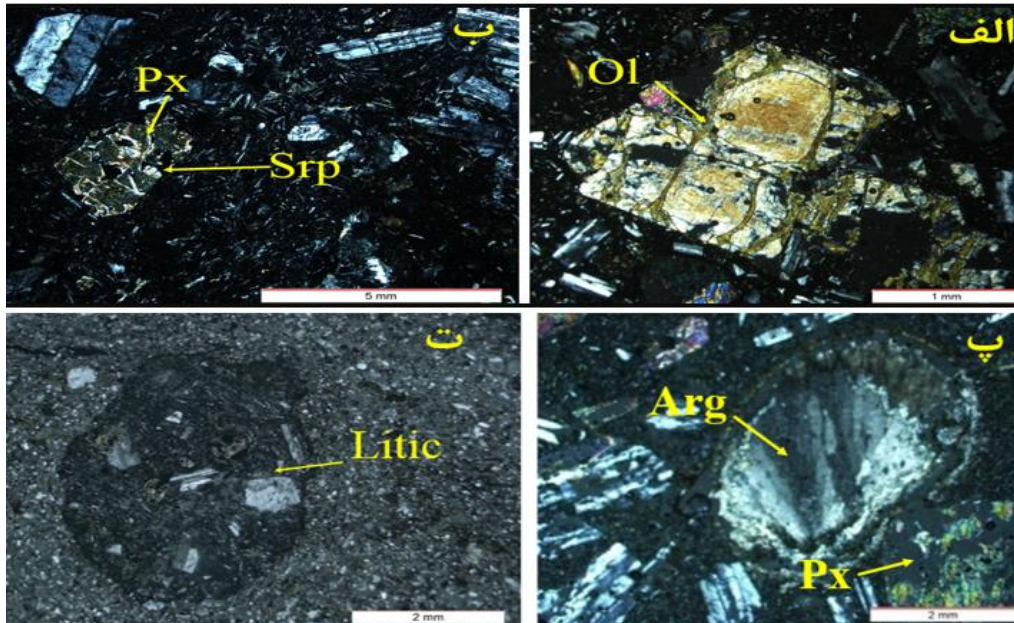
سبز و قرمز، با ساختار کلی لایه‌ای، همشیب و همروند با واحدهای رسوبی رخنمون دارند. براساس مطالعات میکروسکوپی، ساخت و بافت پورفیری حاصل از وجود فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن در زمینه دانه‌ریز متشکل از شیشه و میکرولیت‌های پلاژیوکلاز (در واحد آندزیت و آندزیت بازالت) و پیروکسن و الیوین ایدنگزیتی شده، در زمینه دانه‌ریز و میکرولیتی (در واحد آندزیت - بازالت) مشاهده می‌شوند. اغلب فنوکریست‌ها به کانی‌های ثانویه نظیر کلسیت و کلریت، دگرسان شده‌اند. (شکل ۳ الف، ب و پ). ب: مجموعه آذرآواری: در مشاهدات صحرایی این واحد بخش اعظم محدوده مورد مطالعه را در برمی‌گیرد و به رنگ‌های قهوه‌ای تا قرمز و خاکستری متمایل به سبز و با دگرسانی بسیار شدید مشخص می‌شوند. سنگ‌های آذرآواری منطقه در رده کریستال توف، لیتیک توف و آگلومرا قرار می‌گیرند. قطعات آتشفشانی در حد خاکستر، بلور و قطعه سنگ با ترکیب آندزیت، بازالت و بازالت آندزیتی سازنده این سنگ‌ها هستند. کانی‌های اصلی سازنده آنها بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن هستند (شکل ۳ ت). ج: واحد رسوبی: آهک نومولیت‌دار، آهک مارنی، شیل و کنگلومرا با سبزی ۳۰ تا ۵۰ متر است که به صورت همشیب روی واحد آذرآواری قرار گرفته است. بخشی از کانه‌زایی مس داخل فضا‌های خالی و شکستگی‌های موجود در آهک و عمدتاً در مرز آن با توف‌ها صورت گرفته است.

کانه‌زایی

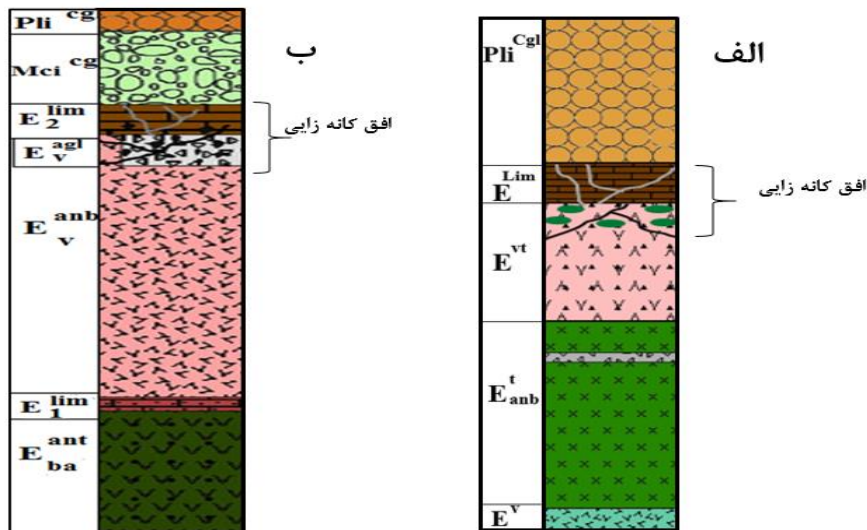
کانه‌زایی در منطقه ابری و رهبری بعد از انسجام سنگ‌های در برگیرنده، به صورت یک باند موازی با روند طبقات دربرگیرنده و در مرز واحد آهکی با سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌ای با روند شمال شرقی - جنوب غربی و تابع درزه و شکستگی‌ها رخ داده است (شکل ۴)، که نشانگر وضعیت چینه‌کران و اپی‌ژنتیک کانه‌زایی در این منطقه است. عوامل مؤثر بر کانه‌زایی مس در مناطق مورد مطالعه عبارتند از: (۱) لیتولوژی سنگ‌های دربرگیرنده، (۲) کنترل کننده‌های ساختاری (گسل، درزه و شکاف)، (۳) حضور توده‌های نفوذی در عمق به عنوان عامل حرارتی، (۴) محلول‌های گرمایی که در سنگ‌های با لیتولوژی مناسب جریان یافته و باعث شست و شو و تمرکز مس گردیده‌اند. براساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی و تهیه ستون چینه‌شناسی (شکل ۵ الف و ب) در مناطق مورد مطالعه، رخداد کانی‌زایی به

خالی بین دانه‌های در واحد آذرآواری، (۳) کانه‌زایی به صورت دانه-پراکنده در واحد آذرآواری و گدازه.

سه صورت بود است که عبارتند از: (۱) کانی‌زایی رگه - رگچه‌ای در داخل واحد ترکیب آندزیت، تراکی آندزیت و آندزیت - بازالت، (۲) کانی‌زایی پرکننده حفره‌ها و فضاهای



شکل ۳: الف: فنوکریست‌های الیوین در زمینه‌ای از پلاژیوکلازهای دانه متوسط در واحد آندزیت بازالت (منطقه ابری). ب: پیروکسن تبدیل شده به سرپانتین در زمینه‌ای از پلاژیوکلازها و مشاهده بافت پورفیری و میکروولیتی در واحد آندزیت - بازالت (منطقه رهبری). پ: آراگونیت به صورت پرکننده حفرات و تشکیل بافت بادامکی در واحد بازالتی (رهبری). ت: لیتیک کریستال توف با قطعات پلاژیوکلاز و پیروکسن در داخل لیتیک (رهبری). الیوین (Ol)، پیروکسن (Px)، اسفالریت (Spr)، آراگونیت (Arg)، (Siivola and Schmid, 2007).



Pli^{cgl}: Green Conglomerates
 Mcl^{cgl}: Green Conglomerates
 E₂^{lim}: Nummulitic limestone
 E^{agl}: Agglomerate
 E₂^{and}: Volcano-sedimentary rocks
 E₁^{lim}: Sandy limestone
 E^{antba}: Andesitic tuffs with alternation of thin bedded lava

E^{lim}: Nummulitic limestone
 E^{vt}: Basalt-andesite and basalt, tuff and agglomerate
 E^{avb}: Andesite and tracky andesite tuffs
 E^v: Gray andesite

شکل ۴: الف: ستون چینه‌شناسی و افق کانه‌زایی منطقه رهبری، ب: ستون چینه‌شناسی و افق کانه‌زایی منطقه ابری.

کانی‌شناسی، ساخت و بافت

براساس مشاهدات صحرایی، میکروسکوپی و آنالیز XRD، کانی‌های تشکیل دهنده کانسار در چهار گروه: الف) کانی-های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و کوولیت)، ب) کانی‌های کربناتی (مالاکیت و آزوریت)، پ) کانی‌های اکسیدی (کوپریت، هماتیت، لیمونیت و گوئیت) و ت) کانی‌های باطله (کوارتز، کلسیت، زئولیت و کانی‌های رسی) رده‌بندی شدند.

۱: کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و کوولیت): پیریت و کالکوپیریت: در بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی وجود کالکوپیریت و پیریت به عنوان کانی سولفیدی اولیه بسیار ناچیز و محدود است. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده کمبود سولفور و پایین بودن دمای سیستم کانه‌زایی در محیط تشکیل باشد. بافت دانه پراکنده و ابعاد بسیار ریز بلورهای پیریت و کالکوپیریت یکی از ویژگی‌های این کانه‌زایی محسوب می‌شود. بورنیت: به عنوان کانی اولیه به صورت فاز جدا شده، رنگ صورتی قهوه‌ای بافت جزیره‌ای در داخل کالکوسیت با رنگ سفید-آبی، پدیده جانشینی توسط کالکوسیت را نشان می‌دهد (شکل ۶ الف و ب). کالکوسیت: این کانی به عنوان فراوان‌ترین کانی سولفیدی، به صورت دانه پراکنده و پرکننده فضاهای خالی و حفرات و گاهی تبدیل شدگی به کوولیت و مالاکیت را نشان می‌دهد. کوولیت: کوولیت بیشترین گسترش این کانی به صورت لکه‌ای و نامنظم در درون و حاشیه کالکوسیت‌های اولیه است.

۲: کانی‌های کربناته (مالاکیت و آزوریت): می‌توان گفت هوازدگی کالکوپیریت و حمل مس توسط کانی‌های فرورو یکی از منابع اصلی تأمین کانی‌های ثانویه مس مانند مالاکیت، آزوریت و کوولیت در منطقه اکسیدان بوده است. آزوریت در منطقه کمیاب‌تر از مالاکیت است که علت آن تشکیل مالاکیت به وسیله آب‌های رقیق‌تر و با مس کمتر و یا توسط PCO_2 پایین‌تر است.

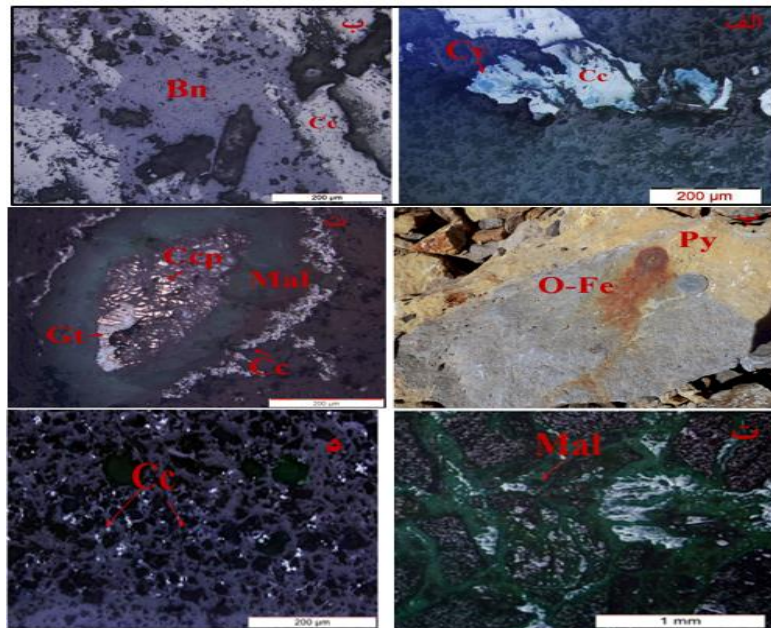
۳: کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی (گوئیت، هماتیت، لیمونیت و مگنتیت): معمولاً کالکوپیریت و پیریت در حضور اکسیژن، آب و در محیط‌های کم‌عمق جایی که شرایط برای اکسید شدن آن‌ها مهیا باشد، ناپایدار است (Ramdohr, 1980) و توسط محلول‌های اکسیدان به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت و گوئیت) تبدیل شده‌اند (شکل ۷ پ

و ت). این کانی‌ها گاهی همراه با مالاکیت در رگه - رگچه‌های کانه‌دار و به صورت سطحی در طی فرآیندهای ثانویه تشکیل شده‌اند. حضور گوئیت نشان دهنده نسبت اندک پیریت به کالکوپیریت، میزان اسیدیته پائین و میزان سولفید کل پائین می‌باشد (Sillitoe and Perelló, 2005) آهن موجود در کالکوپیریت در تشکیل گوئیت نقش داشته است (شکل ۶ ت).

۴: کانی‌های باطله (کوارتز، کلسیت و زئولیت): کوارتز به صورت بلورهای شفاف حدود ۲۵ درصد کانی‌ها باطله را تشکیل می‌دهند و به صورت رگه - رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و دانه پراکنده وجود دارد. کلسیت به عنوان فراوان‌ترین کانه‌های باطله به صورت دانه‌های بی‌شکل، پراکنده یا مجتمع به صورت بادامکی و رگه - رگچه‌ای و همراه با زئولیت و کوارتز ظاهر می‌شوند. زئولیت غالباً از نوع آنالیم و ناترولیت و به صورت پرکننده حفرات و درزه‌ها و شکستگی‌ها، با بافت شعاعی و رنگ سفید در واحدهای گدازه مشاهده می‌شوند.

ساخت و بافت

عمده‌ترین ساخت ماده معدنی در کانسار مس ابری و رهبری ساخت رگه‌ای و رگه - رگچه‌ای است. بافت‌های مشاهده شده در منطقه شامل بافت پرکننده فضاهای خالی، جانشینی و دانه پراکنده است. ساخت رگه‌ای و رگه - رگچه‌ای: یکی از عمده‌ترین سیماهای مواد معدنی در بخش کانه‌دار، حضور آن‌ها به صورت رگه - رگچه‌ای است که به‌طور عمده در واحد گدازه دیده می‌شود. از نظر ترکیب کانی‌شناسی رگه‌های کانه‌دار در ۵ دسته متفاوت قرار می‌گیرند: ۱) مالاکیت (شکل ۷ ث؛ ۲) کالکوسیت + مالاکیت؛ ۳) مالاکیت + اکسیدهای آهن؛ ۴) کلسیت + مالاکیت؛ ۵) اکسیدهای آهن و ۶) رگه کوارتز - کلسیت می‌باشند. بافت پرکننده فضای خالی: یکی از عمده‌ترین سیماهای مواد معدنی در بخش کانه‌دار، حضور آنها در نقش پرکننده فضاهای خالی است. در مناطق مورد مطالعه واحد آذرآواری به دلیل تخلخل و نفوذپذیری بالا و واحد گدازه در امتداد درزه‌ها و شکستگی‌ها، فضای مناسب را جهت تشکیل این بافت به وجود آورده‌اند. کانی کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و کانی‌های باطله عمدتاً بافت پرکننده فضاهای خالی را تشکیل می‌دهند.



شکل ۵: الف: تصویر میکروسکوپی کالکوسیت که از حاشیه و امتداد شکستگی‌ها توسط کوولیت جانشین شده است و بافت جانشینی را نشان می‌دهد. ب: بورنیت توسط کالکوسیت جانشین شده است. پ: تصویر نمونه دستی، جانشینی اکسیدهای آهن به جای پیریت است. ت: تصویر میکروسکوپی از کالکوپیریت به همراه گوئیت، مالاکیت و کالکوسیت که نشان‌دهنده تجزیه کالکوپیریت به این کانی‌ها است. ث: حضور مالاکیت به صورت رگه - رگچه‌ای، د: بافت دانه پراکنده کانی‌های کالکوسیت در تصویر میکروسکوپی.

بافت جانشینی: در کانسارهای مورد مطالعه می‌توان به جانشینی سولفیدهای فلزی (نظیر پیریت) با اکسیدها نظیر (هماتیت، گوئیت و لیمونیت)، جانشینی حاشیه‌ای (تبدیل کالکوسیت به کوولیت) و جانشینی بورنیت توسط کالکوسیت و مالاکیت اشاره نمود (شکل ۵ الف و ب). ساخت و بافت‌های جانشینی و رگه‌ای (رگه - رگچه‌ای) در کانی‌های مس سولفیدی بیان‌کننده منشاء اپی‌ژنتیک و کانی‌سازی استراتاباند برای این کانی‌سازی است.

این بافت دانه پراکنده: این بافت در کانسار ابری و رهبری تنها در متن واحد آذرآواری دیده می‌شود. کانی‌هایی از جمله کالکوسیت، کالکوپیریت، پیریت و مگنتیت به صورت افشان در متن سنگ مشاهده می‌شوند (شکل ۵ د). با توجه به مطالعات کانی‌شناسی در مناطق مورد مطالعه محتمل‌ترین توالی پاراژنزی در جدول ۲ مربوط به منطقه ابری و رهبری ارائه شده است.

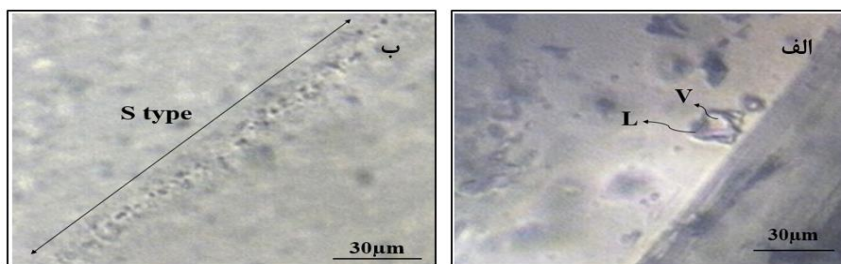
جدول ۲: توالی پاراژنتیکی کانی‌ها در کانسار مس ابری و رهبری

minerals	processes	Volcanism and early diagenesis	Late diagenesis	Supergene
	quartz			
Calcite				
Chlorite				
Sericite				
Zeolite				
Hematite				
Pyrite				
Chalcopyrite				
chalcocite				
Bornite				
Covelite				
Azurite				
Malachite				
Goethite and limonite				
Dissiminated				
Texture	Open space filling			
	Vein- veinlet			
	Replacement			

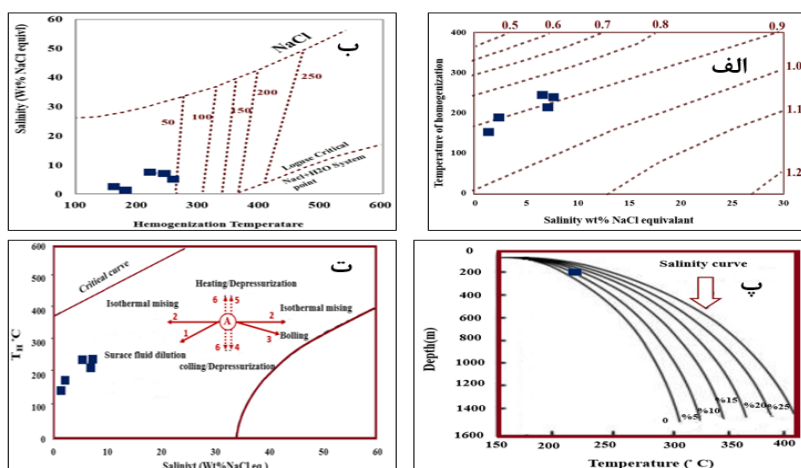
مطالعات سیال درگیر

به منظور تعیین دما، شوری، چگالی و حتی ترکیب احتمالی سیال مسئول کانه‌زایی و دگرسانی در سنگ‌های منطقه ابری و رهبری، ۳ نمونه از رگه سیلیسی و کلسیتی همراه با کانه‌زایی انتخاب شدند. مطالعات بر روی ۵ میانبار سیال حاصل از دو نمونه سه بر صیقل صورت پذیرفت. سیالات درگیر مطالعه شده جزء میانبارهای دو فاز غنی از مایع و از نوع همگن محسوب می‌شوند. سیالات درگیر در نمونه‌ها از نوع سیالات درگیر اولیه و ثانویه هستند که سیالات درگیر اولیه با پراکندگی تصادفی دیده و سیالات درگیر ثانویه در امتداد یک خط قرار گرفته‌اند که احتمالاً در ارتباط با شکستگی‌های ایجاد شده تشکیل شده‌اند. اندازه میانبارهای سیال اولیه و میانبار سیال ثانویه ۸ تا ۱۰ میکرون می‌باشند. این میانبارها از لحاظ شکل مستطیل، کروی و بی شکل هستند (شکل ۶ الف و ب). میانگین دماهای اندازه-گیری شده ۱۹۸ درجه سانتی‌گراد و دامنه تغییرات شوری به دست آمده با میانگین ۸/۹ درصد وزنی معادل نمک طعام است. با استفاده از نمودار دمای همگن شدن در مقابل

میزان شوری سیال (Wilkinson, 2001). و نمودار دمای همگن شدن در مقابل میزان شوری (Ramdohr, 1980)، چگالی سیالات در بازه 0.9 gr/cm^3 (شکل ۷ الف) و فشار بخار محلول تا کمتر از ۵۰ بار است (شکل ۷ ب). براساس نمودار (Haas, 1971) عمق به دام افتادن میانبار سیال بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ متر در منطقه ابری و رهبری است (شکل ۷ پ). اگر سیال ضمن جوشش به دام افتاده باشد، دمای همگن شدن برابر با دمای به دام افتادن سیال است (Wilson and Zentilli, 2006). برای پی بردن به سیر تکاملی سیال مسبب کانی‌سازی، با استفاده از روندی که میانبارهای مورد مطالعه در نمودار دمای همگن شدن در مقابل میزان شوری (Wilson and Zentilli, 2006)، نشان می‌دهند، می‌توان مسیر تحول سیال را تعیین کرد (شکل ۷ ت). با در نظر گرفتن روند ۱، ۲ و ۴ برای میانبارهای سیال مورد مطالعه فرآیندهای رقیق‌شدگی با سیال‌های سطحی، اختلاط با سیال هم دما، سرد شدن و کاهش فشار مسئول تحولات ایجاد شده در سیال دانست. این نمودار نقش آب‌های جوی را به خوبی نمایان می‌کند.



شکل ۶: پتروگرافی میانبار سیال: الف: سیال دوفازی غنی از مایع، ب: روند خطی میانبارهای ثانویه یا ثانویه کاذب منطقه ابری



شکل ۷ الف: براساس نمودار دما - شوری جهت تعیین چگالی محلول‌های $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ اشباع از بخار، چگالی سیالات در بازه 0.9 gr/cm^3 است. ب: نمودار تعیین فشار بخار محلول براساس دمای همگن شدن و شوری، فشار تا کمتر از ۵۰ کیلو بار را نشان می‌دهد. پ: تعیین عمق به دام افتادن میانبارهای سیال، بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ متر در منطقه ابری و رهبری، ت: نمودار شوری - دمای همگن شدن جهت تعیین فرآیندهای مؤثر در تکامل سیال و نهشت.

ژئوشیمی سنگ‌های دربرگیرنده

با استفاده از نتایج تجزیه عناصر اصلی و عناصر فرعی (جدول ۳ و ۴)، به مطالعه ژئوشیمی کانسار ابری و رهبری می‌پردازیم. براساس نمودار Zr/Ti در مقابل Nb/Y (Pearce, 1996)، سنگی آتشفشانی میزبان کانسار مس ابری و رهبری دارای ترکیب غالب

آندزیتی و آندزیت بازالتی هستند (شکل ۸ الف). براساس نمودار K₂O در مقابل SiO₂ (Middlemost, 1994)، سنگ‌های مورد بررسی در قلمروهای کالک آلکان پتاسیم متوسط تا بالا و به ندرت در قلمرو سری شوشونیتی قرار می‌گیرند (شکل ۸ ب).

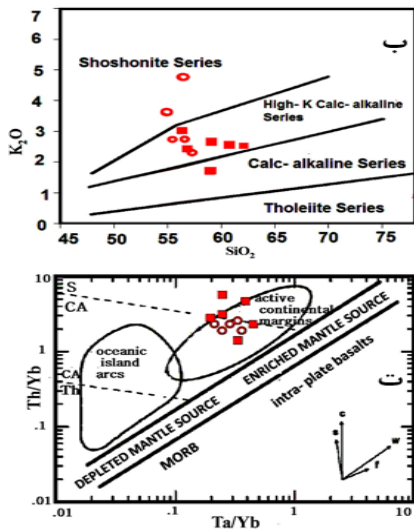
جدول ۳: فراوانی اکسیدهای اصلی بر حسب درصد وزنی (به روش XRF) منطقه ابری و رهبری (علامت * مربوط به منطقه رهبری)

شماره نمونه	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7*	A-8*	A-9*	A-10*	A-11*
SiO ₂	۶۲/۱	۵۹/۱	۵۸/۸	۶۰/۹	۵۶/۳	۵۶/۹	۵۵/۵	۵۵/۴	۵۴/۴	۵۶/۸	۵۶/۶
Al ₂ O ₃	۱۹/۸	۱۸/۷	۱۶/۸	۱۸/۹	۱۷/۲۰	۱۷/۸	۱۷/۸	۱۷	۱۷/۵	۱۷/۲	۱۶/۹
Fe ₂ O ₃	۶/۷	۸/۳	۸/۵	۷/۲	۷/۸۹	۹/۳	۸/۳	۸	۸/۶	۷/۹	۱۰/۵
MgO	۱	۲/۳	۱/۷	۲/۶	۳/۴۱	۳	۳	۳/۴	۳/۵	۳/۴	۲/۹
CaO	۳	۴/۲	۴/۳	۳/۹	۵/۷۷	۶/۱	۷/۱	۸/۲	۸	۵/۸	۴/۸
Na ₂ O	۴/۱	۳/۵	۳	۳	۲/۰۸	۲/۲	۳/۴	۲/۱	۲/۲	۲/۱	۲/۷
K ₂ O	۲/۵	۲/۷	۱/۷	۲/۷	۳/۰۶	۲/۵	۲/۴	۳/۵	۲/۸	۳/۱	۴/۸
LOI	۳/۰۷	۲/۲۰	۵/۶	۶/۵۰	۴/۳۶	۳/۱۸	۳/۵۷	۳/۵۷	۲/۸۱	۲/۸۱	۲/۹۰

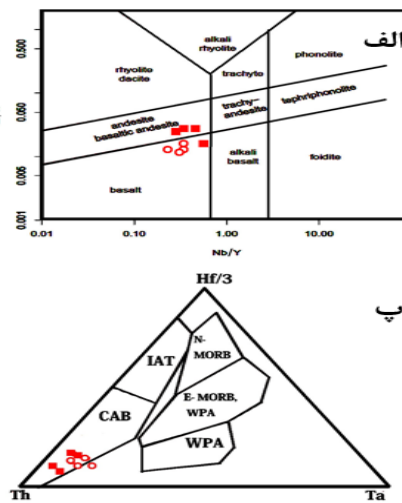
جدول ۴: مقادیر عناصر فرعی و کمیاب بر حسب (ICP-MS) PPM، منطقه ابری و رهبری (علامت * مربوط به منطقه رهبری)

شماره نمونه	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7*	A-8*	A-9*	10*-A	11*-A
Ag	۳/۴	۴	۹	۷/۹	۱/۴۰	۰/۱۰	۰/۴	۰/۵	۰/۱۹	۰/۸	۰/۱۹
Pb	۴۸	۹	۱۵	۱۲	۱۰	۸	۱۱	۱۰	۵	۱۳	۵
Cu	۳۲۳۲	۱۲۶۰	۷۵۹۵	۴۲۹۲۲	۱۰۰۰۰	۱۵۳	۳۴۷	۳۵۴	۷۲	۳۵۲	۸۷/۵
Mo	۱۰	۰/۸	۱/۵	۱/۹	۳/۷۳	۱/۰۷	۱	۰/۵	۱/۵	۱/۳۶	۱/۴۸
Bi	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۲	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۰۵	۰/۵	۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۱۱
Fe	۴۵۷۸۱	۴۱۳۳۸	۳۵۲۴۲	۴۳۸۶۲	۶۰۲۰۰	۶۷۳۰۰	۴۹۰۰۱	۵۰۲۳	۵۴۳۲	۴۳۲۶	۵۲۳۰۰
Co	۶۵/۵	۱۷/۸	۴۵/۹	۲۳/۵	۲۱/۷	۲۸/۳	۲۲/۶	۲۱/۸	۲۲/۴	۲۳/۳	۲۱/۴
Ni	۱۰۸	۴۲	۶۱	۳۵	۳۸/۶	۴۶/۶	۴۳	۳۲	۳۳	۲۵/۹۵	۳۱/۲
Li	۴۲	۲۲	۹	۱۹	۱۵/۲	۲۲/۵	۹	۱۰	۲۳/۵	۱۳/۲۶	۲۵/۳
Be	۲/۷	۵/۹	۶/۷	۷/۲	۱/۴	۱	۹/۴	۸/۴	۱/۶	۷/۳	۱/۴
Cs	۱/۷	۲/۲	۱/۲	۲/۳	۰/۳۸	۱۱/۱	۰/۹	۰/۸۹	۰/۷	۰/۳۶	۰/۶۸
Rb	۳۰	۶۳	۳۰	۵۹	۸۲/۶	۳۱/۱	۷۱	۷۳	۷۴/۲	۷۲/۳	۷۷/۵
Ba	۲۴۹۳	۸۴۱	۳۳۷	۳۳۰	۳۲۹	۴۱۸	۲۵۰	۲۴۵	۲۴۵	۲۰	۲۴۰/۸
Sr	۴۶۴	۶۱۱	۵۲۶	۵۷۱	۵۹۷	۴۴۴	۵۶۱	۴۴۸	۴۵۲	۶۲۱	۴۴۹
Th	۴/۰۶	۴/۶۸	۳/۷۳	۴/۱۷	۵/۶	۲/۷	۳/۴	۴/۳	۳/۸۹	۳/۷۵	۴/۷
Zr	۵۹	۱۱۴	۱۱۰	۱۱۰	۹۸/۸	۶۱	۸۵	۷۶	۸۷/۳۳	۶۳	۸۷/۸
Hf	۱/۱۶	۳	۲/۷۶	۲/۸۲	۲/۹۲	۱/۹۲	۱/۹۴	۱/۷۳	۲/۲۳	۱/۶۳	۲/۲۳
Nb	۵/۵	۷/۲	۵/۷	۶	۸/۴	۴/۳	۵/۹	۶/۹	۶/۸	۶/۵	۷/۴
Ta	۰/۳۳	۰/۴۲	۰/۲۶	۰/۳	۱/۱۲	۰/۶۵	۰/۳۹	۰/۵۵	۰/۵۶	۰/۷	۰/۶۶
La	۱۴	۱۲	۹	۱۱	۲۱/۷	۱۵/۱	۱۴	۱۶	۱۷/۱۶	۱۵/۳	۱۸/۴
Ce	۲۶	۳۰	۲۵	۲۷	۴۴/۲	۳۱/۱	۳۲	۳۰	۳۹/۸	۳۰/۱	۴۰/۹
Nd	۱۲/۶	۱۶/۶	۱/۳	۱۳/۸	۲۱/۷	۱۷/۴	۱۶/۳	۱۷/۳	۱۸/۳۵	۲۲/۳	۲۱/۱
Eu	۱/۰۷	۱/۱۲	۱/۰۴	۰/۹۹	۱/۵۲	۱/۳۹	۱/۱۸	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۱۹	۱/۳۳
Tb	۰/۴۲	۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۷۱	۰/۶۴	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۴۱	۰/۴۸	۰/۶۳
Yb	۰/۹	۱/۷	۱/۱۷	۱/۵	۲/۴	۲	۱/۷	۲/۱	۱/۹	۲	۲/۲
Lu	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۴

های جزیره‌ای) یکی از جایگاه‌های تشکیل سری ماگمایی کالک آلکالن پتاسیم متوسط تا بالا محسوب می‌شوند. برای تفکیک کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای از نوع کمان‌های جزیره‌ای، از نمودار نسبت Th/Yb در مقابل نسبت Ta/Yb (Pearce, 1983)، استفاده شده است (شکل ۸ ت). براساس نمودار ذکر شده، نمونه‌ها در محدوده کالک آلکالن تا شوشونیتی و در محیط کمان قاره‌ای قرار گرفته و منشائی مرتبط با گوشته غنی‌شده همراه با تأثیر سیالات زون فرورانش را نشان می‌دهند.



شکل ۸: الف: موقعیت سنگ‌های آتشفشانی محدوده کنسار مس ابری در نمودار Zr/Ti نسبت به Nb/Y . تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه ابری با استفاده از نمودارهای ارائه شده: ب: نمودار K_2O در مقابل SiO_2 . پ: تعیین محیط‌های زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی با استفاده از نمودار $Hf/3-Th-Ta$. ت: محیط تکتونیکی سنگ‌های منطقه و تفکیک کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای از نوع کمان‌های جزیره‌ای براساس: تغییرات Th/Yb در برابر Ta/Yb (علامت مربع مربوط به منطقه ابری و علامت دایره مربوط به منطقه رهبری).



به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن مرتبط است که در مناطق سطحی مشاهده می‌شود. همبستگی مثبت میان آهن و مس (۰/۵) به تغییرات Ph و Eh در محیط بستگی دارد زیرا که مس تحت شرایط اکسیداسیون Ph متوسط تا پائین، دارای محدودیت قابلیت انحلال وسیعی می‌باشد و آهن نیز تحت این شرایط از قابلیت انحلال کمتری نسبت به مس برخوردار است. براساس ضرایب همبستگی پیرسون جدول ۶، در منطقه رهبری، در میان فلزات پایه سرب و روی همبستگی بالایی (۰/۸) را نشان می‌دهند. میزان همبستگی نقره با این دو فلز بالاست و معادل (۰/۸) می‌باشد. مس همبستگی بالایی با نقره و همبستگی متوسط با سرب و روی نشان می‌دهد. میزان همبستگی مس با سرب و روی در منطقه رهبری نسبت به منطقه ابری بالاتر است

به منظور تعیین محیط تکتونیکی از نمودارهای مبتنی بر پایه عناصر کمیاب، نسبت‌های بین آنها و عناصر کم تحرک استفاده شده است. با توجه به نمودار (Wood, 1980)، همه نمونه‌ها، در گستره کمان قاره‌ای (CAB) واقع می‌شوند (شکل ۸ پ). از آنجایی که نمونه‌ها نزدیک به رأس Th و زیر خط جداکننده $Hf/Th=3$ خط جداکننده مرز بین CAB و IAT قرار گرفته‌اند، همه آن‌ها دارای ماهیت کالک آلکالن هستند. از دیدگاه تکتونیک ورقه‌ای، مرزهای همگرا (حاشیه قاره‌ای فعال و کمان

ژئوشیمی کانسنگ

براساس ضرایب همبستگی پیرسون (جدول ۵)، در منطقه ابری، در میان فلزات پایه، همبستگی بالایی میان مس و نقره (۰/۸)، قلع و آنتیموان (۰/۹۵) وجود دارد. سرب و روی همبستگی بسیار ضعیفی با هم دارند. با توجه به این که نقره همبستگی خوبی با مس نشان می‌دهد به نظر می‌رسد که نقره در کانی‌های سولفیدی مس وجود دارد، زیرا در کانی‌های سولفید مس مقدار جزئی نقره جانشین مس می‌گردد (Reich et al, 2013). همبستگی منفی آهن با گوگرد می‌تواند به دلیل تبدیل کانی‌های سولفیدی به اکسیدهای آهن باشد. رخداد شست و شوی اسیدی و هوازدگی باعث خروج گوگرد از ساختمان کانی‌ها و کاهش میزان گوگرد می‌شود. این کمبود با تبدیل کانه‌های پیریت و کالکوپیریت

مس و نقره) در منطقه رهبری از همبستگی مثبت و بالاتری برخوردار هستند.

و می‌تواند ناشی از تحرک‌پذیری بالای سرب و روی در این منطقه باشد. به‌طور کلی فلزات پایه از جمله (سرب، روی،

جدول ۵: ضرایب همبستگی پیرسون بین عناصر کمیاب در کانسار مس ابری

Ag	۱							
As	۰/۳	۱						
Bi	۰/۴	۰/۴	۱					
Cu	۰/۸*	۰/۵	۰/۷	۱				
Fe	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۱			
Pb	۰/۵	۰/۷	-۰/۱	۰/۳	۰/۷	۱		
S	۰/۱	۰/۶	۰/۵	۰/۳	-۰/۴	۰/۵	۱	
Zn	۰/۵	۰/۲	-۰/۲	۰/۴	۰/۸*	۰/۴	-۰/۰۳	۱
	Ag	As	Bi	Cu	Fe	Pb	S	Zn

جدول ۶: ضرایب همبستگی پیرسون بین عناصر کمیاب در کانسار مس رهبری

								Ag
							۱	-۰/۴
						۱	۰/۳	۰/۸*
					۱	۰/۲	۰/۷	۰/۲
			۱	-۰/۱	۰/۶	۰/۱	۰/۷	۰/۷
		۱	-۰/۹*	-۰/۴	-۰/۲	۰/۳	-۰/۹	۰/۸*
۱	-۰/۵	۰/۸*	-۰/۰۱	۰/۷	-۰/۵	۰/۸*	۰/۸*	۱
	Zn	S	Pb	Fe	Cu	As	Ag	

نزدیکی آن‌ها به کانسارهای تیپ مانتو یا کانسارهای آتشفشانی لایه قرمز هستند (Cas and Zagorevski, 2009). کانی‌سازی در کانسارهای تیپ مانتو از جمله La Serena در مرکز شیلی در سنگ‌های متخلخل مانند واحدهای آذرآواری و در مرز سنگ‌های آتشفشانی و آهکی رخ می‌دهد. کانی‌سازی به صورت رگه‌ای، نواری، دانه پراکنده، جانشینی، و پرکننده حفرات در سنگ‌های آتشفشانی صورت گرفته است (Guest et al, 2006). کانه‌زایی در منطقه ابری و رهبری در افق خاصی از سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی ائوسن واقع در جنوب زیر پهنه سبزوار در موقعیت زمین‌ساختی کمان آتشفشانی با ماهیت کالک آلکالن مرتبط با زون فرورانش و در مرز واحد گدازه‌ای و سنگ آهک نومولیت‌دار به صورت چینه‌کران است. کانی‌های بورنیت، کالکوپیریت و کالکوسیت، در گدازه‌های آتشفشانی و سنگ‌های آذرآواری به صورت دانه پراکنده، رگه‌ای و پرکننده حفرات و شکستگی‌ها از خصوصیات

مقایسه کانسار مس ابری و رهبری با کانسارهای تیپ مانتو ساختارهای قوس قاره‌ای مهم‌ترین منبع اقتصادی برای مناطق تیپ مانتو هستند در محیط‌های رسوبی هستند (Cabral and Beaudoin, 2007). به بیان (Van Stall et al, 2007)؛ این محیط‌ها تحت‌تأثیر آتشفشان‌های بایمدال قرار دارند. با این حال رخدادهای اصلی آتشفشانی در ائوسن اولیه، رخ داده است که با فوران‌های انفجاری در حوضه‌های آتشفشانی - رسوبی شروع می‌شود (Guest et al, 2006) و با جریان‌های گدازه‌ای زیر دریایی ادامه می‌یابد. کانی‌سازی در کانسار مس ابری و رهبری در قوس‌های آتشفشانی در امتداد حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده است. کانسارهای تیپ مانتو در شیلی به‌طور گسترده‌ای در توالی‌های رسوبی - آتشفشانی توزیع شده‌اند اما معمولاً در توالی‌های آتشفشانی - رسوبی مرتبط با جزایر قوسی رخ می‌دهند. (Carrillo-Rosúa et al, 2014)، ارتباط کانی‌سازی کانسار مس ابری و رهبری با سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی نشان‌دهنده

حضور پیریت عامل مهمی برای ایجاد وضعیت احیایی در سنگ میزبان کانه‌زایی به شمار می‌رود.

مرحله دیاژنز ثانویه: از مرحله دیاژنز به بعد در نتیجه ته‌نشینی رسوبات جدیدتر بر روی آن‌ها، تدفین صورت می‌گیرد. سیال گرمایی به دلیل دمای بالای محیط و گردش در واحدهای آتشفشانی و آذرآواری، مس آزاد شده از تبدیل کانی‌های هیدروکسید آهن (تشکیل شده در مرحله فعالیت آتشفشانی) به اکسیدهای آهن (هماتیت) و نیز مس آزاد شده در شبکه کانی‌های فلدسپار موجود در واحدهای آتشفشانی دگرسان شده را حمل کرده و پس از چرخش در واحدهای سنگی به سمت بالا به واحد آذرآواری با تخلخل و نفوذپذیری بالا رسیده و کانی‌های کالکوسیت و کالکوپیریت در مرحله دیاژنز تدفینی تشکیل شده‌اند. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که عنصر مس از سنگ‌های میزبان آتشفشانی - رسوبی نشأت گرفته است. فاز کانه‌زایی سولفید (پیریت، کالکوپیریت و کالکوسیت اولیه) به صورت دانه پراکنده و پراکنده فضاهای خالی در واحد آذرآواری در مرحله دیاژنز تدفینی تشکیل شده‌اند.

مرحله بالآمدگی (فعالیت‌های هیدروترمالی): در انتهای فرایند تدفین و با آغاز بالآمدگی منطقه و گسل خوردگی، فضاهای باز تحت‌تأثیر گسل‌های درونه و گسل بینالود افزایش می‌یابد و این امر سبب شروع فعالیت و تمرکز دوباره کانه‌زایی سولفیدی و اکسیدی مس در امتداد گسل‌ها، درزه و شکاف‌ها و حتی فضاهای خالی واحدهای آذرآواری می‌شود. در بخش‌هایی از منطقه شواهد معینی وجود دارد که حرکت محلول‌های مس-دار به وسیله ساختارهای خطی و منطقه‌های گسلی، کنترل شده است. فاز کانه‌زایی اکسیدی و کربناته (مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن) به صورت رگه - رگچه‌ای، پراکنده فضاهای خالی در مرحله اکسیدان صورت گرفته است.

منشاء گوگرد برای کانسارهای تیپ مانتو: براساس مطالعات (Carrillo-Rosúa et al, 2014)، دو منشاء مجزا برای گوگرد موجود در کانسارهای تیپ مانتوشیلی ارائه شده است: الف) سولفور مشتق شده از ماگمای نامشخص: از آنجایی که ارتباط زمانی و مکانی قوی بین مس با شدت و گسترش آتشفشان‌هایی که منجر به جریان گدازه‌ای تا چندین کیلومتر شده‌اند وجود دارد و اغلب میزبان مواد معدنی هستند. گوگرد تولید شده از آتشفشان‌ها احتمالاً منشاء اصلی است.

کانسارهای تیپ مانتو در شیلی می‌باشد (Kojima et al, 2019). کانی‌های اصلی تشکیل دهنده کانسار مس ابری و رهبری شامل؛ کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و کولیت) و کانی‌های کربناته (مالاکیت، آزوریت) می‌باشند. رسوبات تیپ مانتو شیلی، از درجه نسبتاً بالایی از مس برخوردارند (Cas and Zagorevski, 2009). به عنوان مثال؛ مهم‌ترین کانسارهای تیپ مانتو، مانتوبلانکو در شمال شیلی و السولدادو در مرکز شیلی است (Boric et al, 2009). میزان عیار مس در این کانسارها از ۸۵/۰ تا ۵/۳ درصد متغیر است (Wilson et al, 2003).

میزان مس در کانسار ابری و رهبری معادل ۴ تا ۵ درصد وزنی می‌باشد. دگرسانی‌ها در تیپ مانتو گسترش کمی دارند و شامل دگرسانی کربناتی، کلریتی، سیلیسی و سرسیتی است. سیلیسی شدن و کربناتی شدن، از عمده‌ترین و معمول‌ترین دگرسانی‌ها در کانسارهای تیپ مانتو هستند (Cabral and Beaudoin, 2007). از مهم‌ترین دگرسانی‌های موجود در منطقه ابری و رهبری می‌توان به دگرسانی آرژیلیتی، سیلیسی، کلریتی و کربناتی اشاره نمود. ویژگی‌های مشخص از جمله تشکیل آن در توالی‌های آتشفشانی - رسوبی، کانی‌سازی چینه‌کران در سنگ‌های میزبان گدازه‌ای با ترکیب آندزیت و آندزیت - بازالتی، کانی‌شناسی ساده کالکوسیت و ویژگی‌های بافتی نشان‌دهنده این است که کانسار مس ابری و رهبری معادل کانسارهای تیپ مانتو می‌باشند.

شرایط تشکیل کانسار مس ابری و رهبری

مراحل کانه‌زایی و فرآیندهای تشکیل را با توجه به مدل دیاژنتیکی - اپی‌ژنتیکی می‌توان در سه مرحله: مرحله اول: دیاژنز آغازین، مرحله دوم: مرحله دیاژنز تدفینی و مرحله سوم: مرحله بالآمدگی (فعالیت‌های هیدروترمالی) بیان نمود الگوی تشکیل کانسار به شکل شماتیک در (شکل ۹) ارائه شده است.

مرحله دیاژنز آغازین: پس از فعالیت‌های آتشفشانی گسترده، در طی مرحله دیاژنز، در این مرحله باکتری‌های احیاکننده سولفات‌های آب دریا در محیط حضور داشته‌اند و فعالیت آنها، سبب ایجاد شرایط احیایی در حوضه شده است. در نتیجه گوگرد حاصل با آهن موجود سبب نهشته شدن پیریت به صورت دانه پراکنده و پراکنده فضاهای خالی در زمینه سنگ می‌شود.

در سنگ‌های با لیتولوژی مناسب جریان یافته و باعث شست و شو تمرکز مس گردیده‌اند و ۴: حضور توده‌های نفوذی در عمق به عنوان عامل حرارتی. کانی‌سازی در سه مرحله دیاژنز آغازین، دیاژنز تدفینی و مرحله بالآمدگی (فعالیت‌های هیدروترمالی) تشکیل شده است. منشاء گوگرد، پیریت‌های دانه پراکنده در شرایط احیایی (حاصل از فعالیت باکتری‌های احیاکننده سولفات‌های آب دریا)، می‌باشند. براساس مطالعات میانبراهای سیال، می‌توان فرآیندهای رقیق‌شدگی با سیال‌های سطحی، اختلاط با سیال هم‌دما، سرد شدن و کاهش فشار مسئول تحولات ایجاد شده در سیال دانست. با توجه به مطالعات انجام شده می‌توان گفت کانی‌سازی در منطقه ابری و رهبری به صورت اپی‌ژنتیک، استراتاباند است که به کانسارهای مس تیپ مانتو مشابهت دارند.

ب) سولفور تولید شده توسط باکتری‌های احیا کننده سولفات‌ها: در طی رسوب سنگ میزبان، پیریت‌های دانه پراکنده در شرایط احیایی (حاصل از فعالیت باکتری‌های احیاکننده سولفات‌های آب دریا)، تشکیل می‌شوند. حضور پیریت عامل مهمی برای ایجاد وضعیت احیایی در سنگ میزبان کانه‌زایی به شمار می‌رود.

نتیجه‌گیری

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نوار ماگمایی شمال پهنه ساختاری ایران مرکزی میزبان کانسار مس ابری و رهبری دارای ترکیب غالب آندزیت و آندزیت بازالتی هستند. عوامل مؤثر بر کانه‌زایی مس در مناطق مورد مطالعه عبارتند از: ۱: لیتولوژی سنگ‌های دربرگیرنده، ۲: کنترل‌های ساختاری (گسل، درزه و شکاف)، ۳: محلول‌های گرمایی که

منابع (References)

- Abolipour, M., Rastad, E. and Rashidnejad, N., 2015. Manto-type copper mineralization in pyrobitumen-bearing porphyritic andesite, Kashkouieh district of Rafsanjan, Dehaj-Sardoie subzone, Scientific Quarterly Journal, Geosciences, p. 123-144.
- Alavi, M., 1991. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran, Geological Society of America Bulletin, v. 103(8), p. 983-992.
- Alizadeh, V., Momenzadeh, M. and Emami, H.M., 2013. Petrography, geochemistry, mineralogy, fluid inclusions and mineralization study of Varezg-Qayen copper deposit, Scientific Quarterly Journal, Geosciences, p. 47-58.
- Boric, R., Holmgren, C., Wilson, N.S.F. and Zentilli, M., 2002. The geology of the El Soldado manto type Cu (Ag) deposit, central Chile, Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and related deposits: a global perspective, Porter, TM, p. 163-184.
- Bazin, D. and Hübner, H., 1969 Copper deposits in Iran, Geological Survey of Iran, p. 13-14.
- Brown, A.C., 2005. Refinements for footwall red-bed diagenesis in the sediment-hosted stratiform copper deposits model, Economic Geology, v. 100(4), p. 765-771.
- Campus, F., 1980. Distroto Minero Punta del cobre, modelo interpretative, Revista Geologica Chile, v. 11, p. 51-76.
- Carrillo-Rosúa, J., Boyce, A.J., Morales-Ruano, S., Morata, D., Roberts, S., Munizaga, F. and Moreno-Rodríguez, V., 2014. Extremely negative and inhomogeneous sulfur isotope signatures in Cretaceous Chilean manto-type Cu-(Ag) deposits, Coastal Range of central Chile. Ore Geology Reviews, v. 56, p. 13-24.
- Carrillo-Rosúa, J., Boyce, A.J., Morales-Ruano, S., Morata, D., Roberts, S., Munizaga, F. and Moreno-Rodríguez, V., 2014. Extremely negative and inhomogeneous sulfur isotope signatures in Cretaceous Chilean manto-type Cu-(Ag) deposits, Coastal Range of central Chile. Ore Geology Reviews, v. 56, p. 13-24.
- Cas, G. and Zagorevski, A., 2009. Volcanic redbed copper mineralization in the Hinds lake area, central Newfoundland, Geological survey report, p. 131-146.
- Cabral, A.R. and Beaudoin, G., 2007. Volcanic Red-bed Copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexander, Quebec Appalachians, Canada, Mineral, Deposita, v. 42(8), p. 901-912.
- Ghaemi, F., Mousavi-Hahrami, R., 2006. Geological map of 1: 100,000 Daruneh, Geological Survey of Iran.
- Ghasemi, A. and Talbot, C.J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone

- (Iran), *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 26, p. 683-693.
- Guest, B., Axen G.J., Lam, P.S. and Hassanzadeh, J., 2006. Late Cenozoic shortening in the westcentral Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thinskin deformation, *Geosphere*, v. 2, p. 35-52.
- Haas, J.L., 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure, *Economic Geology*, v. 66(6), p. 940-946.
- Ilkhchi, M.R., Faryad, S.W., Schulmann, K. and Kosler J., 2006. Metamorphism and exhumation processes of the Shotur Kuh metamorphic complex, Semnan Province (Central Iran Zone), *Geolines* 20, 55.
- Kojima, S., Trista-Aguilera, D. and Hayashi, K.I., 2009. Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits, *Resource geology*, v. 59(1), p. 87-98.
- Konari, M.B., Rastad, E., Kojima, S. and Omran, N.R., 2013. Volcanic redbed-type copper mineralization in the Lower Cretaceous volcano-sedimentary sequence of the Keshtmahaki deposit, southern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran, *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry*, v. 190(2), p. 107-121.
- Maksaev, V., 2012. Chilean strata-bound Cu-(Ag) deposits: An overview. Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits, some global perspectives, v. 2, p. 185-205.
- Maghfouri, S. and Movahednia, M., 2015. Investigation of geology and mineralization of Abbas Abad copper deposit and camper with Manto-type deposit, 18th Symposium on Iranian Geosciences, Tarbiat Modares University, Iran (in Persian with English abstract).
- Middlemost, E.A.K., 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system, *Earth-Science Reviews*, v. 37(3), p. 215-224.
- Pearce, J.A., 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams, Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration, Geological Association of Canada, Short Course Notes, v. 12(79), p. 79-113.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins, In: Hawkesworth, C.J. and Nurry, M.L. (Eds.), *Continental basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva, Nantwich, p. 230-249.
- Ramdohr, P., 1980. *The ore minerals and their intergrowths* 2nd edn, Oxford and New York, 637 p.
- Reich, M., Deditius, A., Chryssoulis, S., Li, J.W., Ma, C.Q., Parada, M.A., Barra, F. and Mittermayr, F., 2013. Pyrite as a record of hydrothermal fluid evolution in a porphyry copper system: A SIMS/EMPA trace element study, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 104, p. 42-62.
- Soltani, A., 2016. Mineralogy, geochemistry and genesis of the Abri, Rahbari, Cheshmeh Marziyeh Cu deposit, NW Darooneh, Master thesis, Faculty of Geosciences, Shahroud University.
- Salehi, L. and Rasa, I., 2016. Sulfur isotopic characteristics of the chalcocite in Madan Bozorg Cu deposits, Abbas Abad, NE Iran, 34th National and the 2nd International Geosciences Congress, Tehran, Iran.
- Siivola, J. and Schmid, R., 2007. Recommendations by the IUGS Subcommission on the systematics of metamorphic rocks: list of mineral abbreviations, Web version.
- Sillitoe, R.H. and Perelló, J., 2005. Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery, *Economic Geology* 100th Anniversary Volume, p. 845-890.
- Van Stall, C.R., Whalen, J.B., McNicol, V.J., Pehrsson, S., Lissenberg, C.J., Zagorevski, A., Van Breemen, O. and Jen, G.A., 2007. The Notre Dame arc and the tectonic orogeny in Newfoundland, in 4-D framework of Continental crust, Edited by R.D. Hatche, r Jr., M.P. Carlson, J.H., McBride J.R., Martinez Catalan, p. 511-552.
- Wilkinson, J. J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, v. 55(1-4), 229 p.
- Wilson, N.S. and Zentilli, M., 2006. Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts, central Chile, *International journal of coal geology*, v. 65(1-2), p.158-169.
- Wood, D.A., 1980. The application of a Th Hf Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province, *Earth and planetary science letters*, v. 50(1), p. 11-30.

- Wilson, N.S., Zentilli, M. and Spiro, B., 2003. A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado manto-type copper deposit, Chile: the essential role of bacteria and petroleum, *Economic Geology*, v. 98(1), p.163-174.
- Yousefi, F., Sadeghian, M., Semyari, S. and Ghasemi, H., 2017. Geochemistry and Tectonic setting of high silica adakitic domes of Ahmad Abad Khartouran (South East of Shahrood), *Journal of Earth Sciences*, v. 100, p. 291-298.
- Yousefi, F., Sadeghian, M., Sadati Jamali, S.Z., Mansouri Moghaddam, B. and Ghasemi, H., 2017. Petrogenesis of low Silica Adakitic domes of Sahl (South of Shahrood, southeast of Semnan Province), *Journal of Petrology*, v. 28, p. 95-108.