



Manto-type volcanic-hosted stratabound Cu mineralization in the Qamishlou occurrence (SW Zanjan): Evidence from geology, mineralization, and geochemistry

Soheila Rashidi¹, Hossein Kouhestani^{2*} and Mir Ali Asghar Mokhtari³

1- M.Sc. in Economic Geology, Dept. of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2, 3- Assoc. Prof., Dept. of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

ARTICLE INFO

Article type:

Original Research

Article history:

Received: 2025 March 17

Accepted: 2025 June 21

Keywords:

Cu mineralization

Diagenesis

Stratabound

Manto-type

Qamishlou

ABSTRACT

The Qamishlou Cu occurrence is located 150 km southwest of Zanjan, and is part of the Central Iran zone. Mineralization occurs as a stratabound zone hosted in the top part of the lower Cretaceous basalt-andesitic basalt lava. The ore zone has an NW-SE trend with 70-80° to the southwest and is 200 m long, and 1.5 m thick. Hydrothermal alteration related to mineralization includes chlorite-carbonate alteration. Propylitic and zeolitic alteration, and silica-calcite alteration, respectively, are related to pre- and post-mineralization processes. Primary chalcocite and bornite accompanied by minor pyrite, and chalcopyrite, are ore minerals; calcite and chlorite along with rare quartz, and zeolite are gangue minerals. Secondary chalcocite, covellite, malachite, cuprite, and neotocite are supergene minerals. The ore minerals show disseminated, vein-veinlet, vug infill, replacement, and framboidal textures. Mineralization at Qamishlou can be divided into four stages include pre-ore stage, syn-ore stage, post-ore stage, and supergene. Pre-ore stage is related to the diagenesis and burial metamorphism processes in which disseminated framboidal pyrites, and zeolite (as filling the amygdalae) are formed within host basalt-andesitic basalt lavas. Syn-ore stage is divided in two substages. Early-ore stage is characterized by primary chalcocite, and bornite with disseminated, vug infill, and framboidal (pseudomorph of the framboidal pyrite) textures, and primary chalcocite veinlets. Late-ore stage includes minor pyrite- and chalcopyrite-bearing calcite vein-veinlets. Post-ore stage is marked by barren late calcite, and quartz vein-veinlets. Supergene stage is characterized by weathering and formation of secondary minerals. Geochemical investigations of ore samples show strong positive correlation between Cu and sulfur (0.93), and weak negative correlation between Ag and sulfur (-0.27). Features of the Qamishlou Cu occurrence are comparable with the Manto-type (Buena Esperanza subtype) deposits.

DOI: <https://doi.org/10.22084/NFAG.2025.30686.1664>

Corresponding author: Hossein Kouhestani, E-mail: kouhestani@znu.ac.ir

Cite this article: Soheila Rashidi, Hossein Kouhestani and Mir Ali Asghar Mokhtari (2026). Manto-type volcanic-hosted stratabound Cu mineralization in the Qamishlou occurrence (SW Zanjan): Evidence from geology, mineralization, and geochemistry, New Findings of Applied Geology, Vol. 20, No. 39, pp: 236-257.



Journal of New Findings of Applied Geology by Bu-Ali Sina University Press is licensed under CC BY-NC 4.0

Web Site: <https://nfag.basu.ac.ir> E-mail: nfag@basu.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Copper mineralization associated with Tertiary magmatism in Iran includes porphyry Cu (Mo) deposits, Cu skarns, and vein-type (epithermal) Cu (Pb and Zn) mineralization, which are mainly located in the Urumieh-Dokhtar magmatic arc, the Western Alborz-Azerbaijan zone, the Tarom-Hashtjin subzone, and the Torud-Chahshirin zone (McInnes et al., 2003; Mirnejad et al., 2013; Simmonds et al., 2017; Kouhestani et al., 2017, 2018; Yasami and Ghaderi, 2019; Aliyari et al., 2020; Shafiei et al., 2022). Exploration and research studies conducted in the past decade resulted in exploration and introduction of a new type of Cu mineralization hosted by volcanic and volcano-sedimentary rocks in Iran. These stratabound mineralization, which have been named Manto-type Cu or volcanic red layer (Movahednia et al., 2022), are located in the Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Sanandaj-Sirjan zone, Tarom-Hashtjin subzone of the Alborz magmatic belt, Sabzevar subzone, and Lut block, and have volcanic and volcano-sedimentary host rocks (Movahednia et al., 2022). The Qamishlou Cu occurrence (with coordinates 36°8'10" E and 48°19'48" N) is located 150 km southwest of Zanjan, and is part of the Central Iran Zone. This occurrence has a reserve of about 30,000 tons of Cu with an average grade of 1 wt.%, and was first discovered by a private company in 2016 (unpublished data). Despite new mining activities in the Qamishlou area, no detailed studies have been conducted on the geology, mineralogy, and genesis of the Qamishlou Cu occurrence. This paper investigates the detailed geology, mineralogy, structure and texture, alteration types, and geochemical characteristics of the Qamishlou Cu occurrence to constrain its ore genesis and mineralization evolution. The results could be valuable for further regional exploration of similar mineralization in this area and other parts of the Central Iran zone.

Materials and Methods

This research consists of two parts: field and laboratory studies. During the fieldwork, the geological map, scale 1:20,000, of the area was prepared and the location, extension, slope and thickness of the ore zone and its relationship with the host rocks were

determined. Then, 5 thin sections, 3 polished sections and 12 thin-polished sections were prepared and examined for petrography, mineralogy, and ore texture using a transmitted and reflected polarized light microscope in the laboratory of the University of Zanjan, Zanjan, Iran. The chemical composition of ore samples ($n = 15$), and fresh host basalt-andesitic basalt lava ($n = 1$) was analyzed at the Zarazma Analytical Laboratories, Tehran, Iran using the ICP-OES method.

Results and Discussion

The rock units exposed in the Qamishlou area belong to the lower Cretaceous, Eocene, Oligocene, and Oligo-Miocene rock strata. These strata from the bottom to the top include: 1- alternation of medium- to thin-bedded sandstone and shale with minor basalt (Unit K^{ssh}), 2- dark grey to brown basalt and andesitic basalt (Unit K^{ba}), 3- dark green thin-bedded shale and phyllitic shale (Unit K^{sh}), 4- alternation of sandstone and conglomerate (Unit E^f), 5- thin- to medium-bedded biosparite-bearing nummulite limestone (Unit E_z^l), 6- dark grey basalt with some basic tuff (Unit E^{vb}), 7- red to brown thin- to medium-bedded conglomerate with sandstone interlayers (Unit Ol^c), and 8- green medium- to thick-bedded sandstone, shale, conglomerate, and limestone (Unit OM_q^{ssh}). Mineralization at Qamishlou occurs as a stratabound zone hosted in the top part of the lower Cretaceous basalt-andesitic basalt lava. The ore zone has an NW-SE trend with 70-80° to the southwest and is 200 m long, and 1.5 m thick. Hydrothermal alteration related to mineralization includes chlorite-carbonate alteration. Propylitic and zeolitic alteration, and silica-calcite alteration, respectively, are related to pre- and post-mineralization processes. Primary chalcocite and bornite accompanied by minor pyrite, and chalcopyrite, are ore minerals; calcite and chlorite along with rare quartz, and zeolite are gangue minerals. Secondary chalcocite, covellite, malachite, cuprite, and neotocite are supergene minerals. The ore minerals show disseminated, vein-veinlet, vug infill, replacement, and framboidal textures. Mineralization at Qamishlou can be divided into four stages include pre-ore stage, syn-ore stage, post-ore stage, and supergene. Pre-ore stage is related to the diagenesis and burial

metamorphism processes in which disseminated framboidal pyrites, and zeolite (as filling the amygdalae) are formed within host basalt-andesitic basalt lavas. This stage is accompanied by pervasive propylitic, and zeolitic alteration. Syn-ore stage is characterized by chlorite-carbonate alteration, and is divided in two substages. Early-ore stage is characterized by primary chalcocite, and bornite with disseminated, vug infill, and framboidal (pseudomorph of the framboidal pyrite) textures, and primary chalcocite veinlets. Late-ore stage includes minor pyrite- and chalcopyrite-bearing calcite vein-veinlets. Post-ore stage is a barren and related to the final hydrothermal activities in the Qamishlou Cu occurrence. This stage is marked by late calcite, and quartz vein-veinlets with no sulfide and oxide minerals. In the supergene stage, secondary chalcocite, covellite, malachite, cuprite, and neotocite were formed with vug infill, vein-veinlets and replacement textures. Geochemical investigations of ore samples show strong positive correlation between Cu and sulfur (0.93), and weak negative correlation between Ag and sulfur (-0.27).

Conclusions

Copper mineralization at Qamishlou occurs as stratabound within lower Cretaceous basalt-andesitic basalt lavas with disseminated, vein-veinlet, vug infill, replacement, and framboidal textures. Ore and gangue minerals at Qamishlou occurrence include primary chalcocite and bornite, minor pyrite and chalcopyrite, secondary chalcocite, covellite, malachite, cuprite, neotocite, calcite, chlorite, and minor quartz and zeolite. The copper grade of ore samples varies between 0.2 and 1.7 wt.%. A comparison of the main characteristics of the Qamishlou occurrence with different types of Cu deposits reveals that the geology, alteration, mineralization, mineralogy, and texture of Qamishlou are similar to the Manto-type (Buena Esperanza subtype) volcanic-hosted stratabound Cu deposits.



کانه‌زایی مس چینه‌کران تیپ مانتو با سنگ میزبان آتشفشانی در رخدادهای معدنی قمیشلو (جنوب‌باختر زنجان): شواهد زمین‌شناسی، کان‌زایی و زمین‌شیمیایی

سهیلا رشیدی^۱، حسین کوهستانی^{۲*} و میر علی اصغر مختاری^۳

۱- کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲ و ۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۳۱ کلیدواژه‌ها: کانه‌زایی مس دیاژنز چینه‌کران نوع مانتو قمیشلو	رخدادهای معدنی مس قمیشلو در فاصله ۱۵۰ کیلومتری جنوب‌باختر زنجان قرار دارد و بخشی از پهنه ایران مرکزی به‌شمار می‌رود. کان‌زایی به‌صورت چینه‌کران درون بخش فوقانی گدازه‌های بازالتی-بازالت‌آندزیتی کرتاسه پایینی رخ داده است. پهنه کان‌دار دارای روند شمال‌باختری-جنوب‌خاوری با شیب حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه به سمت جنوب‌باختر بوده و حدود ۲۰۰ متر درازا و ۱/۵ متر پهنا دارد. دگرسانی گرمایی مرتبط با کان‌زایی شامل کلریتی-کربناتی است. دگرسانی‌های پروپلیتیک و زئولیتی و سیلیسی-کلسیتی به‌ترتیب، مربوط به فرایندهای قبل و بعد از کان‌زایی می‌باشند. کالکوسیت اولیه و بورنیت همراه با اندکی پیریت و کالکوپیریت، مواد معدنی و کلسیت و کلریت همراه با مقادیر اندکی کوارتز و زئولیت، مواد باطله می‌باشند. کالکوسیت ثانویه، کوولیت، مالاکیت، کوپریت و نتوتوسیت کانی‌های برون‌زاد هستند. انواع بافت کانسنگ شامل دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پُرکننده فضای خالی، جانشینی و فرامبوئیدال است. کان‌زایی در قمیشلو به چهار مرحله قبل از کان‌زایی، همزمان با کان‌زایی، بعد از کان‌زایی و برون‌زاد قابل تفکیک است. مرحله قبل از کان‌زایی شامل فرایندهای دیاژنز و دگرگونی تدفینی بوده و طی آن پیریت‌های فرامبوئیدال با بافت دانه‌پراکنده و زئولیت (پرکننده حفرات بادامکی) درون گدازه‌های میزبان تشکیل شده‌اند. مرحله همزمان با کان‌زایی شامل دو زیرمرحله است. مرحله اولیه کان‌زایی با حضور کالکوسیت اولیه و بورنیت با بافت‌های دانه‌پراکنده، پرکننده حفرات و فرامبوئیدال (جانشین شده در قالب پیریت‌های فرامبوئیدال) و رگه-رگچه‌های کالکوسیت اولیه مشخص می‌شود. مرحله تأخیری کان‌زایی شامل رگه-رگچه‌های کلسیتی حاوی پیریت و کالکوپیریت با فراوانی کم می‌باشد. مرحله بعد از کان‌زایی با حضور رگه-رگچه‌های کلسیتی و کوارتزی تأخیری عقیم شناخته می‌شود. مرحله برون‌زاد با هوازدگی و تشکیل کانی‌های ثانویه همراه است. بررسی‌های زمین‌شیمی نمونه‌های کان‌دار بیانگر همبستگی مثبت قوی مس با گوگرد (۰/۹۳) و همبستگی منفی ضعیف نقره با گوگرد (۰/۲۷-) است. ویژگی‌های رخداد معدنی مس قمیشلو با کانسارهای نوع مانتو (زیررده بوئن اسپرانزا) قابل مقایسه است.

DOI: <https://doi.org/10.22084/NFAG.2025.30686.1664>

* نویسنده مسئول: حسین کوهستانی، kouhestani@znu.ac.ir

استاد: سهیلا رشیدی، حسین کوهستانی و میر علی اصغر مختاری (۱۴۰۵). کان‌زایی مس چینه‌کران تیپ مانتو با سنگ میزبان آتشفشانی در رخدادهای معدنی قمیشلو (جنوب‌باختر زنجان): شواهد زمین‌شناسی، کان‌زایی و زمین‌شیمیایی، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۲۰، شماره ۳۹، صفحه ۲۳۶ تا ۲۵۷.

این نشریه علمی رایگان است و حق مالکیت فکری خود را براساس لایسنس کرییتیو کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است.



آدرس وبسایت نشریه: <https://nfag.basu.ac.ir> ایمیل نشریه: nfag@basu.ac.ir

۱- پیشگفتار

کانه‌زایی مس مرتبط با ماگماتیسم ترشیری در ایران شامل ذخایر مس (مولیبدن) پورفیری، اسکارن‌های مس و کانه‌زایی‌های مس (سرب و روی) تیپ رگه‌ای (اپی‌ترمال) است که عمدتاً در کمان ماگمایی ارومیه- دختر (مکاینز و همکاران، ۲۰۰۳؛ زراسوندی و همکاران، ۲۰۰۵؛ تقی‌پور و همکاران، ۲۰۰۸؛ آیتی و همکاران، ۲۰۱۳؛ میرنژاد و همکاران، ۲۰۱۳؛ علیرضایی و همکاران، ۲۰۱۷؛ محمد دوست و همکاران، ۲۰۱۷، ۲۰۲۳؛ گلستانی و همکاران، ۲۰۱۸؛ علی‌یاری و همکاران، ۲۰۲۰؛ شفیعی و همکاران، ۲۰۲۲)، پهنه البرز باختری-آذربایجان (مقصودی و همکاران، ۲۰۱۴؛ آقازاده و همکاران، ۲۰۱۵؛ عادل و همکاران، ۲۰۱۵؛ سیمونز و همکاران، ۲۰۱۷)، زیرپهنه طارم- هشتجین (مختاری و همکاران، ۱۳۹۵؛ ندولو و همکاران، ۱۴۰۰؛ محمدی و همکاران، ۱۴۰۱؛ کوهستانی و همکاران، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸؛ یاسمی و همکاران، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸؛ یاسمی و قادری، ۲۰۱۹) و پهنه طرود-چاه شیرین (اصغری و فردوست، ۱۳۹۹؛ مهابادی و فردوست، ۱۳۹۹؛ مهدوی آکردی و همکاران، ۱۳۹۹؛ خلج و همکاران، ۱۴۰۰؛ اسکندری و همکاران، ۱۴۰۳، ۱۴۰۴) قرار دارند. مطالعات اکتشافی و پژوهشی انجام‌شده در دهه گذشته، منجر به شناسایی و معرفی نوع جدیدی از کانه‌زایی‌های مس درون سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی در ایران شده است. این کانه‌زایی‌های چینه‌کران که تحت عنوان مس نوع مانتو یا لایه قرمز آتشفشانی نام‌گذاری شده‌اند (موحدنیا و همکاران، ۲۰۲۲)، در کمان ماگمایی ارومیه- دختر، پهنه سنج-سیرجان، زیرپهنه طارم-هشتجین از کمربند ماگمایی البرز، زیرپهنه سبزوار و بلوک لوت قرار داشته و دارای سنگ میزبان‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی هستند (موحدنیا و همکاران، ۲۰۲۲).

رخداد معدنی مس قمیشلو (با مختصات $36^{\circ} 8' 10''$ طول خاوری و $48^{\circ} 19' 48''$ عرض شمالی) در فاصله ۱۵۰ کیلومتری جنوب‌باختر زنجان واقع شده و بخشی از پهنه ایران مرکزی است. این رخداد معدنی با ذخیره‌ای حدود ۳۰،۰۰۰ تن مس با عیار میانگین ۱ درصد وزنی، نخستین بار در سال ۱۳۹۵ توسط شرکت ایما توسعه اقتصاد شناسایی و کشف گردید. با این وجود، تاکنون پژوهش علمی دقیقی بر روی آن انجام نشده است. در پژوهش حاضر، ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی، ساخت-بافت و

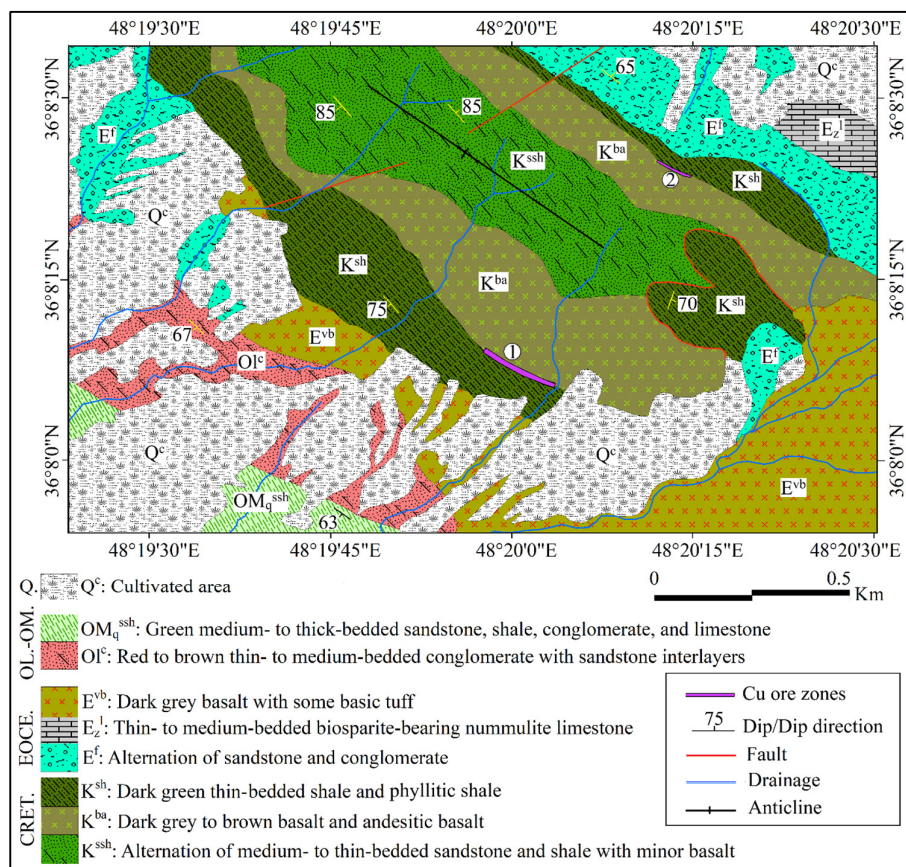
زمین‌شیمیایی در رخداد معدنی مس قمیشلو مورد بررسی قرار گرفته و نوع کانه‌زایی آن تعیین شده است. مطالعه دقیق این نوع کانه‌زایی‌ها می‌تواند عوامل کلیدی توزیع زمانی و مکانی برای اکتشاف کانه‌زایی‌های مشابه را معرفی کرده و به‌عنوان الگوی اکتشافی در این بخش از پهنه ایران مرکزی مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش شامل دو بخش مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی می‌باشد. در مطالعات صحرایی، نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۰۰۰ منطقه، تهیه و موقعیت، امتداد، شیب و ضخامت پهنه کانه‌دار و ارتباط آن با سنگ میزبان مشخص شد. سپس، تعداد ۵ مقطع نازک، ۳ مقطع صیقلی و ۱۲ مقطع نازک- صیقلی برای مطالعات سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری و ساخت و بافت، تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. در مرحله بعد، تعداد ۱۵ نمونه از بخش‌های کانه‌دار و یک نمونه از گدازه‌های میزبان برای تعیین میزان عناصر فرعی و کمیاب به آزمایشگاه شرکت زرآرما در زنجان ارسال و به روش ICP-OES تجزیه شد. برای این منظور، ابتدا نمونه‌ها توسط خردکننده فولادی تا ابعاد حدود ۵ مش (۴ میلی‌متر) خردایش شده و سپس توسط آسیاب آگات به مدت ۲ دقیقه تا ابعاد حدود ۲۰۰ مش (۷۴ میکرون) پودر و میزان ۵۰ گرم از پودر نمونه‌ها برای آنالیز انتخاب شد. برای تعیین میزان عناصر کمیاب و کمیاب خاکی، حدود ۰/۲ گرم از هر نمونه به روش چند اسید و با استفاده از ماکروویو هضم گردید. میزان دقت برای عناصر کمیاب و کمیاب خاکی بین ۰/۱ تا ۱ گرم در تن بوده است. برای تعیین میزان فلزات پایه، به‌صورت جداگانه حدود ۰/۵ گرم از هر نمونه در تیزاب سلطانی داغ (۹۵ درجه سانتی‌گراد) حل و آنالیز گردید.

۳- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه قمیشلو

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ حلب (شهیدی و بهارفیروزی، ۱۳۸۰) و براساس مطالعات صحرایی انجام‌شده در راستای تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰ منطقه قمیشلو (شکل ۱)، واحدهای سنگی موجود در این منطقه متعلق به توالی‌های سنگی کرتاسه پایینی، اتوسن، الیگوسن و الیگومیوسن می‌باشند. زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی این واحدها به شرح زیر است.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی رخداد معدنی مس قمیشلو. موقعیت پهنه‌های کانه‌زایی مس با شماره (۱: قمیشلو، ۲: چوخوربورد) مشخص شده است.

Fig. 1. Geological map of the Qamishlou Cu occurrence. Location of Cu ore zones is marked with numbers (1: Qamishlou, 2: Chokhor Yourd).

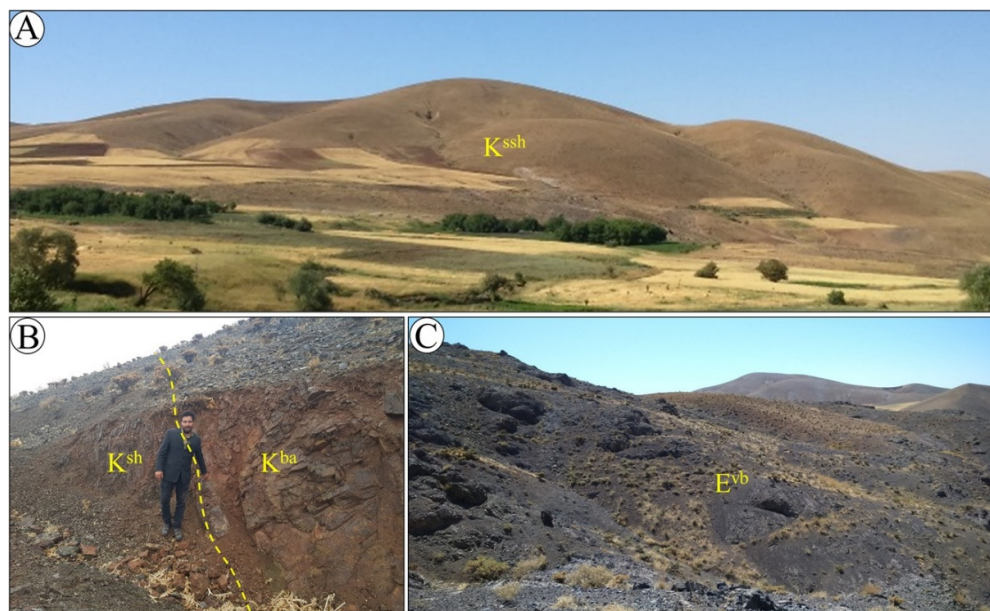
و گاه میان‌لایه‌های محدود از شیل در بین آن‌ها دیده می‌شود. از دیدگاه کانه‌زایی، سنگ‌های واحد K^{ba} مهم‌ترین واحد سنگی منطقه به شمار می‌روند؛ زیرا در مرز تماس آن با واحد شیلی K^{sh} ، کانه‌زایی مس منطقه تشکیل شده است. گدازه‌های این واحد در نمونه دستی به رنگ خاکستری تیره و با بافت دانه‌ریز تا پورفیری قابل مشاهده هستند. در مقیاس میکروسکوپی، این سنگ‌ها دارای بافت اینترگرانولار هستند (شکل ۳-۱). پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی سازنده این سنگ‌ها بوده و بیشتر به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار باریک و کشیده در ابعاد طولی تا ۱/۲ میلی‌متر قابل مشاهده می‌باشند (شکل ۳-۱). بلورهای پلاژیوکلاز گاه دارای منطقه‌بندی هستند. پیروکسن‌ها به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در ابعاد کمتر از ۰/۵ میلی‌متر در بین بلورهای پلاژیوکلاز مشاهده شده و بافت اینترگرانولار را ایجاد کرده‌اند. بخش عمده بلورهای پیروکسن به کلریت و گاه کلسیت دگرسان شده‌اند (شکل ۳-۱ و ۳-۲). گاه بقایای

واحد K^{ssh} متشکل از تناوب شیل و ماسه‌سنگ‌های خاکستری نازک تا متوسط‌لایه، همراه با مقداری میان‌لایه‌های گدازه بازالتی است که در بخش‌های مرکزی تا شمالی منطقه قمیشلو رخنمون دارند (شکل ۲-۱). این واحد سنگی، دربرگیرنده ارتفاعات شمالی و مرتفع‌ترین بخش منطقه است. روند عمومی لایه‌بندی این واحد، شمال‌باختر- جنوب‌خاور (N125E) با شیب به سمت شمال‌خاور و جنوب‌باختر می‌باشد. این واحد سنگی، هسته طاق‌دیس موجود در منطقه را تشکیل می‌دهد. واحد K^{ssh} به سمت بالا، به صورت هم‌شیب به گدازه‌های بازالتی و بازالت آندزیتی (واحد K^{ba}) تبدیل می‌شود.

واحد K^{ba} دربرگیرنده گدازه‌های بازالتی تا بازالت‌آندزیتی با رنگ خاکستری تیره تا سبز تیره است. این واحد به صورت هم‌شیب بر روی واحد سنگی K^{ssh} قرار گرفته و خود به صورت هم‌شیب توسط واحد K^{sh} پوشیده می‌شود (شکل ۲-۲). گدازه‌های یادشده با لایه‌بندی ضخیم تا توده‌ای بوده

درصد در سنگ مشاهده می‌شوند. کانی‌های کدر گاهی همراهی نزدیکی با تجمعات کلریتی نشان می‌دهند. کلسیت به‌صورت تجمعات بی‌شکل ثانویه در ابعاد تا ۱/۵ میلی‌متر قابل مشاهده است. کلسیت همچنین به‌صورت رگچه‌های متعدد نیز در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۳-D) که بعضاً تجمعات کلریتی را قطع کرده‌اند. رگچه‌های کوارتزی نیز این سنگ‌ها را قطع کرده و خود توسط رگچه‌های کلسیتی قطع شده‌اند.

کلینوپیروکسن در برخی از نمونه‌ها باقی مانده است. کلریت یکی از کانی‌های غالب موجود در سنگ می‌باشد که به‌صورت تجمعات بی‌شکل با بلورهای رشته‌ای در فضای بین پلاژیوکلازها مشاهده می‌شود. ابعاد کلریت‌ها گاه به بیش از ۲ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۳-C). بخش عمده کلریت‌ها محصول دگرسانی کلینوپیروکسن‌ها بوده و برخی از آنها در حفرات سنگ تشکیل شده‌اند. کانی‌های کدر به‌صورت دانه‌پراکنده و بلورهای بی‌شکل با فراوانی حدود ۳



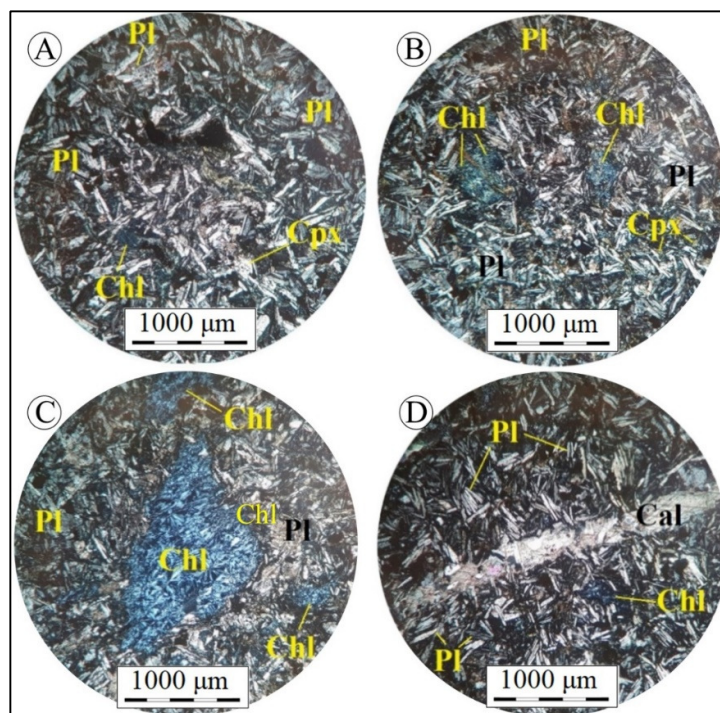
شکل ۲. تصاویر صحرایی از واحدهای سنگی در رخداد معدنی مس قمیشلو. A: نمایی از تناوب شیل و ماسه‌سنگ همراه با میان‌لایه گدازه بازالتی (واحد K^{ssh}) (دید به سمت شمال). B: نمایی نزدیک از مرز بین گدازه‌های بازالتی (واحد K^{ba}) و لایه‌های شیلی (واحد K^{sh}) کرتاسه پایینی (دید به سمت شمال‌باختر). C: نمایی از گدازه‌های بازالتی ائوسن (واحد E^{vb}) (دید به سمت جنوب‌خاور).

Fig. 2. Field photographs of the rock units in the Qamishlou Cu occurrence. A: A view of the alternation of shale and sandstone with basaltic lava interlayer (K^{ssh} unit), Looking to the north. B: A close view of the boundary between the lower Cretaceous basaltic lavas (K^{ba} unit) and the shale layers (K^{sh} unit), looking northwest. C: A view of the Eocene basaltic lavas (E^{vb} unit), looking southeast.

ناپیوسته و ناهم‌شیب بر روی واحدهای سنگی کرتاسه پایینی (واحد K^{sh}) نهشته شده است. کنگلومراها، ضخیم‌لایه و ماسه‌سنگ‌ها، نازک‌لایه هستند. گاه لایه‌های ماسه‌سنگی متوسط و ضخیم‌لایه نیز دیده می‌شود. این واحد سنگی در دو سمت واحدهای کرتاسه پایینی و حاشیه تاقدیس منطقه قابل مشاهده است. در سمت شمال‌خاور، رخنمون واحد آهکی زیارت (واحد E_z^1) به‌صورت هم‌شیب بر روی این واحد قابل مشاهده است. در سمت جنوب‌باختر، این واحد به‌صورت ناپیوسته توسط واحد کنگلومرایی الیگوسن (واحد O_l^c) پوشیده شده است.

واحد K^{sh} متشکل از لایه‌های نازک شیل خاکستری تیره تا قهوه‌ای می‌باشد که به‌صورت هم‌شیب بر روی گدازه‌های بازالتی و بازالت آندزیتی واحد K^{ba} قرار گرفته است (شکل ۲-B). این واحد سنگی، جوان‌ترین واحد مربوط به کرتاسه می‌باشد که حاشیه تاقدیس منطقه را در دو یال شمالی و جنوبی به خود اختصاص داده است. به‌دلیل ماهیت شیلی این واحد، چین‌خوردگی و تغییرات شیب در این واحد به‌طور گسترده مشاهده می‌شود.

واحد E^f از تناوب کنگلومرا و ماسه‌سنگ سبز رنگ با میان‌لایه‌های شیلی تشکیل شده است که به‌صورت



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) از کانی‌های تشکیل‌دهنده و بافت گدازه‌های بازالتی-بازالت آندزیتی در رخداد معدنی مس قمیشلو. A: بلورهای کلینوپیروکسن در بین بلورهای پلاژیوکلاز و ایجاد بافت اینترگرانولار. B: بلورهای کلینوپیروکسن جانشین شده توسط کلریت همراه با کلینوپیروکسن‌های سالم در بین پلاژیوکلازها. C: تجمعات کلریتی در بین پلاژیوکلازها که برخی محصول دگرسانی کلینوپیروکسن‌ها و برخی در محل حفرات سنگ تشکیل شده‌اند. D: رگچه کلسیتی. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (۲۰۱۰) اقتباس شده است. (Cal: کلسیت، Chl: کلریت، Cpx: کلینوپیروکسن، Pl: پلاژیوکلاز)

Fig. 3. A: Photomicrographs (transmitted cross-polarized light, XPL) of minerals and textures of the basalt-andesitic basalt lavas in the Qamishlou Cu occurrence. A: Clinopyroxene crystals among the plagioclase crystals form an intergranular texture. B: Clinopyroxene crystals replaced by chlorite along with fresh clinopyroxenes among plagioclases. C: Chlorite aggregates among plagioclases, some of which are products of clinopyroxene alteration and some of which are formed in rock vugs. D: Calcite veinlet. Mineral abbreviations from Whitney and Evans (2010). (Cal: calcite, Chl: chlorite, Cpx: clinopyroxene, Pl: plagioclase)

پورفیری با زمینه میکرولیتی متشکل از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز شکل‌دار، اولوین و کلینوپیروکسن می‌باشند. پلاژیوکلازها شکل‌دار بوده و ترکیب لابرادوریت دارند. این کانی‌ها به سربست و کانی‌های رسی تجزیه شده‌اند. اولوین‌ها شکل‌دار بوده و دگرسانی شدیدی به ایدنگسیت، سربانتین و کلریت نشان می‌دهند. کلینوپیروکسن‌ها شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار بوده و دارای ماکل نواری هستند. زمینه سنگ از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز همراه با بلورهای بسیار ریز کلینوپیروکسن تشکیل شده است. واحد E^{vb} به‌صورت عادی در زیر کنگلومرای واحد OI^c و با مرز ناهم‌شیب بر روی واحدهای سنگی کوتاه قرار گرفته است. واحد OI^c از نهشته‌های کنگلومرای دانه‌درشت نازک تا متوسط و گاه ضخیم‌لایه همراه با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ و رس‌سنگ قرمز تشکیل شده که بر روی واحدهای سنگی آئوسن (واحد E^f و E^{vb}) جای گرفته‌اند. قطعات

واحد E_z^1 متشکل از آهک و آهک‌ماسه‌ای نازک تا متوسط لایه بوده که به رنگ عمومی کرمی در گوشه شمال‌خاوری منطقه قمیشلو رخنمون دارد. بر اساس مطالعات شهیدی و بهارفیروزی (۱۳۸۰)، این آهک‌ها از نوع بایواسپاریت و اینتربایواسپاریت می‌باشد. بر پایه فسیل‌های موجود، سن آئوسن زیرین برای این واحد پیشنهاد شده است. این واحد با همبری هم‌شیب بر روی واحد سنگی E^f قرار گرفته است. واحد E^{vb} در بخش‌های خاوری و جنوب‌خاوری منطقه قمیشلو به‌صورت رخنمون گسترده گدازه‌های تیره رنگ بازالتی قابل مشاهده است (شکل ۲-۲). در بخش‌های جنوبی منطقه و در مجاورت با کانه‌زایی مس منطقه نیز رخنمون‌هایی از بازالت‌های تیره رنگ این واحد قابل مشاهده است که عمدتاً توسط زمین‌های کشاورزی پوشیده شده‌اند. براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ حلب (شهیدی و بهارفیروزی، ۱۳۸۰)، این گدازه‌ها دارای بافت

هستند. ساختمان‌های تاق‌دیس و ناودیس در نهشته‌های سنگی منطقه به خوبی قابل تشخیص بوده و گاه ساختمان‌های بزرگی را تشکیل داده‌اند.

۴- کانه‌زایی و دگرسانی

براساس مطالعات صحرایی، کانه‌زایی مس در رخدادهای معدنی قمیشلو به صورت چین‌کران و با ساخت و بافت‌های دانه‌پراکنده، عدسی‌شکل و رگه-رگچه‌ای در بخش فوقانی گدازه‌های بازالتی-بازالت آندزیتی (واحد K^{ba}) و در مرز واحد شیلی (واحد K^{sh}) کرتاسه پایینی رخ داده است (شکل ۴-۴). کانه‌زایی مس در رخنمون‌های صحرایی و نمونه‌های دستی اغلب از نوع کالکوسیت اولیه همراه با کانی‌های ثانویه مالاکیت، کوپریت و نئوتوسیت می‌باشد (شکل ۴-۴ تا D). پهنه کانه‌دار دارای روند شمال‌باختر-جنوب‌خاور با شیب حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه به سمت جنوب‌باختر ($N60W/70^\circ$) است. ضخامت پهنه کانه‌دار در محل رخنمون‌های کانه‌زایی تا حدود ۱/۵ متر می‌رسد. بر اساس نتایج ترانسه‌های اکتشافی حفر شده، گسترش طولی پهنه کانه‌زایی تا بیش از ۲۰۰ متر قابل پیگیری است. ساخت و بافت ماده معدنی در مقیاس رخنمون بیشتر از نوع دانه‌پراکنده، عدسی‌شکل، رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی است. کالکوسیت عمدتاً به صورت دانه‌پراکنده، عدسی‌شکل و رگه-رگچه‌ای دیده شده و کانی‌های برون‌زاد مس (مالاکیت، کوپریت و نئوتوسیت) عمدتاً به صورت پرکننده فضاهای خالی و آغشتگی سطح شکستگی‌ها مشاهده می‌شوند (شکل ۵-۴ تا H).

دگرسانی‌های گرمایی در رخدادهای معدنی مس قمیشلو شامل پروپلیتیک، زئولیتی، کلریتی-کربناتی و سیلیسی-کلسیتی می‌باشد. در این بین، دگرسانی‌های پروپلیتیک و زئولیتی قبل از کانه‌زایی، دگرسانی کلریتی-کربناتی همزمان با کانه‌زایی و دگرسانی سیلیسی-کلسیتی بعد از کانه‌زایی رخ داده‌اند. دگرسانی پروپلیتیک گسترده‌ترین دگرسانی موجود در منطقه قمیشلو بوده و در بیشتر سنگ‌های آتشفشانی منطقه قابل مشاهده است. این دگرسانی با حضور کلریت و کلسیت همراه با اندکی اپیدوت و کوارتز مشخص می‌شود. کلریت و کلسیت معمولاً جانشین کانی‌های مافیک و پلاژیوکلاز شده و یا همراه با کوارتز، حفرات بادامکی موجود در گدازه‌های میزبان را پر کرده‌اند (شکل ۶-۴ و B). دگرسانی زئولیتی محصول دگرگونی‌های

تشکیل‌دهنده این کنگلومرا از جنس سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و واحدهای سنگی کرتاسه (شیل، ماسه‌سنگ و گدازه‌های بازالتی) است. کنگلومرای این واحد دارای رنگ هوازده قرمز تا قهوه‌ای می‌باشد. گردشگری این کنگلومرا، ضعیف و جورشده‌گی آن متوسط است. این واحد رسوبی دارای تغییرات سستبرای زیادی است که می‌تواند به علت شرایط سیلابی حاکم بر منطقه در زمان تشکیل باشد که سبب تجمع نهشته‌های تخریب‌شده و یا فرسایش قبل از پیشروی طبقات دریایی می‌وسن باشد.

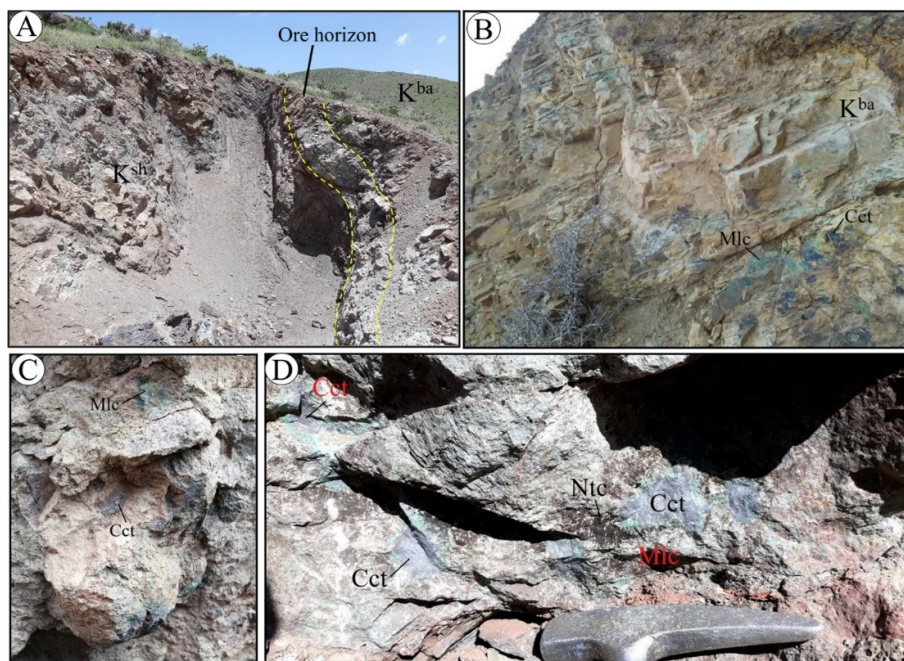
واحد OM_q^{ssh} متشکل از تناوب لایه‌های متوسط تا ضخیم ماسه‌سنگ، شیل، کنگلومرا و گاه سنگ آهک به رنگ عمومی سبز می‌باشد که در بخش‌های جنوب‌باختری منطقه قمیشلو رخنمون دارد. در بررسی‌های میکروسکوپی (شهیدی و بهار فیروزی، ۱۳۸۰)، واحدهای آهکی این واحد از نوع بایومیکریت و بایواسپاریت معرفی شده است. بر پایه فسیل‌های موجود، سن میوسن زیرین (بوردیگالین) برای این واحد پیشنهاد شده است (شهیدی و بهار فیروزی، ۱۳۸۰). این واحد سنگی با روند شمال‌باختر-جنوب‌خاور و شیب به سمت شمال‌خاور، به صورت هم‌شیب بر روی کنگلومرای الیگوسن (واحد Ol^c) نهشته شده است.

واحد Q^c در بخش‌های مرکزی، جنوبی تا باختری و همچنین در گوشه شمال‌خاوری منطقه قمیشلو و به صورت بخش‌های مسطح و گسترده قابل مشاهده است که توسط زمین‌های کشاورزی پوشیده می‌شود. این واحد، عمدتاً مربوط به خاک‌های درج‌زاد تا تراس‌های آبرفتی است که توسط ساکنین منطقه جهت کشت محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی موجود در منطقه قمیشلو و مناطق مجاور می‌توان به گسل‌های تراسی، گسل‌های امتدادلغز (راست‌گرد و چپ‌گرد) و چین‌ها اشاره کرد. گسل‌های تراسی به‌طور عمده دارای روند شمال و شمال‌باختر-جنوب و جنوب‌خاور هستند. بیشتر این گسل‌ها دارای مؤلفه‌های امتدادلغز نیز بوده و به پیکر یک گسل ترکیبی یا مرکب عمل می‌کنند. این گسل‌ها معمولاً هم‌راستا با روند محور چین‌خوردگی‌های اصلی منطقه هستند. گسل‌های امتدادلغز، سبب جابه‌جایی واحدهای سنگی و گاه انباشته‌های پلیوکواترنری شده‌اند. چین‌های موجود در منطقه شامل چین‌های باز موجود در نهشته‌های میوسن، چین‌های جعبه‌ای و چین‌های ناشی از گسلش

و به مقدار اندک به‌صورت رگچه‌ای در پهنه کانه‌دار دیده می‌شود (شکل ۶-۵). کلریت معمولاً به‌صورت بلورهای بی‌شکل تا رشته‌ای و کلسیت به‌صورت بلورهای درشت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار با رخ‌های مشخص و یا بلورهای بی‌شکل در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شوند. دگرسانی سیلیسی-کلسیتی به‌صورت رگچه‌های سیلیسی و کلسیتی بی‌بار و فاقد هرگونه کانی سولفیدی رخ داده است. این دگرسانی که مربوط به فرایندهای گرمایی تأخیری می‌باشد، فاقد ارتباط زایشی با کانه‌زایی مس بوده و معمولاً بخش‌های حاوی کانه‌زایی را قطع می‌کند (شکل ۶-۵ و ۶-۴).

تدفینی درجه پایین است (شن و همکاران، ۲۰۲۰؛ مائوریرا و همکاران، ۲۰۲۳). این دگرسانی شامل بلورهای رشته‌ای زئولیت می‌باشد که حفرات بادامکی گدازه‌های میزبان را پر کرده‌اند (شکل ۶-۴). دگرسانی‌های پروپلیتیک و زئولیتی از نظر زایشی ارتباطی با کانه‌زایی نداشته و معمولاً توسط دگرسانی‌های همزمان با کانه‌زایی و دگرسانی‌های تأخیری رونقش شده‌اند. دگرسانی کلریتی-کربناتی مهم‌ترین دگرسانی مرتبط با کانه‌زایی در رخداد معدنی قمیشلو است. این دگرسانی که معمولاً ارتباط زایشی با کانه‌زایی مس دارد با حضور کلریت و کلسیت به‌صورت پرکننده فضاهای خالی



شکل ۴. تصاویر صحرایی از پهنه کانه‌دار در رخداد معدنی مس قمیشلو. A: نمایی از پهنه کانه‌زایی مس در بخش بالایی گدازه‌های بازالتی-بازالت آندزیتی (واحد K^{ba}) و در مرز واحد شیلی (واحد K^{sh}) کرتاسه پایینی (دید به سمت شمال). B تا D: نمایهایی از کالکوسیت اولیه، مالاکیت و نتوتوسیت در گدازه‌های بازالتی-بازالت آندزیتی (واحد K^{ba}). دید در تصویر A به سمت شمال-شمال‌باختر است. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (۲۰۱۰) اقتباس شده است. (Cct: کالکوسیت اولیه، Cp: کوپریت، Mlc: مالاکیت، Ntc: نتوتوسیت)

Fig. 4. Field photographs of the ore zone in the Qamishlou Cu occurrence. A: A view of the Cu ore zone in the upper part of the lower Cretaceous basalt-andesitic basalt lavas (K^{ba} unit) and at the shale unit (K^{sh} unit) boundary, looking north. B-D: Views of primary chalcocite, malachite, and neotocite in the basalt-andesitic basalt lava (K^{ba} unit), A is looking to the north-northwest. Mineral abbreviations from Whitney and Evans (2010). (Cct: primary chalcocite, Cp: cuprite, Mlc: malachite, Ntc: neotocite)

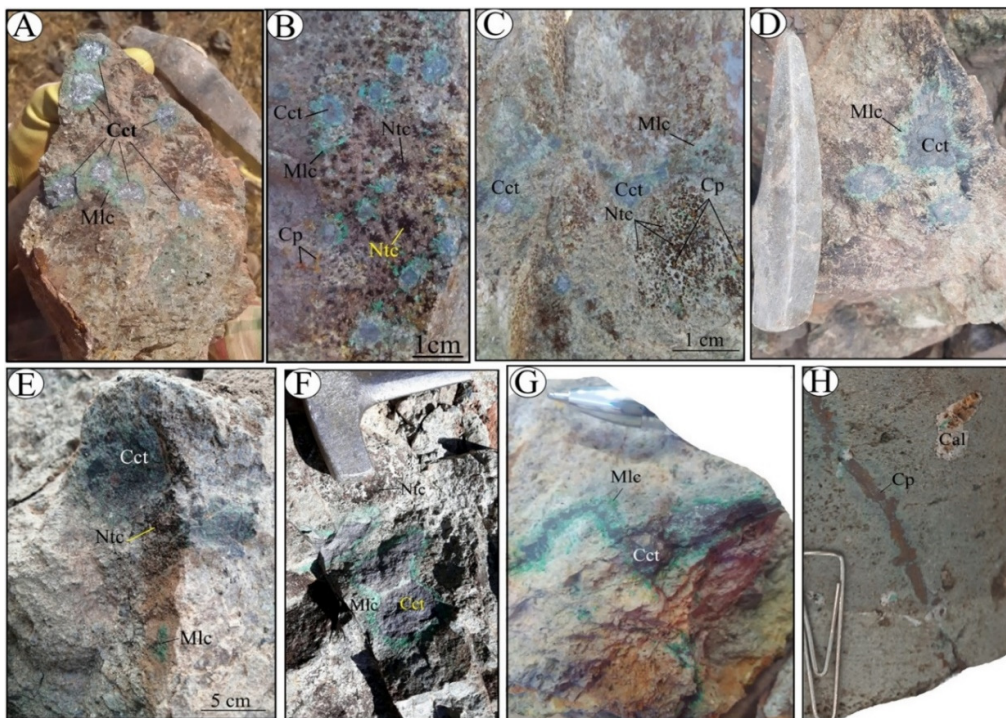
۵- کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسنگ

کالکوسیت اولیه و بورنیت همراه با اندکی پیریت و کالکوپیریت (فازهای تأخیری)، کانی‌شناسی ماده معدنی و کلسیت، کلریت، اپیدوت و زئولیت، کانی‌شناسی مواد باطله در رخداد معدنی مس قمیشلو می‌باشند. کالکوسیت ثانویه، کوولیت، مالاکیت، کوپریت و نتوتوسیت در اثر فرایندهای برون‌زاد تشکیل شده‌اند. انواع بافت کانسنگ شامل

دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پُرکننده فضای خالی، جان‌شینی و فرامبوئیدال می‌باشد. کالکوسیت کانه اصلی موجود در رخداد معدنی مس قمیشلو است که به دو صورت اولیه و ثانویه مشاهده می‌شود. کالکوسیت‌های اولیه شامل بلورهای ریز تا متوسط نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل (بین ۱۰۰ میکرون تا ۱ میلی‌متر) عمدتاً به‌صورت دانه‌پراکنده (شکل ۷-۵) و یا رگچه‌ای

موجود در رخداد معدنی مس قمیشلو است که به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل درشت تا متوسط (تا ۱/۵ میلی‌متر) با بافت دانه‌پراکنده در پهنه کانه‌دار قابل مشاهده است (شکل ۷-D تا F). بورنیت در اثر فرایندهای برون‌زاد به کالکوسیت ثانویه و کوولیت دگرسان شده است (شکل ۷-D تا F).

(شکل ۷-B، E و F) قابل مشاهده می‌باشند. در برخی نمونه‌ها، کالکوسیت‌های اولیه دارای شکل‌های گرد و کروی هستند که این امر نشان می‌دهد این کانی‌ها احتمالاً جانشین پیریت‌های با بافت فرامبوئیدال شده‌اند (شکل ۷-C). در برخی از موارد، کالکوسیت‌های اولیه به کوولیت دگرسان شده‌اند. کالکوسیت ثانویه محصول دگرسانی بورنیت است (شکل ۷-D و F). بورنیت کانه مهم دیگر

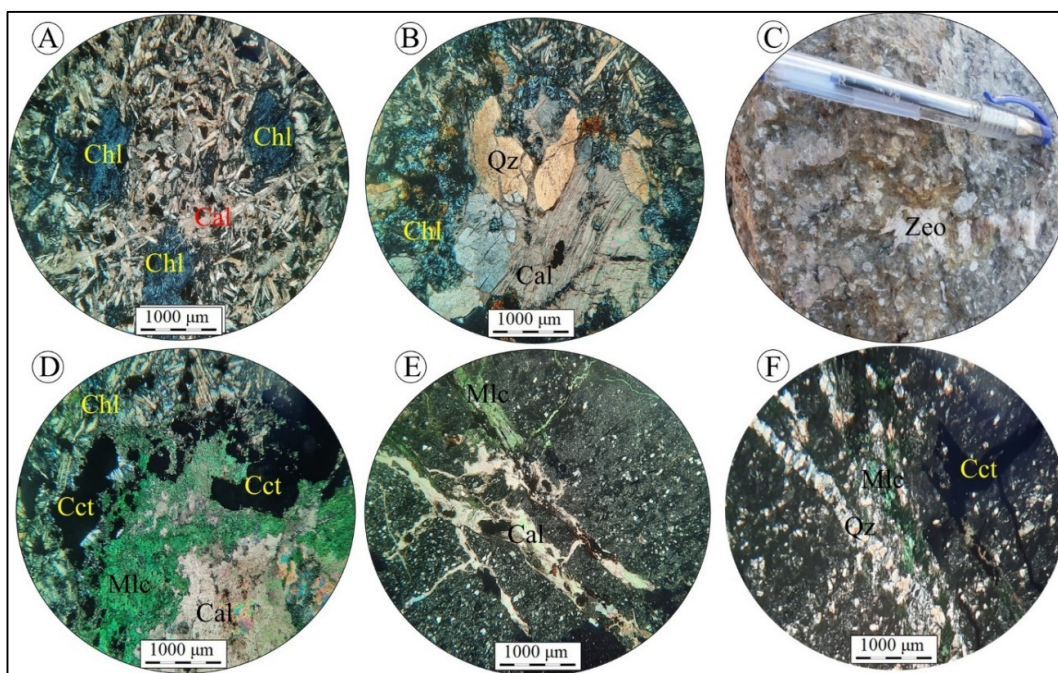


شکل ۵. تصاویر نمونه دستنی از ساخت و بافت ماده معدنی در پهنه کانه‌دار در رخداد معدنی مس قمیشلو. A تا C: نماهایی از کالکوسیت اولیه با بافت دانه‌پراکنده درون گدازه‌های بازالتی-بازالت آندزیتی. کالکوسیت‌های اولیه به مالاکیت دگرسانی نشان می‌دهند. در تصاویر B و C، کوپریت و نئوتوسیت نیز قابل مشاهده است. D تا H: نماهایی از کالکوسیت اولیه همراه با کانی‌های ثانویه مالاکیت، کوپریت و نئوتوسیت با بافت‌های عدسی‌شکل (D تا E) و رگه‌ای (G و H) درون گدازه‌های بازالتی-بازالت آندزیتی. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (۲۰۱۰) اقتباس شده است. Cal: کلسیت، Cct: کالکوسیت اولیه، Cp: کوپریت، Mlc: مالاکیت، Ntc: نئوتوسیت

Fig. 5. Hand specimen photographs of ore structure and texture in the ore zone in the Qamishlou Cu occurrence. A-C: Views of primary chalcocite with disseminated texture within basalt-andesitic basalt lavas. Primary chalcocite shows alteration to malachite. In B and C, cuprite and neotocite are also observed. D-H: Views of primary chalcocite with malachite, cuprite, and neotocite with lens-shaped (D-E) and veinlet (G and H) textures within basalt-andesitic basalt lavas. Mineral abbreviations from Whitney and Evans (2010). (Cal: calcite, Cct: primary chalcocite, Cp: cuprite, Mlc: malachite, Ntc: neotocite)

پیریت قبل از کالکوپیریت در توالی همیافتی کانه‌ها است. کالکوپیریت به میزان کم و عمدتاً به صورت بلورهای درشت (تا ۱ میلی‌متر) بی‌شکل دانه‌پراکنده در رگه و رگچه‌های کلسیتی دیده می‌شود (شکل ۷-I). بلورهای کالکوپیریت اغلب سالم هستند. کالکوپیریت معمولاً بلورهای شکل‌دار تا بی‌شکل پیریت را احاطه کرده است.

پیریت به میزان کم و به صورت بلورهای ریز تا متوسط (بین ۱۰ تا ۲۰۰ میکرون) بی‌شکل تا شکل‌دار با بافت‌های دانه‌پراکنده و رگچه‌ای در رگه و رگچه‌های کلسیتی قابل مشاهده است (شکل ۷-G و H). بلورهای پیریت اغلب سالم هستند. در برخی از نمونه‌ها، بلورهای پیریت توسط کالکوپیریت احاطه شده‌اند (شکل ۷-I) که بیانگر تشکیل

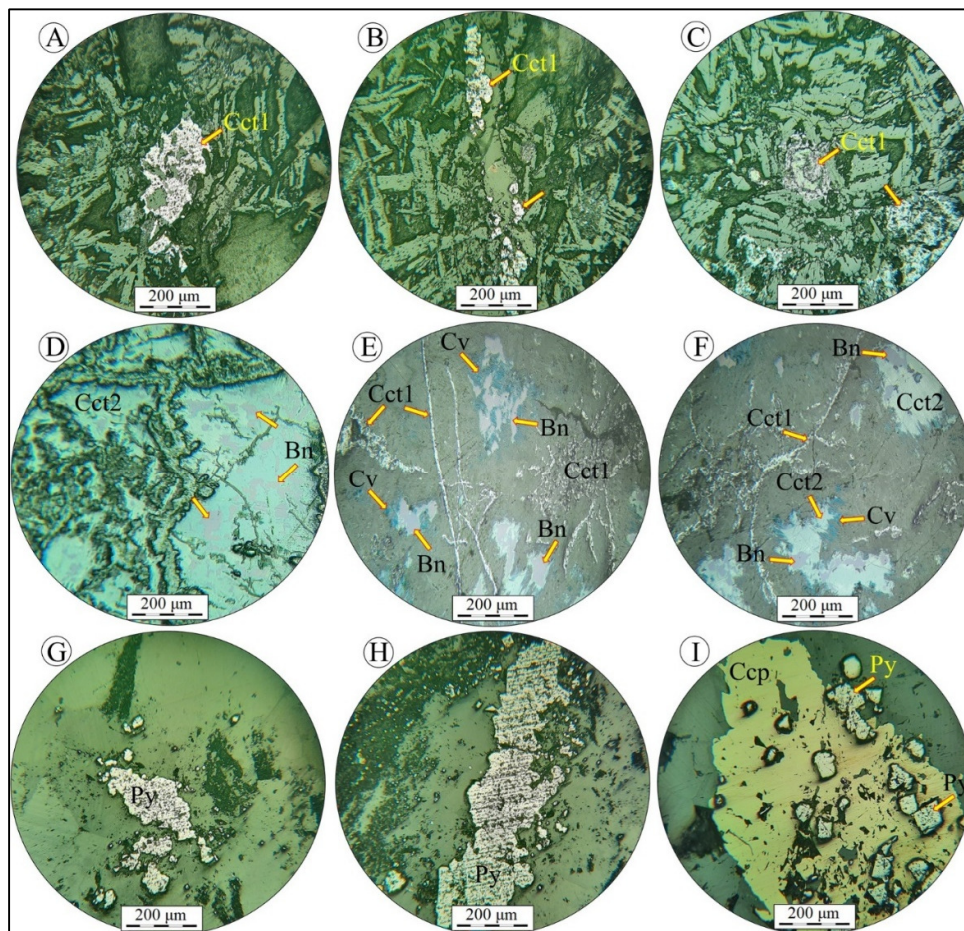


شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی (A و B، D تا F، نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) و نمونه دستی (C) از انواع دگرسانی‌های گرمایی در رخداد معدنی مس قمیشلو. A: جانشینی کانی‌های مافیک و پلاژیوکلازها توسط کلریت و کلسیت در دگرسانی پروپلیتیک. B: تمرکزهای کلریت، کلسیت و کوارتز در حفرات بادامکی واحدهای گدازه‌ای در دگرسانی پروپلیتیک. C: تمرکز زئولیت در حفرات بادامکی واحدهای گدازه‌ای در دگرسانی زئولیتی. D: دگرسانی کلریتی-کربناتی به صورت همراهی کلریت و کلسیت با کالکوسیت و مالاکیت. E و F: دگرسانی سیلیسی-کلسیتی به صورت رگچه‌های تأخیری کلسیت (E) و کوارتز (F) قطع‌کننده پهنه‌های کانه‌دار. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (۲۰۱۰) اقتباس شده است. (Cal: کلسیت، Cct: کالکوسیت، Chl: کلریت، Mlc: مالاکیت، Pl: پلاژیوکلاز، Qz: کوارتز، Zeo: زئولیت)

Fig. 6. Microscopic (A and B, D-F, transmitted cross-polarized light, XPL) and hand specimen (C) photographs of hydrothermal alteration types in the Qamishlou Cu occurrence. A: Replacement of mafic and plagioclase minerals by chlorite and calcite in propylitic alteration. B: Concentration of chlorite, calcite, and quartz as filling the amygdalae of the volcanic units in propylitic alteration. C: Concentration of zeolite as filling the amygdalae of the volcanic units in zeolite alteration. D: Chlorite-carbonate alteration as line of chlorite and calcite with chalcocite and malachite. E and F: Silica-calcite alteration as late calcite (E) and quartz (F) veinlets crosscutting mineralized zones. Mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010). (Cal: calcite, Cct: chalcocite, Chl: chlorite, Mlc: malachite, Pl: plagioclase, Qz: quartz, Zeo: zeolite)

(شکل‌های ۴-D و ۵-B، C، E و F). کلسیت و کلریت همراه با مقادیر اندکی کوارتز و زئولیت، کانی‌های باطله در رخداد معدنی مس قمیشلو هستند. کلسیت مهم‌ترین کانی باطله در این رخداد معدنی است که به صورت بلورهای درشت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و بی‌شکل در رگه-رگچه‌ها و فضاهای خالی سنگ میزبان دیده می‌شود (شکل ۵-H و ۶-A تا D و F). کلریت عمدتاً به صورت جانشینی کانی‌های مافیک (شکل ۳-A تا D) و پرکننده فضاهای خالی (شکل ۶-A و C) در متن سنگ‌های میزبان دیده می‌شود. کوارتز با مقادیر کم به صورت بلورهای ریز بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار در رگچه‌های کوارتزی و فضاهای خالی سنگ میزبان دیده می‌شود (شکل ۶-C و E). زئولیت با فراوانی اندک و به صورت بلورهای رشته‌ای با بافت پرکننده فضاهای خالی قابل مشاهده است (شکل ۶-F).

کولیت به صورت بلورهای بی‌شکل کوچک (تا ۲۵۰ میکرون) دیده شده و محصول دگرسانی کانه‌های اولیه مس (بورنیت و کالکوسیت اولیه) می‌باشد (شکل ۷-E و F). مالاکیت محصول دگرسانی برون‌زاد کالکوسیت و بورنیت بوده و بیشتر به صورت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی در پهنه کانه‌دار قابل مشاهده است (شکل‌های ۴-B تا D، ۵-A تا G و ۶-B و D و E). در برخی نقاط، بلورهای رشته‌ای مالاکیت با ابعاد طولی تا ۳۰۰ میکرون مسیر شکستگی‌ها را پر کرده‌اند. کوپریت با فراوانی اندک در برخی از نمونه‌ها به صورت بلورهای بی‌شکل با بافت‌های دانه‌پراکنده (شکل ۵-B و C) و رگه-رگچه‌ای (شکل ۵-H) قابل مشاهده است. نئوتوسیت بیشتر در مقیاس رخنمون و نمونه دستی دیده شده و عمدتاً به صورت لکه‌های سیاه با بافت‌های لکه‌ای و پنجه‌گره‌ای (مهدودی و رجبی، ۲۰۲۴) در پهنه کانه‌دار قابل مشاهده است.



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپی (نور بازتابی عادی، PPL) از کانی‌شناسی و ساخت و بافت مواد معدنی در رخداد معدنی مس قمیشلو. A: بلور بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار کالکوسیت اولیه با بافت دانه‌پراکنده. B: کالکوسیت اولیه با بافت رگچه‌ای. C: پیریت‌های فرامبوئیدال جانشین شده توسط کالکوسیت‌های اولیه. D تا F: بلورهای درشت تا متوسط بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار بورنیت با دگرسانی به کالکوسیت ثانویه و کوولیت. در تصاویر E و F، کالکوسیت اولیه با بافت‌های دانه‌پراکنده و رگچه‌ای نیز قابل مشاهده است. G و H: پیریت با بافت‌های دانه‌پراکنده (G) و رگچه‌ای (H). I: احاطه شدن پیریت‌های بی‌شکل تا شکل‌دار توسط کالکوپیریت‌های بی‌شکل. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (۲۰۱۰) اقتباس شده‌اند. Bn: بورنیت، Ccp: کالکوپیریت، Cct1: کالکوسیت اولیه، Cct2: کالکوسیت ثانویه، Cv: کوولیت، Py: پیریت

Fig. 7. Photomicrographs (reflected plane-polarized light, PPL) of the ore mineralogy and texture in the Qamishlou Cu occurrence. A: Anhedronal to subhedronal crystal of primary chalcocite with disseminated texture. B: Primary chalcocite crystal with veinlet texture. C: Framboidal pyrite that was replaced with primary chalcocite. D-F: Coarse- to medium-grained anhedronal to subhedronal crystals of bornite altered to secondary chalcocite and covellite. In E and F, primary chalcocite with disseminated and veinlet textures is also observed. G and H: Pyrite with disseminated (G) and veinlet (H) textures. I: Anhedronal to euhedral pyrites surrounded by anhedronal chalcopyrite. Mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010). (Bn: bornite, Ccp: chalcopyrite, Cct1: primary chalcocite, Cct2: secondary chalcocite, Cv: covellite, Py: pyrite)

۶- مراحل کانه‌زایی و توالی همبافتی

کانه‌زایی در رخداد معدنی مس قمیشلو به چهار مرحله قبل از کانه‌زایی، همزمان با کانه‌زایی، بعد از کانه‌زایی و برونزاد قابل تفکیک است (شکل ۸). مرحله قبل از کانه‌زایی شامل فرایندهای دی‌آزن و دگرگونی تدفینی بوده و طی آن پیریت‌های فرامبوئیدال (Py1) با بافت دانه‌پراکنده و ژئولیت با بافت پرکننده حفرات بادامکی درون گدازه‌های میزبان تشکیل شده‌اند. این مرحله با دگرسانی گسترده پروپلیتیک

و دگرسانی ژئولیتی همراه است. مرحله همزمان با کانه‌زایی با دگرسانی کلریتی- کربناتی مشخص شده و به دو زیرمرحله قابل تفکیک است. مرحله اولیه کانه‌زایی با حضور کانه‌های کالکوسیت اولیه (Cct1) و بورنیت با بافت‌های دانه‌پراکنده، پرکننده حفرات و فرامبوئیدال (جانشین شده در قالب پیریت‌های فرامبوئیدال) و رگه- رگچه‌های کالکوسیت اولیه مشخص می‌شود. مرحله تأخیری کانه‌زایی شامل رگه- رگچه‌های کلسیتی حاوی پیریت (Py2) و

آن تشکیل نشده است. در مرحله برون‌زاد، کانی‌های کالکوسیت ثانویه (Cct2)، کوولیت، مالاکیت، کوپریت و نئوتوسیت با بافت‌های پرکننده فضای خالی، رگه-رگچه‌ای و جان‌شینی تشکیل شده‌اند.

کالکوپیریت با فراوانی محدود می‌باشد. مرحله بعد از کانه‌زایی یک مرحله عقیم بوده و به آخرین فعالیت‌های گرمایی در رخداد معدنی مس قمیشلو مرتبط است. این مرحله با حضور رگه-رگچه‌های کلسیتی و کوارتزی تأخیری شناخته شده و هیچ کانی سولفیدی و اکسیدی با

	Pre-ore stage	Syn-ore stage		Post-ore stage	Supergene
		Early-ore stage	Late-ore stage		
Pyrite	Py1		Py2		
Chalcopyrite					
Chalcocite		Cct1			Cct2
Bornite					
Covellite					
Malachite					
Cuprite					
Neotocite					
Chlorite					
Calcite					
Quartz					
Zeolite					
Disseminated					
Vein-veinlets		--			
Framboidal					
Vug infill					
Replacement					

شکل ۸. مراحل کانه‌زایی، توالی همیافتی و بافت مواد معدنی و باطله در رخداد معدنی مس قمیشلو.

Fig. 8. Mineralization stages, paragenetic sequence, and texture of gangues and ore minerals in the Qamishlou Cu occurrence.

محاسبه شده است، در جدول ۲ ذکر شده و در شکل ۹ نمایش داده شده است. بر این اساس، مس با گوگرد دارای همبستگی مثبت قوی (۰/۹۳) می‌باشد که این امر نشان می‌دهد بخش عمده مس موجود در پهنه کانه‌دار به‌صورت کانی‌های سولفیدی است که با نتایج مطالعات صحرایی و میکروسکوپی همخوانی دارد. بر این اساس، مس به ترتیب با نقره (۰/۲۲-) و آرسنیک (۰/۵۱-) همبستگی منفی ضعیف و متوسط، با سرب (۰/۳۷) همبستگی مثبت ضعیف و با روی (۰/۵۸) و آنتیموان (۰/۵۴) همبستگی مثبت متوسط نشان می‌دهد. همبستگی مثبت ضعیف تا متوسط مس با سرب و روی با شواهد صحرایی و عدم وجود کانی‌های سرب و روی در پهنه کانه‌دار و الگوی کلی این نوع از ذخایر مس مطابقت دارد. نقره با اغلب عناصر همبستگی منفی ضعیف تا متوسط داشته و تنها با کادمیم همبستگی مثبت ضعیف (۰/۱۵) نشان می‌دهد.

۷- زمین‌شیمی

داده‌های زمین‌شیمیایی

نتایج تجزیه‌های شیمیایی به‌دست آمده از نمونه‌های رخداد معدنی مس قمیشلو در جدول ۱ آورده شده است.

محتوای عیار عناصر: براساس داده‌های جدول ۱، دامنه تغییرات عیار مس در نمونه‌های کانه‌دار در رخداد معدنی قمیشلو بین ۰/۲ تا ۱/۷ درصد است. این مقادیر برای سرب، روی و نقره به‌ترتیب بین ۶ تا ۸ گرم در تن، ۱۴۲ تا ۲۳۱ گرم در تن و ۰/۲۸ تا ۶۸ گرم در تن می‌باشد. این داده‌ها نشان می‌دهد کانه‌زایی در این رخداد معدنی صرفاً برای مس (و نقره به‌عنوان محصول جانبی) پتانسیل اقتصادی داشته و برای دیگر عناصر فاقد عیار اقتصادی می‌باشد.

ضرایب همبستگی عناصر: ضرایب همبستگی عناصر کانه‌ساز در رخداد معدنی مس قمیشلو که براساس داده‌های جدول ۱

جدول ۱. داده‌های تجزیه ICP-OES (گرم در تن) نمونه‌های کانسنگ و گدازه بازالتی میزبان در رخداد معدنی مس قمیشلو.

Table 1. ICP-OES data (ppm) of ore samples and host basalt lava from the Qamishlou Cu occurrence.

	Ag	Al	As	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	La	Li	Mg
D.L.	0.10	100	0.5	100	0.10	1	1	1	1	100	1	1	100
GM-01	1.80	>20000	2.00	>20000	0.29	32	18	5	6264	>20000	16	33	11538
GM-02	0.61	>20000	1.90	>20000	0.33	34	18	6	8525	>20000	17	32	11175
GM-03	0.55	>20000	1.90	>20000	0.27	42	21	7	7422	>20000	21	38	13646
GM-04	1.16	>20000	1.90	>20000	0.30	39	23	7	9449	>20000	20	41	14407
GM-05	0.34	>20000	2.00	>20000	0.28	37	26	8	6728	>20000	18	44	15671
GM-06	0.30	>20000	2.00	>20000	0.28	42	33	8	1881	>20000	21	52	16246
GM-07	4.50	>20000	1.90	>20000	0.30	37	29	8	17324	>20000	19	56	18434
GM-08	0.37	>20000	1.90	>20000	0.33	41	25	7	6806	>20000	20	45	15206
GM-09	1.50	>20000	1.80	>20000	0.29	46	24	7	13063	>20000	21	42	14673
GM-10	0.28	>20000	2.00	>20000	0.32	33	26	8	4419	>20000	16	42	15345
GM-11	068	>20000	1.90	>20000	0.32	39	25	7	6735	>20000	20	49	15923
GM-12	032	>20000	2.00	>20000	0.28	31	17	5	6913	>20000	15	31	10702
GM-13	023	>20000	2.10	>20000	0.28	43	28	6	1809	>20000	21	46	17249
GM-14	026	>20000	1.80	>20000	0.27	40	27	6	5088	>20000	19	46	16705
GM-15	028	>20000	1.90	>20000	0.35	41	28	7	3640	>20000	20	49	17129
GM-16	0.30	>20000	1.00	>20000	0.20	69	17.8	8	13.00	>20000	30	12	11340

	Mn	Mo	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Th	V	Y	Yb	Zn
D.L.	5	0.5	1	5	1	50	0.5	0.5	5	1	0.5	0.2	1
GM-01	695	0.57	7	2680	7	172	1.06	11.2	<5	163	17	1.2	146
GM-02	785	0.56	6	2839	7	406	0.83	11.1	5	162	18	1.2	142
GM-03	866	<0.5	8	3181	7	507	1.04	13.2	5.3	183	20	1.4	151
GM-04	830	<0.5	9	3388	8	859	0.87	13.6	<5	210	19	1.3	178
GM-05	948	0.57	9	3122	8	369	0.89	14.0	5.1	214	19	1.3	155
GM-06	785	0.91	10	3450	8	127	0.81	13.8	5.1	223	19	1.4	154
GM-07	844	0.67	10	3318	8	2083	1.08	14.0	<5	226	20	1.4	231
GM-08	904	0.57	9	3329	8	306	0.93	14.3	5.2	196	21	1.4	180
GM-09	1085	0.59	9	3418	8	1278	0.98	15.0	5.8	216	24	1.7	175
GM-10	867	0.59	10	2921	7	269	0.92	12.7	<5	191	17	1.2	154
GM-11	1066	0.58	9	3128	7	206	0.91	13.0	<5	203	17	1.2	160
GM-12	658	0.58	7	2663	6	427	1.00	10.7	<5	158	16	1.1	144
GM-13	1048	<0.5	9	3156	7	96	0.87	13.8	5.2	196	20	1.3	172
GM-14	884	<0.5	9	3034	7	115	1.00	12.8	<5	204	18	1.2	175
GM-15	963	0.52	8	3093	7	228	0.84	13.4	5	181	18	1.2	179
GM-16	620	0.10	1	0.16	5	54	0.50	21.0	10.2	134	31	3.5	120

GM-01 to GM-08 and GM-10 to GM-15: Ore samples with disseminated and lens textures; GM-07 and GM-09: Ore samples with veinlet texture; GM-16: basalt lava

جدول ۲. ضرایب همبستگی عناصر (محاسبه‌شده بر مبنای جدول ۱) برای نمونه‌های کانسنگ در رخداد معدنی مس قمیشلو.

Table 2. Elemental correlation coefficient (calculated based on Table 1) for ore samples at the Qamishlou Cu occurrence.

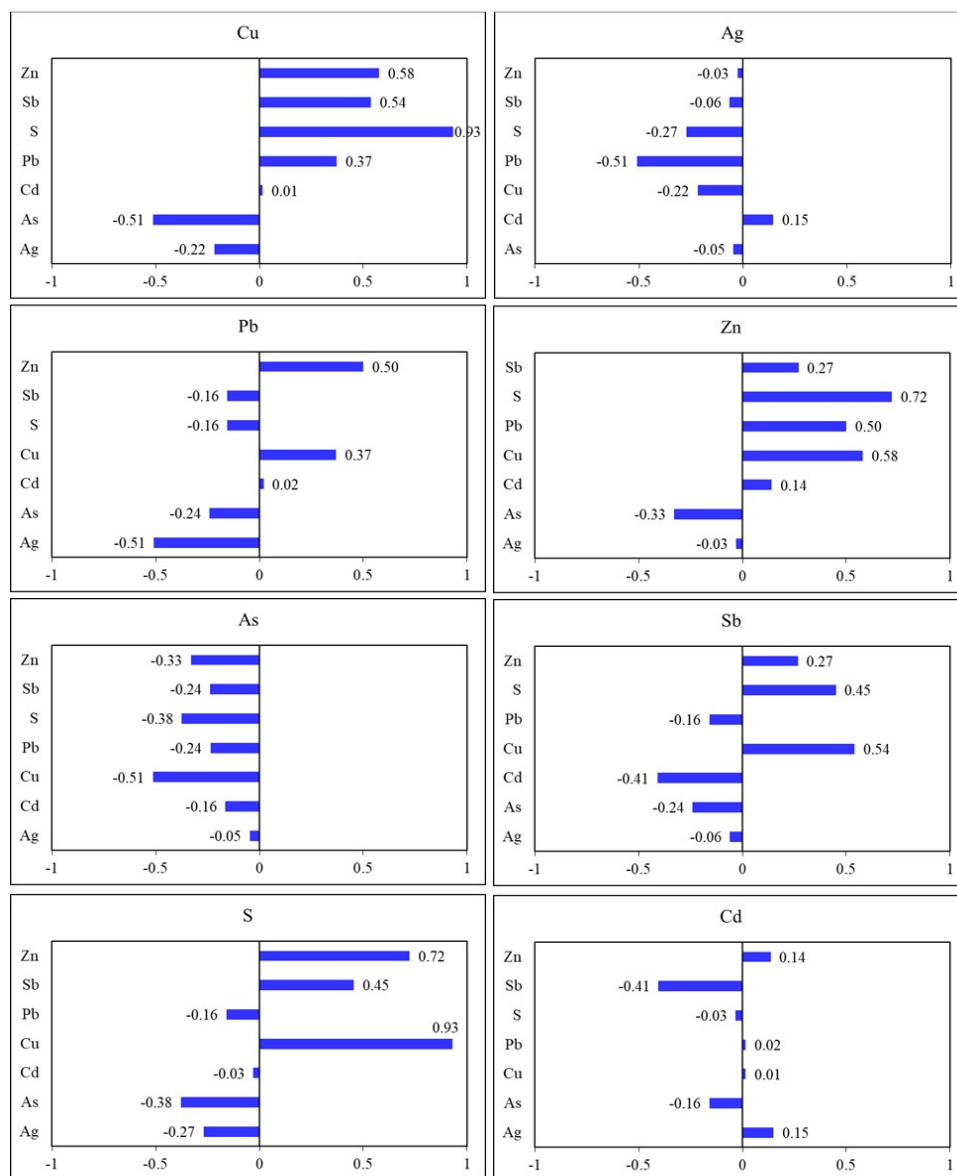
	Ag	As	Cd	Cu	Pb	S	Sb	Zn
Ag	1							
As	-0.05	1						
Cd	0.15	-0.16	1					
Cu	-0.22	-0.51	0.01	1				
Pb	-0.51	-0.24	0.02	0.37	1			
S	-0.27	-0.38	-0.03	0.93	-0.16	1		
Sb	-0.06	-0.24	-0.41	0.54	-0.16	0.45	1	
Zn	-0.03	-0.33	0.14	0.58	0.50	0.72	0.27	1

کانه‌زایی، وجود همبستگی منفی متوسط بین سرب و نقره (۰/۵۱-) نیز می‌تواند بیانگر رخداد نقره به‌صورت آزاد در پهنه کانه‌دار باشد. روی با آرسنیک (۰/۳۳-) و نقره (۰/۰۳-) همبستگی منفی ضعیفی نشان داده و با سایر عناصر دارای همبستگی مثبت می‌باشد. همبستگی مثبت روی با کادمیم ضعیف (۰/۱۴) است که این امر با جانشینی کادمیم به‌جای روی سازگار است. با توجه به عدم شناسایی اسفالریت در پهنه

همبستگی منفی موجود بین نقره و گوگرد (۰/۲۷-) می‌تواند بیانگر عدم همراهی نقره در شبکه کانی‌های سولفیدی مس بوده و ممکن است نشانگر حضور نقره به‌صورت آزاد در پهنه کانه‌دار باشد. سرب دارای همبستگی مثبت متوسط با روی (۰/۵۰) و مس (۰/۳۷) و همبستگی منفی ضعیف تا متوسط با دیگر عناصر می‌باشد. با توجه به عدم حضور گالن در پهنه کانه‌زایی و همچنین عیارهای بسیار پایین سرب در این

همبستگی منفی ضعیف تا متوسط با عناصر نقره، آرسنیک، سرب و کادمیم و همبستگی مثبت ضعیف تا متوسط با عناصر روی، گوگرد و مس است. گوگرد تنها با عناصر مس، روی و آنتیموان همبستگی مثبت داشته و همبستگی آن با دیگر عناصر کانه‌ساز منفی است. همبستگی مثبت گوگرد با عناصر مزبور می‌تواند بیانگر رخداد کانی‌های سولفیدی این عناصر در پهنه کانه‌دار باشد. کادمیم دارای همبستگی منفی ضعیف تا متوسط با گوگرد، آرسنیک و آنتیموان و همبستگی مثبت ضعیف با سایر عناصر کانه‌ساز می‌باشد.

کانه‌زایی و همچنین عیارهای پایین روی، همبستگی مثبت ضعیف این دو عنصر نیز قابل توجه است. روی دارای همبستگی مثبت ضعیف با آنتیموان (۰/۲۷)، همبستگی مثبت متوسط با مس (۰/۵۸) و سرب (۰/۵۰) و همبستگی مثبت قوی با گوگرد (۰/۷۲) است. در مطالعات صحرایی و میکروسکوپی، شواهدی از وجود اسفالریت در پهنه کانه‌دار قمیشلو مشاهده نشد لذا همبستگی مثبت قوی موجود بین روی و گوگرد بیانگر رخداد روی در شبکه کانی‌های سولفیدی مانند کالکوسیت به صورت جانشینی است. آرسنیک با همه عناصر همبستگی منفی ضعیف تا متوسط دارد. آنتیموان دارای



شکل ۹. نمودار همبستگی عناصر کانه‌ساز برای نمونه‌های کانسنگ در رخداد معدنی مس قمیشلو.

Fig. 9. Correlation chart of ore-forming elements for ore samples at the Qamishlou Cu occurrence.

۸- بحث و بررسی

۸-۱- نوع کانه‌زایی

با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی، دگرسانی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت و زمین‌شیمیایی و براساس تقسیم‌بندی دیل (۲۰۱۰) برای انواع کانسارهای مس، رخداد معدنی مس قمیشلو در گروه کانسارهای مس با سنگ میزبان آتشفشانی (دسته کانسارهای تیپ مانتو زیررده بوئن‌اسپرانزا) قرار می‌گیرد. این دسته از کانسارهای مس در توالی‌های آتشفشانی- رسوبی ژوراسیک تا کرتاسه پایینی رخ داده و دارای سنگ میزبان آذرآواری و آندزیت تا بازالت پورفیری می‌باشند (آیازوم و همکاران، ۱۹۹۸؛ هاگان و همکاران، ۲۰۰۳؛ ویلسون و همکاران، ۲۰۰۳a, b). در رخداد معدنی مس قمیشلو، پهنه کانه‌زایی درون گدازه‌های بازالتی تا بازالت آندزیتی کرتاسه پایینی رخ داده است. توالی کانیایی در کانسارهای نوع مانتو (زیررده بوئن‌اسپرانزا) شامل کالکوسیت، بورنیت و کالکوپریت همراه با اندکی کوپریت و مس آزاد می‌باشد. در رخداد معدنی مس قمیشلو کانی‌های سولفیدی اولیه شامل کالکوسیت اولیه، بورنیت، کالکوپریت و پیریت هستند. وجود بافت‌های رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و جانشینی و چینه‌کران بودن کانه‌زایی از دیگر ویژگی‌های کانسارهای مس نوع مانتو (زیررده بوئن‌اسپرانزا) است (کوجیما و همکاران، ۲۰۰۹). کانه‌زایی در رخداد معدنی مس قمیشلو نیز چینه‌کران بوده و انواع بافت کانسنگ شامل دانه‌پراکنده، رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و جانشینی و چینه‌کران بودن کانه‌زایی از دیگر ویژگی‌های کانسارهای مس نوع مانتو (زیررده بوئن‌اسپرانزا) است (کوجیما و همکاران، ۲۰۰۹). کانه‌زایی در رخداد معدنی مس قمیشلو نیز چینه‌کران بوده و انواع بافت کانسنگ شامل دانه‌پراکنده، رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، فرامبوئیدال و جانشینی می‌باشد. در کانسارهای نوع مانتو (زیررده بوئن‌اسپرانزا) کانی‌های باطله اصلی شامل کربنات، کلریت، اپیدوت، کوارتز و کلریت هستند. در رخداد معدنی مس قمیشلو کانی‌های باطله شامل کلریت، کلسیت، کوارتز و زئولیت می‌باشند. به علت پایین بودن دمای سیال کانه‌دار، دگرسانی گرمایی در کانسارهای نوع مانتو (زیررده بوئن‌اسپرانزا) از گسترش زیادی برخوردار نیست. با این وجود، با توجه به مطالعات میکروسکوپی، دگرسانی‌های کربناتی، کلریتی، سیلیسی، اپیدوتی و زئولیتی در این نوع از کانسارها گزارش شده است. در رخداد معدنی مس قمیشلو نیز دگرسانی‌های گرمایی در مقیاس رخنمون چندان شاخص

نبوده و در مقیاس میکروسکوپی شامل کلریتی، کربناتی، سیلیسی و زئولیتی می‌باشد. توالی میزبان کانه‌زایی در کانسارهای مس نوع مانتو (زیررده بوئن‌اسپرانزا)، ژوراسیک تا کرتاسه پایینی گزارش شده است. گدازه‌های بازالتی- بازالت آندزیتی میزبان در رخداد معدنی مس قمیشلو نیز دارای سن کرتاسه پایینی هستند. در جدول ۳، ویژگی‌های اصلی رخداد معدنی مس قمیشلو با انواع کانسارهای مس با سنگ میزبان آتشفشانی و در جدول ۴ با برخی از کانسارهای مس تیپ مانتو در ایران مقایسه شده است.

۸-۲- الگوی تشکیل رخداد معدنی مس قمیشلو

بر پایه شواهد صحرایی و نتایج مطالعات سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری، توالی همیافتی کانی‌ها و داده‌های زمین‌شیمی، مراحل تکوین و تکامل کانه‌زایی در رخداد معدنی مس قمیشلو را می‌توان به صورت یک توالی چهار مرحله‌ای خلاصه کرد (شکل ۱۰). مرحله نخست با آغاز رسوب‌گذاری واحدهای رسوبی و آتشفشانی کرتاسه پایینی در یک محیط زیردریایی همراه است (شکل ۱۰-A). در مرحله دوم (همزمان با دیاژنز)، فعالیت احیاء سولفات آب دریا توسط باکتری‌ها که با دگرسانی پروپلیتیک گسترده در گدازه‌های میزبان مشخص می‌شود، سبب آزاد شدن گوگرد و به دنبال آن، تشکیل پیریت‌های فرامبوئیدال با بافت دانه‌پراکنده درون واحدهای گدازه‌ای میزبان کانه‌زایی می‌شود (شکل ۱۰-B). حضور پیریت‌های فرامبوئیدال مؤید منشاء بیوژنیک گوگرد است که با مقادیر منفی ایزوتوپی گوگرد در کانسارهای تیپ مانتو با سن کرتاسه در شیلی (توسدال و مونیزاگا، ۲۰۰۳؛ ویلسون و همکاران، ۲۰۰۳b؛ ویلسون و زنتیلی، ۲۰۰۶؛ مائوریرا و همکاران، ۲۰۲۳) و ایران (مغفوری و همکاران، ۲۰۱۷؛ موحدنیا و همکاران، ۲۰۲۲) مطابقت دارد. مرحله سوم با تنشست واحدهای سنگی ائوسن و در ادامه، واحدهای سنگی الیگوسن و الیگومیوسن همراه است که سبب افزایش ضخامت توالی سنگی منطقه شده است (شکل ۱۰-C). این افزایش ضخامت باعث تدفین عمیق (وجود زئولیت در دگرسانی زئولیتی) و افزایش فشار و دما در سیالات درون حوضه‌ای می‌شود (کیرکهام، ۱۹۹۶). حرکت این سیالات درون توالی سنگی منطقه (بوریس و همکاران، ۲۰۰۲) سبب شستشوی مس از ساختار کانی‌های مس‌دار و انتقال آن به نقاط کم فشار از طریق گسل‌ها می‌شود. ورود سیالات غنی از مس به درون واحدهای بازالتی- بازالت آندزیتی حاوی پیریت‌های فرامبوئیدال، سبب

احیاء سیالات و ته‌نشست کانی‌های سولفیدی مس به‌صورت
جانشینی در پیریت‌های فرامبوئیدال (وجود کالکوسیت‌های
اولیه با بافت فرامبوئیدال) در فضا‌های مناسب و حفرات

جدول ۳. مقایسه ویژگی‌های اصلی رخداد معدنی قمیشلو با انواع کانسارهای مس با سنگ میزبان آتشفشانی.

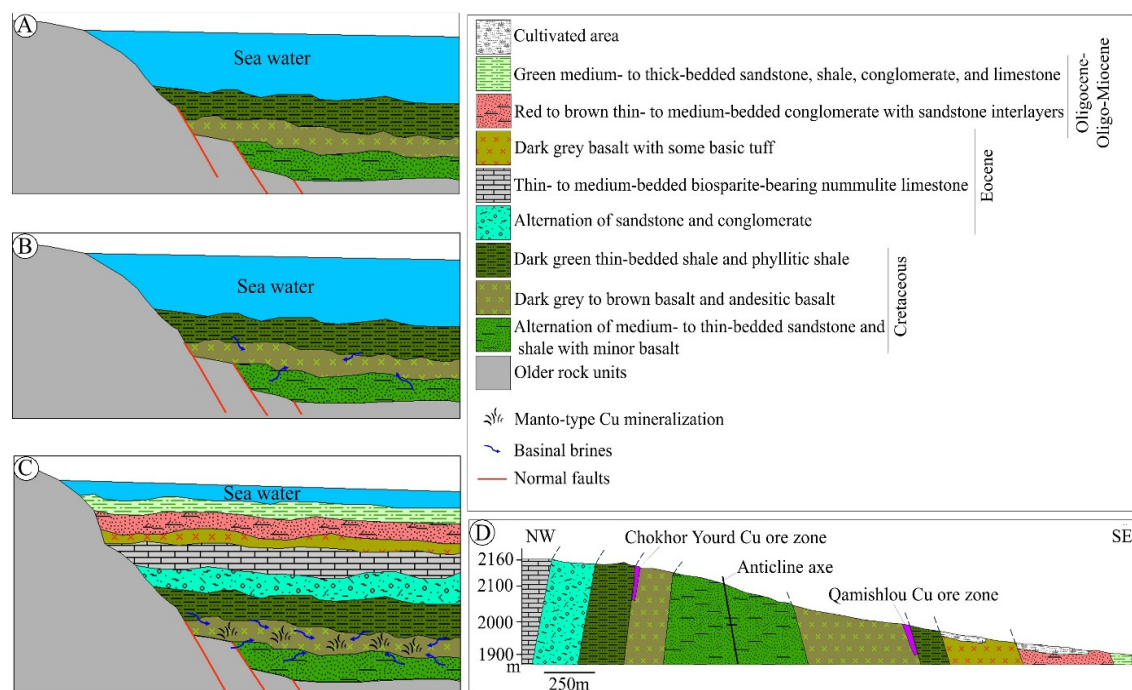
Table 3. Comparison of main characteristics of the Qamishlou occurrence with volcanic-hosted Cu deposits.

موقعیت	رخداد معدنی قمیشلو	نوع مانتو	نوع میشیگان	طبقات قرمز آتشفشانی
موقعیت	جنوب‌باختر زنجان، ایران	شیلی (کانسار بوئن‌اسپرانزا)	جزیره کویناو، آمریکا (کانسار میشیگان)	الکساندرا) کانادا (کانسار مانت
سنگ میزبان	گدازه‌های بازالتی و بازالت آندزیتی	گدازه‌های بازالتی و آندزیتی	بازالت آمیگدالوئیدال با میان‌لایه‌های کنگلومرایی	گدازه‌های آتشفشانی مافیک تا فلسیک، توف و سنگ‌های رسوبی وابسته
سری ماگمایی	-	کالک‌الکان (آلکانل)	توله‌ایتی (ساب‌آلکانل)	گدازه‌های مافیک و فلسیک
جایگاه تکتونیکی	-	درون قاره‌ای	قاره‌ای تا دریایی کم‌عمق	ریفت درون قاره‌ای
همیافتی کانیایی	کالکوسیت اولیه، بورنیت، پیریت، کالکوپیریت، کوپریت، نئوتوسیت دانه‌پراکنده، رگه-	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت همراه با اندکی مس آزاد و کوپریت	آزاد، آزاد، نقره مس کالکوسیت	بورنیت، پیریت، کالکوسیت، مس آزاد
بافت ماده معدنی	رگچه‌ای، فرامبوئیدال، پُرکننده فضای خالی، جانشینی	رگه- رگچه‌ای، پُرکننده فضای خالی، جانشینی	فضای دانه‌پراکنده، پُرکننده خالی	رگه- رگچه‌ای، دانه‌پراکنده، خالی فضای پُرکننده
کانی‌های دگرسانی	کلریت، کلسیت، کوارتز، زئولیت	کربنات، کلریت، اپیدوت، کوارتز	کلسیت، کلریت، زئولیت، اپیدوت	آلبیت، کوارتز، اپیدوت، کلریت، زئولیت
سن کانه‌زایی	کرتاسه پایینی	ژوراسیک تا کرتاسه پایینی	پالئوژنوتیک	سیلورین
منابع	حاضر تحقیق	سیلیتو (۱۹۷۷)، ماکسایف و زنتیلی (۲۰۰۲)، رامیز و همکاران (۲۰۰۶)، تریستا-آگوئیلرا و همکاران (۲۰۰۶)، کوچیما و همکاران (۲۰۰۹)	رُزمیر (۲۰۱۱)، بورن‌هورست و بارون (۲۰۱۱)	کیرک‌هام (۱۹۹۶)، کبرال و بیودیون (۲۰۰۷)

جدول ۴. مقایسه ویژگی‌های اصلی رخداد معدنی مس قمیشلو با برخی از کانسارهای مس تیپ مانتو در ایران.

Table 4. Comparison of main characteristics of the Qamishlou Cu occurrence with some Manto-type Cu deposits in Iran.

موقعیت	قمیشلو	کشت مهکی	معدن بزرگ	زنگالو	ماری
موقعیت	جنوب‌باختر زنجان	شمال‌باختر صفاشهر	خاور شاهرود	شمال‌باختر بردسکن	شمال زنجان
سنگ میزبان	گدازه‌های بازالتی و بازالت آندزیتی	کریستال لیتیک توف حدواسط	آندزیت، تراکی آندزیت	آندزیت پورفیری، تراکی آندزیت، کنگلومرا	آندزیت
همیافتی کانیایی	کالکوسیت اولیه، بورنیت، پیریت، کالکوپیریت، کوپریت، نئوتوسیت	کالکوسیت، بورنیت، مس آزاد، کالکوپیریت، پیریت، کلاست‌هالیت نقره‌دار	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت، مس آزاد	کالکوسیت، کالکوپیریت، پیریت	کالکوسیت، بورنیت، پیریت
بافت ماده معدنی	دانه‌پراکنده، رگه- رگچه‌ای، فرامبوئیدال، پُرکننده فضای خالی، جانشینی	دانه‌پراکنده، رگه- رگچه‌ای، جانشینی، پُرکننده فضای خالی، لامینه‌مانند	رگه- رگچه‌ای، دانه‌پراکنده، پُرکننده فضای خالی، جانشینی	پُرکننده فضای خالی، دانه‌پراکنده، رگچه‌ای، جانشینی	پُرکننده فضای خالی، رگه- رگچه‌ای، دانه‌پراکنده
کانی‌های دگرسانی	کلریت، کلسیت، کوارتز، زئولیت	کوارتز، کلسیت، کلریت، اپیدوت، زئولیت	کلسیت، کلریت، اپیدوت، کوارتز، زئولیت	کلریت، اپیدوت، کلسیت، کوارتز	کربنات، کلریت، کوارتز، اپیدوت
سن کانه‌زایی	کرتاسه پایینی	کرتاسه پایینی	اتوسن میانی - بالایی	اتوسن میانی	اتوسن
منابع	حاضر تحقیق	بوبری کناری و همکاران (۱۳۹۳)	صالحی و همکاران (۱۳۹۴)	قلیچ‌خانی و همکاران (۲۰۲۳)	مغفوری و همکاران (۲۰۱۷)



شکل ۱۰. A تا D: تصاویر شماتیک از مراحل شکل‌گیری کانه‌زایی در رخداد معدنی مس قمیشلو. برای توضیح به متن مراجعه شود.
Fig. 10. A-D: Schematic representation of mineralization evolution stages at Qamishlou Cu occurrence. See text for details.

۹- نتیجه‌گیری

بیانگر اهمیت واحدهای سنگی مزبور از نظر وجود این نوع از ذخایر مس می‌باشد که بایستی در برنامه‌های اکتشافی مورد توجه قرار گیرد.

۱۰- تشکر و قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های مالی دانشگاه زنجان برای انجام این پژوهش و از سردبیر و داوران محترم مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی برای راهنمایی‌های علمی که منجر به غنای بیشتر مقاله حاضر گردیده است، تشکر می‌نمایند.

References

- Adeli, Z., Rasa, I., Darvishzadeh, A. (2015) Fluid inclusion study of the ore-quartz veins at Haftcheshmeh porphyry copper (Mo) deposit, Ahar-Arasbaran Magmatic Belt, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 65: 502-511. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.05.022>.
- Aghazadeh, M., Hou, Z., Badrzadeh, Z., 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*, 70: 385-406. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.03.003>

کانه‌زایی مس در رخداد معدنی قمیشلو به صورت چینه‌کران و با بافت‌های دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پُرکننده فضای خالی، جان‌شینی و فرامبوئیدال در میزبان گدازه‌های بازالتی-بازالت آندزیتی کرتاسه پایینی رخ داده است. مواد معدنی در قمیشلو شامل کالکوسیت اولیه و بورنیت و اندکی پیریت و کالکوپیریت است که با کانی‌های باطله کلسیت و کلریت و مقدار کمی کوارتز و زئولیت همراهی می‌شوند. عیار مس در نمونه‌های کانه‌دار بین ۰/۲ تا ۱/۷ درصد متغیر است. بررسی‌های زمین‌شیمی نمونه‌های کانه‌دار بیانگر همبستگی مثبت قوی مس با گوگرد (۰/۹۳) و همبستگی منفی ضعیف نقره با گوگرد (۰/۲۷-) می‌باشد. مقایسه شواهد زمین‌شناسی، کانه‌زایی، نوع دگرسانی‌ها، کانی‌شناسی و ساخت و بافت و بررسی داده‌های زمین‌شیمیایی در رخداد معدنی قمیشلو با انواع کنسارهای مس با سنگ میزبان آتشفشانی نشان می‌دهد که این رخداد معدنی از نوع کنسارهای مس تیپ مانتو (زیرده بوئن‌اسپرانزا) است. رخداد معدنی مس قمیشلو اولین گزارش از کانه‌زایی مس چینه‌کران نوع مانتو در پهنه ایران مرکزی می‌باشد که درون سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه پایینی رخ داده است. این امر

- Alirezaei, A., Arvin, M., Dargahi, S. (2017) Adakite-like signature of porphyry granitoid stocks in the Meiduk and Parkam porphyry copper deposits, NE of Shahr-e-Babak, Kerman, Iran: Constraints on geochemistry. *Ore Geology Reviews*, 88: 370–383.
- Aliyari, F., Afzal, P., Harati, H., Zengqian, H. (2020) Geology, mineralogy, ore fluid characteristics, and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Kahang Cu–(Mo) porphyry deposit, Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc, Central Iran. *Ore Geology Reviews*, 116: 103238.
- Asghari, F. and Fardoost, F. (2020) Economic geology and mineralogy studies of Chah Gabri copper deposit, south of Damghan. *Research in Earth Sciences*, 11 (1): 89–108 (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.52547/esrj.11.1.89>.
- Mahabady, R. and Fardoost, F. (2020) Mineralogical, geochemical and genetic aspects of mineralization in Abgareh copper deposit; typical vein-type Cu deposits. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 29 (116): 99–110 (in Persian with English abstract).
- Ayati, F., Yavuz, F., Asadi, H. H., Richards, J. P., Jourdan, F. (2013) Petrology and geochemistry of calc-alkaline volcanic and subvolcanic rocks, Dalli porphyry copper–gold deposit, Markazi Province, Iran. *International Geology Review*, 55: 158–184.
- Boric, R., Holmgren, C., Wilson, N. S. F., Zentilli, M. (2002) The geology of the El Soldado Manto-type Cu (Ag) deposit, central Chile, In T.M. Porter (Editor), *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*. PGC Publication, Adelaide, Australia, 2: 185–205.
- Bornhorst, T. J. and Barron, R. J. (2011) Copper deposits of the western Upper Peninsula of Michigan. In: *Archean to Anthropocene: Field Guides to the Geology of the Mid-Continent of North America* (Eds, Miller, J. D., Hudak, G. J., Wittkop, C., McLaughlin, P. I.) Geological Society of America Field Guide, 24: 1–42. [https://doi.org/10.1130/2011.0024\(05\)](https://doi.org/10.1130/2011.0024(05))
- Boveiri Konari, M., Rstad, E., Kojima, S., Rashidnejad Omran, N. (2013) Volcanic redbed-type copper mineralization in the Lower Cretaceous volcano-sedimentary sequence of the Keshtmahaki deposit, southern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen (Journal of Mineralogy and Geochemistry)*, 190 (2): 107–121. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2013/0236>.
- Cabral, A. R. and Beaudoin, G. (2007) Volcanic redbed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada. *Mineralium Deposita*, 42 (8): 901–912.
- Dill, H. G. (2010) The chessboard classification scheme of mineral deposits: mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth Science Reviews*, 100 (1–4): 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.10.011>.
- Eskandari, M., Mousivand, F., Sheibi, M., Lehmann, B. (2024) Mineralogy, alteration, fluid inclusions microthermometry and genesis of the Cu-Au Kalateh Dasht deposit, south of Shahrood, NE Iran. *Journal of Economic Geology*, 16 (4): 125–147 (in Persian with extended English abstract). <https://doi.org/10.22067/econg.2024.1121>.
- Eskandari, M., Sheibi, M., Mousivand, F., Lehmann, B. (2025) Dogan copper deposit (south of Shahrood): copper-molybdenum porphyry mineralization in the Toroud-Chah Shirin magmatic arc. *Journal of Economic Geology*, in press (in Persian with extended English abstract).
- Ghelichkhani, M., Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M. H., Homam, S. M. (2023) Zangalou Manto-type deposit in the Sabzevar zone, northeast Iran: Evidence of mineralogy, geochemistry, U–Pb dating, fluid inclusion, and stable isotopes. *Geological Journal*, 58 (1): 465–496. <https://doi.org/10.1002/gj.4607>.
- Golestani, M., Karimpour, M. H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Hidarian Shahri, M. R. (2018) Geochemistry, U–Pb geochronology, and Sr–Nd isotopes of the Neogene igneous rocks, at the Iju porphyry copper deposit, NW Shahr-e-Babak, Iran. *Ore Geology Reviews*, 93: 290–307. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.01.001>
- Haggan, T., Parnell, J., Cisterna, M. E. (2003) Fluid history of andesite-hosted CuS-bitumen mineralization, Copiapo district, north-central Chile. *Journal of Geochemical Exploration*, 78–79: 631–633.
- Khalaj, M., Hassan-Nezhad, A. A., Alizadeh, H., Haji Babaei, A., Ghorbani, G. (2021) Investigation of mineralization fluid evolution of hydrothermal vein copper deposits: Based on studies of fluid inclusions at Chah Mousa area (north of central Iran). *Advanced Applied Geology*, 11 (1): 116–135 (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/aag.2021.34599.2152>.
- Kirkham, R. V. (1996) Volcanic Redbed copper. In: *Geology of Canadian Mineral Deposit Types* (Eds, Eckstrand, O. R., Sinclair, W. D., Thorpe, R. I.) Geological Society of America, 8: 241–252. <https://doi.org/10.1130/DNAG-GNA-P1.241>.
- Kojima, S., Tristá-Aguilera, D., Hayashi, K. (2009) Genetic aspects of the Manto-type copper deposits based on geochemical studies of north Chilean deposits. *Resource Geology*, 59 (1): 87–98.
- Kouhestani, H., Azimzadeh, A. M., Mokhtari, M. A. A., Ebrahimi, M. (2017) Mineralization and fluid evolution of epithermal base metal veins from the Aqand deposit, NW Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen (Journal of Mineralogy and Geochemistry)*, 194 (2): 139–155. <https://doi.org/10.1127/njma/2017/0036>.

- Kouhestani, H., Mokhtari, M. A. A., Chang, Z., Johnson, A. C. (2018) Intermediate-sulfidation type base metal mineralization at Aliabad-Khanchy, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 93: 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.12.012>
- Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M. R., Moayyed, M., Movahednia, M., Choulet, F. (2017) Geology, mineralization and sulfur isotope geochemistry of the Mari Cu (Ag) Manto-type deposit, northern Zanjan, Iran. *Ore Geology Reviews*, 81 (1): 10–22.
- Maghsoudi, A., Yazdi, M., Mehrpartou, M., Vosoughi, M., Younesi, S. (2014) Porphyry Cu-Au mineralization in the Mirkuh-e-Ali Mirza magmatic complex, NW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 79: 932–941. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.10.002>
- Mahabady, R., and Hassanpour Ssedghi, M. (2019) Occurrence of copper mineralization of Abgareh deposit based on geology, mineralogy and geochemical evidences, south of Damghan. *Iranian Journal of Geology*, 13 (51): 65–80 (in Persian with English abstract).
- Mahdavi Akerdi, M., Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M. A., Rahimi, B. (2020) Geology, alteration, mineralization, Geochemistry, fluid inclusion, petrology, petrogenesis and U-Pb zircon dating of diorite dykes in the Robaie copper area (South of Damghan). *Journal of Economic Geology*, 12 (3): 399–431 (in Persian with extended English abstract).
- Mahdavi, A. and Rajabi, A. (2024) Neotocite textures as a clue to the exploration of Red Bed type sediment-hosted stratabound copper (SSC) deposits: Evidence from Ravar-Tabas-Eshghabad copper belt, Central Iran. *International Geology Review*, 66 (7): 1408–1422.
- Maksaev, V. and Zentilli, M. (2002) Chilean stratabound Cu-(Ag) deposits: An overview. In T.M. Porter (Editor), *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*. PGC Publication, Adelaide, Australia, 2: 163–184.
- Maureira, I., Barra, F., Reich, M., Palma, G. (2023) Geology of the Altamira and Las Luces deposits, Coastal Cordillera, northern Chile: implications for the origin of stratabound Cu-(Ag) deposits. *Mineralium Deposita*, 58 (2): 379–402. <https://doi.org/10.1007/s00126-022-01132-0>
- McInnes, B. I. A., Evans, N. J., Belousova, E., Griffin, W. T., Andrew, R. L. (2003) Timing of mineralization and exhumation processes at the Sar Cheshmeh and Meiduk porphyry Cu deposits, Kerman belt, Iran. In: Eliopoulos et al. (Editors), *Mineral exploration and sustainable development*. Rotterdam, Millpress, pp. 1197–1200.
- Mimejad, H., Mathur, R., Hassanzadeh, J., Shafie, B., Nourali, S. (2013) Linking Cu Mineralization to host porphyry emplacement: Re-Os ages of molybdenites versus U-Pb ages of zircons and sulfur isotope compositions of pyrite and chalcopyrite from the Iju and Sarkuh porphyry deposits in southeast Iran. *Economic Geology*, 108: 861–870.
- Mohammaddoost, H., Ghaderi, M., Kumar, T. V., Hassanzadeh, J., Alirezaei, S., Stein, H. J., Babu, E. V. S. S. K. (2017) Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os geochronology, with S isotopic composition of sulfides from the Chah-Firouzeh porphyry Cu deposit, Kerman Cenozoic arc, SE Iran. *Ore Geology Reviews*, 88: 384–399.
- Mohammaddoost, H., Ghaderi, M., Kumar, T. V., Hassanzadeh, J., Alirezaei, S., Babu, E. V. S. S. K. (2023) Geology, mineralization, zircon U-Pb geochronology, and Hf isotopes of Serenu porphyry copper prospect, Kerman Cenozoic magmatic arc, southeastern Iran. *Ore Geology Reviews*, 159: 105540.
- Mohammadi, S., Kouhestani, H., Mokhtari, M. A. A. (2022) Intermediate-sulfidation epithermal Cu (Pb-Zn) mineralization in the Marshoun 2 occurrence (SE Zanjan): Mineralization, geochemistry, and fluid inclusions evidence. *Petrological Journal*, 13 (1): 143–168 (in Persian with extended English abstract). <https://doi.org/10.22108/ijp.2021.128215.1229>
- Mokhtari, M. A. A., Kouhestani, H., Saeedi, A. (2016) Investigation on type and origin of cooper mineralization at Aliabad Mousavi-Khanchy occurrence, east of Zanjan, using petrological, mineralogical and geochemical data. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 25 (100): 259–270 (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22071/GSJ.2016.40756>
- Movahednia, M., Maghfouri, S., Fazli, N., Rastad, E., Ghaderi, M., González, F. J. (2022) Metallogeny of Manto-type stratabound Cu-(Ag) mineralization in Iran: Relationship with Neo-Tethyan evolution and implications for future exploration. *Ore Geology Reviews*, 149: 105064.
- Naderlou, F., Mokhtari, M. A. A., Kouhestani, H., Nabatian, G. (2021) Type and origin of the north Chargar Cu-Au mineralization, southeast of Zanjan: using petrological, mineralogical, and geochemical data. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 31 (2): 149–162 (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22071/gsj.2020.185408.1652>
- Oyarzun, R., Ortega, L., Sierra, J., Lunar, R., Oyarzun, J. (1998) Cu, Mn, and Ag mineralization in the Quebrada Marquesa Quadrangle, Chile: The Talcuna and Arqueros districts. *Mineralium Deposita*, 33: 547–559. <https://doi.org/10.1007/s001260050171>
- Ramirez, L. E., Palacios, C., Townley, B., Parada, M. A., Sial, A. N., Fernandez-Turiel, J. L., Gimeno, D., Garcia-Valles, M., Lehmann, B. (2006) The Mantos Blancos copper deposit: an

- upper Jurassic breccia-style hydrothermal system in the coastal range of northern Chile. *Mineralium Deposita*, 41: 246–258. <https://doi.org/10.1007/s00126-006-0055-9>.
- Rosemeyer, T. (2011) News from the Keweenaw: Part 4-Recent Mineral Finds in Michigan's Copper Country. *Rocks and Minerals*, 86 (3): 206–227.
- Salehi, L., Rasa, I., Alirezaei, S., Kazemi Mehrnia, A. (2016) The Madan Bozorg, volcanic-hosted copper deposit, East Shahroud; an example of Manto type copper deposits in Iran. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 98 (4): 93–104 (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22071/gsj.2016.41166>
- Shafiei, B., Niedermann, S., Sósnicka, M., Gleeson, S. A. (2022) Microthermometry and noble gas isotope analysis of magmatic fluid inclusions in the Kerman porphyry Cu deposits, Iran: constraints on the source of ore-forming fluids. *Mineralium Deposita*, 57: 155–185. <https://doi.org/10.1007/s00126-021-01041-8>.
- Shahidi, A. and Baharfirouzi, Kh. (2001) Geological map of Halab, scale: 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Shen, P., Pan, H., Li, Z., Sun, J., Shen, Y., Li, C., Feng, H., Cao, C. (2020) A Manto-type Cu deposit in the Central Asian Orogenic Belt: The Hongguleleng example (Xinjiang, China). *Ore Geology Reviews*, 124: 103656.
- Sillitoe, R. H. (1977) Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: a review. Geological Society of London, Special Publications 7, pp. 99–116. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1977.007.01.13>
- Simmonds, V., Moazzen, M., Mathur, R. (2017) Constraining the timing of porphyry mineralization in northwest Iran in relation to Lesser Caucasus and Central Iran; Re–Os age data for Sungun porphyry Cu–Mo deposit. *International Geology Review*, 59: 1561–1574.
- Taghipour, N., Aftabi, A., Mathur, R. (2008) Geology and Re–Os geochronology of mineralization of the Meiduk porphyry copper deposit, Iran. *Resource Geology*, 58: 143–160.
- Tristá-Aguilera, D., Barra, F., Ruiz, J., Morata, D., Talavera-Mendoza, O., Kojima, S., Ferraris, F. (2006) Re–Os isotope systematics for the Lince-Estefanía deposit: Constraints on the timing and source of copper mineralization in a stratabound copper deposit, Coastal Cordillera of northern Chile. *Mineralium Deposita*, 41 (1): 99–105. <https://doi.org/10.1007/s00126-006-0048-8>.
- Tosdal, R. M. and Munizaga, F. (2003) Lead sources in Mesozoic and Cenozoic Andean ore deposits, north-central Chile (30–34S). *Mineralium Deposita*, 38: 234–250.
- Whitney, D. L. and Evans, B. W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95 (1): 185–187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>.
- Wilson, N. S. F. and Zentilli, M. (2006) Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts, central Chile. *International Journal of Coal Geology*, 65 (1–2): 158–169. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2005.04.012>
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M., Reynolds, P. H. (2003a) Age of mineralization by basinal fluids at the El Soldado Manto-type Cu deposit, Chile: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of K-feldspar. *Chemical Geology*, 197 (1): 161–176. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00350-9](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00350-9)
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M., Spiro, B. (2003b) A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado Manto type Cu deposit, Chile: the essential role of bacteria and petroleum. *Economic Geology*, 98 (1): 163–174.
- Yasami, N. and Ghaderi, M. (2019) Distribution of alteration, mineralization and fluid inclusion features in porphyry-high sulfidation epithermal systems: The Chodarchay example, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 104: 227–245. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.11.006>.
- Yasami, N., Ghaderi, M., Alfonso, P. (2018) Sulfur isotope geochemistry of the Chodarchay Cu–Au deposit, Tarom, NW Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen (Journal of Mineralogy and Geochemistry)*, 195 (2): 101–113. <https://doi.org/10.1127/njma/2018/0097>.
- Yasami, N., Ghaderi, M., Madanipour, S., Taghilou, B. (2017) Structural control on overprinting high-sulfidation epithermal on porphyry mineralization in the Chodarchay deposit, northwestern Iran. *Ore Geology Reviews*, 86: 212–224.
- Zamanian, H., Rahmani, Sh, Jannessary, M. R., Zareii Sahamiieh, R., Bornha, B. (2016) Ore-genesis study of The Cu–Au vein-type deposit in The Tarom-Granitoid (north Zanjan) based on mineralogical, geochemical and fluid inclusion evidences. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 25 (98): 255–282 (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22071/gsj.2016.41228>.
- Zarasvandi, A., Liaghat, S., Zentilli, M. (2005) Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali Abad porphyry copper deposits, Central Iran. *International Geology Review*, 47: 620–646. <https://doi.org/10.2747/0020-6814.47.6.620>.