



Research Article

Investigation of the mineralization pattern of the Darreh Takht Copper deposit: A case study of a Manto-Type stratabound deposit in the southern part of Azna County, Lorestan, based on mineralogical and geochemical studies

Elham Zandkhanian¹, Farajollah Fardoost^{1*} , Ahadollah Fazeli Oladi², Afsaneh Soltani³

1-Department of Economic Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahroud University of Technology, Shahroud, Iran

2-Geology and Mineral Exploration Organization, Lorestan, Iran

3-Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Received: 04 Mar 2025 Accepted: 14 Feb 2026

Extended Abstract

Introduction

Manto-type (sediment-hosted) copper (Cu–Ag) deposits are of high economic and metallogenic importance due to their relatively high metal grades and significant contribution to copper production, particularly in the Central Andes (Wilson et al, 2003; Oliveros et al, 2008). These deposits are widely distributed along the circum-Pacific and Himalayan–Tibetan belts (Shen et al, 2020). In Chile, manto-type deposits are considered the second most important Cu deposits after porphyries (Wilson and Zentilli, 1999). In Iran, sediment-hosted copper deposits hosted in volcanic-sedimentary rocks, classified as manto-type deposits, are distributed across several structural provinces, including the Sanandaj–Sirjan, Urmieh–Dokhtar, Alborz, Sabzevar, Central Iran, Kopet Dagh, Tabas Block, and Lut Block (Salehi and Rasa, 2016; Maghfouri et al, 2020; Movahednia et al, 2022). The Darreh Takht Cu deposit is located in Lorestan Province within the Sanandaj–Sirjan structural-metasedimentary belt. This study aims to investigate the mineralogical, alteration, and geochemical characteristics of Cu mineralization and to elucidate the formation pattern of this deposit within the framework of manto-type Cu systems.

Materials and Methods

To investigate the Cu mineralization at the Darreh Takht deposit, a large-scale geological map was prepared based on satellite imagery, field surveys, and integration with the 1:100,000 geological maps of Aligudarz (Soheili et al, 1992) and Dorud (Goodarzi, 2002). Systematic sampling of host rocks and ore was conducted according to lithological variations, alteration intensity, and mineralogy. For mineralogical and textural studies, thin sections, polished sections, and thin-polished sections were prepared and examined microscopically. Mineral identification was carried out using X-ray diffraction (XRD), while the chemical composition of ore minerals was determined using electron probe microanalysis (EPMA). Geochemical analyses of least-altered host volcanic rocks were performed for major and trace elements using XRF and for rare earth elements using ICP-MS. These datasets formed the basis for interpreting mineralization characteristics and reconstructing the formation model of the deposit.

Citation: Zandkhanian, E. et al, 2026. Investigation of the mineralization pattern of the Darreh Takht Copper deposit, *Res. Earth. Sci.* 17(1), (113-134) DOI: 10.48308/esrj.2026.107030

* Corresponding author E-mail address: Fardoost@shahroodut.ac.ir



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/>).

Results and Discussion

The Sanandaj–Sirjan zone, with a length of approximately 1,500 km and a width of 150–250 km, extends from southeastern Iran (cities of Sirjan and Esfandqeh) to the northwest (Urmia and Sanandaj) and is considered one of the most important metallogenic regions of the country (Mohajjel and Fergusson, 2014). This zone comprises metamorphosed sedimentary, volcanic–sedimentary, and intrusive igneous rocks, ranging in age from the Paleozoic to the Mesozoic, and forms part of the Sanandaj–Sirjan metamorphic shear zone within the Zagros thrust-fold belt (Sarkarinejad and Azizi, 2008). Its tectonic evolution from the Late Paleozoic to the Middle Triassic involved faulting, carbonate deposition, basaltic lava flows, and coeval sedimentation, reflecting an extensional regime associated with the separation of the Central Iran block from Gondwana and the opening of the Neo-Tethys oceanic basin. The Early Cretaceous volcanic–sedimentary sequences in the southern part of the zone host Manto-type stratabound deposits, including Keshte-Mahki, Kal-Rizeh, Northeast and East Hassanabad, Khvorjan, and Simkan (Movahednia et al, 2020). The Darreh Takht Cu deposit is situated in the northern part of the Sanandaj–Sirjan metamorphic belt, adjacent to the Zangros thrust sub-belt, and is hosted in a Middle to Late Triassic volcanic–sedimentary sequence. The main lithologies include andesitic to andesite–basaltic flows, pyroclastic units such as crystal tuff and lithic tuff, and Permian carbonate sedimentary rocks, all generally aligned with the regional structural trend and partially metamorphosed to green schist facies. Three main rock units were distinguished: volcanic units (andesite to andesite–basalt), pyroclastic units (crystal tuff, lithic tuff, and agglomerate), and sedimentary units (limestone, dolomitic limestone, and green schist). Volcanic and pyroclastic units predominantly host Cu mineralization, and all units are aligned NW–SE along the Sanandaj–Sirjan belt. This lithological sequence reflects a volcanic–sedimentary environment with low- to medium-grade metamorphism. Mineralization at Darreh Takht occurs primarily in pyroclastic units (andesite to andesite–basalt) with sedimentary and metamorphic rocks located in the upper levels. Cu mineralization is mainly vein- and stringer-type and fills fractures, faults, and voids. The copper mineralization is predominantly vein-type, stockwork, and cavity-filling, and is structurally controlled by faults, fractures, and joints. The main factors influencing the mineralization process include: 1) suitable lithology of the host rocks, 2) effective structural features such as faults, fractures, joints, and related porosity and permeability characteristics, 3) the circulation of hydrothermal fluids through chemically favorable rocks leading to copper enrichment, and 4) the presence of granitoid intrusions in the area that provided a thermal source. Alteration types include chloritic, epidotic, sericitic, silicic, carbonatitic, and Fe-oxide/hydroxide zones. Chloritic and epidotic alterations are the most widespread and correspond to early hydrothermal activity, while sericitic and silicic alterations are restricted and associated with late hydrothermal phases. Mineralogical studies (microscopy, XRD, and EPMA) reveal five main mineral groups: sulfide Cu–Fe minerals (chalcocite, covellite, bornite, pyrite, chalcopyrite, tetrahedrite), Cu-carbonates (malachite and azurite), Cu oxides and native Cu (cuprite and native copper), Fe oxides/hydroxides (goethite and limonite), and gangue minerals (quartz, calcite, and gypsum). The dominant textures are vein, stringer, disseminated, void-filling, and replacement, reflecting the synoptic progression of sulfide, carbonate, and oxide mineralization. Geochemical studies of host rocks indicate andesitic to andesite–basaltic and trachyandesitic compositions, belonging to the calc-alkaline series. The Zr/Y versus Zr (Pearce, 1979) and Th–Co (Hastie et al, 2007) diagrams classify the rocks as continental arc-related, consistent with subduction of the Neo-Tethyan oceanic lithosphere beneath the Central Iranian continental block during the Late Triassic–Early Jurassic. Spider diagrams normalized to chondrite show enrichment in light rare earth elements (LREE) relative to heavy rare earth elements (HREE) with positive Sr and Eu anomalies, indicating plagioclase fractionation, high oxidation states, and crustal contamination of arc magmas. Negative Nb anomalies coupled with Sr enrichment are characteristic of subduction zone magmas and crustal assimilation. Among base metals, Cu and Ag show a very high correlation ($r = 0.97$), indicating a common source and geochemical linkage, likely due to their occurrence in sulfosalts (tetrahedrite, pyrargyrite, and prostite) and covellite.

Formation Conditions and Genetic Stages

Based on field, petrographic, and geochemical studies, the mineralization and deposit formation can be divided into three genetic stages:

1. Early diagenesis (primary volcanic–sedimentary stage): Extensive volcanic activity formed pyroclastic units and lava flows, producing andesitic and pyroxene-andesitic host rocks. Early

diagenesis also led to thin hematite layers from the breakdown of Fe-bearing minerals (pyroxene and amphibole).

2. Secondary diagenesis (primary sulfide mineralization): Basin-derived Cu released from Fe–Mg minerals and altered feldspars migrated and precipitated as primary sulfide minerals (pyrite, chalcopyrite, and chalcocite) in voids and as disseminated grains. The main source of Cu is the volcanic–sedimentary host rocks.

3. Uplift and hydrothermal activity (secondary oxide–carbonate stage): Regional uplift and faulting focused sulfide and oxide–carbonate mineralization along fractures and voids in pyroclastic units. Hydrothermal fluids of meteoric–magmatic origin formed oxide and carbonate Cu minerals (malachite, azurite) and Fe oxides/hydroxides in veins and stringers.

Conclusion

Cu mineralization at Darreh Takht occurs along the northern margin of the Sanandaj–Sirjan belt within andesitic to andesite–basaltic volcanic–pyroclastic sequences. Host rocks are calc-alkaline and related to a continental arc setting. Mineralization is vein- and stringer-dominated, controlled by tectonic structures, and post-dates host rock formation (epigenetic and stratabound). The positive Cu–Ag correlation indicates co-enrichment through metal-bearing hydrothermal fluids. The formation model comprises a multi-stage evolution from primary volcanic activity, diagenetic sulfide precipitation, to secondary hydrothermal concentration, demonstrating that Darreh Takht is a typical manto-type Cu deposit.

Keywords: Sanandaj-Sirjan, stratabound, Dareh – Takht, Manto-type copper deposit.

بررسی الگوی کانه‌زایی کانسار مس دره تخت؛ نمونه‌ای از یک کانسار چینه‌کران نوع مانتو در جنوب شهرستان ازنا، لرستان براساس مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمی

الهام زندخوانیان^۱، فرج الله فردوست^{۱*} , احدالله فاضلی اولادی^۲، افسانه سلطانی^۳

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

۲- سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی، لرستان، ایران

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۴ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۴/۱۱/۲۵

چکیده گسترده

مقدمه

کانسارهای مس (نقره) تیپ مانتو به دلیل عیار بالای فلزی و سهم قابل توجه در تولید مس، به‌ویژه در رشته‌کوه‌های آند مرکزی، از اهمیت اقتصادی و متالوژنی بالایی برخوردارند (Wilson et al, 2003; Oliveros et al, 2008). کانسارهای مس تیپ مانتو با عیار نسبتاً بالا به‌طور گسترده‌ای در امتداد کمربند پیرامون اقیانوس آرام و کمربند هیمالیا - تبت رخ داده‌اند (Shen et al, 2020). در کشور شیلی، این کانسارها پس از ذخایر پورفیری مس، به‌عنوان دومین گروه مهم کانسارهای مس شناخته می‌شوند (Wilson and Zentilli, 1999). در ایران، کانسارهای مس چینه‌کران با سنگ میزبان آتشفشانی - رسوبی که تحت عنوان کانسارهای تیپ مانتو شناخته می‌شوند و در پهنه‌های ساختاری متعددی از جمله سنندج - سیرجان، ارومیه - دختر، البرز، سبزواری، ایران مرکزی، کپه‌داغ، بلوک طبس و بلوک لوت گسترش یافته‌اند (Salehi and Rasa, 2016; Maghfouri et al, 2020; Movahednia et al, 2022). کانسار مس دره تخت در استان لرستان و در پهنه ساختاری - رسوبی سنندج - سیرجان واقع شده است. هدف از این پژوهش، بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمیایی کانه‌زایی مس در این کانسار و تبیین الگوی تشکیل آن در چارچوب کانسارهای مس تیپ مانتو می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به‌منظور بررسی کانه‌زایی مس در کانسار دره تخت، نقشه زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاس منطقه بر پایه تصاویر ماهواره‌ای، پیمایش صحرایی و تلفیق با نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ الیگودرز (Soheili et al, 1992) و دورود (Goodarzi, 2002) تهیه شد. نمونه‌برداری سیستماتیک از واحدهای سنگی میزبان و کانسنگ بر اساس تغییرات سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌شناسی انجام گرفت. به‌منظور مطالعات کانی‌شناسی و بافتی، مقاطع نازک، صیقلی و نازک - صیقلی تهیه و مورد بررسی میکروسکوپی قرار گرفت. شناسایی کانی‌ها با استفاده از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) انجام شد. ترکیب شیمیایی کانی‌های کانه‌دار با استفاده از آنالیز الکترون میکروپروب (EPMA) تعیین گردید.

استناد: زندخوانیان، ا. و همکاران، ۱۴۰۵. بررسی الگوی کانه‌زایی کانسار مس دره تخت؛ نمونه‌ای از یک کانسار چینه‌کران نوع مانتو در جنوب شهرستان ازنا، پژوهشهای دانش زمین: ۱۷(۱)، (۱۳۴-۱۱۳)، DOI: 10.48308/esrj.2026.107030

همچنین، برای بررسی ترکیب ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی میزبان با حداقل دگرسانی، آنالیز عناصر اصلی و فرعی به روش XRF و عناصر کمیاب به روش ICP-MS انجام شد. نتایج این مطالعات مبنای تفسیر ویژگی‌های کانه‌زایی و تعیین الگوی تشکیل کانسار قرار گرفت.

نتایج و بحث

پهنه سنندج - سیرجان با طول حدود ۱۵۰۰ کیلومتر و عرض ۱۵۰-۲۵۰ کیلومتر، از جنوب شرق ایران (شهرهای سیرجان و اسفندقه) تا شمال غرب (ارومیه و سنندج) گسترش دارد و یکی از مهم‌ترین نواحی فلززایی کشور به‌شمار می‌رود (Mohajjel and Fergusson, 2014). این پهنه شامل سنگ‌های رسوبی، آتشفشانی - رسوبی و آذرین درونی دگرگون شده با سن پالئوزوئیک تا مزوزوئیک است و بخشی از زون برشی دگرگونی سنندج - سیرجان در کمربند چین‌خوردگی روراندگی زاگرس را تشکیل می‌دهد (Sarkarinejad and Azizi, 2008). تحولات زمین‌ساختی آن از اواخر پالئوزوئیک بالایی تا تریاس میانی با پدیده‌های کافتش و نهشت کربنات‌ها، گدازه‌های بالشی و فعالیت‌های رسوبی همراه بوده و نشان‌دهنده رژیم کششی و جدا شدن بلوک ایران مرکزی از گندوانا و گسترش بستر اقیانوس نئوتتیس است. توالی‌های آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پیشین در بخش جنوبی پهنه، میزبان کانسارهای چینه‌کران تیپ مانتو از جمله کستمحکی، کل‌ریزه، شمال شرق و شرق حسن‌آباد، خورجان و سیمکان هستند (Movahednia et al, 2020). کانسار مس دره‌تخت در بخش شمالی پهنه ساختاری دگرگونی سنندج - سیرجان در مجاورت زیرپهنه روراندگی زاگرس قرار گرفته و در یک سکانس آتشفشانی - رسوبی با سن تریاس میانی تا پسین جای‌گیر شده است. واحدهای سنگی منطقه عمدتاً شامل گدازه‌های آندزیتی تا آندزیت - بازالتی، واحدهای آذرآواری نظیر کریستال توف و لیتیک‌توف، و سنگ‌های رسوبی کربناته پرمین می‌باشند که همگی هم‌راستا با روند کلی پهنه سنندج - سیرجان بوده و تا رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند. منطقه مطالعه شامل سه واحد سنگی اصلی می‌باشد: واحدهای گدازه‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت تا آندزیت‌بازالتی، واحدهای آذرآواری شامل کریستال توف، لیتیک‌توف و آگلومرا، و واحدهای رسوبی شامل سنگ‌های آهکی، آهک دولومیتی و شیست‌های سبز. واحدهای آتشفشانی و آذرآواری عمدتاً میزبان کانه‌زایی مس هستند و تمامی واحدها هم‌راستا با روند شمال غرب - جنوب شرق پهنه سنندج - سیرجان قرار دارند. این توالی‌های سنگی نشان‌دهنده محیط آتشفشانی - رسوبی با دگرگونی خفیف تا متوسط در منطقه هستند. کانسار مس دره‌تخت عمدتاً در واحدهای آذرآواری با ترکیب آندزیت تا آندزیت‌بازالتی میزبان است و سنگ‌های رسوبی و دگرگونی در بخش فوقانی قرار دارند. کانه‌زایی مس عمدتاً رگه‌ای، رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی بوده و توسط گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌ها کنترل می‌شود. عوامل مؤثر در فرآیند کانه‌زایی شامل: (۱) لیتولوژی مناسب سنگ‌های میزبان، (۲) ساختارهای مؤثر نظیر گسل‌ها، درزه‌ها، شکستگی‌ها و ویژگی‌های مرتبط با تخلخل و نفوذپذیری، (۳) حرکت محلول‌های گرمابی در سنگ‌هایی با ترکیب مناسب که منجر به تمرکز فلز مس شده‌اند، و (۴) حضور توده‌های نفوذی گرانیوتئیدی در منطقه که به‌عنوان منبع حرارتی نقش داشته‌اند، می‌باشند. دگرسانی‌ها شامل کلریتی، اپیدوتی، سریسیتی، سیلیسی، کربناتی و پهنه‌های اکسیدی/هیدروکسیدی آهن هستند که دگرسانی کلریتی و اپیدوتی گسترده‌ترین نوع بوده و مراحل اولیه سامانه گرمابی را نشان می‌دهد، در حالی که دگرسانی سریسیتی و سیلیسی محدود و مرتبط با فازهای انتهایی سامانه است. کانی‌های مهم شامل سولفیدی‌های مس و آهن، کربنات‌های مس، اکسیدی‌های مس و آهن و باطله‌ها هستند و بافت غالب کانه‌زایی به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و جانشینی است. مطالعات میکروسکوپی، پراش اشعه ایکس و ریزکائونده الکترونی نشان می‌دهند که کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار دره تخت در پنج گروه اصلی جای می‌گیرند کانی‌های سولفیدی مس و آهن شامل کالکوسیت، کولیت، بورنیت، پیریت، کالکوپریت و تترائدریت، که به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای، دانه پراکنده و پرکننده فضاهای خالی یافت می‌شوند. کانی‌های کربناته مس مانند مالاکیت و آزوریت، عمدتاً پرکننده درزه‌ها، شکستگی‌ها و حفرات بوده و با بافت‌های شعاعی و کلوفرمی ظاهر می‌شوند. کانی‌های اکسیدی مس و مس طبیعی شامل کوپریت و مس خالص که به صورت پراکنده و دانه‌ریز مشاهده می‌شوند. کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن مانند گوتیت و لیمونیت، که ناشی از اکسیداسیون کانی‌های آهن‌دار سولفیدی بوده و غالباً با کانی‌های مس همراه هستند. کانی‌های باطله شامل کوارتز، کلسیت و ژیپس که در فضاهای خالی، شکستگی‌ها و حفرات پرکننده‌اند و گاهی به صورت رگه و رگچه دیده می‌شوند. ساخت و بافت کانی‌ها در کانسار شامل رگه‌ای و رگچه‌ای، دانه پراکنده، پرکننده

فضاهای خالی و جانشینی بوده و ویژگی‌های بافتی آن‌ها بیانگر فرآیندهای ژنتیکی سولفیدی، کربناته و اکسیدی در طول کانه‌زایی است. مطالعات ژئوشیمیایی کانسار مس دره تخت با استفاده از عناصر اصلی و فرعی نشان می‌دهد که سنگ‌های میزبان عمدتاً آندزیت، آندزیت - بازالتی و تراکی آندزیت هستند و ترکیب شیمیایی آن‌ها کالک‌آلکان است. نمودار Zr/Y نسبت به Zr (Pearce, 1979) و نمودار $Th-Co$ (Hastie et al, 2007) بیانگر رابطه این سنگ‌ها با کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای و فرورانش ورقه نئوتتیس زیر قاره‌ای در تریاس بالایی - ژوراسیک زیرین است. نمودارهای عنکبوتی نسبت به کندریت، غنی‌شدگی عناصر خاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر سنگین (HREE) و آنومالی‌های مثبت Sr و Eu به تفریق پلاژیوکلازها، اکسیداسیون بالا و تاثیر پوسته قاره‌ای بر ماگمای کمان قاره‌ای اشاره دارد. کاهش Nb همراه با غنی‌شدگی Sr نیز شاخص زون‌های فرورانش و اختلاط با مواد پوسته‌ای است. در میان فلزات پایه، مس و نقره دارای همبستگی بسیار بالای 0.97 هستند. این ارتباط قوی نشان‌دهنده منشأ مشترک این دو فلز و وابستگی ژئوشیمیایی آن‌هاست و همچنین می‌تواند ناشی از حضور آن‌ها در سولفوسالت‌ها (تتراندزیت، پیرارژیریت و پروستیت) و کوولیت باشد. شرایط و مراحل تشکیل کانسار مس دره تخت: با توجه به مطالعات میدانی، میکروسکوپی و ژئوشیمیایی، مراحل کانه‌زایی و فرآیندهای تشکیل کانسار را می‌توان در سه مرحله ژنتیکی اپی ژنتیک-دیاژنتیک تفکیک کرد:

(۱) دیاژنز آغازین (رسوبی - آتشفشانی اولیه): در این مرحله فعالیت‌های آتشفشانی گسترده باعث تشکیل واحدهای آذرآواری و جریان‌های گدازه‌ای می‌شوند. سنگ‌های میزبان آندزیت و پیروکسن آندزیت شکل می‌گیرند. دیاژنز اولیه باعث تشکیل لایه‌های نازک هماتیت از تجزیه کانی‌های آهن‌دار (پیروکسن و آمفیبول) شده است.

(۲) دیاژنز ثانویه (کانه‌زایی سولفیدی اولیه): در طی این مرحله، سیالات حوضه‌ای مس آزاد شده از کانی‌های آهن - منیزیم‌دار و فلدسپارهای دگرسان، به حرکت درآمده و کانی‌های سولفیدی اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت و کالکوسیت به صورت دانه پراکنده و پرکننده فضاهای خالی رسوب کردند. بر این اساس، منبع اصلی مس سنگ‌های میزبان آتشفشانی - رسوبی است.

(۳) بالآمدگی و فعالیت‌های هیدروترمال (کانه‌زایی ثانویه اکسیدی): با آغاز بالآمدگی منطقه و غسل خوردگی، تمرکز مجدد کانی‌زایی سولفیدی و اکسیدی در امتداد گسل‌ها، درزه‌ها و فضاهای خالی واحدهای آذرآواری رخ می‌دهد. سیالات گرمایی ترکیبی از آب‌های جوی و ماگمایی هستند و کانی‌زایی اکسیدی و کربناتی شامل مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن به صورت رگه و رگچه پرکننده فضاهای خالی شکل می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

کانه‌زایی مس در منطقه دره تخت در حاشیه شمالی پهنه ساختاری سنندج - سیرجان و در ارتباط با توالی‌های آذرآواری آندزیتی تا آندزیت - بازالتی شکل گرفته است. سنگ‌های میزبان از نظر زمین‌ساختی به کمان آتشفشانی قاره‌ای و از نظر سری ماگمایی به مجموعه کالک‌آلکان تعلق دارند. کانی‌سازی عمدتاً به صورت رگه‌ای و رگچه‌ای و به‌عنوان پرکننده شکستگی‌ها و درزه‌ها توسعه یافته و به شدت تحت کنترل ساختارهای تکتونیکی منطقه قرار دارد. شواهد کانی‌شناسی و بافتی نشان می‌دهد که کانه‌زایی پس از تشکیل سنگ میزبان و به صورت اپی ژنتیک و چینه‌کران رخ داده است. همبستگی مثبت نقره با مس بیانگر نقش سیالات فلزدار در غنی‌شدگی همزمان این دو عنصر می‌باشد. بر اساس داده‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و دگرسانی، الگوی تشکیل کانسار شامل یک تکامل چندمرحله‌ای از فعالیت‌های آتشفشانی اولیه، دیاژنز تدفینی و در نهایت تمرکز مجدد کانه‌زایی در اثر فعالیت‌های هیدروترمال می‌باشد. مجموعه این ویژگی‌ها نشان می‌دهد که کانه‌زایی دره تخت از نظر تیپ و فرآیند تشکیل، بیشترین شباهت را با کانسارهای مس تیپ مانتو دارد.

واژگان کلیدی: سنندج - سیرجان، چینه‌کران، دره تخت، کانسار مس نوع مانتو.

مقدمه

تولید مس کشور شیلی شناخته شده‌اند؛ از جمله کانسارهای می‌توان به کانسار ال سولدادو^۱ با ذخیره ۲۰۰ میلیون تن و عیار ۱/۳۵٪ مس (Wilson et al, 2003) و

کانسارهای مس (نقره) تیپ مانتو در رشته‌کوه‌های آند مرکزی به دلیل عیار بالای فلزی و سهم قابل توجه در

کانسار ماری (Maghfouri et al, 2017)، کانسار یامغان (Jiba et al, 2021) و کانسار قشلاق (Baghbanan et al, 2022) در مجموعه ماگمایی البرز، کانسار کشکوئیه (Abolipour et al, 2015) و کانسار یامچی (Asiabanha et al, 2012) در مجموعه ماگمایی پهنه ارومیه دختر، کانسار عباس آباد (Salehi and Rasa, 2016)، کانسار دوچپله (Ebrahimi et al, 2019) و کانسار ابری و رهبری (Soltani and Fardoost, 2021) در پهنه سبزوار، کانسار ورزگ (Alizadeh et al, 2013) و گرماب در بلوک لوت (Adelpour et al, 2016) و کانسار مس (و نقره) کشت مهکی واقع در پهنه سنندج - سیرجان (Boveiri et al, 2011, 2013) اشاره نمود. بزرگترین کانسارهای تیپ مانتو در ایران در توالی‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن شکل گرفته‌اند (Maghfouri and Movahednia, 2015, 2017). کانسار مس دره‌تخت در استان لرستان، ۱۰ کیلومتری جنوب شهرستان ازنا، در مختصات جغرافیایی ۲۲°۴۹ تا ۲۲°۴۹ طول شرقی و ۱۵°۳۳ تا ۲۲°۳۳ عرض شمالی در پهنه ساختاری - رسوبی سنندج - سیرجان و در بخش غربی نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ الیگودرز (Soheili et al., 1992) و بخش شرقی نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دورود (Goodarzi, 2002) واقع شده است هدف از این مطالعه، بررسی ویژگی‌های کانی سازی مس در کانسار مس دره تخت بر مبنای مطالعات کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و تعیین الگوی تشکیل آن می‌باشد.

منطقه‌ی مورد مطالعه

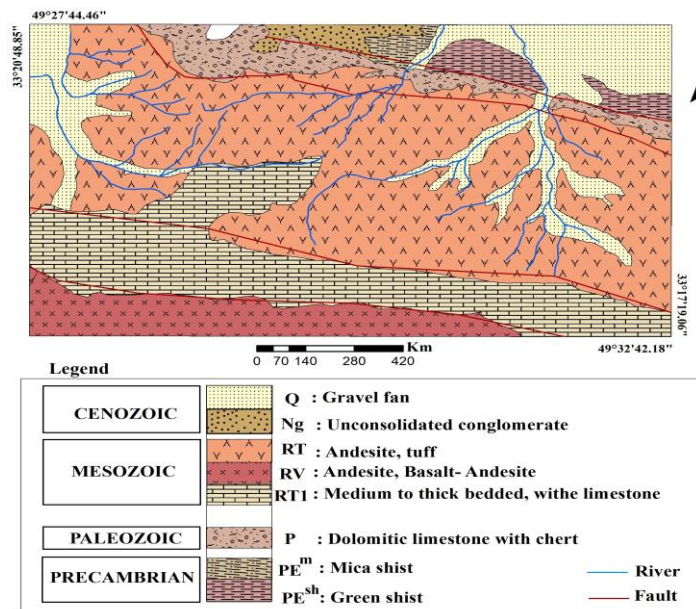
زمین‌شناسی

پهنه سنندج - سیرجان با پهنایی حدود ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر، در امتداد روندی به طول تقریبی ۱۵۰۰ کیلومتر از شهرهای سیرجان و اسفندقه در جنوب شرق تا ارومیه و سنندج در شمال غرب گسترش دارد (Mohajjel and Fergusson; 2014). این پهنه شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی، آتشفشانی - رسوبی و آذرین درونی دگرگون شده با سن پالئوزوئیک تا مزوزوئیک است که به درجات مختلف دگرگون شده‌اند. زون برشی دگرگونی سنندج - سیرجان بخشی از کمربند چین‌خوردگی روراندگی زاگرس در ایران به شمار می‌آید

کانسار مانتوس بلانکوس^۲ با ذخیره ۵۰۰ میلیون تن و عیار ۱/۰٪ مس (Oliveros et al, 2008) اشاره نمود. این کانسارها معمولاً در سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی-آذرآواری جای گرفته‌اند، از کانی‌های سولفیدی مس مانند کالکوپیریت، کالکوسیت، بورنیت و دیزنیت غنی هستند و دارای توده‌های معدنی چینه‌سان یا ورقه‌ای در مقیاس وسیع می‌باشند (Zhao et al, 2020). از سوی دیگر، به بیان شن و همکاران (Shen et al, 2020)؛ کانسارهای مس تیپ مانتو با عیار نسبتاً بالا (تا بیش از ۸ درصد وزنی مس) به طور گسترده‌ای در کمربند اطراف کمربند اقیانوس آرام و کمربند هیمالیا-تبت رخ داده‌اند. با این حال، کانسارهای مس تیپ مانتو در کمربند کوهزایی آسیای مرکزی از جمله کانسار مس تیپ مانتو هنگولنگ^۳، چین نیز گزارش شده است (Shen et al, 2020). در کشور شیلی، کانسارهای چینه‌سان مس به‌عنوان دومین گروه مهم پس از ذخایر پورفیری مس شناخته می‌شوند (Wilson and Zentilli, 1999). بر پایه تقسیم‌بندی کامپوز (Campus, 1980)، این نوع ذخایر در دو گروه اصلی شامل کانسارهای با سنگ میزبان رسوبی و کانسارهای با میزبان آتشفشانی قرار می‌گیرند. همچنین، نمونه‌هایی از این نوع کانه‌زایی که به دوران پروتروزویک تا تریاس بازمی‌گردند، در مناطق شمال‌غربی آمریکای شمالی از جمله شمال میشیگان و بخشی از کانادا نیز گزارش شده‌اند. به طور کلی، این ذخایر که تحت عنوان طبقات قرمز آتشفشانی^۴ نیز شناخته می‌شوند (Cabral and Beaudoin, 2007)، اغلب در درون توالی‌های آتشفشانی - رسوبی با ترکیب سنگ‌شناسی آندزیتی تا بازالتی جای‌گیر شده‌اند. در ایران، کانسارهای مس چینه‌کران با سنگ میزبان آتشفشانی - رسوبی تحت عنوان کانسارهای نوع مانتو (Salehi and Rasa, 2016)، در پهنه‌های ساختاری متعددی از جمله پهنه ماگمایی ارومیه - دختر، پهنه ماگمایی البرز، پهنه سنندج - سیرجان، پهنه سبزوار، پهنه ساختاری-زمین‌شناسی تدریجی ایران مرکزی، کپه داغ، بلوک طبس و بلوک لوت گسترش یافته‌اند (Movahednia et al, 2022; Maghfouri et al, 2020). از مهم‌ترین کانسار مس تیپ مانتو در ایران می‌توان به کانسار مس (نقره) کشت مهکی (Konari et al, 2013; Boveiri et al, 2011, 2013) در پهنه سنندج - سیرجان،

کشمحکی، کل‌ریزه، شمال‌شرق و شرق حسن‌آباد، خورجان و سیمکان می‌باشد (Movahednia et al, 2020). در این میان، کانسار مس - نقره کشت مهکی با سن کرتاسه پیشین (Boveiri Konari et al, 2013) به‌عنوان قدیمی‌ترین کانسار شناخته شده از نوع مانتو در ایران گزارش شده است. کانسار مس دره‌تخت نیز یکی دیگر از ذخایر موجود در این پهنه دگرگونی به شمار می‌رود. محدوده اکتشافی این کانسار در مجاورت زیرپهنه روراندگی زاگرس از یک‌سو و واحدهای آهکی کرتاسه از سوی دیگر قرار دارد. این کانسار در سکناس آتشفشانی تریاس میانی تا پسین جای گرفته است. واحدهای سنگی تشکیل‌دهنده منطقه شامل: (۱) گدازه‌های آتشفشانی (آندزیت، آندزیت‌بازالتی) با سن تریاس پیشین تا میانی، (۲) واحدهای آذرآواری (کریستال توف و لیتیک توف) با سن تریاس میانی، و (۳) واحدهای رسوبی شامل سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی چرت‌دار با سن پرمین می‌باشند. تمامی این واحدها دارای روند شمال‌غرب - جنوب‌شرق بوده، هم‌راستا با پهنه سنندج - سیرجان هستند و تا حد رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند.

(Sarkarinejad and Azizi, 2008). براساس پیشینه‌ی زمین‌دینامیکی پهنه سنندج سیرجان از اواخر پالئوزوئیک بالایی تا تریاس میانی با پدیده کافتش و نهشت کربنات‌ها، گدازه‌های بالشی و برش‌های همزمان با رسوب‌گذاری همراه بوده است، که نشانگر رژیم زمین‌ساختی کششی و جدایش بلوک ایران مرکزی از گندوانا و گسترش بستر اقیانوس نئوتتیس است. این پهنه، با روند شمال‌غرب - جنوب‌شرق و هم‌راستا با زیرپهنه روراندگی زاگرس، یک نوار دگرگونی مهم را تشکیل می‌دهد که از دیدگاه متالوژنی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ایالت‌های فلززایی ایران شناخته شده و میزبان انواع مختلفی از کانسارهای فلزی شامل آهن، منگنز، مس، سرب و روی، تنگستن، قلع و طلا است (Ghorbani, 2007). بر اساس تقسیم‌بندی افتخار نژاد (Eftekharejad, 1981)، به دو بخش جنوبی (عمدتاً از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی پالئوزوئیک و مزوزوئیک پیشین تا میانی) و بخش شمالی (عمدتاً شامل سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی مزوزوئیک میانی تا پسین) تقسیم می‌شود. توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پیشین در بخش جنوبی این پهنه، میزبان کنه‌زایی چینه‌سان از نوع مانتو از جمله کانسارهای



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس از محدوده معدنی دره تخت بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای، پیمایش صحرایی و بخش غربی نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ الیگودرز (Soheili et al, 1992) و بخش شرقی نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دورود (Goodarzi, 2002).

Fig. 1: Large-scale geological map of the Dareh-Takht mining area, prepared based on satellite imagery, field surveys, and the western part of the 1:100,000 Aligudarz geological map (Soheili et al, 1992) and the eastern part of the 1:100,000 Dorud geological map (Goodarzi, 2002).

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، پس از تهیه نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس منطقه دره تخت (شکل ۱)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پیمایش صحرایی و با استفاده از ورقه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ الیگودرز (Soheili et al, 1992) و ورقه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دورود (Goodarzi, 2002)، بر اساس نوع سنگ و تغییرات سنگ‌شناختی و کانی‌شناختی کانسنگ، تعداد ۱۰۰ نمونه از سنگ درونگیر و کانسنگ برداشت شد. از نمونه‌های منتخب تعداد ۳۰ مقطع نازک، ۱۰ مقطع صیقلی و ۵ مقطع نازک - صیقلی برای مطالعات میکروسکوپی تهیه شد. همچنین روش الکترون میکروپروپ و تعداد ۱۰ نمونه برای تجزیه پراش اشعه ایکس (XRD) و آنالیز الکترون میکروپروپ (EPMA) برای مطالعات کانی‌شناختی و ۱۳ نمونه به روش طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) جهت تعیین مقادیر اصلی و فرعی از سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانه‌زایی که دارای حداقل دگرسانی هستند و تعداد ۱۰ نمونه برای تجزیه و تحلیل عناصر اصلی و کمیاب به روش طیف‌سنجی طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS) توسط آزمایشگاه کانساران بینالود، سازمان زمین‌شناسی و مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام گرفت. آنالیز عناصر اصلی و فرعی به روش XRF با دستگاه Philips PW1480 در آزمایشگاه کانساران بینالود انجام گرفت. نمونه‌ها ابتدا با حرارت مناسب خشک و سپس با سنگ‌شکن فکی تا ابعاد حدود ۷ میلی‌متر خرد شدند. پس از تقسیم با استفاده از تقسیم‌کننده شانه‌ای، حدود ۵۰ گرم از هر نمونه انتخاب شد. این نمونه‌ها با آسیاب دیسکی تا اندازه کمتر از ۷۵ میکرون (مش ۲۰۰) نرم شده و در نهایت، قرص‌های ذوبی از آن‌ها تهیه گردید. آنالیز XRF تحت شرایط کنترل‌شده و بر اساس استانداردهای بین‌المللی به‌منظور تعیین غلظت کمی عناصر اصلی و فرعی انجام شد. برای آنالیز نقطه‌ای کانی‌ها، مقاطع صیقلی رزین‌خورده از نمونه‌های کانه‌دار تهیه و پس از بررسی

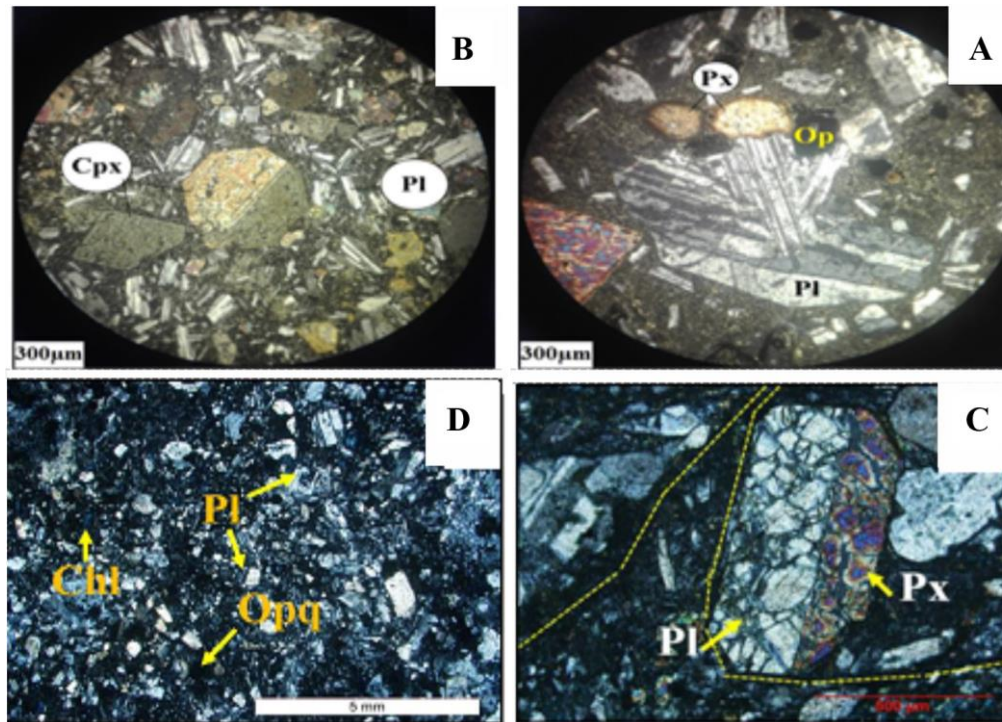
میکروسکوپی، نواحی حاوی کانی‌های مس طبیعی، کالکوسیت، کوپریت، کالکوپریت و فازهای نقره‌دار شامل پیرارزیریت، پروستیت و تتراهدریت برای تجزیه میکروپروپ الکترونی (EPMA) انتخاب شد. این آنالیز با دستگاه Cameca SX100 و با اعمال پرتو الکترونی با انرژی ۵ تا ۳۰ کیلوالکترون‌ولت انجام گرفت. در این روش، پرتو الکترونی متمرکز موجب تحریک عناصر و صدور پرتوهای X مشخصه می‌شود که به‌منظور شناسایی و تعیین مقدار عناصر استفاده می‌گردد. حد تشخیص دستگاه حدود ۱۰۰ ppm بوده و نتایج به صورت درصد وزنی (%wt) گزارش شدند. آنالیز با جریان پرتو ۲۰ نانوآمپر، فواصل اسکن ۲ تا ۵ میکرومتر، سرعت پیمایش ۲۵ و زمان پیک ۱۲ تا ۱۵ ثانیه برای عناصر اصلی و ۲۰ تا ۲۵ ثانیه برای عناصر کمیاب انجام شد.

بحث و نتایج

سنگ شناسی

براساس مشاهدات صحرایی، مطالعات میکروسکوپی و ژئوشیمی، واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه عبارتند از:

الف) گدازه‌های آتشفشانی: این مجموعه با ترکیب آندزیت پورفیری و آندزیت بازالتی پورفیری در مشاهدات صحرایی و نمونه دستی به رنگ‌های ارغوانی تا بنفش تیره رخنمون دارند. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، بلورهای پلاژیوکلاز به صورت درشت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و با ماکل پلی سنتتیک و پیروکسن به صورت ریز دانه و میکرولیتی در زمینه سنگ (واحد آندزیت) حضور دارند و حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهند. تجمع بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن در کنار یکدیگر سبب بافت گلومروپورفیری شده است (شکل ۲ A). حضور پلاژیوکلاز و پیروکسن‌ها به صورت درشت بلورهای شکل‌دار تا بی‌شکل حدود ۲۵-۳۰ درصد حجمی سنگ (در واحد آندزیت - بازالت) را تشکیل می‌دهد. کلینوپیکروکسن‌ها اغلب از نوع اوژیت هستند و گاهی کانی‌های کدر به صورت بافت غربالی در آنها مشاهده می‌شود (شکل ۲ B).

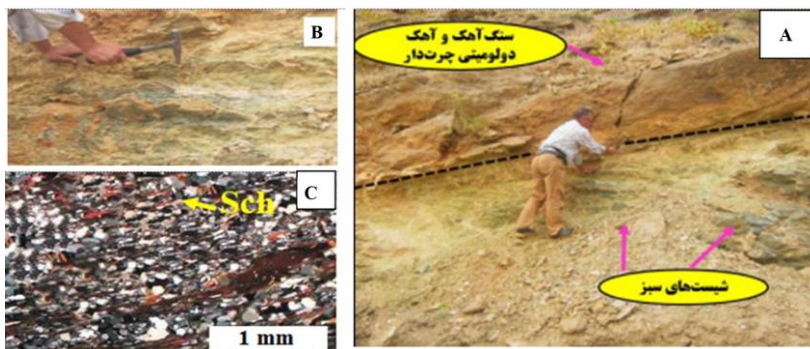


شکل ۲: A: تصویر میکروسکوپی از بافت پورفیریتیک حاصل از فنوکریست‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز در زمینه دانه ریز تا شیشه‌ای در واحد آندزینی. B: تصویر میکروسکوپی از کانی پیروکسن با ماکل دوقلوبی و کانی کدر همراه با بافت گلومروپورفیریتیک در واحد آندزیت بازالتی، C: تصویر میکروسکوپی از واحد لیتیک‌توف، با حضور پلاژیوکلازها و پیروکسن‌هایی که دچار خوردگی شده‌اند، D: تصویر میکروسکوپی از واحد کریستال‌توف، با قطعات پلاژیوکلاز، پیروکسن، کلریت و کانی‌های کدر. پلاژیوکلاز (Pl)، پیروکسن (Px)، کلینوپروکسن (Cpx)، کدر (Opq)، علامت اختصاری از سیوالا و جمید (Siivola and Schmid, 2007).

Fig. 2: A: Photomicrograph of a porphyritic texture defined by pyroxene and plagioclase phenocrysts set in a fine-grained to glassy groundmass within the andesitic unit. B: Photomicrograph of pyroxene exhibiting twinning, associated with opaque minerals and showing a glomeroporphyritic texture in the basaltic andesite unit. C: Photomicrograph of the lithic tuff unit, characterized by the presence of plagioclase and corroded pyroxene crystals. D: Photomicrograph of the crystal tuff unit containing fragments of plagioclase, pyroxene, chlorite, and opaque minerals. Abbreviations after Siivola and Schmid (2007): Pl = plagioclase, Px = pyroxene, Cpx = clinopyroxene, Opq = opaque minerals.

دولومیتی چرت‌دار و آهک‌های ماری به صورت روانه بر روی واحد آذرآواری و گدازه دگرگون شده قرار گرفته است. سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی چرت‌دار همراه با رگه‌هایی از کلسیت و دولومیت در مشاهدات صحرایی رخنمون دارند (شکل ۳ A و B). از جمله شیست‌های منطقه می‌توان به کلریت شیست، کلریت سربسیت شیست، سربسیت شیست، سربسیت بیوتیت شیست، بیوتیت مسکویت شیست، کوردیریت مسکویت شیست و مسکویت شیست اشاره کرد. میکاشیست‌ها با بافت لپیدوبلاستی و لپیدوپروفریوبلاستی است مشاهده می‌شوند و جهت‌یافتگی ترجیحی ضعیف تا متوسط را نشان می‌دهند (شکل ۳ C).

ب) واحدهای آذرآواری: در مشاهدات صحرایی این واحد بخش اعظم محدوده مورد مطالعه را در برمی‌گیرد و به رنگ‌های قرمز تیره، قهوه‌ای تا سبز تیره مشخص می‌شوند. سنگ‌های آذرآواری در رده کریستال‌توف، لیتیک‌توف 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. واحد کریستال‌توف، اغلب متشکل از قطعات از پلاژیوکلاز، پیروکسن، کلریت و کانی‌های کدر می‌باشند (شکل ۲ C و D). پ) واحدهای رسوبی: مجموعه رسوبی با ترکیب شیست‌های سبز و آهک‌های



شکل ۳: A, B: تصویر صحرایی از سنگ آهک دولومیتی چرت دار و شیت های سبز، C: تصویر میکروسکوپی از میکاشیت ها با بافت لپیدوبلاستی و لپیدوپورفیروبللاستی و جهت یافتگی ترجیحی ضعیف تا متوسط.

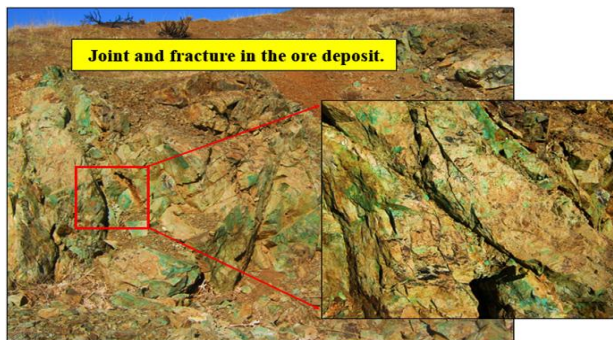
Fig. 3. A, B: Field photograph of cherty dolomitic limestone and green schists. C: Photomicrograph of mica schists displaying lepidoblastic to lepidoporphyroblastic textures with weak to moderate preferred orientation.

کانه زایی و دگرسانی

الف) کانه زایی

در منطقه دره تخت، سنگ های دربرگیرنده کانسار عمدتاً شامل مجموعه ای از سنگ های آذرآواری با ترکیب آندزیت تا آندزیت بازالتی، و به صورت محدود، گدازه های آتشفشانی هستند. این سنگ ها در افق زیرین زون کانهدار قرار داشته و سنگ های رسوبی و دگرگونی نظیر سنگ آهک دولومیتی چرت دار و سنگ آهک ماری به صورت رورانده، آن ها را در بخش فوقانی می پوشانند. کانه زایی مس در این کانسار، عمدتاً در واحدهای آذرآواری و در امتداد روند شمال غربی - جنوب شرقی توسعه یافته است. عوامل مؤثر در فرآیند کانه زایی شامل: (۱) لیتولوژی مناسب سنگ های میزبان، (۲) ساختارهای مؤثر نظیر گسل ها، درزه ها، شکستگی ها و ویژگی های مرتبط با تخلخل و نفوذپذیری، (۳) حرکت محلول های گرمابی در سنگ هایی با ترکیب مناسب که منجر به تمرکز فلز مس شده اند، و (۴) حضور توده های نفوذی گرانیتوئیدی در منطقه که به عنوان منبع حرارتی نقش داشته اند، می باشند. تمرکز ماده معدنی ارتباط نزدیکی

با سامانه گسلی و شکستگی ها دارند، که این ارتباط از فرضیه ایجاد فضاهای خالی توسط گسل ها و شکستگی ها پشتیبانی می کند. کانی سازی به طور عمده به صورت رگه ای، رگچه ای، و در برخی موارد به صورت پرکننده فضاهای خالی در امتداد درزه ها، شکاف ها و شکستگی های سنگ میزبان مشاهده می شود (شکل ۴). این زون کانهدار پس از تحکیم سنگ های میزبان، به صورت نواری با روند موازی طبقات دربرگیرنده تشکیل شده و توسط سنگ های آهکی در بالا و گدازه های آتشفشانی در پایین محدود شده است. شکل ماده معدنی عمدتاً رگه ای، رگچه ای و در برخی مناطق به صورت پرکننده فضاهای خالی، بین دانه ای و پراکنده درون دانه ای است. گسل ها، درزه ها و شکستگی هایی که با جهات مختلف، سنگ میزبان را به صورت یک شبکه نامنظم اما مترکم قطع کرده اند، شرایط مناسبی را برای نفوذ و تمرکز محلول های کانهدار فراهم ساخته اند. به طور کلی، کانه زایی عمدتاً از نوع چینه کران و دیرزاد است و با ساختارهای موجود در سنگ های میزبان کنترل شده است.



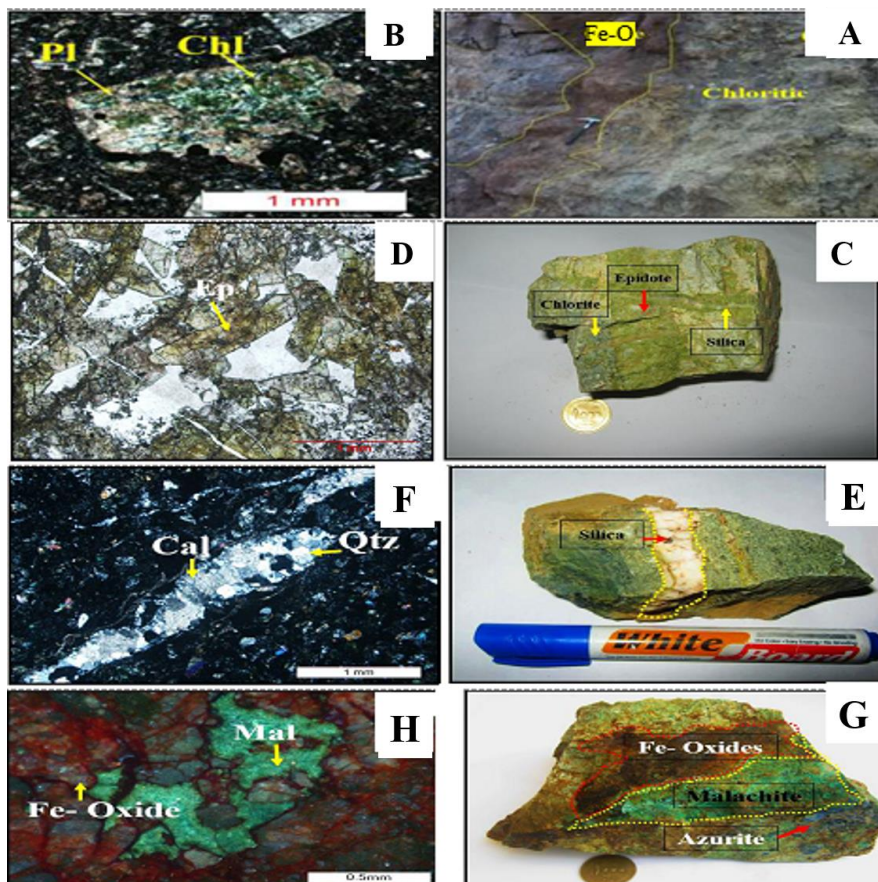
شکل ۴: گسل ها و شکستگی های موجود در واحد آذرآواری میزبان کانه زایی مس دره تخت

Fig. 4: Faults and fractures developed within the volcanoclastic host unit of the Dareh-Takht copper mineralization.

ب) دگرسانی

بر اساس مشاهدات صحرایی، مطالعات پتروگرافی و نتایج حاصل از آنالیز XRD، مهم‌ترین زون‌های دگرسانی در منطقه‌ی دره تخت شامل دگرسانی‌های کلریتی، اپیدوتی، سربستی، سیلیسی، کربناتی و پهنه‌های اکسید و هیدروکسید آهن می‌باشند. دگرسانی کلریتی، که گسترده‌ترین نوع دگرسانی در منطقه است، عمدتاً در سنگ‌های آندزیتی، آندزیت - بازالتی و توف‌های معادل آن‌ها در اثر محلول‌های غنی از آهن و منیزیم توسعه یافته است

(شکل ۵ A). شواهد میکروسکوپی حاکی از جایگزینی کلریت در امتداد ساختار اولیه کانی‌های مافیک از جمله بیوتیت و آمفیبول است (شکل ۵ B). دگرسانی اپیدوتی، که معمولاً معرف پهنه دگرسانی پروپیلیتی است. از نظر فراوانی، این نوع دگرسانی پس از دگرسانی کلریتی، بیشترین گسترش را در منطقه دارد و به صورت بلورهای منشوری تا توده‌ای در زمینه‌ی سنگ یا به عنوان پرکننده‌ی شکستگی‌ها ظاهر می‌شود (شکل ۵ C و D).



شکل ۵: تصاویر دگرسانی‌های مشاهده‌شده در نمونه‌های میکروسکوپی و دستی: A: نمای صحرایی از دگرسانی کلریتی در مجاورت دگرسانی اکسیدی، B: تصویر میکروسکوپی از جانشینی بیوتیت توسط کلریت، C: نمای دستی از دگرسانی اپیدوتی همراه با آثار دگرسانی سیلیسی و کلریتی، D: تصویر میکروسکوپی از بلورهای اپیدوت، E: نمای دستی از سنگ آذرآواری دارای رگه‌های سیلیسی و اپیدوت، F: تصویر میکروسکوپی از پرشدگی فضای خالی توسط کوارتز و کلسیت، G: نمای دستی از تجمع اکسیدهای آهن در مجاورت کانه‌زایی، H: تصویر میکروسکوپی از اکسیدهای آهن همراه با کانی ملاکیت. اپیدوت (Ep)، اکسید آهن (Fe-O)، کلریت (Cl)، کلسیت (Cal)، کوارتز (Qtz) علامت اختصاری از سیوالا و چمایند (Siivola and Schmid, 2007).

Fig. 5: Alteration features observed in hand specimens and thin sections: A: Field view of chloritic alteration adjacent to oxidized alteration. B: Photomicrograph showing replacement of biotite by chlorite. C: Hand specimen displaying epidote alteration accompanied by silicic and chloritic overprints. D: Photomicrograph of epidote crystals. E: Hand specimen of volcaniclastic rock cut by silica and epidote veinlets. F: Photomicrograph of quartz and calcite filling open spaces. G: Hand specimen showing iron oxide accumulations associated with mineralization. H: Photomicrograph of iron oxides associated with malachite. Abbreviations after Siivola and Schmid (2007): Ep = epidote, Fe-O = iron oxides, Cl = chlorite, Cal = calcite, Qtz = quartz.

نوع دگرسانی اغلب هم‌زمان یا هم‌مکان با دگرسانی کربناتی رخ می‌دهد و معمولاً به فازهای انتهایی سامانه‌های گرمایی نسبت داده می‌شود (شکل ۵ E و F). زون‌های اکسید و هیدروکسید آهن، یکی از بارزترین انواع دگرسانی در منطقه است که اغلب به صورت پرکننده درزه‌ها و شکستگی‌ها در واحدهای گزاره‌ای و توفی ظاهر شده و معمولاً در مجاورت رگه‌های کانه‌دار مس قرار دارد (شکل ۵ G و H). گستردگی این دگرسانی نشان‌دهنده‌ی اکسیداسیون ثانویه و تأثیر فرآیندهای سطحی بر سیستم کانه‌زایی است.

کانی‌شناسی، ساخت و بافت

بر اساس مطالعات میکروسکوپی و همچنین نتایج حاصل از آنالیز پراش اشعه ایکس و ریزکاونده الکترونی (جدول ۱)، کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار به ۴ گروه اصلی شامل: (۱) کانی‌های سولفیدی مس و آهن، (۲) کانی‌های کربناته مس، (۳) کانی‌های اکسیدی مس و مس طبیعی، (۴) کانی‌های باطله اکسیدی و هیدروکسیدی آهن و (۵) کانی‌های باطله تقسیم‌بندی می‌شوند. با توجه به مطالعه ساخت و بافت‌های کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار در منطقه، می‌توان به ساخت ساخت رگه‌ای و رگچه‌ای، بافت پرکننده فضاهای خالی، بافت دانه پراکنده و بافت جانشینی اشاره نمود.

این نوع دگرسانی در بخش‌های پیرامونی سامانه‌های گرمایی مشاهده می‌شود و نشان‌دهنده‌ی مهاجرت محلول‌ها در مراحل اولیه کانه‌زایی است. دگرسانی سریسیتی یا فیلیک به صورت محدود گسترش دارد. براساس بررسی‌های پتروگرافی، این دگرسانی با کانی‌های شاخص سریسیت، کوارتز و پیریت به همراه کلریت مشخص می‌گردد. این دگرسانی اغلب با جانشینی فلدسپارها توسط سریسیت یا کلریت و نیز پراکندگی دانه‌های ریز سریسیت در زمینه سنگ همراه است. همراه با افزایش میزان سریسیت، تمرکز قابل توجهی از زون کانه‌زایی سولفیدی از جمله پیریت رخ داده است. کانی‌های کربناتی حاصل از دگرسانی، معمولاً جزء کانی‌های وابسته به دگرسانی پروپیلیتک است ولی فراوانی آن در برخی بخش‌ها به قدری است که ترجیح داده می‌شود به عنوان دگرسانی جداگانه در نظر گرفته شود. دگرسانی کربناتی در امتداد شکستگی‌ها، به صورت توده‌های سفید تا قهوه‌ای کلسیت به شکل پرکننده حفرات و گاهی همراه با ماده معدنی و اکسیدهای آهن ظاهر می‌شود (شکل ۵ F). سریسیت و کربنات حاصل دگرسانی فلدسپات‌ها و گاه کانی‌های مافیک می‌باشند. دگرسانی سیلیسی با گسترش محدود، به صورت رگچه‌های کوارتزی و پرشدگی فضاهای خالی توسط بلورهای ریز تا درشت کوارتز ظاهر می‌شود. این

جدول ۱: نامگذاری کانی‌ها بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی (درصد وزنی) ریزکاونده الکترونی (EPMA).

Table 1: Mineral nomenclature based on electron probe microanalyzer (EPMA) geochemical data (wt.%).

No	Point	Formula	Name	Cu	S	Ag	As	Sb
1	14.1, 15.1, 16.1, 17.1, 19.1	Cu	Native Copper	95-98	<100 ppm	<100 ppm	<100 ppm	<100 ppm
2	11.1	Cu ₂ O	Cuprite	88	9	<100 ppm	<100 ppm	<100 ppm
3	13.1, 12.1	AgSbS ₃	Pyrargyrite		23-24	60-61	<100 ppm	<100 ppm
4	9.1	Ag ₃ AsS ₃	Proustite	11	23	65	<100 ppm	<100 ppm
5	10.1	(Cu,Ag) ₃ (As,Sb)S ₃ - ₄	Tetrahedrite	18	5	17	<100 ppm	<100 ppm

به صورت رگه - رگچه‌ای، جانشینی، پرکننده فضای خالی و دانه پراکنده است. حضور این کانی به صورت دانه پراکنده، پرکننده فضاهای خالی و به همراه پورفیری‌های پلاژیوکلاز در زمینه سنگ مشاهده می‌شوند. کوولیت: در منطقه دره‌تخت، کوولیت به عنوان یک کانی ثانویه، به صورت دانه‌ریز در حاشیه و امتداد شکستگی‌های کانی‌های کالکوپیریت و بورنیت تشکیل شده است. کوولیت در نمونه‌های مورد

(۱) کانی‌های سولفیدی (کالکوسیت، کوولیت، بورنیت، پیریت، کالکوپیریت، پروستیت، پیرارژیریت و تترائدریت) کالکوسیت: کالکوسیت به دو صورت اولیه (بافت پرکننده فضای خالی) و ثانویه (بافت جانشینی به جای کالکوپیریت و بورنیت) بخش مهمی از کانه‌زایی سولفیدی را در مجموعه این کانسار تشکیل می‌دهد (شکل ۶ A). بافت غالب این کانی

۶ H). مس طبیعی: در منطقه دره تخت، مس خالص از فراوانی کمتری برخوردار بوده و به صورت دانه‌ریز و دانه‌پراکنده (انتشاری) به رنگ قرمز مسی دیده می‌شود. این کانی در نتایج آنالیز ریزکاوند الکترونی (جدول ۱) نیز در چند نقطه شناسایی گردید.

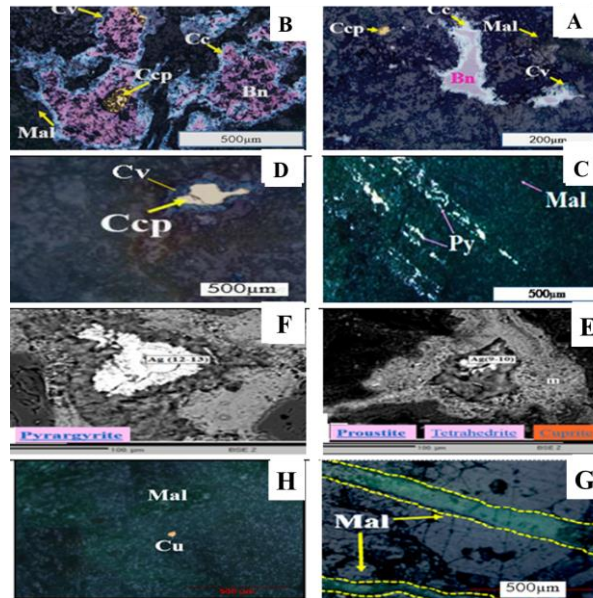
۴) کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن (گوئیت و لیمونیت): گوئیت و لیمونیت عمده‌ترین کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن در کانسار مس دره تخت هستند. این کانی‌ها عمدتاً در بخش‌هایی که مقدار پیریت بیشتر است، وجود دارند. در واقع سیالات جوی و برون‌زاد در واکنش با کانی‌های سولفیدی از قبیل پیریت، کالکوپیریت و ... سبب تشکیل اکسید و هیدروکسیدهای آهن و منگنز در محیط سطحی و اکسیداسیون کانسارهای مس می‌شود که در مواردی با کانه‌های مس‌دار از قبیل مالاکیت، آزوریت، کوپریت، مس خالص، کالکوسیت و کوولیت همراهی می‌شوند. لیمونیت و گوئیت: گوئیت و لیمونیت دو کانی هیدروکسیدی و آبدار آهن هستند که اغلب حاصل تجزیه کانی‌های آهن‌دار از جمله اکسیدهای اولیه (مگنتیت و هماتیت)، پیریت، کالکوپیریت و یا سیلیکات‌های آهن‌دار هستند. گوئیت در منطقه دره تخت به صورت پراکنده و پرکننده فضای خالی در سنگ درونگیر یافت می‌شود.

۵) کانی‌های باطله (کوارتز، کلسیت و ژپس): در منطقه دره تخت، کوارتز، کلسیت و ژپس به عنوان مهم‌ترین کانی‌های باطله کانسار در مقاطع میکروسکوپی و نمونه دستی به صورت رگه و رگچه و پرکننده فضاهای خالی، شکستگی‌ها و پرکننده حفرات مشاهده می‌شود. کوارتز به صورت ریز بلور و درشت بلور با مقدار کمتر از ۱۰ درصد تا ۵۰ درصد متغیر است. این کانی به صورت پراکنده و ریزدانه، حفرات سنگ اولیه را پر کرده است و در بخش‌هایی نیز به صورت رگه - رگچه دیده می‌شود. کلسیت به وفور همراه با کانه‌های مس و مستقل از آن‌ها به صورت پرکننده فضای خالی درزه‌ها و شکستگی‌ها مشاهده می‌شود. بر اساس مطالعات کانه‌نگاری، ساخت و بافت و کانی‌شناسی، مراحل تشکیل و تمرکز کانه‌زایی در منطقه دره تخت را می‌توان در ۲ مرحله درون‌زاد و برون‌زاد در نظر گرفت (جدول ۲).

مطالعه به صورت پرکننده فضای خالی، جانمایی و دانه پراکنده یافت می‌شود (شکل ۶ A و B). بورنیت غالباً همراه با کالکوپیریت و به صورت اولیه تشکیل شده است و در برخی موارد در حاشیه‌ها و امتداد شکستگی‌ها به کانی‌های ثانویه کالکوسیت، کوولیت، گوئیت و مالاکیت تبدیل شده است (شکل ۶ A و B). فراوانی بورنیت در کانسار مس دره تخت، می‌تواند نشان‌دهنده بالا بودن نسبت مس به آهن در محیط تشکیل باشد. پیریت: در بررسی‌های صحرایی وجود پیریت بسیار ناچیز و محدود است. در برخی مقاطع صیقلی بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار پیریت به صورت صلیب مانند، باندهای موازی، دانه‌ریز و دانه‌پراکنده در متن سنگ دیده می‌شود (شکل ۶ C). پیریت به دلیل ناپایداری در شرایط اکسیدان، در اثر هوازدگی و اکسیداسیون به اکسیدهای آهن از جمله هماتیت، گوئیت و لیمونیت تبدیل شده است. کالکوپیریت: کالکوپیریت به عنوان یکی از کانی‌های سولفیدی اولیه مس به صورت شکاف‌پرکن مشاهده می‌شود و در اغلب نمونه‌ها از حاشیه و در امتداد شکستگی‌ها تجزیه شده است و در شرایط احیایی و بدون حضور اکسیژن به کالکوسیت و کوولیت تبدیل شده است (شکل ۶ D). روستیت، پیرارژیریت و تتراندیریت: با استفاده از روش آنالیز نقطه‌ای ریزکاوند الکترونی (جدول ۱) سه کانی پروستیت، پیرارژیریت و تتراندیریت برای اولین بار در این کانسار شناسایی شدند. براساس مطالعات انجام شده، میزان نقره در پروستیت ۶۵ درصد و در پیرارژیریت ۶۰ درصد و تتراندیریت نیز حاوی ۱۷ درصد نقره می‌باشد. (شکل ۶ E و F).

۲) کانی‌های کربناته (مالاکیت، آزوریت): فراوان‌ترین کانی کربناته مس در کانسار دره تخت است و به صورت پرکننده درزه‌ها، شکستگی‌ها، حفرات و فضای بین‌دانه‌ای در سنگ‌های آذرآواری یافت می‌شود. مهم‌ترین بافت‌های تشکیل شده توسط این کانی عبارتند از: پرکننده فضاهای خالی (درزه‌ها، شکستگی‌ها و حفرات)، شعاعی و کلوفرمی (شکل ۶ G).

۳) کانی‌های اکسیدی مس (کوپریت) و مس طبیعی: کوپریت: کوپریت به عنوان یک کانی اکسیدی، در کانسار مس دره تخت بسیار ناچیز است و در یک نمونه آنالیز نقطه‌ای ریزکاوند الکترونی در نقطه (۱/۱) شناسایی گردید (جدول ۱) (شکل



شکل ۶: A و B: تصویر میکروسکوپی از جانشینی کانی بورنیت و کالکوپیریت در حاشیه و امتداد شکستگی‌ها توسط کالکوسیت و کوولیت و کالکوپیریت به صورت دانه پراکنده. C: تصویر میکروسکوپی از کانی پیریت به صورت جهت یافته. D: جانشینی حاشیه‌ای کالکوپیریت توسط کوولیت. E و F: تصاویر پس پراکنش الکترونی (BSE)، کانی‌های پروستیت، پیرارژیریت و تتراهدریت و کوپریت، اعداد روی تصاویر نشانگر نقاط تجزیه شیمیایی است. G: تصویر میکروسکوپی مالاکیت به صورت رگه و رگچه‌ای. H: تصویر میکروسکوپی از مس طبیعی به صورت دانه پراکنده. بورنیت (Bn)، کالکوپیریت (Ccp)، کالکوسیت (Cc)، کوولیت (Cv)، مالاکیت (Mal)، مس طبیعی (Cu). علامت اختصاری از سیوالا و چماید (Siivola and Schmid, 2007).

Fig. 6: A, B: Photomicrographs showing replacement of bornite and chalcopyrite along margins and fractures by chalcocite and covellite, with chalcopyrite also occurring as disseminated grains. C: Photomicrograph of pyrite exhibiting preferred orientation. D: Marginal replacement of chalcopyrite by covellite. E, F: Back-scattered electron (BSE) images of proustite, pyrrargyrite, tetrahedrite, and cuprite; numbers on the images indicate the locations of chemical analyses. G: Photomicrograph of malachite occurring as veins and veinlets. H: Photomicrograph of native copper as disseminated grains. Abbreviations after Siivola and Schmid (2007): Bn = bornite, Ccp = chalcopyrite, Cc = chalcocite, Cv = covellite, Mal = malachite, Cu = native copper.

جدول ۲: توالی پاراژنزی کانی‌ها در کانسار مس دره تخت

Table 2: Paragenetic sequence of minerals in the Dareh-Takht copper deposit.

Mineralization	Processes		Volcanism and early diagenesis	Late diagenesis	Supergene
	Minerals				
Sulphide	Pyrite		-----	-----	
	Chalcopyrite			-----	
	Chalcocite			=====	
	Bornite			-----	
	Covellite				=====
	Pyrrargyrite		-----		
	Proustite		-----		
Carbonate	Azurite				=====
	Malachite				=====
Oxide	Linconite			-----	=====
	Goethite			-----	
Gangue	Quartz		-----		
	Calcite			-----	=====
Texture	Gypsum				-----
	Vein-veinlet			-----	=====
	Disseminated		-----		
	Open space filling			-----	
	Replacement		-----		=====

ژئوشیمی منطقه مورد مطالعه

چگونگی توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در محیط‌های سنگی هر منطقه و تشخیص ارتباط و وابستگی عناصر با یکدیگر در مطالعات ژئوشیمیایی، اهمیت بسزایی در جهت تعیین ویژگی‌های محیط تشکیل و فرآیندهای موثر در تشکیل ذخایر معدنی دارند (Piercey, 2011). بر این اساس با استفاده از نتایج تجزیه عناصر اصلی و عناصر فرعی (جدول ۳ و ۴)، به مطالعه ژئوشیمی کانسار مس دره تخت می‌پردازیم.

تعیین سری ماگمایی: در نمودار تغییرات SiO_2 در برابر $(Na_2O + K_2O)$ (Middlemost, 1994)، سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانسار مس دره تخت دارای ترکیب غالب آندزیت، آندزیت‌بازالتی و تراکی آندزیت هستند (شکل ۷ A). بر اساس نمودار Th در مقابل Co، (Hastie et al, 2007)، سنگ‌های مورد بررسی در قلمرو کالک‌آلکان قرار گرفته‌اند (شکل ۷ B).

تعیین محیط ماگمایی: در این پژوهش برای تعیین محیط تکتونوماگمایی، از نمودارهای نسبت Zr/Y در مقابل Zr (Pearce, 1979)، استفاده شده است؛ به این صورت که نسبت $Zr/Y > 3$ به کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای و نسبت $Zr/Y < 3$ به کمان‌های آتشفشانی اقیانوسی تعلق دارد (شکل ۷ C). نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در گروه کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۷ C)، که احتمالاً در ارتباط با فرورانش ورقه اقیانوسی نئوتتیس زاگرس به زیر ورقه قاره‌ای ایران مرکزی در تریاس بالایی- ژوراسیک زیرین تشکیل شده‌اند (Alavi, 2007). همچنین با توجه به نمودار در نمودارهای مثلی (Th-Hf-Ta-Zr-Nb) (Wood, 1980) (شکل ۷ D)،

نمونه‌ها، در محدوده بازالت‌های کمان قاره‌ای (CAB) قرار می‌گیرند. از آنجایی که نمونه‌ها نزدیک به رأس Th و زیر خط جداکننده $Hf/Th=3$ قرار گرفته‌اند، همه آن‌ها دارای ماهیت کالک‌آلکان هستند.

نمودارهای عنکبوتی

از نمودارهای به‌هنگار شده فراوانی عناصر خاکی نادر و نمودارهای عنکبوتی نسبت به کندریت و گوشته اولیه (Sun and Donough, 1989; Nakamura, 1974)، برای شناخت بهتر ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه استفاده شده است، (شکل ۸ A و B)، بیانگر غنی‌شدگی از عناصر خاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) می‌باشند این امر از ویژگی‌های ماگماهای کالک‌آلکان کمان‌های آتشفشانی زون‌های فرورانش حاشیه قاره‌ای است (Asiabanha et al, 2012). همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود، نمونه‌های مورد مطالعه دارای آنومالی مثبت از Sr و Eu می‌باشند این ویژگی، نقش پلاژیوکلازها و هورنبلندها و اکسیداسیون بالا در طی تکامل ماگمایی را برجسته می‌کند. آنومالی مثبت Eu به سبب تفریق پلاژیوکلازها به دلیل محتوای آب کم و فوگاسیته بالای اکسیژن در ماگمای اولیه می‌باشد (Richards et al, 2012). کاهیدگی شدید Nb همراه با ناهنجاری مثبت Sr شاخص ماگماهای زون فرورانش و افزایش آن اختلاط هرچه بیشتر پوسته قاره‌ای را آشکار می‌کند (Asran, 2012). به طور کلی، غنی‌شدگی از عناصر نادرخاکی سبک را می‌توان به آرایش ماگمایی توسط مواد پوسته‌ای نسبت داد.

جدول ۳: مقادیر درصدی اکسیدهای اصلی بر حسب درصد وزنی (به روش XRF)

Table 3: Major oxide concentrations (wt.%) determined by X-ray fluorescence (XRF).

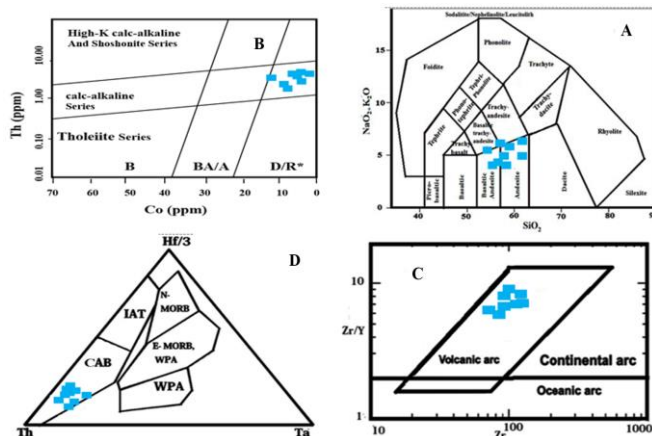
No. sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	LOI
A-1	59.7	17.4	6.8	5.4	1.1	1.8	3.8	0.98	3.02
A-2	48.4	17.5	5.9	2.9	1.01	1.7	3.4	0.9	19.3
A-3	55.9	16.3	9.3	3.5	0.9	1.2	3.9	0.9	7
A-4	56.6	16.7	6.5	4.8	0.8	1.5	4.8	0.96	7.3
A-5	42.1	18.3	5.9	2.3	0.8	1.4	3.5	0.8	24.8
A-6	55.2	17.4	9.7	3.4	0.4	1.1	2.4	0.5	9.7
A-7	48.6	16.4	6.7	3.9	0.4	4.5	5.7	3.9	6.6
A-8	56.5	18.9	6.7	2.2	1.3	3.4	3.5	0.7	6
A-9	57	16.8	7.1	5.4	1.04	1.3	3.2	0.8	7.69
A-10	۵۴/۸	15.3	6.7	4.9	0.9	1.8	2.9	0.97	11.5

جدول ۴: مقادیر عناصر فرعی و کمیاب بر حسب PPM (به روش ICP-OES)

Table 4: Concentrations of trace and rare elements in ppm (determined by ICP-OES)

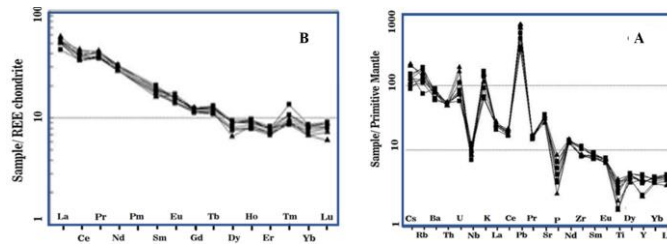
No. sample	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9	A-10
Ag	3.4	1.4	5	7.9	1.4	1.2	2.4	1.5	1.6	1.3
Al	7645	3540	9356	5216	7356	3.77	4313	9585	8276	3650
As	2	2	1	3	3	3	3	1	1	3
Ba	415	528	448	532	598	556	627	541	540	596

Be	2.1	3.2	6.7	4.3	5.2	6.5	2.4	3.4	4.2	7.1
Ca	24000	18300	35500	13100	12000	130000	21000	17200	171000	13000
Cd	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ce	32.7	35.4	30	30.1	34	37.7	29.9	33.5	30.1	32.3
Co	5.3	4.8	4.2	6.6	2.8	2	4.6	8	7.8	2.7
Cr	1	2	1	2	2	1	3	2	1	2
Cu	1073	352	9004	48753	465	10000	2332	1043	1053	475
Dy	3.08	3.15	2.6	2.7	3.2	3.1	2.8	3.1	2.3	3.1
Eu	1.3	1.2	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	1.4
Er	1.8	1.8	1.6	1.5	1.7	1.8	1.6	1.9	1.7	1.8
Fe	3600	7100	9300	8250	3415	3548	12101	13500	13520	8240
Gd	3.4	3.4	3.1	3.2	3.4	3.4	3.2	3.3	3.4	3.3
Ho	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6
K	34626	28248	16866	35200	38100	37502	36620	42100	15668	22884
La	17.2	19	16.6	16.4	17.5	17.3	14.3	17.4	16.8	17.1
Li	14	16	17	16	11	18	12	17	10	13
Mg	13575	11525	27600	24500	2863	2618	2672	16052	4681	3543
Mn	438	783	584	644	348	482	475	581	325	543
Na	40200	47200	43000	40700	51400	38200	41000	39200	42000	40300
Nb	8	7	9	6	8	6	5	7	7	6
Nd	18.8	19.7	17.4	17.4	19.5	19.8	17.9	18.7	17.6	19.1
Ni	27.8	28.8	26	26.9	30.2	27.7	23.9	24.6	24.7	30.1
P	400	800	640	500	620	200	300	320	200	500
Pb	46	56	38	63	57	25	28	27	26	56
S	0.24	0.24	0.14	0.12	0.26	0.18	0.18	0.14	0.14	0.12
Sr	701	707	653	655	645	553	758	706	604	678
Sm	3.7	3.8	3.4	3.5	4.1	3.8	3.6	3.7	3.2	3.9
Th	4.5	4.7	4.3	4.1	4.6	4.7	4.3	4.4	4.2	4.5
Tb	0.6	0.6	0.51	0.51	0.61	0.6	0.54	0.59	0.53	0.56
Ti	3319	3718	4215	1223	2783	4567	3218	4120	2130	1632
Tm	0.45	0.29	0.26	0.26	0.32	0.26	0.27	0.32	0.28	0.26
U	1.73	1.52	2.3	3.43	1.21	3.55	1.63	1.79	2.37	1.53
Yb	1.9	1.9	1.6	1.5	1.8	1.8	1.6	1.9	1.5	1.7
Y	10.4	14.5	9.2	8.7	19	18	15	14	16	19
Zn	120	36	10	13	19	60	49	54	53	18
Zr	129	118	90	96	126	91	89	96	95	116



شکل ۷: موقعیت سنگ‌های دربرگیرنده کانسار مس دره تخت، A: در نمودار SiO_2 در برابر $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (Middlemost, 1994) ترکیبات نمونه‌های سنگی از آندزیت تا آندزیت‌بازالتی متغیر است؛ B: نمودارهای Th در مقابل CO، (Hastie et al, 2007)، تمامی نمونه‌ها در سری ماگمایی کالک‌آلکالین قرار می‌گیرند، C: نمودار تغییرات Zr در برابر Zr/Y (Pearce, 1973) همان‌طور که انتظار می‌رود، محیط تکتونیکی کانسار، مرتبط با قوس‌های (کمان) آتشفشانی قاره‌ای است؛ D: نمایش موقعیت قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در نمودارهای مثلثی (Wood, 1980)، $(\text{Th}-\text{Hf}-\text{Ta}-\text{Zr}-\text{Nb})$ محیط تشکیل با بازالت‌های قاره‌ای مطابقت دارد.

Fig. 7: Location of the host rocks of the Darreh-Takht copper deposit. A: SiO_2 vs. $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ diagram (Middlemost, 1994), showing that the compositions of the rock samples range from andesite to andesitic basalt; B: Th vs. Co diagrams (Hastie et al, 2007), indicating that all samples fall within the calc-alkaline magma series; C: Zr vs. Zr/Y variation diagram (Pearce, 1973), as expected, the tectonic setting of the deposit is related to continental volcanic arcs; D: triangular diagram (Th-Hf-Ta-Zr-Nb) (Wood, 1980), showing that the formation environment corresponds to continental basalts.



شکل ۸: A: نمودارهای عنکبوتی عناصر جزئی و کمیاب به‌هنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and Donough, 1989) و B: نمودارهای عنکبوتی عناصر خاکی کمیاب به‌هنجار شده نسبت به کندریت (Nakamura, 1974).

Fig. 8: A: Spider diagrams of normalized trace and rare elements relative to the primitive mantle (Sun and McDonough, 1989), and B: spider diagrams of rare earth elements normalized to chondrite (Nakamura, 1974).

نقره دارای همبستگی مثبت (۰/۹۷) است. همبستگی بسیار بالای مس با نقره می‌تواند نشان‌دهنده هم منشأ بودن این دو فلز و ارتباط ژئوشیمیایی قوی بین آنها بوده است؛ همچنین می‌تواند به دلیل وجود این عنصر در سولفوسالت‌ها (تتراندريت، پیرازیریت و پروستیت) و کوولیت باشد.

ژئوشیمی کانسار معدنی

برای ارزیابی همبستگی‌های ژئوشیمیایی میان عناصر در سامانه کانه‌زایی از تابع ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده که نتایج محاسبات به صورت ماتریس ضرایب همبستگی در (جدول ۵) ارائه شده است. در بین فلزات پایه؛ مس با عنصر

جدول ۵: ضریب همبستگی پیرسون بین عناصر کمیاب در کانسار مس دره تخت

Table 5: Pearson correlation coefficients between rare elements in the Darreh-Takht copper deposit.

Ag	1								
As	-0.34	1							
Ba	-0.1	0.6	1						
Co	0.2	-0.7	-0.13	1					
Cu	0.97	-0.4	-0.1	0.1	1				
Pb	0.3	0.03	-0.03	-0.2	0.4	1			
Zn	-0.3	0.6	-0.43	0.2	-0.34	-0.4	1		
S	-0.24	0.5	0.3	-0.2	-0.4	0.2	-0.1	1	
	Ag	As	Ba	Co	Cu	Pb	Zn	S	

در قوس‌های آتشفشانی در امتداد حاشیه فعال قاره‌ی تشکیل شده است. مشابه با کانسارهای تیپ مانتو سنگ میزبان کانسار مس دره تخت توالی‌های آتشفشانی - رسوبی می‌باشد. رسوبات تیپ مانتو شیلی، از درجه نسبتاً بالایی از مس برخوردارند (Carrillo-Rosúa et al, 2014). به عنوان مثال؛ میزان عیار مس در مهم‌ترین کانسارهای تیپ مانتو، مانتولانکو در شمال شیلی و السولدادو در مرکز شیلی، از ۰/۸۵ تا ۳/۵ درصد متغیر است (Maksaev, 2002). در کانسار مس دره تخت مقدار بیشینه مس حدود ۴ تا ۵ درصد وزنی می‌باشد. کانه‌زایی در منطقه دره تخت، در افق خاصی از سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی ائوسن بالایی به صورت چینه‌کران رخ داده است و ماده معدنی به شکل به صورت رگه‌ای و رگه - رگچه‌ای و گاهی پرکننده فضاهای خالی در امتداد درزه، شکاف و شکستگی‌های سنگ درونگیر تشکیل شده است. به طور معمول، کانی‌های کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت در گدازه‌های آتشفشانی و سنگ‌های آذرآوری به صورت دانه پراکنده، رگه‌ای و پرکننده حفرات و شکستگی‌ها در کانسارهای تیپ مانتو شیلی رخ می

مقایسه کانسار مس دره تخت با کانسارهای تیپ مانتو در شیلی و ایران

کانسارهای تیپ مانتو بعد از کانسارهای مس پورفیری و کانسارهای Fe- Oxid- Cu-Au و (IOCG)، سومین و مهم‌ترین منبع مس در شیلی محسوب می‌شود. از لحاظ محیط رسوبی؛ ساختارهای قوس قاره‌ای حاوی مهم‌ترین منابع اقتصادی از مناطق تیپ مانتو هستند (Cabral and Beaudoin, 2007). با این حال رخدادهای اصلی آتشفشانی در ائوسن اولیه با فوران‌های انفجاری در حوضه‌های آتشفشانی - رسوبی شروع می‌شود (Guest et al, 2006). به بیان کریلو - روسوا و همکاران (Carrillo-Rosúa et al, 2007)، سنگ‌های آتشفشانی ژوراسیک اغلب میزبان کانسارهای تیپ مانتو می‌باشند (Maksaev, 2002). کانسارهای تیپ مانتو شیلی (ژوراسیک)، اغلب در نزدیکی توده‌های نفوذی نیمه‌آتشفشانی حدوداً غیرمعدنی هستند اما این توده‌ها عمدتاً غیرمعدنی هستند و برخی از آنها ماقبل کانی‌سازی مس هستند (Kojima and Tristán-Aguilera, 2009). کانی‌سازی در کانسار مس دره تخت

آتشفشانی - رسوبی منطقه دره تخت دگرسانی آرژیلیتی، سیلیسی، کلریتی و کربناتی می‌باشند. ویژگی‌های مشخص از جمله تشکیل آن در توالی‌های آتشفشانی - رسوبی، کانی‌سازی چینه کران در سنگ‌های گدازه‌ای آندزیت و آندزیت - بازالتی، کانی‌شناسی کالکوسیت و ویژگی‌های بافتی نشان‌دهنده این است که کانسار مس دره تخت معادل کانسارهای تیپ مانتو می‌باشند. در جدول ۶، کانسار مس دره تخت با کانسارهای مشابه در ایران و جهان مقایسه شده است.

دهند (Kojima and Tristá-Aguilera, 2009). کانی‌های اصلی تشکیل دهنده کانسار مس دره تخت کانی‌های سولفیدی (کالکوسیت، کولیت، بورنیت، کالکوپیریت و پیریت) می‌باشند. دگرسانی‌های این تیپ کانه‌زایی با گسترش کم شامل 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 توالی

جدول ۶: مقایسه کانسار مس دره تخت با کانسارهای شیلی و کانسارهای مشابه در ایران

Table 6: Comparison of the Darreh-Takht copper deposit with Chilean deposits and other similar deposits in Iran.

ویژگی‌های شاخص	کانسار دره تخت	تیپ مانتو شیلی	کانسار عباس آباد	کانسار ورزگ
موقعیت جغرافیایی	لرستان	شیلی	شاهرود	جنوب غرب قاین
محیط تکتونیکی	کمان ماگمایی حاشیه قاره‌ای	حوضه پشت قوسی، جزایر قوسی و قوس قاره‌ای	کافت درون قاره‌ای
سنگ میزبان	گدازه و واحد آذرآواری با ترکیب آندزیت، آندزیت-بازالتی	آندزیت، بازالت، توف آتشفشانی، سیلتستون، ماسه سنگ و کنگلومرا	آندزیت مگاپورفیری و توف برشی	آندزیت تا آندزیت-بازالت آمیگدالوئیدال
کانی‌شناسی	کالکوسیت، بورنیت، کولیت، مالاکیت و آزوریت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت، بورنیت و مس خالص	کالکوسیت، دیژنیت، بورنیت، کولیت و مس طبیعی	کالکوسیت، دیژنیت، کولیت، بورنیت، مس طبیعی و کالکوپیریت
کانی‌های باطله	کربنات، کلریت، هماتیت، ژیبس و کوارتز	کلسیت، کوارتز، اپیدوت، هماتیت، کلریت و زئولیت	کربنات، کلریت، زئولیت و کوارتز	کربنات و سیلیس
دگرسانی	کلریتی، کربناتی، سیلیسی، اکسید آهن و سرسیتی	سیلیسی، سرسیتی، پروپیلی تیک و کربناتی	کربناتی، کلریتی، اپیدوتی و سیلیسی	کربناتی، کلریتی، سیلیسی و زئولیتی
سن واحد میزبان	تریاس	ژوراسیک - کرتاسه پایینی	ائوسن	ترشیری
ساخت و بافت	پرکننده فضاهای خالی، دانه پراکنده، رگه-رگچه ای و جانیشینی	دانه پراکنده، پرکننده فضاهای خالی، رگه‌ای و جانیشینی	پرکننده فضاهای خالی، جانیشینی رگه-رگچه‌ای و دانه پراکنده	رگه-رگچه‌ای، پرکننده بادامک‌ها، پراکنده
شکل هندسی	چینه کران	رگه-رگچه‌ای و چینه کران	چینه کران	چینه کران
منابع	تحقیق حاضر	(Carrillo-Rosúa et al, 2014)	(Salehi and Rasa, 2016)	(Alizadeh et al, 2013)

شرایط تشکیل کانسار مس دره تخت

به منظور ارائه مدل ژنتیکی و نحوه کانی‌سازی در کانسار دره تخت و با توجه به مطالعات صحرائی، میکروسکوپی و ژئوشیمیایی انجام شده و نیز عوامل کنترل‌کننده کانی‌سازی رعایت برخی نکات ضروری می‌باشد: مراحل کانه‌زایی و فرآیندهای تشکیل را با توجه به مدل ای‌ژنتیک دی‌ژنتیکی می‌توان در سه مرحله که شامل موارد زیر می‌باشد بیان کرد:

مرحله اول؛ دیاژنز آغازین (رسوبی - آتشفشانی اولیه): در این مرحله فعالیت‌های آتشفشانی گسترده باعث تولید واحدهای آذرآواری می‌شوند. فعالیت آتشفشانی با تولید جریان گدازه‌ای فراوان ادامه می‌یابد و واحد آذرآواری اولیه را می‌پوشانند. در طی تکامل حوضه، سنگ‌های میزبان آندزیت و پیروکسن آندزیت شکل می‌گیرد. براساس مطالعات کاریلو - روسوا (Carrillo-Rosúa et al, 2014)، گوگرد موجود در کانسارهای تیپ مانتو از دو منشأ مجزا تأمین شده است: الف) گوگرد

شامل توالی‌های آذرآواری با ترکیب آندزیت تا آندزیت بازالتی و به میزان کمتر گدازه‌های آتشفشانی است. این واحدها از نظر جایگاه تکتونیکی به کمان آتش‌فشانی قاره‌ای تعلق دارند و در سری ماگمایی کالک‌آلکان طبقه‌بندی می‌شوند. این کانسار از نوع کانسارهای مانتو شناخته شده است و کانی‌سازی مرتبط با آن بیشتر به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی در شکستگی‌ها ظاهر شده و تحت کنترل شبکه‌ای مترام از گسل‌ها و درزه‌ها است. بافت‌های کانی‌شناسی در کانسار پیشنهاد کننده این است که کانی‌های سولفیدی پس از تشکیل سنگ میزبان در طی دیاژنز ثانویه شکل گرفته‌اند. غنی‌شدگی نقره نیز در ارتباط با افزایش مس می‌باشد که در واقع با حضور کانی‌های حاوی نقره از جمله روستیت، پیرارژیریت و تتراندزیت آشکار گردید. کانسار مس دره تخت در سه مرحله اصلی تشکیل شده است. در مرحله اول، فعالیت‌های گسترده آتشفشانی با خروج گدازه‌های آندزیتی و پیروکسن‌آندزیتی رخ داده و پیریت‌های دانه‌پراکنده سین‌ژنتیک در محیط احیایی شکل گرفته‌اند. در مرحله دوم، با افزایش ضخامت رسوبات و فرونشست حوضه، دیاژنز تدفینی اتفاق افتاده و سیالات غنی از فلزات با آزادسازی مس از کانی‌های آهن-منیزیمی و فلدسپارها، پیریت‌های اولیه را جایگزین سولفیدهای مسی مانند کالکوپیریت و کالکوسیت کرده‌اند. در نهایت، در مرحله سوم، با بالآمدگی منطقه و گسل‌خوردگی، فعالیت هیدروترمال باعث تمرکز مجدد کانه‌زایی سولفیدی و اکسیدی مس در درزه‌ها و فضاهای خالی شده است. بر اساس مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و دگرسانی کانی‌سازی در منطقه دره تخت به صورت اپی‌ژنتیک، چینه‌کران است که به کانسارهای مس تیپ مانتو مشابهت دارند.

سپاسگزاری

از شرکت فرآوری مواد معدنی ایران (ایمیدرو) به سبب حمایت‌های مالی در به سرانجام رساندن این پروژه نهایت تشکر را می‌کنیم.

مشتق شده از ماگما، که ارتباط زمانی و مکانی قوی با فعالیت‌های آتشفشانی و واحدهای آذرآواری دارد و (ب) گوگرد حاصل از احیای باکتری‌های سولفات (Wilson et al, 2003) که طی تنه‌نشست سنگ میزبان و در شرایط احیایی، منجر به تشکیل پیریت دانه پراکنده شد. همچنین تغییرات دیاژنتیکی اولیه از زمان رسوب تا بالآمدگی سنگ‌ها شامل تشکیل هماتیت‌های نازک لایه از تجزیه کانی‌های غنی از آهن (پیروکسن و آمفیبول‌ها) می‌باشند که بیانگر تغییرات شیمیایی آب‌های بین‌روزنه‌ای قبل از ورود سیالات حامل مس است.

مرحله دوم؛ دیاژنز ثانویه (کانه‌زایی اولیه سولفیدی): در طی دیاژنز ثانویه توالی‌های آتشفشانی-رسوبی، سیالات حوضه‌ای مس آزاد شده از کانی‌های آهن-منیزیم‌دار و یا از تبدیل کانی‌های هیدروکسید آهن به اکسیدهای آهن (هماتیت) و نیز مس آزاد شده در شبکه کانی‌های فلدسپار دگرسان شده را حمل کرده‌اند. این سیالات پس از چرخش در واحدهای سنگی بالا آمده و کانی‌های سولفیدی اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت و کالکوسیت به صورت دانه پراکنده و پرکننده فضاهای خالی شکل گرفتند. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که عنصر مس عمدتاً از سنگ‌های میزبان آتشفشانی-رسوبی تأمین شده است.

مرحله سوم؛ بالآمدگی و فعالیت‌های هیدروترمالی (کانه‌زایی ثانویه اکسیدی): در انتهای فرآیند تدفین و با آغاز بالآمدگی منطقه و گسل‌خوردگی، تمرکز دوباره کانی‌زایی سولفیدی و اکسیدی مس در امتداد گسل‌ها، درزه‌ها، شکاف‌ها و فضاهای خالی واحدهای آذرآواری آغاز می‌شود. منشاء سیالات گرمایی در این مرحله احتمالاً ترکیبی از آب‌های جوی و آب‌های ماگمایی است. فاز کانی‌زایی اکسیدی و کربناته شامل مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن به صورت رگه‌ها و رگچه‌هایی پرکننده فضاهای خالی در واحدهای آذرآواری شکل گرفته است.

نتیجه‌گیری

کانسار مس دره تخت در حاشیه شمالی پهنه ساختاری سنندج - سیرجان واقع شده است. سنگ میزبان کانی‌سازی

پانویس

References

- Abolipour, M., Rastad, E. and Rashidnejad, N., 2015. Manto-type copper mineralization in pyrobitumen-bearing porphyritic andesite, Kashkouieh district of Rafsanjan, Dehaj-Sardoiey subzone, Scientific Quarterly Journal, Geosciences, p. 123-144.
- Adelpour, M., Rasa, E., Masoudi, F. and Hosseini, M., 2016. Petrology, geochemistry, mineralization, and tectono-magmatic setting of Garmab. Qayen. J. Earth Sci. Res. v. 24, p. 58-77.
- Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. American Journal of science, v. 307(9), p. 1064-1095.
- 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.
- Asiabanha, A., Bardintzeff, J.M., Kananian, A. and Rahimi, G., 2012. Post-Eocene volcanics of the Abazar district, Qazvin, Iran: Mineralogical and geochemical evidence for a complex magmatic evolution. Journal of Asian Earth Sciences, v. 45, p. 79-94.
- Asran, M., Ezzat, M. and Rahman, A., 2012. The Pan-African calc-alkaline granitoids and the associated mafic microgranular enclaves (MME) around Wadi Abu Zawal area, North Eastern Desert, Egypt: geology, geochemistry and petrogenesis. Journal of Biology and Earth Sciences, v. 2(1), p. 1-16.
- Baghbanan, O., Rad, A.J., Sheikhzakariaee, S.J. and Nezafati, N., 2022. Geology, geochemistry, and genesis of Gheshlagh Cu deposit, Tarom-Hashtjin zone, Zanjan, northwestern Iran. Arabian Journal of Geosciences, v. 15(1), p. 44-61.
- Beane, R.E., 1982. Hydrothermal alteration in silicate rocks. Advances in geology of the porphyry copper deposits, southwestern North America, p. 117-137.
- Boveiri 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, v. 190, p. 107-121.
- Boveiri Konari, M.B., Rastad, E., Omran, N.R. and Kojima, S., 2011. Volcanic redbed-type copper mineralization in the Keshtmahaki, Southern Sanandaj-Sirjan Zone, and southeastern Iran.
- Cabral, A.R. and Beaudoin, G., 2007. Volcanic red-bed copper mineralisation related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada. Mineralium Deposita, v. 42(8), p. 901-912.
- Campus, F., 1980. Distroto Minero Punta del cobre, modelo interpretative. Revista Geologica de 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.
- Ebrahimi, S., Arab-Amiri, A. and Kamkar-Rouhani, A., 2019. Geological and Geophysical Studies of Sulfide Copper Mineralization in the Dochileh Area: An Example of Manto-Type Deposit in the Sabzevar Zone, Iran. Resource Geology, v. 70(2), p. 125-140.
- Eftekharnjad, J., 1981. Tectonic division of Iran with respect to sedimentary basins. J. Iran. Petroleum Soc., v. 82, p. 19-28.
- Ghorbani, M., 2007. Economic Geology, Mining and Natural Resources of Iran, Iran Zamin Publications.
- Goodarzi, A., 2002. Geological Map of Dorud, scale 1:100,000", National Oil Company.
- Guest, B., Axen, G.J., Lam, P.S. and Hassanzadeh, J., 2006. Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation. Geosphere, v. 2(1), p. 35-52.
- Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A. and Mitchell, S.F., 2007. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram. Journal of petrology, v. 48(12), p. 2341-2357.
- Jiba, Z., Ghaderi, M. and Maghfouri, S., 2021. Geology, mineralogy and fluid inclusion studies of the Yamaghan Manto-type Cu (Ag) deposit, southeast Zanjan, NW Iran. Advanced Applied Geology, v. 11(3), p. 594-615.
- 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, p. 107-121.
- Maghfouri, S. and Movahednia, M., 2015. Investigation of geology and mineralization of Abbas Abad copper deposit and camper with manto-type deposit. In 18th Symposium on Iranian Geosciences. Tarbiat Modares University, Iran (in Persian with English abstract).

- Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M.R., Moayyed, M., Movahednia, M. and Choulet, F., 2017. Geology, mineralization and sulfur isotopes geochemistry of the Mari Cu (Ag) Manto-type deposit, northern Zanjan, Iran. *Ore Geology Reviews*, v. 81, p. 10-22.
- Maghfouri, S., Rastad, E., Borg, G., Hosseinzadeh, M.R., Movahednia, M., Mahdavi, A. and Mousivand, F., 2020. Metallogeny and temporal-spatial distribution of sediment-hosted stratabound copper (SSC-type) deposits in Iran; implications for future exploration. *Ore Geology Reviews*, v. 127, p. 103834.
- Maksaev, V., 2002. Chilean strata-bound Cu-(Ag) deposits: An overview. *Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits: a global perspectives*, v. 2, p. 185-205.
- Middlemost, E.A., 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-science reviews*, v. 37(3-4), p. 215-224.
- Mohajjel, M. and Fergusson, C.L., 2014. Jurassic to Cenozoic tectonics of the Zagros Orogen in northwestern Iran. *International Geology Review*, v. 56(3), p. 263-287.
- Movahednia, M., Maghfouri, S., Fazli, N., Rastad, E., Ghaderi, M. and Gonzalez, F.J., 2022. Metallogeny of Manto-type stratabound Cu-(Ag) mineralization in Iran: Relationship with Neotethyan evolution and implications for future exploration. *Ore Geology Reviews*, v. 149, p. 105064.
- Nakamura, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et cosmochimica acta*, v. 38(5), p. 757-775.
- Oliveros, V., Féraud, G., Aguirre, L., Ramírez, L., Fornari, M., Palacios, C. and Parada, M., 2008. Detailed $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of geologic events associated with the Mantos Blancos copper deposit, northern Chile. *Mineralium Deposita*, v. 43(3), p. 281-293.
- Pearce, J.A. and Norry, M.J., 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to mineralogy and petrology*, v. 69(1), p. 33-47.
- Piercey, S.J., 2011. The setting, style, and role of magmatism in the formation of volcanogenic massive sulfide deposits. *Mineralium Deposita*, v. 46(5-6), p. 449-471.
- Richards, J.P., Spell, T., Rameh, E., Raziq, A. and Fletcher, T., 2012. High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu±Mo±Au potential: Examples from the Tethyan arcs of central and eastern Iran and western Pakistan. *Economic Geology*, v. 107(2), p. 295-332.
- 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.
- Sarkarnejad, K. and Azizi, A., 2008. Slip partitioning and inclined dextral transpression along the Zagros Thrust System, Iran. *Journal of Structural Geology*, v. 30(1), p. 116-136.
- Shen, P., Pan, H., Li, Z., Sun, J., Shen, Y., Li, C., Feng, H. and Cao, C., 2020. A Manto-type Cu deposit in the central Asian Orogenic belt: The Hongguleleng example (Xinjiang, China). *Ore Geology Reviews*, v. 124, p. 103656.
- Siivola, J. and Schmid, R., 2007. Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks: List of mineral abbreviations. Web version 01.02. 07. IUGS Comm. Syst. Petrol.
- Soheili, M., Jafarian, M. and Abdollahi, M., 1992. Geological Map of Aligudarz, scale 1:100,000", Geological Survey of Iran.
- Soltani, A. and Fardoost, F., 2021. Mineralogy, geochemistry and conditions of formation of The Abri and Rahbari Copper deposit Abri and Rahbari area, NW of Daroneh. *Researches in Earth Sciences*.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, v. 42(1), p. 313-345.
- 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.
- Wilson, N.S.F. and Zentilli, M., 1999. The role of organic matter in the genesis of the El Soldado volcanic-hosted manto-type Cu deposit, Chile. *Econ. Geol.*, v. 94, p. 1115-1136.
- Wood, D.A., 1980. The application of a ThHfTa 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.
- Zhao, L., Han, J., Lu, W., Liang, P. and Jourdan, F., 2020. The Middle Permian Hongshanliang manto-type copper deposit in the East Tianshan: constraints from geology, geochronology, fluid inclusions and H-O-S isotopes. *Ore Geology Reviews*, v. 124, p. 103601.