



## Metallogeny of Manto-type copper deposits in the northwest and west of Bardaskan, Razavi Khorasan with a special view in Nasim, Mes-e-Sorkh and Zarmehr mines

Ali Sheykhi <sup>1\*</sup>, Mohammad Hassan Karimpour <sup>2</sup> , Ali Asghar Sepahi <sup>3</sup> , Behnam Rahimi <sup>4</sup>

<sup>1</sup> M.Sc., Parsikankav Company, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Geology and Research Center for Ore Deposit of Eastern Iran, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; Department of Geological Sciences, University of Colorado, Boulder, U.S.A

<sup>3</sup> Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>4</sup> Professor, Department of Geology and Research Center for Ore Deposit of Eastern Iran, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article History

Received: 15 January 2025

Revised: 25 March 2025

Accepted: 07 May 2025

#### Keywords

Conglomerate

Origin of elements

Solution chemistry

Alteration

Bardaskan

#### \*Corresponding author

Ali Sheykhi

✉ [ali.sheykhi2022@gmail.com](mailto:ali.sheykhi2022@gmail.com)

### ABSTRACT

Manto-type copper mines in the Bardaskan-Doruneh metallogenic belt are located in the northwest and west of Bardaskan, Razavi Khorasan province. Hydrothermal solution has a special chemistry, including rich of copper and poor of gold, silver, lead, zinc, iron and silica compared to porphyry copper, IOCG and massive sulphide deposits. Misunderstanding of solution chemistry and paragenesis is lead to challenging the origin of elements. Majority of the units from the belt are Tertiary volcanic rocks with a spectrum of basalt, basaltic andesite, trachyandesite and andesite, associated with sedimentary and evaporite units such as conglomerate, limestone, siltstone and gypsiferous marls. Also, some intrusive units are sometimes visible as dyke and stock. There are more than ten active mines in the region. The main host-rock of mineralization is conglomerate. The conglomerate is a database and a treasure, containing information about rock units, alteration and mineralization pre-formation, and provides a suitable environment for mineralization post-formation due to porosity. The conglomerate unit is different in size, material and cement. The most important sulphide mineral is chalcocite. Various alterations have been formed during different times and can be investigated in two groups and at least three stages in the region: the first group occurred pre-formation of the conglomerate, the second group occurred post-formation of the conglomerate and especially alterations created syn- and related to mineralization.

### How to cite this article

Sheykhi, A., Karimpour, M.H., Sepahi, A.A. and Rahimi, B., 2025. Metallogeny of Manto-type copper deposits in the northwest and west of Bardaskan, Razavi Khorasan with a special view in Nasim, Mes-e-Sorkh and Zarmehr mines. *Journal of Economic Geology*, 17(1): 53–80. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/econg.2025.1137>



©2025 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 Bardaskan-Doruneh copper belt that is located on the volcanic belt related with subduction zone includes numbers of Manto-type copper mines such as Zangalu, Zarmehr, Kooch-Siah, Kimia, Mehr-Ajin, Mes-e-Sorkh, Cheshme Hadi, Nasim, Cheshme Marzieh and many cases of mineral areas with the northeast-southwest direction. Host rock is conglomerate. According to the studies on different types of Manto-type copper deposits, mineralization is younger than volcanic activities, conglomerate and limestone units. Mineralization is controlled by lithology and the thickness and grade of ore increase in fault boundaries.

### Materials and Methods

This study was done in two parts: field studies and laboratory works. During 60 km, field operations were carried out in the region. Works include field surveying and searching in the study area that important indicators for mineralization were controlled and tectonic structures were investigated. Samples were taken from rock units and mineralization for microscopic studies. Drilling cores in different mines were visited and studied. Mineralization, grade changes and host rock were investigated in the mining pits of the region.

### Discussion and Results

There are two types of conglomerate with two different ages in the area: The Pliocene-Pleistocene conglomerate is the extensive sedimentary unit in the study area. Paleocene-Eocene conglomerate is the most important rock unit related to Manto-type

copper deposits in the Bardaskan as the host rock for mineralization. Volcanic activities and rocks in the study area were formed in non-marine conditions because no sedimentary units were formed in the sequence of volcanic rocks and also volcanic rocks did not show the structure and texture of formation in sea environment. During formation of Conglomerate, environment was erosive and water erosion (rivers) was lead to the formation of conglomerate. lithological units are eroded and transported by water, and finally the conglomerate rock unit is formed, and the environment gradually turns into the sea and nomulitic limestone is formed. Conglomerate is a database that show information and evidences of rock units and alterations before the erosion period and this unit had been the best choice for circulation of ore solution for mineralization due to its porosity. The conglomerate contains rounded fragments of andesite, pyroxene andesite, trachyandesite, basalt and basaltic andesite, and also fragments of intrusive and sedimentary units. At the base, the conglomerate cement is made of volcanic units, and it becomes carbonate cement towards the upper parts.

All phenomena in the conglomerate, especially alteration, are not related to the time of mineralization.

### Acknowledgments

This Research has been done with financial support of the vice President for Research and Technology Ferdowsi University under Project No.59745/3. We would like to thank Mr Engineer Zarin Far and Mr Dr Kazemi, and to my friends at Komeh Madan Pars Company, Parsi-Kan Kav Company, Mehad Company and Zarmehr Tehran-Oxin Company for cooperating this research.



## متالورژی کانسارهای مس مانتو در شمال غرب و غرب بردسکن، خراسان رضوی با نگاهی ویژه به مجموعه کانسارهای مس نسیم، مس سرخ و مس زرمهر

علی شیخی<sup>۱\*</sup>، محمدحسن کریم‌پور<sup>۲</sup>، علی اصغر سپاهی‌گرو<sup>۳</sup>، بهنام رحیمی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، شرکت پارس کان‌کاو، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران؛ دانشکده علوم زمین، دانشگاه کلرادو، بولدر، آمریکا

<sup>۳</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران؛ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

<sup>۴</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

مجموعه معادن مس نوع مانتو کمر بند متالورژی بردسکن - درونه در شمال غرب و غرب شهرستان بردسکن، استان خراسان رضوی واقع شده است. محلول گرمابی شیمی خاص دارد، غنی از مس است و در مقایسه با کانسارهای مس پورفیری، IOCG و سرب و روی ماسیو سولفید، فقیر از طلا، نقره، سرب و روی، آهن و سیلیس است. درک اشتباه از شیمی محلول و هم‌یافت موجب به چالش کشیدن منشأ عناصر می‌شود. غالب واحدهای این کمر بند سنگ‌های آتشفشانی ترشیری با طیف ترکیبی بازالت، آندزیت بازالت، تراکی آندزیت و آندزیت هستند که با واحدهای رسوبی و رسوبی تبخیری همچون کنگلومرا، سنگ آهک، سیلتستون و مارن‌های گچی همراه شده‌اند. در منطقه مورد بررسی، بیش از ده معدن فعال وجود دارد. میزبان اصلی کانه‌زایی در کانسارهای نوع مانتوی این منطقه کنگلومرا بانک اطلاعاتی و گنجینه‌ای است که قطعه‌های تشکیل دهنده آن، هم حاوی اطلاعاتی از واحدهای سنگی، دگرسانی و کانه‌زایی قبل از تشکیل است و هم به واسطه تخلخل، محیطی مناسب برای تشکیل کانسار فراهم کرده است. کنگلومرا از نظر اندازه قطعه‌ها، جنس قطعه‌ها و سیمان متفاوت است. مهم‌ترین کانی سولفیدی کالکوسیت است. دگرسانی‌های متنوعی در منطقه و در طول زمان‌های مختلف شکل گرفته است. این دگرسانی‌ها در دو گروه و دست کم سه مرحله زمانی قابل بررسی هستند: گروه اول، دگرسانی‌هایی که قبل از تشکیل کنگلومرا ایجاد شده است. گروه دوم شامل دگرسانی‌هایی می‌شود که بعد از تشکیل کنگلومرا و به ویژه دگرسانی‌هایی که هم‌زمان و مرتبط با کانه‌زایی ایجاد شده‌اند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۶  
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۰۵  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۷

### واژه‌های کلیدی

کنگلومرا  
منشأ عناصر  
شیمی محلول  
دگرسانی  
بردسکن

### نویسنده مسئول

علی شیخی

ali.sheykhi2022@gmail.com ✉

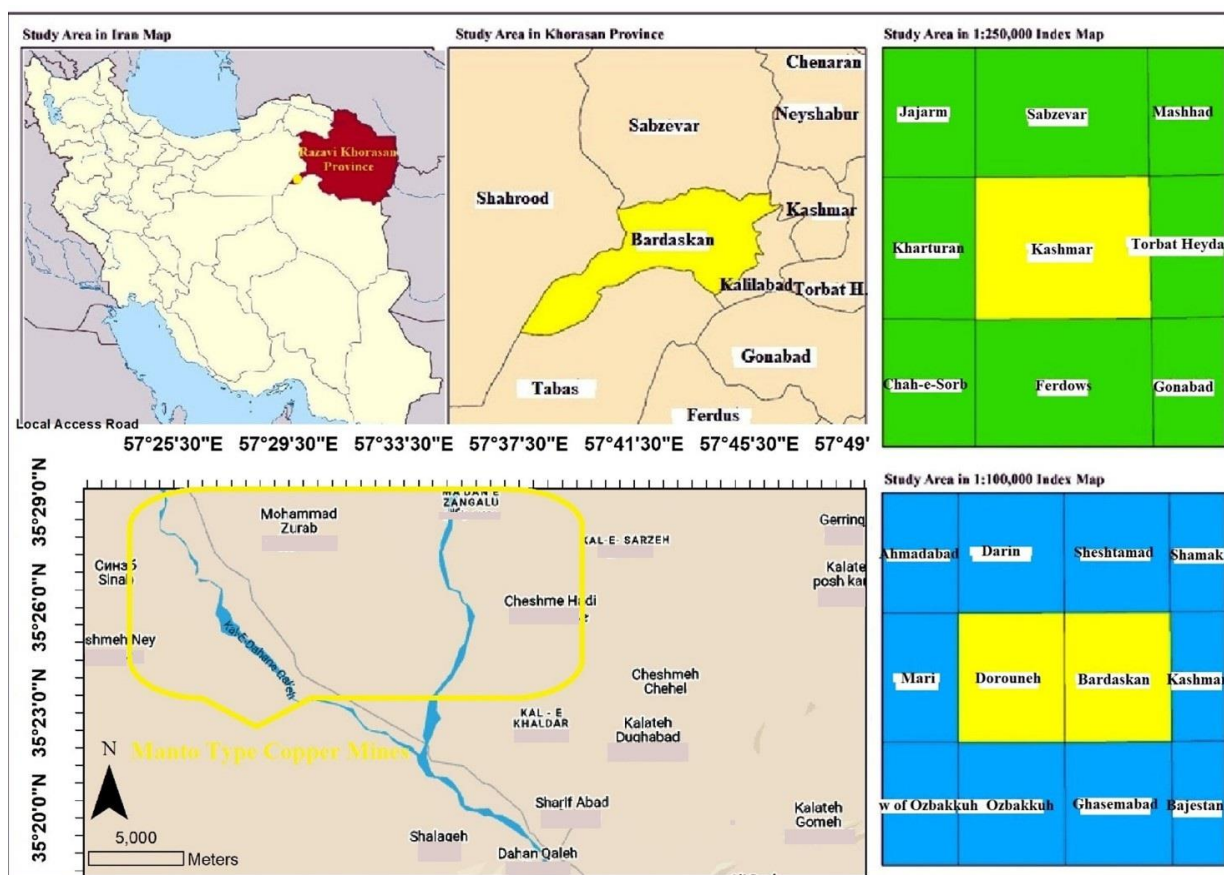
### استناد به این مقاله

شیخی، علی؛ کریم‌پور، محمدحسن؛ سپاهی‌گرو، علی اصغر و رحیمی، بهنام، ۱۴۰۴. متالورژی کانسارهای مس مانتو در شمال غرب و غرب بردسکن، خراسان رضوی با نگاهی ویژه به مجموعه کانسارهای مس نسیم، مس سرخ و مس زرمهر. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۷(۱): ۵۳-۸۰. <https://doi.org/10.22067/econg.2025.1137>

## مقدمه

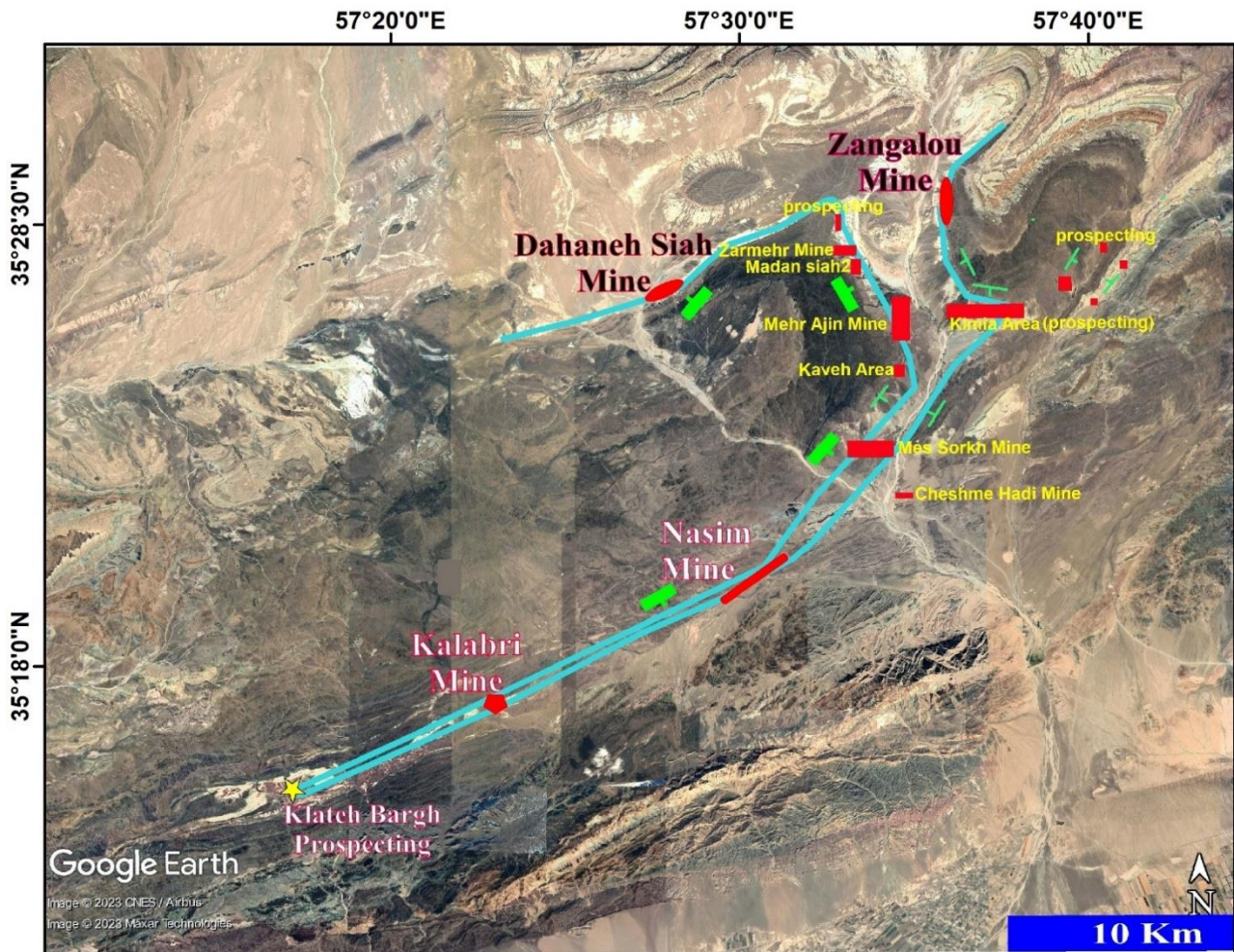
کانسارهای نوع مانتو کمر بند بردسکن - درونه در استان خراسان رضوی، شمال غرب و غرب از شهرستان بردسکن در مسیر قدیم سبزوار به بردسکن واقع شده است (شکل ۱) و شامل مجموعه معادن مس نسیم، مس سرخ و مس زرمهر (Sheykhi et al., 2024)، کال ابری (Jabbari et al., 2017)، کیمیا (Amini 2024)، کوه سیاه، مهر آجین، شریف آباد (Zahan et al., 2020)، چشمه هادی، سپیدسرو، ترنم (Ebrahimi et al., 2018)، زنگالو (Entezarab, 2018) و Malekzadeh Shafaroudi., 2018, Ghelichkhani et al., 2021)، چشمه مرضیه (Soltani and Fardost., 2016) و تعدادی محدوده اکتشافی - معدنی است (شکل های ۲، ۳ و ۴).

کانسارهای نوع مانتو از زون ارومیه - دختر، زون سنندج - سیرجان و زیرپهنه سبزوار گزارش شده اند. بر اساس شواهد نبود ماگماتیسم بین ساوه تا حدود تکاب و نبود آنومالی مغناطیس هوایی، نام کمر بند ماگمایی ارومیه - دختر تغییر یافت (Karimpour et al., 2021) و به نام ساوه - نائین - جیرفت تبدیل شد. ماگماتیسم ارومیه تا تکاب، ادامه کمر بند ماگمایی البرز غربی است. بر اساس ویژگی های ماگماتیسم و کانه زایی، کمر بند ساوه - نائین و جیرفت را می توان به دو کمر بند مجزا تقسیم کرد ۱- کمر بند ماگمایی ساوه - نائین شامل گرانیوتوئیدهای میوسن سری مگنتیت نوع I عقیم غیر آداکتیتی است. ۲- کمر بند ماگمایی نائین - جیرفت که میزبان کانسارهای پورفیری است (Karimpour et al., 2021).



شکل ۱. نقشه موقعیت کمر بند معدنی بردسکن - درونه همراه با راه های دسترسی و جایگاه آن در نمایه های زمین شناسی

Fig. 1. Location map of the Bardaskan-Doruneh mining belt with the access roads and its position in the geological index



شکل ۲. تصویر گوگل ارث از موقعیت کمربند مس نوع مانتو بردسکن همراه با جانمایی معادن و شیب واحدهای سنگ شناختی و کانه زایی

Fig. 2. Google Earth image of the Bardaskan Manto type copper belt location along with the placement of mines and dip of lithological and mineralization units

## روش مطالعه

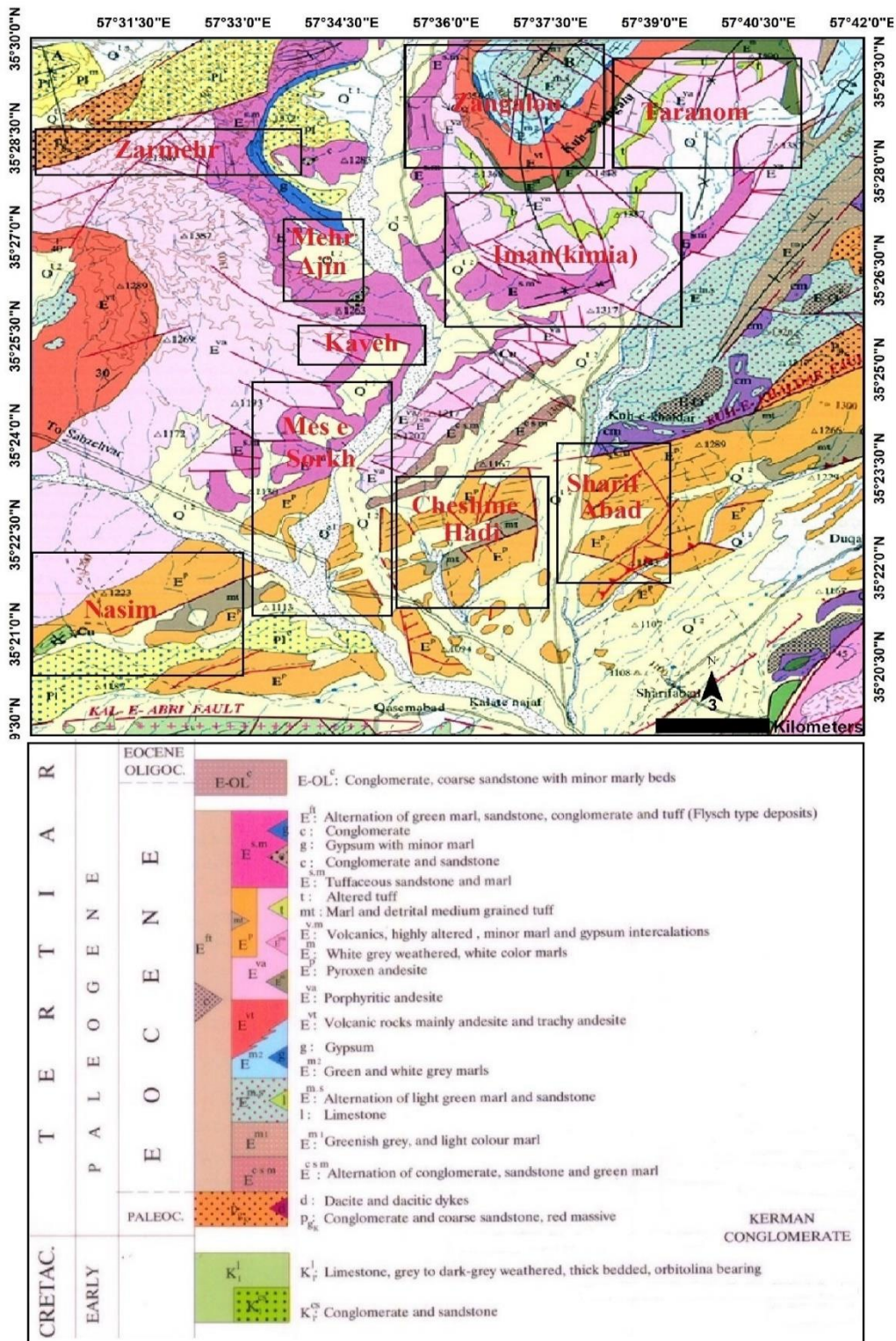
این پژوهش شامل دو بخش عملیات صحرایی و آزمایشگاهی است و عملیات صحرایی منطقه در طول ۶۰ کیلومتر انجام شد. در پیمایش های صحرایی، شاخصه های مهم کانه زایی کنترل و ساختارهای زمین ساختی بررسی شد. از واحدهای سنگی و کانه زایی به منظور بررسی های میکروسکوپی نمونه برداری شد. مغزه های حفاری در معادن مختلف بازدید و مورد بررسی قرار گرفت. کانه زایی، تغییرات عیاری و سنگ میزبان در پیت های

در حال استخراج معادن منطقه بررسی شد.

## توالی سنگ شناختی و لایه های کلیدی در کانسارهای

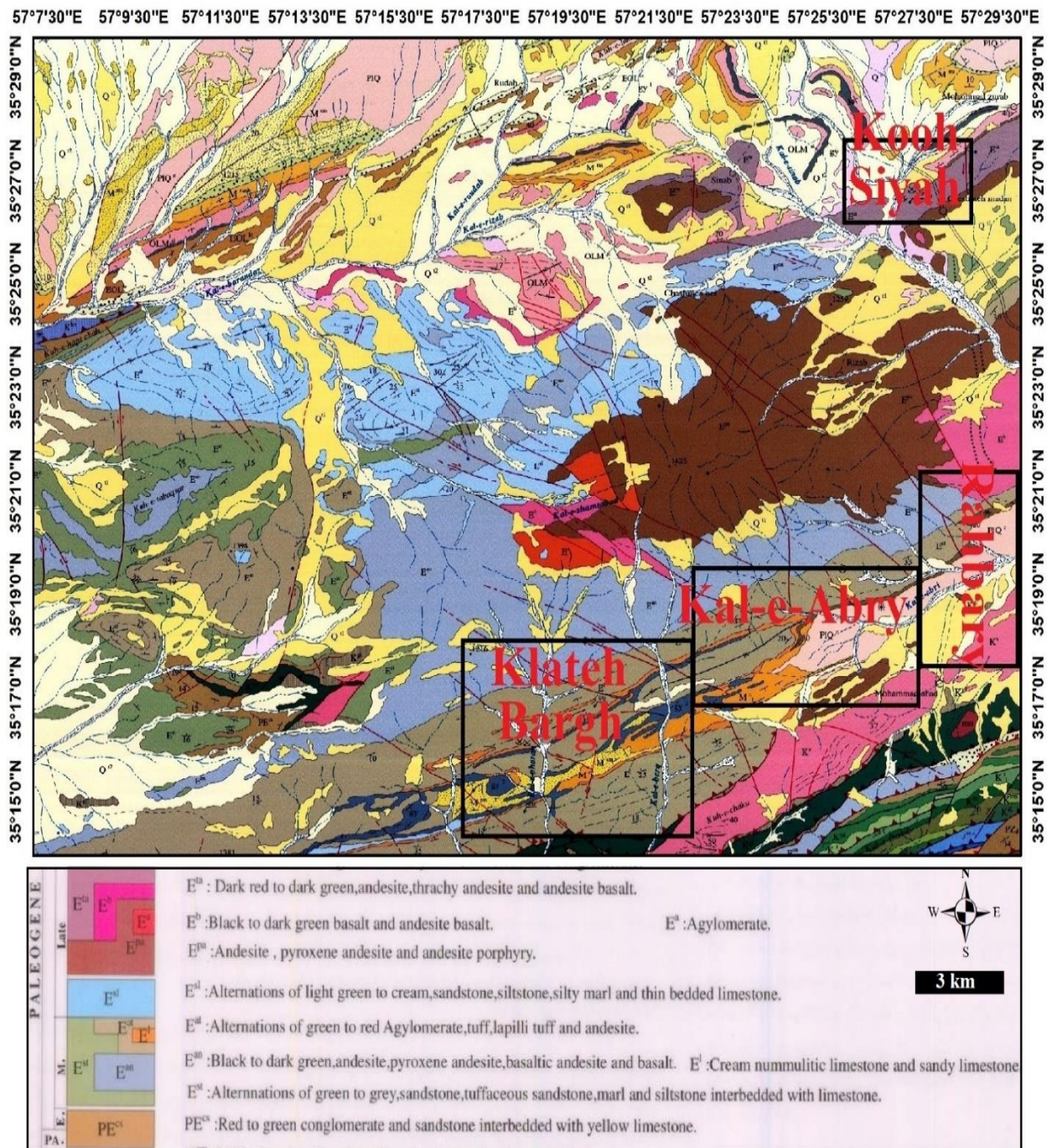
### مس مانتو بردسکن - درونه

توالی سنگ شناختی از قدیم به جدید شامل بازالت، آندزیت بازالت، آندزیت و پیروکسن آندزیت، کنگلومرا، آهک، سیلتستون، مارن های گچی و کنگلومرای پلیوسن است (شکل ۵). توالی سنگ شناختی در منطقه به دلیل چین خوردگی و در امتدادی شمالی - جنوبی قابل مشاهده است.



شکل ۳. بخشی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن (Shahrabi et al., 2006) همراه با تغییرات- موقعیت معادن مس نوع مانتو

Fig. 3. A part of geological map 1:100000 Bardaskan (Shahrabi et al., 2006) with changes -the location of Cu Manto type deposits



شکل ۴. بخشی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ درونه (Qaemi and Mousavi Harami, 2006) همراه با تغییرات - موقعیت معادن مس نوع مانتو  
**Fig. 4.** A part of geological map 1:100000 Doruneh (Qaemi and Mousavi Harami, 2006) with changes - the location of Cu Manto type deposits

تشکیل در محیط دریا را نشان نمی دهند، فعالیت ها و سنگ های آتشفشانی در منطقه مورد بررسی در شرایط غیر دریایی تشکیل شده

به دلیل اینکه در توالی سنگ های آتشفشانی، واحدهای رسوبی تشکیل نشده است و همچنین سنگ های آتشفشانی ساخت و بافت

نیز بررسی شد و همچنین در این بررسی ها علاوه بر تأثیر انواع کنگلومرا در تغییرات عیاری، عملکرد ساختارهای زمین ساختی نیز در جابه جایی واحدها و در نهایت تغییرات عیاری بهتر مشاهده می شود.

است. در بررسی مغزه های حفاری تلاش شد تا علاوه بر افق اصلی کانه زایی که واحد کنگلومراست، به صورت تخصصی ۵ متر از افق زیرین (آتشفشانی) و ۵ متر از افق بالایی (سنگ آهک) مطالعه و بررسی شود. این توالی و سنگ میزبان در پیت های فعال معادن



شکل ۵. واحدهای سنگ شناختی، روند ماده معدنی و ساختارهای زمین ساختی در پیت در حال استخراج معدن نسیم

Fig. 5. Lithological units, mineralization and tectonic structures in the Nasim mine

کنگلومرای پلیوسن - پلیستوسن، حجیم ترین و وسیع ترین واحد رسوبی در منطقه مورد بررسی است. از مهم ترین ویژگی های

### واحد سنگی کنگلومرا

دو نوع کنگلومرا با دو سن متفاوت در منطقه وجود دارد:



درصد مگنتیت دارند. بنابراین حضور مگنتیت در سیمان کنگلومرا دلیلی بر هم یافت آن با کالکوسیت نیست؛ زیرا در زمان تشکیل کالکوسیت، محلول فقیر از آهن بوده است. مگنتیت، حاصل انتقال و سایشی است که بر روی قطعه‌های سنگ‌های آتشفشانی در زمان تشکیل کنگلومرا انجام می‌شود. کنگلومرا به همراه آهک فسیل‌دار اصلی‌ترین واحدهای منطقه است که بیشتر رخنمون‌های آهک در سطح زمین مشاهده می‌شود.

### اهمیت شناخت کنگلومرا و آگلومرا

تشخیص بین کنگلومرا و آگلومرا از نظر اکتشاف در جغرافیای بردسکن برای کانسارهای مس نوع مانتو بسیار مهم است. آگلومرا در طی فعالیت آتشفشانی تشکیل می‌شود و یک واحد سنگی خاص است که قطعه‌های آن تنها از یک نوع ترکیب تشکیل شده است که معمولاً ترکیب‌های مافیکی با غلظت کم هستند. هنگامی که این ترکیب‌ها به آسمان پرتاب می‌شوند، مقداری مدور می‌شوند و بمب را تشکیل می‌دهند. در نهایت واحد سنگی پیروکلاستیکی حاوی این قطعه‌ها، آگلومرا نام دارد؛ اما وقتی واحد سنگی حاوی قطعه‌های گردشده سنگ‌های مختلف آتشفشانی، توده‌های نفوذی و حتی رسوبی باشد، این حالت مشخصه فرایند رسوبی است و تمامی قطعه‌ها هنگام حمل شدن توسط آب و در مسیر، ساییده و گرد شده‌اند، این واحد سنگی کنگلومراست.

نکته مهمی که در کانسارهای مس مانتو بردسکن وجود دارد؛ این است که جنس سیمان کنگلومرا از قاعده به بالای لایه از آتشفشانی به تدریج آهکی می‌شود و در داخل سیمان نومولیت وجود دارد که سن پالئوسن ائوسن را می‌دهد.

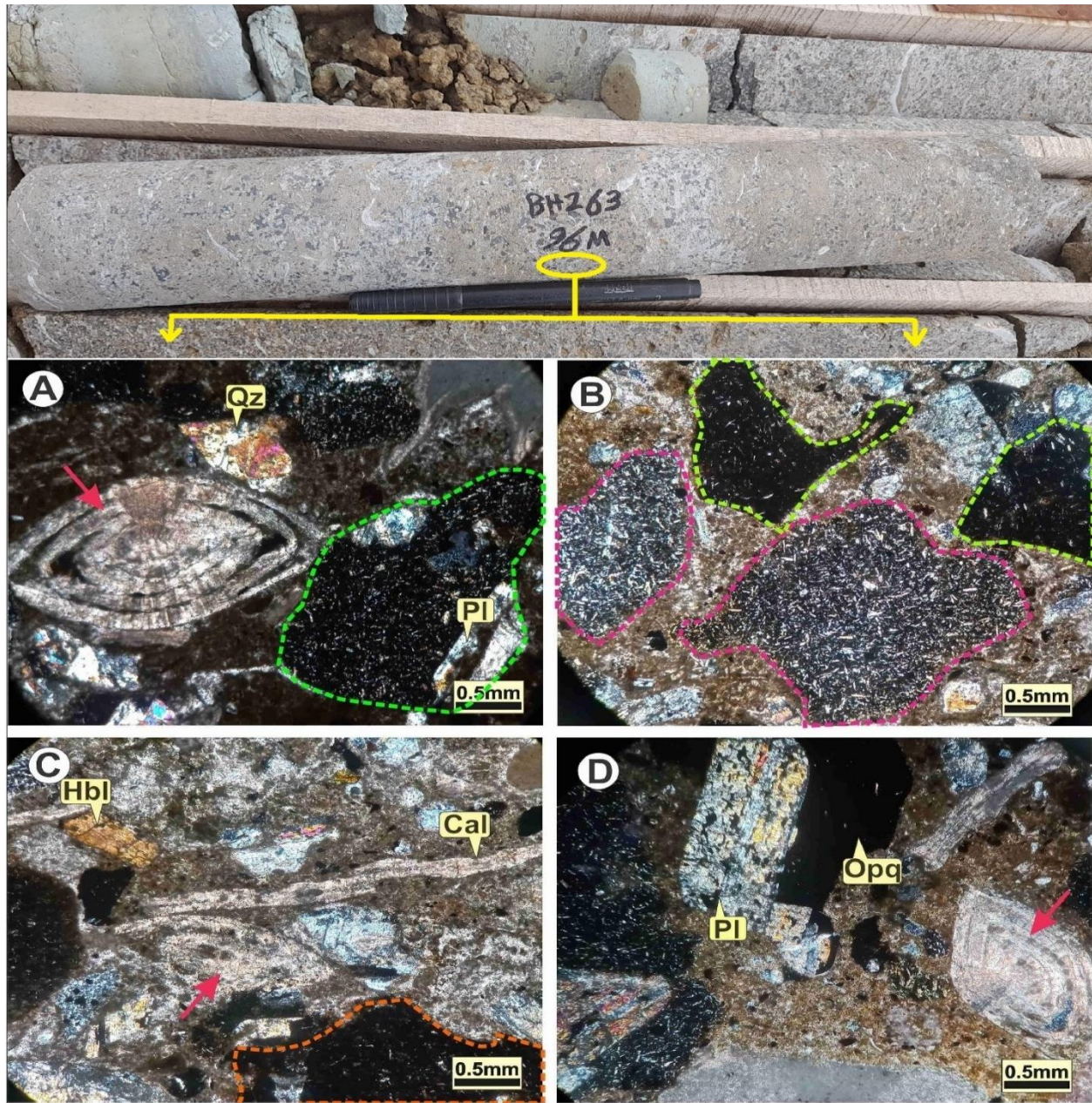
کانسار مس سرخ و همچنین کانسار کیمیا از نظر ویژگی‌هایی که برای کنگلومرا بیان شد، شرایط مشابهی با سایر منطقه دارد. تغییرات در کنگلومر که به تغییرات عیاری منجر می‌شود، کاملاً مشهود است (شکل‌های A-11 و B و A-12 و B).

صحرائی این مجموعه سنگی می‌توان به رنگ خاکستری تا قهوه‌ای متمایل به قرمز، چند منشائی بودن قطعه‌های تشکیل دهنده، عدم سخت‌شدگی، سیمانی شدن، وجود سیمان بسیار ضعیف متصل کننده قطعه‌های تشکیل دهنده (سیمان رسی - اکسید آهنی) و توپوگرافی نسبتاً پست و ملایم اشاره کرد که بیشتر قسمت‌های جنوبی منطقه مورد بررسی را می‌پوشاند و در اصل بالاترین افق سنگ‌شناختی منطقه به شمار می‌آید. کنگلومرای پالئوسن - ائوسن که در ادامه تشریح خواهد شد، مهم‌ترین واحد سنگی در ارتباط با کانسارهای مانتو در جغرافیای بردسکن است و سنگ میزبان کانه‌زایی است. در زمان تشکیل کنگلومرا، محیط فرسایشی بوده و فرسایش آبی باعث شده است تا کنگلومرا تشکیل شود.

مجموعه واحدهای سنگی برون‌زد یافته در زمان تشکیل کنگلومرا که در معرض فرسایش قرار می‌گیرند، توسط آب حمل شده و در مسیر حمل، سایش صورت می‌گیرد و در منطقه‌ای رسوب و در نهایت واحد سنگی کنگلومرا تشکیل می‌شود و به تدریج محیط دریایی شده و سیمان که از جنس قطعه‌های سنگ‌های آتشفشانی استف به تدریج آهکی می‌شود و قطعه‌ها کوچک‌تر می‌شوند و در نهایت سنگ آهک تشکیل می‌شود.

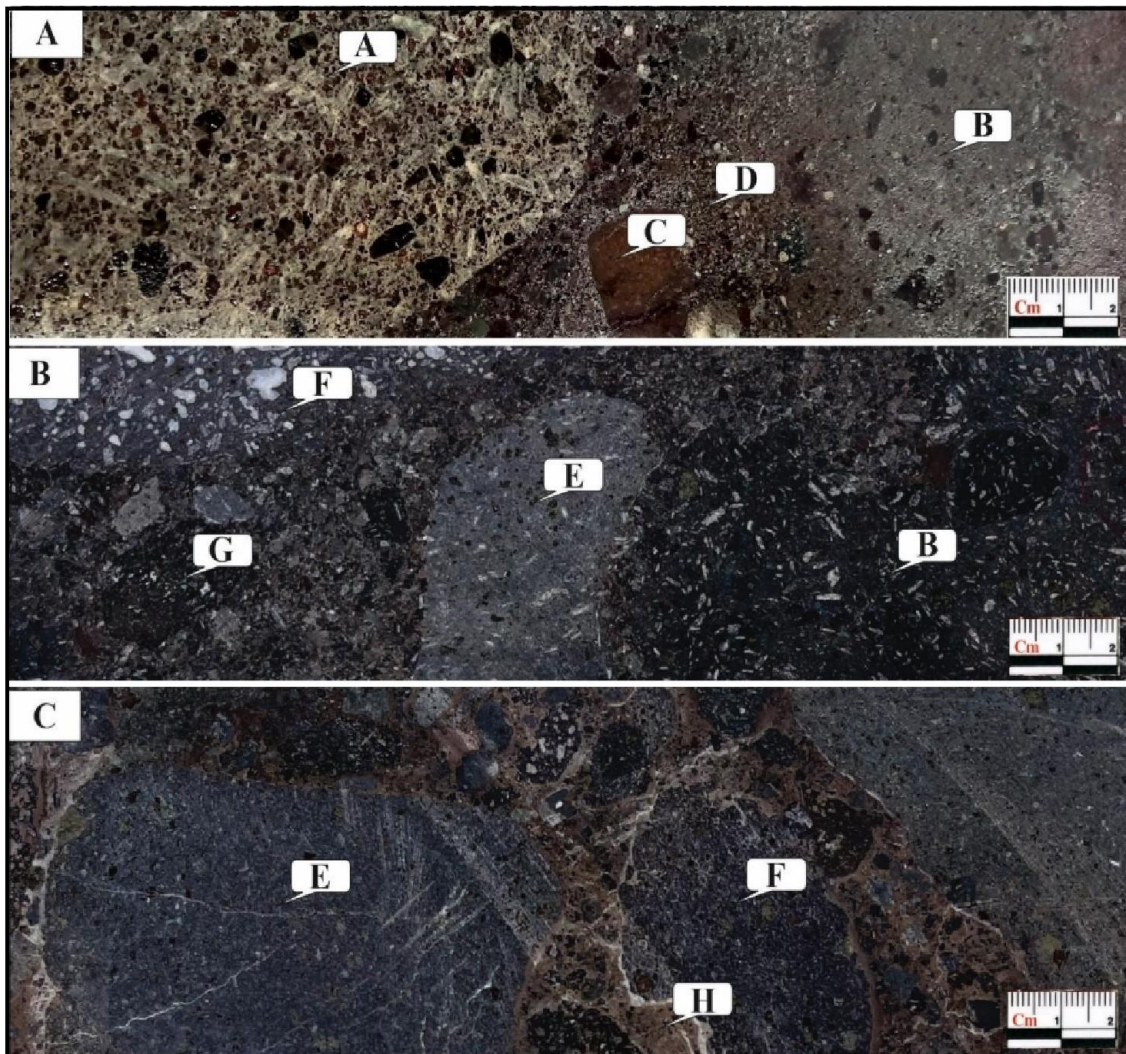
بنابراین کنگلومرای یادشده، یک بانک اطلاعاتی است که اطلاعات و شواهدی از واحدهای سنگی و دگرسانی‌های برون‌زد یافته قبل از دوره فرسایش را دارد. همچنین این واحد سنگی گنجینه‌ای است که به دلیل داشتن تخلخل، بهترین انتخاب محلول کانه‌دار برای ته‌نشست ماده معدنی بوده است. این واحد سنگی دارای قطعه‌هایی با ترکیب آتشفشانی از جنس آندزیت، پیروکسن آندزیت، تراکی آندزیت، بازالت و آندزیت‌بازالت است و همچنین قطعه‌هایی از واحدهای نفوذی و نیمه‌عمیق و حتی رسوبی در آن دیده می‌شود (شکل‌های A-6 تا D، A-7 تا C، A-8 و A و B و A-9 و B و A-10 و B).

در قاعده، سیمان کنگلومرا از جنس واحدهای آتشفشانی است و به سمت بخش‌های بالایی آن سیمان کربناتی می‌شود. سیمان آتشفشانی حاوی مگنتیت است. سنگ‌های آتشفشانی حدود ۳ تا ۵



شکل ۶. تصویرهایی از کنگلومرا در کانسار زرمهر A: کانی‌های کوارتز، قطعه سنگی آتشفشانی دارای پلاژیوکلاز (خط چین سبزرنگ) و فسفیل نومولیت (فلش قرمز رنگ)، B: نمایی از قطعه‌های سنگی مختلف، C: تصویر کانی‌های هورنبلند، رگچه حاوی کربنات کلسیم، قطعه سنگی (خط چین نارنجی رنگ) و فسفیل نومولیت (فلش صورتی رنگ) و D: نمایی از کانی‌های پلاژیوکلاز و کانی کدر همراه با فسفیل نومولیت. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (PI: پلاژیوکلاز، Hbl: هورنبلند، Qz: کوارتز، Opq: کانی کدر، Cal: کلسیت).

**Fig. 6.** Images of conglomerate in the Zarmehr deposit A: quartz mineral, volcanic rock fragment with plagioclase (green line) and nummulite fossil (red arrow), B: Various rock fragments, C: Image of hornblende minerals, a veinlet containing calcium carbonate, a lithic fragment (orange line) and a nummulite fossil (pink arrow), and D: a view of plagioclase and opaque minerals with nummulite fossil. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (PI: plagioclase, Hbl: hornblende, Qz: quartz, Opq: opaque, Cal: calcite).



**شکل ۷.** تصویرهایی از کنگلومرا با قطعه‌های مختلف آتشفشانی و توده نفوذی در کانسار مس نسیم. A: (A): مونزونیت با دگرسانی پروپیلیتیک (اپیدوت)، (B): آندزیت، (C): شیل، (D): سیمان ولکانیکی، B: تصویری از قطعه‌های گردشده کنگلومرا (B): آندزیت، (E): دیوریت پورفیری با دگرسانی پروپیلیتیک (اپیدوت)، (F): پیروکسن آندزیت با بافت آمیگدالوئیدال که حفره‌ها توسط سیلیس و کربنات پر شده است، (G): آندزیت و C: کنگلومرا با سیمان کربناتی (F): آندزیت، (E): پیروکسن آندزیت، (H): سیمان کربناتی. (Ramezaniabbakhsh et al., 2023)

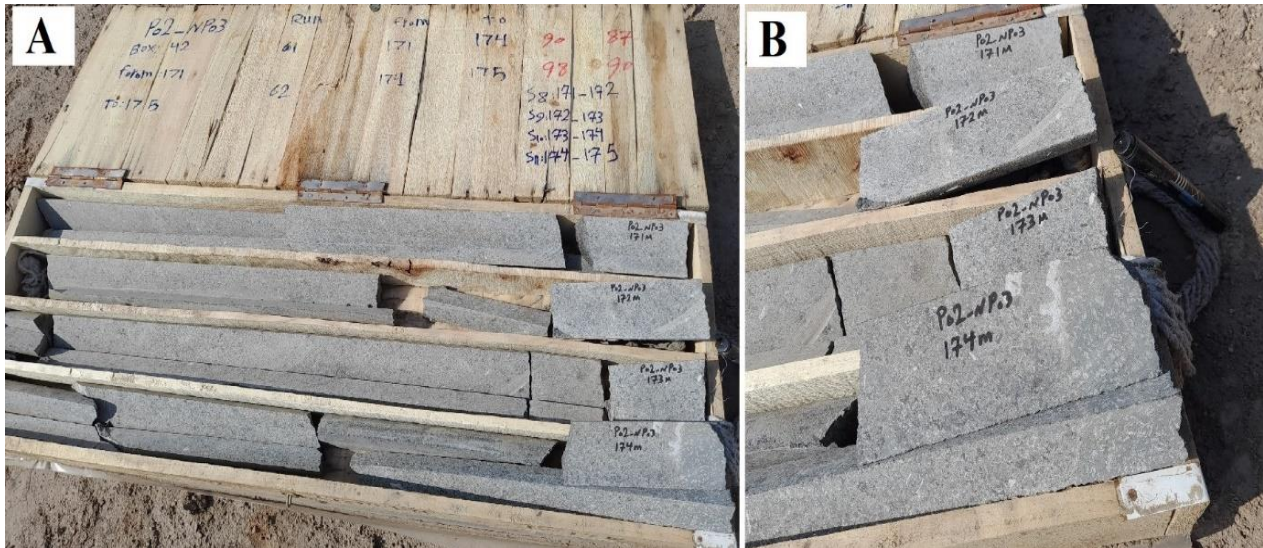
**Fig. 7.** Images of conglomerate with different volcanic and intrusive fragments in the Nasim copper deposit. A: (A): Monzonite with propylitic alteration (Epidote), (B): andesite, (C): shale, (D): Volcanic cement, B: image of conglomerate fragments, (B): andesite, (E): porphyritic diorite with propylitic alteration (Epidote), (F): pyroxene andesite with amygdaloidal texture filled with silica and carbonate, (G): andesite, and C: conglomerate with carbonate cement (F): andesite, (E): pyroxene andesite, (H): carbonate cement. (Ramezaniabbakhsh et al., 2023)

کنگلومرا، کانه‌زایی مس مانتو و واحدهای سنگی برون‌زدیافته در منطقه انجام شده است، مشخص شد که دگرسانی‌های متنوعی در

**انواع دگرسانی در کمربند مس دار بردسکن - درونه**  
بر مبنای اطلاعات بسیار دقیق و هدفمندی که در ارتباط با قطعه‌های

ایجاد شده است و گروه دوم شامل دگرسانی‌هایی می‌شود که بعد از تشکیل کنگلومرا و به ویژه دگرسانی‌هایی که هم‌زمان و مرتبط با کانه‌زایی ایجاد شده‌اند.

این منطقه و در طول زمان‌های مختلف شکل گرفته است. این دگرسانی‌ها در دو گروه و دست کم سه مرحله زمانی قابل بررسی هستند: گروه اول، دگرسانی‌هایی که قبل از تشکیل کنگلومرا



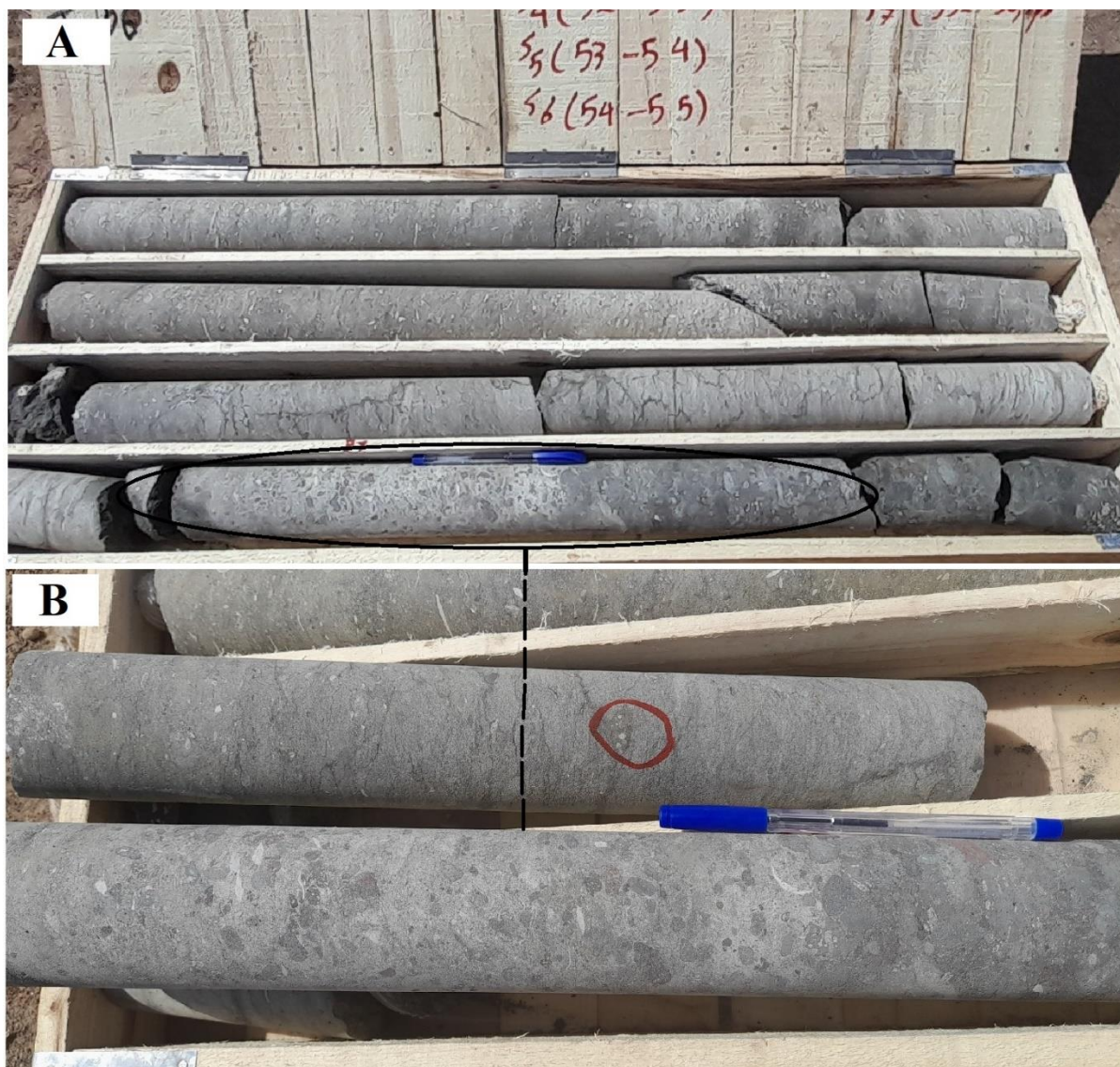
شکل ۸. محدوده نسیم A: کنگلومرای کانه‌دار و B: برخورد کنگلومرا با آندزیت

Fig. 8. the Nasim area A: Mineralized conglomerate, and B: contact of conglomerate and andesite



شکل ۹. A: جعبه مغزه حاوی سنگ آهک و کنگلومرا- کانسار نسیم، B و C: نمایی از همان سنگ میزبان به صورت مغزه

Fig. 9. A: Core Box containing limestone and conglomerate -the Nasim copper deposit, B and C: view of conglomerate



شکل ۱۰. A: جعبه مغزه حاوی سنگ آهک و کنگلومرا- کانسار نسیم، B: نمایی از کنگلومرا

Fig. 10. A: Core Box containing limestone and conglomerate -the Nasim copper deposit, B: conglomerate

### دگرسانی قبل از تشکیل کنگلومرا

دگرسانی‌هایی که قبل از تشکیل کنگلومرا ایجاد شده است، در دو دسته قابل بررسی هستند: ۱- دگرسانی‌هایی که در قطعه‌های سنگ‌های آتشفشانی داخل کنگلومرا مشاهده می‌شوند و در سنگ‌های آتشفشانی منطقه نیز وجود دارد و گسترش قابل توجهی دارند و شامل دگرسانی‌های زئولیتی، کلریتی، کربناتی و

سلادونیتی با شدت‌های مختلف هستند و ۲- دگرسانی که در قطعه‌های مونزونیت و دیوریت پورفیری داخل کنگلومرا مشاهده می‌شود و در توده‌های نیمه عمیقی (مونزونیت و دیوریت پورفیری) که به شکل دایک در منطقه وجود دارند نیز مشاهده می‌شود. این دگرسانی‌ها مربوط به قبل از تشکیل کنگلومراست و شامل دگرسانی پروپیلیتیک (اپیدوت و گاهی کلریت) و سیلیسی هستند.



شکل ۱۱. A و B: سنگ میزبان کانه‌زایی (کنگلومرا)- کانسار مس سرخ

Fig. 11. A and B: Mineralization host rock (conglomerate)- the Mes-e-Sorkh deposit

و قطعه‌های آن نسبت به بقیه سنگ‌های آتشفشانی کمتر در واحد کنگلومرا مشاهده می‌شود. در کنگلومراهایی که حاوی قطعه‌هایی از این واحدهای سنگی باشند، دگرسانی زئولیتی مشاهده می‌شود. احتمالاً دگرسانی زئولیتی بعد از تشکیل کنگلومرا به صورت جزئی ایجاد شده است.

### دگرسانی کلریتی

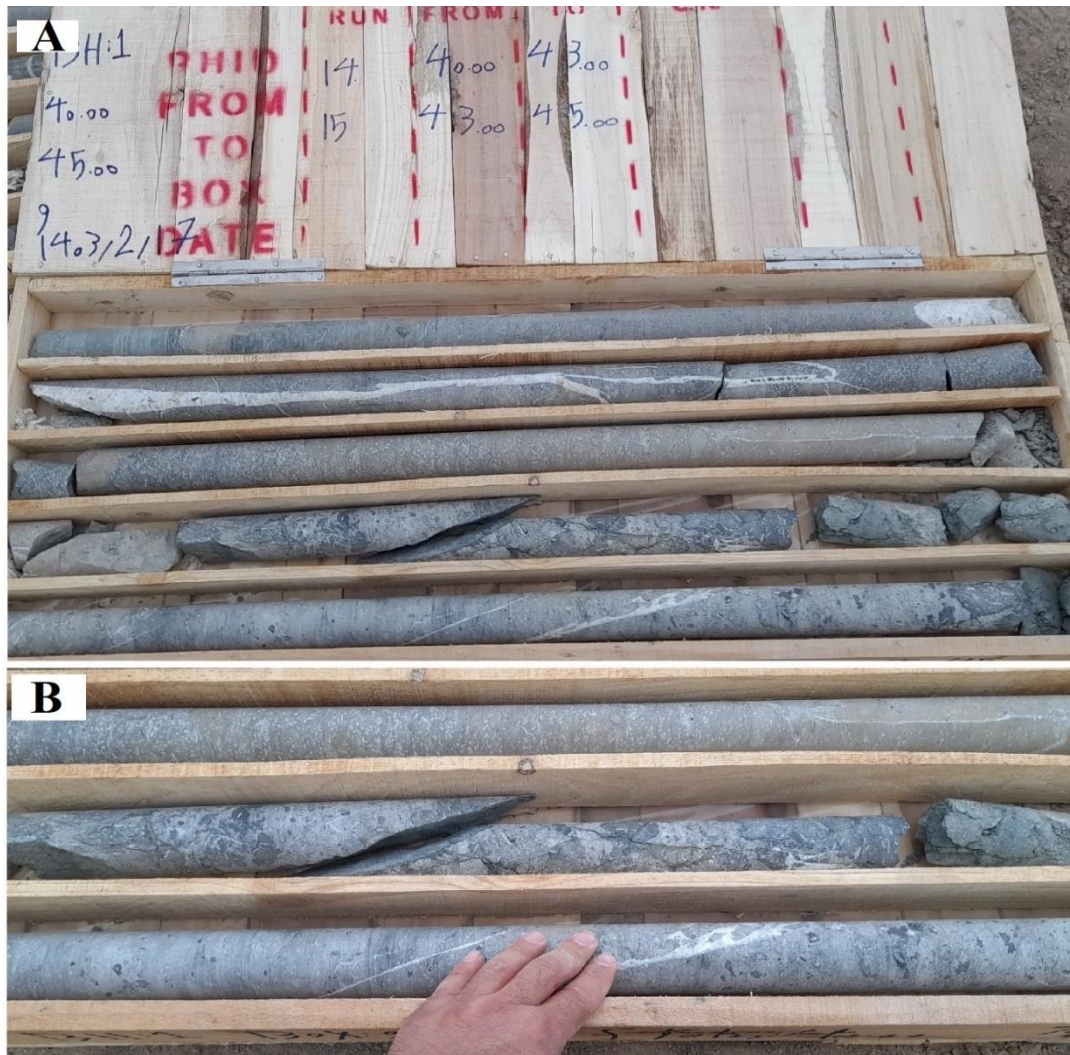
علاوه بر دگرسانی زئولیتی درون سنگ‌های آندزیتی می‌توان دگرسانی کلریتی را نام برد. دگرسانی کلریتی و گاهی ایدنگسیتی درون سنگ‌های پورفیری پیروکسن آندزیت و با نسبت کمتر درون

### دگرسانی زئولیتی

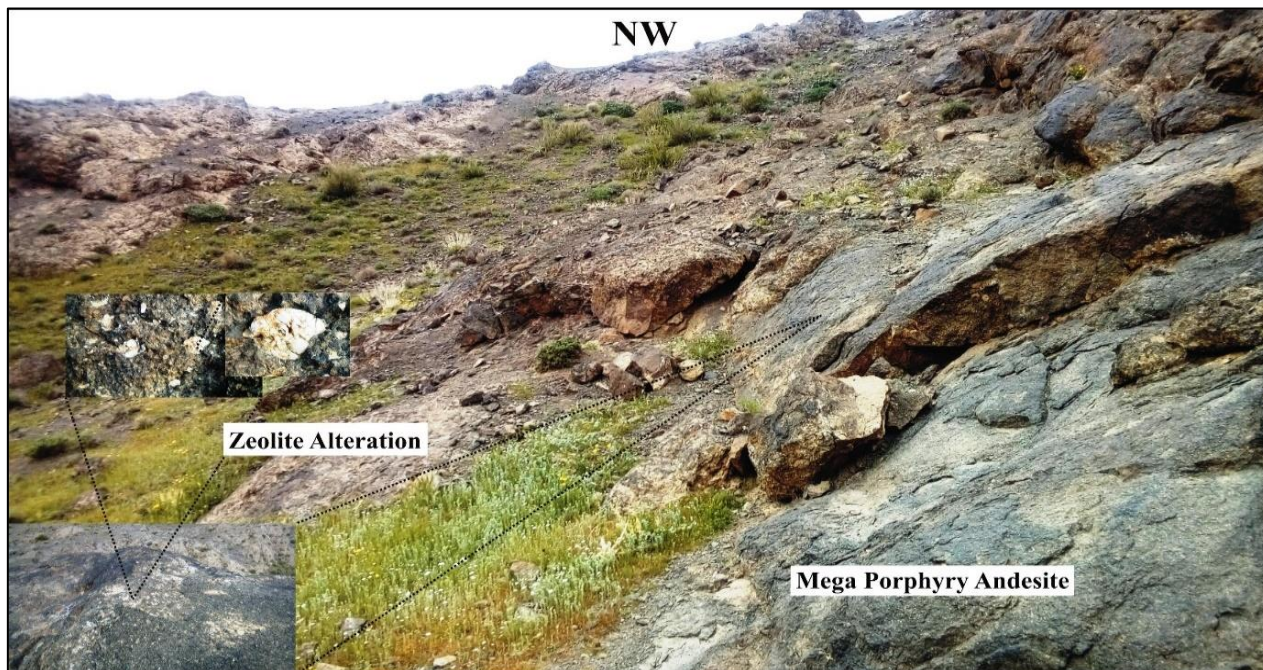
بررسی‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد که دگرسانی زئولیتی با ترکیب کانی‌شناسی ناترولیت بیشتر درون سنگ‌های آندزیت مگاپورفیری و تراکی آندزیت پورفیری در چند مرحله تشکیل شده است. در بیشتر موارد حفره‌ها بین دانه‌ها و بلورهای درشت پلاژیوکلاز توسط کانی‌های زئولیتی ناترولیت با فابریک شعاعی پر شده است (شکل ۱۳). این دگرسانی در قسمت‌های شمالی و شمال‌غربی منطقه مورد بررسی مشاهده می‌شود. با توجه به مشاهدات صحرائی و حفاری‌های زیرسطحی در منطقه مورد بررسی، این واحدها به عنوان بخش پایینی افق سنگ‌شناختی است

قرار گرفته‌اند، اغلب دارای رنگ سبز تیره بوده که خود راهنمای مناسبی برای تشخیص دگرسانی یادشده است (شکل‌های ۱۴ و ۱۵-A تا D). از آنجایی که بیشترین قطعه‌های تشکیل دهنده کنگلومرا از واحدهای سنگی پورفیری پیروکسن آندزیت، بازالت و آندزیت بازالت است که دگرسانی کلریتی را دارند؛ بنابراین این نوع دگرسانی به وضوح در داخل قطعه‌های کنگلومرا نیز مشاهده می‌شود.

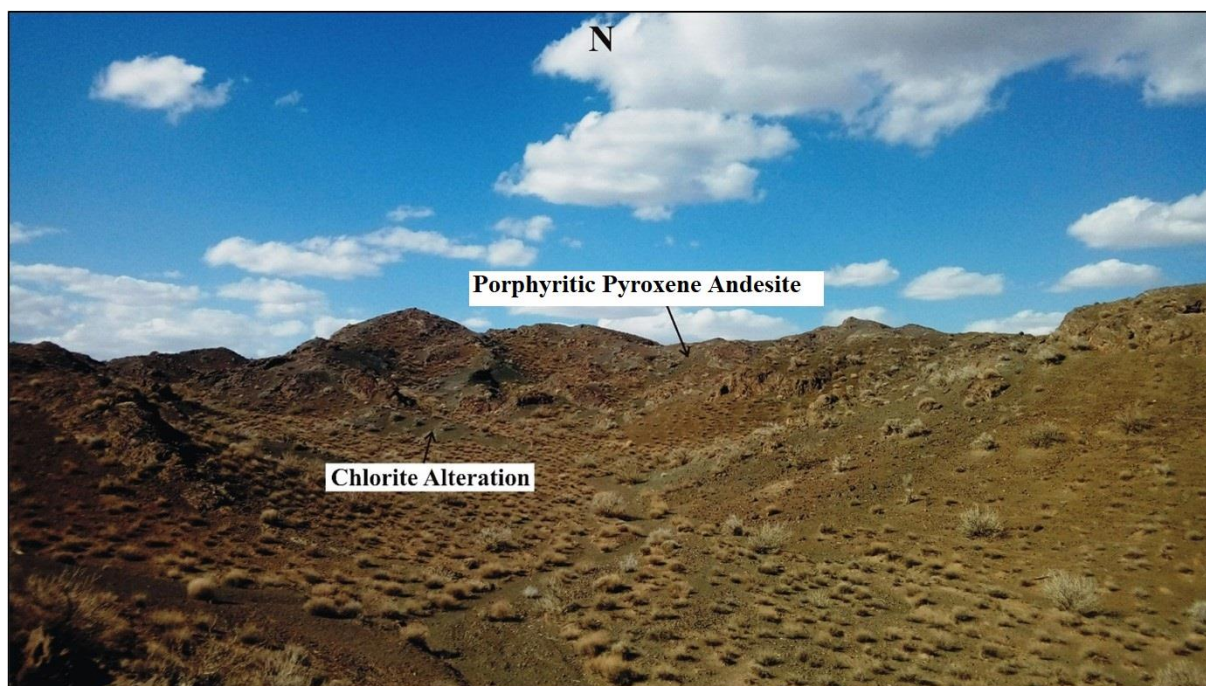
سنگ‌های بازالتی، آندزیت بازالت‌های رخنمون‌یافته در شمال منطقه ایجاد شده است. دگرسانی کلریتی با شدت کم و گسترش زیاد از شرق تا غرب منطقه در واحدهای یادشده قابل مشاهده است. به نظر می‌رسد که حضور سیالات گرمابی در منطقه باعث تبدیل و تجزیه کانی‌های مافیک نظیر پیروکسن و الیوین به کانی‌های کلریتی و تشکیل دگرسانی کلریتی شده است و دگرسانی ایدنگسیتی از تجزیه کانی الیوین به ایدنگسیت به وجود آمده است و واحدهای سنگی که تحت تأثیر این نوع دگرسانی



شکل ۱۲. A: توالی سنگ‌شناختی و نمایش سنگ میزبان در کانسار کیمیا و B: نمایی از واحد آهکی (کمبرالا) و سنگ میزبان کانه‌زایی (کنگلومرا)  
**Fig. 12.** A: lithological sequence and display of host rock in the Kimia copper deposit, and B: view of limestone unit (hanging wall) and mineralized host rock (conglomerate)

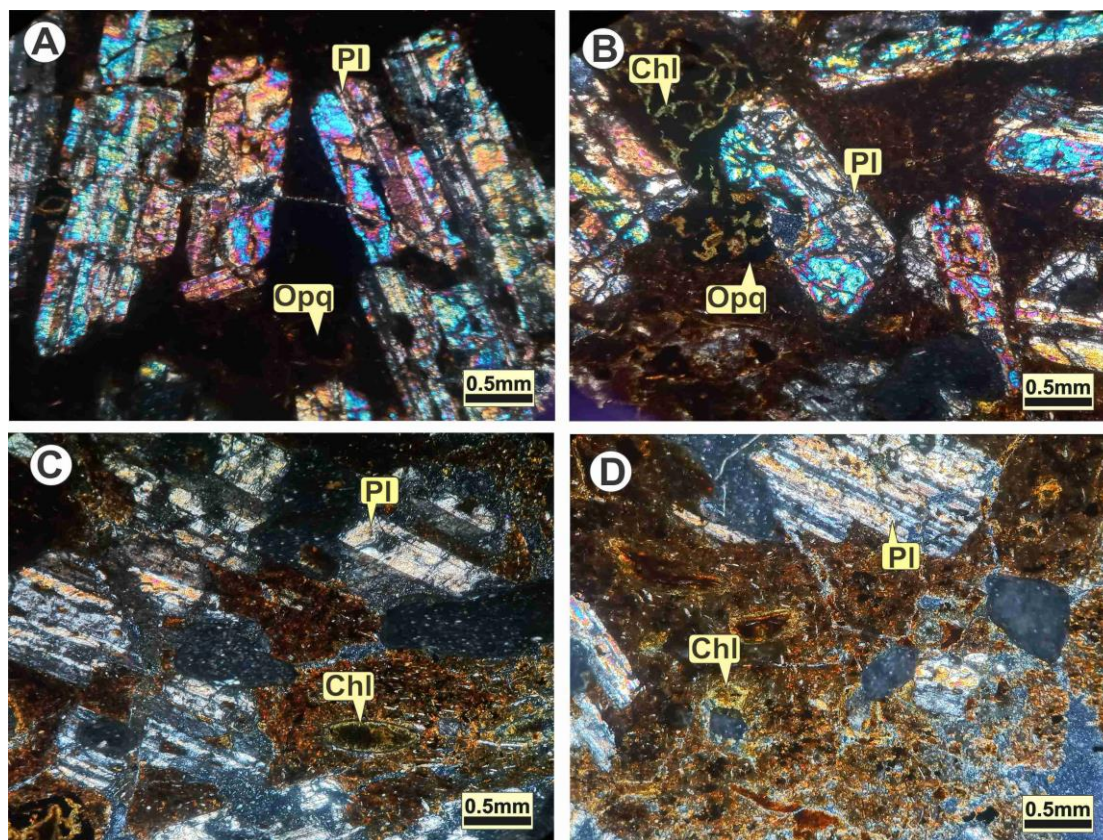


شکل ۱۳. نمایی از دگرسانی زئولیتی درون واحد سنگی مگاپورفیری آندزیت در محدوده نسیم  
**Fig. 13.** A view of zeolite alteration in Mega porphyritic andesite in the Nasim area



شکل ۱۴. نمایی از دگرسانی کلریتی سنگ‌های پورفیری پیروکسن آندزیت  
**Fig. 14.** A view of chlorite alteration in porphyritic pyroxene andesite





**شکل ۱۵.** معدن نسیم، دگرسانی کلریتی در واحد آندزیتی A: تصویر درشت بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه کاملاً کدر شده (XPL)، B: درشت بلورهای پلاژیوکلاز و کانی ثانویه کلریت و کانی کدر درون حفره (XPL)، C: درشت بلورهای شکل دار و دارای ماکل پلاژیوکلاز همراه با حفره کلریتی (XPL) و D: کانی‌های پلاژیوکلاز و کانی ثانویه کلریت (XPL). علامت اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Pl: پلاژیوکلاز، Chl: کلریت، Opq: اپک).

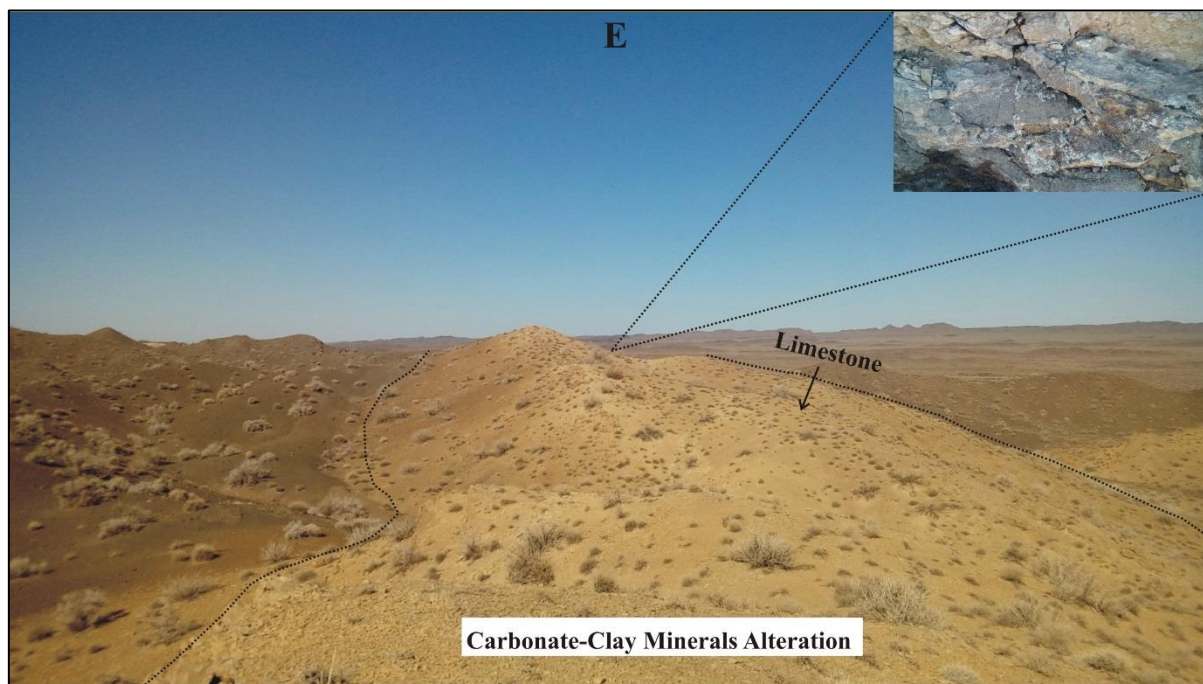
**Fig. 15** the Nasim mine chlorite alteration in andesite A: image of plagioclase macrocrystals in a completely opaque background (XPL), B: plagioclase macrocrystals and secondary chlorite minerals and opaque minerals in cavity (XPL), C: plagioclase with chlorite cavity (XPL), and D: plagioclase minerals and chlorite secondary mineral (XPL). Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Pl: plagioclase, Chl: chlorite, Opq: opaque).

کربنات‌های تأخیری موجود در منطقه است. همچنین جانشینی دانه‌های غیر اسکلتی توسط کربنات طی دیاژنز دگرسانی کربناتی را ایجاد کرده است.

دگرسانی کانی رسی از تبدیل پلاژیوکلاز و فلدسپارهای قطعه‌های سنگی آتشفشانی به کانی‌های رسی به وجود آمده است. همچنین برخی از قطعه‌های فسیلی با جنس آهکی در سنگ‌های رسوبی متحمل دگرسانی ضعیف کانی رسی شده است.

### دگرسانی کربناتی - کانی رسی

این نوع دگرسانی در منطقه مورد بررسی در واحد سنگ آهک نومولیتیک و با شدت کم در واحدهای آتشفشانی مشاهده می‌شود (شکل ۱۶). کلسیم به صورت جانشینی در پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک و همچنین به صورت رگچه‌ای، جانشینی در قالب فسیل و پرکننده حفره‌ها قابل مشاهده است. دگرسانی کربناتی و کانی‌های رسی همچنین درون سنگ‌های آهکی موجود در منطقه توسط کربنات‌های بلورین مشخص می‌شود. این نوع دگرسانی محصول



شکل ۱۶. نمایی از دگرسانی کربناته-کانی رسی موجود در سنگ آهک منطقه معدن نسیم

Fig. 16. A view of carbonate-clay mineral alteration in limestone unit in the Nasim mine

کنگلوما قطعه‌های مونزونیت و دیوریت نیز این دگرسانی‌ها را دارند. این دگرسانی‌ها مربوط به زمان نفوذ توده و قبل از فرسایش و تشکیل کنگلوما بوده است. با توجه به کانی اپیدوت، محلول گرمابی غنی از آهن و حالت اکسایش داشته است. این دگرسانی مربوط به توده‌های نیمه عمیق است.

دایک‌ها و استوک‌های مشاهده شده در منطقه بدون کانه‌زایی هستند و یا کانه‌زایی ضعیفی از کالکوسیت، کالکوپریت، کریزوکلا، مالاکیت و گاهی مس خالص در سطح یا نزدیکی سطح زمین و محدود به دگرسانی سیلیسی دارند. این دگرسانی به صورت رگچه‌های سیلیسی متقاطع و تحت تأثیر محلول‌های گرمابی و به صورت آمورف و ریزبلور مشاهده می‌شود. در حریم بعضی از این دایک‌ها کارهای قدیمی انجام شده است. موقعیت معدن کاری‌های باستانی صورت گرفته معمولاً در محل تلاقی دایک‌ها و یا محل تلاقی دایک‌ها و گسل‌هاست. حفاری‌های

### دگرسانی سلاونیت

کانی سلاونیت با رنگ سبز کم‌رنگ تا پررنگ با ترکیب سیلیکات پتاسیم منیزیم آهن آب‌دار است (Wise and Eugster, 1964). سلاونیت از دگرسانی سنگ‌های آتشفشانی حدواسط-مافیک مانند آندزیت و بازالت تشکیل می‌شود. این دگرسانی با شدت کم و گسترش قابل توجه در سنگ‌های آتشفشانی و قطعه‌های آتشفشانی واحد کنگلوما مشاهده می‌شود.

### دگرسانی اپیدوتی و دگرسانی سیلیسی

به گروه دایک‌های شعاعی از جنس مونزونیت و دیوریت پورفیری در منطقه وجود دارد که در سنگ‌های آتشفشانی نفوذ کرده است و از لحاظ زمانی جوان‌تر از سنگ‌های آتشفشانی و قدیمی‌تر از کنگلوما و آهک است. این دایک‌ها دگرسانی پروپلیتیک (اپیدوت ± کلریت) و همچنین سیلیسی دارند که در داخل

تشخیص است. همچنین در سنگ‌های ماسه‌سنگ آهکی - آهک سیلتی که در توالی رسوبی در بخش‌های بالایی سنگ آهک فسیل‌دار قرار دارد، به علت قرارگیری در یک محیط اکسیدان و کم‌عمق و همچنین فرایندهای دیاژنتیکی کانی‌های هماتیت و سیلیس به صورت‌های قشری و نودلی - بی‌شکل سبب ایجاد رنگ قرمز و تشکیل آغشتگی‌هایی از اکسید و هیدرواکسیدهای آهنی شده است.

### دگرسانی سیلیسی

دگرسانی سیلیسی اغلب در واحدهای آتشفشانی (شکل ۱۸) و در ارتباط با عوامل ساختاری و همچنین توده‌های نیمه‌عمیقی که به شکل دایک در منطقه وجود دارند، به صورت رگچه‌های سیلیسی متقاطع و تحت‌تأثیر محلول‌های گرمایی و به صورت آمورف و ریزبلور مشاهده می‌شوند. این دگرسانی به خصوص در قسمت‌های جنوبی مجموعه معادن مس نسیم و مس سرخ همراه با پیریت، کالکوپیریت و کالکوسیت و گاهی مس خالص وجود دارد و در قسمت‌های مرکزی منطقه به سمت غرب و کال ابری در واحدهای آندزیتی مشاهده می‌شود.

### دگرسانی کلریتی، کربناتی ± کانی رسی - هم‌زمان و مرتبط با کانه‌زایی

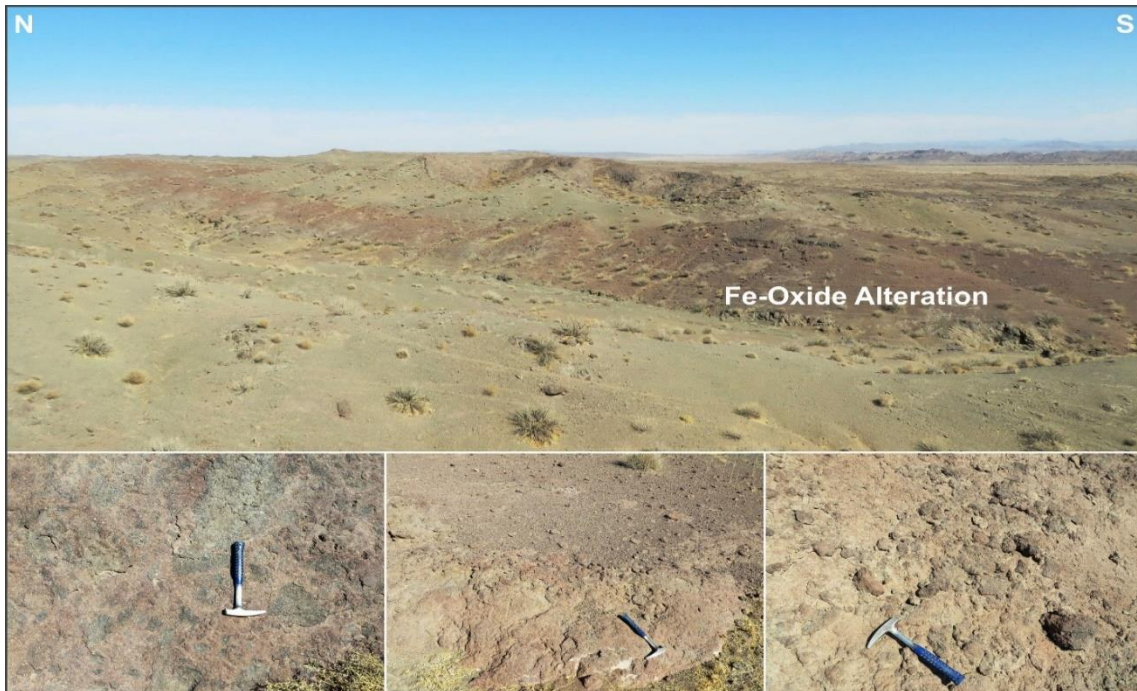
این نوع دگرسانی به دلیل فعالیت محلول گرمایی کانه‌ساز در منطقه ایجاد شده است و هم‌زمان با کانه‌زایی مس مانتو و مرتبط با زون اصلی کانه‌زایی است (شکل‌های ۱۹-A تا D و ۲۰). در کل منطقه در امتداد شمال شرقی به جنوب غربی، دگرسانی در ارتباط با کانه‌زایی در واحد کنگلومرا به صورت کلریتی، کربناتی ± کانی رسی با شدت کم تا متوسط است؛ به طوری که با فاصله گرفتن از کانه‌زایی از شدت آن کم می‌شود. همچنین برخی از قطعه‌های فسیلی با جنس آهکی در سنگ‌های رسوبی متحمل دگرسانی ضعیف کانی رسی شده است.

زیرسطحی که در دهه اخیر در منطقه و با ایده دایک‌ها انجام شده، نتایج امیدبخشی نداشته است. این حفاری‌ها در شمال معادن نسیم، معدن مهر آجین و محدوده معدنی چشمه سفید در نزدیکی روستای چشمه سفید انجام شد. همچنین در قطعه‌های مونزونیت و دیوریتی که در داخل کنگلومرا وجود دارد، کانه‌زایی مشاهده نمی‌شود.

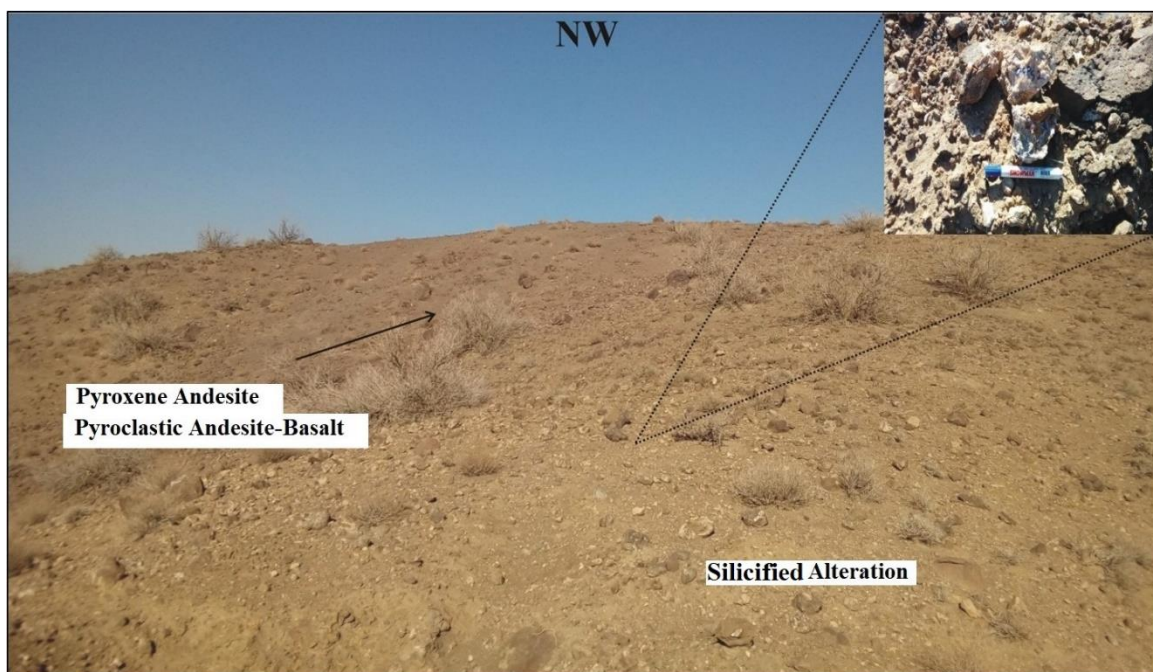
### دگرسانی بعد از تشکیل کنگلومرا و دگرسانی هم‌زمان با کانه‌زایی

#### دگرسانی اکسید آهنی

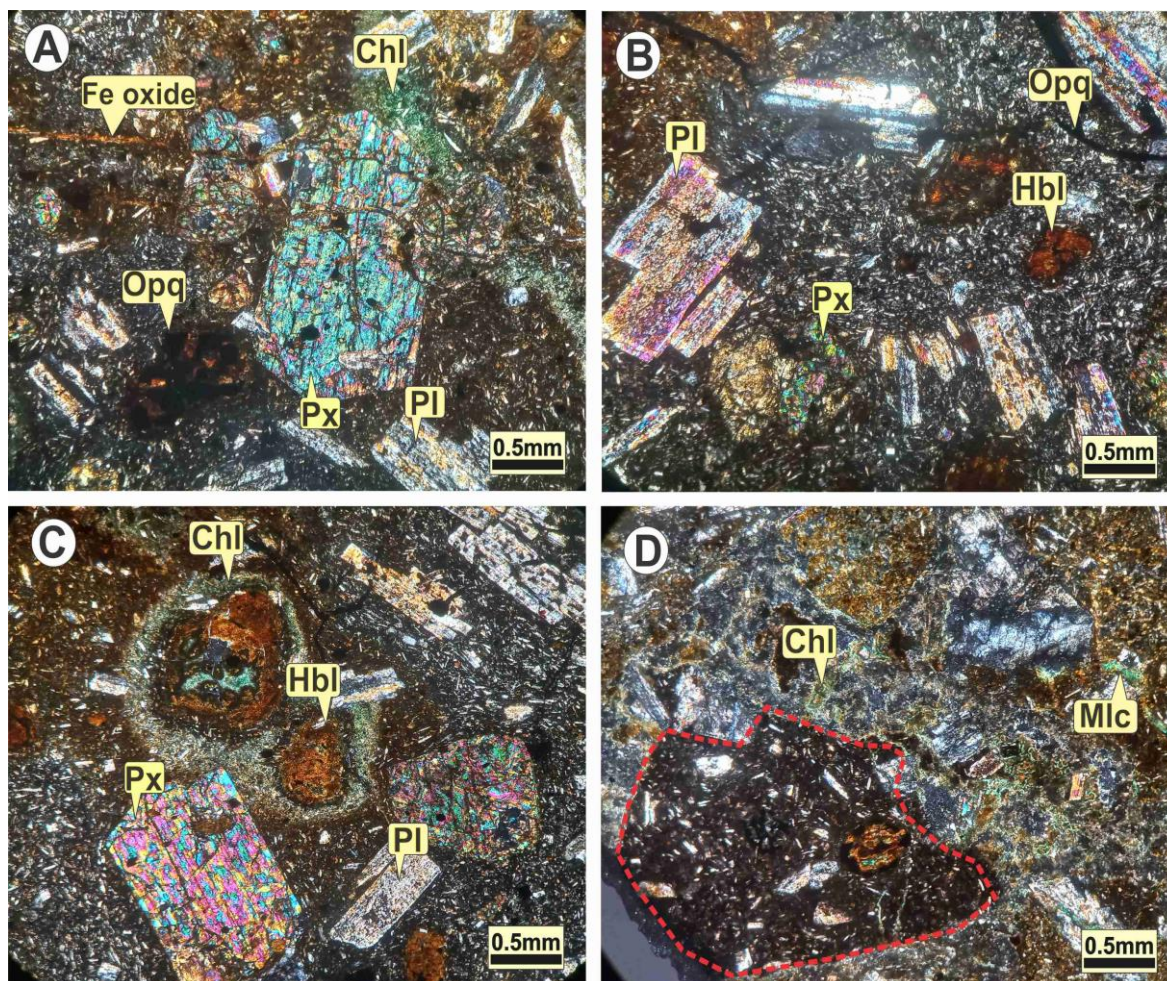
دگرسانی اکسید آهنی و دگرسانی سیلیسی می‌توانند قبل و یا بعد تشکیل کنگلومرا ایجاد شده باشند و ارتباطی با کانه‌زایی مس نوع مانتو در منطقه مورد بررسی ندارند. از مهم‌ترین دگرسانی‌ها که معمولاً در واحدهای سنگی آتشفشانی و رسوبی مشاهده می‌شود، دگرسانی هماتیتی و آغشتگی‌های مربوط به اکسید آهنی است که کنترل ساختاری دارد. با توجه به بافت و ساخت برشی ایجاد شده در این نوع واحدها و سهولت جابه‌جایی سیالات گرمایی، امکان ایجاد کانه‌زایی و دگرسانی هماتیتی فراهم شده است. به نظر می‌رسد حرکت سیالات گرمایی درون سنگ‌های آتشفشانی باعث ایجاد تجزیه و تبدیل کانی‌های مافیک به هماتیت و گوتیت و در نتیجه تشکیل دگرسانی‌های اکسید آهنی شده است (شکل ۱۷). این نوع دگرسانی در مناطقی که فرایندهای زمین‌ساختی با شدت بیشتری اتفاق افتاده، افزایش یافته و شدیدتر است. همچنین با توجه به حضور کانی پیریت درون واحدهای رسوبی، به نظر می‌رسد تجزیه کانی‌های پیریت سبب تشکیل سطحی کانی‌های اکسید آهنی نظیر هماتیت، لیمونیت و گوتیت و تشکیل دگرسانی هماتیتی و آغشتگی اکسید آهنی شده است. دگرسانی اکسید آهنی علاوه بر اینکه کنترل ساختاری دارد، در واحدهای رسوبی بیشتر کنترل کانی‌شناسی دارد و در واحدهای رسوبی که کانه‌زایی پیریت دارند، مشاهده می‌شود. نکته مهم این است که پیریت در زمان‌های مختلف تشکیل شده است و ارتباطی با کانه‌زایی مس ندارد. این نوع دگرسانی نیز با رنگ قرمز متمایل به قهوه‌ای به راحتی قابل



شکل ۱۷. نمونه‌هایی از رخنمون دارای دگرسانی اکسید آهنی در معدن مس سرخ  
**Fig. 17.** Samples of outcrops with Fe-oxide alteration in the Mes-e-sorkh



شکل ۱۸. نمایی از دگرسانی سیلیسی درون پیروکسن آندزیت در جنوب معدن نسیم  
**Fig. 18.** A view of silica alteration in pyroxene andesite in southern of the Nasim copper deposit



**شکل ۱۹.** محدوده نسیم، تصویرهایی از دگرسانی کلریتی A: درشت بلورهای شکل دار پیروکسن، پلاژیوکلاز همراه با کانی کدر و کانی ثانویه کلریت و رگچه اکسید آهنی (XPL)، B: درشت بلورهای پلاژیوکلاز، پیروکسن، هورنبلند و رگچه حاوی کانی کدر (XPL)، C: درشت بلورهای پیروکسن و پلاژیوکلاز و هورنبلند در حال تبدیل به کلریت از حاشیه (XPL) و D: کانی ثانویه کلریت و کانی حاوی مس مالاکیت همراه با قطعه سنگی آندزیتی (XPL). علائم اختصاری کانی ها از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Pl: پلاژیوکلاز، Hbl: هورنبلند، Px: پیروکسن، Chl: کلریت، Mlc: مالاکیت، Opq: اوبیک).

**Fig. 19.** the Nasim area, images of chlorite alteration A: pyroxene macrocrystals, plagioclase with opaque mineral and secondary chlorite mineral and Fe oxide veinlet (XPL), B: plagioclase, pyroxene, hornblende and veinlet with opaque minerals (XPL), C: pyroxene, plagioclase and hornblende crystals replacing into chlorite from the margin (XPL), and D: a view of the secondary mineral chlorite and malachite with andesite fragment (XPL). Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Pl: plagioclase, Hbl: hornblende, Px: pyroxene, Chl: chlorite, Mlc: malachite, Opq: opaque).

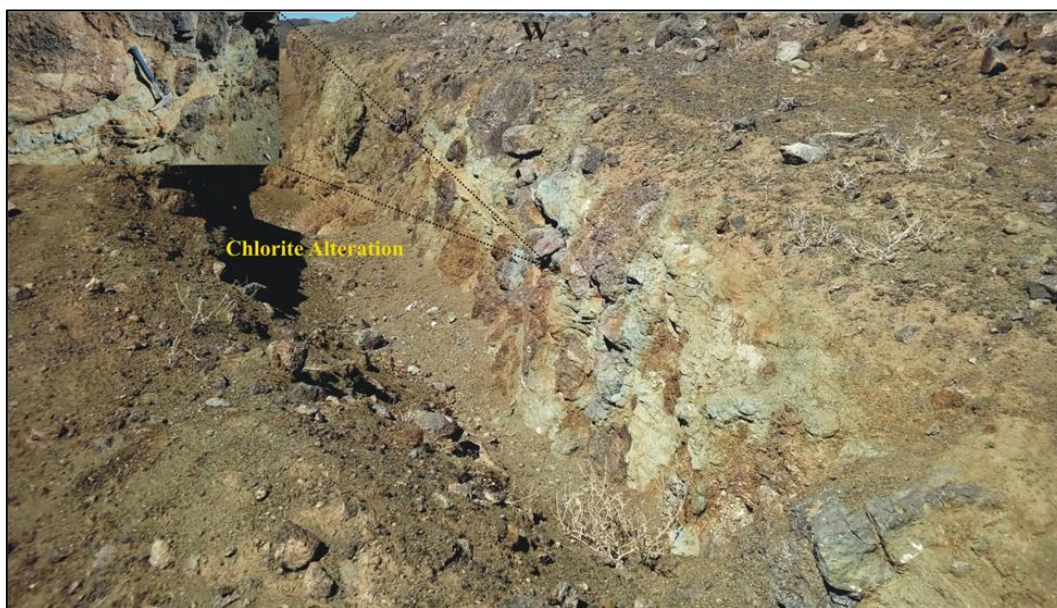
## شیمی محلول

در کنگلومرا مجموعه‌ای از قطعه‌های مختلف آتشفشانی و گاهی توده‌های دیوریت و مونزونیت با سن و ویژگی‌های متفاوت وجود دارد. هر قطعه یک هویت بنیادی اصلی دارد که در داخل

شیمی محلول گرمابی در زمان تشکیل کانسار نوع مانتو را می‌توان بر مبنای دگرسانی و هم‌یافت تفسیر کرد:

از مکان‌های مختلف اطلاعات را گرفته و در خود قرارداد است و نشان می‌دهد که قبل از تشکیل آن چه رخنمون‌هایی در سطح زمین وجود داشته است. در بررسی‌های کان‌زایی و شرایط تشکیل و رخدادهایی که اتفاق افتاده است، باید به این مهم توجه کرد که دگرسانی‌های مشاهده شده در داخل قطعه‌ها مربوط به زمان تشکیل آن واحد سنگی بوده که شسته شده، حمل شده و داخل کنگلومرا قرار گرفته است. پس این دگرسانی ربطی به زمان کان‌زایی ندارد؛ چون کان‌زایی بعد از تشکیل کنگلومرا و به دلیل تخلخلی که کنگلومرا داشته است، در این واحد سنگی محلول به تشکیل کالکوسیت منجر شده است.

کنگلومرا قرار گرفته است. تمامی پدیده‌های داخل کنگلومرا به ویژه دگرسانی، مربوط به زمان کان‌زایی نیست. وقتی دگرسانی خاصی در داخل قطعه سنگی دیوریتی یا مونزونیتی مشاهده می‌شود، بیانگر این است که این واحد سنگی در منطقه‌ای که تشکیل شده و نفوذ پیدا کرده، در معرض آن دگرسانی قرار داشته است، بعد طی فرسایش در مکان فعلی قرار گرفته است. در بعضی از قطعه‌های دیوریت یا مونزونیت، کانی اپیدوت وجود دارد که محلول باید غنی از آهن و اکسیدان باشد تا به تشکیل اپیدوت منجر شود. پس هر کانی که در داخل کنگلومرا مشاهده می‌شودف به عنوان دگرسانی نباید به زمان کان‌زایی ربط داده شود. کنگلومرا



شکل ۲۰. محدوده زرمهر، نمایی از دگرسانی کلریتی درون واحد سنگی کنگلومرا در زون اصلی کان‌زایی

Fig. 20. the Zarmehr area, A view of chlorite alteration in conglomerate unit, mineralization zone

کالکوپیریت مهم‌ترین کان‌ه اولیه کانسارهای مس پورفیری و ماسیوسولفید است. میزان مس کالکوپیریت ۳۴/۵ درصد و میزان آهن ۳۰/۴ درصد است (جدول ۱).

در تمام مس مانتوی پنجره بردسکن کالکوسیت مهم‌ترین کان‌ه اولیه مس است که به صورت بسیار جزئی بورنیت هم وجود دارد. میزان مس در کالکوسیت ۷۹/۸۵ درصد و بدون آهن و میزان مس در بورنیت ۶۳/۳۱ درصد و میزان آهن آن ۱۱/۱۳ درصد است.

جدول ۱. مقایسه برخی از کانی‌های مس از نظر میزان Cu, S, Fe, O, CO<sub>2</sub>Table 1. Comparison of copper minerals in terms of Cu, S, Fe, O and CO<sub>2</sub> contents

Mineral	Cu%	S%	Fe%	O%	CO <sub>2</sub> %	
Cu <sub>2</sub> S	79.85	20.15	-	-	-	Chalcocite
CuS	66.46	35.50	-	-	-	Covellite
Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	63.31	25.56	11.13	-	-	Bornite
CuFeS <sub>2</sub>	34.5	35	30.4	-	-	Chalcopyrite
Cu <sub>2</sub> O	88.82	-	-	11.18	-	Cuprite
CuO	79.89	-	-	20.11	-	Tenorite
Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>	57.50	-	-	36.18	20	Malachite
Cu <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	55.3	-	-	37.1	25.5	Azurite

اپیدوت هم شاخصی در فقیر بودن محلول از آهن و حالت احیایی است. در هم یافت همراه با کالکوسیت، مواد آلی بیتومن است و محلولی که به کانه‌زایی مس مانتو منجر شده، غنی از مس، فقیر از آهن و حالت احیایی داشته است.

### الگوی تشکیل و منشأ کانسارهای مس مانتوی بردسکن - درونه

بر اساس بررسی‌ها و مشاهدات صحرایی، شواهد زمین‌ساختی، مشاهدات کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی و شواهد زمین‌شیمیایی، الگوی تشکیل و تکامل کانسارهای مس مانتو بردسکن - درونه را بررسی می‌کنیم:

#### منشأ آتشفشانی

سنگ‌های آتشفشانی حاوی ۳ تا ۵ درصد مگنتیت اولیه هستند. اگر سنگ آتشفشانی دگرسان شود و بعد محلولی ایجاد شود که غنی از مس باشد، این محلول نمی‌تواند فقیر از آهن باشد و کانی‌های آهن‌داری مثل کالکوپیریت و پیریت در سامانه تشکیل خواهد شد. واحدهای آتشفشانی در منطقه به سبب چین خوردگی در امتدادی شمالی - جنوبی و با ضخامتی بین ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ متر

کالکوپیریت در کانسارهای نوع مانتو این منطقه وجود ندارد و در بخش‌هایی هم که به صورت جزئی مشاهده می‌شود، هیچ ارتباط زمانی، مکانی و منشائی با کالکوسیت ندارد. کانی‌شناسی اصلی ماده معدنی، کالکوسیت است و با توجه به بالا بودن میزان مس و نبود آهن در کالکوسیت، می‌توان نتیجه گرفت که در این سامانه‌ها، محلول فوق‌العاده غنی از مس و فقیر از آهن است. اگر آهن در محلول وجود داشت مثل کانسارهای مس پورفیری و ماسیو سولفیدها، کانی کالکوپیریت تشکیل می‌شد. پیریت و کالکوپیریت در مرحله تشکیل کالکوسیت وجود ندارد. قبل یا بعد از تشکیل کنگلومرا ممکن است پیریت تشکیل شده باشد و ارتباطی با هم یافت ندارد. کالکوسیت فقیر از آهن است.

همچنین با توجه به اینکه همراه با کانه‌زایی کالکوسیت، کوارتز مشاهده نمی‌شود، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که محلول گرمابی فقیر از سیلیس است و وجود مواد آلی بیتومن همراه با کانی کالکوسیت بیانگر احیایی بودن محلول است.

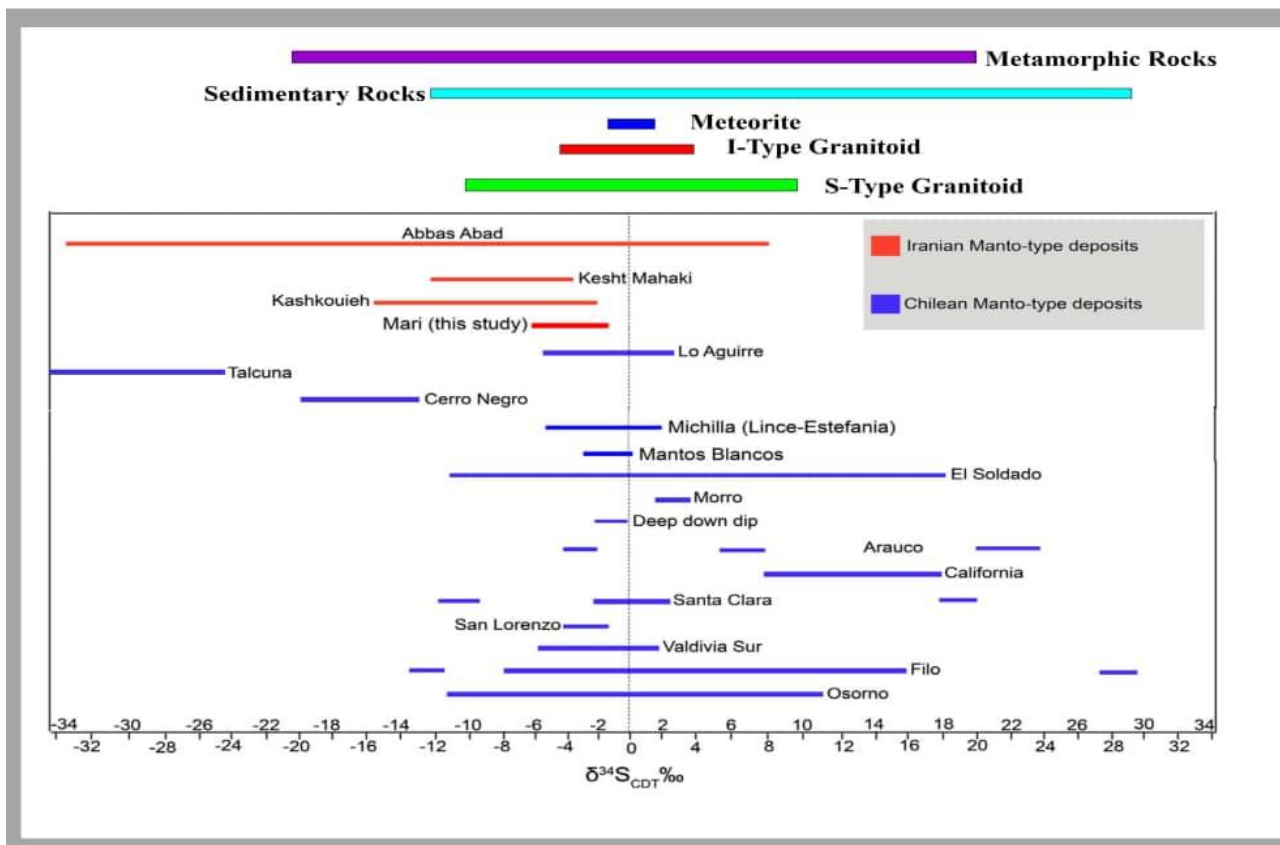
بر مبنای دگرسانی هم می‌توان شیمی محلول گرمابی در زمان تشکیل کانسار نوع مانتو را تفسیر کرد. از نظر دگرسانی، کانی اپیدوت نیست. کانی اپیدوت، سیلیکات آهن و کلسیم است و به علاوه آهن داخل کانی اپیدوت، آهن سه ظرفیتی است؛ پس نبود

محلول منشأ غیر ماگمایی دارد و فقط مس دارد. برای تعیین منشأ این سامانه‌ها، در دنیا بررسی‌های ایزوتوپی بر روی گوگرد انجام شده است. مغفوری و همکاران (Maghfouri et al., 2017)، کانسارهای نوع مانتو در ایران را از نظر مقدار ایزوتوپ گوگرد با کانسارهای نوع مانتو در شیلی مقایسه کرده‌اند و لی کانسارهای مختلف مقادیر متفاوتی از میزان گوگرد نشان داده است (شکل ۲۱) که بررسی‌های ایزوتوپی گوگرد برای تعیین منشأ نتیجه‌ای نخواهد داشت.

قابل مشاهده هستند و دگرسانی مشاهده نمی‌شود که مربوط به سنگ‌های آتشفشانی منطقه باشد؛ بنابراین تحت هیچ شرایطی نمی‌تواند سنگ آتشفشانی منشأ باشد.

### توده‌های نفوذی

اگر منشأ توده‌های نفوذی باشد که در عمق است، محلولی که منشأ ماگمایی دارد، بیش از ۳۰ درصد سیلیس دارد که کوارتز را تشکیل می‌دهد و همچنین غنی از آهن و آلومینیم است و معمولاً علاوه بر مس می‌تواند حاوی عناصری مثل سرب و روی نیز باشد.



شکل ۲۱. مقایسه مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  برای کانسارهای مس نوع مانتو ایران (Boveiri Konari et al., 2013; Abolipour et al., 2015; Maghfouri et al., 2017) با کانسارهای نوع مانتو در شیلی (Sasaki et al., 1984; Spiro and puig., 1988; Vivallo and Henríquez., 1998; Munizaga et al., 2017) (and Zentilli., 1994; Saric et al., 2003; Wilson et al., 2003)

**Fig. 21.** Comparison of  $\delta^{34}\text{S}$  values for Iranian copper Manto-type deposits (Boveiri Konari et al., 2013; Abolipour et al., 2015; Maghfouri et al., 2017) with Chilean Manto-type deposits (Sasaki et al., 1984; Spiro and puig., 1988; Munizaga and Zentilli, 1994; Vivallo and Henríquez., 1998; Saric et al., 2003; Wilson et al., 2003)



کنگلو مرا از جنس سنگ های آتشفشانی و در واقع همان بخش های ساییده شده قطعه های سنگ های آتشفشانی است که در داخل این سیمان کانی مگنتیت وجود دارد.

با توجه به اینکه سنگ های آتشفشانی ۳ تا ۵ درصد مگنتیت دارند، مگنتیت موجود در سیمان در اثر حمل و سایش قطعه های آتشفشانی حین تشکیل کنگلو مرا به صورت پودر داخل سیمان قرار می گیرد و هم یافت کالکوسیت نیست. به تدریج که محیط دریایی می شود، سیمان کربناتی و سنگ آهک تشکیل می شود. در داخل سیمان کربناتی فسیل نومولیت وجود دارد که بر اساس آن سن زمان تشکیل کنگلو مرا ائوسن بوده است. در بخش های بالایی سنگ آهک نیز کانی های رسی ایجاد شده است.

یک گروه از دگرسانی ها در کنگلو مرا مشاهده می شود که مربوط به قطعه های سنگی است و دگرسانی قبل از کانه زایی است و در واقع این قطعه ها و دگرسانی، پنجره ای از محیط قبل از تشکیل کنگلو مرا را نشان می دهد. این دگرسانی ها شامل زئولیتی، سلادونیتی، کربناتی و پروپیلیتیک است. گروه دوم دگرسانی ها هم زمان با کانه زایی است که به صورت کلریتی و کربناتی با شدت های کم تا متوسط همراه با زون کانه زایی مشاهده می شود (شکل ۲۲). دگرسانی های اکسید آهنی و سیلیسی می تواند مربوط به قبل و یا بعد از کانه زایی باشد.

بر مبنای هم یافت و دگرسانی، شیمی محلول مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. بدین صورت که مهم ترین کانی در کانسارهای منطقه کالکوسیت است. با توجه به بالا بودن میزان مس و نبود آهن در کالکوسیت، می توان نتیجه گرفت که در این سامانه ها، محلول فوق العاده غنی از مس و فقیر از آهن است. اگر محلول گرمابی حاوی آهن بود، باید کالکوپیریت و پیریت نیز علاوه بر کالکوسیت تشکیل می شد. با توجه به اینکه همراه با کانه زایی کالکوسیت، کوارتز مشاهده نمی شود، می توان نتیجه گیری کرد که محلول گرمابی فقیر از سیلیس است و وجود مواد آلی و نبود کانی اپیدوت همراه با کالکوسیت بیانگر احیایی بودن محلول است.

با توجه به شیمی خاص محلول گرمابی در کانسارهای مس نوع مانو در منطقه مورد بررسی و همچنین توجه به هم یافت، منشأ عناصر به درستی تشخیص داده نشده است و نیاز به بررسی دارد.

## نتیجه گیری

با توجه به بررسی هایی که بر روی کانسارهای مختلف مس نوع مانو در جغرافیای شمال غرب و غرب بردسکن انجام شد، کانه زایی مس مانو از فعالیت ها و سنگ های آتشفشانی، کنگلو مرا و سنگ آهک جوان تر است.

در مناطق شمال غرب بردسکن شواهد بیانگر رخداد یک کشش و بازشدگی درون یا پشت کمان است. این محیط های کششی پشت کمانی در آغاز دوره پائوسن شروع به فروانش به زیر صفحه توران کرده اند و در دوره ائوسن به طور کامل بسته شده اند. حاصل این فروانش، پیدایش مجموعه آتشفشانی شمال غربی بردسکن است که بر این اساس واحدهای آتشفشانی (واحدهای آندزیتی) دارای سن ائوسن هستند (Ghelichkhani et al., 2021).

فعالیت ها و سنگ های آتشفشانی در منطقه در شرایط غیر دریایی تشکیل شده است.

بر مبنای بررسی های بسیار دقیق و هدفمندی که بر روی کنگلو مرا انجام شد، مشخص شد که کنگلو مرا در منطقه یک بانک اطلاعاتی و یک گنجینه است که هم شواهدی از مجموعه های سنگی و رخنمون های قبل دوره فرسایش را داراست و هم به خاطر تخلخل و نفوذپذیری، سنگ میزبان مناسبی برای ماده معدنی بوده است.

تقریباً ۹۰ درصد قطعه های داخل کنگلو مرا انواع آندزیت هستند. قطعه هایی از بازالت و توده های نیمه عمیق و به صورت خیلی جزئی و محدود نیز قطعه های رسوبی در آن مشاهده می شود. قطعه های بازالت و آندزیت بازالت در قسمت های شمالی منطقه در واحد کنگلو مرا بیشتر می شود. ضخامت کنگلو مرا بین ۱ متر تا ۲۵ متر در منطقه متغیر است و اندازه قطعه ها از قسمت قاعده کنگلو مرا به سمت بالا کوچک می شود. سیمان در بخش های پایینی و قاعده

Alteration Time	Alteration Type	Mineral Type	Rock Type
After the Conglomerate Formation Simultaneously with Mineralization	Carbonate $\pm$ Chlorite $\pm$ Clay Mineral	Chalcocite, Calcite, Clay Minerals and Bitumen	Conglomerate
Before The Conglomerate Formation  : : Fragments inside the Conglomerate	Silicified	Silica	Fragments of Andesite and Monzonite
	Fe-Oxide	Goethite, Limonite, Hematite	Volcanic Rocks Sedimentary Rocks
	Celadonite	Celadonite	Fragments of Andesite
	Carbonate	Calcite	All Type of Fragments
	Epidote-Chlorite	Epidote, Chlorite $\pm$ Sericite	Fragments of Andesite and Monzonite
	Zeolite	Natrolite	Mega Porphyritic Andesite

شکل ۲۲. انواع دگرسانی در کانسارهای نوع مانتو بردسکن-درونه با توجه به زمان و کانی‌های شاخص

Fig. 22. Types of alteration in manto-type mines of Bardaskan-Dorouneh according to time and indicator minerals

فردوسی مشهد، طی طرح شماره ۵۹۷۴۵/۳ انجام شده است. از جناب آقای مهندس زرین فر و جناب آقای دکتر کاظمی نهایت تقدیر و تشکر را داریم و از دوستان و همکاران بزرگوار در شرکت کومه معدن پارس، شرکت پارسی کان کاو، شرکت مه‌اد و شرکت زرمهر تهران اوکسین برای همکاری در این پژوهش صمیمانه سپاسگزاریم.

### تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافی توسط نویسندگان بیان نشده است.

محلول گرمایی در کانسارهای مس مانتوی منطقه غنی از مس و در مقایسه با کانسارهای مس پورفیری، IOCG و سرب و روی ماسیوسولفید، فقیر از طلا، نقره، سرب و روی، آهن و سیلیس بوده است. بنابراین سامانه‌های مس مانتو در منطقه، محلول گرمایی با شیمی خاص داشته‌اند. درک اشتباه از شیمی محلول و هم‌یافت موجب به چالش کشیدن منشأ عناصر می‌شود.

### قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه

## References

- Abolipour, M., Rastad, E. and Rashidnejadomran, N., 2015. Manto-type copper mineralization in pyrobitumen-bearing porphyritic andesite, Koshkouieh district of Rafsanjan, Dehaj-Sardoie subzone. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 24(95): 123–144.  
<https://doi.org/10.22071/gsj.2015.42418>
- Amini zahan, H., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Karimpour, M.H., 2020. *Geology, Mineralogy and Geochemistry in Kimia Mining Area, Northwest of Bardaskan*. 12th National Conference of Economic Geology Association, Bo Ali Sina University, Hamadan, Iran. Retrieved April 18, 2023 from <https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1080963.html>
- Boveiri Konari, M., Rstad, E., Kojima, S. and Rashidnejad Omran, N., 2013. Volcanic redbedtype 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. Retrieved April 18, 2023 from <https://www.researchgate.net/publication/264972581>
- Ebrahimi, S., Arabamiri, A.R. and Ghanbari, H., 2018. Mineralogy, alteration, fluid inclusion and stable isotopes studies of the Sharifabad - Bardaskan copper deposit, NE Iran. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 30(117): 135–146.  
<https://doi.org/10.22071/gsj.2020.197243.1687>
- Entezarab, A., 2018. *Geology, Mineralogy, Geochemistry and Geophysical Data Interpretation of Ternam Copper Mine, NorthWest of Bardaskan*. M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 171 pp.
- Ghelichkhani, M. and Malakzadeh Shafaroudi, A., 2018. Geology, alteration, mineralization, geochemistry of Zangalou copper mine area. 10th National Symposium of Economic Geology of Iran, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Retrieved April 20, 2023 from <https://conf.ui.ac.ir/fa/article.php?lrId=104&cnfid=9>
- Ghelichkhani, M., Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M.H. and Hommam, M., 2021. Petrography, geochemistry and tectonic setting of NW Bardaskan volcanic rocks: a case study of Zangalou mine. *Petrological Journal*, 12(2): 1–22.  
<https://doi.org/10.22108/ijp.2021.125200.1204>
- Jabbari, E., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Karimpour, M.H., 2017. Kalabri Stratabound Copper Deposit (Manto-type) in Eocene Volcano-Sedimentary Sequence of NW Bardaskan, Northeastern Iran. *Advanced Applied Geology*, 7(1): 1–19.  
<https://doi.org/10.22055/AAG.2017.13066>
- Karimpour, M.H., Rezai, R., Zarasvandi, A. and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2021. Saveh-Nain-Jiroft Magmatic Belt replaces Urumieh-Dokhtar Magmatic Belt: Investigation of genetic relationship between porphyry copper deposits and adakitic and non-adakitic granitoids. *Journal of Economic Geology*, 13(3): 465–506. (in Persian with English abstract)  
<https://dx.doi.org/10.22067/econg.v13i3.1034>
- Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M.R., Moayyed, M., Movahednia, M. and Choulet, F., 2017. Geology, mineralization and sulfur isotopes geochemistry of the Mari Cu (Ag) Manto-type deposit, northern Zanjan, Iran. *Ore Geology Reviews*, 81(1): 10–22.  
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.025>
- Munizaga, F. and Zentilli, M., 1994. Sulfur Isotope Characterization of Stratabound Copper Deposits in Chile. University of Chile, Santiago, Chile, 45: 127–134. Retrieved April 15, 2023 from <https://cir.nii.ac.jp/crid/1573950400981914880>
- Qaemi F. and Mousavi Harami R., 2006, map 1:100000 Iran. Geological and Mineral Exploration Organization.
- Ramezaniabbakhsh, T., Karimpour, M.H., Azizi, H., Rahimi, B. and Saadat, S., 2023. Metallogeny of Manto copper deposits, special view in the Nasim copper deposit, northwest of Bardaskan, Razavi Khorasan. *Journal of Economic Geology*, 15(1): 143–174. (in Persian with English abstract)  
<https://doi.org/10.22067/ECONG.2023.81591.1071>
- Saric, N., Kreft, C. and Huete, C., 2003. Geología del yacimiento Lo Aguirre, Chile. *Revista geológica de Chile*, 30(2): 317–331.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0716-02082003000200010>
- Sasaki, A., Ulriksen, C.E., Sato, K. and Ishihara, S., 1984. Sulfur isotope reconnaissance of porphyry

- copper and manto-type deposits in Chile and the Philippines. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 35: 615–622. Retrieved April 20, 2023 from <https://www.researchgate.net/publication/291839946>
- Shahrabi, M. Hosseini, M. and Shabani, K., 2006, geological map 1:100000 Bardaskan, Geological and Mineral Exploration Organization of Iran.
- Sheykhi, A., Karimpour, M.H., Sepahi, A.A. and Rahimi, B., 2024. Important and influential factors in mineralization and grade changes of Manto-copper deposits with a special look to Nasim, Mes-e-Sorkh and Zarmehr mines. *Journal of Economic Geology*, 16(2): 35–60. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/econg.2024.87223.1105>
- Soltani, A. and Fardost, F., 2016. Mineralogy, geochemistry and genesis of Abri copper deposit, Dari and Cheshme Marzieh, northwest of Doruneh. M.Sc. Thesis, Shahrood University of Technolog, Shahrood, Iran, 212 pp.
- Spiro, B. and Puig, A., 1988. The source of sulphur in polymetallic deposits in the Cretaceous magmatic arc, Chilean Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 1(3): 261–266. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(88\)90004-1](https://doi.org/10.1016/0895-9811(88)90004-1)
- Vivallo, W. and Henríquez, F., 1998. Génesis común de los yacimientos estratoligados y vetiformes de cobre del Jurásico Medio a Superior en la Cordillera de la Costa, Región de Antofagasta, Chile. *Revista geológica de Chile*, 25(2): 199–228. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-02081998000200006>
- 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., Zentilli, M. and Spiro, B., 2003. A Sulfur, Carbon, Oxygen, and Strontium Isotope Study of the Volcanic-Hosted El Soldado Manto-Type Copper Deposit, Chile, The Essential Role of Bacteria and Petroleum. *Economic Geology*, 98(1): 163–174. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.1.163>
- Wise, W.S. and Eugster, H.P., 1964. Celadonite synthesis, thermal stability and occurrence. *American Mineralogist*, 49(7–8): 1031-1083.