



Research Article

Geology, alteration, mineralization, and fluid inclusions of the Majidabad iron deposit, Ardabil province

Tohid Nouri^{1*}, Fatemeh Hassani Soughi², Zahra Hassani Soughi²

1-Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2-Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 14 Feb 2026 Accepted: 22 Jul 2026

Extended Abstract

Introduction

The Majidabad area is located approximately 20 km southwest of Nir city, Ardabil Province, northwestern of Iran. Based on the division of sedimentary-structural zones of Iran (Nabavi, 1976), this area is considered a part of the Alborz-Azarbaidjan zone. In Azarbaidjan, deposits of lead, zinc, iron, copper, and molybdenum are known to be among the most important ore minerals. The metallogenic zones of Takab, Ahar-Arasbaran, and Tarom-Hashtjin can be identified in Azarbaidjan. The Majidabad area is located in eastern part of Azarbaidjan. Among the research works carried out in the Majidabad area, one can mention the exploration operations such as geological, geophysical and geochemical studies by the Industry, Mining, and Trade Organization of Ardabil Province (IMTOAP, 2012). Based on these studies, the highest and lowest amounts of iron oxide (magnetite) in this area were determined to be about 93.29 and 27.3%, respectively, with an approximate average of 54.47%. However, no detailed and scientific study has been conducted so far regarding the characteristics of alteration and mineralization zones and the characteristics of hydrothermal fluids in this area. In this study, an attempt is made to investigate the geological, alteration, mineralization, and fluid inclusions characteristics in the Majidabad area. This research also attempts to discuss the physiochemical properties and conditions governing the ore-forming fluid using the results of fluid inclusions studies. The results of this research can play an effective role in the exploration and identification of ore-bearing zones in other similar areas in the country.

Materials and Methods

This research was conducted in two stages: field and laboratory studies. In the field stage, a field visit to the area was first conducted to identify rock units, alteration and mineralization zones, and the relationship of ore-bearing veins to host rocks. Then, 75 samples were taken from rock units and alteration and mineralization zones. In the laboratory stage, 10 thin-section samples and 20 thin-polished sections were prepared and studied. Microthermometry studies of fluid media were conducted at Tarbiat Modares University, Tehran, using a Linkam model THMSG600 device mounted on a ZEISS microscope. This device has the ability to change temperatures from +600 to -200°C. Calibration of the device was performed during the heating stage (with an accuracy of 0.6°C) using a cesium nitrate standard with a melting point of +414°C and during the cooling stage (with an accuracy of 0.2°C) using an n-hexane standard with a melting point of -94.3°C.

Citation: Nouri, T. et al, 2026. Geology, alteration, mineralization, and fluid inclusions of the Majidabad iron deposit, Ardabil province, Res. Earth. Sci: 17(2), (165-182) DOI: 10.48308/esrj.2026.107327

* Corresponding author E-mail address: t.nouri@uma.ac.ir



Results and Discussion

Based on its geological location, the Majidabad area is located on the 1:100000 Sarab geological map (Behrouzi and Amini Azar, 1992). The oldest exposed unit in this area is related to Eocene volcanic and pyroclastic rocks, including tuff, volcanic breccias, and andesitic and rhyolitic tuffs along with basaltic lavas and basaltic andesite, which are covered by the Oligocene marl and conglomerate unit and then by Miocene andesitic eruptions (in the form of tuff and lava). All of these volcanic-pyroclastic complexes are cut by post-Miocene subvolcanic bodies, dykes, and diorite stocks. Based on field and microscopic studies conducted in the Majidabad area, types of silicic, sericitic, argillic, and propylitic alterations have developed in this area. These alterations have mostly affected Eocene rock units. According to field studies conducted in the Majidabad area, mineralization in this area has occurred mainly in the form of magnetite veins. Magnetite veins are often hosted by Eocene tuff units and their thickness usually varies from a few centimeters to several meters. These veins are mostly in the form of masses and mainly have a north-south trend. Based on field and microscopic studies conducted in the Majidabad area, mineralization in this area occurred in two stages: hypogene and supergene. During the hypogene stage, as a result of the activity of hydrothermal fluids, magnetite veins and veinlets were formed in the area, and various types of hydrothermal alterations (silicic, sericitic, argillic, and propylitic) developed around the ore-bearing veins. Ore minerals such as magnetite, pyrite, and chalcopyrite formed during this stage of mineralization within the ore-bearing veins. During the supergene stage, the reaction of descending surface fluids with primary minerals (magnetite, pyrite, and chalcopyrite) in the area has caused the formation of secondary minerals, including iron oxides and hydroxides (goethite, hematite, and jarosite) and secondary copper sulfides (bornite, chalcocite, covellite, and digenite). According to field and microscopic studies, the most important gangue mineral in this area is calcite. On the basis of content of the main phases and the classifications provided (Shepherd et al., 1985), types of mono-phase vapor (V), liquid-rich two-phase (LV) and vapor-rich two-phase (VL) fluid inclusions were identified in the investigated inclusions. The melting temperature of the first piece of ice in the fluid inclusions of the study area was obtained in the range of -26 to -28 °C. These melting temperatures of the first ice fragments indicate that the ore-forming fluid of the Majidabad area contained amounts of KCl and $MgCl_2$ in addition to NaCl (Goldstein, 2003; Prokofiev et al, 2010). The melting temperature of the last ice pieces ($T_{m_{ice}}$) in the fluid inclusions was measured in the temperature range between -1.2 and -4.8 °C. According to the equation proposed by Bodnar (2003) and according to the melting temperature of the last ice pieces ($T_{m_{ice}}$), the salinity values of the fluid inclusions of the Majidabad area were determined to be in the range of 2.07 to 7.59 wt% NaCl eq; however, the highest frequency is related to the range of 2 to 3 wt% NaCl eq. The homogenization temperatures of fluid inclusions in the study area vary in the temperature range between 123 and 235 °C; however, the highest frequency belongs to the temperature range between 120 and 140 °C. The coexistence of mono-phase vapor, liquid-rich two-phase, and vapor-rich two-phase fluid inclusions in samples from the Majidabad area indicates the occurrence of ore-forming fluid boiling in this area (Albinson et al, 2001; Moncada et al, 2017; Simmons et al, 2005). In addition, the presence of plumose and comb textures in ore-bearing veins and veinlets may indicate the occurrence of boiling of the ore-forming fluid in the study area during mineralization (Hedenquist et al, 2000; Moncada et al, 2012). Therefore, considering the occurrence of ore-forming fluid boiling in the area, the homogenization temperatures of fluid inclusions do not require pressure correction (Simeone and Simmons, 1999); because in this case, the ore-forming fluid was most likely experiencing hydrostatic pressure at the time of trapping. Therefore, the homogenization temperature of fluid inclusions can be approximately equivalent to their entrapment temperature (Roedder and Bodnar, 1980; Simmons et al, 2005; Simeone and Simmons, 1999). Hydrostatic pressure values for the hydrothermal fluid of the Majidabad area were estimated to be less than 50 bar. These hydrostatic pressure values can be equivalent to depths of less than 500 meters below the water table. To determine the depth of mineralization in the study area, the homogenization temperature versus depth diagram (Haas, 1971) was also used. Considering the highest homogenization temperature (235 °C) and highest salinity (7.59 wt% NaCl eq) of the fluid inclusions, the approximate depth of mineralization in this area was determined to be about 300 m. To determine the evolutionary trends of the ore-forming fluid in the Majidabad area, the salinity versus homogenization diagram of fluid inclusions (Shepherd et al, 1985; Wilkinson, 2001) was used. According to this diagram, the fluid inclusions of the study area indicate two evolutionary processes of

boiling and dilution by surface waters, as the most important mechanisms for the deposition of ore metals in the study area. The density of the fluid inclusions in the study area can be determined using the homogenization temperature versus salinity diagram (Wilkinson, 2001) without considering their trapping conditions. According to this diagram, the density of ore-forming fluids in the Majidabad area mainly varies between 0.88 and 0.97 g/cm³. The salinity versus homogenization temperature diagram (Pirajno, 2009) was used to determine the type of effective complexes in transporting ore metals in the study area. According to this diagram, sulfide complexes have played an important role in transporting ore metals in the Majidabad area.

Conclusion

The most important rock units in the Majidabad area include Eocene to Oligocene volcanic-pyroclastic rocks, which are cut by post-Miocene diorite bodies. The most important alterations in this area are silicic, sericitic, argillic, and propylitic alterations. Mineralization in this area has often occurred in the form of magnetite veins hosted by Eocene pyroclastic units. Mineralization in this area has occurred in two stages: hypogene and supergene. In the hypogene stage, the primary minerals magnetite, pyrite, and chalcopyrite are formed. Secondary minerals such as iron oxides and hydroxides (goethite, hematite, and jarosite) and secondary copper sulfides (bornite, chalcocite, covellite, and digenite) were formed during the supergene stage. Calcite is the most important gangue mineral in this area. The salinity values of fluid inclusions in the Majidabad area vary between 2.07 and 7.59 wt% NaCl eq. The homogenization temperatures of the fluid inclusions in the study area were measured in the temperature range between 123 and 235 °C. The approximate depth of mineralization in this area was determined to be about 300 m. Boiling and dilution processes by surface waters are the most important mechanisms for the deposition of ore metals in the study area. The density of ore-forming fluids in the Majidabad area mostly varies between 0.88 and 0.97 g/cm³. Sulfide complexes have played an effective role in transporting ore metals in the Majidabad area. Considering the geological, alteration, mineralization, mineralogy, and texture characteristics, as well as the characteristics of the ore-forming fluid in the Majidabad area, mineralization in this area can be considered hydrothermal (vein).

Keywords: Alteration, Iron mineralization, Fluid inclusions, Majidabad, Ardabil.

زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و میانبارهای سیال کانسار آهن مجیدآباد، استان اردبیل

توحید نوری^{*۱} , فاطمه حسنی سوقی^۲، زهرا حسنی سوقی^۲

۱- گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۱۱/۲۵ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۵/۰۴/۳۱

چکیده گسترده

مقدمه

منطقه مجیدآباد در فاصله تقریباً ۲۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان نیر، استان اردبیل، شمال غرب ایران واقع شده است. این منطقه بر اساس تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی- ساختمانی ایران (Nabavi, 1976)، بخشی از پهنه البرز- آذربایجان در نظر گرفته می‌شود. در آذربایجان ذخایری از سرب، روی، آهن، مس و مولیبدن از مهم‌ترین مواد معدنی شناخته شده‌اند. پهنه‌های فلززایی تکاب، اهر- ارسباران و طارم- هشتجین در آذربایجان قابل شناسایی هستند. منطقه مجیدآباد در بخش شرقی آذربایجان قرار گرفته است. از جمله کارهای پژوهشی صورت گرفته در منطقه مجیدآباد می‌توان به انجام عملیات اکتشافی از قبیل مطالعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و زمین‌شیمی توسط سازمان صنعت، معدن و تجارت استان اردبیل (IMTOAP, 2012) اشاره کرد. بر اساس این مطالعات، بیشترین و کمترین مقدار اکسید آهن (مگنتیت) در این منطقه به ترتیب در حدود ۹۳/۲۹ و ۳/۲۷ درصد با میانگین تقریبی ۵۴/۴۷ درصد مشخص شده است. اما تاکنون بررسی دقیق و علمی چندانی در رابطه با مشخصات پهنه‌های دگرسانی و کانه‌دار و خصوصیات سیال گرمایی در این منطقه صورت نگرفته است. در پژوهش حاضر تلاش می‌شود تا به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و میانبارهای سیال در منطقه مجیدآباد پرداخته شود. همچنین در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از نتایج مطالعات میانبارهای سیال، در مورد خصوصیات فیزیوشیمیایی و شرایط حاکم بر سیال کانه‌ساز منطقه مورد مطالعه بحث شود. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در اکتشاف و شناسایی پهنه‌های کانه‌دار مناطق مشابه دیگر در کشور نقش مؤثری ایفا کند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو مرحله بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام گرفت. در مرحله صحرایی، نخست بازدید میدانی از منطقه به منظور شناسایی واحدهای سنگی و پهنه‌های دگرسانی و کانه‌دار و نحوه ارتباط رگه‌های کانه‌دار با سنگ‌های میزبان صورت گرفت. سپس تعداد ۷۵ نمونه از واحدهای سنگی و پهنه‌های دگرسانی و کانه‌زایی برداشت گردید. در مرحله آزمایشگاهی تعداد ۱۰ نمونه مقطع نازک و ۲۰ مقطع نازک- صیقلی تهیه و مورد بررسی قرار گرفتند.

استناد: نوری، ت. و همکاران، ۱۴۰۵. زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و میانبارهای سیال کانسار آهن مجیدآباد، استان اردبیل،

پژوهشهای دانش زمین: ۱۷(۲)، (۱۶۵-۱۸۲)، DOI: 10.48308/esrj.2026.107327

E-mail: t.nouri@uma.ac.ir

* نویسنده مسئول:



Copyright: © 2026 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/>).

بررسی‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال در دانشگاه تربیت مدرس تهران با استفاده از دستگاه لینکام مدل THMSG600 نصب شده بر روی میکروسکوپ ZEISS انجام شد. این دستگاه دارای قابلیت تغییرات دما از ۶۰۰+ تا ۲۰۰- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. کالیبراسیون دستگاه طی مرحله گرمایش (با دقت ۰/۶ درجه سانتی‌گراد) با استفاده از استاندارد نیتراک سزیم با نقطه ذوب ۴۱۴+ درجه سانتی‌گراد و طی مرحله سرمایش (با دقت ۰/۲ درجه سانتی‌گراد) با استفاده از استاندارد ان-هگزان با نقطه ذوب ۹۴/۳- درجه سانتی‌گراد انجام گردید.

نتایج و بحث

بر اساس موقعیت زمین‌شناسی، منطقه مجیدآباد بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه سراب (Behrouzi and Amini, 1992) قرار دارد. قدیمی‌ترین واحد رخنمون‌یافته در این منطقه مربوط به سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن شامل توف، برش‌های آتشفشانی و توف‌های آندزیتی و ریولیتی به همراه گدازه‌های بازالتی و آندزیت بازالتی است که توسط واحد مارنی و کنگلومرای الیگوسن و سپس با فوران‌های آندزیتی (به‌صورت توف و گدازه) میوسن پوشانده شده‌اند. تمامی این مجموعه‌های آتشفشانی-آذرآواری توسط توده‌های نیمه‌عمیق، دایک و استوک دیوریتی پس از میوسن قطع شده‌اند. بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی صورت گرفته در منطقه مجیدآباد، انواع دگرسانی‌های سیلیسی، سربستی، آرژلیک و پروپلیتیک در این منطقه توسعه یافته‌اند. این دگرسانی‌ها اغلب واحدهای سنگی ائوسن را تحت تأثیر قرار داده‌اند. با توجه به مطالعات صحرایی صورت گرفته در منطقه مجیدآباد، کانی‌سازی در این منطقه عمدتاً به‌صورت رگه‌های مگنتیتی رخ داده است. رگه‌های مگنتیتی غالباً توسط واحدهای توفی ائوسن میزبانی می‌شوند و ضخامت آن‌ها معمولاً از چند سانتی‌متر تا چند متر متغیر می‌باشد. این رگه‌ها اکثراً به صورت توده‌ای بوده و به‌طور عمده دارای امتداد شمالی-جنوبی هستند. بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی انجام شده در منطقه مجیدآباد، کانه‌زایی در این منطقه طی دو مرحله درون‌زاد و برون‌زاد رخ داده است. طی مرحله درون‌زاد در نتیجه فعالیت سیالات گرمابی، رگه-رگچه‌های مگنتیتی در منطقه تشکیل شده و انواع دگرسانی‌های گرمابی (سیلیسی، سربستی، آرژلیک و پروپلیتیک) در اطراف رگه‌های کانه‌دار توسعه یافته‌اند. کانی‌های کانسنگی از قبیل مگنتیت، پیریت و کالکوپریت در طول این مرحله از کانه‌زایی درون رگه-رگچه‌های کانه‌دار تشکیل شده‌اند. طی مرحله برون‌زاد، واکنش سیالات جوی پایین‌رونده با کانی‌های اولیه (مگنتیت، پیریت و کالکوپریت) در منطقه باعث ایجاد کانی‌های ثانویه از جمله اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، هماتیت و ژاروسیت) و سولفیدهای ثانویه مس (بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت) شده است. با توجه به بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی صورت گرفته، مهم‌ترین کانی باطله در این منطقه کلسیت می‌باشد. بر اساس محتوای فازهای اصلی و طبقه‌بندی‌های ارائه شده (Shepherd et al, 1985)، انواع میانبارهای سیال تک فاز گاز (V)، دوفازی غنی از مایع (LV) و دوفازی غنی از گاز (VL) در میانبارهای بررسی شده تشخیص داده شدند. دمای ذوب اولین قطعه یخ در میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه در بازه بین ۲۶- تا ۲۸- درجه سانتی‌گراد به دست آمد. این دماهای ذوب اولین قطعات یخ گویای آن است که سیال کانه‌ساز منطقه مجیدآباد افزون بر NaCl شامل مقادیری از KCl و $MgCl_2$ نیز بوده است (Goldstein, 2003; Prokofiev et al, 2010). دمای ذوب آخرین قطعات یخ (T_{mice}) در میانبارهای سیال در بازه دمایی بین ۱/۲- تا ۴/۸- درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. با توجه به معادله پیشنهادشده توسط بودنار (Bodnar, 2003) و مطابق با دمای ذوب آخرین قطعات یخ (T_{mice})، مقادیر شوری میانبارهای سیال منطقه مجیدآباد در محدوده بین ۲/۰۷ تا ۷/۵۹ درصد وزنی معادل نمک طعام تعیین شدند؛ اما بیشترین فراوانی مربوط به بازه ۲ تا ۳ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد. دماهای همگن شدن میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه در گستره دمایی بین ۱۲۳ تا ۲۳۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است؛ ولی بیشترین فراوانی به محدوده دمایی بین ۱۲۰ تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد تعلق دارد. همزیستی میانبارهای سیال تک فاز گاز، دوفازی غنی از مایع و دوفازی غنی از گاز در نمونه‌های منطقه مجیدآباد نشان‌دهنده رخداد جوشش سیال کانه‌ساز در این منطقه می‌باشد (Albinson et al, 2001; Moncada et al, 2017; Simmons et al, 2005). رگه-رگچه‌های کانه‌دار می‌تواند حاکی از رخداد جوشش سیال کانه‌ساز منطقه مورد مطالعه در زمان کانی‌سازی باشد (Hedenquist et al, 2000; Moncada et al, 2012). لذا با در نظر گرفتن رخداد پدیده جوشش سیال کانه‌ساز در منطقه، دماهای همگن شدن میانبارهای سیال نیاز به تصحیح فشار ندارند (Simeone and Simmons, 1999)؛ چون در این حالت، سیال کانه‌ساز

در زمان به دام افتادن به احتمال زیاد فشار هیدرواستاتیک را تجربه می‌کرده است. بنابراین، دمای همگن‌شدن میانبارهای سیال می‌تواند به طور تقریبی معادل با دمای به‌دام افتادن آن‌ها باشد (Roedder and Bodnar, 1980; Simmons et al, 2005; Simeone and Simmons, 1999). مقادیر فشار هیدرواستاتیک برای سیال گرمابی منطقه مجیدآباد در محدوده کمتر از ۵۰ بار تخمین زده شد. این مقادیر فشار هیدرواستاتیک می‌تواند معادل با اعماق کمتر از ۵۰۰ متری زیر سطح ایستایی باشد. برای تعیین عمق کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه همچنین از نمودار دمای همگن‌شدن در برابر عمق (Haas, 1971) استفاده شد. با توجه به بیشترین دمای همگن‌شدن (۲۳۵ درجه سانتی‌گراد) و بیشترین شوری (۷/۵۹ درصد وزنی معادل نمک طعام) میانبارهای سیال، عمق تقریبی کانه‌زایی در این منطقه در حدود ۳۰۰ متری مشخص شد. جهت تعیین روندهای تکاملی سیال کانه‌ساز منطقه مجیدآباد از نمودار شوری در مقابل همگن‌شدن میانبارهای سیال (Shepherd et al, 1985; Wilkinson, 2001) استفاده شد. با توجه به این نمودار، میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده دو روند تکاملی جوشش و رقیق‌شدن توسط آب‌های سطحی، به عنوان مهم‌ترین مکانیسم‌های ته‌نشست فلزات کانسنگی در منطقه مورد مطالعه هستند. چگالی میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه را می‌توان به کمک نمودار دمای همگن‌شدن در مقابل شوری (Wilkinson, 2001) و بدون لحاظ کردن شرایط به‌دام افتادن آن‌ها مشخص کرد. بر اساس این نمودار، چگالی سیالات کانه‌ساز در منطقه مجیدآباد عمده‌تاً در محدوده بین ۰/۸۸ تا ۰/۹۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییر می‌یابد. از نمودار شوری در برابر دمای همگن‌شدن (Pirajno, 2009) برای تعیین نوع کمپلکس‌های مؤثر در حمل فلزات کانسنگی منطقه مورد مطالعه استفاده شد که مطابق با این نمودار، کمپلکس‌های سولفیدی نقش مهمی در حمل فلزات کانسنگی منطقه مجیدآباد ایفا کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

مهم‌ترین واحدهای سنگی در منطقه مجیدآباد شامل سنگ‌های آتشفشانی- آذرآواری ائوسن تا الیگوسن هستند که این مجموعه‌های آتشفشانی- آذرآواری توسط توده‌های دیوریتی پس از میوسن قطع شده‌اند. عمده‌ترین دگرسانی‌ها در این منطقه از نوع دگرسانی‌های سیلیسی، سریسیتی، آرژیلیک و پروپیلیتیک می‌باشند. کانی‌سازی در این منطقه اغلب به صورت رگه‌های مگنتیتی با میزبانی واحدهای آذرآواری ائوسن روی داده است. کانه‌زایی در این منطقه طی دو مرحله درون‌زاد و برون‌زاد صورت گرفته است. در مرحله درون‌زاد، کانی‌های اولیه مگنتیت، پیریت و کالکوپیریت تشکیل شده‌اند. کانی‌های ثانویه از قبیل اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، هماتیت و ژاروسیت) و سولفیدهای ثانویه مس (بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت) طی مرحله برون‌زاد ایجاد شده‌اند. کلسیت مهم‌ترین کانی باطله در این منطقه می‌باشد. مقادیر شوری میانبارهای سیال منطقه مجیدآباد در گستره بین ۲/۰۷ تا ۷/۵۹ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر است. دماهای همگن‌شدن میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه در بازه دمایی بین ۱۲۳ تا ۲۳۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شدند. عمق تقریبی کانه‌زایی در این منطقه در حدود ۳۰۰ متری تعیین شد. فرآیندهای جوشش و رقیق‌شدن توسط آب‌های سطحی، به‌عنوان مهم‌ترین مکانیسم‌های ته‌نشینی فلزات کانسنگی در منطقه مورد مطالعه هستند. چگالی سیالات کانه‌ساز در منطقه مجیدآباد اکثراً در محدوده بین ۰/۸۸ تا ۰/۹۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییر می‌کند. کمپلکس‌های سولفیدی نقش مؤثری در حمل فلزات کانسنگی منطقه مجیدآباد داشته‌اند. با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت و همچنین مشخصات سیال کانه‌ساز در منطقه مجیدآباد، کانی‌سازی در این منطقه را می‌توان از نوع گرمابی (رگه‌ای) در نظر گرفت.

واژگان کلیدی: دگرسانی، کانه‌زایی آهن، میانبارهای سیال، مجیدآباد، اردبیل.

مقدمه

شناسایی هستند. در پهنه فلززایی تکاب رخداد کانه‌زایی در دو مقطع زمانی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین و ترشیری به‌ویژه نتوژن انجام گرفته است که حاصل آن کانسارها و نشانه‌های معدنی از قبیل مس بایچه‌باغ (Lotfi

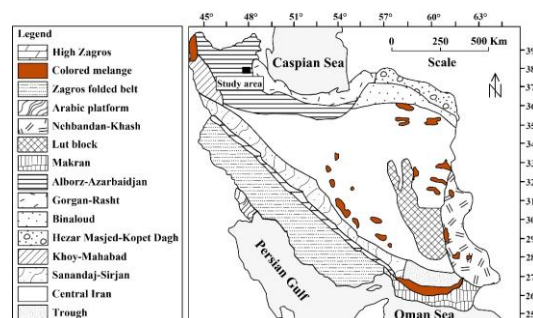
در آذربایجان ذخایری از سرب، روی، آهن، مس و مولیبدن از مهم‌ترین مواد معدنی شناخته شده‌اند. پهنه‌های فلززایی تکاب، اهر- ارسباران و طارم- هشتجین در آذربایجان قابل

نقره (مس) زه‌آباد (Shahbazi et al, 2019) را نام برد. منطقه مجیدآباد در بخش شرقی آذربایجان قرار گرفته است. از جمله کارهای پژوهشی صورت گرفته در منطقه مجیدآباد می‌توان به انجام عملیات اکتشافی از قبیل مطالعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و زمین‌شیمی توسط سازمان صنعت، معدن و تجارت استان اردبیل (IMTOAP, 2012) اشاره کرد. بر اساس این مطالعات، بیشترین کمترین مقدار اکسید آهن (مگنتیت) در این منطقه به ترتیب در حدود ۹۳/۲۹ و ۳/۲۷ درصد با میانگین تقریبی ۵۴/۴۷ درصد مشخص شده است. اما تاکنون بررسی دقیق و علمی چندانی در رابطه با مشخصات پهنه‌های دگرسانی و کانه‌دار و و خصوصیات سیال گرمایی در این منطقه صورت نگرفته است. در پژوهش حاضر تلاش می‌شود تا به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و میانبارهای سیال در منطقه مجیدآباد پرداخته شود. همچنین در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از نتایج مطالعات میانبارهای سیال، در مورد خصوصیات فیزیوشیمیایی و شرایط حاکم بر سیال کانه‌ساز منطقه مورد مطالعه بحث شود. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در اکتشاف و شناسایی پهنه‌های کانه‌دار مناطق مشابه دیگر در کشور نقش مؤثری ایفا کند.

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه مجیدآباد در فاصله تقریباً ۲۰ کیلومتری جنوب‌غرب شهرستان نیر، استان اردبیل، شمال‌غرب ایران واقع شده است. این منطقه بر اساس تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی-ساختاری ایران (Nabavi, 1976)، بخشی از پهنه البرز-آذربایجان در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱).

روی انگوران (Boni et al, 2007; Daliran et al, 2013) و آی‌قلعه‌سی (Mohammadi Niaei et al, 2015) و طلائی زرشوران (Asadi et al, 2000)، آق‌دره (Daliran, 2008)، توزلار (Heidari et al, 2015) و عربشاه (Najafzadeh et al, 2016) است. در پهنه فلزایی اهر-ارسباران، کانی‌سازی به‌طور عمده وابسته به سنگ‌های ماگمایی ترشیری است. در این پهنه، کانه‌زایی مس، مولیبدن، طلا، نقره، آهن، سرب، روی، آرسنیک و جیوه به‌صورت پورفیری از قبیل سونگون (Calagari, 2004; Aghazadeh et al, 2015)، مسجدداغی (Atalou et al, 2017; Ebrahimi et al, 2021)، هفت‌چشمه (Adeli et al, 2014) و سوناجیل (Hosseinzadeh et al, 2010)، اسکارن همچون مزرعه (Gharesti et al, 2018) و سونگون (Calagari and Hosseinzadeh, 2006) و رگه‌ای از قبیل شرف‌آباد (Ebrahimi et al, 2009)، مسجدداغی (Ebrahimi et al, 2009)، زایلک-ساریلار (Aghaei et al, 2023) و اندریان و آسترقان (Jamali et al, 2010; Jamali and Mehrabi, 2021) می‌باشد. در پهنه فلزایی طارم-هشتجین، بیشتر واحدها را سنگ‌های ماگمایی ترشیری تشکیل می‌دهند که در آن‌ها کانی‌سازی عناصری چون سرب، روی، طلا و مس اغلب به صورت رگه‌ای دیده می‌شود. از جمله این کانه‌زایی‌ها می‌توان ذخایر فلزات پایه آق‌کند (Kouhestani et al, 2017)، چند فلزی گلوچه (Mehrabi et al, 2016) و چومالو (Ghasemi Siani et al, 2022)، مس-طلائی لوبین-زرد (Zamanian et al, 2019)، سرب-روی-مس عباس‌آباد (Kouhestani et al, 2020)، سرب-روی-مس (طلا-نقره) زاجکان (Kouhestani et al, 2019a)، سرب-روی-مس (نقره) مرشون (Kouhestani et al, 2019b) و سرب-روی-طلا-



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی پهنه‌های ساختاری-رسوبی ایران (Nabavi, 1976).

Fig. 1: Location of the study area on the structural-sedimentary zones of Iran (Nabavi, 1976).

مواد و روش‌ها

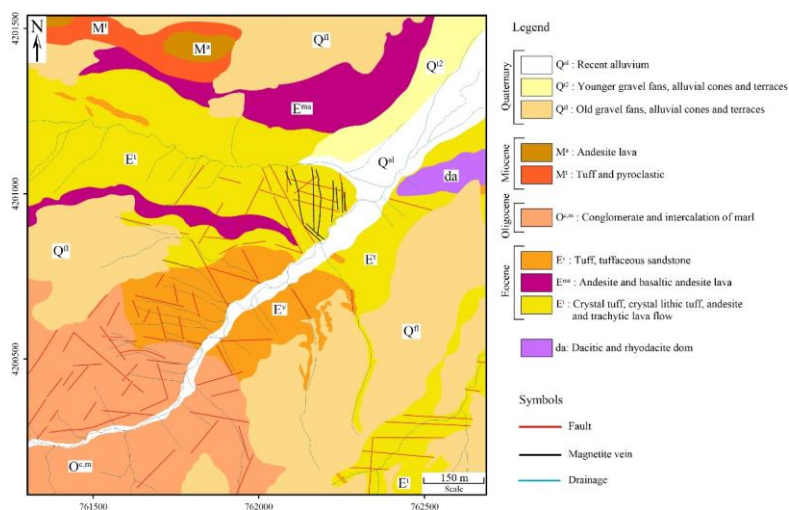
این پژوهش طی دو مرحله بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام گرفت. در مرحله صحرایی، نخست بازدید میدانی از منطقه به منظور شناسایی واحدهای سنگی و پهنه‌های دگرسانی و کانه‌دار و نحوه ارتباط رگه‌های کانه‌دار با سنگ‌های میزبان صورت گرفت. سپس تعداد ۷۵ نمونه از واحدهای سنگی و پهنه‌های دگرسانی و کانه‌زایی برداشت گردید. در مرحله آزمایشگاهی تعداد ۱۰ نمونه مقطع نازک و ۲۰ مقطع نازک- صیقلی تهیه و مورد بررسی قرار گرفتند. جهت انجام مطالعات میانبارهای سیال نیز تعداد ۳ مقطع دوبر صیقل از رگه‌های کانه‌دار تهیه شدند. بررسی‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال در دانشگاه تربیت مدرس تهران با استفاده از دستگاه لینکام مدل THMSG600 نصب شده بر روی میکروسکوپ ZEISS انجام شد. این دستگاه دارای قابلیت تغییرات دما از ۶۰۰+ تا ۲۰۰- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. کالیبراسیون دستگاه طی مرحله گرمایش (با دقت ۰/۶ درجه سانتی‌گراد) با استفاده از استاندارد نیترا سزیم با نقطه ذوب ۴۱۴+ درجه

سانتی‌گراد و طی مرحله سرمایش (با دقت ۰/۲ درجه سانتی‌گراد) با استفاده از استاندارد ان-هگزان با نقطه ذوب ۹۴/۳- درجه سانتی‌گراد انجام گردید.

بحث و نتایج

زمین‌شناسی

بر اساس موقعیت زمین‌شناسی، منطقه مجیدآباد بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه سراب (Behrouzi and Amini Azar, 1992) قرار دارد. قدیمی‌ترین واحد رخنمون‌یافته در این منطقه مربوط به سنگ‌های آتشفشانی و آذرآوری ائوسن شامل توف، برش‌های آتشفشانی و توف‌های آندزیتی و ریولیتی به همراه گدازه‌های بازالتی و آندزیت بازالتی است که توسط واحد مارنی و کنگلومرای الیگوسن و سپس با فوران‌های آندزیتی (به صورت توف و گدازه) میوسن پوشانده شده‌اند. تمامی این مجموعه‌های آتشفشانی- آذرآوری توسط توده‌های نیمه‌عمیق، دایک و استوک دیوریتی پس از میوسن قطع شده‌اند (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه مجیدآباد (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سراب (Behrouzi and Amini Azar, 1992)).

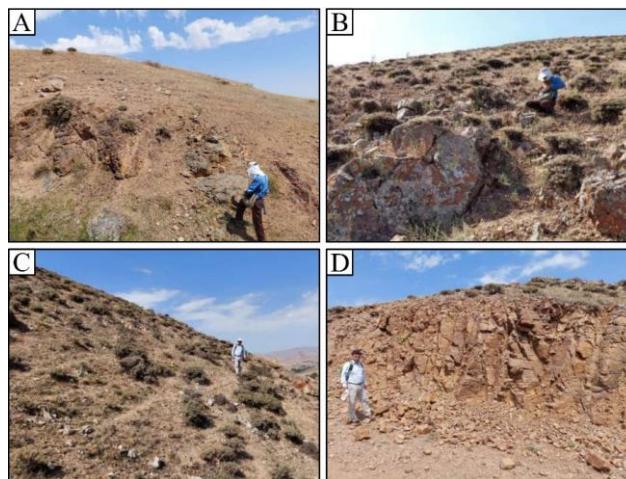
Fig. 2: Geological map of the Majidabad area (adapted from the 1:100,000 geological map of Sarab (Behrouzi and Amini Azar, 1992)).

آندزیتی و ریولیتی است. واحد برش آتشفشانی ائوسن به صورت ضخیم لایه با رنگ رخنمون خاکستری روشن در منطقه قابل رؤیت است که بر روی واحدهای توفی ائوسن قرار گرفته است (شکل B۳). گدازه‌های بازالتی و آندزیت بازالتی ائوسن با بافت مگاپورفیری و رنگ رخنمون ارغوانی و خاکستری تیره در منطقه مشاهده می‌شوند (شکل C۳).

واحد توفی ائوسن در سطح تازه به رنگ خاکستری مایل به سبز در منطقه رخنمون داشته و پهنه کانه‌دار اصلی را در برگرفته است (شکل A۳). واحد مذکور قسمت اعظم منطقه را به خود اختصاص داده و در بیشتر نقاط تحت تأثیر فرآیندهای دگرسانی قرار گرفته است. این واحد سنگی شامل لیتیک توف و کریستال لیتیک توف با ترکیب

مطالعه به چشم می‌خورند که در سطح تازه به رنگ خاکستری روشن تا آجری دیده می‌شوند (شکل D۳). واحد دیوریتی در جنوب منطقه مورد مطالعه و به صورت محدود رخنمون داشته که به رنگ سبز تا خاکستری قابل مشاهده است. واحد مذکور به‌طور گسترده در میان واحدهای توفی ائوسن نفوذ کرده است. واحدهای کواترنری در این منطقه متشکل از رسوبات جوان مربوط به مخروط‌افکنه، رسوبات تراستی جوان و دشت‌های سیلابی است.

واحد مارنی و کنگلومرای الیگوسن در منطقه بر روی واحدهای سنگی ائوسن نهشته شده است و شامل قطعات آتشفشانی ائوسن با ترکیب آندزیت بازالتی است. واحد توفی میوسن عمدتاً در شمال منطقه مورد مطالعه رخنمون داشته و در سطح تازه به رنگ خاکستری روشن تا خاکستری مایل به سبز قابل رؤیت است. این واحد تا حدودی تحکیم نیافته است و بر روی آن زمین‌های زراعی توسعه یافته‌اند. گدازه‌های آندزیتی میوسن اغلب در شمال منطقه مورد



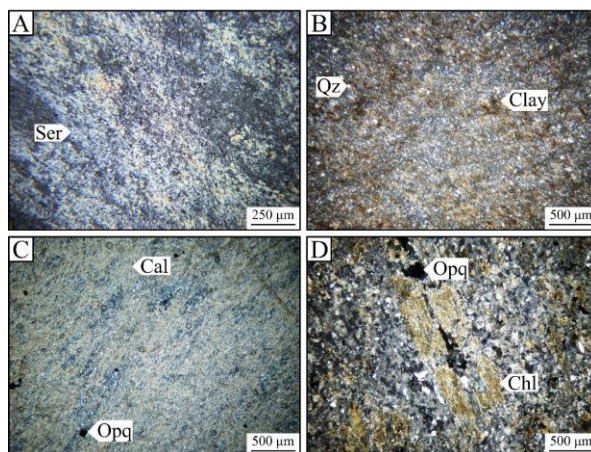
شکل ۳: تصاویر صحرایی از واحدهای سنگی موجود در منطقه مجیدآباد. A: نمایی دور از واحد توفی ائوسن (دید به سمت شمال). B: رخنمون واحد برش آتشفشانی ائوسن (دید به سمت شمال). C: نمای صحرایی از واحد گدازه بازالتی و آندزیت بازالتی ائوسن (دید به سمت شمال غرب). D: رخنمون صحرایی از گدازه‌های آندزیتی میوسن (دید به سمت شمال).

Fig. 3: Field images of rock units in the Majidabad area. A: Distant view of the Eocene tuff unit (view toward the north). B: Outcrop of Eocene volcanic breccia unit (view toward north). C: Field view of Eocene basaltic andesite and basalt lava unit (view toward northwest). D: Field outcrop of Miocene andesite lavas (view toward north).

دگرسانی

دگرسانی آرژیلیکی در این منطقه معمولاً با حضور کانی‌های رسی قابل شناسایی است (شکل B۴). در این نوع دگرسانی، فلدسپارها و سریسیت در بیشتر موارد توسط کانی‌های رسی جانشین شده‌اند. شدت دگرسانی پروپیلیتیک در منطقه مورد مطالعه به‌طور معمول ضعیف بوده و در مطالعات میکروسکوپی این دگرسانی متشکل از کانی‌های کلسیت، کلریت و اپیدوت می‌باشد. کلسیت در بیشتر موارد به‌صورت پراکنده و جانشینی فلدسپارها حضور دارد (شکل C۴). کلریت اغلب به‌صورت پراکنده تشکیل شده و معمولاً به رنگ سبز دیده می‌شود. این کانی بیشتر به‌صورت جانشینی کانی‌های فرومنیزین تشکیل شده است (شکل D۴). اپیدوت نیز به‌طور عمده به‌صورت پراکنده و رگچه‌ای قابل رؤیت بوده و اغلب در نتیجه جانشینی پلاژیوکلاز ایجاد شده است.

بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی صورت گرفته در منطقه مجیدآباد، انواع دگرسانی‌های سیلیسی، سریسیتی، آرژیلیک و پروپیلیتیک در این منطقه توسعه یافته‌اند. این دگرسانی‌ها اغلب واحدهای سنگی ائوسن را تحت تأثیر قرار داده‌اند. دگرسانی سیلیسی عمدتاً در نزدیکی رگه‌های کانهدار منطقه تشکیل شده و به‌صورت سیلیسی شدن سنگ‌های میزبان و رگه-رگچه‌های سیلیسی در منطقه قابل مشاهده است. این نوع دگرسانی در مقاطع نازک میکروسکوپی با حضور بلورهای کوارتز مشخص می‌شود. طی دگرسانی سریسیتی در منطقه مجیدآباد عمدتاً کانی‌های سریسیت، پیریت و کوارتز تشکیل شده‌اند. سریسیت در این دگرسانی اکثراً در نتیجه جانشینی فلدسپارها حاصل شده است (شکل A۴).



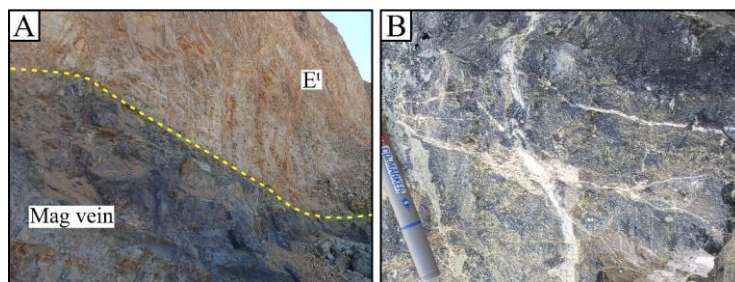
شکل ۴: تصاویر میکروسکوپی (XPL) از دگرسانی‌های منطقه مجیدآباد. A: حضور کانی سریسیت در دگرسانی سریسیتی. B: تشکیل کانی‌های رسی در دگرسانی آرژیلیکی. C: حضور کانی کلسیت در دگرسانی پروپلیتیک. D: تشکیل کانی کلریت در دگرسانی پروپلیتیک. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cal: کلسیت، Chl: کلریت، Clay: کانی‌های رسی، Opq: کانی اپک، Qz: کوارتز، Ser: سریسیت).

Fig. 4: Microscopic images (XPL) of the alterations in the Majidabad area. A: Presence of sericite mineral in the sericitic alteration. B: Formation of clay minerals in the argillic alteration. C: Presence of calcite mineral in the propylitic alteration. D: Formation of chlorite mineral in the propylitic alteration. Mineral abbreviations are adapted from Whitney and Evans (2010) (Cal: calcite, Chl: chlorite, Clay: clay minerals, Opq: opaque mineral, Qz: quartz, Ser: sericite).

کانی‌سازی

منطقه تشکیل شده و انواع دگرسانی‌های گرمابی (سیلیسی، سریسیتی، آرژیلیک و پروپلیتیک) در اطراف رگه‌های کانه‌دار توسعه یافته‌اند. کانی‌های کانسنگی از قبیل مگنتیت، پیریت و کالکوپیریت در طول این مرحله از کانه‌زایی درون رگه-رگچه‌های کانه‌دار تشکیل شده‌اند. طی مرحله برون‌زاد، واکنش سیالات جوی پایین‌رونده با کانی‌های اولیه (مگنتیت، پیریت و کالکوپیریت) در منطقه باعث ایجاد کانی‌های ثانویه از جمله اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، هماتیت و ژاروسیت) و سولفیدهای ثانویه مس (بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت) شده است (شکل ۶).

با توجه به مطالعات صحرایی صورت‌گرفته در منطقه مجیدآباد، کانی‌سازی در این منطقه عمدتاً به صورت رگه‌های مگنتیتی رخ داده است. رگه‌های مگنتیتی غالباً توسط واحدهای توفی ائوسن میزبانی می‌شوند (شکل A5 و B) و ضخامت آن‌ها معمولاً از چند سانتی‌متر تا چند متر متغیر می‌باشد. این رگه‌ها اکثراً به صورت توده‌ای بوده و به‌طور عمده دارای امتداد شمالی-جنوبی هستند. بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی انجام شده در منطقه مجیدآباد، کانه‌زایی در این منطقه طی دو مرحله درون‌زاد و برون‌زاد رخ داده است. طی مرحله درون‌زاد در نتیجه فعالیت سیالات گرمابی، رگه-رگچه‌های مگنتیتی در

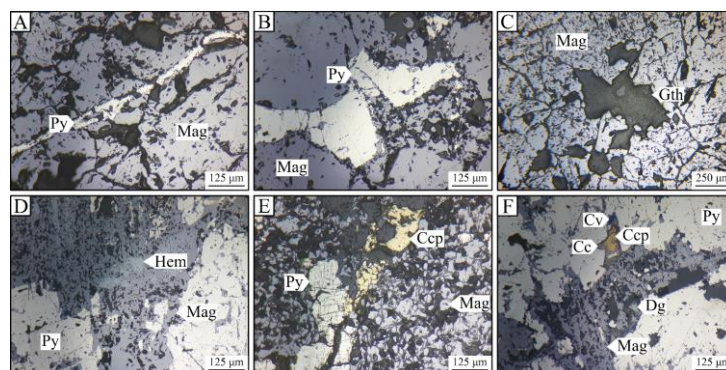


شکل ۵: تصاویر صحرایی از رگه‌های مگنتیتی در منطقه مجیدآباد. A: نمای دور از رگه مگنتیتی در واحد توفی ائوسن (دید به سمت جنوب‌غرب). B: نمای نزدیک از رگه مگنتیتی.

Fig. 5: Field images of magnetite veins in the Majidabad area. A: Distant view of the magnetite vein within the Eocene tuff unit (view toward southwest). B: Close view of the magnetite vein.

گوتیت و ژاروسیت دگرسان شده است. کالکوپیریت اکثراً به صورت بلورهای ریز تا متوسط بی شکل تا نیمه شکل دار و به حالت دانه پراکنده همراه با پیریت و مگنتیت در زمینه کلسیتی حضور دارد (شکل E۶). در بعضی موارد بلورهای کالکوپیریت به صورت ادخال درون پیریت و مگنتیت یافت می شوند. این کانی عمدتاً از حاشیه ها و در امتداد شکستگی ها به گوتیت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت تبدیل شده است (شکل F۶). گوتیت، هماتیت، ژاروسیت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت غالباً به صورت جانشینی بر روی کانی های اولیه (مگنتیت، پیریت و کالکوپیریت) دیده می شوند. با توجه به بررسی های صحرایی و میکروسکوپی صورت گرفته، مهم ترین کانی باطله در این منطقه کلسیت می باشد. این کانی به صورت بلورهای ریز تا درشت بی شکل تا شکل دار همراه با کانی های کانسنکی درون رگه های کانه دار حضور دارد. بلورهای کلسیت معمولاً بافت های رگچه ای، شانه ای، پرمانند و شکافه پرکن را به نمایش می گذارند.

کانی های کانسنکی در منطقه مورد مطالعه اغلب مگنتیت، پیریت و کالکوپیریت را شامل می شوند. مگنتیت فراوان ترین کانی کانسنکی در منطقه بوده و در مقاطع میکروسکوپی معمولاً بافت های توده ای، رگچه ای و دانه پراکنده را نشان می دهد. ابعاد بلورهای مگنتیت به طور معمول از کم تر از ۰/۵ میلی متر تا بزرگ تر از ۲ میلی متر تغییر می کند (شکل A۶). این بلورها اکثراً به صورت بلورهای بی شکل تا نیمه شکل دار در زمینه کلسیتی دیده می شوند. این کانی در بیشتر موارد به صورت هم رشد با پیریت قابل مشاهده است (شکل B۶). گاهی اوقات به صورت هم رشد با کالکوپیریت نیز یافت می شود. در برخی بخش ها، مگنتیت از حاشیه ها و در امتداد شکستگی ها به هماتیت و گوتیت تبدیل شده است (شکل C۶ و D). پیریت عمدتاً به صورت بلورهای بی شکل تا شکل دار و در ابعاد ریز تا درشت قابل رؤیت می باشد. این کانی معمولاً به صورت رگچه ای و دانه پراکنده در زمینه کلسیتی حضور داشته و در اغلب موارد به همراه مگنتیت مشاهده می شود (شکل A۶ و B). پیریت به طور عمده از حاشیه ها و در امتداد شکستگی ها به هماتیت،



شکل ۶: تصاویر میکروسکوپی (PPI) از کانه های موجود در منطقه مجیدآباد. A: بلورهای مگنتیت به صورت دانه درشت و بلورهای پیریت به صورت رگچه ای. B: هم رشدی مگنتیت و پیریت. C: تبدیل مگنتیت به گوتیت. D: جانشینی مگنتیت توسط هماتیت. E: کالکوپیریت به همراه مگنتیت و پیریت. F: جانشینی کالکوپیریت توسط کوولیت، کالکوسیت و دیژنیت. علائم اختصاری کانی ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cc: کالکوسیت، Ccp: کالکوپیریت، Cv: کوولیت، Dg: دیژنیت، Gth: گوتیت، Hem: هماتیت، Mag: مگنتیت، Py: پیریت).

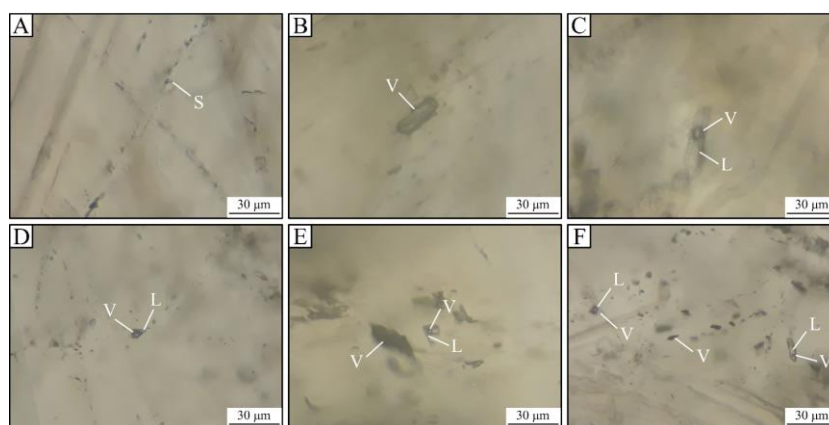
Fig. 6: Microscopic images (PPI) of ore minerals in the Majidabad area. A) Coarse-grained magnetite crystals and pyrite crystals in veinlet form. B) Intergrowth of magnetite and pyrite. C) Replacement of magnetite by goethite. D) Replacement of magnetite by hematite. E) Chalcopyrite with magnetite and pyrite. F) Replacement of Chalcopyrite by covellite, chalcocite, and digenite. Mineral abbreviations are adapted from Whitney and Evans (2010) (Cc: chalcocite, Ccp: chalcopyrite, Cv: covellite, Dg: digenite, Gth: goethite, Hem: hematite, Mag: magnetite, Py: pyrite).

کانه دار جهت بررسی میانبارهای سیال انتخاب شدند. در بخش سنگ نگاری میانبارهای سیال ویژگی هایی از قبیل اندازه، شکل، نوع، درجه پرشدگی و نسبت فازی میانبارهای

میانبارهای سیال طبق مطالعات انجام گرفته بر روی مقاطع کانسنکی منطقه مجیدآباد، بلورهای کلسیت موجود در رگه- رگچه های

مطالعه شده آثاری از حضور فازهای جامد نوزاد یا CO_2 مایع یا گاز دیده نشد. میانبارهای سیال تک فاز گاز معمولاً دارای فراوانی بیشتری نسبت به انواع دیگر میانبارها هستند. در میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد حجم میانبارها را فاز مایع و حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد حجم میانبارها را فاز بخار تشکیل داده است (شکل CV). میانبارهای سیال دوفازی غنی از گاز در مقایسه با انواع دیگر میانبارها از فراوانی کمتری برخوردار هستند. در این نوع میانبارها فاز بخار تقریباً ۶۰ تا ۹۰ درصد و فاز مایع ۱۰ تا ۴۰ درصد حجم میانبارها را اشغال کرده است (شکل DV). در مواردی، هر سه نوع میانبارهای سیال تک فاز گاز، دوفازی غنی از مایع و دوفازی غنی از گاز در کنار هم مشاهده می‌شوند (شکل FV). همزیستی این سه نوع میانبارها می‌تواند حاکی از رخداد جوشش سیال کانه‌ساز در منطقه مجیدآباد باشد.

سیال بررسی شدند. ابعاد میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه از زیر ۵ تا ۴۵ میکرون متغیر است؛ ولی بیشتر آن‌ها اندازه‌ای کمتر از ۱۰ میکرون دارند. میانبارهای سیال منطقه مجیدآباد غالباً اشکال بیضوی، کروی، کشیده، سوزنی، شکل منفی بلورین و نامنظم را نشان می‌دهند (شکل AV تا F). همچنین گاهی پدیده باریک‌شدگی در بعضی میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود (شکل EV). باتوجه به معیارهای پیشنهادشده (Roedder, 1984; Goldstein, 2003)، میانبارهای سیال بررسی شده از نوع اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب می‌باشند (شکل AV تا F). بررسی‌های ریزدماسنجی فقط بر روی میانبارهای سیال اولیه صورت گرفت. بر اساس محتوای فازهای اصلی و طبقه‌بندی‌های ارائه شده (Shepherd et al, 1985)، انواع میانبارهای سیال تک فاز گاز (V)، دوفازی غنی از مایع (LV) و دوفازی غنی از گاز (VL) در میانبارهای بررسی شده تشخیص داده شدند (شکل BV تا F). در میانبارهای سیال



شکل ۷: تصاویر میکروسکوپی از میانبارهای سیال منطقه مجیدآباد. A: میانبارهای سیال ثانویه (S). B: میانبار سیال تک‌فازی گاز. C: میانبار سیال دوفازی غنی از مایع. D: میانبار سیال دوفازی غنی از گاز. E: باریک‌شدگی در میانبار سیال دوفازی غنی از مایع. F: همزیستی سه نوع میانبار سیال دوفازی غنی از مایع، میانبار سیال تک‌فازی گاز و دوفازی غنی از گاز.

Fig. 7: Microscopic images of fluid inclusions in the Majidabad area. A: Secondary fluid inclusions (S). B: Mono-phase vapor fluid inclusion. C: Liquid-rich two-phase fluid inclusion. D: Vapor-rich two-phase fluid inclusion. E: Necking-down in liquid-rich two-phase fluid inclusion. F: Coexistence of three types of fluid inclusions: liquid-rich two-phase, mono-phase vapor, and vapor-rich two-phase.

اجتناب از خطا، اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی در این نوع میانبارها انجام نگرفت. طی مرحله سرمایش، میانبارها تا محدوده دمایی ۸۰- تا ۹۰- درجه سانتی‌گراد منجمد شدند. سپس با افزایش تدریجی دما، دمای ذوب اولین قطعه یخ (T_{fm}) میانبارهای سیال تعیین شد. دمای ذوب اولین قطعه یخ در میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه در بازه ۲۶- تا ۲۸- درجه سانتی‌گراد به دست آمد. این

بررسی‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال منطقه مجیدآباد در دو مرحله سرمایش و گرمایش بر روی ۱۳ میانبار سیال اولیه دوفازی غنی از مایع صورت گرفت. نتایج حاصل از مطالعات ریزدماسنجی میانبارهای سیال منطقه مجیدآباد در جدول ۱ آورده شده است. طی فرآیند گرمایش میانبارهای سیال دوفازی غنی از گاز، مشخص کردن دقیق دمای همگن‌شدگی به آسانی ممکن نبود؛ بنابراین به منظور

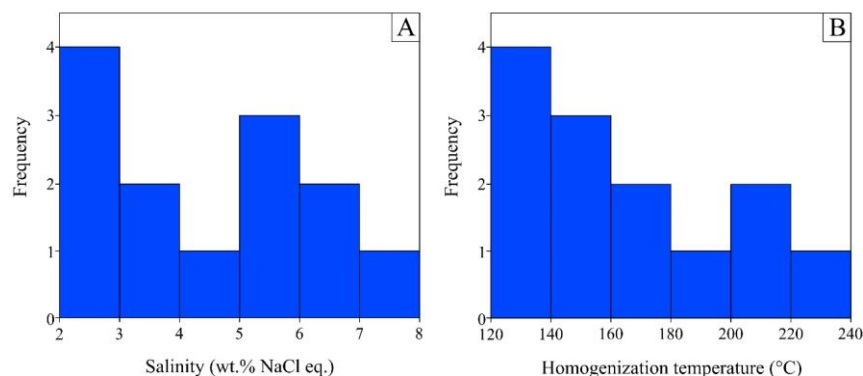
۲/۰۷ تا ۷/۵۹ درصد وزنی معادل نمک طعام تعیین شدند؛ اما بیشترین فراوانی مربوط به بازه ۲ تا ۳ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد (شکل A۸). در مرحله گرمایش، تمامی میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع با از بین رفتن فاز گازی به فاز مایع همگن شدند. دماهای همگن شدن میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه در گستره دمایی بین ۱۲۳ تا ۲۳۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است؛ ولی بیشترین فراوانی به محدوده دمایی بین ۱۲۰ تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد تعلق دارد (شکل B۸).

دماهای ذوب اولین قطعات یخ گویای آن است که سیال کانه‌ساز منطقه مجیدآباد افزون بر NaCl شامل مقادیری از KCl و $MgCl_2$ نیز بوده است (Goldstein, 2003; Prokofiev et al, 2010). در مرحله بعد، دمای ذوب آخرین قطعات یخ (T_{mice}) در میانبارهای سیال موجود در بلورهای کلسیت مشخص شدند و مقادیر آن‌ها در بازه دمایی بین ۱/۲- تا ۴/۸- درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. با توجه به معادله پیشنهادشده توسط بودنار (Bodnar, 2003) و مطابق با دمای ذوب آخرین قطعات یخ (T_{mice})، مقادیر شوری میانبارهای سیال منطقه مجیدآباد در محدوده بین

جدول ۱: نتایج حاصل از مطالعات ریزدماسنجی میانبارهای سیال منطقه مجیدآباد.

Table 1: Results from microthermometric studies of fluid inclusions in the Majidabad area.

Number	Mineral	Inclusion type	Salinity (Wt. % NaCl equiv.)	T_{mice} (°C)	T_{hm} (°C)	T_h (°C)
1	Calcite	LV-type	3.55	-2.1	-	175
2	Calcite	LV-type	2.07	-1.2	-	130
3	Calcite	LV-type	6.16	-3.8	-	162
4	Calcite	LV-type	3.23	-1.9	-	149
5	Calcite	LV-type	5.56	-3.4	-28	201
6	Calcite	LV-type	5.26	-3.2	-	195
7	Calcite	LV-type	2.57	-1.5	-26	123
8	Calcite	LV-type	5.86	-3.6	-	147
9	Calcite	LV-type	6.74	-4.2	-	235
10	Calcite	LV-type	7.59	-4.8	-	219
11	Calcite	LV-type	2.41	-1.4	-	128
12	Calcite	LV-type	4.65	-2.8	-	159
13	Calcite	LV-type	2.24	-1.3	-	134



شکل ۸: نمودارهای ستونی شوری و دمای همگن شدن میانبارهای سیال منطقه مجیدآباد. A: نمودار ستونی شوری میانبارهای سیال در برابر فراوانی آن‌ها. B: نمودار ستونی دمای همگن شدن میانبارهای سیال در برابر فراوانی آن‌ها.

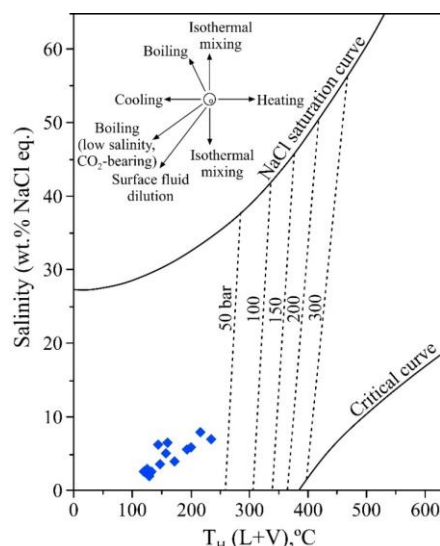
Fig. 8: Histograms of salinity and homogenization temperature of fluid inclusions in the Majidabad area. A: Histogram of salinity of fluid inclusions against their abundance. B: Histogram of homogenization temperature of fluid inclusions against their abundance.

(Simmons et al, 2005). علاوه بر آن، حضور بافت‌های پرماند و شانه‌ای در رگه- رگچه‌های کانه‌دار می‌تواند حاکی از رخداد جوشش سیال کانه‌ساز منطقه مورد مطالعه در زمان کانی‌سازی باشد (Hedenquist et al, 2000; Moncada et al, 2012). لذا با در نظر گرفتن رخداد پدیده

ویژگی‌ها و تکامل سیال گرمایی

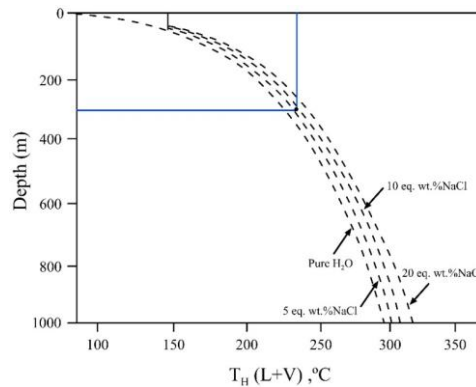
همزیستی میانبارهای سیال تک فازی گاز، دوفازی غنی از مایع و دوفازی غنی از گاز در نمونه‌های منطقه مجیدآباد نشان‌دهنده رخداد جوشش سیال کانه‌ساز در این منطقه می‌باشد (Albinson et al, 2001; Moncada et al, 2017;)

جوشش سیال کانه‌ساز در منطقه، دماهای همگن شدن میانبارهای سیال نیاز به تصحیح فشار ندارند (Simeone and Simmons, 1999)؛ چون در این حالت، سیال کانه‌ساز در زمان به‌دام افتادن به احتمال زیاد فشار هیدرواستاتیک را تجربه می‌کرده است. بنابراین، دمای همگن شدن میانبارهای سیال می‌تواند به‌طور تقریبی معادل با دمای به‌دام افتادن آن‌ها باشد (Roedder and Bodnar, 1980; Simmons et al, 2005; Simeone and Simmons, 1999). مطابق با شکل ۹، مقادیر فشار هیدرواستاتیک برای سیال گرمابی منطقه مجیدآباد در محدوده کمتر از ۵۰ بار تخمین زده شد. این مقادیر فشار هیدرواستاتیک می‌تواند معادل با اعماق کمتر از ۵۰۰ متری زیر سطح ایستایی باشد. برای تعیین عمق کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه همچنین از نمودار دمای همگن شدن در برابر عمق (Haas, 1971) استفاده شد. با توجه به بیشترین دمای همگن شدن (۲۳۵ درجه سانتی‌گراد) و بیشترین شوری (۷/۵۹ درصد وزنی معادل نمک طعام) میانبارهای سیال، عمق تقریبی کانه‌زایی در این منطقه در حدود ۳۰۰ متری مشخص شد (شکل ۱۰). جهت تعیین روندهای تکاملی سیال کانه‌ساز منطقه مجیدآباد از نمودار شوری در مقابل دمای همگن شدن میانبارهای سیال (Shepherd et al, 1985; Wilkinson, 2001) استفاده شد (شکل ۹).



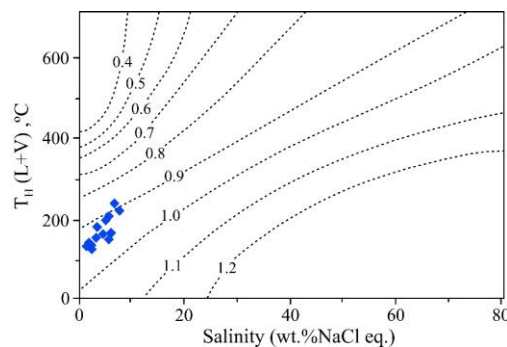
شکل ۹: نمودار دمای همگن شدن در مقابل شوری (Shepherd et al, 1985; Wilkinson, 2001) برای تعیین روند تکاملی سیالات کانه‌ساز منطقه مجیدآباد.

Fig. 9: Homogenization temperature versus salinity diagram (Shepherd et al, 1985; Wilkinson, 2001) to determine the evolutionary trend of ore-forming fluids in the Majidabad area.



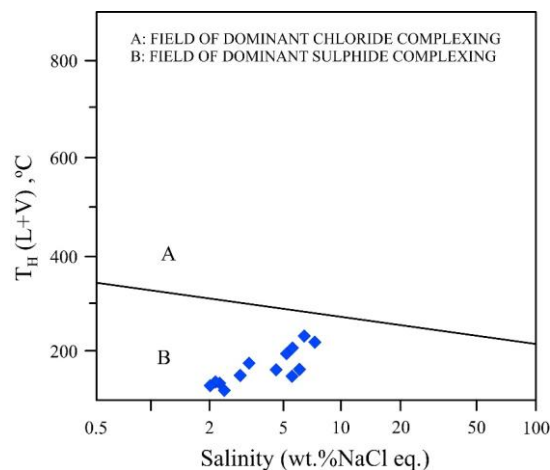
شکل ۱۰: نمودار دمای همگن شدن در مقابل عمق (Haas, 1971) جهت تعیین عمق کانه‌زایی در منطقه مجیدآباد.

Fig. 10: Homogenization temperature versus depth diagram (Haas, 1971) to determine the depth of mineralization in the Majidabad area.



شکل ۱۱: مقادیر چگالی میانبارهای سیال منطقه مجیدآباد در نمودار دمای همگن شدن در برابر شوری (Wilkinson, 2001).

Fig. 11: The density values of the fluid inclusions of the Majidabad area in the homogenization temperature versus salinity diagram (Wilkinson, 2001).



شکل ۱۲: نمودار شوری نسبت به دمای همگن شدن (Pirajno, 2009) به منظور مشخص کردن نوع کمپلکس‌های حمل‌کننده فلزات در منطقه مجیدآباد.

Fig. 12: Salinity versus homogenization temperature diagram (Pirajno, 2009) for identifying the type of metal-transporting complexes in the Majidabad area.

نتیجه‌گیری

دیوریتی پس از میوسن قطع شده‌اند. عمده‌ترین دگرسانی‌ها در این منطقه از نوع دگرسانی‌های سیلیسی، سریسیتی، آرژیلیک و پروپیلیتیک می‌باشند. کانی‌سازی در این منطقه اغلب به صورت رگه‌های مگنتیتی با میزبانی

مهم‌ترین واحدهای سنگی در منطقه مجیدآباد شامل سنگ‌های آتشفشانی- آذرآواری ائوسن تا الیگوسن هستند که این مجموعه‌های آتشفشانی- آذرآواری توسط توده‌های

مکانیسم‌های ته‌نشینی فلزات کانسنگی در منطقه مورد مطالعه هستند. چگالی سیالات کانه‌ساز در منطقه مجیدآباد اکثراً در محدوده بین ۰/۸۸ تا ۰/۹۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییر می‌کند. همچنین کمپلکس‌های سولفیدی نقش مؤثری در حمل فلزات کانسنگی منطقه مجیدآباد داشته‌اند. با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت و همچنین مشخصات سیال کانه‌ساز در منطقه مجیدآباد، کانی‌سازی در این منطقه را می‌توان از نوع گرمابی (رگه‌ای) در نظر گرفت.

سپاسگزاری

نویسنده این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده است.

واحدهای آذرآواری ائوسن روی داده است. کانه‌زایی در این منطقه طی دو مرحله درون‌زاد و برون‌زاد صورت گرفته است. در مرحله درون‌زاد، کانی‌های اولیه مگنتیت، پیریت و کالکوپیریت تشکیل شده‌اند. کانی‌های ثانویه از قبیل اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، هماتیت و ژاروسیت) و سولفیدهای ثانویه مس (بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت) طی مرحله برون‌زاد ایجاد شده‌اند. کلسیت مهم‌ترین کانی باطله در این منطقه می‌باشد. مقادیر شوری میانبارهای سیال منطقه مجیدآباد در گستره بین ۲/۰۷ تا ۷/۵۹ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر است. دماهای همگن شدن میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه در بازه دمایی بین ۱۲۳ تا ۲۳۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شدند. عمق تقریبی کانه‌زایی در این منطقه در حدود ۳۰۰ متری تعیین شد. فرآیندهای جوشش و رقیق‌شدن توسط آب‌های سطحی، به‌عنوان مهم‌ترین

References

- Adeli, Z., Rassa, I. and Darvishzadeh, A., 2014. Geochemistry and origin of Haftcheshmeh Cu-porphyry deposit magma, East-Azerbaijan, Iran. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, v. 23(90), p. 197-208 (In Persian) <https://doi.org/10.22071/gsj.2014.43996>
- Aghaei, M., Rastad, E., Shamanian, G.H. and Madanipour, S., 2023. Characteristics of the gold-bearing and barren quartz veins at the Zaylik-Sarilar epithermal deposit, Ahar-Arasbaran zone, NW Iran: Evidence from mineralogy, alteration, texture and fluid inclusion. Ore Geology Reviews, v. 154, 105341. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105341>
- Aghazadeh, M., Hou, Z., Badrzadeh, Z. and Zhou, L., 2015. Temporal-spatial distribution and tectonic setting of porphyry copper deposits in Iran: constraints from zircon U-Pb and molybdenite Re-Os geochronology. Ore geology reviews, v. 70, p. 385-406. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.03.003>
- Albinson, T., Norman, D.I., Cole, D. and Chomiak, B., 2001. Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data. In: Albinson, T., Nelson, C.E. (Eds.), New Mines and Discoveries in Mexico and Central America. Society of Economic Geologists, Littleton, p. 1-32. <https://doi.org/10.5382/SP.08.01>
- Asadi, H.H., Voncken, J.H.L., Kühnel, R.A. and Hale, M., 2000. Petrography, mineralogy and geochemistry of the Zarshuran Carlin-like gold deposit, northwest Iran. Mineralium Deposita, v. 35(7), p. 656-671. <https://doi.org/10.1007/s001260050269>
- Atalou, S., Nazafati, N., Lotfi, M. and Aghazadeh, M., 2017. Fluid inclusion investigations of the Masjed Daghi copper-gold porphyry-epithermal mineralization, East Azerbaijan Province, NW Iran. Open Journal of Geology, v. 7(8), p. 1110-1127. <https://doi.org/10.4236/ojg.2017.78074>
- Behrouzi, A. and Amini Azar, R., 1992. Geological map of Sarab, scale 1:100000. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (In Persian).
- Bodnar, R.J., 2003. Introduction to aqueous-electrolyte fluid inclusions. In: Samson, I., Anderson, A., Marshal, D. (Eds.), Fluid inclusions: Analysis and interpretation. Mineralogical Association of Canada, Vancouver, p. 81-100. <https://doi.org/10.3749/9780921294672.ch04>
- Boni, M., Gilg, H.A., Balassone, G., Schneider, J., Allen, C.R. and Moore, F., 2007. Hypogene Zn carbonate ores in the Angouran deposit, NW Iran. Mineralium Deposita, v. 42, p. 799-820. <https://doi.org/10.1007/s00126-007-0144-4>
- Calagari, A.A., 2004. Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, East Azarbaijan, and Iran. Journal of Asian Earth Sciences, v. 23(2), p. 179-189. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(03\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(03)00085-3)
- Calagari, A.A. and Hosseinzadeh, M.R., 2006. The mineralogy of copper-bearing skarn to the east of the Sungun-Chay River, East-Azarbaijan, Iran. Journal of Asian Earth Sciences, v. 28(4-6), p.

- 423-438.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.11.009>
- Daliran, F., 2008. The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran, hydrothermal alteration and mineralisation. *Mineralium Deposita*, v. 43, p. 383-404.
<https://doi.org/10.1007/s00126-007-0167-x>
- Daliran, F., Pride, K., Walther, J., Berner, Z.A. and Bakker, R.J., 2013. The Angouran Zn (Pb) deposit, NW Iran: evidence for a two stage, hypogene zinc sulfide-zinc carbonate mineralization. *Ore Geology Reviews*, v. 53, p. 373-402.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.02.002>
- Ebrahimi, S., Pan, Y., Alirezaei, S. and Mehrpartou, M., 2009. Fluid inclusion and mineralogical studies of the Sharafabad epithermal gold deposit, NW Iran. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, v. 18(71), p. 149-154 (In Persian).
<https://doi.org/10.22071/gsj.2010.57004>
- Ebrahimi, S., Alirezaei, S., Pan, Y. and Mohammadi, B., 2017. Geology, mineralogy and ore fluid characteristics of the Masjed Daghi gold bearing veins system, NW Iran. *Journal of Economic Geology*, v. 9(2), p. 561-586 (In Persian).
<https://doi.org/10.22067/econg.v9i2.51493>
- Ebrahimi, S., Pan, Y. and Rezaeian, M., 2021. Origin and evolution of the Masjed Daghi Cu-Au-Mo porphyry and gold epithermal vein system, NW Iran: constraints from fluid inclusions and sulfur isotope studies. *Mineralogy and Petrology*, v. 115, p. 643-662.
<https://doi.org/10.1007/s00710-021-00761-z>
- Ferdowsi, R., Calagari, A.A., Simmonds, V. and Miranvari, A., 2021. Evolution of the gold (copper) mineralization in the porphyry stock and the related skarn zones and epithermal veins in the Astaraghan area, NW Iran: Evidence from fluid inclusion, mineral chemistry and sulfur isotope analyses. *Ore Geology Reviews*, v. 136, 104196.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104196>
- Gharesti, M., Rassa, I. and Yazdi, M., 2018. Investigation of Mazraeh Skarn mineralization, North of Ahar, with an emphasis on fluid inclusion studies. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, v. 26(1), p. 229-244. (In Persian)
<https://doi.org/10.29252/ijcm.26.1.229>
- Ghasemi Siani, M., Mehrabi, B., Nazarian, M., Lotfi, M. and Corfu, F., 2022. Geology and genesis of the Chomalu polymetallic deposit, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, v. 143, 104763.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104763>
- Goldstein, R.H., 2003. Petrographic analysis of fluid inclusions. In: Samson, I., Anderson, A., Marshall, D. (Eds.), *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*. Mineral Associated of Canada, Vancouver, p. 9-53.
<https://doi.org/10.3749/9780921294672.ch02>
- 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.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.66.6.940>
- Hedenquist, J.W., Arribas, A.R. 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, p. 245-277.
<https://doi.org/10.5382/Rev.13.07>
- Heidari, S.M., Daliran, F., Paquette, J.L. and Gasquet, D., 2015. Geology, timing, and genesis of the high sulfidation Au (-Cu) deposit of Touzlar, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, v. 65, p. 460-486.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.05.013>
- Hosseinzadeh, M.R., Calagari, A.A., Moayyed, M., Hadj-Alilu, B. and Moazzen, M., 2010. Study of hypogen alteration and copper mineralization in Sonajil area (east of Herris, East Azarbaijan). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, v. 19(74), p. 3-12 (In Persian).
<https://doi.org/10.22071/gsj.2010.57312>
- IMTOAP, 2012. Final report on the exploration of Soganlou magnetite iron ore. Industry, Mining, and Trade Organization of Ardabil Province, Iran, 145 p. (In Persian).
- Jamali, H. and Mehrabi, B., 2015. Relationships between arc maturity and Cu-Mo-Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran magmatic belt. *Ore Geology Reviews*, v. 65(2), p. 487-501.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.06.017>
- Jamali, H., Dilek, Y., Daliran, F., Yaghubpur, A. and Mehrabi, B., 2010. Metallogeny and tectonic evolution of the Cenozoic Ahar-Arasbaran volcanic belt, northern Iran. *International Geology Review*, v. 52(4-6), p. 608-630.
<https://doi.org/10.1080/00206810903416323>
- Kouhestani, H., Azimzadeh, A.M., Mokhtari, M.A.A. and Ebrahimi, M. 2017. Mineralization and fluid evolution of epithermal base metal veins from the Aqkand deposit, NW Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*, v. 194(2), p. 139-155.
<https://doi.org/10.1127/njma/2017/0036>
- 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*, v. 109, p. 564-584.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.05.014>
- 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*, v. 113, 103087. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103087>
- 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*, v. 126, 103752. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103752>
- Lotfi, M. and Karimi, M., 2004. Mineralogy and ore genesis of Bayche - Bagh five elemen (Ag-Ni-Co-As-Bi) vein deposit (NW Zanjan, Iran). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, v. 14(53), p. 40-55 (In Persian).
- Mehrabi, B., Ghasemi Siani, M., Goldfarb, R., Azizi, H., Ganerod, M. and Marsh, E.E., 2016. Mineral assemblages, fluid evolution and Genesis of polymetallic epithermal veins, Gulojeh district, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, v. 78, p. 41-57. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.03.016>
- Mohammadi Niaei, R.M., Daliran, F., Nezafati, N., Ghorbani, M., Zakariaei, J.S. and Kouhestani, H., 2015. The Ay Qalasi deposit: an epithermal Pb-Zn (Ag) mineralization in the Urumieh-Dokhtar volcanic belt of northwestern Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, v. 192, p. 263-274. <https://doi.org/10.1127/njma/2015/0284>
- Moncada, D., Mutchler, S., Nieto, A., Reynolds, T.J., Rimstidt, J.D. and Bodnar, R.J., 2012. Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag-Au deposits at Guanajuato, Mexico: application to exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 114, p. 20-35. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.12.001>
- Moncada, D., Baker, D. and Bodnar, R.J., 2017. Mineralogical, petrographic and fluid inclusion evidence for the link between boiling and epithermal Ag-Au mineralization in the La Luz area, Guanajuato Mining District, Mexico. *Ore Geology Reviews*, v. 89, p. 143-170. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.05.024>
- Nabavi, M., 1976. An Introduction to the Geology of Iran. Geological Survey of Iran Publication, Tehran, 109 p. (In Persian).
- Najafzadeh, M., Ebrahimi, M., Mokhtari, M.A.A. and Kouhestani, H., 2016. The Arabshah occurrence: an epithermal Au-As-Sb carlin type mineralization in the Takab-Angouran-Takht-e-Soleyman metallogenic zone, Western Azerbaijan. *Advanced Applied Geology*, v. 6(4), p. 62-77 (In Persian). <https://doi.org/10.22055/aag.2016.12709>
- Pirajno, F., 2009. Hydrothermal processes and mineral systems. Springer, Berlin, 1250 p.
- Prokofiev, V.Y., Garofalo, P.S., Bortnikov, N.S., Kovalenker, V.A., Zorina, L.D., Grichuk, D.V. and Selektor, S.L., 2010. Fluid inclusion constraints on the genesis of gold in the Darasun district (eastern Transbaikalia). *Russia, Economic Geology*, v. 105(2), p. 395-416. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.2.395>
- Rezazadeh, S., Hosseinzadeh, M.R., Raith, J.G. and Moayyed, M., 2020. Mineral chemistry and phase relations of Co-Ni arsenides and sulfarsenides from the Baycheh-Bagh deposit, Zanjan province, Iran. *Ore geology reviews*, v. 127, 103836. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103836>
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. Mineralogical Society of America, Virginia, 644 p.
- Roedder, E. and Bodnar, R.J., 1980. Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 8, p. 263-301. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.08.050180.001403>
- Shahbazi, S., Ghaderi, M. and Alfonso, P., 2019. Mineralogy, alteration, and sulfur isotope geochemistry of the Zehabad intermediate-sulfidation epithermal deposit, NW Iran. *Turkish journal of earth sciences*, v. 28, p. 882-901. <https://doi.org/10.3906/yer-1902-1>
- Shepherd, T.J., Ranbin, A.H. and Alderton, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow, 223 p.
- Simeone, R. and Simmons, S.F., 1999. Mineralogical and fluid inclusion studies of low sulfidation epithermal veins at Osilo (Sardinia), Italy. *Mineralium Deposita*, v. 34(7), p. 705-717. <https://doi.org/10.1007/s001260050229>
- 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, J.R., Richards, J.P. (Eds.), One Hundredth Anniversary Volume. Society of Economic Geologists, Littleton, p. 485-522. <https://doi.org/10.5382/AV100.16>
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*, v. 95(1), p. 185-187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, v. 55(1-4), p. 229-272. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00047-5](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00047-5)
- Zamanian, H., Rahmani, S. and Zareisahameih, R., 2019. Fluid inclusion and stable isotope study of the Lubin-Zardeh epithermal Cu-Au deposit in Zanjan Province, NW Iran: Implications for ore genesis. *Ore Geology Reviews*, v. 112, 103014. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103014>