



## Geological, alteration, mineralogy and geochemical studies of the Copper deposit in the Kalatehno prospect area, northwest of Gonabad (Khorasan Razavi province)

Sedigheh Zirjanizadeh <sup>1\*</sup> , Roohollah Miri Bydokhti <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Gonabad, Gonabad, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Gonabad, Gonabad, Iran

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article History

Received: 27 June 2024  
Revised: 21 August 2024  
Accepted: 21 August 2024

#### Keywords

Subvolcanic units  
Mineralization  
vein type copper  
Kalatehno  
Gonabad

#### \*Corresponding author

Sedigheh Zirjanizadeh  
✉ [szirjanizadeh@yahoo.com](mailto:szirjanizadeh@yahoo.com)

The Kalatehno prospecting area is located at 23 Km northwest of Gonabad, Khorasan Razavi province, and north of the Lut Block. The geology of the area includes subvolcanic units with monzonite, monzodiorite and diorite porphyry, volcanic units, pyroclastic and Quaternary units. Mineralization occurred epigenetically and as vein, in volcanic and pyroclastic units. The ore vein extends to 100-300 m along, and 1-3 m wide. The hypogene mineralization is characterized by chalcopyrite as the main ore mineral and minor amount of bornite, pyrite, galena with quartz as gangue minerals. Malachite, chrysocolla, chalcocite and secondary iron oxides (hematite, goethite) constitute the mineralization of oxidation and supergene zone. The main alteration in the area are silicification propylitic and argillic. According to geochemical study, the amount of copper is between 750 to 19500 ppm, Pb from 62.8 to 30400 ppm and Zn from 258 to 1800 ppm. Based on the structural control of mineralization, alteration types, mineralization and geology features, the Kalatehno deposit is similar to vein type copper deposits.

### How to cite this article

Zirjanizadeh, S. and Miri Bydokhti, R., 2024. Geological, alteration, mineralogy and geochemical studies of the Copper deposit in the Kalatehno prospect area, northwest of Gonabad (Khorasan Razavi province). *Journal of Economic Geology*, 16(3): 1–22. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/econg.2024.1118>



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

The Kalatehno area is situated 23 km northwest of Gonabad city, Khorasan Razavi province, and in geographic latitude 34°28'30" to 34°29'30" N and longitude 58°31'30" to 58°32'30" E. This area is located in the north of the Lut Block zone. Due to different tectonic situations and the huge amount of magmatism with different geochemical characteristics, the Lut Block has very good potential for various mineralization. Mineralization events in Lut Block have occurred over the Tertiary. Previous studies in the prospecting area of the Kalatehno copper deposit include studies by [Zirjanizadeh et al., \(2016\)](#) and [Zirjanizadeh \(2015\)](#), which focus on petrology, geochemistry, mineralization, and alteration of igneous rocks northwest Gonabad and Kalatehno area. [Bemani et al. \(2023\)](#) discuss the processing of satellite images for extracting alterations with field evidence in the Kalatehno deposit. The purpose of this research is to identify rock units, alteration, mineralization and geochemistry and characterize the ore-forming processes to recognize mineralization type in the Kalatehno prospecting area.

### Materials and methods

The methods include fieldwork, laboratory work, and interpretation. The fieldwork includes direct observation and sampling. After conducting field surveys and collecting 100 rock samples from different geological units and 60 samples from mineral veins, suitable samples were selected and prepared for laboratory studies. 30 thin sections were prepared and studied for a geological and alteration map with a scale of 1:5000. The texture and mineralogy were studied by preparing 10 polished block sections. For geochemical analysis, Laboratory analysis is conducted using Fire Assay (FA) for gold grade and Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) for Cu, Ag, Pb, As, Zn and other elements that were analyzed at Zarazma laboratory.

### Result and Discussion

The lithological units found in the study area include volcanic and tuff units, subvolcanic rocks, dacite porphyritic dykes, and Quaternary units. The volcanic rocks are mostly composed of pyroclastic rocks, rhyolite, andesite and trachyandesite with

porphyritic textures. Rhyolites are observed in the northwest of the study area.

The phenocrysts at rhyolite include quartz, potassium feldspar, plagioclase, and opaque minerals. The groundmass comprises microcrystalline quartz and alkali feldspars, and the alkali feldspars are altered to clay minerals. Subvolcanic outcrops as stocks in different parts of the area. These units include biotite granodiorite porphyry, monzodiorite porphyry, biotite monzonite porphyry and biotite quartz monzodiorite porphyry. Propylitic and silicic alterations are common alterations of the Kalatehno prospect. The silicic alteration zone is divided into four main sub-zones: strong siliceous, strong siliceous + strong propylitic + weak argillic, and strong siliceous + epidote. The important minerals of these zones are quartz 50-60 %, sericite (less than 1-2 %), calcite (less than 2 %-5 %), epidote (veins and scattered up to 2%), chlorite (less than 2 %) resulting from alteration of hornblende and biotite, pyrite in about 1 % and clay minerals resulting from the alteration of feldspars. Quartz exists as disseminated, veins, veinlets and crystalline (milky quartz and amethyst) in rock units and is accompanied by mineralization in the Kalatehno area.

The propylitic alteration has different intensities and has affected the entire area. Chlorite reaches from 1% to 5% in strong propylitic. Epidote is seen as a vein and coarse crystal in groundmass and also a replacement in plagioclase and hornblende, and in some cases, because of high abundance, can be mentioned as a separate alteration. In the Kalatehno prospecting area, mineralization is observed in different forms: vein, disseminated, stockwork, replacement, colloform, and hydrothermal breccia. The mineralization in the Kalatehno area has occurred as veins in the host rock (pyroclastic rocks) and is observed with variable lengths and thicknesses. The mineralization is controlled by structures and faults. The vein mineralogy includes primary sulfide minerals, pyrite, chalcopyrite, bornite, and galena. Quartz grains with chalcopyrite and bornite were found. Both minerals are surrounded by chalcocite. Due to supergene processes, secondary minerals comprise malachite, azurite, chrysocolla, chalcocite, and Mn and Fe oxides with quartz as gangue mineral. The amount of copper is between 750 to 9100 ppm, Pb from 62.8 to 30400 ppm, and Zn from 258 to 1800 ppm. The

source rock related to mineralization in the area is monzodiorite porphyry. Silicic and propylitic alteration zones are the most important alteration.

### **Conclusion**

In Kalatehno prospect area, vein-type epigenetic mineralization occurring along fault zones with main trending NW–SE. Mineralization is mainly hosted in pyroclastic rocks (tuffs) with silicification and propylitic alterations. Ore minerals at study area comprise pyrite, chalcocite, bornite, galena, and Secondary minerals include malachite, azurite,

chrysocolla, chalcocite, Fe oxides (hematite, goethite) and Mn oxides. quartz is main gangue mineral. Vein copper deposits include various vein-type deposits in which copper is the dominant metal. The ore minerals are deposited as open-space filling. Mineralogy of ore and texture, structurally controlled mineralization and type of alterations are similar to vein copper deposits.

### **Acknowledgments**

We thank from anonymous reviewers and the editor for their thoughtful reviews.



## بررسی های زمین شناسی، دگرسانی، کانی سازی و زمین شیمی در محدوده اکتشافی مس کلاته نو، شمال غرب گناباد (استان خراسان رضوی)

صدیقه زیرجانی زاده<sup>۱\*</sup>، روح اله میری بیدختی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

محدوده اکتشافی کلاته نو در ۲۳ کیلومتری شمال غرب گناباد، در استان خراسان رضوی و شمال بلوک لوت واقع شده است. زمین شناسی این محدوده شامل واحدهای نفوذی نیمه عمیق، آتشفشانی، رسوبی و کواترنری است. کانی سازی به صورت اپی ژنتیک و از نوع رگه ای، در داخل واحدهای آتشفشانی و پیرو کلاستیک شکل گرفته است. ابعاد هر رگه به ضخامت متوسط ۱ تا ۳ متر و طول حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر متغیر است. کانه زایی عمده در سطح شامل مالاکیت، کریزوکولا، آزوریت، اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) و کانی های سولفیدی اولیه شامل کالکوپیریت و به مقدار کمتر بورنیت، پیریت و گالن است. فراوان ترین کانی باطله کوارتز است. مهم ترین دگرسانی های رخ داده در منطقه، سیلیسی شدن، پروپیلیتیک و آرژیلیک است. بر اساس بررسی های زمین شیمیایی، مقدار مس بین ۷۵۰ تا ۱۹۵۰۰ گرم در تن، سرب از ۶۲/۸ تا ۳۰۴۰۰ گرم در تن و مقدار روی از ۲۵۸ تا ۱۸۰۰ گرم در تن متغیر است. بر اساس شواهدی چون کنترل ساختاری کانی سازی، نوع دگرسانی ها، کانی شناسی ذخیره، محدوده اکتشافی کلاته نو مشابه کانسارهای مس رگه ای است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

### واژه های کلیدی

واحدهای نفوذی نیمه عمیق

کانی سازی

مس رگه ای

کلاته نو

گناباد

### نویسنده مسئول

صدیقه زیرجانی زاده

[szirjanizadeh@yahoo.com](mailto:szirjanizadeh@yahoo.com) ✉

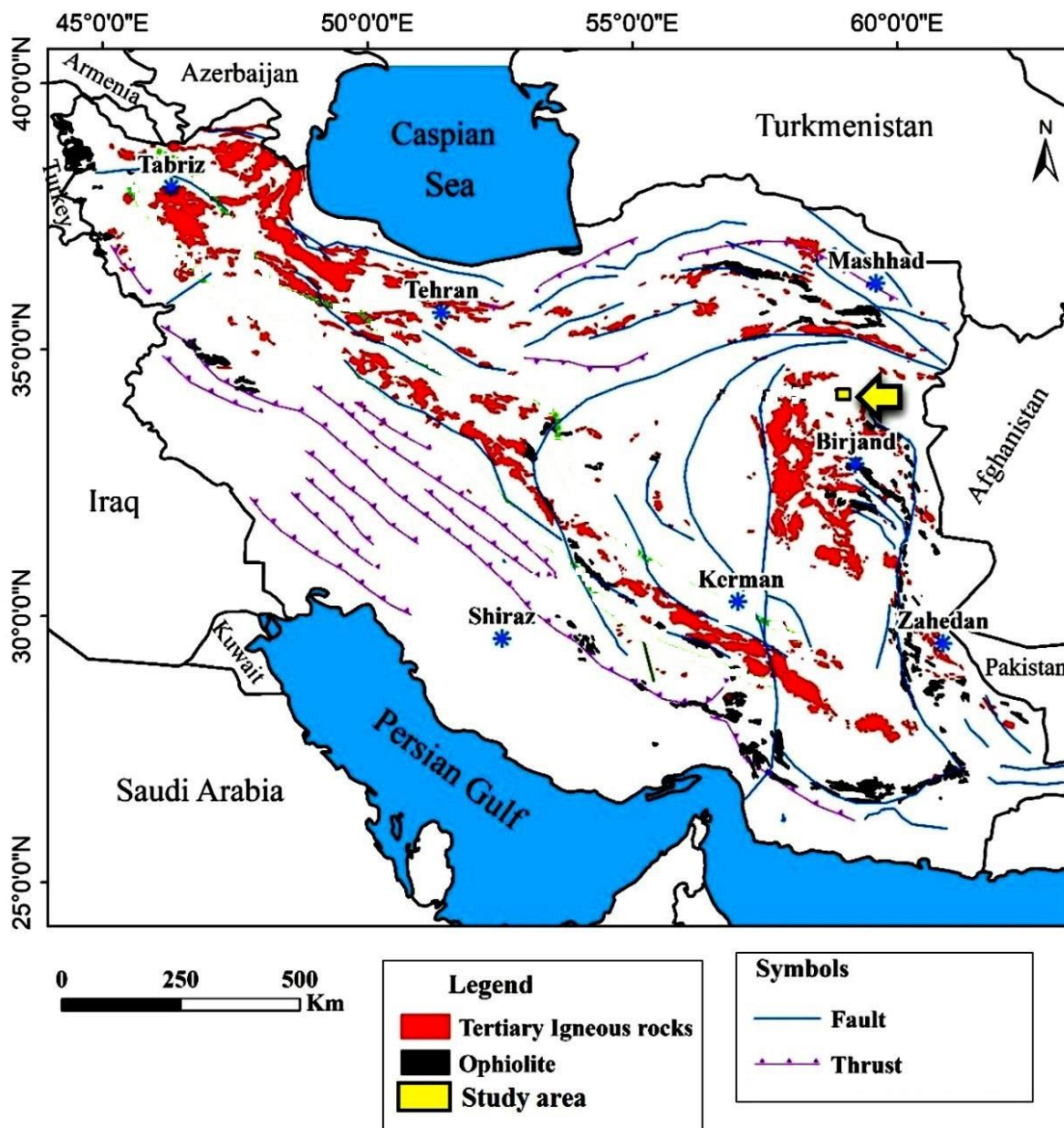
### استناد به این مقاله

زیرجانی زاده، صدیقه؛ و میری بیدختی، روح اله، ۱۴۰۳. بررسی های زمین شناسی، دگرسانی، کانی سازی و زمین شیمی در محدوده اکتشافی مس کلاته نو، شمال غرب گناباد (استان خراسان رضوی). زمین شناسی اقتصادی، ۱۶(۳): ۱-۲۲. <https://doi.org/10.22067/econg.2024.1118>

**مقدمه**

محدوده اکتشافی کلاته‌نو در شرق ایران و ۲۳ کیلومتری شمال غرب گناباد در استان خراسان رضوی و بین طول‌های جغرافیایی ۵۸° ۳۱' ۳۰" تا ۵۸° ۳۲' ۳۰" و عرض‌های جغرافیایی ۳۴° ۲۸' ۳۰" تا ۳۴° ۲۹' ۳۰" قرار دارد. این منطقه از لحاظ تقسیم‌های رسوبی - ساختاری ایران در شمال بلوک لوت واقع شده است (Aghanabati, 2004) (شکل ۱).

محدوده اکتشافی کلاته‌نو در شرق ایران و ۲۳ کیلومتری شمال غرب گناباد در استان خراسان رضوی و بین طول‌های جغرافیایی ۵۸° ۳۱' ۳۰" تا ۵۸° ۳۲' ۳۰" و عرض‌های جغرافیایی ۳۴° ۲۸' ۳۰" تا ۳۴° ۲۹' ۳۰" قرار دارد. این منطقه از لحاظ تقسیم‌های رسوبی - ساختاری ایران در شمال بلوک لوت واقع شده است (Aghanabati, 2004) (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت محدوده اکتشافی کلاته‌نو در نقشه زمین‌شناسی ساختاری ایران (Alavi, 1991)

Fig. 1. Location of the Kalatehno prospecting area in the tectonic map of Iran (Alavi, 1991)

است. بررسی نوع دگرسانی و نوع کانی سازی در این منطقه اکتشافی به دلیل وجود دگرسانی های گسترده و مشابه در تمام منطقه شمال غرب گناباد می تواند به دیدگاه منطقه ای و بررسی احتمالی پتانسیل بزرگ تر کمک کند.

### روش مطالعه

در راستای اهداف این پژوهش، ابتدا پژوهش های پیشین شامل نقشه ها و گزارش ها جمع آوری و بررسی شدند. پژوهش در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی ادامه یافت. بررسی های صحرایی شامل شناسایی واحدهای سنگی و رخنمون های کانی سازی بوده که در این راستا تهیه نقشه زمین شناسی، دگرسانی و کانی سازی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ با برداشت بیش از ۱۰۰ نمونه سنگی از واحدهای مختلف زمین شناسی و ۶۰ نمونه از رخنمون های ماده معدنی و از محل تراشه ها صورت گرفت. سپس به انتخاب و آماده سازی نمونه های مناسب برای انجام بررسی های آزمایشگاهی مورد نیاز پرداخته شد. از این بین، تعداد ۳۰ مقطع نازک برای بررسی های سنگ نگاری، دگرسانی و به منظور تهیه نقشه زمین شناسی تهیه شد و ۱۰ بلوک صیقلی برای بررسی های کانه نگاری و بررسی ساخت و بافت تهیه شد. بعد از تهیه مقاطع، بررسی سنگ نگاری و مینرالوگرافی مقاطع با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان نور عبوری و انعکاسی در مجتمع آموزش عالی گناباد انجام شد. به منظور بررسی های زمین شیمیایی و اندازه گیری مقادیر عناصر فلزی، ۶ نمونه از کانسنگ رگه ها برای آنالیز عناصر فلزی با روش AAS در آزمایشگاه شرکت زرآزمای تهران مورد آنالیز قرار گرفتند (جدول ۱).

### زمین شناسی منطقه

محدوده اکتشافی کلاته نو از نظر زمین شناسی ناحیه ای، در شمال غرب بر گه ۱:۱۰۰۰۰۰ گناباد واقع شده است (Ghaemi and Shahrivar, 2004). بر اساس این نقشه، بخش اعظم منطقه توسط سنگ های آتشفشانی و آذرآواری نظیر آندزیت،

بلوک لوت به دلیل داشتن موقعیت های زمین ساختی مختلف در زمان های گذشته دارای حجم عظیم ماگماتیسیم با ویژگی های زمین شیمیایی متفاوت است که گاهی پتانسیل های بسیار مناسبی را برای تشکیل کانی سازی های مختلف فراهم آورده است (Karimpour et al., 2012a). کریم پور و همکاران (Karimpour et al., 2012b)، نشان دادند که محدوده سنی ائوسن میانی تا الیگوسن مهم ترین پنجره زمانی کانی سازی در بلوک لوت است. آنها توده های نفوذی تشکیل شده در این پنجره زمانی را مرتبط با فرورانش بلوک افغان به زیر بلوک لوت و تشکیل حجم عظیم ماگماتیسیم مرتبط با کانی زایی در منطقه می دانند. از کانی سازی های بررسی شده در بلوک لوت می توان به کانسارها و مناطق اکتشافی مس پورفیری ماهرآباد و خویچک (Malekzadeh Shafaroudi, 2009)، ده سلم (Arjmandzadeh and Santos, 2014)، ماهور (Miri Bydokhti et al., 2015)، مس، سرب و روی نوع رگه ای اندیس های شوراب (Mehrabi et al., 2011)، خور (Javidi Moghaddam et al., 2018)، حوض رئیس (Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour, 2013)، سه چنگی (Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour, 2015)، مس - طلای نوع IOCG قلعه زری (Karimpour et al., 2007) و طلای اپی ترمال سولفید بالای بالازرد (Miri Bydokhti et al., 2014) اشاره کرد. در محدوده اکتشافی کلاته نو، بمانی و همکاران (Bemani et al., 2023) با پردازش تصویرهای ماهواره ای و بازدیدهای میدانی و بررسی های سنگ نگاری، زون های دگرسانی را بررسی کرده اند. زیرجانی زاده و همکاران (Zirjanizadeh et al., 2016; Zirjanizadeh, 2015) به بررسی های سنگ شناسی، زمین شیمی، کانی سازی و منشأ سنگ های منطقه شمال غرب گناباد می پردازند که محدوده اکتشافی کلاته نو نیز در این منطقه واقع شده است. هدف از این پژوهش شناسایی واحدهای سنگی، دگرسانی، کانی سازی، زمین شیمی و تحلیل سامانه کانی سازی در منطقه اکتشافی کلاته نو

بررسی‌ها در محدوده اکتشافی کلاته‌نو، واحدهای سنگی رخنمون یافته شامل واحدهای آتشفشانی و آذرآواری (توف‌ها)، سنگ‌های نفوذی نیمه عمیق، دایک ریولیت پورفیری و واحدهای رسوبی و کواترن است (شکل ۲).

تراکی آندزیت، بازالت، برش و توف اسیدی پالئوسن-ائوسن، پوشیده شده است. بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده در این پژوهش نشان داد که برخی از واحدهایی که در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گناباد، واحدهای آتشفشانی معرفی شده‌اند، توده‌های نفوذی نیمه عمیق هستند (شکل ۲). بر اساس این

جدول ۱. آنالیز شیمیایی نمونه‌های کانه‌دار در محدوده کلاته‌نو (داده‌ها به جز طلا بر حسب ppm)

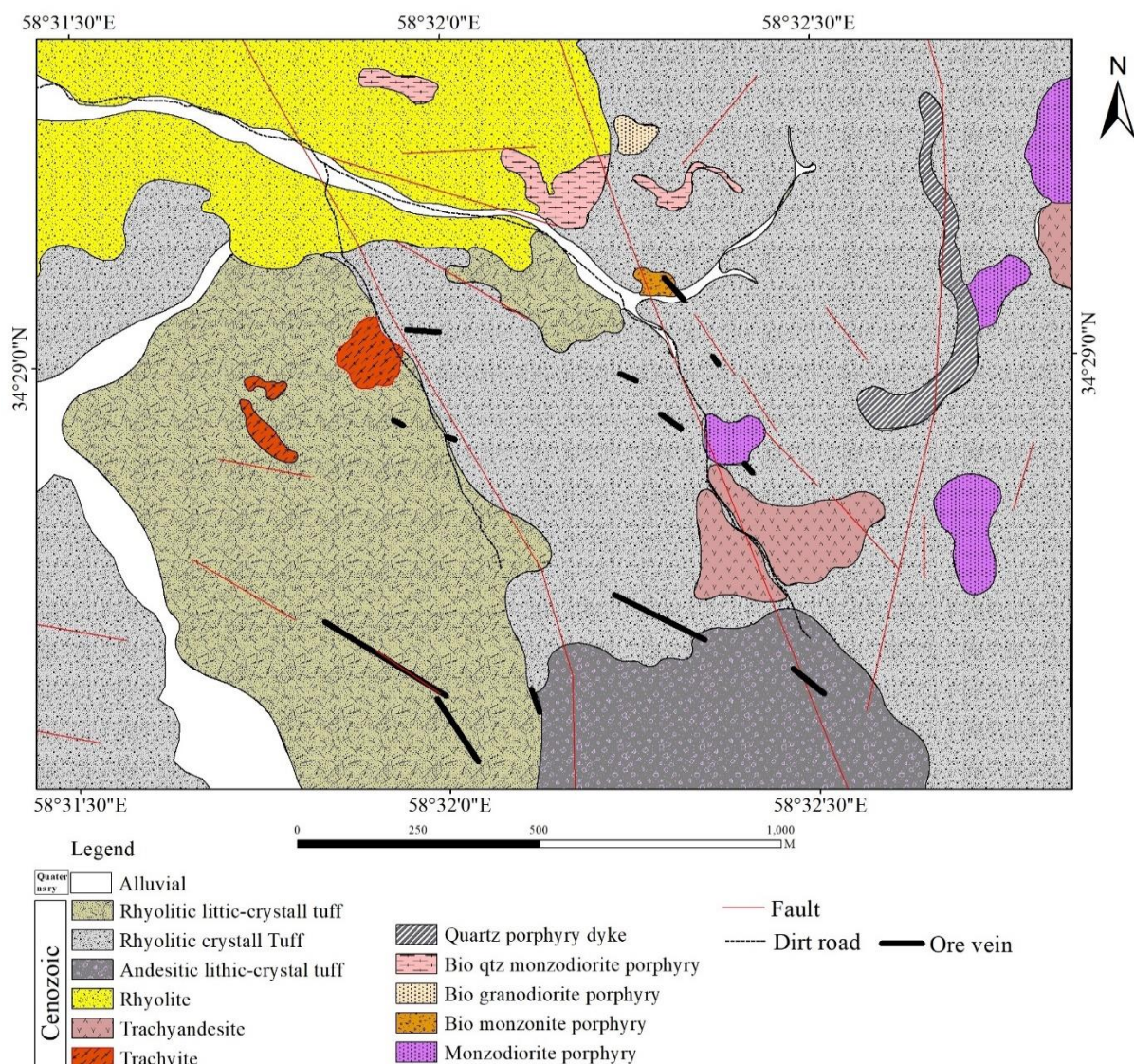
Table 1. Chemical analysis of ore samples in the Kalatehno area (data in ppm (Au in ppb)

sample	Ag	Cd	Cu	Fe (%)	Mn	Pb	Zn	Sn	Au
Geo-kn-10	8	2	9100	4.79	1100	84.9	272.5	<1	89
Geo-kn-11	22.7	<1	738.4	16.39	31.2	78.6	270.3	<1	65
Geo-15	10.9	4/2	1800	10.22	123	256.9	693.5	<1	11
geo30	30.3	5.2	19500	3.34	76.5	30400	1800	<1	99
Geo-31	16	<1	876.20	0.67	166.1	1700	1800	<1	12
Geo-Kn-1	22.1	0.5	752.7	15.84	34	62.8	258	1<	95

رخنمون دارند (شکل ۲). بافت این سنگ پورفیری است و درشت بلورها شامل پلاژیو کلاز تا ۲۵ درصد، قطعه‌های هورنبلند و بیوتیت با حاشیه سوخته ۵ درصد و آلکالی فلدسپات سریسیتی شده ۱ درصد دیده می‌شود (شکل ۳-D). زمینه شامل میکروولیت‌های پلاژیو کلاز ۳۰ تا ۳۵ درصد و کانی‌سازی کدر ۱ تا ۳ درصد است (شکل ۳-E). اپیدوت هم داخل پلاژیو کلاز و هم در زمینه تا ۱۵ درصد دیده می‌شود. کلریت و کربنات به صورت پراکنده کمتر از ۳ درصد دیده می‌شود. کوارتز به صورت رگچه سیلیسی در داخل متن سنگ دیده می‌شود. رخنمون‌های کوچکی از واحد تراکیت در غرب منطقه وجود داشته که در صحرا به رنگ بنفش دیده می‌شود (شکل ۲). ویژگی این واحد وجود بافت تراکیتی آن است (شکل ۳-E). میکروولیت‌های فلدسپار نوع سانیدین تا ۹۰ درصد سنگ را شامل می‌شوند. هورنبلند با حاشیه اکسید آهنی شده که قالب آنها توسط کربنات پر شده بین ۱ تا ۳ درصد دیده می‌شود. در این توده کربنات به صورت رگچه‌های بسیار ظریف (به ابعاد کمتر از ۰/۱ میلی‌متر) و در زمینه تا ۲ درصد دیده می‌شود. اپیدوت تا ۳ تا ۵ درصد در زمینه دیده می‌شود (شکل ۳-E).

## سنگ‌نگاری

بر اساس بررسی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری، واحدهای آتشفشانی و آذرآواری و توده‌های نیمه عمیق واحدهای تشکیل دهنده محدوده مورد بررسی هستند. واحدهای آتشفشانی و آذرآواری: این واحدها گسترش و رخنمون سطحی زیادی در منطقه دارند و شامل واحدهای آذرآواری (توف و آگلومرا)، ریولیت، تراکی آندزیت و تراکیت است (شکل ۲ و شکل ۳-A، B و C). رخنمون ریولیت‌ها در شمال غرب منطقه مورد بررسی دیده می‌شود (شکل ۲). ریولیت‌های شمال غرب حالت جریانی، لایه‌ای و در بعضی قسمت‌ها حالت قله‌ای شکل دارند (شکل ۳-A و C). بافت ریولیت‌ها پورفیری است. درشت‌بلورهای موجود شامل کوارتز خلیجی ۳ تا ۵ درصد، فلدسپار پتاسیم ۱۵ تا ۲۰ درصد، پلاژیو کلاز ۱۰ درصد است. کانی‌های کدر نیز به صورت درشت‌بلور حضور دارند. زمینه شامل کوارتز ریزبلور و آلکالی فلدسپارها تا ۷۰ درصد است و آلکالی فلدسپارها آرژیلیکی شده‌اند. تراکی آندزیت‌ها در مرکز منطقه و به شکل تپه‌ماهور



شکل ۲. نقشه زمین شناسی منطقه اکتشافی مس کلاته‌نو

Fig. 2. Geological map of Kalatehno prospect area

مس کلاته‌نو دیده می‌شود (شکل ۲). بافت این واحد پورفیری است. درشت بلورها شامل پلاژیو کلاز تا ۱۰ درصد، کوارتز ۴ تا ۵ درصد و بیوتیت ۳ تا ۵ درصد است زمینه شامل آلکالی فلدسپارها و کانی‌های دگرسانی است. این واحد به شدت دگرسان شده و رگچه‌های اپیدوت در نمونه دستی قابل مشاهده است. عمده پلاژیو کلازها به اپیدوت تبدیل شده‌اند و محتوی کربناتی شدن بین

**توده‌های نیمه عمیق:** توده‌های نفوذی و نیمه عمیق رخمون یافته در منطقه به صورت استوک در قسمت‌های مختلف رخمون دارند و شامل واحدهای بیوتیت گرانودیوریت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری، بیوتیت مونزونیت پورفیری و بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری است. رخمون واحد بیوتیت گرانودیوریت پورفیری با راستای شمالی - جنوبی در شمال محدوده اکتشافی

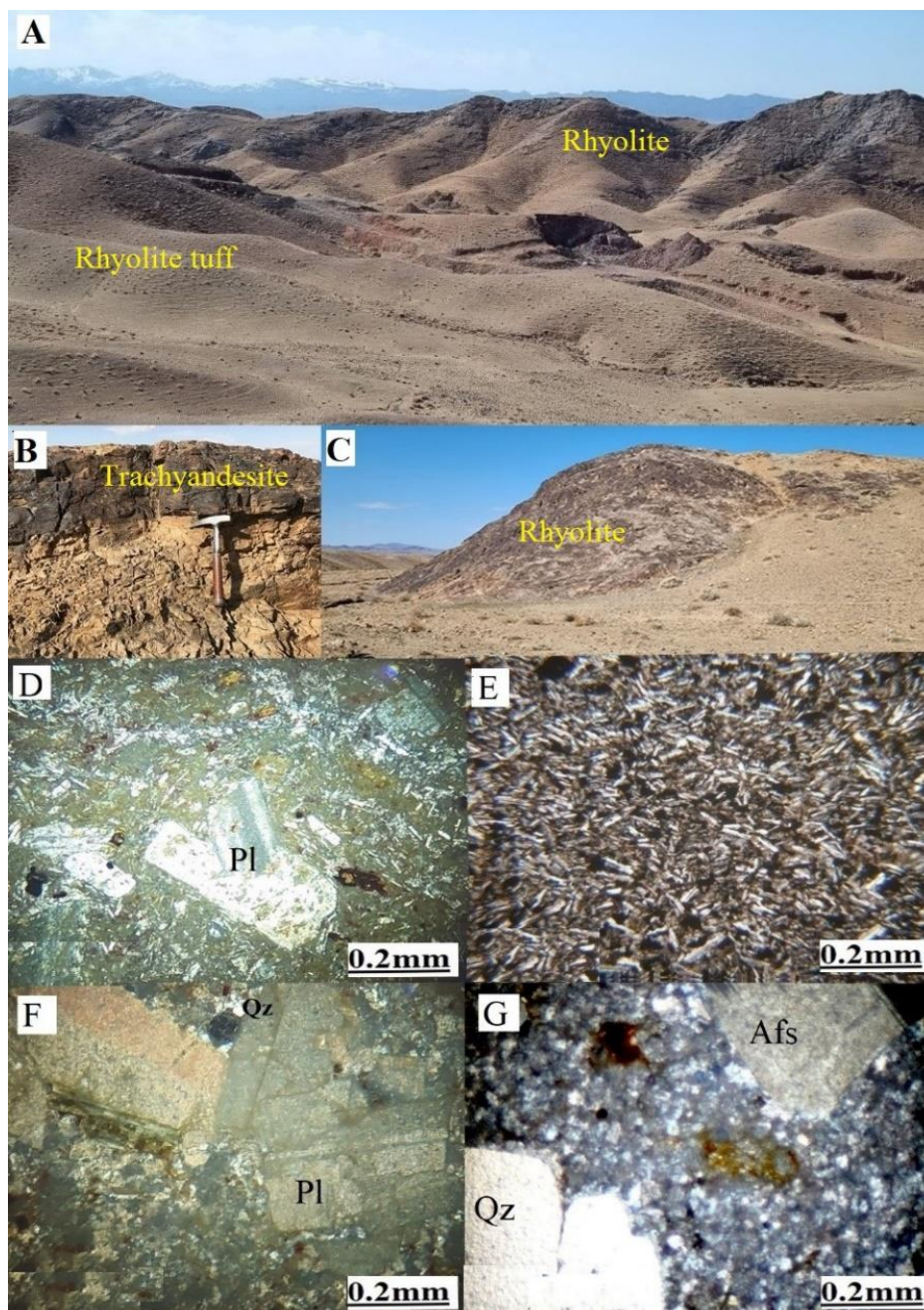


از دگرسانی هورنبلند و بیوتیت است و اپیدوت و کربنات هم در زمینه به صورت پراکنده و رگچه و هم در داخل کانی های مافیک دیده می شوند. کانی های رسی ناشی از دگرسانی فلدسپات هاست. فراوانی کانی ها در این زون ها شامل کوارتز با فراوانی ۷ تا ۱۰ درصد، سربیسیت (با فراوانی کمتر از ۱ تا ۲ درصد)، کلسیت (با فراوانی کمتر از ۲ تا ۵ درصد) و اپیدوت (به صورت رگچه و پراکنده با فراوانی ۲ تا ۵ درصد) کلریت (با فراوانی کمتر از ۲ درصد) است. پیریت ۱ تا ۵ درصد به صورت پراکنده در متن این سنگ ها دیده می شوند. دگرسانی عمده در منطقه پروپیلیتیک با شدت های متفاوت است و تمام منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. کانی های مافیک با فراوانی ۲۰ تا بیش از ۸۰ درصد به کلریت، کلسیت و اپیدوت تبدیل شده اند. مقدار کل کلریت با فراوانی ۱ تا ۵ درصد در پروپیلیتیک شدید می رسد. اپیدوت به صورت رگه، رگچه و درشت بلور و جانشینی در پلاژیو کلاز و کمتر در هورنبلند دیده می شود (شکل ۶-B). مقدار اپیدوت با فراوانی کمتر از ۱ درصد تا بیش از ۱۰ درصد متغیر است. کلسیت اغلب حاصل دگرسان شدن پلاژیو کلاز است؛ ولی بلورهای هورنبلند هم در بعضی قسمت ها از مرکز به کلسیت تبدیل شده اند (شکل ۶-A). در بعضی نقاط قالب پلاژیو کلاز به طور کامل با کربنات پر شده است. علاوه بر آن، کلسیت به صورت پراکنده در متن هم با فراوانی ۱ تا بیش از ۵ درصد دیده می شود. مقادیری سربیسیت با فراوانی ۱ تا ۲ درصد از تجزیه پلاژیو کلاز حاصل شده و به عنوان یک کانی فرعی در زون پروپیلیتیک دیده می شود. کوارتز با فراوانی کمتر از ۲ درصد و به صورت پراکنده در متن سنگ و در بعضی قسمت ها به صورت رگچه وجود دارد. دگرسانی آرژلیک در حاشیه و در مواردی اطراف کانی سازی به صورت ضعیف در محدوده اکتشافی دیده می شود. به طور کلی گسترش این زون در سطح متوسط است و به رنگ زرد دیده می شود. کانی های رسی ایجاد شده ناشی از دگرسانی فلدسپات ها در سنگ های ریولیتی و توف هاست.

۳۰ تا ۴۰ درصد است (شکل ۳-F). بیوتیت مونزونیت پورفیری تقریباً در مرکز منطقه کانی سازی مس کلاته نو رخنمون دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت پورفیری است و حاوی ۱۰ تا ۱۵ درصد فلدسپات پتاسیم دگرسان شده و ۳ درصد پلاژیو کلاز و ۳ تا ۵ درصد بیوتیت کلریتی شده است. دگرسانی سیلیسی (۵ تا ۷ درصد) و ۱ تا ۲ درصد سربیسیت در این توده دیده می شود. رخنمون های کوچکی از بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری در شمال منطقه و به شکل استوک وجود دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت پورفیری است. درشت بلورها در آن شامل ۲۰ درصد پلاژیو کلاز، بیوتیت ۱۰ درصد، فلدسپار پتاسیم ۱۰ تا ۱۵ درصد و کوارتز تا ۷ درصد است. آلکالی فلدسپار در حد ۵ تا ۷ درصد سربیسیتی و ۲ تا ۳ درصد آرژلیکی شده است. بیوتیت تا ۱۰ درصد به کلریت دگرسان شده است. کربنات ۲ تا ۳ درصد و سیلیسی شدن در زمینه ۵ تا ۷ درصد دیده می شود (شکل ۳-G).

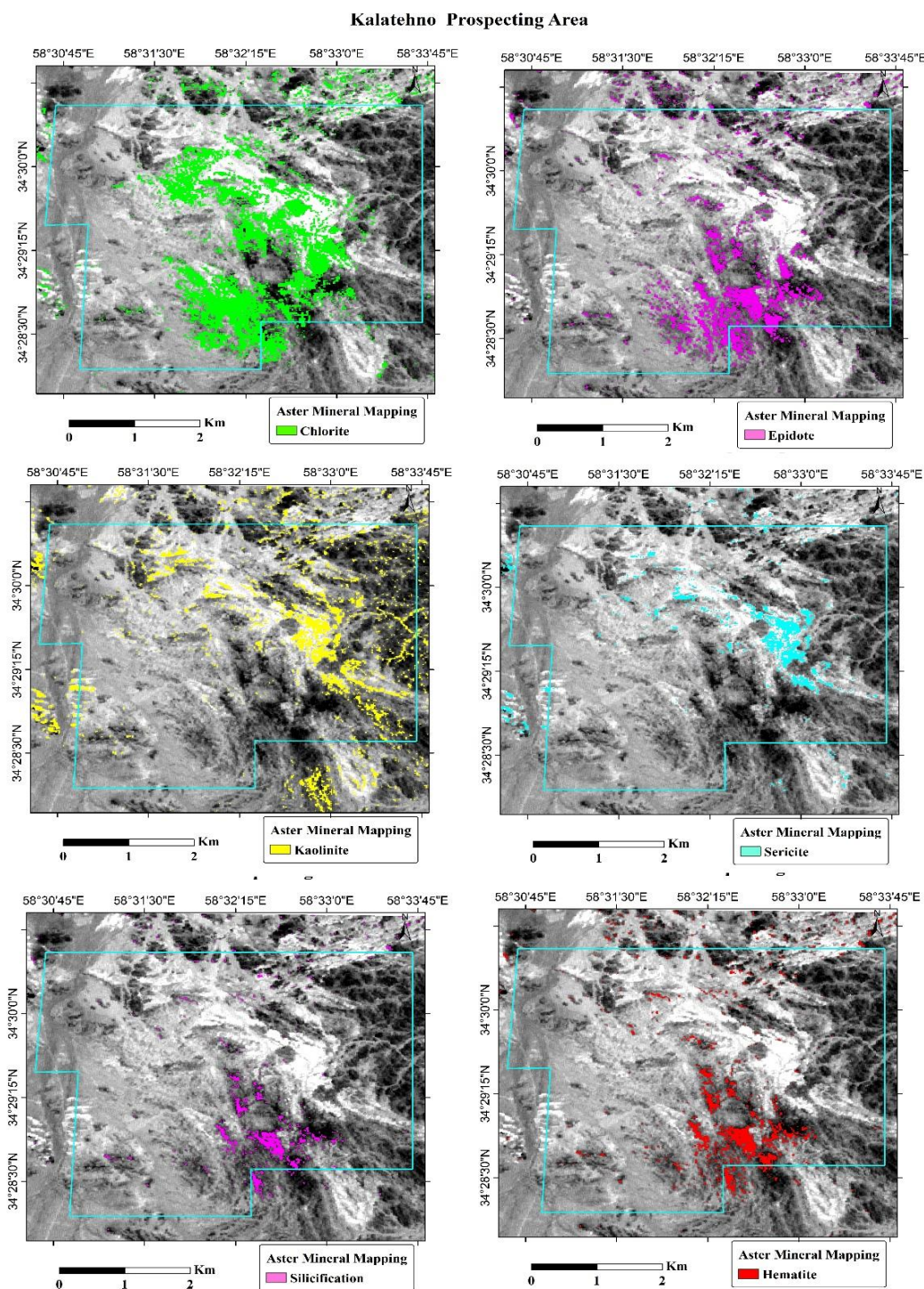
## دگرسانی

بر اساس پردازش تصویرهای ماهواره ای و بارزسازی کانی های حاصل از دگرسانی در محدوده اکتشافی کلاته نو (شکل ۴) و همچنین بررسی های صحرایی، دگرسانی منطبق بر سنگ های آتشفشانی و توده های نفوذی نیمه عمیق دیده می شود. این زون های دگرسانی شامل سیلیسی شدن و پروپیلیتیک و آرژلیک است (شکل ۴). حضور سیلیس به صورت پراکنده در زمینه، رگه، رگچه و همچنین بلوری (کوارتز شیری و آمیتیسیت) تقریباً تمام منطقه را پوشش می دهد. این زون دگرسانی، واحدهای سنگی توف، ریولیت، آندزیت، توده های نفوذی نیمه عمیق و واحدهای آتشفشانی اسیدی - حدواسط (به خصوص واحد ریولیتی شمال غرب منطقه) را تحت تأثیر قرار داده است. این دگرسانی شامل زیرزون های سیلیسی شدید، سیلیسی شدید + پروپیلیتیک شدید + آرژلیک ضعیف و سیلیسی شدید + اپیدوت است (شکل ۵ و شکل ۶-A و B). کانی مهم این زون ها شامل کوارتز، کلسیت، اپیدوت، کلریت، کانی های رسی و سربیسیت است. کلریت ناشی



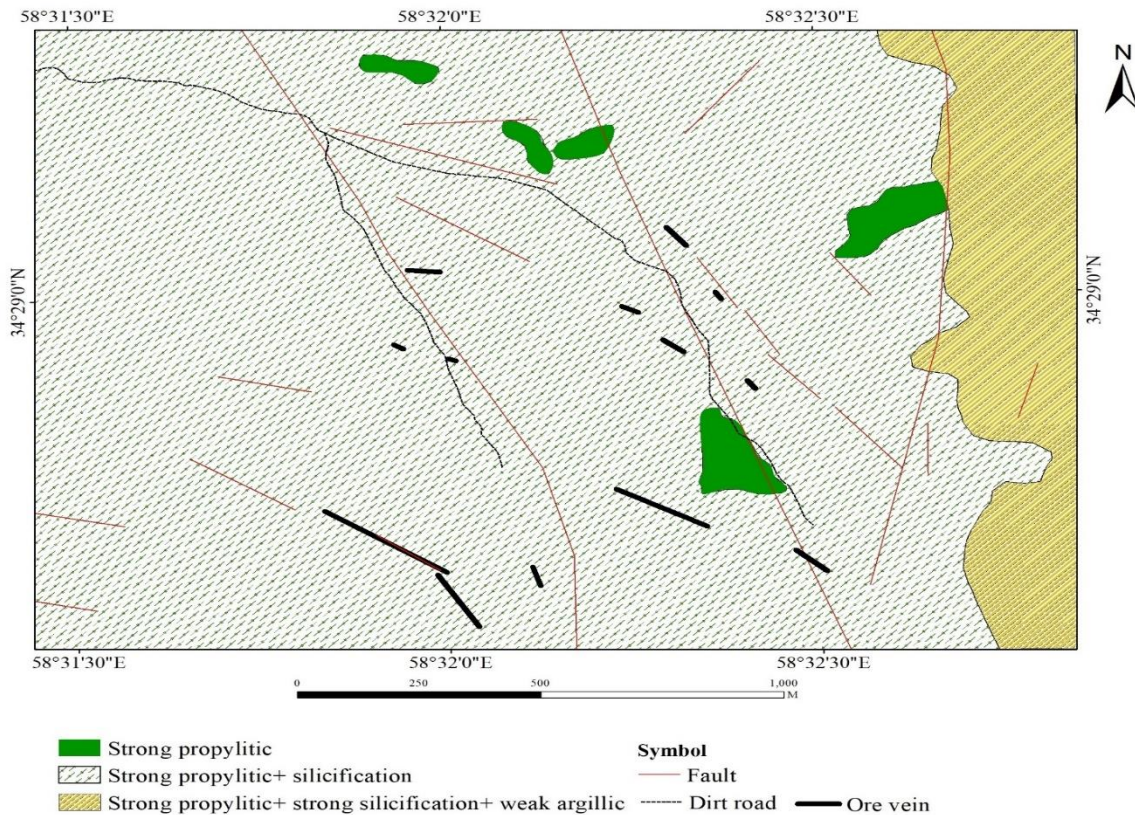
**شکل ۳.** A: نمایی از توپوگرافی واحدهای سنگی مختلف منطقه اکتشافی کلاته‌نو. (دید به جنوب‌غرب)، B: رخنمون واحد ریولیت (دید به شمال)، C: واحد تراکی آندزیت (دید به غرب)، D: تصویر میکروسکوپی از واحد تراکی آندزیت، E: تراکیت، F: بیوتیت گرانودیوریت پورفیری و G: بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری (همه تصویرها در نور XPL)، علائم اختصاری از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Qz: کوارتز، Pl: پلاژیوکلاز، Afs: آلکالی فلدسپار).

**Fig. 3.** A: A view of different rock types in Kalatehno prospecting area, B: Outcrop of rhyolite unite (view to the N), C: Trachyandesite unite (view to the W), D: Photomicrograph of trachyandesite, E: Trachyte, F: Biotite granodiorite porphyry, and G: Biotite quartz monzodiorite porphyry (All pictures in XPL light). Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Qz: quartz, Pl: Plagioclase, Afs: Alkali feldspar).



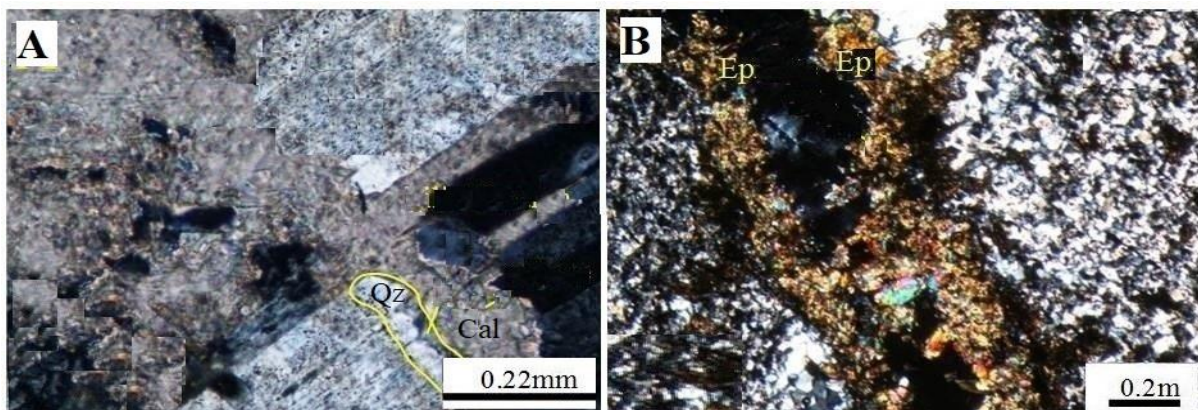
شکل ۴. تفکیک کانی های حاصل از دگرسانی در منطقه کلاته‌نو با استفاده از پردازش تصویرهای ماهواره‌ای آستر به روش پردازش زاویه طیفی (SAM)، مستطیل موقعیت منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

**Fig. 4.** Separation of minerals resulting from alteration in Kalatehno area by using Aster satellite image processing with Spectral Angle mapper method (SAM), the rectangle shows the location of the studied area.



شکل ۵. نقشه دگرسانی منطقه کلاته‌نو

Fig. 5. Alteration map of Kalatehno area



شکل ۶. تصویرهای میکروسکوپی از واحدهای سنگی در منطقه اکتشافی کلاته‌نو، A: بلور پلاژیوکلاز شکسته شده و توسط کلسیت پر شده است. در حاشیه پلاژیوکلاز کوارتز رشد کرده است و B: رگچه‌های اپیدوت در توف‌های شمال غرب منطقه کلاته‌نو (تصویرها در نور XPL)، علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقباس شده است (Ep: اپیدوت، Qz: کوارتز، Cal: کلسیت).

Fig. 6. Microscopic images of rock units in Kalatehno prospect area, A: The plagioclase crystal is broken and filled by calcite. Quartz has grown along the margin of plagioclase, and B: Epidote veins in the tuffs of the northwest Kalatehno. Images in XPL light, Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Ep: Epidote, Qz: Quartz, Cal: Calcite).

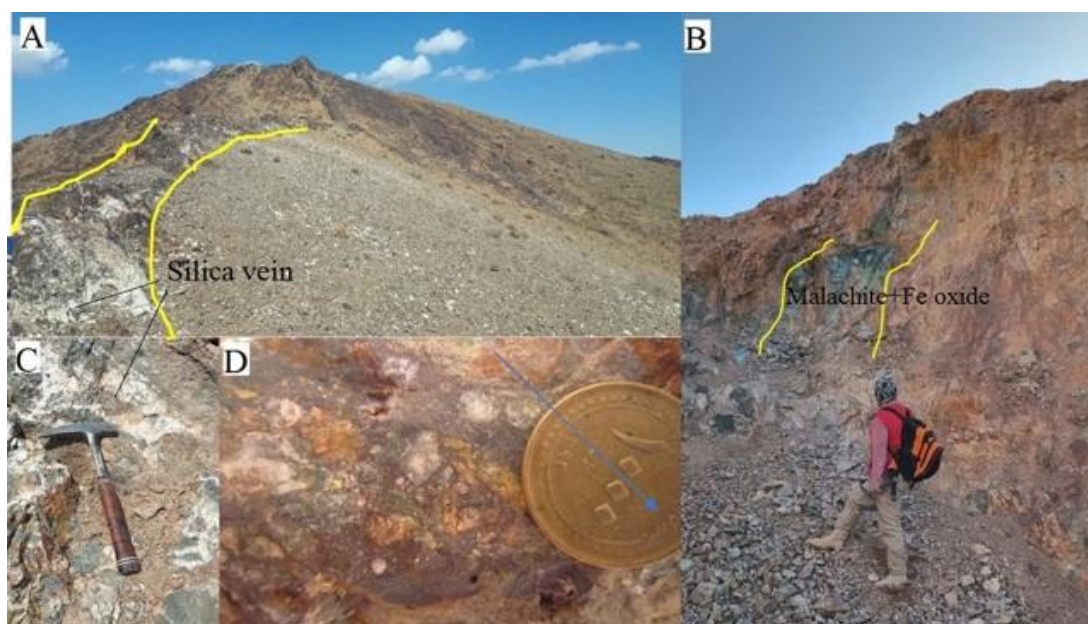
## کانی سازی

کانی سازی در این محدوده به صورت رگه ای و برش گرمابی مشاهده می شود. مهم ترین بخش کانی سازی در منطقه کلاته نو، کانی سازی در سنگ میزبان آذرآواری رخ داده است.

**کانی سازی رگه ای:** در محدوده مورد بررسی، از رگه های اصلی کانی سازی، رگه های سیلیسی کانه دار با روند تقریبی شمال غرب- جنوب شرق است و با ضخامت متوسط ۱ تا ۳ متر و طول حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر (شکل ۷- A، B و C) مشاهده می شود. در این رگه ها آغشتگی به اکسید آهن و همچنین کانی سازی مس شامل کانی های اولیه کالکوپیریت، بورنیت و پیریت و کانی های ثانویه شامل مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، کالکوسیت و اکسیدهای آهن قابل مشاهده است. دگرسانی سیلیسی و پروپیلیتیک عمده ترین دگرسانی اطراف رگه هاست. رگه ها اغلب در واحدهای آذرآواری و به میزان کمتر در واحدهای آتشفشانی تشکیل شده اند. تمامی این رگه ها در امتداد زون های گسلی و شکستگی ها

رخ داده اند. از دیگر رگه های سیلیسی کانه دار، رگه ای با روند شمال غرب- جنوب شرق در مرکز و جنوب محدوده اکتشافی رخنمون دارد. در این رگه نسبت به رگه های دیگر حضور گالن به وضوح مشاهده می شود. ضخامت آن ۰/۵ تا ۱ متر، طول حدود ۲۵۰ متر و شیب رگه قائم است. سنگ میزبان رگه واحد توف بلورین ریولیتی است. کانی های اولیه شامل گالن، کالکوپیریت، پیریت و کانی های ثانویه شامل مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، کالکوسیت و اکسیدهای آهن است. سنگ های دیواره در این منطقه دچار دگرسانی آرژلیک و پروپیلیتیک شده اند.

**برش گرمابی:** این زون حاوی قطعه های ریز و درشت زاویه دار از ۱ تا ۱۰ سانتی متر است. جنس این قطعه ها ریولیت و توف ریولیتی بوده که توسط کوارتز و کربنات، سیمانی شده است. کانی سازی پیریت در قطعه های برشی شده و اکسیدهای آهن و منگنز در سیمان بین قطعه ها دیده می شود. قطعه های برش به شدت دگرسانی شده اند و به رنگ های روشن دیده می شوند (شکل ۷- D).



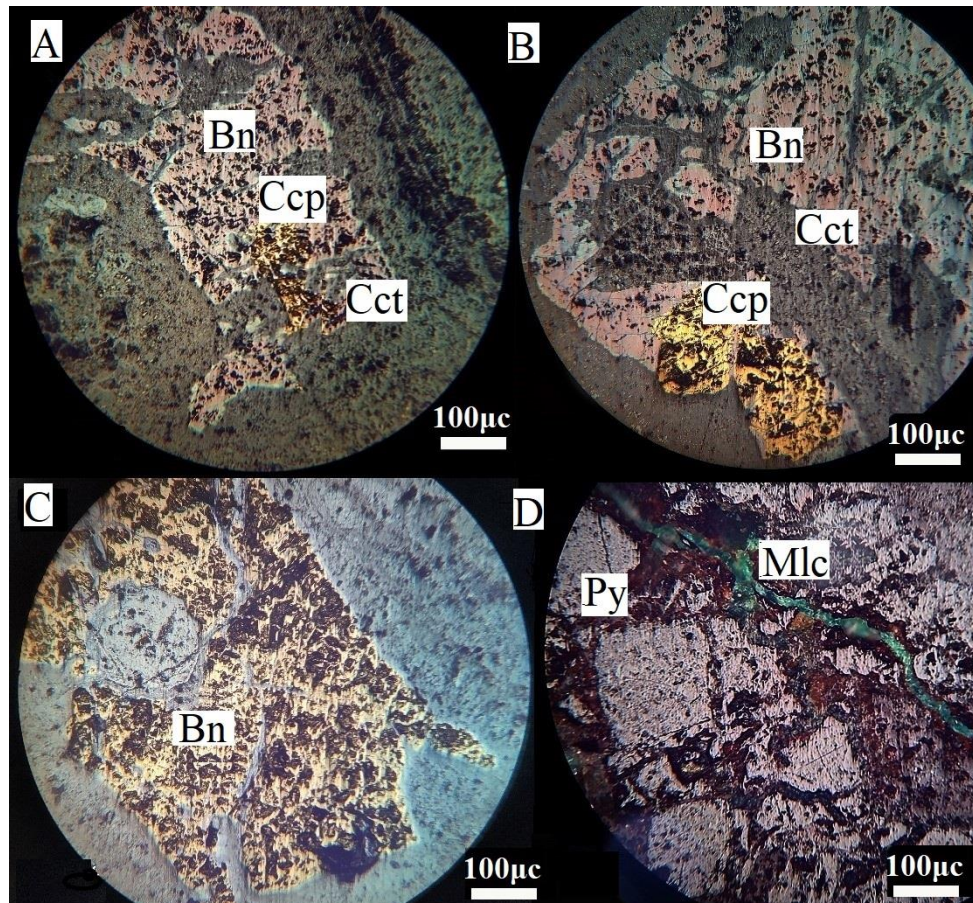
**شکل ۷.** نمایی از کانی سازی در منطقه اکتشافی کلاته نو، A، B و C: رگه های سیلیسی حاوی کانی سازی، عکس ها دید به سمت شمال غرب و D: کانی سازی پیریت و اکسیدهای آهن در زمینه برش گرمابی

**Fig. 7.** A view of mineralization in the Kalatehno prospect area, A, B and C: Quartz veins containing mineralization, (photos view to the NE), and D: Mineralization of pyrite and iron oxides in the hydrothermal breccia

## ترکیب کانی‌شناسی و بافت ماده معدنی

کانی‌های سولفیدی که در سطح دیده می‌شوند اغلب شامل کالکوپیریت، پیریت و گالن است. کانی‌های ثانویه شامل بورنیت،

کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، هماتیت و گوتیت هستند که در ادامه توصیف می‌شود (شکل ۸-A تا D و شکل ۹-D تا A).



شکل ۸. تصویرهای میکروسکوپی از کانی‌سازی در منطقه اکتشافی کلاته‌نو، A، B و C: تبدیل کالکوپیریت و بورنیت به کالکوسیت از حاشیه و D: کانی‌سازی پیریت و رگچه سیلیسی-مالاکیت-اکسید آهن (تصویرها در نور XPL). علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Ccp: کالکوپیریت، Bn: بورنیت، Py: پیریت، Mlc: مالاکیت، Cct: کالکوسیت).

**Fig. 8.** Microscopic images of mineralization in Kalatehno prospect area, A, B and C: Chalcopyrite and bornite altered to chalcocite from the border, D: Pyrite mineralization in silica-malachite-iron oxide vein, Images in XPL light, Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Ccp: Chalcopyrite, Bn: Bornite, Py: Pyrite, Mlc: Malachite, Cct: Chalcocite).

کلاته‌نو است (شکل ۸-A و B و شکل ۹-A). کالکوپیریت‌های تشکیل شده در این کانسار تحت تأثیر فرایندهای برون‌زاد به کانی‌های کالکوسیت، آزوریت، مالاکیت، کریزوکولا و

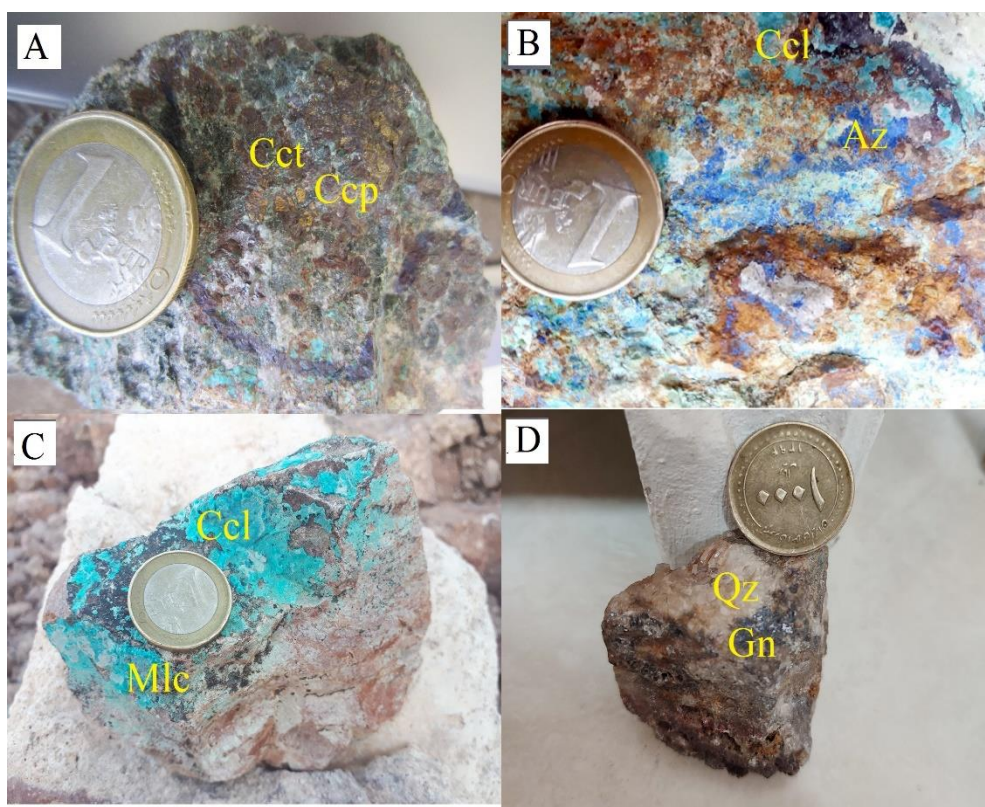
کالکوپیریت: این کانه در داخل رگه-رگچه‌های سیلیسی کانه دار، با توزیع ۲ تا ۳ درصد همراه با کوارتز دیده می‌شود. کالکوپیریت نخستین کانی سولفیدی مس تشکیل شده در کانسار

مشاهده می‌شود. این کانی به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و در اندازه‌های چند ده میکرون تا ۰/۳ میلی‌متر شناسایی شد (شکل ۸- D).

**گالن:** در رگه‌های سیلیسی کانه‌دار، در جنوب منطقه همراه با کالکوپیریت، پیریت و کانی‌های مالاکیت، کریزوکولا و اکسیدهای آهن است. بلورهای گالن به صورت تجمعی و شکل‌دار با درصد فراوانی ۳ تا ۵ درصد دیده می‌شود (شکل ۹- A تا D).

اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. **بورنیت:** کانی بورنیت در برخی موارد جانشین کالکوپیریت اولیه شده که وجود قطعه‌های شناوری از این کانی در داخل بورنیت نشان‌دهنده تقدم تشکیل کالکوپیریت نسبت به بورنیت است. کانی بورنیت از حاشیه به کالکوسیت تبدیل شده است (شکل ۸- A، B و C).

**پیریت:** پیریت با فراوانی ۷ تا ۱۰ درصد همراه با کانی‌های اکسیدی و کربناته و یا به تنهایی در رگه‌های سیلیسی کانه‌دار



**شکل ۹.** تصویرهایی از نمونه کانی‌سازی‌های موجود در منطقه اکتشافی کلاته‌نو. A: کالکوپیریت از حاشیه و یا به طور کامل به کالکوسیت تبدیل شده است، B: آزوریت، کریزوکولا همراه با کوارتز و اکسیدهای آهن، C: مالاکیت و کریزوکولا و گالن همراه با کوارتز. علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cct: کالکوسیت، Ccp: کالکوپیریت، Ccl: کریزوکولا، Az: آزوریت، Mlc: مالاکیت، Qz: کوارتز، Gn: گالن).

**Fig. 9.** Photographs of ores from the Kalatehno prospect area, A: Chalcopyrite has been altered to chalcocite from the margin or completely, B: Azurite, chrysocolla with quartz and iron oxides, C: malachite and chrysocolla, and D: galena with quartz, Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cct: Chalcocite, Ccp: Chalcopyrite, Ccl: Chrysocolla, Az: Azurite, Mlc: Malachite, Qz: Quartz, Gn: Galena).

**کوارتز:** مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی باطله است که به دو شکل سیلیسی شدن و رگه-رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی دیده می‌شود. ۷۵ تا ۹۰ درصد رگه-رگچه‌های سیلیسی کانه‌دار توسط کوارتز پر شده است. کوارتز به شکل آمیتیست نیز در منطقه دیده می‌شود که مربوط به نسل بعد از کانی‌سازی بوده و همراه با کانی‌سازی دیده نمی‌شود. توالی هم‌رزادی از کانه و کانی‌های باطله مشاهده شده در منطقه مورد بررسی در **شکل ۱۰** نشان داده شده است. در مرحله اول در اثر فرایند گسلش، فضای مناسب برای حرکت محلول‌های عمقی به بالا فراهم شده و کانی‌های کالکوپیریت، بورنیت و پیریت به همراه کوارتز در فضاهای خالی پهنه گسلی ته‌نشست کرده‌اند در مرحله بعد، پس از کانه‌زایی اولیه، تأثیر هوازدگی در رخنمون‌های سطحی، بین کانه‌ها و محیط پیرامون، موجب تبدیل کانی‌های اولیه به کانی‌های ثانویه از جمله کالکوسیت، مالاکیت و کریزوکولا به علاوه اکسید و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، هماتیت و لیمونیت) شده است.

**مالاکیت، آزوریت و کریزوکولا:** مالاکیت از فراوان‌ترین کانی‌ها در بخش‌های سطحی رگه‌های این محدوده است و در امتداد شکستگی‌ها تا مناطق عمیق‌تر دیده می‌شود (شکل‌های B-۷، A-۸ و D و C-۹). مالاکیت در نمونه دستی به رنگ سبز و جلای شیشه‌ای و مات مشاهده می‌شود. فراوانی این کانی ۴ تا ۵ درصد است. آزوریت و کریزوکولا از دیگر کانی‌های مس‌دار است که معمولاً با مالاکیت دیده می‌شود (شکل B-۹ و C). مقدار کریزوکولا کمتر از مالاکیت در حد ۱ تا ۳ درصد است. آزوریت با فراوانی بسیار کمتر (کمتر از ۱ درصد) نسبت به مالاکیت همراه با این کانی دیده می‌شود.

**هیدروکسیدها و اکسیدهای آهن:** اکسیدهای آهن شامل هماتیت، گوتیت و لیمونیت از تبدیل کانی‌های سولفیدی به ویژه پیریت شکل گرفته‌اند. اکسیدهای آهن فراوان‌ترین کانی ثانویه در منطقه اکتشافی است (شکل‌های B-۷ و D و A-۸).

**اکسیدهای منگنز:** منگنز در سطح به صورت پراکنده و در امتداد شکستگی‌ها و به رنگ قهوه‌ای و سیاه دیده می‌شوند.

Mineral	Early stage	Late stage	Oxidation zone
Quartz	—————		
Chalcopyrite	—————		
Bornite	—————		
Pyrite	—————		
Galena	—————		
Chalcocite			—————
Malachite			—————
Chrysocolla			—————
Azurite			—————
Fe oxide			—————

شکل ۱۰. توالی هم‌یافت در محدوده اکتشافی کلاته‌نو

Fig. 10. Mineral paragenesis in the Kalatehno prospect area



دیگر بافت های مشاهده شده در محل رگه اصلی کانی سازی در منطقه مورد بررسی است. این بافت در حاشیه کانی کوارتز به همراه کانی سازی هماتیت + مالاکیت تشکیل شده است (شکل ۱۱-B). بافت جانیشینی ثانویه بر اثر فرایند سوپرژن در سطح و تبدیل کانی های کالکوپیریت و بورنیت به کانی های کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت ایجاد شده است (شکل ۸-A، B و C). بافت جانیشینی ثانویه در پیریت نیز در اثر تبدیل به اکسیدهای آهن رخ داده است (شکل ۸-D).

کانی سازی در منطقه مورد بررسی در قالب ساخت و بافت های پرکننده فضای خالی (شکل های ۷-A و ۸-D)، بافت های کلوئیدی شامل قلوهای و گل کلمی (شکل ۱۱-A و B) و جانیشینی ثانویه مشاهده می شود (شکل ۸-A و B). عمده کانی زایی سولفیدی به صورت پرکننده فضای خالی صورت گرفته است. در بخش های اکسیدان، پیریت ها اغلب به گوتیت و هماتیت تبدیل شده اند. بافت قلوهای شکل در مالاکیت بر اثر هوازدگی کانی های سولفیدی و اکسیدهای آهن ایجاد شده است (شکل ۹-A). بافت کلوئیدی از



شکل ۱۱. تصویرهایی از انواع بافت در منطقه اکتشافی کلاته نو A: مالاکیت و کریزوکولا با بافت قلوهای و B: بافت کلو فرم در رگه حاوی کانی سازی  
**Fig. 11.** Photographs from different texture in Kalatehno prospect area A: Malachite-chrysocolla mineralization in the form of colloform texture, and B: colloidal texture in the mineralization vein

### زمین شیمی

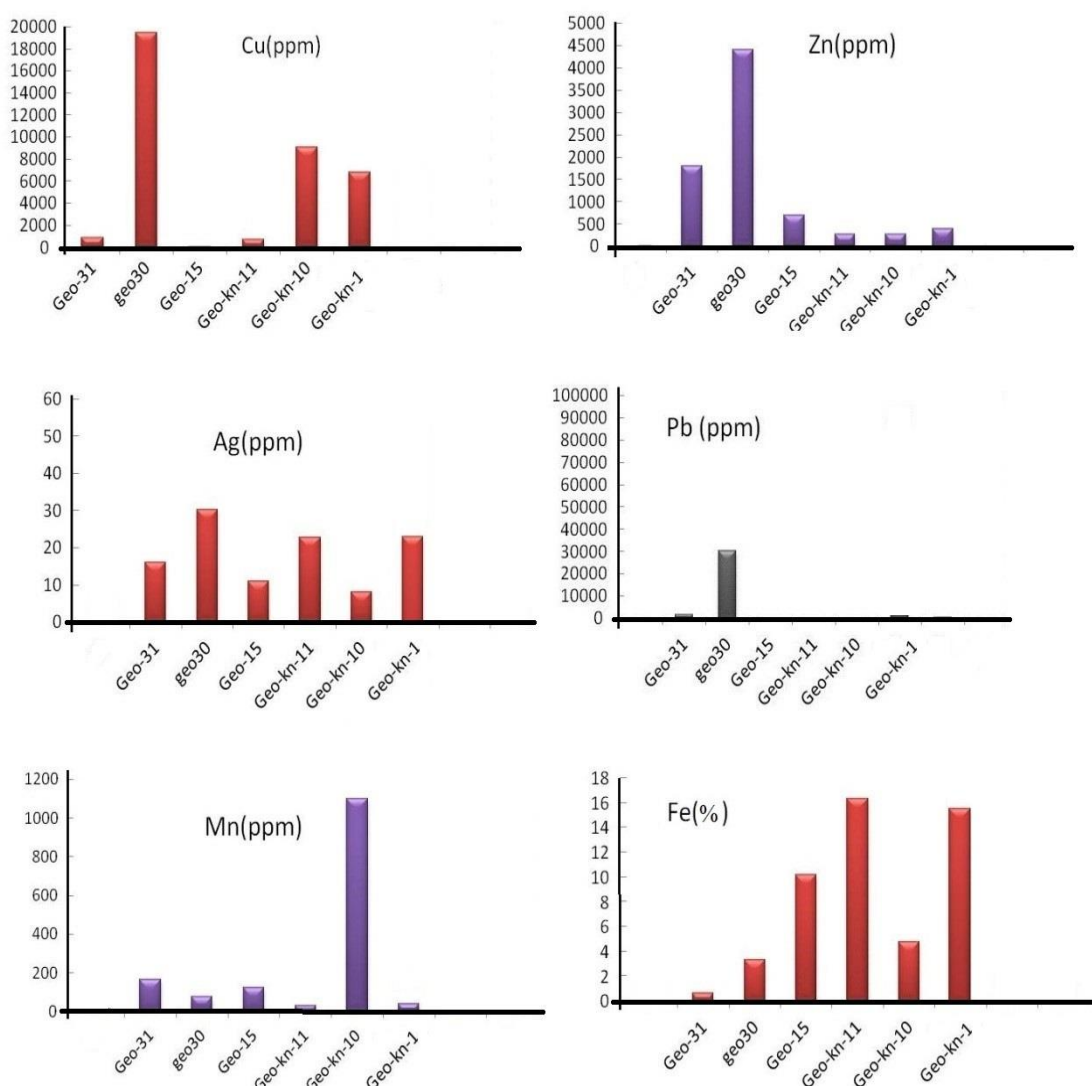
نمونه دستی و بررسی های کانه نگاری در رگه های کانه دار، ۶ نمونه به روش AAS مورد آنالیز قرار گرفته است (جدول ۱).

با توجه به مشاهده کانی سازی سولفیدی، اکسیدی و کربناته در مس: مقدار زمینه عنصر مس در سنگ های آتشفشانی اسیدی تا

مافیک متوسط ۱/۴ تا ۳۶ گرم در تن است (Nassar et al., )

در تن است (Nassar et al., 2022). محدوده تغییرات غلظت عنصر سرب از ۶۲/۸ تا ۳۰۴۰۰ گرم در تن و عنصر روی از ۲۵۸ تا ۱۸۰۰ گرم در تن متغیر است. (جدول ۱ و شکل ۱۲). حضور ناهنجاری سرب مربوط به حضور کانی گالن در رگه سیلیسی کانه‌دار واقع جنوب منطقه اکتشافی است (شکل ۴). ناهنجاری روی نیز در همین منطقه مشاهده می‌شود.

غلظت عنصر مس در منطقه اکتشافی بین ۷۵۲ تا ۱۹۵۰۰ گرم در تن متغیر است (جدول ۱ و شکل ۱۲). محتوی مس به علت وجود کانی‌های کالکوپیریت، بورنیت و فراوانی مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا و به مقدار کمتر کالکوسیت در رگه‌هاست. **سرب و روی:** در سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا مافیک مقدار زمینه عنصر سرب بین ۱۶ تا ۵/۲ و محتوی روی بین ۴۶ تا ۷۳ گرم



شکل ۱۲. هیستوگرام محتوی عناصر در منطقه مورد بررسی کلاته‌نو

Fig. 12. Histograms of Cu, Zn, Ag, Pb, Mn and Fe in Kalatehno study area

زون های کششی رخ می دهند؛ در حالی که سنگ های نفوذی اسیدی تا حدواسط همراه با مس رگه ای، اغلب در محیط های مربوط به فرورانش و جزایر کمانی رخ می دهند، به ویژه آنهایی که با ذخایر مس پورفیری مرتبط هستند. در بیشتر ذخایر مس رگه ای نوع همراه با توده های مافیک، کالکوپیریت کانه اصلی است. بورنیت، تتراهدريت، کولیت، و گالن در برخی از ذخایر به مقدار جزئی وجود دارد. پیریت اصلی ترین کانه گانگ مرتبط است. علاوه بر آن پیرویت، کوارتز، کلسیت، دولومیت، آنکريت و هماتیت هم دیده می شود. کانی های اصلی در ذخایر مس رگه ای مرتبط با توده های فلسیک و نفوذی حدواسط متنوع تر بوده و شامل کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، انارژیت، تتراهدريت-تانتیت، بیسموتینیت، مولیدنیت، اسفالریت، طلا و الکتروم است. کانی های گانگ مرتبط شامل پیریت، پیرویت، مگنتیت، هماتیت، کوارتز، فلدسپات پتاسیم، اپیدوت، کلسیت، آنکريت، سیدریت، کلریت، سریسیت و کانی های رسی است. انواع اصلی دگرسانی در مس رگه ای نوع چرچیل کربناتی و سیلیسی شدن است. دگرسانی سریسیتیک، کلریتی و اپیدوت در ذخایر مس رگه ای مرتبط با نفوذهای فلسیک تا حدواسط دیده می شود (Eckstrand et al., 1996). فرایند مخلوط شدگی سیال نقشی مهم در ته نشست کانی های فلزی در ذخایر گرمابی دارد (Fan et al., 2013; Gu et al., 2011; Zhai et al., 2013). کانی سازی مس رگه ای در منطقه اکتشافی کلاته نو، درون واحدهای آتشفشانی با روند غالب شمال غرب- جنوب شرق رخ داده است (شکل ۲). سنگ های آتشفشانی در محدوده ریولیت، تراکیت، تراکی آندزیت و سنگ های آذر آواری (توف و لیتیک توف) بوده که توده های نیمه عمیق بیوتیت مونزودیوریت پورفیری، دیوریت پورفیری و کوارتز مونزویت پورفیری آنها را قطع می کنند. کانی شناسی رگه ها شامل کوارتز، کانی های اولیه سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت و گالن) و کانی های ثانویه (مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا و اکسیدهای آهن) است. با توجه به موقعیت توده نسبت به کانی سازی، احتمالاً توده مرتبط با کانی سازی در منطقه

**نقره:** مقدار این عنصر از ۸ تا ۳۰/۳ گرم در تن متغیر است. انطباق بین این عنصر و محتوی سرب و روی در نمونه Geo30 مشاهده می شود.

**آهن:** محدوده تغییرات این عنصر بین ۰/۶۷ تا ۱۶/۳۹ درصد است (جدول ۱). حضور ناهنجاری آهن که در رگه حاوی کانی سازی مس دیده می شود، به صورت کانی های ثانویه هماتیت، گوتیت و ... دیده می شود. کانی های سولفیدی مانند کالکوپیریت و پیریت درون سنگ میزبان دگرسان شده و کانی های ثانویه آهن دار ایجاد شده اند.

**طلا:** مقدار زمینه عنصر طلا در سنگ های آذرین حدواسط ۵ میلی گرم در تن است (Nassar et al., 2022). غلظت عنصر طلا در نمونه های کانه دار بین ۱۱ تا ۹۵ میلی گرم در تن متغیر است (جدول ۱) که احتمالاً در ارتباط با کانی های سولفیدی است.

**منگنز:** بیشینه غلظت عنصر منگنز به ۱۱۰۰ گرم در تن می رسد که به دلیل حضور اکسیدهای منگنز است.

### بحث و نتیجه گیری

ذخایر مس رگه ای شامل ذخایر متنوعی است که در آنها مس، فلز غالب است. این نهشته ها کنترل ساختاری دارند و در گسل ها، سامانه های گسلی و زون های رگه- برش رخ می دهند. این ذخایر معمولاً کوچک هستند؛ اما از نظر اندازه و عیار بسیار متنوع هستند. اگرچه نهشته های مس رگه ای در ارتباط با بسیاری از سنگ های میزبان مختلف و در موقعیت های زمین شناسی متنوع رخ می دهند؛ اما دو زیر گروه اصلی شناسایی شده اند که بر اساس سنگ های نفوذی مرتبط تقسیم بندی می شوند. این ذخایر لزوماً در همه موارد در این سنگ های نفوذی وجود ندارند؛ اما احتمالاً از نظر ژنتیکی با آنها مرتبط هستند. زیر گروه اول شامل ذخایر مس رگه ای مرتبط با سنگ های نفوذی مافیک (گابرو و بازالت) است. زیر گروه دوم شامل ذخایر مس رگه ای همراه با نفوذهای متوسط تا فلسیک، از جمله برخی از نفوذی های مربوط به ذخایر مس پورفیری است. ذخایر مس رگه ای نوع چرچیل اغلب در محیط زمین ساختی

جهت بررسی ارتباط هاله پروپیلیتیکی و فاصله آن از یک سامانه پورفیری و حتی اندازه سامانه پورفیری می‌تواند کمک اکتشافی بسیار خوبی باشد. نتایج تجزیه زمین‌شیمیایی نمونه‌های خرده‌سنگی از زون کانی‌سازی در منطقه کلاته‌نو، نشان‌دهنده پتانسیل برای عناصر مس، سرب و روی است. عواملی مانند کانه‌های موجود و بافت، نوع و گسترش دگرسانی، کنترل‌های ساختاری و دما و شوری پایین سیال کانه‌دار (Zirjanizadeh, 2015)، نشان‌دهنده سامانه کانی‌سازی مس رگه‌ای است که در طول پهنه گسلی شکل گرفته است.

### تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان بیان نشده است.

توده‌های پورفیری با ترکیب مونزودیوریت پورفیری است. دگرسانی رخ داده در منطقه شامل دگرسانی سیلیسی، پروپیلیتیک و آرژیلیک است. دگرسانی فراگیر گرمابی، پروپیلیتیک است که اغلب بر سنگ‌های آتشفشانی تأثیر گذاشته است و شامل کانی‌های اپیدوت، کلریت، کربنات و مقادیر کم کوارتز است. دگرسانی پروپیلیتیک، معمولاً به عنوان هاله بیرونی بسیاری از کانسارهای پورفیری Cu-Au-Mo (Lowell and Guilbert, 1970; Seedorf et al., 2005; Sillitoe, 2010) ایجاد می‌شود. کوک و همکاران (Cooke et al., 2020) نشان دادند که محتوای As و Sb اپیدوت در نهشته‌های پورفیری بزرگ یک یا چند مرتبه از مقدار آن در اپیدوت در نهشته‌های پورفیری کوچک بیشتر است. اپیدوت دگرگونی با As و Sb بسیار کم (معمولاً زیر حد تشخیص) مشخص می‌شود؛ لذا بررسی عناصر کمیاب اپیدوت

## References

- Aghanabati, S.A., 2004. Geology of Iran, Geological Survey of Iran, Tehran, 586 pp.
- Alavi, M., 1991. Sedimentary and Structural Characteristics of the Paleo-Tethys Remnants in Northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin, 103(8): 983–992.  
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1991\)103<0983:SASCOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1991)103<0983:SASCOT>2.3.CO;2)
- Arjmandzadeh, R. and Santos, J.F., 2014. Sr-Nd isotope geochemistry and tectonomagmatic setting of the Dehsalm Cu-Mo porphyry mineralizing intrusive from Lut Block, eastern Iran. Int. Journal of Earth Sciences, 103: 123–140. <https://doi.org/10.1007/s00531-013-0959-4>
- Bemani, M., Zirjanizadeh, S. and Miri Beydokhti, R., 2023. satellite image processing for extraction of alterations with mineralogy and field studies Kalateh No Copper Deposit, northwest of Gonabad, Razavi Khorasan province, 15<sup>th</sup> Symposium of Iranian Society of Economic Geology, University of Damghan, Damghan, Iran.
- Cooke, D.R., Wilkinson, J.J., Baker, M., Agnew, P., Phillips, J. and Chang, Z., 2020. Using mineral chemistry to aid exploration: A case study from the resolution porphyry Cu-Mo deposit, Arizona. Economic Geology, 115(4): 813–840. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4735>
- Eckstrand, O.R., Sinclair, W.D. and Thorpe R.I., 1996. Geology of Canadian mineral deposit types, Canada Communication Group, Ottawa, 650 pp.
- Fan, H.R., Hu, F.F., Wilde, S.A., Yang, K.F. and Jin, C.W., 2011. The Qiyugou gold-bearing breccia pipes, Xiong'er shan region, central China: Fluid-inclusion and stable-isotope evidence for an origin from magmatic fluids. International Geology Reviews, 53(1): 25–45. <https://doi.org/10.1080/00206810902875370>
- Ghaemi, F. and Shahrivar, H., 2004, Geological Map of Gonabad, scale 1:100000, geological survey of Iran.
- Gu, L.X., Wu, C.Z., Zhang, Z.Z., Franco, P., Ni, P., Chen, P.R. and Xiao, X.J., 2011. Comparative study of ore-forming fluids of hydrothermal copper-gold deposits in the lower Yangtze River Valley, China. International Geology Reviews, 53(5–6): 477–498. <https://doi.org/10.1080/00206814.2010.533873>
- Javidi Moghaddam, M., Karimpour, M.H., Ebrahimi Nasrabadi, K., Haidarian Shahri, M.R. and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2018. Mineralogy, Geochemistry, Fluid Inclusion and Oxygen Isotope Investigations of Epithermal Cu ± Ag Veins of the Khur Area, Lut Block, Eastern Iran. Acta Geologica Sinica, 92(3): 1139–1156. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.13596>
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Heydarian, M.R. and Askari, A., 2007. Mineralization, alteration and geochemistry of Hired gold-tin prospecting area, South Khorasan province. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 15(1): 67–90. Retrieved January 15, 2024 from <https://ijcm.ir/article-1-662-en.pdf>
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Lang Farmer, G. and Stern, C.R., 2012a. U-Pb zircon geochronology, Sr-Nd isotopic characteristics, and important occurrence of Tertiary mineralization within the Lut block, eastern Iran. Journal of Economic Geology, 4(1): 1–27. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/econg.v4i1.13391>
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Stern, C.R. and Farmer, L., 2012b. Petrogenesis of Granitoids, U-Pb zircon geochronology, Sr-Nd isotopic characteristic, and important occurrence of Tertiary mineralization within the Lut Block, eastern Iran. Journal of Economic Geology 4(1): 1–27. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/econg.v4i1.13391>
- Lowell, J.D. and Guilbert, J.M., 1970, Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposit. Economic Geology, 65(4): 373–408. <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.65.4.373>
- Malekzadeh Shafaroudi, A., 2009. Geology, mineralization, alteration, geochemistry, microthermometry, radiogenic isotopes, petrogenesis of intrusive rocks and determination of source of mineralization in Maherabad and Khopik prospect area, South Khorasan Province, Unpublished Ph.D. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 536 pp.
- Malekzadeh Shafaroudi A. and Karimpour M.H., 2015. Mineralogic, fluid inclusion, and sulfur isotope evidence for the genesis of Sechangi lead-zinc (–copper) deposit, Eastern Iran. Journal of African Earth Sciences, 107: 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.03.015>

- Malekzadeh Shafaroudi, A. and Karimpour, M.H., 2013. Geology, Mineralization, and Fluid Inclusion Studies of the Howz-e-Rais Lead-Zinc-Copper Deposit, Eastern Iran. *Advanced Applied Geology*, 2(4): 63-73. (in Persian with English abstract) Retrieved August 17, 2024 from [https://aag.scu.ac.ir/article\\_11587.html?lang=en](https://aag.scu.ac.ir/article_11587.html?lang=en)
- Mehrabi, B., Tale Fazel, E. and Nokhbatolfoghahaie, A., 2011. The role of magmatic and meteoric water mixing in mineralization of Shurab polymetal ore deposit South of Ferdows: isotope geochemistry and microthermometry evidences, *Iranian journal of mineralogy and crystallography*, 19(1): 121–130. (in Persian with English abstract). Retrieved January 15, 2024 from <http://ijcm.ir/article-1-472-en.html>
- Miri Beydokhti, R., Karimpour, M.H. and Mazaheri, S.A., 2014. Studies of remote sensing, geology, alteration, mineralization and geochemistry of Balazard copper-gold prospecting area, west of Nehbandan. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 22(3): 459–470. (in Persian with English abstract) Retrieved March 15, 2021 from <http://ijcm.ir/article-1-227-fa.html>
- Miri Bydokhti, R., Karimpour, M.H., Mazaheri, S.A., Santos, J.F. and Klötzlid, U., 2015. U–Pb zircon geochronology, Sr–Nd geochemistry, petrogenesis and tectonic setting of Mahoor granitoid rocks (Lut Block, Eastern Iran), *Journal of Asian Earth Sciences*, 111: 192–205. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.07.028>
- Nassar, N. T., Lederer, G.W., Brainard, J.L., Padilla, A.J. and Lessard, J.D., 2022, Rock-to-Metal Ratio: A Foundational Metric for Understanding Mine Wastes. *Environmental Science & Technology*, 56(10): 6710–6721. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c07875>
- Seedorf, E., Dilles, J.H., Proffett, J.M., Einaudi, M. T., Zurcher, L., Stavast, W.J.A., Johnson, D.A. and Barton, M.D., 2005 .Porphyry deposits: characteristics and origin of hypogene features. *Economic Geology 100th Anniversary*, 251–298. <https://www.researchgate.net/publication/284048433>
- Sillitoe, R.H., 2010. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105(1): 3–41.
- 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>
- Zhai, D.G., Liu, J.J., Wang, J.P., Yao, M.J., Wu, SH., Fu, C., Liu, Z.J., Wang, S.G. and Li, Y.X., 2013. Fluid evolution of the Jiawula Ag-Pb-Zn deposit, Inner Mongolia: mineralogical, fluid inclusion, and stable isotopic evidence. *International Geology Reviews*, 55(2): 204–224. <https://doi.org/10.1080/00206814.2012.692905>
- Zirjanizadeh, S., 2015, Mineralogy, geochemistry and petrogenesis igneous rocks in the northwest of Gonabad, Ph.D. thesis, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran, 259 pp.
- Zirjanizadeh, S., Karimpour, M.H., Ebrahimi Nasrabadi, Kh. and Santos, J.F., 2016. Petrography, Geochemistry and Petrogenesis of Volcanic Rocks, NW Gonabad, Iran. *Journal of Economic Geology* 8(1): 265–282. <https://doi.org/10.22067/econg.v8i1.48865>