

Research Article

Geology, mineralization, and geochemistry of Hashemabad Cu deposit (south of Naein)

Seyed Mehran Heidari^{1*}, Mina Boveiri Konari²

1- Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Azadi Sq., Meraj-street, Tehran-Iran

2- Senior exploration expert of Samane Kansar Zameen Company, Tehran

Keywords: *Manto-type, Stratabound, Volcano-sedimentary, Cretaceous, Central Iran*

1-Introduction

The evolution of Neo-Tethys, related to the Alpine-Himalayan orogenic belt in Iran, is known as the Zagros orogeny, and the Urumieh-Dokhtar is its magmatic arc (Alavi, 1994). The Hashemabad Cu deposit is located in the SE part of Esfahan province (Naein), in the central Iran Zone and within Cretaceous volcanic rocks, which are located between the Yazd subzone and the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. This system is a part of the Naein-Ardestan basin, which consists of Cretaceous sub-seafloor lava, volcano-sedimentary, and ultrabasic rocks that formed in the extensional environment. This complex is a part of the Neotethys formation stages (arc, back-arc, collision to post-collision) from Mesozoic to Neogene (Dercourt et al., 1986) and located in a tectonic zone (strike-slip fault systems) adjacent to Urumieh-Dokhtar magmatic arc. In other words, the subduction of the Neotethys oceanic plate under the western parts of the Sanandaj-Sirjan zone has led to the formation of back-arc extensional environments in the Cretaceous (Central Iran) and the subsequent ophiolitic sequence (Naein ophiolitic belt) (Hassanzadeh and Wernicke, 2016). Based on this, due to its location on the outer edge of the magmatic arc (Paleocene and later) and its proximity to the ophiolitic complex (Cretaceous), in terms of metallogenesis, this area can host various types of ore types, such as epithermal, porphyry, massive sulfide, mantle, etc. (Heidari et al., 2023). Therefore, understanding the geological environment, structure, alteration, and its relationship with different types of copper deposits in the Cretaceous-Oligomiocene can play an essential role in better identification of hydrothermal-magmatic deposits in this area and provide a base for further studies and advancement of exploration goals. Therefore, in this article, we give an overview of the geology, structure, and formation environment of Hashemabad in the volcanic units attributed to the Cretaceous and then present alteration, mineralization, and geochemistry.

2-Material and methods

The geological map 1:5000 was used as a base for sampling mineralization and alteration at the Hashemabad deposit. Petrographic studies were conducted on 20 samples from unaltered host rocks, hydrothermally altered (8 XRD), and mineralized siliceous veins (15 samples). Also, 49 samples were analyzed (ICP_EOS method) in Zarazma Mineral Materials Study Company to investigate trace elements. Aster images and ENVI48 software were used to process data and highlight alterations and their relationship with structures and rocks. The distribution pattern and geochemical behavior of copper and other elements were used by the results of 187 samples from 200*200m grid litho-geochemistry.

3-Results and discussions

Main altered and metamorphosed rocks in this area include Middle-Upper Cretaceous basaltic lava, andesite, basaltic andesite, rhyolite and rhyolitic tuff, and younger subvolcanic masses which emplaced about strike-slip faults. Andesite and basaltic andesite, which are well distributed in the whole area, are the primary hosts of copper mineralization. Propylitic, argillic, sericitization, silicification, carbonatization, and

* Corresponding author: sm.heidari@gmail.com

DOI: 10.22055/AAG.2024.44490.2396

Received: 2023-10-15

Accepted: 2024-02-13

sulfidation are the main alterations that are well distributed along faults and fractures. However, the intensity of silicification and carbonatization increased in proximity to the mineralized zone. Ore mineralization is generally simultaneous with the bedding of host basaltic andesite lava in the form of disseminated and lens shapes. It has been observed with stratabound geometry along local and cross-cutting faults. Ore minerals have vein-veinlets, open space filling, disseminated, and replacement textures. Ore minerals include chalcocite, bornite, chalcopyrite, and pyrite, and secondary minerals such as covellite, secondary chalcocite, malachite, hematite, goethite, and azurite. The results of systematic litho-geochemical studies and their processing and analysis in the Hashemabad exploratory area all indicate the occurrence of copper mineralization. Geochemical studies in this area proposed high potential and enrichment of Cu mineralization. Lead and zinc elements also have relatively significant amounts and are considered anomalous. The quantity of molybdenum is also substantial. The presence of rather good amounts of gold in tuff units containing jasper and in the place of argillic alteration is one of the unique features of this area.

4-Conclusion

Accordingly, due to the tectonic setting, host rock lithology, structure and texture, mineralogy, alteration, paragenesis, and geochemistry data of the Hashemabad area, this deposit could be considered a type of copper deposit.

5-References

- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics* 229, 211–238. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2).
- Dercourt, J., Zonenshain, L.P., Ricou, L.E., Kazmin, V.G., Le Pichon, X., Knipper, A.L., Grandjacquet, et al., 1986. Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the LIAS. *Tectonophysics* 123, 241- 315. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(86\)90199-x](https://doi.org/10.1016/0040-1951(86)90199-x).
- Hassanzadeh, J., Wernicke, B.P., 2016. The Neotethyan Sanandaj- Sirjan zone of Iran as an archetype for passive margin- arc transitions. *Tectonics* 35(3), 586- 621. <https://doi.org/10.1002/2015tc003926>.
- Heidari, S.M., Afzal, P., Sadeghi, B., 2023. Miocene tectono- magmatic events and gold/poly- metal mineralizations in the Takab- Delijan belt, NW Iran. *Geochemistry* 83(1), 125944. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2022.125944>.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Heidari, M., Boveiri Konari, M., 2024. Geology, mineralization, and geochemistry of Hashemabad Cu deposit (south of Naein). *Adv. Appl. Geol.* 14(1), 244-276.
DOI: 10.22055/AAG.2024.44490.2396
URL: https://aag.scu.ac.ir/article_19063.html

©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

زمین شناسی، کانه‌زائی و زمین‌شیمی کانسار مس هاشم‌آباد (جنوب نائین)

سید مهران حیدری*

گروه کانی‌شناسی و اکتشافات معدنی کاربردی، پژوهشکده علوم زمین، تهران، ایران

مینا بوبری کناری

کارشناس ارشد اکتشاف شرکت سامانه کانسار زمین، تهران

* sm.heidari@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴

چکیده

کانسار مس هاشم‌آباد، در جنوب‌خاور استان اصفهان (نائین)، در پهنه ایران مرکزی و مجموعه آتشفشانی منسوب به کرتاسه واقع است. این سامانه، بخشی از توالی حوضه نائین-اردستان، به لحاظ زمین‌شناسی شامل گدازه‌های زیردریایی، آذرآوری-رسوبی و سنگهای اولترابازیک به سن کرتاسه فوقانی می‌باشد که در محیطی کشتی تشکیل شده‌اند. این مجموعه در پهنه‌ای تکتونیزه (اغلب سامانه‌های گسلی امتدادلغز) در مجاورت کمان آتشفشانی ارومیه- دختر قرار دارند. عمده واحدهای دگرسان و تا حدودی دگرگون در این محدوده شامل گدازه‌های بازالتی، آندزیتی، آندزیت بازالتی، ریولیتی و نهشته‌های توفی با ترکیب ریولیتی کرتاسه میانی-فوقانی و توده‌های نیمه‌عمیق جوانتر می‌باشند که جایگیری آنها در ارتباط با گسل‌های امتدادلغز می‌باشد. در این بین، واحدهای آندزیت تا آندزیت بازالتی با بیشترین رخمون، میزبان اصلی کانه‌زایی مس می‌باشند. انواع دگرسانی‌های پروپلیتیک، آرژلیک، سربستی، سیلیسی، کربناتی و سولفیدی شدن قابل تشخیص هستند که اغلب در امتداد شکستگی‌ها توسعه بیشتری نشان می‌دهند. هرچند با نزدیک شدن به پهنه کانه‌دار بر شدت سیلیسی و کربناتی شدن افزوده می‌شود. کانه‌زایی در این پهنه، عمدتاً به صورت همخوان (دانه‌پراکنده و لنزی) با لایه‌بندی و در امتداد گسل‌های محلی و قطع‌کننده به صورت چینه‌کران تشکیل شده‌اند. ساخت و بافت‌ها شامل رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، دانه‌پراکنده و جان‌شینی و کانی‌های اصلی کالکوسیت، بونیت، کالکوپیریت و پیریت و کانی‌های ثانویه کوولیت، کالکوسیت ثانویه، مالاکیت، همتیت، گوتیت و آزوریت می‌باشند. نتایج داده‌های زمین‌شیمیایی، حاکی از پتانسیل بالای آن از نقطه‌نظر کانه‌زایی مس (به میزان کمتر نقره و مولیبدن) در حد غنی شده می‌باشد. عناصر سرب و روی نیز در رده عناصر آنومال قرار می‌گیرند. همچنین حضور مقادیر نسبتاً خوب طلا در واحدهای توفی حاوی ژاسپ و همچنین در محل دگرسانی آرژلیک، از ویژگی‌های منحصر به فرد این گستره کانیایی می‌باشد. با توجه به شواهد و پارامترهایی چون محیط تکتونیک، سنگ میزبان، ساخت و بافت، کانی‌شناسی، دگرسانی، پاراژنز، زمین‌شیمی و مقایسه آنها با ویژگی‌های ذخایر مس با میزبان آتشفشانی-رسوبی، این کانسار بیشترین شباهت را به کانسارهای تیپ مانتو دارد.

واژه‌های کلیدی: تیپ مانتو، چینه‌کران، آتشفشانی-رسوبی، کرتاسه، ایران مرکزی.

۱- مقدمه

به لحاظ پهنه‌های ساختاری-رسوبی (Stöcklin, 1968)، این گستره در آن بخش از مجموعه سنگ‌های آتشفشانی مزوزوئیک منسوب به ایران مرکزی واقع است که در حد فاصل بین زیرپهنه یزد و کمان ماگمایی ارومیه- دختر قرار دارد (شکل ۱a). به گونه‌ای که از شمال با مجموعه افیولیتی نائین و از باختر با بخش جنوب‌خاوری کمان ماگمایی ارومیه- دختر (ناحیه اردستان- سرچشمه- خارستان) هم‌جوار می‌باشد (شکل ۱b). در واقع این ناحیه در زیر پهنه نائین- اردستان (شکل ۱b) که به لحاظ موقعیت ژئودینامیکی بخشی از مراحل تکوین نئوتتیس (کمان، پشت کمان، برخورد تا پس از برخورد) از مزوزوئیک تا نئوژن می‌باشد (Dercourt et al. 1986; Alavi. 1994)،

کانسار مس هاشم‌آباد در ۲۵ کیلومتری جنوب شهر نائین و ۵ کیلومتری جنوب‌خاور روستای هاشم‌آباد در استان اصفهان و محدوده‌ای به مختصات $35^{\circ}32'18''$ تا $37^{\circ}32'50''$ عرض شمالی و $59^{\circ}52'33''$ تا $40^{\circ}53'32''$ طول شرقی با وسعتی در حدود ۳۱ کیلومتر مربع قرار دارد (شکل ۱). این محدوده به لحاظ نقشه‌های زمین‌شناسی در جنوب‌باختر چهارگوش $1:250,000$ نائین (Nabavi and Amidi, 1978) و در مرز برگه $1:100,000$ نائین (Alaei Mahabadi and Fodazi, 2004) در باختر ارتفاعات کوه‌سلطان قرار دارد.

Boveiri Konari et al. 2013, 2014; Movahednia et al. 2022). لازم به ذکر است تیپ مانتو از مهمترین تیپ‌های کانساری مس می‌باشد که به اسامی دیگری از جمله تیپ Volcanic Red Bed (در کانادا) و مس کوییناوی (در آمریکا) نامگذاری شده‌اند (Church 1996; Cabral and Beaudoin 2007). همچنین بر اساس مطالعات و بررسی‌های انجام شده، پهنه ارومیه-دختر دربرگیرنده بزرگ‌ترین ذخایر مس تیپ مانتو در ایران هستند (Samani, 2002; Maghfouri et al. 2017, 2020; Movahednia et al. 2020, 2022).

۲- روش مطالعه

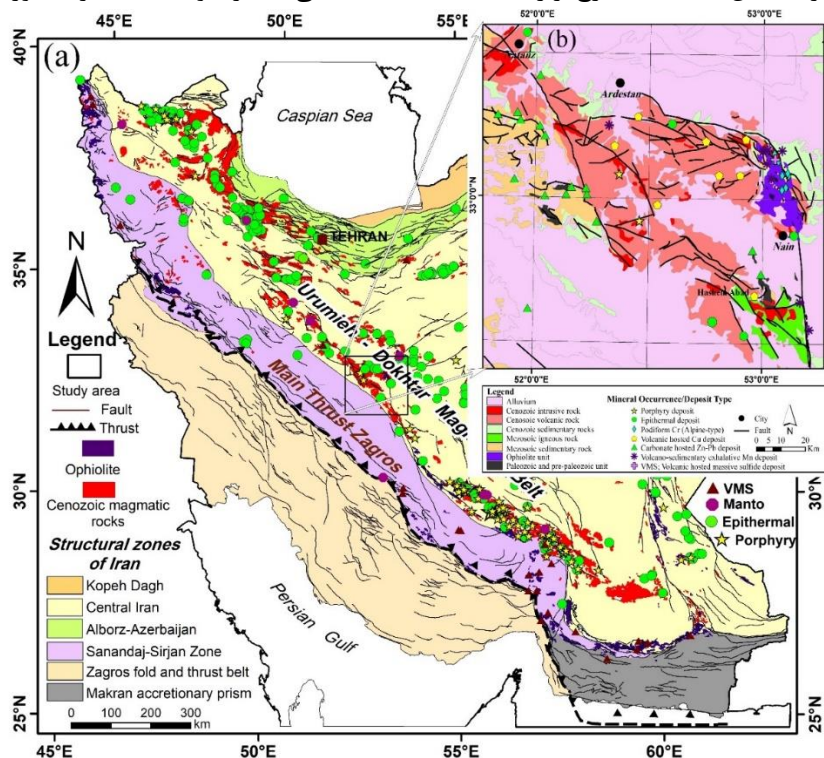
مطالعات و برداشتهای دقیق صحرایی از واحدهای زمین‌شناسی (۲۰ نمونه مقطع نازک)، بخش‌های کانه‌دار (۱۵ نمونه نازک- صیقلی و ۲ صیقلی) و دگرسان (۱۷ نمونه به روش XRD) در این کانسار، با هدف تعیین ترکیب واحدهای سنگی، درک توالی سنگ‌چینه‌ای، شناخت ترکیب کانیائی دگرسانی‌های در مجاورت با ماده معدنی و کانه‌نگاری و ساخت و بافت کانه‌زائی به منظور ترسیم نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۵۰۰۰، بوده است. در این راستا پردازش‌های دورسنجی برای تفکیک واحدهای سنگی، ساختارها و شناخت انواع دگرسانی‌ها با استفاده از تصاویر Aster, ETM, Bing و روش‌های ترکیب رنگی کاذب، نسبت بانندی و بارزسازی با روش نقشه‌برداری زاویه طیفی، در نرم‌افزار ENVI4.8، صورت گرفته است. در ضمن مطالعات زمین‌شیمیایی جهت بررسی عناصر کمیاب (Trace)، عناصر نادر خاکی (REE) (۶۷ نمونه به روش ICP-OES) و همچنین بررسی الگوی توزیع و رفتار مس و دیگر عناصر همراه، با توجه به رخنمون واحدهای سنگی آتشفشانی و نفوذی در بخش‌های مختلف گستره مورد بررسی، از نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی سیستماتیک که در سلول‌هایی با ابعاد ۲۰۰ در ۲۰۰ متر (تعداد ۱۸۷ نمونه) برداشت شده بود، استفاده گردید. آنالیز و اندازه‌گیری مقادیر عناصر اصلی، فرعی و کمیاب (به روش ICP-OES) و طلا (روش Fire assay) در شرکت مطالعات مواد معدنی زرآما انجام پذیرفت. نحوه پردازش این داده‌ها به این صورت است که نتایج آنالیز لیتوژئوشیمیایی به همراه مختصات محل برداشت نمونه‌ها در یک بانک اطلاعاتی ذخیره گردید. سپس برای بخشی از داده‌ها که به صورت سنسورد گزارش شده بودند، جایگزینی داده‌های سنسورد انجام گرفت.

قرار دارد. به عبارت بهتر فرورانش ورقه اقیانوسی نئوتتیس به زیر بخش‌های باختری پهنه سنندج- سیرجان، منجر به تشکیل محیط‌های کشتی پشت‌کمانی در کرتاسه (ایران مرکزی) و پیرو آن توالی افیولیتی (کمبرند افیولیتی نائین) شده است (Hassanzadeh and Wernicke, 2016). بر این اساس، این ناحیه با توجه به قرارگیری در حاشیه بیرونی کمان ماگمایی (پائوسن به بعد) و نیز مجاورت با مجموعه افیولیتی (کرتاسه)، به لحاظ فلزائی، می‌تواند میزبان انواع مختلفی از تیپ‌های کانه‌زائی نظیر اپی‌ترمال، پورفیری، سولفید توده‌ای، مانتو و غیره در چند بازه زمانی (کرتاسه و جوانتر) باشد (Heidari et al. 2023) که از موارد آن می‌توان به کانسارهای مس پورفیری کهنک (Komeili et al. 2017)، ظفرند (Aminoroayaei et al. 2016)، مس اپی‌ترمال کالجویه (Hosseini Dinani et al. 2012)، قلعه‌در (Ghasemi et al. 2004) و مس با میزبان ولکانیکی همچون کچومثقال (Gholami Fesharaki et al. 2011) و مسکات (Jamali, 2016)، کانسار آتشفشانی- رسوبی منگنز (مس) بنوید (Almodaresi and Mohammadpour, 2014) و کانسار سرب و روی با میزبان کربناته فیض‌آباد (Afroukhteh, 2014) اشاره کرد (شکل ۱a).

بر این اساس و با وجود تنوع ذخایر معدنی در این ناحیه، و قرارگیری این کانسار (هاشم‌آباد) در واحدهای آتشفشانی منسوب به کرتاسه، این پژوهش سعی دارد با توجه به مطالعه زمین‌شناسی، ساختار و محیط تشکیل، روابط ساخت و بافتی، کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و ارتباط آن با سایر کانسارهای واقع در این زیر پهنه (نائین- اردستان) به بررسی عوامل کنترل‌کننده کانه‌زائی و الگوی پیدایش این کانسار بپردازد. لازم به ذکر است گسترش کانسارهای مس با میزبان آتشفشانی (تیپ مانتو) در ایران از پراکندگی عمومی نسبتاً خوبی برخوردار است به گونه‌ای که تقریباً در تمامی پهنه‌های ساختاری همچون پهنه سبزوار (کانسار مس عباس‌آباد؛ Salehi et al. 2016)، کمربند دهج- ساردوئیه (Abolipour et al. 2016)، بلوک لوت، کمان ماگمایی ارومیه- دختر و کمربند البرز- آذربایجان به سن ائوسن (Samani, 2002; Alizadeh et al. 2016; Movahednia et al. 2022) گزارش شده‌اند (شکل ۱a). علاوه بر آن در شمال‌باختر تا جنوب‌خاور دهبید در پهنه سنندج- سیرجان نیز کانه‌زایی‌های متعددی از جمله کانسار کشت‌مهکی به سن کرتاسه زیرین به عنوان تیپ مانتو معرفی گردیده است

تعیین آنومالی‌ها و پردازش‌های آماری چند متغیره (ضرایب همبستگی، آنالیز خوشه‌ای، آنالیز فاکتوری) استفاده شد.

در نهایت از این داده‌ها جهت محاسبه پارامترهای آماری، پردازش‌های آماری تک‌متغیره، تعیین مشاهدات خارج از ردیف،



شکل ۱- (a) نمائی از موقعیت محدوده مورد مطالعه نسبت به کمان ماگمائی ارومیه- دختر همراه با پراکندگی برخی از انواع مهم تیپ‌های کانه‌زایی (پورفیری، اپی‌ترمال، سولفید توده‌ای و مانتو) در باختر ایران و (b) زیر پهنه نائین- اردستان، همراه با موقعیت کانسار مس هاشم‌آباد (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی رقومی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ ایران، Sahandi et al. 2006).

Fig. 1. (a) A view of the study area location in relation to the Urumieh- Dokhtar magmatic arc, with some epithermal, Manto, massive sulfide and porphyry deposits on it and (b) Location of the Hashemabad and other deposits in the Naein-Ardestan subzone (compiled based on digital geological map 1:1000000 of Iran, Sahandi et al. 2006).

فازهای ماگمائی- رسوبی مزوزوئیک در این ناحیه، شامل گسترش افیولیت‌ها (بقایای نئوتیس) در بخش شمال‌باختری، توالی آتشفشانی- رسوبی منسوب به بخش بالایی توالی افیولیتی در بخش جنوبی و واحدهای آهکی در بخش باختری محدود می‌باشد (شکل ۱b). از خصوصیات مهم این واحدها، بهم‌ریختگی نظام اولیه (آمیزه رنگین)، فراراندگی و نابرجا بودن آن طی فعالیت‌های زمین‌ساختی و آتشفشانی جوان‌تر، می‌باشد (Agard et al. 2011). این مجموعه بیشتر شامل پریدوتیت، هارزبورژیت، دونیت و لرزولیت به سن کرتاسه و سنگهای آتشفشانی- رسوبی زیردریایی با ترکیب اسپیلیت، دیاباز، برش‌های آتشفشانی، بازالت، توف، آهک به سن کرتاسه بالایی می‌باشند (شکل ۱b) که با ناپیوستگی در زیر واحدهای پالئوسن قرار می‌گیرند (Alaei Mahabadi and Fodazi, 2004).

۳- زمین‌شناسی

۳-۱- زمین‌شناسی عمومی

به‌طور کلی پهنه نائین- اردستان (شکل ۱b) به لحاظ زمین‌شناسی از مجموعه‌ای آتشفشانی- رسوبی و افیولیتی به سن کرتاسه فوقانی در جوار مجموعه‌ای از واحدهای آذرین و آتشفشانی- رسوبی و توده‌های نفوذی سنوزوئیک تشکیل یافته است که در پهنه‌ای گسلی (غالباً سامانه‌های گسلی امتدادلغز) قرار دارند (شکل ۱b). این فاز ماگمائی (سنوزوئیک) به لحاظ ترکیب سنگ‌شناسی، روند گستردگی و بازه زمانی تشکیل (اوسن- میوسن)، بخشی از کمان ماگمائی ارومیه- دختر محسوب می‌شود که در سرتاسر باختر کشور، به موازات پهنه سنندج- سیرجان رخنمون دارند و ایران مرکزی را نیز در مناطق مختلف قطع کرده‌اند (شکل ۱a).

سنگ‌های آتشفشانی عمدتاً شامل گدازه‌های تراکیتی، بازالتی، آندزیت، آندزیت بازالتی، ریولیت و نهشته‌های توفی با ترکیب ریولیتی هستند. در این بین، واحدهای آندزیت تا آندزیت بازالتی بیشترین رخنمون را دارند و در برخی موارد کانه‌زایی مس نیز در همراهی با این واحدها رخ داده است. سنگ‌های رسوبی غالباً متشکل از آهک و دولومیت کرتاسه می‌باشد. واحدهای سنوزوئیک اگرچه در این محدوده رخنمون کمی دارند اما حضور آنها به صورت توده‌های نفوذی با ترکیب دیوریت تا گرانودیوریت در خاور و جنوب‌باختر محدوده می‌باشند که در نهشته‌های کرتاسه تریق شده‌اند (شکل ۲). واحدهای رخنمون‌یافته در گستره نقشه بر اساس ترتیب سنی نهشته‌ها شامل موارد زیر می‌باشد.

۳-۲-۱- واحد Kdt

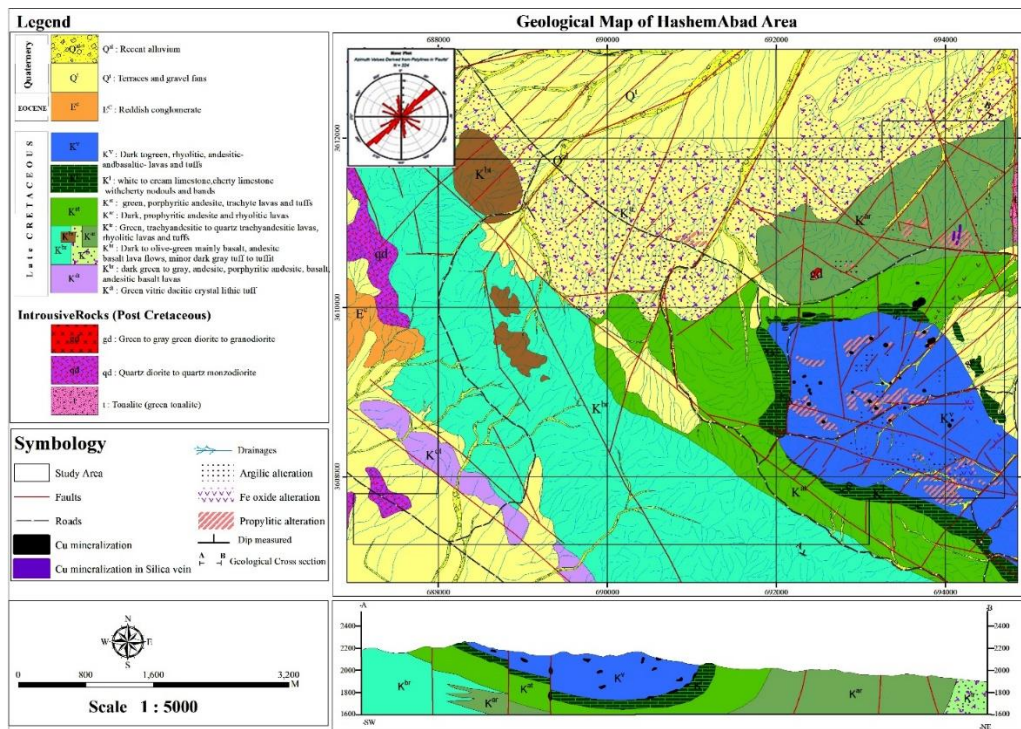
کهن‌ترین واحد سنگی رخنمون‌یافته در محدوده، واحد Kdt متشکل از لیتیک‌توف‌های آندزیتی - ریولیتی (داسیتی) می‌باشد، که با توجه به تغییر در ماهیت ترکیبی کانی‌ها و تجدید تبلور کوارتز و آثار جهت‌یافتگی، تحت تاثیر دگرسانی و دگرگونی قرار گرفته‌اند (شکل ۳). بیشترین گسترش این واحد در قسمت باختری محدوده به رنگ روشن می‌باشد که بخش‌هایی از آن توسط رسوبات کواترنری پوشیده شده است (شکل ۳a). ارتباط این واحد سنگی با واحد روئی خود (Kbr) گسله می‌باشد (شکل ۲ و ۳). در بخش‌های زیادی از این واحد، لنزهای سیلیسی به رنگ سفید (احتمالاً توف ماسه‌سنگی)، با ابعاد مختلف، به صورت همخوان با لایه‌بندی و روند شمال‌باختر- جنوب‌خاور حضور دارند (شکل ۳a). پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار (سانیدین) و کوارتزهای ثانویه درشت‌بلورهای قابل مشاهده در نمونه هستند که اغلب نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار بوده و آثار ضعیف انحلال، خوردگی، جهت‌یافتگی و دگرسانی به سریسیت، سیلیس، کلریت و اکسیداسیون آهن در آنها دیده می‌شود (شکل ۳b و c). زمینه تقریباً متبلور، ریزبلور و در بخش‌هایی کمی متبلور است (شکل ۳b و c). قطعات توفی خرده‌سنگی حاوی بلورهای ریز و سوزنی پلاژیوکلاز با آثار دگرسانی و اکسیداسیون در برخی بخش‌ها دیده می‌شوند (شکل ۳c). کانی‌های تیره اغلب نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار (غالباً پیریت) هستند و فراوانی کمتر از ۱۰ درصد در نمونه دارند (شکل ۳b).

توالی سنوزوئیک با روند شمال‌باختر- جنوب‌خاور در بخش مرکزی این ناحیه، به صورت بالا آمده بیشترین برونزد را به صورت فعالیت آذرین و رسوبی از خود نشان می‌دهند (شکل ۱b). این واحدها، بیشتر شامل توف، توف‌برش، گدازه آندزیتی، آگلومرا و ایگنمبریت، آندزیت و داسیت می‌باشند. بررسی ساختارهای اصلی این ناحیه، بیانگر قرابت مکانی آنها با ماگماتیسیم (بوئزه نفوذی‌ها) و تحرک شدید فعالیت‌های تکتونوماگماتی در آن است (شکل ۱b). به گونه‌ای که تشکیل حوضه‌های فروافتاده کم‌عمق تا نسبتاً عمیق در مقیاسی گسترده را در این نواحی به عهده دارند (شکل ۱b). فراوانی چنین سنگ‌هایی با ترکیب متوسط، کالک‌آلکان و تا حدودی آلکان را در کنار الگوی ژئوشیمیایی مشابه کمان (غنی‌شدگی در عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (LILE) و تهی‌شدگی در عناصر با قدرت یونی بالا (HFSE) در بازه زمانی ۶۰-۳۴ میلیون سال پیش را با ماگماتیسیم کمان و فرایند بالاآمدگی (Flare Up)، توجیه می‌نمایند (Verdel et al. 2011).

در اواخر ائوسن و بعد از آن، فشار حاصل از نزدیک شدن صفحات (عربی به ایران) در ناحیه مورد مطالعه با ایجاد پهنه برشی راستگرد ناحیه‌ای (شکل ۱b) نقش موثری در انتقال فشار به درون قاره و ایجاد مناطق کششی محلی داشته‌اند (Allen et al. 2008; Petersen and Vidal, 1996; Morley et al. 2004). به گونه‌ای که جایگیری توده‌های نفوذی جوانتر از ائوسن، بیشتر در ارتباط با پهنه برشی راستگرد ناحیه‌ای (عملکرد گسل‌های امتدادلغز چون شهراب، ده‌شیر، نیستانک، ماربین و زمان‌آباد) می‌باشد و سنگ میزبان خاصی (کرتاسه و جوانتر) در جایگیری آنها دخیل نمی‌باشد. این توده‌ها با بافت گرانولار تا پورفیری در همه بخش‌ها و در جوار ساختارهای ناحیه‌ای و تقاطع آنها رخنمون داشته (شکل ۱b) و از کانی‌های پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپات، کوارتز همراه با بیوتیت و هورنبلند تشکیل شده‌اند (Alaei Mahabadi and Fodazi, 2004).

۳-۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

بر پایه مشاهدات صحرائی و مطالعات انجام شده در این محدوده، بخش اعظم واحدهای رخنمون‌یافته را واحدهای آتشفشانی- رسوبی کرتاسه میانی- فوقانی تشکیل می‌دهند که اغلب تحت تاثیر دگرسانی و دگرگونی قرار گرفته‌اند (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ محدوده اکتشافی هاشم آباد، همراه با موقعیت زون های کانه دار مس و رزدیالگرام گسل های آن.
 Fig. 2. Geological map of the Hashemabad area, scale 1:5000, along with location of Cu zone and rose diagram of faults.



شکل ۳- (a) نمایی از واحد K^{dt} و کنتاکت آن با واحد K^{br} و زون سیلیسی داخل آن (دید به سمت جنوب)، درشت بلور پلاژیوکلاز صفحهای (Pl) و آلکالی فلدسپار (Afs) در حال دگرسانی، زمینه ریزبلورهای کوارتز (Qz)، فلدسپار دگرسان، کلریت (Cl) همراه با کانی های تیره (Opc) (پیریت) و (c) قطعه توف خرده سنگی همراه با آثار دگرسانی و اکسیداسیون، پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپارهای دگرسان.

Fig. 3. (a) K^{dt} unit and its contact with K^{br} unit and associated silica zone (view to S), (b) Phenocryst of altered plagioclase and alkali feldspar, matrix is composed of fine-grained quartz (Qz), altered feldspar, chlorite (Cl) and opaque mineral (pyrite) and (c) Altered and oxidized lithic tuff accompanied with plagioclase and alkali feldspar.

۳-۲-۲- واحد K^{br}

این واحد که بخش اعظم واحدها را در بخش‌های باختری به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۲) ترکیب آندزیت، آندزیت پورفیری، بازالت و آندزیت‌بازالت به صورت گدازه حفره‌دار دارد (شکل ۴). راستای کلی آن شمال‌باختر- جنوب‌خاور بوده و شیب کلی آن ۴۰ درجه به سوی شمال‌خاور می‌باشد (شکل ۴). مرز بالایی این واحد در برخی نقاط توسط رسوبات کواترنری پوشیده شده است (شکل ۲). در برخی نقاط از واحد یاد شده، برونزدهای توفی (عمدتاً ریولیتی) به رنگ سبز زیتونی به صورت میان‌لایه در بین سنگ‌های آندزیت‌بازالتی مشاهده می‌شود (شکل ۴a) که دچار خردشدگی شدید شده‌اند. بافت پورفیری از شاخصه‌های این گدازه‌ها بوده و پلاژیوکلاز، هورنبلند و کوارتز، درشت‌بلورهای اصلی آن را تشکیل می‌دهد که به دلیل حضور کلریت، در رخنمون صحرایی به رنگ سبز دیده می‌شود (شکل ۴b و d). هورنبلند به ندرت به صورت شکل‌دار با رخ متقاطع و آثار دگرسانی به اپیدوت و کربنات حضور دارد (شکل ۴c و d). کانی‌های تیره نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار با ابعاد کمتر از ۰/۵ میلی‌متر و فراوانی کمتر از ۱۰ درصد مشاهده می‌شوند (شکل ۴c).

۳-۲-۳- واحد K^{bt}

این واحد دارای برونزدهای کوچکی در شمال‌باختر محدوده است و سنگ‌شناختی آن شامل بازالت‌های سبز تیره می‌باشد اما در برخی نقاط، گدازه‌های جریان‌ی آندزیت‌بازالتی نیز دیده می‌شود (شکل ۴e). شکستگی‌ها غالباً توسط اکسیدهای آهن پر شده‌اند (شکل ۴f و e). بخش‌هایی از این واحد نیز درون واحد K^{br} برونزد دارند. این واحد شدیداً دچار دگرسانی شده و تمام کانی‌های موجود در آن ماهیت ترکیبی اولیه خود را از دست داده‌اند (شکل ۴f). قالب‌های بلوری عموماً کربناته شده‌اند و آثار اکسیداسیون و حاشیه‌آپاسیتی به خوبی در آنها قابل مشاهده است که با توجه به شکل بلوری آنها، کانی‌های اولیه احتمالاً پلاژیوکلاز، آلکالی‌فلدسپار و پیروکسن بوده‌اند (شکل ۴f). آثار جهت‌یافتگی ترجیحی نیز در بیشتر قسمت‌های نمونه قابل مشاهده است (شکل ۴f).

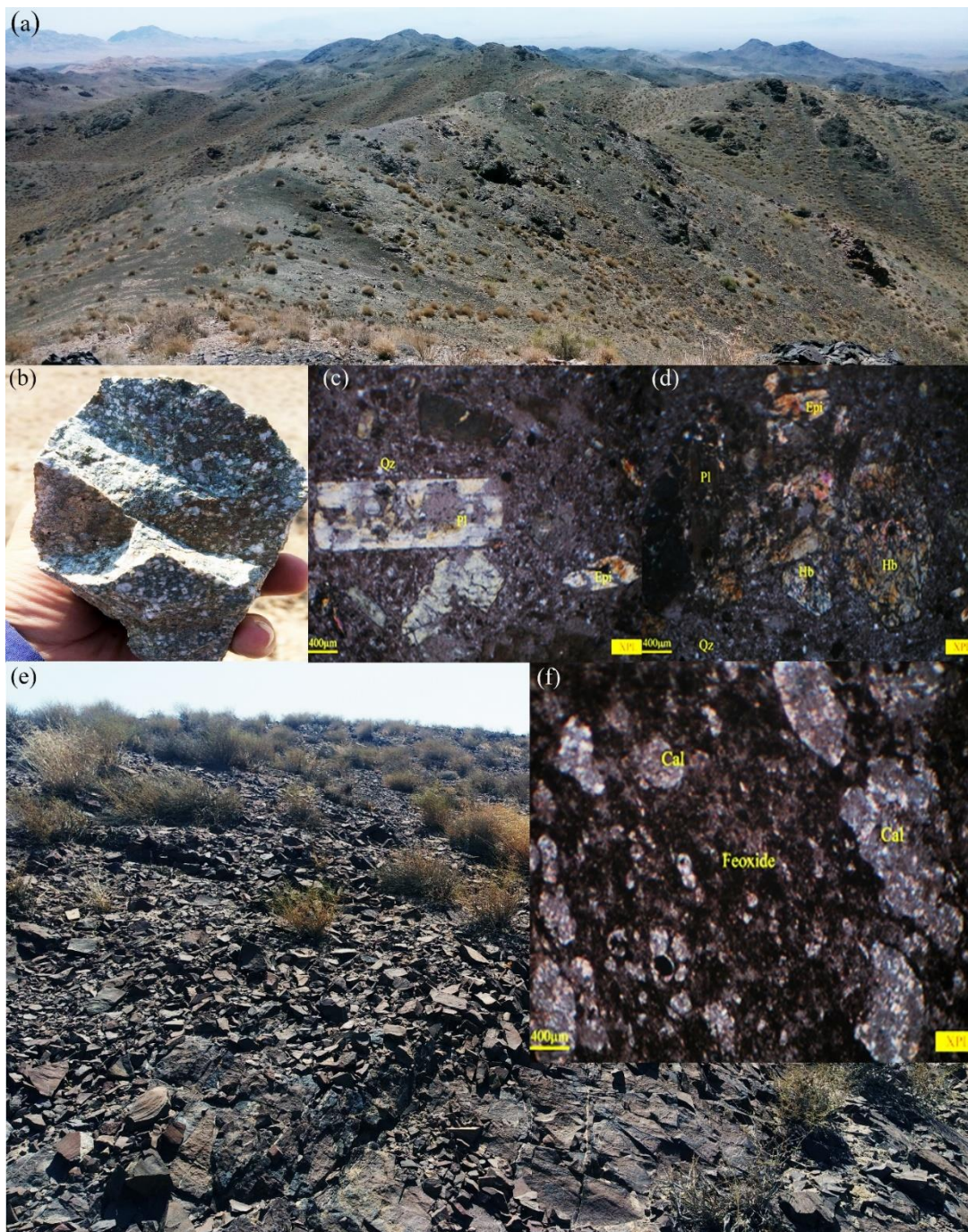
۳-۲-۴- واحد K^{tr}

از دیگر واحدهای رخنمون یافته و منسوب به کرتاسه در محدوده، واحد K^{tr} می‌باشد که بیشترین رخنمون آن در نیمه

شمالی قابل مشاهده است (شکل ۲). لیتولوژی غالب آن گدازه‌های تراکی‌آندزیتی، کوارتز تراکی‌آندزیت، آندزیت و گدازه‌های ریولیتی می‌باشد. سهم گدازه‌های بازالتی کم می‌باشد. رخنمون سنگ‌های این واحد به علت دارا بودن کلریت، سبز است. مرز بالایی این واحد بیشتر بر نهشته‌های کواترنری و واحدهای Kl و Kat منطبق است (شکل ۲). این واحد تحت تاثیر دگرسانی و دگرگونی قرار گرفته و بیشتر کانی‌های تشکیل‌دهنده آن دچار تغییر ترکیب کانی‌شناسی و در مواردی شکل بلوری شده‌اند (شکل ۵). پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی موجود در این واحد است که اغلب به صورت شکل‌دار و کشیده و در ابعاد ۰/۵ تا ۳ میلی‌متر حضور دارد (شکل ۵). آلکالی‌فلدسپار و کوارتز دیگر کانی‌های این نمونه هستند که اغلب نیمه‌شکل‌دار بوده و آثار تنش و جهت‌یافتگی به خوبی در آنها دیده می‌شود (شکل ۵).

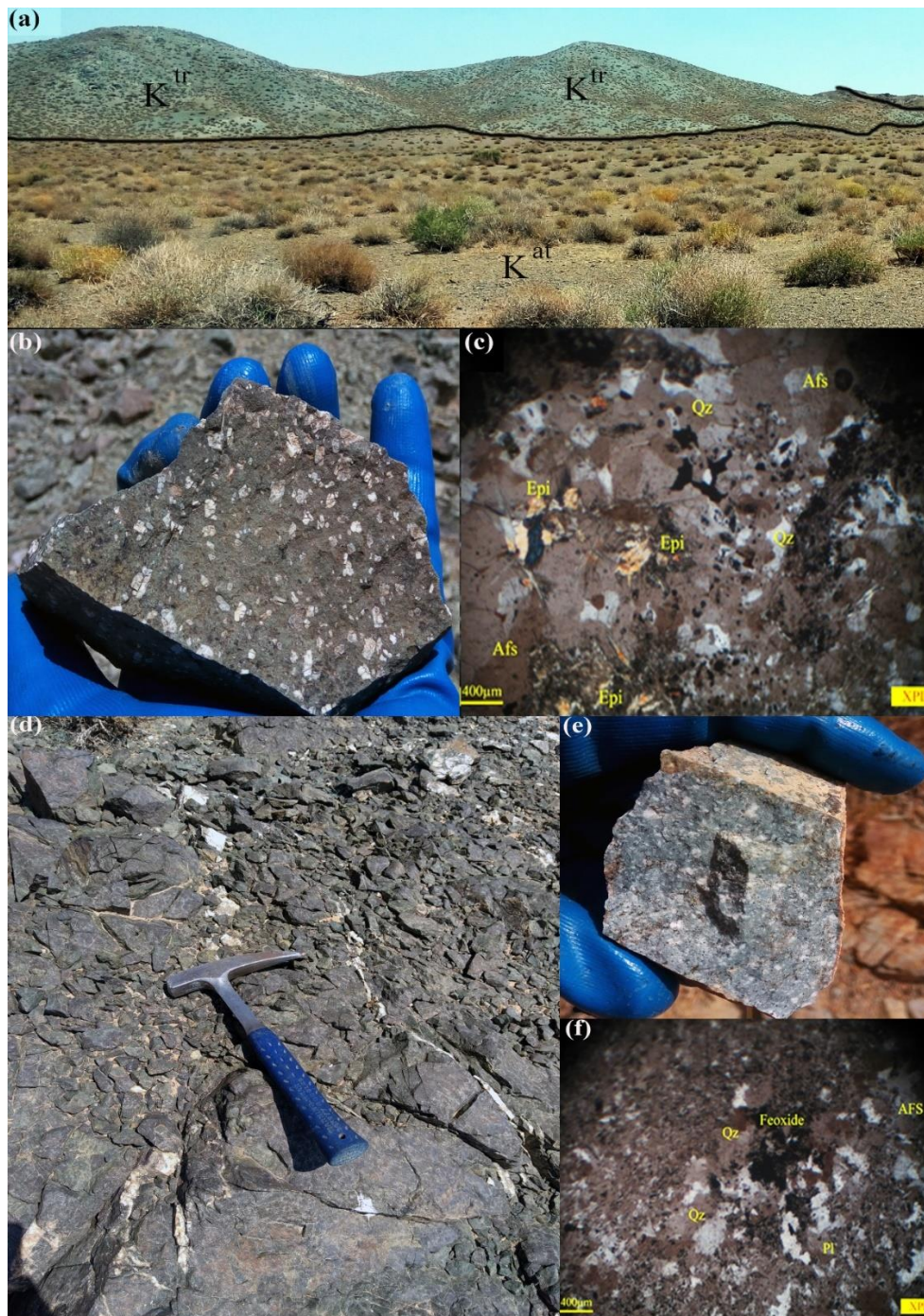
۳-۲-۵- واحد K^{ar}

این واحد سنگی که با روند خاوری- باختری در بخش شمال‌خاور محدوده رخنمون دارد، اغلب از گدازه‌های آندزیت تا ریولیت به رنگ سبز تیره تا زیتونی تشکیل شده است (شکل ۵). تناوب‌هایی از نهشته‌های توفی در بین این واحد آتشفشانی مشاهده می‌شود که به میزان کم متحمل دگرسانی شده است. این واحد به صورت تپه‌ماهورهای کم‌ارتفاع رخنمون دارد. در بخش‌هایی از نمونه قالب‌هایی از کانی‌های اولیه پلاژیوکلاز و آلکالی‌فلدسپار دیده می‌شود که عمدتاً تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند (شکل ۵e). کوارتزهای ثانویه چندبلور و ریزبلورهای اکسید آهن به فراوانی قابل مشاهده هستند (شکل ۵f). توده نفوذی با ترکیب دیوریت تا گرانودیوریت در بخش‌هایی از این واحد نفوذ کرده و در کنتاکت آنها آثار دگرسانی پروپلیتیک و اپیدوتی شدن نمایان است. رگه‌های سیلیسی به دو صورت کانه‌دار و فاقد کانی‌سازی در این واحد پراکنده‌اند که در برخی نقاط درز و شکستگی‌های آنها توسط اکسید آهن و قالب‌های پیریت پر شده است (شکل ۵f و e). این رگه‌ها دارای روند شمال‌باختر- جنوب‌خاور بوده و طول آنها از یک متر تا چند ده متر و ضخامت آنها از ۵۰-۳۰ سانتی‌متر در تغییر است. دگرسانی و دگرگونی موجب تغییر ترکیب این نمونه شده و بیشتر کانی‌های اولیه آن از بین رفته‌اند. سطح زمینه ریزدانه، دگرسان و تجدید تبلور یافته است (شکل ۵).



شکل ۴- (a) دورنمایی از واحد سبز تا خاکستری رنگ Kbr (دید به سمت شمال باختر)، (b) نمونه دستی این واحد با بافت پورفیری و ترکیب آندزیتی، (c) نمایی میکروسکوپی از درشت بلورهای شکل دار پلاژیوکلاز کلریتی و اپیدوتی (Epi)، در زمینه‌ای از ریزبلورهای کوارتز، پلاژیوکلاز دگرسان همراه با کانه‌های تیره، (d) درشت بلورهای هورنبلند (Hb) با رخ متقاطع و پلاژیوکلاز کاملاً دگرسان شده به اپیدوت و اکسیدهای آهن، (e) رخنمون صحرایی واحد Kbr، و (f) تصویر میکروسکوپی از قالب‌های بلوری پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک (احتمالاً پیروکسن) کربناته و اکسید شده.

Fig. 4. (a) Image from green to gray colored Kbr unit (view to NW), (b) Hand specimen from this unit with porphyry texture and andesite lithology, (c) Microscopic photo from chloritization and epidotization of plagioclase phenocryst in matrix including altered fine- grained quartz and plagioclase accompanied by opaque mineral and (d) Hornblende phenocryst (Hb) with cleavage and plagioclase altered to epidote and Fe- oxide, (e) Outcrop of Kbr unit and (f) Microscopic photo from crystal habit of plagioclase and carbonatized and oxidized mafic minerals (probably pyroxene).



شکل ۵- (a) نمایی از رخنمون واحد Ktr و ارتباط آن با واحد Kat (دید به سمت جنوب‌باختر)، (b) نمونه دستی واحد Ktr و درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز درون آن، (c) تصویر میکروسکوپی کوارتز، آلكالی‌فلدسپار و پلاژیوکلازهای اپیدوتی شده در زمینه دگرسان، همراه با آثار ضعیف تنش، (d) رخنمون واحد Kar در مشاهدات صحرایی، (e) نمونه دستی این واحد با بافت پورفیری به شدت سیلیسی شده و (f) تصویر میکروسکوپی این واحد و سیلیسی شدن کانی پلاژیوکلاز و جانشین شدن کانی‌های تیره توسط اکسیدهای آهن.

Fig. 5. (a) Outcrop of K^{tr} unit and its relationship with K^{at} unit (view to SW), (b) Hand specimen from plagioclase phenocryst in K^{tr} unit, (c) Microscopic photo from quartz, alkaline feldspar and carbonatized plagioclase in altered matrix along with weak tension, (d) Outcrop of Kar unit, (e) Hand specimen from this unit including porphyry texture and highly silicified and (f) silicification of plagioclase and replacement of opaque mineral with iron oxide.

۳-۲-۶- واحد Kat

این واحد سنگی با روند کلی شمال خاور- جنوب باختر، بیشترین گسترش را در بخش‌های خاوری و مرکزی محدوده دارد و متشکل از آندزیت، آندزیت پورفیری، گدازه‌های تراکیتی، توف و به مقدار کمتر گدازه‌های بازالتی پیروکسن است که در صحرا به رنگ روشن رخنمون دارند، ولی در نمونه دستی، به رنگ سبز تا سبز زیتونی دیده می‌شوند (شکل ۶). این واحد سنگی متحمل دگرسانی‌های پروپیلیتیک و آرژیلیک شده است و در کنتاکت جنوبی آن، نهشته‌های کواترنری رخنمون دارند. در نمونه‌های دستی آن، پلاژیوکلاز و کوارتز درشت بلور ولی دگرسان شده قابل مشاهده است (شکل ۶). نهشته‌های توفی با لایه‌بندی نازک و به رنگ سبز مایل به خاکستری به صورت میان لایه در بین واحدهای آندزیتی قابل مشاهده است (شکل ۶). شایان ذکر است که در برخی نقاط این واحد، آثار پراکنده‌ای از کانی‌سازی مس به شکل مالاکیت و کالکوپیریت پرکننده درزه و شکاف دیده می‌شود.

۳-۲-۷- واحد KI

لیتولوژی اصلی این واحد متشکل از سنگ آهک‌های بايومیکریت، آهک‌های متبلور شده و آهک‌های چرتی با رنگ رخنمون سفید تا کرم روشن است که بیشترین پراکندگی را به صورت هم‌راستا با واحدهای آتشفشانی در بخش‌های خاوری و جنوب‌خاوری محدوده دارد (شکل ۷). کنتاکت شمالی و جنوبی نهشته‌های آهکی توسط واحدهای آتشفشانی- آذرآواری کرتاسه محدود شده است (شکل‌های ۲ و ۷). بر پایه مشاهدات صحرائی، طبقات آهکی به صورت نازک لایه، متوسط لایه و ضخیم لایه برونزد دارند و در برخی نقاط آهک‌ها، دولومیتی و به شدت خرد شده‌اند و در برخی بخش‌ها دارای برگواگی بوده و تا حدی جهت یافته هستند (شکل ۷). روند کلی این واحد خاوری- باختری تا شمالی - جنوبی می‌باشد (شکل ۲) و در بخش‌هایی از آن میان لایه‌هایی از نوارها و نودول‌های چرتی به رنگ خاکستری و به صورت نازک و با ضخامت کم دیده می‌شود.

(شکل ۷b). در برخی موارد آثار کنده‌کاری قدیمی و پهنه‌های گوتیتی نیز به چشم می‌خورد. در واحدهای آهکی، رگچه‌های کم‌ضخامت کلسیتی نیز قابل رؤیت هستند. در بخش‌های زیرین و فوقانی واحد Kv لنزهائی از ژاسپروئید مشاهده می‌شود (شکل ۷c و d). کانه‌زایی مس در این بخش تنها در بخش‌های سطحی این واحد کربناتی و به صورت آغشتگی همراه با اکسیدهای آهن دیده می‌شود.

۳-۲-۸- واحد Kv

این واحد سنگی، میزبان اصلی کانی‌سازی در محدوده است که راستای عمومی آن همانند دیگر واحدهای آتشفشانی، شمال باختر- جنوب خاور می‌باشد (شکل ۲ و ۷). ترکیب سنگی غالب آن شامل گدازه‌های آندزیت- بازالتی- ریولیتی به رنگ سبز زیتونی تا تیره می‌باشد که به لحاظ وسعت، تقریباً تمامی بخش‌های خاوری محدوده را با شکل ظاهری تپه‌ماهوری پوشش می‌دهد (شکل ۷a). علاوه بر این، میان لایه‌هایی از نهشته‌های توفی در این واحد حضور دارد. رنگ رخنمون‌های بازالتی تیره‌تر و متمایل به سیاه است (شکل ۷b). رخنمون‌های کانه‌دار با روند شمالی- جنوبی در واحد Kv با ابعادی در حدود ۱ تا ۵ متر و طول و ضخامت در حد چندین سانتی‌متر پراکنده‌اند (شکل ۲). این پچ‌ها از لحاظ وسعت، دارای وسعت کم بوده ولی به تعداد زیاد دیده می‌شوند. در محل کنتاکت این واحد با واحد KI، کانه‌زایی مس به صورت مالاکیت تظاهر دارد. ترکیب سنگ به لحاظ میکروسکوپی بیشتر لاتیت- آندزیت می‌باشد که واجد بافت‌های پورفیری، پوئی‌کلیتیک و کرونا است (شکل ۷c و d). مهمترین کانی‌های سنگ‌ساز شامل پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار و کوارتز است. اغلب بلورهای پلاژیوکلاز کربناتی شده و آثار سریسیته شدن نیز در آنها دیده می‌شود. عمده کوارتزهای دیده شده از نوع ثانویه و چندبلوری بوده و فراوانی کوارتزهای اولیه در سطح نمونه بسیار کم می‌باشد (شکل ۷c و d). اغلب واحدهای آندزیت بازالتی دارای آثار دگرسانی پروپیلیتیک و سیلیسی هستند.



شکل ۶- (a) واحد K^{at} به رنگ روشن که در برخی بخش‌ها به توف تبدیل شده است، (b) نمونه دستی این واحد با بافت پورفیری، (c) نمایی از واحد توفی با لایه‌بندی مشخص در بخش‌هایی از این واحد و (d) قالب‌های پیروکسن اپیدوتی شده با حاشیه اپاسیتی در زمینه تجدید تبلور یافته.
 Fig. 6. (a) Light-colored K^{at} unit which sometimes is changed to tuff, (b) Hand specimen from K^{at} unit with porphyry texture, (c) Outcrop from bedded tuff in K^{at} unit and (d) Epidotized pyroxene habit with opacitic rim in recrystallized matrix.

۳-۲-۹- توده‌های نفوذی

اگرچه شناخت توده‌های نیمه‌عمیق از واحدهای آتشفشانی در واحدهای کرتاسه با توجه به نکتونیزه بودن، دگرسانی و نیز دگرگونی در این محدوده بسیار مشکل است اما توده‌های نفوذی جوان و بعد از کرتاسه در این محدوده که غالباً شامل دیوریت تا تونالیت می‌باشند (شکل ۲) قابل تشخیص است که تحت عنوان واحدهای gd, qd و t از آن نام برده می‌شود.

- واحد gd: این توده با ترکیب دیوریت تا گرانودیوریت و راستای شمالی- جنوبی در بخش شمالی منطقه رخنمون دارد. واحد مزبور با شکل ظاهری ملایم و تپه‌ماهوری خاکستری‌رنگ، دارای گسترش محدود بوده و در واحدهای آتشفشانی قدیمی‌تر عمدتاً به سن کرتاسه نفوذ کرده است (شکل ۸ Error! Reference source not found. b). این توده دارای بافت دانه‌ای بوده و بلورهای هورنبلند دگرسان‌شده در نمونه دستی آن به وضوح قابل تشخیص است (شکل ۸b). کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، آلکالی‌فلدسپار و هورنبلند دگرسان از مهمترین اجزای تشکیل‌دهنده این توده هستند که با بافت گرانولار در کنار هم قرار گرفته‌اند (شکل ۸c و d). بلورهای آلکالی

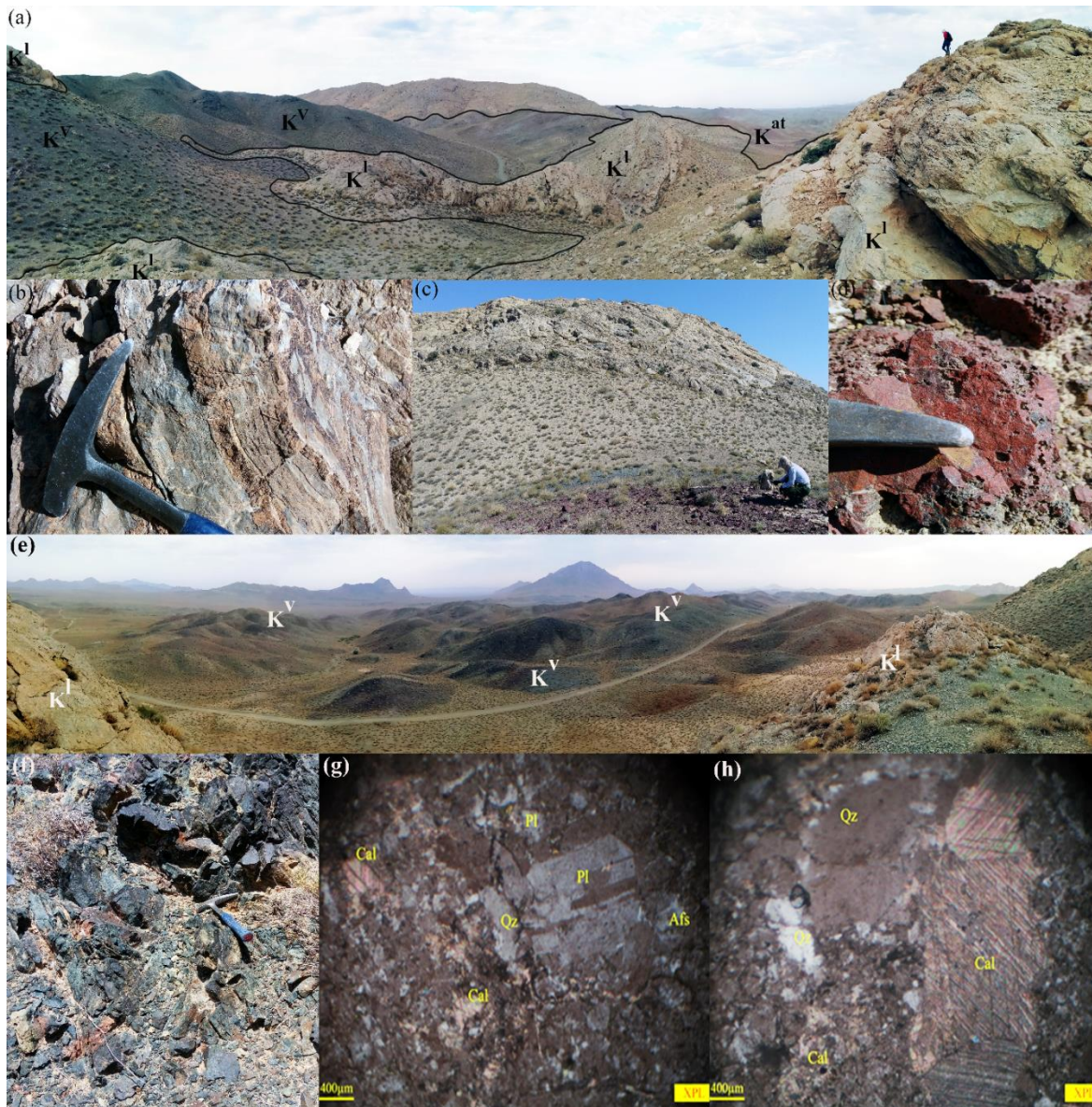
فلدسپار اغلب نیمه‌شکل‌دار بوده و با آثار ماکل پرتیتی و بافت گرانوفیری دیده می‌شوند (شکل ۸c و d). کانی‌های ثانویه اپیدوت، کلسیت و اکسیدهای آهن از جمله کانی‌هایی هستند که از دگرسانی کانی‌های تیره (هورنبلند) حاصل شده‌اند (شکل ۸c و d).

- واحد qd: این واحد در شمال‌باختر محدوده گسترش داشته و شامل کوارتزیدیوریت تا کوارتزمونزونیت به رنگ خاکستری متمایل به سبز است که سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه پایین را قطع کرده است. این توده به صورت رخنمون‌های کوچک در کنتاکت با واحدهای آتشفشانی و نهشته‌های کواترنری برونزد دارد. بر پایه شواهد صحرایی بافت سنگ‌های این واحد گرانولار است.

- واحد t: این واحد متشکل از توده‌ی تونالیتی سبز رنگ است که بخش کوچکی از آن در خاور محدوده و بخش اعظم آن در خارج از محدوده برونزد دارد (شکل ۲). این توده نیز همانند سایر نفوذی‌ها در واحدهای آندزیت و آندزیت بازالتی نفوذ کرده‌اند. بافت آن گرانولار- پورفیری با زمینه ریزبلور و گرانولار پورفیری با زمینه تمام بلور و میکروگرافیکی است. علاوه

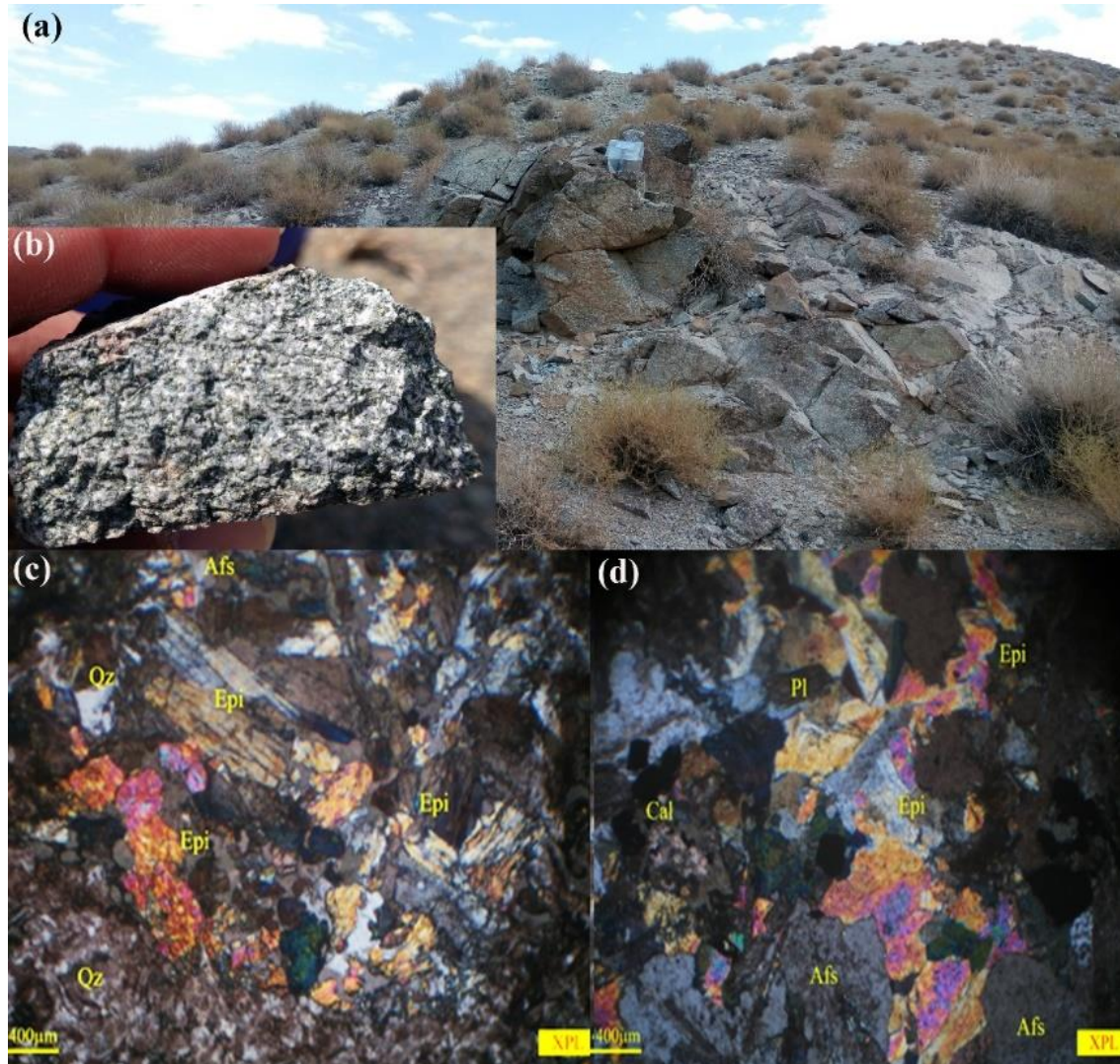
قدیمی و جدید رخنمون یافته در بخش‌های خاوری، شمالی و باختری و به میزان کمتر در مرکز، و نهشته‌های رودخانه‌ای عهد حاضر (Qal) تشکیل شده که در تمامی محدوده رخنمون دارند (شکل ۲).

بر واحدهای نفوذی فوق، دایک‌هایی با ترکیب بازیک تا آندزیتی در ابعاد چند ده متر و ضخامت یک الی دو متر که به لحاظ ترکیبی بسیار شبیه توده‌های دیوریتی تا گرانودیوریتی با بافت پورفیری هستند در محدوده وجود دارد. در نهایت جوان‌ترین واحد سنگی از آبرفت‌های پادگانه‌ای و تراس‌های رودخانه‌ای



شکل ۷- (a) نمای از واحد K^l و کنتاکت آن با واحدهای K^{at} و K^v (دید به شمال شرق)، (b) نمایی نزدیک از واحد آهکی تبلور یافته، دگرشکل و حاوی چرت و اکسیدهای آهن، (c) وجود لنزهای ژاسپروئید در بخش زیرین واحد آهکی، (d) تصویر نزدیکتر از بخش ژاسپروئیدی، (e) نمای کلی از رخنمون واحد K^v در بخش خاوری محدوده (دید از شمال خاور تا جنوب باختر)، (f) رخنمون واحد آندزیت- بازالتی حاوی دگرسانی آرژیلیک و پروپیلیتیک و (g و h) تصاویر میکروسکوپی نور عبوری این واحد و حضور درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپار همراه با کانی‌های ثانویه کلسیت (Cal) و کوارتز.

Fig. 7. (a) Outcrop of K^l unit and its contact with K^{at} and K^v units (view to NE), (b) Close view from crystallized limestone containing chert and iron oxide, (c) Jasperoid lenses below of the K^l unit, (d) Close view from jasperoid part, (e) General view from K^v outcrop in eastern part of area (view from NE to SW), (f) Andesitic- basaltic unit affected by argillic and propylitic alterations and (g and h) Transmitted microscopic photos including plagioclase and Alkali feldspar phenocryst along with calcite and quartz secondary mineral.



شکل ۸- (a) نمائی از توده نفوذی gd با ترکیب دیوریت تا گرانودیوریت (دید به سمت جنوب)، (b) تصویر نمونه دستی این واحد با بافت میکروگرانولار و (c و d) بافت گرانوفیری کانی‌های پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار، کوارتز و کانی‌های تیره (هورنبلند) که به اپیدوت (Epi)، کلریت (Chl)، کلسیت (cal) و کانی‌های کدر تبدیل شده‌اند.

Fig. 8. (a) Outcrop from gd unit with diorite to granodiorite lithology (view to S), (b) hand specimen from this unit with microgranular texture and (c and d) Plagioclase, alkali feldspar, quartz, and hornblende with granophyre texture which replaced by epidote (Epi), chlorite (Chl), calcite (cal) and opaque mineral.

۴- دگرسانی

بر پایه مشاهدات صحرایی، مطالعات میکروسکوپی و تلفیق آنها با نتایج حاصل از مطالعات دورسنجی و آنالیز XRD نمونه‌های برداشت شده از محدوده کانه‌دار، دگرسانی‌های موجود در سنگ‌های در برگیرنده و پهنه کانه‌دار شامل پروپیلیتیک (کلریت- اپیدوت)، رسی (آرژیلیک- سرسیستی)، سیلیسی (کوارتز)، کربناتی و سولفیدی همراه با اکسیدهای آهن می‌باشد (شکل a۹). این دگرسانی‌ها غالباً در بخش خاوری و

شمال‌باختری محدوده بیشترین گسترش و همروندی را با ساختارهای شمال‌باختری- جنوب‌خاوری و شمال‌خاوری- جنوب‌باختری از خود نشان می‌دهند (شکل a۹). از دیگر ویژگی‌های پراکندگی برخی از پهنه‌های دگرسان مطابقت آن با پهنه‌های کانه‌دار (مس) بویژه در بخش خاوری محدوده می‌باشد (شکل a۹). گسترده‌ترین و فراگیرترین نوع دگرسانی در محدوده مورد مطالعه را دگرسانی پروپیلیتیک تشکیل می‌دهد (شکل‌های ۹ b و c). این دگرسانی بیشترین تأثیر را بر روی سنگ‌های

برخلاف دیگر دگرسانی‌ها، اکسیدهای آهن در این محدوده از نظم و توزیع خاصی برخوردار نبوده و فاقد جهت‌یابی مشخصی می‌باشد. بنابراین رخنمون آنها در برخی نقاط همراه با بخش‌های کانه‌دار، سیلیسی و دیگر دگرسانی‌هاست (شکل‌های a, g, ۹ و h). لذا این پراکندگی همچون دگرسانی آرژلیک می‌تواند ناشی از عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی مختلف (قبل و جوان) و به عبارت بهتر قبل (یا همزمان) و بعد از دگرسانی بوده باشد. از مهم‌ترین محصولات این دگرسانی می‌توان به گوتیت، هماتیت و لیمونیت اشاره کرد. در این بین و در مقیاس نمونه دستی حضور هماتیت بیشترین همخوانی را با نمونه‌های کانه‌دار از خود نشان می‌دهد (شکل h۹).

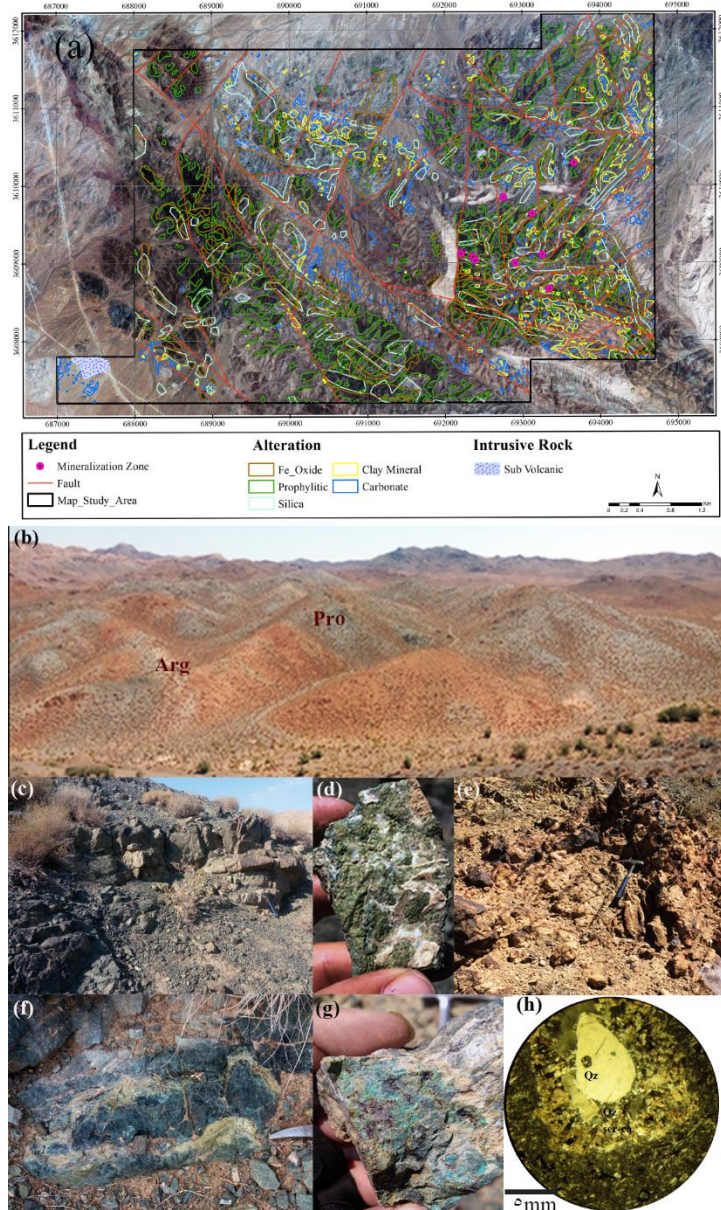
۵- کانه‌زایی

پهنه‌های کانه‌دار به صورت چند بخش پراکنده با شکل هندسی لنزی (عدسی) و رگه- رگچه‌ای در واحدهای آتشفشانی- آذرآواری (کرتاسه) و اغلب در بخش خاوری محدوده رخنمون دارند (شکل ۲). این پهنه‌ها اغلب از شکستگی‌ها و گسل‌های با روند شمال‌خاور- جنوب‌باختر تبعیت می‌کنند (شکل ۲ و a۹). کانه‌زایی غالباً دارای ساخت و بافت‌های جانشینی، رگه- رگچه‌ای، لکه‌ای و گاه پرکننده حفره‌ها، شکستگی‌ها، فضاهای خالی و دانه‌پراکنده می‌باشند (شکل ۱۰). کانه‌های اصلی شامل کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوسیت، کالکوپیریت، کوولیت و بورنیت)، کربناته (مالاکیت و آزوریت)، و اکسیدی (کوپریت و گوتیت) می‌باشد که همراه آن کانی‌های باطله نظیر کوارتز، کلسیت، کلریت و کانی‌های رسی حضور دارند. بیشترین پراکندگی مناطق کانه‌دار مس در واحد K_v (گدازه، برش و توف برش با ترکیب آندزیت بازالتی و تراکی آندزیت بازالتی) می‌باشد هرچند در واحد Kat و KI (آندزیت پورفیری، گدازه‌های تراکیتی، توف و به مقدار کمتری گدازه‌های بازالتی و واحدهای کربناته) نیز آثار کانه‌زایی مشاهده می‌شود (شکل ۲).

کانه‌زایی‌های عدسی و یا لنزی شکل، اغلب به صورت جداگانه در واحد آندزیت بازالتی (K_v) دیده می‌شوند (شکل ۱۰). این عدسی‌ها روند شمالی- جنوبی داشته و با ابعادی حدود ۱ تا ۵ متر طول و ضخامتی حدود چند دسی‌متر تا چند متر رخنمون دارند. این لنزها اگرچه از نظر وسعت، دارای گسترش محدودی هستند ولی تعداد آنها قابل توجه می‌باشد. در نمونه دستی، بافت حفره‌ای و در برخی مواقع پرشدگی با مالاکیت قابل ردیابی است. عیارهای بالای مس (۱۵۴۷۰ ppm) در نمونه‌های

آتشفشانی بویژه در مناطق دارای درزه و شکستگی‌های فراوان (تکتونیزه) داشته است (شکل a۹). در بخش‌هایی از شمال و خاور محدوده به همراه دگرسانی پروپیلیتیک، دگرسانی آرژلیک نیز رخنمون دارد به گونه‌ای که واحدهای آتشفشانی آندزیت و آندزیت بازالتی را تحت تأثیر قرار داده است (شکل c۹ و b). این دگرسانی به طور متناوب به همراه دگرسانی پروپیلیتیک در داخل واحدهای میزبان تکرار می‌شوند که به نوعی به نقش گسل‌ها و مجاری عبور در تشکیل آن اشاره دارد (شکل b۹).

حجم وسیعی از محدوده مورد مطالعه را کانی‌های رسی و آهن‌دار پوشش می‌دهد که هیچگونه پهنه‌بندی کانیایی در آن مشاهده نمی‌شود و یک حالت فرگیر در منطقه نشان می‌دهد (شکل‌های a۹ و e۹). نتایج آنالیز XRD غالباً بیانگر حضور کوارتز، آلبیت، ایلیت، سریسیت، کلسیت، ژاروسیت، گوتیت و مونت‌موریلونیت و معرف دگرسانی آرژلیک حدواسط می‌باشد. همچنین تفکیک بارزی بین دگرسانی کائولینیتی، رسی و آرژلیک نمی‌توان قائل شد. نکته حائز اهمیت در مورد برخی دگرسانی‌های رسی به‌ویژه در بخش خاوری (حاوی پهنه‌های کانه‌دار) داشتن اکسیدهای آهن فراوان همراه با کانی سریسیت می‌باشد. به عبارت بهتر در مناطق کانه‌دار، رس‌های آهن‌دار کاهش و بر میزان کانی‌های رسی افزوده می‌شود (شکل‌های a۹، e و f). دگرسانی سیلیسی به صورت پراکنده در محدوده رخنمون دارد. این دگرسانی، اصلی‌ترین و مهم‌ترین نوع دگرسانی مرتبط با کانه‌زایی در منطقه است که به صورت پراکنده در متن سنگ و نیز رگه- رگچه‌های با ضخامت‌های متغیر، از چند میلی‌متر تا متر، درون سنگ میزبان آندزیتی با کانه‌زایی سولفیدی و اکسیدی (مس) همراه می‌باشد (شکل‌های g۹ تا h). فرایند سیلیسی شدن در سنگ میزبان، به صورت تشکیل رگه و رگچه‌هایی با ضخامت متفاوت در امتداد روندهای ساختاری اصلی و به صورت پراکنده و حاوی پرشدگی درزه شکستگی‌های کوچک نیز مشاهده می‌شود. دگرسانی سیلیسی در این محدوده، معمولاً در کنار دگرسانی کربناته مشهود است (شکل ۹ g و h). شدت دگرسانی کربناته متفاوت بوده و این امر با تراکم درزه، شکستگی‌ها و حفرات موجود در سنگ میزبان، رابطه مستقیم دارد.



شکل ۹- (a) پراکندگی دگرسانی‌های پروپیلیتیک، آرژیلیک، کربناته و سیلیسی همراه با ساختارها، توده‌های نیمه‌عمیق و پهنه‌های کانه‌دار (b) تناوب دگرسانی پروپیلیتیک (Pro) و آرژیلیک (Arg)، (c) تصویر نزدیک از بخش دگرسانی در سنگ میزبان به رنگ روشن. (d) دگرسانی‌های اپیدوتی، کلریتی و کربناتی در نمونه دستی واجد دگرسانی پروپیلیتیک، (e) تصویر رخنمون دگرسانی‌های اکسید آهن، سیلیسی، آرژیلیک و فاقد کانه‌زائی در امتداد ساختار، (f) رخنمون دگرسانی کلریتی، کلسیتی، سیلیسی، اکسیدهای آهن و سولفیدی (کانه‌دار) در واحدهای آندزیت بازالتی کانه‌دار به رنگ سبز تیره، (g) نمونه دستی از رخدادهای دگرسانی سیلیسی، کربناتی، سولفیدی و غیر سولفیدی (گوئیت و مالاکیت) در نمونه‌های کانه‌دار و (h) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی‌های سیلیسی (Qz)، کربناتی (Ca) و سریسیتی (Ser) در جوار کانی‌های کدر.

Fig. 9. (a) Propylitic, argillic, carbonated and silicification alterations along with structures, sub-volcanic and ore horizons, (b) Propylitic (Pro) and argillic (Arg) alternation, (c) Close view from alteration patch in light-colored host rock, (d) Close view from epidotization, chloritization and carbonatization in propylitic alteration zone, (e) Outcrop from iron oxide, silicification, and argillic alteration without mineralization along structure, (f) Outcrop of chloritization, carbonatization, silicification, Fe oxidization and sulfidation (ore) in dark green-colored basaltic andesite, (g) Hand specimen from silicification, carbonatization, sulfidation and non sulfidation (goethite and malachite) in ore-bearing samples and (h) Microscopic photo from silicification (Qz), carbonatization (Ca) and sericitization (Ser) around opaque minerals.

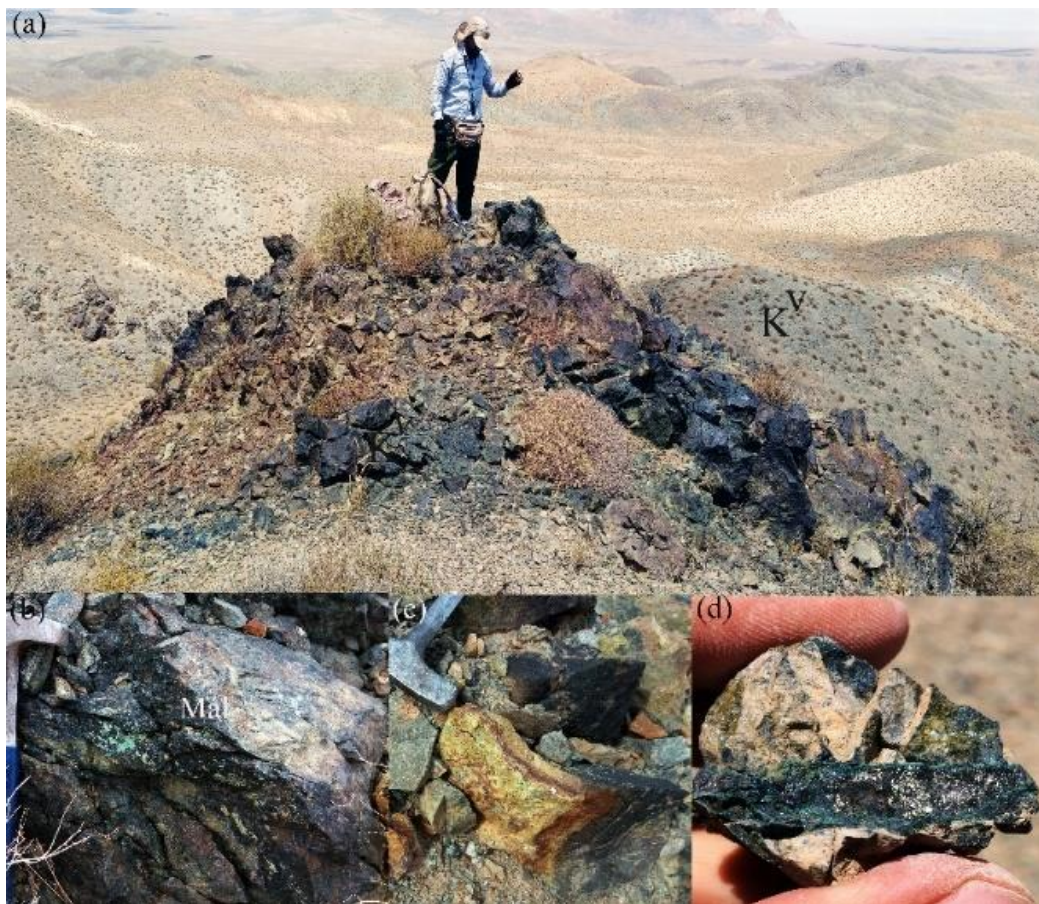
مجموع حدود سه تا پنج درصد از حجم نمونه را به خود اختصاص داده است. روند عمومی رگه سیلیسی (با ابعاد $5 * 3$ متر) در این بخش شمال باختر - جنوب خاور بوده و کانه‌زایی مس به صورت بخش‌های کوچک و پراکنده (ناپیوسته) در طول رگه انجام شده است (شکل ۱۱، I, h). کالکوپیریت دارای بلورهای بی‌شکل با ابعادی در حدود $0/3$ میلی‌متر است که حدود یک درصد از حجم نمونه را در اختیار دارد. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های برداشت شده از این رگه‌ها (برخلاف موارد قبلی) حاکی از آن است که علاوه بر عنصر مس با بیشینه عیار ppm ۴۴۸۱۲، مقدار طلا نیز در این رگه‌ها بالا بوده و در بالاترین مقدار خود به ۴۴۲ ppb می‌رسد.

در مجموع بافت رگه - رگچه‌ای و جانیشینی در این کانسار غالب است که ابعاد رگه - رگچه‌ها از میلی‌متر تا چند متر متغیر است. کانی‌شناسی رگه - رگچه‌ها ساده بوده و شامل کالکوسیت، مالاکیت، کلسیت و کوارتز می‌باشد. به عبارت بهتر کانی‌های سولفیدی در رگه - رگچه‌های کربناتی و سیلیسی حضور دارند که گاه با مالاکیت و کالکوسیت ثانویه همراهی می‌شوند. رگه - رگچه‌های کربناتی گسترش خوبی به خصوص در توف‌برش نشان می‌دهند و بیشتر از درز و شکاف‌های با روند شمال خاوری - جنوب باختری پیروی می‌کنند. بیشترین گسترش کانی کوولیت به صورت لکه‌ای و نامنظم در درون و حاشیه کالکوسیت اولیه قابل مشاهده است (شکل ۱۲، e). بورنیت به رنگ صورتی و در تمامی موارد به همراه کالکوسیت دیده می‌شود و به صورت منفرد و دانه‌پراکنده مشاهده نشده است (شکل ۱۲، h). بافت پرکننده فضاهای خالی، حفرات و درزه‌های موجود در سنگ را که حاصل فرایند دیاژنز هستند، پر می‌نماید. واحد آذرآواری (توف‌برش و آگلومرا) به دلیل تخلخل و نفوذپذیری بالا در امتداد درزه‌ها و شکستگی‌ها، فضای مناسبی را جهت تشکیل این بافت به وجود آورده است. ماده معدنی در این بافت بیشتر شامل کانی‌های کالکوسیت، مالاکیت و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و کانی‌های باطله مشتمل بر کلسیت و کوارتز می‌باشند (شکل ۱۲، a، b و c). پیریت و کالکوپیریت نسبت به دیگر کانی‌های سولفیدی از فراوانی کمتری برخوردار بوده و غالباً به صورت دانه‌ریز و بافت دانه‌پراکنده در زمینه توف برش و آگلومرا حضور دارند.

برداشت شده مربوط به این نوع ژئومتری، از این واحد می‌باشد. در مقیاس میکروسکوپی کانه‌های سولفیدی غالباً به شکل توده‌ای، جانیشینی، رگه - رگچه‌ای، لکه‌ای، پراکنده و گاه پرکننده شکستگی‌ها دیده می‌شود (شکل ۱۰). کانه‌های سولفیدی متشکل از کالکوپیریت، بورنیت و پیریت و کانه‌های اکسیدی - کربناتی نظیر مالاکیت و آزوریت محصول برونزاد آنها می‌باشد. از ویژگی‌های سنگ میزبان این نوع کانه‌زایی، حضور پهنه‌های ژاسپیروئیدی - سیلیسی با ابعاد مختلف در برخی نقاط می‌باشد (شکل ۱۰).

نوع دیگر رخداد کانه‌زایی در این محدوده، به صورت جانیشینی و پرشدگی درزه‌ها تظاهر دارد که محدود به ضخامتی در حدود دو متر از مرز واحدهای کربناتی متبلور شده و حاوی اکسیدهای آهن، به ویژه در بخش مرکزی محدوده می‌باشد (شکل ۱۱). این نوع کانه‌زایی در داخل و گاه مرز تماس واحد آهکی KI با سنگ‌های آندزیتی KV، به شکل پراکنده و با آغستگی به مالاکیت مشاهده می‌شود (شکل ۱۱، a). آثار کنده‌کاری‌های قدیمی و مناطق گوتیتی در این بخش قابل تشخیص است. در واقع در راستای شکستگی‌ها و در کنتاکت واحدهای آندزیتی KV با واحدهای آهکی KI این نوع کانه‌زایی تمرکز یافته است (شکل ۱۱، a - f).

علاوه بر موارد فوق، کانه‌زایی با ژئومتری رگه‌ای در واحد سنگی Kat نیز رخ داده است. این رگه - رگچه‌ها ضخامتی متغیر از چندین میلی‌متر تا حدود ده سانتی‌متر دارند. سیلیس‌ها کاملاً سفید بوده و از قسمت حاشیه خود باعث رخداد دگرسانی در سنگ میزبان شده‌اند (شکل ۱۱، g). کانه‌های تشکیل‌دهنده این رگه - رگچه‌ها شامل مقادیر کم پیریت، کالکوپیریت و مالاکیت است که با بافت جانیشینی و دانه‌ای - پراکنده تشکیل شده‌اند (شکل ۱۱، h). شایان ذکر است که در کنار رگه اصلی سولفیدی، رگه - رگچه‌های کوارتزی با ابعاد بسیار کوچک‌تر نیز به چشم می‌خورند که رگه‌های مذکور بیشترین فراوانی و پراکندگی را به صورت پرکننده شکستگی‌ها در این واحد تشکیل داده‌اند. پیریت دارای بلورهای بی‌شکل با ابعادی حدود ۲۰۰ میکرون بوده و کمتر از دو درصد فراوانی دارد. بلورهای پیریت در اثر اکسیداسیون توسط گوتیت جانشین شده‌اند و بقایای پیریت به صورت پراکنده در خمیره گوتیتی قابل مشاهده است. مالاکیت با ابعاد کوچک‌تر از $0/4$ میلی‌متر به صورت آغستگی‌هایی در سطوح اجزاء سازنده سنگ دیده می‌شود و در



شکل ۱۰- (a) نمایی از رخنمون یک پهنه کانه‌دار به صورت لنزی در واحد Kv (آندزیت بازالتی) که در آن دگرسانی خطی با حضور سیلیس، اکسیدهای آهن، کربنات، کلریت و اپیدوت همراه با کانه‌زائی مشهود است (دید به سمت باختر)، (b) رخنمون کوچکی از لنز کانه‌دار (حاوی مالاکیت) در این واحد، (c) نمونه دستی رگه کانه‌دار (دارای مالاکیت) همراه با دگرسانی‌های سیلیسی، کربناتی، کلریتی و اپیدوتی در شکستگی واحد Kv و (d) نمایی نزدیک از رگچه پرعیار حاوی کالکوسیت، کالکوپیریت، پیریت، کولیت و مالاکیت.

Fig. 10. (a) Outcrop view from lensed- shape ore- bearing horizon in Kv unit (basaltic andesite) in which quartz, Fe-oxide, carbonate, chlorite and epidote are accompanied by mineralization (view to W), (b) Small outcrop from ore-bearing lense (including malachite) in Kv unit, (c) Hand specimen from ore- bearing vein (malachite) along with quartz-carbonate- chlorite- epidote alterations in features of Kv unit and (d) Close view from high-grade veinlet including chalcocite, chalcopyrite, pyrite, covellite and malachite.

کالکوپیریت تشکیل شده‌اند. همراهی اکسیدهای آهن با کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت)، از شواهد کانه‌زایی سطحی می‌باشد. توالی پاراژنری کانسار مس هاشم‌آباد در شکل ۱۳ ارائه گردیده است.

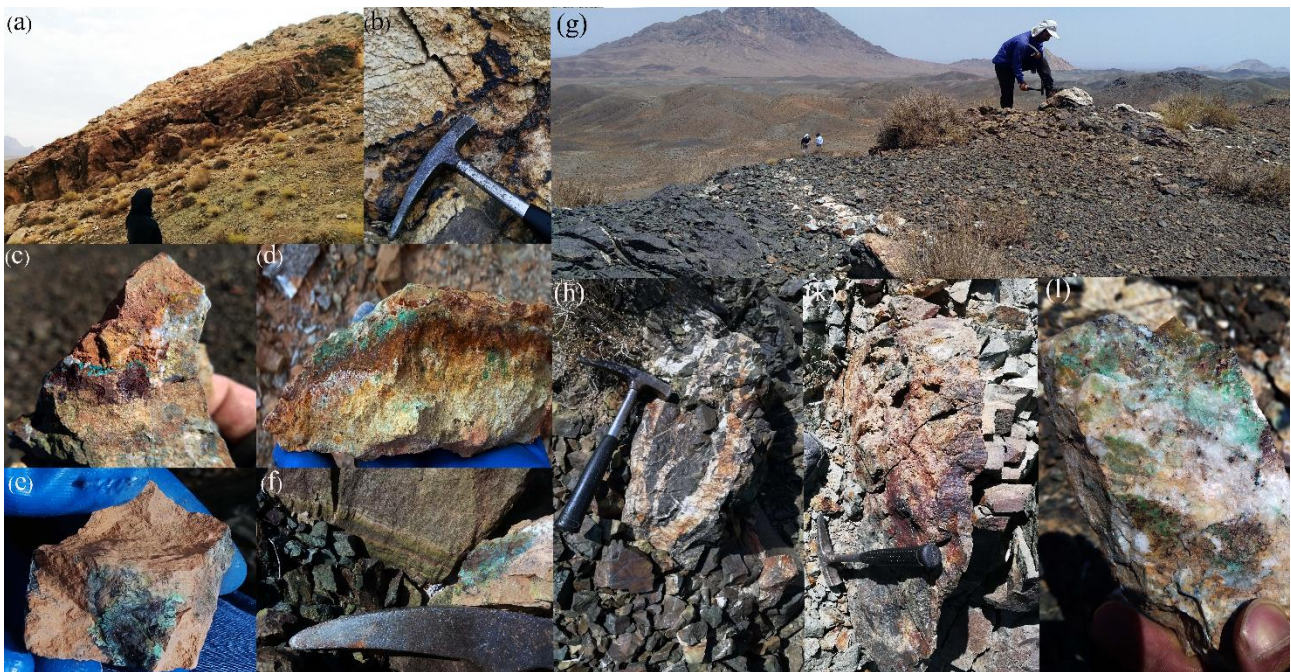
۶- زمین‌شیمی

از مهم‌ترین جنبه‌هایی که در مطالعات زمین‌شیمی مد نظر می‌باشد، بررسی فراوانی و توزیع عناصر مختلف در نمونه‌های آن اعم از رسوبات آبراه‌های، محیط‌های سنگی و حتی نمونه‌های سطحی غیرسیستماتیک است. این بررسی‌ها در حقیقت به‌منظور درک رفتار زمین‌شیمیایی عناصر در محیط‌های مورد بررسی و پی‌بردن به منشأ کانه‌زایی، پهنه‌های نابهنجار،

بافت جانیشینی در کانی‌های سولفیدی مرحله برونزاد رواج دارد. به‌عنوان نمونه می‌توان به جانیشینی سولفیدهای فلزی (نظیر پیریت) با اکسیدهای آهن (نظیر گوتیت)، جانیشینی حاشیه‌ای (تبدیل کالکوسیت به کوولیت) و جانیشینی کالکوسیت توسط مالاکیت اشاره کرد. مالاکیت فراوان‌ترین کانی غیرسولفیدی مس‌دار در این کانسار است که به‌دلیل حضور این کانی، اکثر رخنمون‌های سطحی توسط غشای نازک سبز رنگی از این کانی پوشانده شده است. آزوریت در این منطقه، کمیاب‌تر از مالاکیت است. اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن از جمله گوتیت و لیمونیت از فراوانی و گستردگی بالایی برخوردارند. این کانی‌ها در نتیجه اکسایش و هوازدگی کانی‌های پیریت و

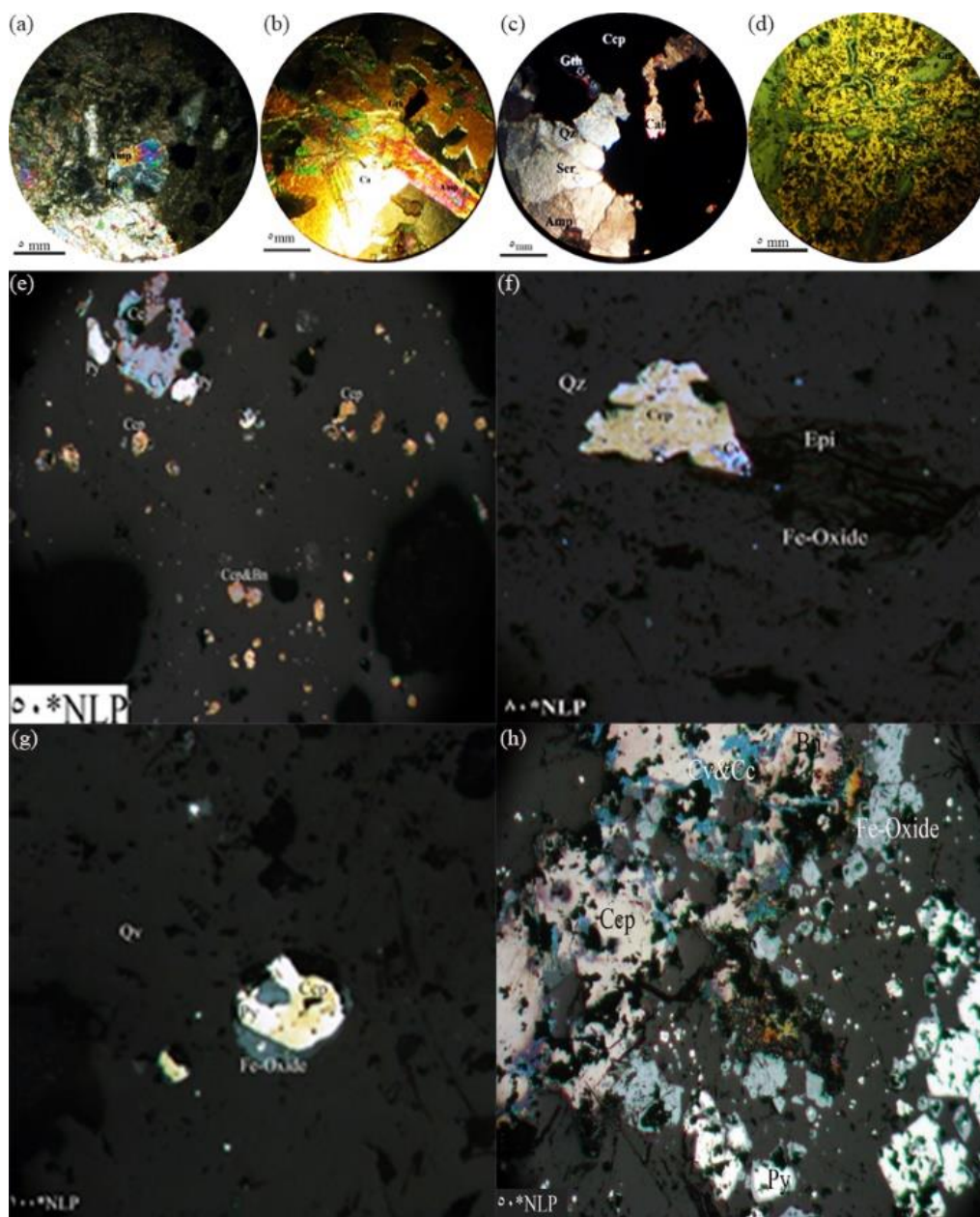
در این راستا و جهت دستیابی به پارامترهای آماری (تک متغیره) و درک نحوه پراکندگی داده‌ها حول میانگین و تمایل به میانگین، میزان چولگی و کشیدگی جامعه عیار نمونه‌ها و تشابه یا تمایز آن با یک توزیع نرمال کلیه داده‌های خام در این کانسار مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). نتایج ارائه شده در این جدول حکایت از آن دارد که عنصر مس از عیارهای بالا و قابل توجهی برخوردار است. مقدار عنصر سرب و روی نیز نسبتاً بالاست. بنابراین نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی این محدوده، از لحاظ دارا بودن مقادیر بالای عناصر مس، سرب، روی و شاید مولیبدن، قابل تأمل می‌باشد.

ویژگی‌های محیط تشکیل و حتی فرایندهای مؤثر در تشکیل ذخایر معدنی است (Barnes, 1997). به عنوان نمونه برای جداسازی آنومالی و مشخص کردن بازه‌های عیاری عناصر در اکتشاف ژئوشیمیایی از روش‌های آماری گوناگون (Cheng et al., 1994) که شامل محاسبه پارامترهای آماری و روش‌های آنالیز تک‌متغیره، دو و چند متغیره است (Grigorian and Ziiai, 1997)، استفاده می‌شود. روش‌های فرکتالی (عیار-مساحت و عیار-فاصله) نیز از روش‌های نسبتاً جدیدی هستند که در زمینه اکتشاف مواد معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Li et al., 2003).



شکل ۱۱- (a) نمایی دور از بخش کانه‌دار در واحد آهکی حاوی اکسیدهای آهن، (b) نمایی نزدیک از پرشدگی شکستگی‌های سطحی واحد کربناتی (Kl) توسط اکسیدهای آهن به رنگ تیره و به‌ندرت مالاکیت در بخش مرکزی این شکستگی‌ها، (c) نمونه دستی کانه‌دار (مالاکیت، پیریت و کالکوپیریت) حاوی سیلیس، کربنات، ژاسپروئید و اکسید آهن (گوئیت) در کنتاکت واحدهای Kl و Kv، (d) نمایی از رگچه کانه‌دار حاوی سیلیس و اکسیدهای آهن در واحد آهکی، (e) نمونه دستی حاوی کانه‌زایی در واحد Kv در کنتاکت با واحد آهکی کانه‌دار Kl حاوی کالکوسیت، بورنیت و مالاکیت، (f) نمایی از توف‌های حاوی کانه‌زایی در واحد Kv، (g) برونزد رگه سیلیسی (دید به شمال‌خاور)، (h و k) نمایی نزدیک‌تر از رگه سیلیسی و (l) نمونه دستی از رگه سیلیسی مس‌دار حاوی مالاکیت، پیریت و کالکوپیریت.

Fig. 11. (a) View of ore- bearing horizon in limestone (Kl) unit including Fe oxide, (b) Close view from replacement of surface features of Kl unit with dark Fe oxide and rarely malachite in central part of these features, (c) Ore- bearing sample (malachite, pyrite and chalcopyrite) including quartz, carbonate, jasperoid and Fe oxide (goethite) in contact of Kl and Kv units, (d) Ore- bearing veinlet including quartz and Fe oxide in limestone unit, (e) Hand specimen from ore mineralization in contact between Kl and Kv units which consist from chalcocite, bornite and malachite, (f) View from ore- bearing tuff in Kv unit, (g) Outcrop and (h and k) close view from silica vein and (l) Cu- bearing vein consist of Malachite, pyrite and chalcopyrite in hand specimen.

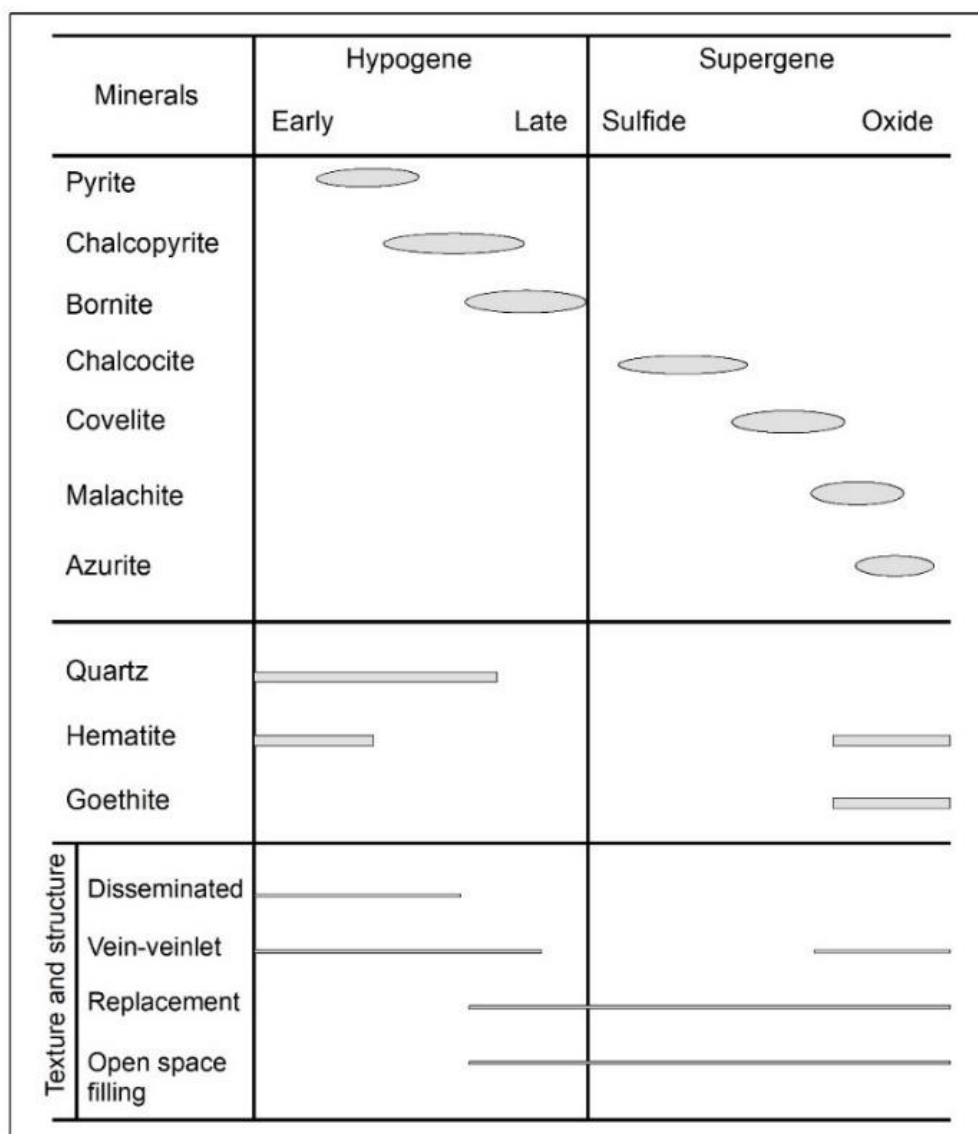


شکل ۱۲- تصاویر میکروسکوپی هم‌رشدی و جانشینی سولفیدهای مرحله اصلی کانه‌زائی. (a) کانه کدر (کالکوپیریت، Ccp) در زمینه‌ای از سیلیس ریزدانه، کربنات به رنگ کرم تا سفید، (b) آمفیبول دگرسان‌شده به کلسیت، کلریت و سریسیت همراه با کانی کدر اکسید شده به گوتیت، (c) کانی کدر (کالکوپیریت) همراه با کوارتزهای درشت‌بلور، کلسیت و اکسیدهای آهن. در فضای بین کوارتزها، سریسیت تشکیل شده است. در گوشه پایین تصویر، کانی آمفیبول مشهود است، (d) جانشین شدن کالکوپیریت توسط کالکوسیت (Cv) از حاشیه و تبدیل آن به اکسیدهای آهن (گوتیت و اندکی لپیدوروزیت) و مالاکیت و (e و f و g) بافت دانه‌پراکنده کانی بورنیت (Bn)، کالکوپیریت (Ccp) و پیریت (Py) جانشین شده توسط کوولیت (Cv)، کالکوسیت (Cc)، اکسیدهای آهن (Fe-Oxide).

Fig. 12. Microscopic photos from replacement of main mineralization stage. (a) Opaque mineral (chalcopyrite, Cpy) in fine-grained quartz along with cream to white carbonate in matrix, (b) Amphibole crystal which altered to calcite, chlorite, and sericite along with opaque mineral which oxidized to goethite, (c) Opaque mineral (chalcopyrite) with coarse-grain quartz, calcite and Fe oxide. Sericite is formed among spaces between quartz crystals, (d) Chalcopyrite is replaced by chalcocite and also replaced by Fe oxide (goethite and minor lepidocrocite) and malachite via weathering process and (e, f, g) Disseminated bornite (Bn), chalcopyrite (Cpy) and pyrite (Py) which replaced by covellite (Cv), chalcocite (Cc) and Fe oxide.

همچنین به منظور تعیین ارتباط معنادار میان متغیرهای آماری (دو متغیره)، از ماتریس همبستگی عناصر به روش اسپیرمن (جدول ۱) که مستقل از نوع تابع توزیع داده‌هاست، استفاده گردید. همبستگی، سنجش شدت وابستگی بین دو متغیر اندازه‌گیری شده در مجموعه‌ای از داده‌های منفرد می‌باشد (Karimzadeh Samarini, 2012). براساس ماتریس همبستگی عناصر (جدول ۲)، بیشترین همبستگی مثبت بین جفت عناصر Cr- Ni (۰,۸۴۳) و سپس Fe- Co (۰,۸۲۴)، Fe- Pb (0.780)، Co- Zn (0.668)، Co- Pb (0.691)، Fe- Zn (0.577)، Co- Cu (0.616)، Co- Cr (0.599) است.

دارد. مس بیشترین همبستگی را با عناصر کبالت، آهن و روی، و به مقدار کمتر با سرب و نیکل دارد که از یک طرف نشان‌دهنده ارتباط عنصر مس با سنگ میزبان و محیط تشکیل می‌باشد و از سوی دیگر مبین رخداد آنومالی‌های این عنصر در محدوده است. عنصر نقره نیز دارای همبستگی مثبت با روی (۰/۴۵۹) و به مقدار کمتر سرب (۰/۳۴۳) می‌باشد حضور عناصر فلزی چون نقره به همراه مس و سرب و همبستگی بالای آنها با یکدیگر در سنگ‌های آتشفشانی، از شاخصه‌های سامانه‌های تیپ مانتو است.



شکل ۱۳- توالی پاراژنز کانی‌ها در کانسار مس هاشم‌آباد.

Fig. 13. Paragenetic sequence of minerals in Hashemabad.

جدول ۱- پارامترهای آماری داده‌های خام برخی از عناصر آنالیز شده در نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی.

Table 1. Raw statistica data from some analyzeelements in lithochemisrty samples.

| Statistics | | Ag | Al | As | Ba | Ca | Cd | Co | Cr | Cu | |
|----------------|---------|------------|----------|---------|----------|----------|--------|-------|--------|---------|--|
| N | Valid | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | |
| | Missing | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Mean | | 0.43 | 61104.05 | 1.91 | 132.65 | 32542.65 | 0.25 | 11.22 | 23.84 | 401.76 | |
| Std, Deviation | | 0.17 | 16369.60 | 0.35 | 410.68 | 29584.60 | 0.38 | 8.61 | 20.99 | 1683.55 | |
| Skewness | | 5.14 | -1.64 | 2.05 | 12.77 | 1.21 | 12.69 | 0.88 | 3.59 | 6.42 | |
| Kurtosis | | 40.07 | 3.22 | 9.51 | 172.65 | 0.33 | 168.72 | 0.08 | 16.49 | 43.34 | |
| Minimum | | 0.24 | 3644 | 1.2 | 8 | 2725 | 0.17 | 0.75 | 5 | 2 | |
| Maximum | | 2.00 | 97125 | 4.2 | 5684 | 100133 | 5.30 | 39.00 | 156 | 12976 | |
| | | Statistics | | | | | | | | | |
| | | Fe | K | La | Mg | Mn | Mo | Ni | Pb | S | |
| N | Valid | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | |
| | Missing | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Mean | | 46051.31 | 2675.27 | 4.06 | 13733.00 | 970.06 | 0.81 | 10.73 | 77.57 | 311.82 | |
| Std, Deviation | | 21365.62 | 2362.89 | 2.18 | 5641.25 | 598.60 | 0.60 | 8.24 | 963.30 | 339.86 | |
| Skewness | | 0.54 | 2.45 | 2.43 | -0.36 | 0.83 | 4.18 | 2.25 | 14.03 | 5.09 | |
| Kurtosis | | 0.13 | 8.08 | 8.15 | -1.13 | 0.16 | 20.85 | 5.99 | 196.85 | 30.79 | |
| Minimum | | 0.13 | 123 | 1 | 1893 | 76 | 0.37 | 3 | 3 | 98 | |
| Maximum | | 100133 | 16177 | 16 | 20133 | 2734 | 5.20 | 52 | 13527 | 2761 | |
| | | Statistics | | | | | | | | | |
| | | Sb | Sr | Ti | U | V | Y | Yb | Zn | Zr | |
| N | Valid | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | 197 | |
| | Missing | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Mean | | 0.80 | 179.37 | 3318.87 | 9.84 | 97.02 | 21.75 | 2.53 | 95.85 | 41.71 | |
| Std, Deviation | | 0.05 | 128.34 | 1341.34 | 5.39 | 90.10 | 8.09 | 0.73 | 284.40 | 17.98 | |
| Skewness | | 0.63 | 1.97 | -0.18 | 0.77 | 1.42 | -0.03 | -0.44 | 11.95 | 0.16 | |
| Kurtosis | | 1.21 | 4.42 | -0.27 | 0.24 | 2.52 | -0.44 | -0.02 | 156.70 | -0.25 | |
| Minimum | | 0.68 | 26 | 135 | 3.75 | 5 | 3 | 0.5 | 0.75 | 3.75 | |
| Maximum | | 1.01 | 784 | 6860 | 28.00 | 533 | 44 | 4.4 | 3849 | 90 | |

جدول ۲- محاسبه ضرایب همبستگی داده‌های خام به روش اسپیرمن.

Table 2. Spearman correlation from raw geochemical data.

| | Ag | As | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | Mo | Ni | Pb | S | Sb | Zn |
|----|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|----|
| Ag | 1 | | | | | | | | | | | | |
| As | 0.158 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Cd | 0.113 | 0.205 | 1 | | | | | | | | | | |
| Co | 0.316 | 0.162 | 0.339 | 1 | | | | | | | | | |
| Cr | 0.155 | 0.197 | 0.23 | 0.599 | 1 | | | | | | | | |
| Cu | 0.311 | 0.344 | 0.339 | 0.616 | 0.423 | 1 | | | | | | | |
| Fe | 0.341 | 0.261 | 0.328 | 0.824 | 0.422 | 0.552 | 1 | | | | | | |
| Mo | 0.05 | 0.345 | -0.036 | -0.192 | 0.019 | 0.042 | 0.071 | 1 | | | | | |
| Ni | 0.155 | 0.09 | 0.208 | 0.57 | 0.843 | 0.364 | 0.273 | 0.078 | 1 | | | | |
| Pb | 0.343 | 0.286 | 0.342 | 0.691 | 0.4 | 0.472 | 0.78 | 0.023 | 0.319 | 1 | | | |
| S | 0.058 | 0.282 | 0.188 | -0.068 | 0.018 | 0.141 | 0.037 | 0.421 | 0.023 | 0.129 | 1 | | |
| Sb | 0.158 | 0.184 | 0.14 | 0.233 | 0.14 | 0.181 | 0.347 | -0.027 | 0.069 | 0.3 | 0.076 | 1 | |
| Zn | 0.459 | 0.148 | 0.342 | 0.668 | 0.326 | 0.563 | 0.577 | 0.234 | 0.330 | 0.487 | 0.126 | 0.178 | 1 |

توجیه کند. این مقدار برای مؤلفه دوم حدود ۱۸/۸۸ درصد است. در مؤلفه سوم این مقدار به حدود ۱۴/۶۴ درصد کاهش می‌یابد. در مجموع ۳ فاکتور استخراجی توانسته است ۶۴/۶۱ درصد از کل تغییرپذیری را در منطقه مطالعاتی توجیه نماید. در جدول ۵ مقادیر ماتریس چرخش یافته آنالیز فاکتوری عناصر در نمونه‌ها نشان داده شده است. در این جدول جهت سهولت بررسی داده‌ها مقادیر بالای ۰/۵ با رنگ‌های متفاوت برای هر فاکتور مشخص شده‌اند.

در فاکتور اول بیشترین بار فاکتوری را برای عناصر Ag، Cu، Pb، Fe و Co شاهد هستیم. این فاکتور با توجه به تعداد عناصر مذکور توانسته حدود ۳۱/۰۹ درصد از تغییرپذیری کل را توجیه نماید که این فاکتور می‌تواند معرف غنی‌شدگی این عناصر در منطقه باشد. در فاکتور دوم مجموعه عناصر Mo، As و S دارای بار فاکتوری بالایی هستند. در فاکتور سوم عناصر Zn و Cd دارای بیشترین بار فاکتوری بوده و این موضوع احتمالاً می‌تواند مؤید غنی‌شدگی یا کانه‌زایی این عناصر در محدوده باشد. تحلیل داده‌های این نمودار خوشه‌ای ما را با کمی تغییر به نتایج مشابه حاصل از تحلیل فاکتوری می‌رساند. در شکل ۱۴a، دیاگرام سه‌بعدی ماتریس چرخش یافته عناصر حاصل از آنالیز فاکتوری و قرارگیری هر یک از عناصر در گروه مرتبط نشان داده شده است.

گروه‌بندی داده‌ها به وسیله آنالیز خوشه‌ای جهت تقلیل ابعاد ماتریس آنها از دیگر مواردی است که با هدف، دست یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هر چه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها بر اساس تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی انجام می‌شود (Hassanipak and Sharafodin, 2012). روش‌های متعددی برای خوشه‌بندی داده‌ها وجود دارد که در این مطالعه از روش وارد (Ward's Method) جهت خوشه‌بندی داده‌ها استفاده شده است. در ترسیم نمودار خوشه‌ای، از مقادیر ۱۶ عنصر اصلی آنومال و پریتانسیل به همراه عناصر وابسته به آنها استفاده شده است که نتیجه آن در شکل ۱۴b ارائه شده است. بر اساس این نمودار، عناصر در دو گروه A و B جای گرفته‌اند. گروه A خود به دو زیرگروه A1 و A2 قابل تقسیم است. زیرگروه A1 شامل عناصر Pb، Ba، Zn، Cd و Cu می‌باشد که می‌تواند معرف کانه‌زایی مهم این عناصر در این منطقه باشد. زیرگروه A2 دربردارنده عناصر Ag، S، Mo، Sr و Ni، Cr بوده و می‌تواند به عنوان یک غنی‌شدگی مهم در

علاوه بر این برای ترسیم نمودارهای خوشه‌ای و آنالیز فاکتوری از روش‌های چند متغیره به منظور درک رابطه بین متغیرهای موجود در یک نمونه و همچنین رابطه بین نمونه‌ها و متغیرها در چندین جامعه آماری استفاده شد. این روش‌ها، برای تشخیص آنومالی‌های زمین‌شیمیایی از زمینه، نوع آنومالی، خواص ذخایر معدنی و غیره است (Punj and Stewart, 1983; Waples and Curiale, 1999; Peters et al., 2005). در این مطالعه از روش آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. جهت اعمال این روش باید به چند نکته توجه داشت. داده‌ها طبیعت غیرنرمال دارند و از طرفی به علت وجود مقادیر منفی عناصر مختلف در برخی حوضه‌ها، نرمال کردن داده‌ها امکان‌پذیر نیست بنابراین محاسبات ناپارامتریک پیشنهاد می‌شود (Mokhtari et al., 2013). از این رو ماتریس همبستگی اسپیرمن محاسبه شده و بر اساس آن رسم دندروگرام عناصر و همچنین پردازش مولفه‌های اصلی صورت گرفته است. همچنین در این آنالیز از مقادیر ۱۶ عنصر اصلی استفاده شده است. بدین منظور ابتدا باید میزان اعتبار آنالیز فاکتوری بر روی مقادیر داده‌های نرمال بررسی شود. در این راه از آزمون‌های Bartlett و KMO بهره‌گرفته می‌شود. هر چه مقدار KMO به عدد یک نزدیک‌تر باشد، دلالت بر تأیید بیشتر آنالیز فاکتوری دارد. به‌طور استاندارد KMO باید از ۰/۶ بیشتر باشد. با توجه به جدول ۳، مقدار KMO معادل ۰/۷۰۴ بوده و در حد مناسبی می‌باشد که انجام آنالیز فاکتوری را تأیید می‌نماید. همچنین عدم رد آزمون کرویت که به آزمون فرض ماتریس واحد بودن ماتریس ضرایب همبستگی اشاره می‌کند، به این معنی است که کلیه متغیرها مستقل از یکدیگر عمل می‌کنند.

در آنالیز فاکتوری به‌روش مؤلفه‌های اصلی (PCA)، برآورد ماتریس ضرایب همبستگی به‌دست می‌آید. با محاسبه مقادیر ویژه این ماتریس، مقادیر بزرگ‌تر از یک جدا شده و برای آنها بردارهای ویژه محاسبه می‌گردد. در جدولی که تحت عنوان Total Variance Explained آمده است، مقادیر ویژه، درصد واریانس و درصد تجمعی واریانس متناظر با عوامل، محاسبه شده و سپس مقادیر بزرگ‌تر از یک استخراج و دوران داده شده‌اند که در جدول ۴ آمده است. داده‌های ارائه شده در جدول ۳ دلالت بر آن دارد که مؤلفه اول قادر است حدود ۳۱/۰۹ درصد از کل تغییرپذیری را

زیرگروه B2 به تنهایی در بردارنده عنصر Sb بوده و شاید بیانگر کانه‌زایی ضعیف این عنصر در محدوده است.

محدوده در نظر گرفته شود. گروه B نیز شامل دو زیرگروه می‌باشد. زیرگروه B1 مشتمل بر عناصر Co، Mn، As و Fe است که معرف عناصر موجود در سنگ‌های مافیک است.

جدول ۳- نتایج آزمون KMO and Bartlett در آنالیز فاکتوری.

Table 3. KMO and Bartlett test of sphericity in normalized geochemical data.

| KMO and Bartlett's Test | | |
|--|------|---------|
| Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling | | 0.704 |
| Approx. Chi-Square | | 733.051 |
| Bartlett's Test of Sphericity | df | 45 |
| | Sig. | 0.000 |

جدول ۴- داده‌های واریانس حاصل از آنالیز فاکتوری.

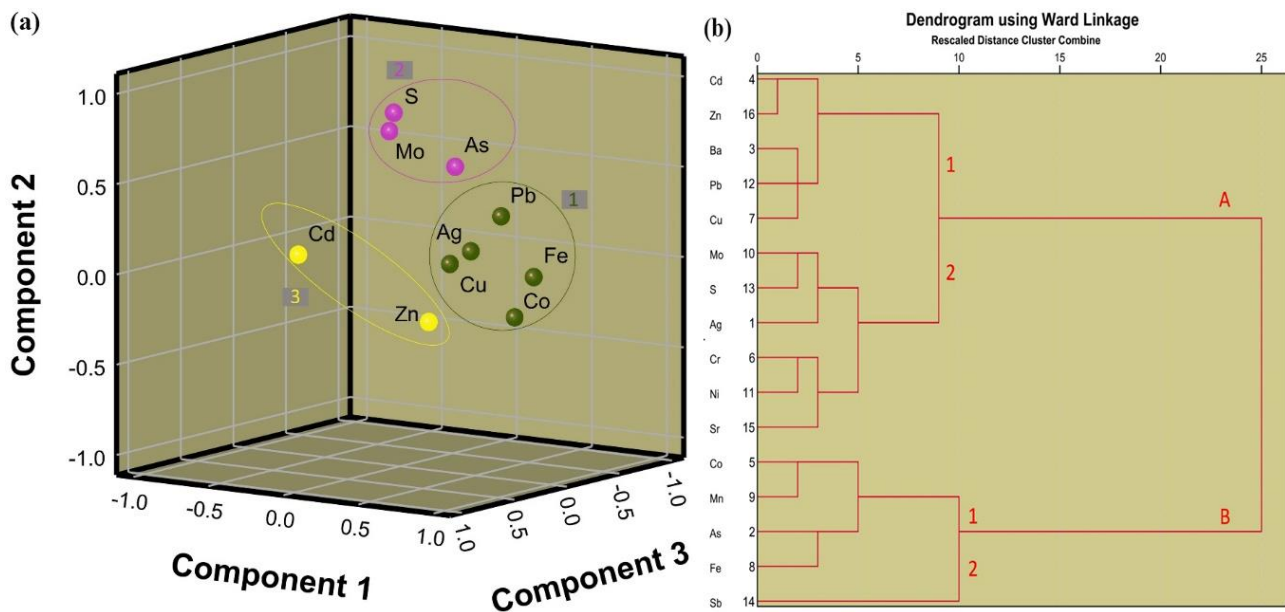
Table 4. Varizance data resulting from factor analysis.

| Component | Total Variance Explained | | | | | | | | |
|-----------|--------------------------|---------------|--------------|------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------------------|---------------|--------------|
| | Initial Eigenvalues | | | Extraction Sums of Squared Loading | | | Rotation Sums of Squared Loadings | | |
| | Total | % of Variance | Cumulative % | Total | % of Variance | Cumulative % | Total | % of Variance | Cumulative % |
| 1 | 3.49 | 34.91 | 34.91 | 3.49 | 34.91 | 34.91 | 3.11 | 31.09 | 31.09 |
| 2 | 1.80 | 18.00 | 52.91 | 1.80 | 18.00 | 52.91 | 1.89 | 18.88 | 49.97 |
| 3 | 1.17 | 11.70 | 64.61 | 1.17 | 11.70 | 64.61 | 1.46 | 14.64 | 64.61 |
| 4 | 0.91 | 9.08 | 73.69 | | | | | | |
| 5 | 0.67 | 6.69 | 80.37 | | | | | | |
| 6 | 0.64 | 6.37 | 86.75 | | | | | | |
| 7 | 0.56 | 5.60 | 92.34 | | | | | | |
| 8 | 0.36 | 3.62 | 95.96 | | | | | | |
| 9 | 0.25 | 2.55 | 98.51 | | | | | | |
| 10 | 0.15 | 1.49 | 100.00 | | | | | | |

جدول ۵- داده‌های واریانس حاصل از آنالیز فاکتوری.

Table 5. Rotated component matrix in Area.

| elements | Component | | |
|----------|-----------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Ag | 0.519 | 0.142 | 0.067 |
| As | 0.404 | 0.595 | 0.049 |
| Cd | -0.029 | 0.189 | 0.919 |
| Cu | 0.628 | 0.134 | 0.418 |
| Mo | -0.001 | 0.764 | 0.110 |
| Pb | 0.605 | 0.322 | -0.094 |
| S | -0.023 | 0.846 | 0.027 |
| Zn | 0.629 | -0.155 | 0.630 |
| Fe | 0.885 | 0.030 | -0.013 |
| Co | 0.858 | -0.181 | 0.141 |



شکل ۱۴- (a) نمودار سه بعدی ماتریس چرخش یافته عناصر حاصل از آنالیز فاکتوری و (b) نمودار آنالیز خوشه‌ای عناصر در نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی. Fig. 14. (a) 3-Dimensional rotated matrix component from factor analysis, and (b) Dendrogram diagram from Litho geochemistry samples.

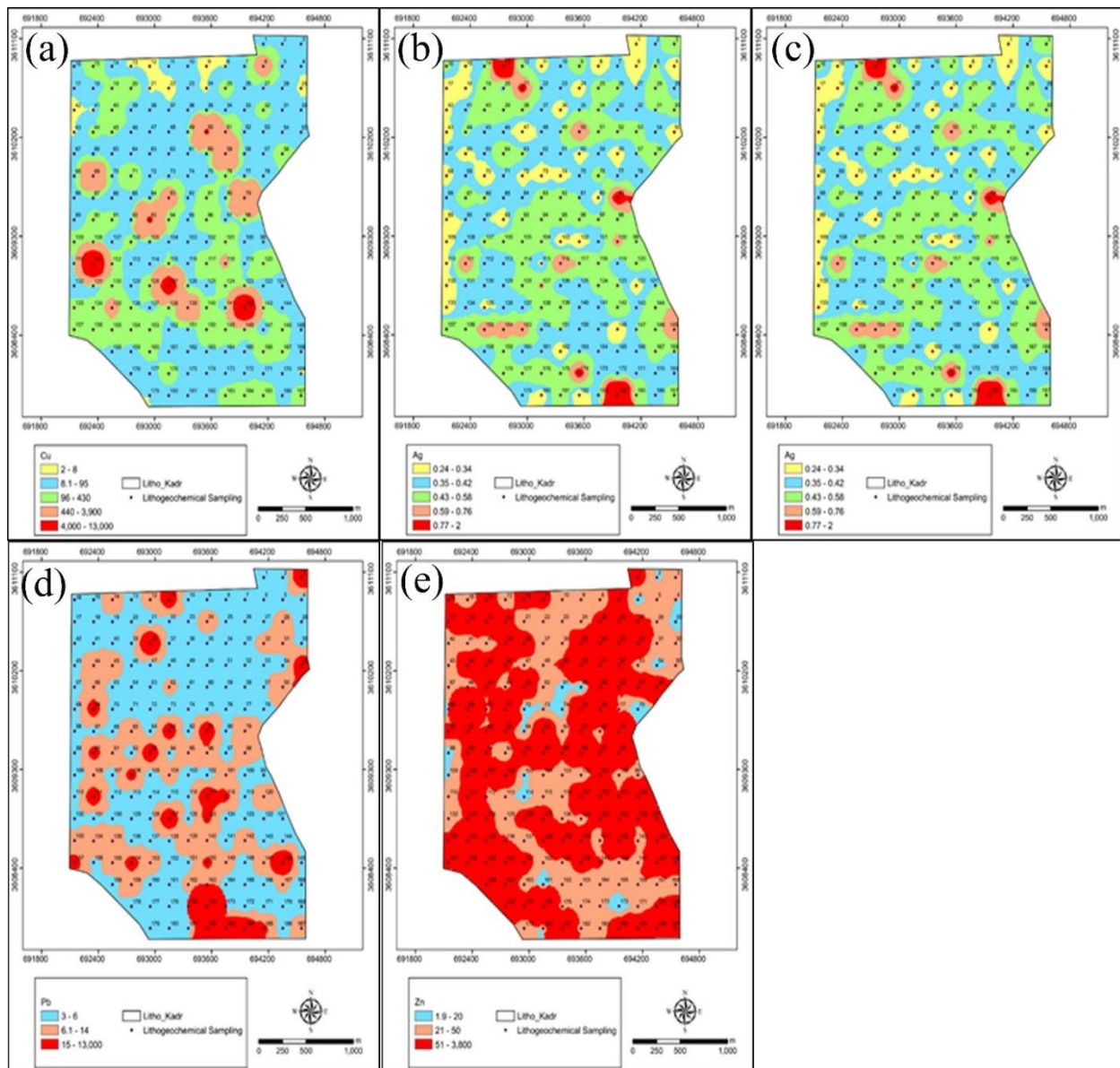
تشکیل شده‌اند، قرار می‌گیرند. با توجه به مطالعات صورت گرفته، این جایگاه با رخدادهای کانه‌زایی مس نوع مانتو یا VRB همخوانی نشان می‌دهد (Ramirez et al. 2006; Cabral and Beaudoin 2007). سنگ میزبان کانه‌زایی در این کانسار را گدازه‌های آتشفشانی مافیک تا فلسیک و توف تشکیل می‌دهد. لذا این مجموعه آتشفشانی، تناوبی از فعالیت‌های آتشفشانی بازیک و اسیدی (بایمودال) می‌باشد که در ادامه فعالیت‌های رسوبی با روند شمال باختری- جنوب‌خاوری و در محیطی کششی تشکیل شده‌اند و به این لحاظ بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع مانتو یا VRB از خود نشان می‌دهند (Boric et al. 2002; Cabral and Beaudoin 2007). کانی‌شناسی شامل کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، کولیت، کولیت، مالاکیت و آزوریت می‌باشد، که از این حیث (به جزء کوپریت و مس طبیعی) بسیار شبیه به کانسارهای نوع مانتو، Volcanic red bed و نوع میشیگان می‌باشد (Boric et al. 2002; Ramirez et al. 2006; Cabral and Beaudoin 2007; Oliveros et al. 2008).

اگرچه دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی در این کانسار شامل کربناتی‌شدن و سیلیسی‌شدن است و با افزایش آنها در پهنه‌های کانه‌دار، مقادیر کانه‌زایی افزایش می‌یابد، اما دگرسانی‌های پروپیلیتیک (کلریتی- اپیدوتی)، آرژلیک و اکسیدهای آهن نیز در منطقه گسترش زیادی دارند که از شاخص‌های ذخائر مانتو

در نهایت توزیع و پراکندگی عیار عناصر مختلف در این محدوده ترسیم گردید (شکل ۱۵). برای رسم این نقشه‌ها، پس از آماده‌سازی و پردازش‌های آماری، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار GIS و با روش تخمین درون‌یابی از نوع IDW فایل‌های تخمینی استخراج گردید. سپس با استفاده از ترسیم نمودارهای فرکتالی عیار- تعداد، نقاط شکست برای هر عنصر مشخص و مقادیر آنها به عنوان بازه‌های عیاری عناصر مورد استفاده قرار گرفت. سطح هر سلول شبکه برداشت برحسب مقدار خام آن عنصر در سلول مربوطه رنگ آمیزی گردید. در شکل ۱۵ نقشه‌های ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی تک‌عنصری عناصر مس، نقره، مولیبدن، سرب و روی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار این عناصر در محدوده در بازه آنومالی قرار گرفته و نشان از پتانسیل محدوده از نقطه‌نظر کانه‌زایی عناصر مس، سرب، روی و در درجه بعد نقره و طلا دارد.

۷- تیپ کانه‌زایی

به لحاظ جایگاه تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی منطقه هاشم‌آباد در گروه سنگ‌های آتشفشانی منسوب به بخش بالائی توالی افیولیتی (تکتونیزه و آمیزه رنگین) که در محیطی کششی (پشت کمان) و مرتبط با فرورانش ژوراسیک تا کرتاسه (Hassanzadeh and Wernicke, 2016)، توام با رسوبگذاری



شکل ۱۵- نقشه‌های الگوی پراکندگی زمین‌شیمیایی عناصر (a) مس، (b) نقره، (c) مولیبدن، (d) سرب و (e) روی در محدوده هاشم‌آباد.

Fig. 15. Distribution maps of (a) Cu, (b) Ag, (c) Mo, (d) Pb and (e) Zn in Hashemabad Area.

کانسارهای مس چینه‌سان رسوبی متفاوت است. در حالی که از نظر شاخص‌های اصلی (سنگ میزبان، کانی‌شناسی، بافت و ساخت و دگرسانی) با کانسارهای نوع مانتو در شیلی، نوع VRB در کانادا و نوع میشیگان در آمریکا مشابهت دارد. این تیپ کانسارها بیشتر در بازه سنی ژوراسیک فوقانی - کرتاسه تشکیل شده‌اند و در منطقه مس هاشم‌آباد سن واحدهای سنگی مربوط به دوره زمانی کرتاسه تحتانی - فوقانی می‌باشد. در پارائنز کانایایی این تیپ کانسارها (بخصوص نوع میشیگان)، مس طبیعی بیشترین سهم را دارد، در حالیکه در کانسار مس

و VRB محسوب می‌شوند (Boric et al. 2002; Cabral and Beudoin 2007). ساخت و بافت‌های موجود در این کانسار شامل رگه - رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، دانه‌پراکنده و جانمایی است که از این جهت با کانسارهای تیپ مانتو و Volcanic Red Bed (VRB) شباهت زیادی نشان می‌دهد (Boric et al. 2002; Ramirez et al. 2006; Cabral and Beudoin 2007). در مجموع کانسار مس هاشم‌آباد، با توجه به نوع ساخت و بافت، سنگ میزبان، محیط زمین‌ساختی، توالی پارائنزی و نوع دگرسانی، با کانسارهای سولفید توده‌ای و

نزدیک رگه معدنی دگرسانی سیلیسی - کربناتی افزایش می‌یابد و در عباس‌آباد دگرسانی‌های کلسیمی، سریسیتی، سیلیسی و کلریتی غالب است. در هر دو کانسار کالکوسیت کانه اصلی سولفیدی مس است و تفاوت بارز در جزئی بودن مقدار مس طبیعی در کانسار هاشم‌آباد و فراوان بودن آن در کانسارهای محور شاهرود - عباس‌آباد می‌باشد. از دیگر تفاوت‌های بارز میان این دو کانسار می‌توان به رخداد دگرسانی گسترده آرژیلیک در کانسار مس هاشم‌آباد اشاره کرد. در جدول ۶ به مقایسه برخی ویژگی‌های شاخص کانسار هاشم‌آباد با ویژگی‌های ارائه شده در کانسار مس کشت‌مهکی (Boveiri Konari et al. 2013,) در 2014) به سن کرتاسه و کانسار مس دره‌تخت (Zandkhanian, 2017) به سن ائوسن پرداخته شده است. در جدول ۷ نیز مقایسه ویژگی‌های شاخص کانسار هاشم‌آباد با سایر کانسارهای مس جهان نظیر تیپ VRB، مانتو و میشیگان ارائه شده است.

هاشم‌آباد، کانی‌های سولفیدی مس که بیشتر کالکوسیت هستند، حضور دارند هرچند مس طبیعی هم به میزان کم یافت می‌شود. سنگ میزبان کانسار مس هاشم‌آباد تا حدی دگرگون شده که از این حیث با کانسارهای تیپ میشیگان مشابهت دارد. در کانسارهای مس مانتو حفرات توسط زئولیت پر شده‌اند در حالیکه در گستره مورد بررسی تاکنون آثاری از زئولیت مشاهده نشده است.

کانسار مس هاشم‌آباد دارای ویژگی‌های مشابه با کانسارهای مس محور شاهرود - عباس‌آباد است با این تفاوت که در کانسار مس هاشم‌آباد سنگ میزبان کانه‌زایی توفبرش و آندزیت می‌باشد و در اطراف رگه‌های کانه‌دار، پهنه‌های دگرسانی گسترش دارند ولی در عباس‌آباد واحدهای تراکی آندزیت - بازالت و تراکی بازالت ائوسن میزبان کانه‌زایی هستند (Salehi et al. 2016). پهنه‌های دگرسانی در کانسار هاشم‌آباد شامل سیلیسی - کربناتی، سریسیتی، آرژیلیک و کلریتی است که در

جدول ۶ - مقایسه ویژگی‌های کانسار مس هاشم‌آباد با کانسارهای مانتو کشت‌مهکی و دره‌تخت.

Table 6. Comparing the characteristics of Hashemabad deposit with Keshmahaki and Darreh-Takht manto type deposits.

| Features | Keshmahaki | Darreh Takht | Hashemabad |
|-----------------------|--|---|--|
| Host rocks | Trachyandesitic to basaltic Crystal lithic tuff | Andesite, trachyandesite, and basaltic andesite | Andesite to basaltic andesite |
| Texture and structure | Open space filling, vein-veinlet, replacement, laminated-like, disseminated | vein-veinlet, Open space filling, disseminated | vein-veinlet, Open space filling, disseminated, replacement |
| Geometry | Stratabound | Stratabound | Stratabound |
| Tectonic setting | Sanandaj-Sirjan Zone | Sanandaj-Sirjan Zone | Central Iranian Zone |
| Host rock age | Lower Cretaceous | Eocene | Lower Cretaceous |
| Plutonic rocks | Not observed | Observed | Observed |
| Mineralogy | Chalcocite, bornite, native copper, digenite, chalcopyrite, covellite, anilite, Ag-bearing clausthalite, Ag selenide, pyrite, malachite, azurite | Pyrite, chalcopyrite, bornite, chalcocite, covellite, pyrrargyrite, proustite, tetrahedrite, malachite, azurite, cuprite, brochantite, native copper, magnetite, hematite, goethite, limonite | Chalcocite, bornite, chalcopyrite, pyrite, covellite, secondary chalcocite, malachite, hematite, goethite, azurite |
| Alteration | Quartz, calcite, chlorite, epidote, zeolite | chlorite, epidote, sericite, carbonate, quartz, Fe oxide | Propylitic, argillic, sericite, quartz, carbonate, sulfidation |

ادامه جدول ۶

Table 6. continued

| Genesis | Syngenetic-epigenetic | Syngenetic-epigenetic | Syngenetic-epigenetic |
|----------------------|---|---|--|
| Genetic model | Remobilization of copper by diagenetic hydrothermal fluids resulting from medium-depth burial and their movement to areas with high permeability and deposition in appropriate host units | Penetration of atmospheric waters into the deeper depth and its heating due to the proximity to the intrusive rocks, leaching of elements from the rocks during upward movement, and deposition of minerals in the fault paths and joints | Penetration of atmospheric waters into the deeper depth and its heating due to the proximity to the intrusive rocks, leaching and transportation of copper and other element by hydrothermal fluids and migration to upward, and finally, deposition of minerals in appropriate host units |
| Type of ore deposits | Manto type or volcanic red bed type | Manto type | Manto type |
| References | Boveiri Konari et al. 2013 | Zandkhanian, 2017 | This reserach |

۸- الگوی تشکیل

در کانسارهای تیپ مانتو، چرخش سیالات هیدروترمالی سبب شستشوی مس و عناصر همراه از واحد سنگ میزبان، حرکت به سمت بالا و مناطق دارای تخلخل، نفوذپذیر و دارای درز و شکاف می‌شود. سیال در نهایت پس از رسیدن به محیط با شرایط مناسب، محتوای خود را به صورت کانه‌های سولفیدی بر جای می‌گذارد. در این تیپ از ذخایر، گردش سیال گرمایی در واحدهای سنگی موجود در توالی چینهای، عامل اصلی شستشوی فلزات از سنگ‌های مسیر شده است که پس از حرکت رو به بالای سیال و رسیدن آن به شرایط محیطی مناسب (از دیدگاه ویژگی‌های زمین‌شیمیایی و تخلخل و نفوذپذیری سنگ میزبان)، سبب ایجاد بخش‌های کانه‌دار در سنگ میزبان شده است. در مورد کانسار هاشم‌آباد نیز می‌توان گفت گرم شدن سیال گرمایی در مجاورت توده‌های نفوذی، چرخش سیال و شستشوی فلزات از سنگ‌های مسیر و جابجایی سیال به سوی ترازهای بالاتر چینهای، سبب برجای‌گذاری کانه‌های سولفیدی در آندزیت- بازالتی و توف آندزیتی (واحد Kv) شده است. عامل مهم کانه‌زایی در این محدوده علاوه بر حضور توده‌های نفوذی به عنوان موتور حرارتی و حضور واحدهای سنگی واجد مس جهت ورود به سیال، تخلخل و نفوذپذیری و ویژگی‌های شیمیایی مناسب واحدهای توفی میزبان بوده است.

بر این اساس الگوی تشکیل و تکامل کانسار مس هاشم‌آباد را می‌توان در سه مرحله بیان کرد (شکل ۱۶):

۸-۱- فرورانش و تشکیل حوضه آتشفشانی- رسوبی پشت‌کمانی

پيامد فرورانش ورقه اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی در بخش‌های شمال‌خاوری در مزوزوئیک، رژیم کششی پشت‌کمانی در کرتاسه زیرین ایران مرکزی ایجاد شده است که با ایجاد توالی افیولیتی همراه بوده است (Hassanzadeh and Wernicke, 2016) و متعاقب آن حوضه‌های فروافتاده کم‌عمق تا نسبتاً عمیق در مقیاسی گسترده تشکیل شده‌اند. در این حوضه‌ها فوران‌های آتشفشانی با ماهیت تراکی‌بازالتی و بازالتی صورت گرفته و این فوران‌ها طی دوره حیات این حوضه‌ها به دفعات تکرار شده است. رخساره‌های آتشفشانی و برشی نیز همراه فوران‌های آتشفشانی به وفور تشکیل شده‌اند (شکل ۳ تا شکل ۸).

۸-۲- مرحله فعالیت آتشفشانی، تدفین و دیاژنز

در این مرحله در شرایط کششی حاکم بر حوضه پشت‌کمان آتشفشانی مزوزوئیک در زیر پهنه نائین- اردستان، سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری، تخریبی و کربناتی- رسوبی تشکیل شده است. سپس انباشته شدن واحدهای آتشفشانی- رسوبی با گذر زمان موجب تدفین واحدها و رخداد فرایند دیاژنز شده است (شکل ۳ تا شکل ۷).

جدول ۷- مقایسه ویژگی‌های کانسار مس هاشم‌آباد با کانسارهای تیپ VRB، مانتو و میشیگان.

Table 7. Comparing the characteristics of Hashemabad deposit with Volcanic Red bed, Manto, and Michigan-type Cu deposits.

| Features | Volcanic Red Bed (VRB) | Michigan type | Manto type | Hashemabad deposit |
|-----------------------|---|---|---|--|
| Tectonic setting | Continental arc, volcanic arc | Continental rift | volcanic arc | Back arc basin |
| Host rocks | Amygdaloidal lava and pyroclastic rocks | Amygdaloidal basalt and conglomerate | Intermediate pyroclastic rocks and basaltic lava | Andesite to basaltic andesite |
| Host rock age | Proterozoic-Tertiary | Paleozoic | Proterozoic-Triassic, Mesozoic | Lower Cretaceous |
| Geometry | Stratabound and Lensed shape | Stratabound | Stratabound and Lensed shape | Stratabound |
| Texture and structure | Open space filling, vein-veinlet, replacement, disseminated | Disseminated, vein-veinlet | Disseminated, Open space filling, Laminated | Vein-veinlet, open space filling, disseminated, replacement |
| Mineralogy | Chalcocite, bornite, tenantite, digenite, chalcopyrite, covellite, native copper, disseminated Ag | Native copper, cuprite, malachite, Chrysocolla, native Ag, chalcocite | Bornite, chalcocite, chalcopyrite, digenite, covellite, tetrahedrite, native copper | Chalcocite, bornite, chalcopyrite, pyrite, covellite, secondary chalcocite, malachite, hematite, goethite, azurite |
| Alteration | Albitization, sericitic, silicification, calcitization, chloritization, epidotization | Calcitization, zeolitization, chloritization, epidotization, silicification | Silicification, calcitization, chloritization, epidotization | Propylitic, Argillic, Sericitic, Silicification, Carbonatization, Sulfidation |
| Example | Mount Alexandre, Sustut (Canada) | Keweenaw (Chile) | Buena Esperanza and Mantos Blancoz (Chile) | Hashemabad |
| References | Cabral, 2007; Wilton and Sinclair, 1988 | White, 1968; Bornhorst and Mathur, 2017 | Maksaev et al. 2003; Oliveros et al. 2008 | This research |

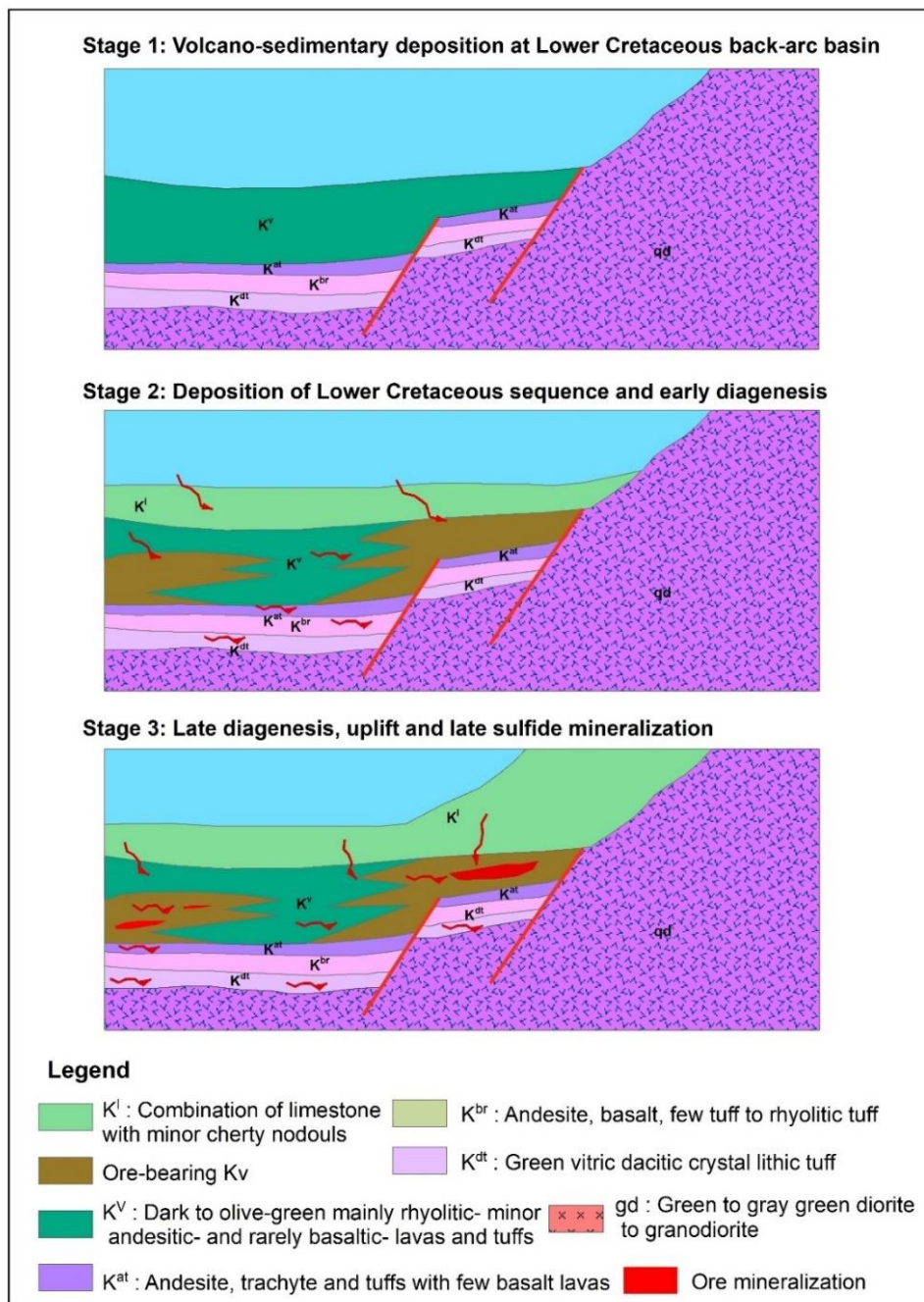
رخداد کانه‌زایی سولفیدی به صورت رگه و رگچه‌ای، جانیشینی و پرکننده فضاهای خالی شده است (شکل ۷ تا شکل ۱۲).

۹- نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن شواهدی همچون جایگاه زمین‌ساختی (محیط تکتونیکی پشت کمان ماگمایی)، جنس سنگ میزبان گدازه‌ای (واحدهای آندزیتی توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه)، شکل هندسی ماده معدنی (لنزی و عدسی‌شکل)، نوع دگرسانی (پروپیلیتیک و اکسیداسیون آهن ناحیه‌ای و دگرسانی سیلیسی- سولفیدی)، کانی‌شناسی (کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت)، ساخت و بافت کانه‌ها (دانه‌پراکنده، رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و

۸-۳- تشکیل کمان ماگمایی توام با پهنه برشی، بالآمدگی و چین‌خوردگی

در مرحله بالآمدگی و چین‌خوردگی منطقه و ایجاد پهنه برشی راستگرد توام با گسل‌ها و شکستگی‌ها، شرایط لازم برای رسیدن سیال به قسمت‌های بالاتر توالی فراهم شده است. در این مرحله سیال مس‌دار ناشی از دیاژنز با راه یافتن و چرخش خود درون پهنه برشی، کانه‌زایی سولفیدی همراه با دگرسانی عمده سیلیسی- کربناتی را در منطقه ایجاد کرده است. جریان یافتن سیال کانه‌دار به داخل درز و شکستگی‌ها و فضاهای خالی، سبب



شکل ۱۶- الگوی تشکیل کانسار هاشم‌آباد.

Fig. 16. Genetic model for the Hashemabad deposit.

ژاسپروئید و همچنین در محل دگرسانی آرژیلیک می‌باشد. تا به حال رخداد آنومالی طلا در ذخایر مس تیپ مانتو گزارش نشده است که این موضوع به بررسی‌های بیشتر نیاز دارد.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر از طرح پژوهشی مصوب به شماره ۱۱۷-ط-پ- ۱۴۰۰ می‌باشد، لذا نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از

جانشینی) و بررسی‌های زمین‌شیمیایی (مقادیر بالای مس، و مقادیر قابل تامل نقره، سرب، روی و تا اندازه‌ای طلا و مولیبدن) در کانسار مس هاشم‌آباد و مقایسه آن با کانسارهای مس مشابه در مقیاس جهانی، می‌توان گفت این کانسار دارای بیشترین شباهت به کانسارهای تیپ مانتو یا volcanic red bed می‌باشد. از نکات قابل ذکر در این کانسار، حضور مقادیر نسبتاً خوب طلا و مقادیر قابل توجه آن در واحدهای توفی حاوی

شرکت‌های توسعه معدنی و صنعتی مه‌اد و سامانه کانسار زمین،
به‌ویژه آقایان جوینده و موسوی ماکوئی به‌دلیل فراهم آوردن
امکانات پژوهشی و در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز و
نتایج آنالیز نمونه‌های محدوده تشکر و قدردانی کنند.

مراجع

- Afroukhteh, A., 2014. Texture and structure and mineralogy of Pb- Zn mineralization at Paleozoic altered sequences, SW Naein. Ms.C thesis. University of Shahrud.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B., Worlet, R., 2011. Zagros orogeny: a subduction- dominated process. *Geological Magazine* 148(5- 6), 692–725. <https://doi.org/10.1017/S001675681100046X>.
- Abolipour, M., Rastad, E., Rashidnejad Omran, N., 2016. Stratabound manto type copper mineralization in pyrobitumen- bearing porphyry andesite, Kashkueieh Rafsanjan, Dehaj- Sardouieh subzone. *Geosciences Scientific Quarterly Journal* 95, 123- 144 (In Persian).
- Alaei Mahabadi, S., Fodazi, M., 2004. Geological map of Naein area in 1:100000 scale. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (In Persian).
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics* 229, 211–238. [https://doi.org/10.1016/0040- 1951\(94\)90030- 2](https://doi.org/10.1016/0040- 1951(94)90030- 2).
- Allen, M.B., Armstrong, H.A., 2008. Arabia- Eurasia collision and the forcing of mid- Cenozoic global cooling. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 265, 52- 58. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.04.021>.
- Alizadeh, V., Momenzadeh, M., Emami, M.H., 2013. Petrography, geochemistry, mineralogy, fluid inclusions and mineralisation study of Vorezg- Qayen copper deposit. *Geosciences Scientific Quarterly Journal* 22(86), 47- 58 (In Persian).
- Almodaresi, S. A., Mohammadpour, M., 2014. Mn Anomaly investigation in Benvid region using processing of satellite images. The fourth National Conference on Application of Advanced Sparta Analysis Models (RS & GIS) in Landscape Planning (In Persian).
- Aminoroayaei, M., Touti, F., Ahmadian, J., 2016. Hydrothermal alteration of porphyry copper deposit in southwestern of Zafarghand with respect to mineralogy and geochemical changes of region. *Journal of Earth Science Researches* 25, 75- 90 (In Persian).
- Barnes, H.L. (Ed.). 1997. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. John Wiley & Sons. P. 278–403.
- Boric, R., Holmgren, C., Wilson, N.S.F., Zentilli, M., 2002. The geology of the El Soldado manto type Cu (Ag) deposit, central Chile. In Porter, T.M. (Ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective, Volume 2*; PGC Publishing, Adelaide, pp 185-205. <https://www.geokniga.org/books/4896>.
- Bornhorst, T., Mathur, R., 2017. Copper Isotope Constraints on the Genesis of the Keweenaw Peninsula Native Copper District, Michigan, USA. *Minerals* 7(10), 185. <https://doi.org/10.3390/min7100185>.
- Boveiri Konari, M., Rastad, E., Kojima, S., Rashidnejad Omran, N., 2013. Volcanic redbed- type copper mineralization in the Lower Cretaceous volcano- sedimentary sequence of the Keshtmahaki deposit, southern Sanandaj- Sirjan zone, Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*. 190(2), 107- 121. <https://doi.org/10.1127/0077- 7757/2013/0236>.
- Boveiri Konari, M., Rastad, E., Rashidnejad Omran, N., 2009. Volcanic red bed type copper mineralization in Lower Cretaceous volcano- sedimentary sequence of NW- SE Dehbid, Fars Province. 27th National Geoscience Congress and 13th Conference of Iranian Society of Geology (In Persian).
- Cabral, A.R., 2007. Volcanic Red Bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada. *Miner Deposita* 42, 901-912. <https://doi.org/10.1007/s00126- 007-0141-7>.
- Cabral, A.R., Beaudoin, G., 2007. Volcanic red- bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada. *Mineralium Deposita* 42, 901- 912. <https://doi.org/10.1007/s00126- 007- 0141- 7>.

- Cheng, Q., Agterberg, F.P., Ballantyne, S.B., 1994. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. *Journal of Geochemical Exploration* 51, 109–130. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)90013-2)
- Dercourt, J., Zonenshain, L.P., Ricou, L.E., Kazmin, V.G., Le Pichon, X., Knipper, A.L., Grandjacquet, et al., 1986. Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the LIAS. *Tectonophysics* 123, 241- 315. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(86\)90199-x](https://doi.org/10.1016/0040-1951(86)90199-x).
- Ghasemi, A., Taghipour, B., Afshari, S., Cheraghi, S., 2004. Au correlation coefficient with Alunite in altered volcanic of Ghalehdar, SW of Esfahan (Urumieh–Dokhtar zone). Iranian Mining Engineering Conference, Tarbiat Modares University (In Persian).
- Gholami Fesharaki, Z., Shamsipour Dehkordi, R., Vahabi Moghadam, B., Nasr Esfahani, A., 2011. Mineralography and source of Kachumesghal Cu deposit, SE Ardestan (Esfahan Province). 1st conference of Iranian Society of Economic Geology, Ferdowsi University (In Persian).
- Grigorian, S.V., Ziaii, M., 1997, Computing methods for determination of geochemical haloes background, international symposium, Applied Geochemistry in CIS (in Russian).
- Hassanipak, A.A., Sharafodin, M., 2012. Exploration data analysis. University of Tehran Press, 3rd edition, 1010p.
- Hassanzadeh, J., Wernicke, B.P., 2016. The Neotethyan Sanandaj- Sirjan zone of Iran as an archetype for passive margin- arc transitions. *Tectonics* 35(3), 586- 621. <https://doi.org/10.1002/2015tc003926>.
- Heidari, S.M., Afzal, P., Sadeghi, B., 2023. Miocene tectono- magmatic events and gold/poly- metal mineralizations in the Takab- Delijan belt, NW Iran. *Geochemistry* 83(1), 125944. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2022.125944>.
- Hosseini Dinani, H., Bagheri, H., Shamsipour Dehkordi, R., 2012. Mineralization and geochemical studies in the Kalchouyeh occurrence, southwest of Naein. *Journal of Economic Geology* 4(2), 241- 256 (In Persian).
- Jamali, H., 2016. Genetic model of volcanic- hosted Meskat Cu deposit in West Anaraque (Central Iran). 8st conference of Iranian Society of Economic Geology, Zanjan University (In Persian).
- Karimzadeh Samarin, A., 2012. Applications of geochemical data, Tabriz University Publication, P. 75.
- Kirkham, R.V., 1996. Volcanic redbed copper. In Eckstrand, O.R., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., (Eds.), *Geology of Canadian Mineral Deposit Types: Geological Survey of Canada, Geology of Canada* 8, 241- 252.
- Komeili, S.S., Khalili, M., Asadi Haroni, H., Bagheri, H., Ayati, F., 2017. The nature of hydrothermal fluids in the Kahang porphyry copper deposit (northeast of Isfahan) based on mineralography, fluid inclusion and stable isotopic data. *Economic Geology* 8(2), 285–305. <https://doi.org/10.22067/econg.v8i2.37178>.
- Lefebure, D.V., Church, B.N., 1996. Volcanic redbed. In: Lefebure, D.V., Hoy, T., (Eds.), *Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles v.2 - Metallic Deposits*. British Columbia Ministry of Employment and Investment, Energy and Minerals Division, Geological Survey Branch, XXX, Open File 1996- 13, 5- 7.
- Li, X.H., Chung, S.L., Zhou, H.W., Lo, C.H., Liu, Y., Chen, C.H., 2003. Jurassic intraplate magmatism in southern Hunan- eastern Guangxi: ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating, geochemistry, Sr- Nd isotopes and implications for tectonic evolution of SE China. *Geological Society of London Special Publication*. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2004.226.01.11>.
- Maksaev, V., Townley, B., Palacios, C., Camus, F., 2003. Metallic ore deposits. *The Geology of Chile*, 179- 199. <https://doi.org/10.1144/goch.6>.
- Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M.R., Moayyed, M., Movahednia, M., Choulet, F., 2017. Geology, mineralization and sulfur isotopes geochemistry of the Mari Cu (Ag) Manto- type deposit, northern Zanjan, Iran. *Ore Geology Reviews* 81, 10- 22. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.025>.
- Maghfouri, S., Rastad, E., Borg, G., Hosseinzadeh, M.R., Movahednia, M., Mahdavi, A., Mousivand, F., 2020. Metallogeny and temporal- spatial distribution of sediment-hosted stratabound copper (SSC- type) deposits in Iran; implications for future exploration. *Ore Geology Reviews* 127, 103834. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103834>.
- Mokhtari, A.R., Abdolmaleki, M., Akbar, S., 2013. Geochemical modeling of stream sediment samples by sample catchment basin approach. *Iranian Journal of Mining Engineering* 8(19), 67- 76.
- Morley, C.K., Kongwung, B., Julapour, A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D., Warren, J., Otterdoom, H., Srisuriyon, K., Kazemi, H., 2009. Structural development of a major late Cenozoic basin

- and transpressional belt in central Iran: The Central Basin in The Qom–Saveh area. *Geosphere* 5(4), 325–362. <https://doi.org/10.1130/ges00223.1>.
- Movahednia, M., Maghfouri, S., Fazli, N., Rastad, E., Ghaderi, M., Gonzalez, F.J., 2022. Metallogeny of Manto- type stratabound Cu- (Ag) mineralization in Iran: Relationship with NeoTethyan evolution and implications for future exploration. *Ore Geology Reviews* 149, 105064. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105064>.
- Movahednia, M., Rastad, E., Rajabi, A., Maghfouri, S., Gonzalez, F.J., Alfonso, P., Choulet, F., Canet, C., 2020. The Ab- Bagh Late Jurassic- Early Cretaceous sedimenthosted Zn- Pb deposit, Sanandaj- Sirjan zone of Iran: Ore geology, fluid inclusions and (S- Sr) isotopes. *Ore Geology Reviews* 121, 103484.
- Nabavi, M. H., Amidi, 1978. Geological map of Naein area in 1:250000 scale. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- Oliveros, V., Feraud, G., Aguirre, L., Ramirez, L., Fornary, M., Palacios, C., 2008. Detailed $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of geologic events associated with the Mantos Blancos copper deposit, northern Chile. *Mineralium Deposita* 43(3), 281-293. <https://doi.org/10.1007/s00126-007-0146-2>.
- Peters, K.E., Walters, C.C., Moldowan, J.M., 2005. The Biomarker Guide. Biomarkers and isotopes in petroleum exploration and earth history. University of Cambridge Press, Cambridge 2, 475- 1155.
- Petersen, U., Vidal, C., 1996. Magmatic and tectonic controls on the nature and distribution of copper deposits in Perú. In: Andean copper deposits: new discoveries, mineralization styles and metallogeny (Edited by Camus, F., Sillitoe, R.H. and Petersen, R.). Society of Economic Geologists special publication 5, 1- 18. <https://doi.org/10.5382/SP.05.01>.
- Punj, G.N., Stewart, D.W., 1983. Cluster analysis in marketing research: Review and suggestions for application. *Journal of marketing research* 20, 134- 148. <https://doi.org/10.1177/002224378302000>.
- Ramírez, L., Palacios, C., Townley, B., Parada, M., Sial, A.N., Fernandez- Turiel, J.L., Gimeno, D., Garcia-Valles, M., Lehmann, B., 2006. The Mantos Blancos copper deposit: An Upper Jurassic breccia- style hydrothermal system in the Coastal Range of northern Chile. *Mineralium Deposita* 41(3), 246–258. <https://doi.org/10.1007/s00126-006-0055-9>.
- Sahandi, M.R., Delavar, S.T., Sadeghi, M., Jafari, E., Mousavi, S.E., 2006. Digital geology map of Iran, scale 1:1000,000. Geological Survey of Iran.
- Salehi, L., Rasa, I., Alirezaei, S., Kazemi Mehrnia, A., 2016. The Madan Bozorg, volcanic- hosted copper deposit, East Shahroud: an example of Manto type copper deposits in Iran. *Geosciences Scientific Quarterly Journal* 25(98), 93- 104 (In Persian).
- Samani, B., 2002. Metalogeny of Manto type copper deposits of Iran. 6th conference in geological society of Iran (In Persian).
- Stöcklin, J., 1968, Structural history and tectonics of Iran: A review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 52, 1229- 1258. <https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D>.
- Verdel, C., Wernicke, B.P., Hassanzadeh, J., Guest, B., 2011. A Paleogene extensional arc flare- up in Iran. *Tectonics* 30 (3), 1- 20. <https://doi.org/10.1029/2010TC002809>.
- Waples, D.W., Curiale, J.A., 1999. Oil-oil and oil-source rock correlations. *AAPG Treatise Petroleum Geology Handbook* 92, 1- 71.
- White, W.S., 1968. The native-copper deposits of northern Michigan. In Ridge, J.D., (Ed.), *Ore Deposits of the United States, 1933-1967 (the Graton Sales volume):* New York, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineering, 303-325.
- Wilton, D.H.C., Sinclair, A.J., 1988. Ore petrology and genesis of a strata-bound disseminated copper deposit at Sustut, British Columbia. *Economic Geology* 83(1), 30-45. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.83.1.30>.
- Zandkhanian, A., 2017. Minealogy, geochemistry and genetic model of Darreh- Takht Cu deposit (south Azna- Lorestan province). Ms.C thesis, Shahroud University (In Persian with English abstract).