

Research Article

## Geology and mineralization of the NE Narbaghi epithermal Cu (Au-Ag) deposit (Saveh)

Seyed Mehran Heidari\*, Sara safavy

Applied Mineralogy and Mineral Exploration Group, Research Institute of Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

**Keywords:** *Mineralization, Epithermal, Intermediate sulfidation, NE Narbaghi, Saveh*

### 1- Introduction

The Alpine-Himalayan orogenic belt, related to the evolution of Neo-Tethys, is known as the Zagros orogeny and the Urumieh-Dokhtar magmatic arc in Iran (Agard et al., 2011). Cu (Au-Ag) NE Narbaghi deposit and N Narbaghi, Gol-Tapeh and Kuh-Pang deposits (Rajabpour et al., 2017; Fazli et al., 2019) are located in the central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc, in a shallow and volcanic environment. Although the arc is the primary host of epithermal-porphyry deposits (Aghazadeh et al., 2015), their distribution is affected by the tectonic regime and is related to stress fields throughout the arc in later phases. Therefore, it does not have a constant distribution from the south to the northern part, as the density of its porphyry deposits decreases and its epithermal deposits increase. Therefore, understanding the geological environment, structure, alteration, and its relationship with different types of copper deposits in the Eocene-Oligocene can play an essential role in better identifying hydrothermal-magmatic deposits in this area a base for further studies and advancement of exploration goals. Therefore, in this article, we provide an overview of the geology, structure and formation environment of the NE Narbaghi and then present controlling factors concerning mineralogy, geochemistry, alteration and fluids inclusion.

### 2-Material and methods

A geological map of 1:20000 (Iran Industrial Mineral Mine Company (IIMMC), 2019) was used to sample mineralization and alteration at the NE Narbaghi deposit. Petrographic studies were conducted on 20 samples from unaltered host rocks, hydrothermally altered (8 XRD), and mineralized siliceous veins (17 samples). Also, Aster images and ENVI48 software were used to process data and highlight alterations and their relationship with structures and rocks. In addition, the distribution pattern and geochemical behavior of copper and other elements were used by the results of 300 samples analysis related to silica veins of surface, trenches and cores. Finally, micro-thermometric measurements were directed on four samples of quartz containing copper sulfide by Linkam THMSG 600 heating-freezing phase at the laboratory of Lorestan university. The temperature ranges were -196 to +600°C with ±1°C accuracy on heating and freezing periods. The step was calibrated by using synthetic fluid inclusion.

### 3-Results and discussions

The central rock units in this deposit belong to the Tertiary and include Eocene volcano-sedimentary rocks and subvolcanic intrusives associated with the right strike-slip faults. Alteration zone with NE-SW-trending in this area, along fractures leading to the intrusive body in the west, with different types of alterations: silicification, argillic alteration (intermediate- rarely advanced argillic), propylitic, and carbonate alteration.

Mineralization is directly related to faults and fractures, so filling these spaces leads to relatively long veins (more than 400 with an average width of 1 meter) with breccia assemblages and disseminated and

\* Corresponding author: sm.heidari@gmail.com

DOI: 10.22055/AAG.2022.38941.2256

Received 2021-10-25

Accepted 2022-09-29

vein-veinlet textures. These veins often have northwest-southeast, east-west and rarely northeast-southwest trends. Generally, four prominent silica veins with a thickness between 0.4-2 meters and a length of 1250 meters have formed primary copper (gold-silver) ore in this deposit. The highest grade of copper is about 2.5%, gold is more than 0.9 g/t, and silver is more than 48 g/t (I.I.M.M.C, 2019). These veins often include quartz, sericite and chalcopryrite, bornite, chalcocite, pyrite, covellite and rarely sulfosalts such as tennantite and tetrahedrite.

In addition, mineralization with the deposition of sulfides and sulfosalts such as tennantite and tetrahedrite in the form of disseminated, vein-veinlet, and open space filling is most associated with highly siliceous and hydrothermal breccia. Copper shows the highest correlation coefficient with the elements such as zinc, silver, arsenic and gold. Micro-thermometric data show that mineralization is formed under temperature conditions of 140-240 °C and salinity of 20-30 wt.% NaCl equiv. Dropping and decreasing the pressure, low-density fluids with CO<sub>2</sub> gas proposed a boiling process, rapid temperature reduction and phase separation.

#### 4-Conclusion

Accordingly, this system shows evidence of intermediate sulfidation epithermal systems in the magmatic arc. The magmatic presence of porous structures and mixing with peripheral fluids causes copper-gold precipitation with siderite.

#### References

- 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/s001675681100046>.
- Aghazadeh, M., Hou, Z., Badrzadeh, Z., Zhou, L., 2015. Temporal-spatial distribution and tectonic setting of porphyry copper deposits in Iran: Constraints from zircon U-Pb and molybdenite Re-Os geochronology: *Ore Geology Reviews* 70, 385–406. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.03.003>.
- Iran Industrial Minerals Mine Company (I.I.M.M.C), 2019. Detailed exploration report of NE Narbaghi Copper deposit (Unpublished in Persian).
- Fazli, N., Ghaderi, M., Lentz, D., Iey, J., 2019. Geology, Alteration, Mineralogy and Geochemistry of the Cu-Ag North Narbaghi Epithermal Ore, NE Saveh, *Journal of Earth Sciences*, 28 (112), 13-22. <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.97142.1246> (In persian with English Abstract)
- Rajabpour, Sh., Behzadi, M., Jiang, Sh-Y., Rasa, I., Lehmann, B., Ma, Y., 2017. Sulfide chemistry and sulfur isotope characteristics of the Cenozoic volcanic-hosted Kuh-Pang copper deposit, Saveh county, NW central Iran. *Ore Geology Reviews* 86(2017), 563–583. <https://www.researchgate.net/publication/314175070>.
- 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.
- Wang, L., Qin, K.Z., Song, G.X., Li, G.M., 2019. A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification. *Ore Geology Reviews* 107 (2019) 434–456. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.023>.

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Heidari, M., Safavy, S., 2023. Geology and mineralization of the NE Narbaghi epithermal Cu (Au-Ag) deposit (Saveh). *App. Adv. Geol.* 13(1), 1-25.

DOI : 10.22055/AAG.2022.38941.2256

URL: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_17942.html](https://aag.scu.ac.ir/article_17942.html)

©2023 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 و کانه‌زایی کانسار مس (طلا- نقره) اپی ترمال شمال خاور نارباغی (ساوه)

سیدمهبران حیدری\*

گروه کانی شناسی و اکتشافات معدنی کاربردی، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران

سارا صفوی

گروه کانی شناسی و اکتشافات معدنی کاربردی، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران

\* sm.heidari@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۷

### چکیده

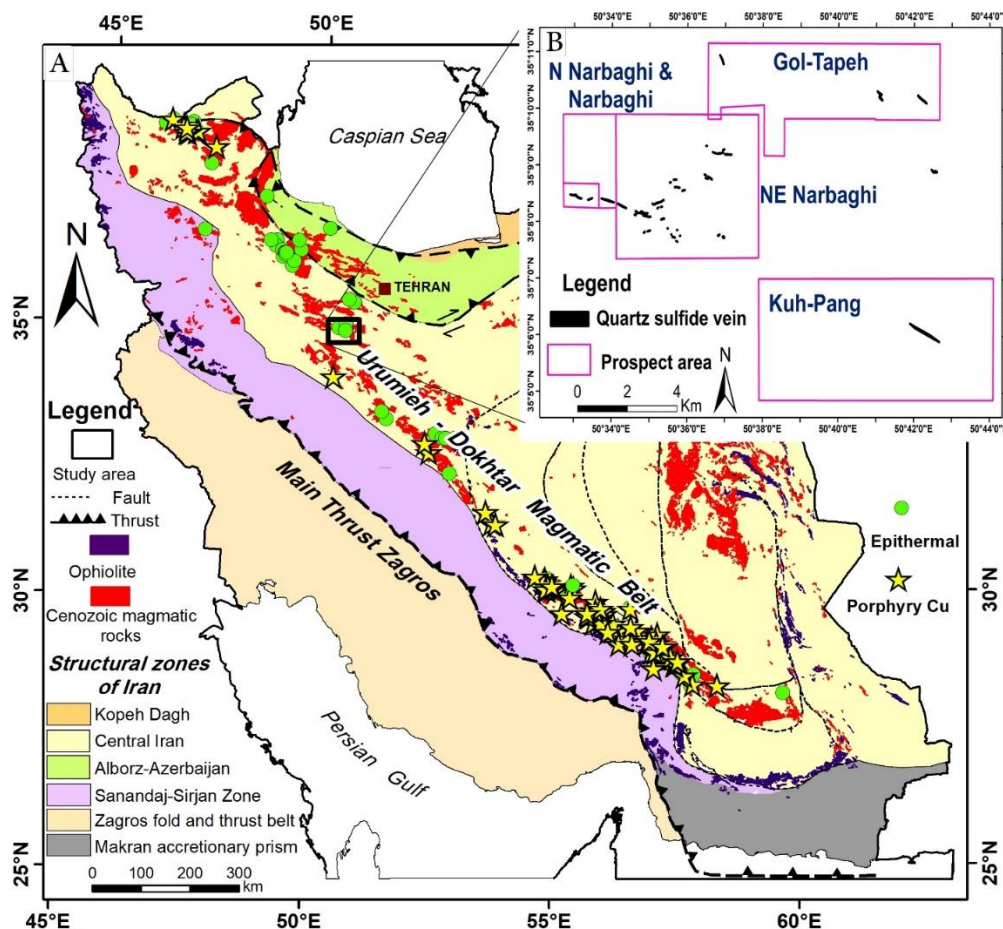
کانه‌زائی مس (طلا-نقره) شمال خاور نارباغی در بخش میانی کمان ماگمائی ارومیه-دختر، همجوار با ذخائر مس کوه‌پنگ و نارباغی، قرار دارد. عمده واحدهای این محدوده شامل سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن و توده‌های نیمه‌عمیق الیگومیوسن می‌باشد که جایگیری آن در ارتباط با گسل‌های امتداد لغز در حوضه‌های کم عمق رسوبی است. پهنه دگرسان با روند شمال خاور- جنوب‌باختر، در امتداد شکستگی‌های منتهی به توده نفوذی، با انواع دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک (حدواسط- به‌ندرت پیشرفته)، پروپیلیتیک، سربستی، کربناتی و سولفیدی همراه است. کانه‌زایی در ارتباط با شکستگی‌ها و تشکیل رگه‌های نسبتاً طویل (طول بیشتر از ۴۰۰ و عرض متوسط ۱ متر) همراه با مجموعه‌های برشی در کنار بافت‌های جانیشینی، دانه‌پراکنده و رگه-رگچه‌ای است. این رگه‌ها اغلب شامل کوارتز، سربست، سیدریت و کالکوپیریت، بورتیت، کالکوسیت، کولیت با پیریت و به‌ندرت سولفوسالت‌هایی چون تنانتیت و تتراهدريت می‌باشد. این سامانه با ایجاد انواع دگرسانی فعالیت خود را به‌صورت رگه‌های سفید سیلیسی در امتداد شکستگی‌ها آغاز و با ایجاد برشهای گرمایی و نفوذ سیالات سیلیسی- سولفیدی ادامه می‌یابد. مس بیشترین همبستگی را با روی، نقره، آرسنیک و طلا نشان می‌دهد. کانه‌زائی، تحت شرایط دمایی ۲۴۰-۱۴۵ درجه سانتیگراد و شوری سیال ۲۰ تا ۳۰ درصد وزنی معادل نمک تشکیل شده است. حضور توام سیال‌های دو فازی غنی از مایع و تک فازی گاز، به فرایند جوشش و کاهش دما و افت فشار اشاره دارد. لذا، این سامانه شواهد سامانه‌های اپی ترمال سولفیداسیون حدواسط در کمان را نشان می‌دهد که در آن احتمالاً سیال ماگمائی در مواجهه با ساختارهای نفوذپذیر و اختلاط با سیال‌های محیطی (جوی و حوضه‌ای)، باعث ته‌نشست مس- طلا همراه با سیدریت شده است.

**واژه‌های کلیدی:** کانه‌زائی، اپی ترمال، سولفیداسیون حدواسط، شمال خاور نارباغی، ساوه.

### ۱- مقدمه

کانه‌زائی مس (طلا- نقره) شمال خاور نارباغی در استان مرکزی، ۲۷ کیلومتری شمال خاور شهرستان ساوه با مختصات  $34^{\circ}52'$  و  $35^{\circ}19'7''$  (شکل ۱-ا) در برگه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه (Amidi et al., 2005) واقع است. در این محدوده، شواهدی از کنده‌کاری‌های قدیمی، وجود دارد، اما پتانسیل کانه‌زایی آن، اولین بار توسط شرکت معدنی کانی‌های صنعتی ایران (۱۳۹۵)، شناسایی شده است.

این ذخیره همچون کنسارهای همجوار خود، کوه‌پنگ، گل- تپه و نارباغی شمالی (شکل ۱-ب)، از رگه‌های سیلیسی تشکیل شده است (Rajabpour et al., 2017; Fazli et al., 2019). برای این کانسار ذخیره‌ای بالغ بر ۶۰۰ هزار تن کانسنگ اکسیدی و سولفیدی با عیار میانگین ۰/۵ درصد مس، با توجه به ابعاد رگه‌ها، حفاری‌ها و آنالیزها (۲۴۳ نمونه سنگی، ۱۷۲ نمونه از گمانه‌ها و ۷۱ نمونه از ترانسه‌ها) در نظر گرفته شده است (Iran Industrial Minerals Mine Company (I.I.M.M.C), 2019).



شکل ۱- (a) نمائی از موقعیت محدوده مورد مطالعه نسبت به کمان ماگمائی ارومیه- دختر، همراه با موقعیت ذخائر اپی ترمال و پورفیری بر روی آن (برگرفته از نقشه زمین شناسی رقومى ۱/۱۰۰۰۰۰۰ ایران، Sahandi et al., 2006) و (b) موقعیت محدوده شمال خاور نارباغی نسبت به محدوده‌های همجوار گل تپه، کوه پنگ، نارباغی و نارباغی شمالی.

Fig. 1. (a) A view of the study area location in relation to the Urumieh-Dokhtar magmatic arc, with some epithermal and porphyry deposits on it (compiled based on digital geological map 1:1000000 of Iran, Sahandi et al., 2006) and (b) The location of the NE Narbaghi along with neighboring prospect areas of Gol-Tapeh, Kuh-Pang, Narbaghi and N Narbaghi.

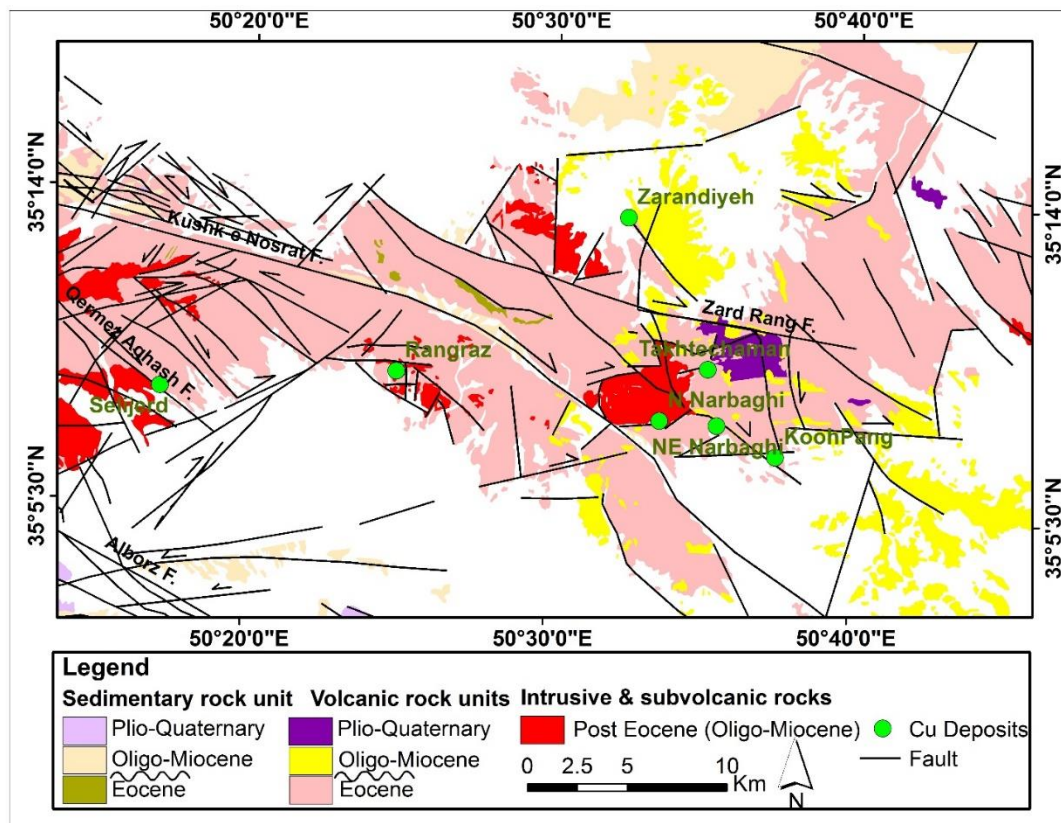
سرچشمه و میدوک (Aghazadeh et al., 2015; Heidari et al., 2019) در بخش جنوبی حضور دارد (شکل ۱). بنابراین درک نوع و ارتباط این ذخایر، بستر مناسبی برای درک فلززائی مس- طلا در این بخش و دیگر نواحی این کمان فراهم خواهد آورد (شکل ۱). بر این اساس، این مقاله سعی دارد با مطالعه زمین شناسی، سنگ شناسی، ساختار و محیط تشکیل، به عوامل کنترل کننده کانه زائی با توجه به روابط کانی شناسی، زمین شیمی، دگرسانی و سیالات درگیر بپردازد.

## ۲- جایگاه زمین شناسی ناحیه‌ای

از نظر توالی چینه‌ای، قدیمی ترین واحدهای رخنمون یافته در ناحیه مورد مطالعه شامل واحدهای سکویی پرمین و سنگهای آواری، شیلی و کربناتی تریاس می باشد که به دلیل بالآمدگی و

این کانسار به لحاظ جایگاه تکتونیکی، در بخش میانی کمان ماگمائی ارومیه- دختر که پهنه ایران مرکزی را در بخش شمال- باختری قطع کرده، واقع است (شکل ۱). حجم بالای فورانهای آتشفشانی و نفوذ توده‌های نیمه عمیق با ترکیب متنوع، پتانسیل لازم برای ایجاد انواع ذخائر گرمایی را در این کمان فراهم کرده است (شکل ۱). در واقع، این کمان بخشی از تحولات و تکوین نئوتیس (کوهزاد زاگرس) می باشد که به لحاظ موقعیت ژئودینامیکی، منطبق بر حاشیه فعال قاره‌ای است (Alavi, 1994). لذا در آن انواع ذخائر اپی ترمال و پورفیری، همچون مسجدداغی و توزلار در بخش شمالی (Heidari et al., 2015)، دالی، کهنک، چاهزرد (Fatehi, Kouhestani et al., 2012) و چاه فیروزه، در بخش میانی و چاه فیروزه،

فرسایش طی فعالیت‌های زمین‌شناختی جوان‌تر، برونزد دارند. در حالیکه، اغلب واحدهای رخنمون یافته در این ناحیه را توالی واحدهای رسوبی سنوزوئیک تشکیل می‌دهد که در مرکز آن واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی با روند خاوری-باختری تا شمال‌باختر-جنوب‌خاور و نسبتاً پیوسته قرار دارد (شکل ۲). واحدهای رسوبی ائوسن بیشتر شامل توالی از رسوبات کربناتی، آواری و آذرآواری از قبیل کنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل، مارن، توف و آگلومرا می‌باشد (شکل ۲). این توالی به نوعی به کم‌عمق شدن حوضه (تبدیل واحد کربناتی به آواری) در ائوسن زیرین توام با حضور واحدهای آذرآواری (توف و آگلومرا) اشاره دارد. این درحالی است که در بخش‌های مرکزی و در مجاورت گسل‌های اصلی منطقه از میزان واحدهای رسوبی کاسته و بر میزان واحدهای آتشفشانی افزوده می‌شود (شکل ۲). به عبارت بهتر، بالاآمدگی و کم‌عمق شدن حوضه ائوسن، در اثر فعالیت آتشفشانی در بخش‌های مرکزی و در جوار شکستگی‌های کششی، منجر به حضور و تمرکز بیشتر واحدهای آذرین و آتشفشانی-رسوبی نسبت به فعالیت‌های رسوبی، شده است (شکل ۲). این توالی آتشفشانی شامل داسیت، ریولیت و آندزیت در زیر، آذرآواری و روانه‌های گدازه با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی، مارنی و آهکی در بخش میانی و گدازه‌های آندزیت-لاتیت پورفیری و لایه‌های کربناتی در بخش بالایی می‌باشد (Caillat et al., 1978). بر این اساس، Caillat و همکاران (۱۹۷۸)، محیط تشکیل واحدهای آتشفشانی، آذرآواری و آتشفشانی-رسوبی ائوسن در این ناحیه را به لحاظ زمین‌شناسی و چینه‌شناسی مشابه با حوضه‌های هورست و گرابن (کشش) می‌دانند و معتقدند سنگ‌های آذرین با ترکیب کالک‌آلکان و آلکان اولین فاز ماگمایی در این مجموعه آتشفشانی می‌باشند و فازهای بعدی با پیدایش سنگ‌های بازالتی حدواسط تا آلکان و غنی از روبیدیم، استرانسیوم، پتاسیم و باریم، که به نوعی به رژیم کششی اشاره دارند، همراه می‌باشند (Caillat et al., 1978). این در حالی است که Verdel و همکاران (۲۰۱۱) با توجه به مشابهت ویژگی‌های زمین‌شیمی این مجموعه‌های آتشفشانی، با الگوی جایگاه‌های کمان ماگمایی، یعنی متآلومین و غنی در عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه (بر اساس نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ ساوه و زاویه (Ghalamghash, 1998; Amidi et al., 2005).  
 Fig. 2. Regional geological map of the study area (based on 1:100000 geological maps of Saveh and Zavieh, (Ghalamghash, 1998; Amidi et al., 2005).

بررسی‌های ساختاری، اشاره به روندهای شمال‌باختر، شمال‌خاور و خاوری- باختری دارد (شکل ۲). مهمترین گسل‌های این بخش عبارتند از کوشک نصرت، زردرنگ و ساوه که غالباً دارای سازوکار امتدادلغز، اریبلغز و به‌ندرت راندگی می‌باشند و حکایت از وجود نیروهای برشی- فشارشی دارند (شکل ۲). روند خاوری- باختری که عمده گسل‌ها (کوشک نصرت) و از همه مهمتر روند مجموعه‌های آذرین را در این ناحیه در بر می‌گیرد، دارای سازوکار امتدادلغز، اریبلغز و شیب‌لغز متأثر از پهنه‌های برشی راستگرد می‌باشد (شکل ۲). نکته حائز اهمیت در مورد این گسل‌ها، تکوین و اثرگذاری آنها بر روندهای ساختاری قبلی و ماگماتیسم ائوسن می‌باشد (شکل ۱). به‌گونه‌ای که در الیگومیوسن، دگرشکلی (خمیری و شکننا)، نقش موثری در انتقال فشار حاصل از نزدیک شدن صفحات (ایران- عربستان) به درون قاره (Allen et al., 2011; Khodaparast et al., 2020) و تغییر ضخامت و الگوی رسوبگذاری سازند قم (آکویتانین- بوردیگالین) داشته‌اند (Morley et al., 2009).

همچنین، روند شمال‌خاور- جنوب‌باختر، و به‌ندرت شمالی- جنوبی با سازوکار بیشتر امتداد لغز (چپ و راستگرد) (Khodaparast et al., 2020) نسبت به روند قبلی از طول کمتری برخوردارند و معمولاً به گسل‌های اصلی متصل بوده، و در دو طرف آن گسترش یافته‌اند (شکل ۲). راندگی را می‌توان آخرین فاز از تکوین عملکرد این گسل‌ها در نظر گرفت (شکل ۲) که در برخی گسل‌ها همچون گسل ساوه شواهد آن وجود دارد (شکل ۲).

لذا، این موارد به رژیم تکتونیکی کششی از نوع درون کمانی، به‌واسطه بالآمدگی توام با گسل‌های نرمال و خروج ماگما در ائوسن این ناحیه اشاره دارد (Chiu et al., 2013; Nouri et al., 2018). در ائوسن پایانی- الیگوسن تغییر تدریجی رژیم تکتونیکی کششی به فشارشی با ایجاد پهنه‌های برشی راستگرد، و فعالیت گسل‌های امتدادلغز، متناسب با فشار حاکم در بخش‌های مختلف همراه است (Morley et al., 2009). این نیروی فشارشی منجر به تغییر روند ساختاری و جابه‌جایی

برابر، در آزمایشگاه دانشگاه لرستان انجام شد. کالیبراسیون آن نیز با پتاسیم نیترات و دمای ذوب ۳۳۵ درجه سانتی‌گراد و دی‌کرومات پتاسیم با دمای ذوب ۳۹۸ درجه سانتی‌گراد انجام شده است.

#### ۴- بحث و بررسی

##### ۴-۱ زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده کانسار

سنگ‌شناسی واحدهای رخنمون‌یافته در این محدوده، شامل توالی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن میانی تا بالایی است (شکل ۳). این واحدها عمدتاً شامل مجموعه‌ای از روانه‌های گدازه آندزیتی، آندزی‌بازالتی، تراکی‌آندزیتی تا داسیتی و نهشته‌های آذرآواری (توف، آگلومرا و ایگنیمبرایت) با ترکیب اسیدی تا حدواسط می‌باشد که توسط استوک‌های دیوریتی-مونزونیتی و دایک‌های آندزیتی-داسیتی قطع شده‌اند (شکل ۳). در این بین، مجموعه ائوسن میانی اغلب شامل سنگ‌های آذرآواری از قبیل توف‌های سبز-قرمز می‌باشند. در حالیکه ائوسن پسین شامل فازهای ماگمایی اسیدی، حدواسط همراه با سنگ‌های ایگنیمبرایتی است که ماهیتی متآلومین و در رده سنگ‌های کالک‌آلکان با پتاسیم متوسط تا بالا قرار دارد (Rajabpour et al., 2017).

##### ۴-۱-۱ روانه‌های گدازه

این واحد به صورت میان‌لایه‌ای با آذرآواری‌ها، در بخش‌های جنوبی و شمالی محدوده، رخنمون دارند (اشکال ۳ و ۴a). سنگ‌های این واحد غالباً شامل تراکی‌آندزی-آندزی‌بازالت ( $E^{la}$ )، آندزیت ( $E^{adt}$ )، آندزیت-آندزی‌بازالت ( $E^{ab}$ ) و روانه‌های داسیت-آندزیت ( $E^{ad}$ ) می‌باشد (شکل ۳).

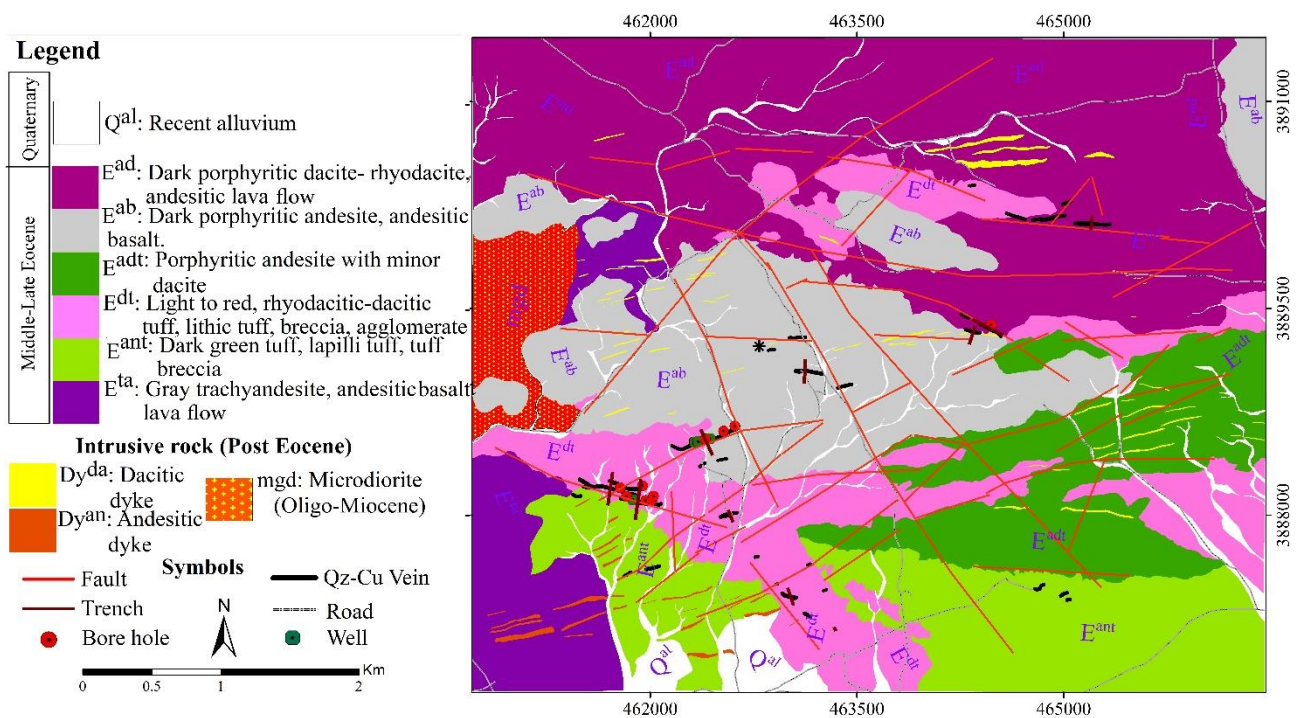
واحد روانه گدازه  $E^{la}$  به عنوان قدیمی‌ترین واحد سنگی این محدوده (شکل ۳)، شامل روانه‌های گدازه تراکی‌آندزیتی تا آندزی‌بازالتی به رنگ سبز تیره است که در جنوب‌باختر محدوده بیشترین رخنمون را دارد (اشکال ۳ و ۴b و c). نفوذ دایک‌های داسیتی درون آن، باعث دگرسانی در حاشیه آن و اشاره به جوان‌تر بودن دایک‌ها دارد. این واحد در مقاطع میکروسکوپی دارای درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز با بافت پورفیریتیک است (شکل ۴b). کانی‌های تیره بیشتر شامل آمفیبول و پیروکسن می‌باشد که عمدتاً به اکسیدهای آهن، کلسیت، کلریت و اپیدوت دگرسان شده‌اند (شکل ۴b).

واحدها به صورت شکل‌پذیر و شکننا شده است که پیامد آن ایجاد روند غالب خاوری-باختری فعلی در مرکز ناحیه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۲). این فرآیند به ویژه در مراحل آغازین با ایجاد فضاهای خالی در اعماق بیشتر موجب جایگیری توده‌های نیمه-عمیق می‌شود. این فاز از مراحل دگرشکلی و ایجاد فضاهای کششی در پهنه‌های برشی به قدری بارز است که در بیشتر مطالعات جدید تحت عنوان فازهای کششی پس از برخورد معرفی می‌شوند (Richards and Sholeh., 2016). از نظر کانه‌زایی، اغلب ذخائر (مس± طلا) این ناحیه، ذخائر اپی‌ترمال با سنگ میزبان آتشفشانی-نفوذی و متمرکز در ساختار می‌باشند. اگرچه آنها در گسل‌های فرعی، با روندهای مختلف تمرکز دارند، اما توزیع آنها به لحاظ مکانی در ارتباط با توده‌های نفوذی می‌باشند که از روند شکستگی اصلی ناحیه (کوشک نصرت) و پیرو آن عملکرد پهنه برشی راستگرد، تبعیت می‌نمایند (شکل ۲).

##### ۳- روش مطالعه

اساس نمونه‌برداری از واحدهای زمین‌شناسی (مقاطع نازک؛ ۲۰ عدد)، رگه‌های کانه‌دار (مقاطع نازک-صیقلی و صیقلی، به ترتیب ۱۷ و ۱۰ عدد) و بخش‌های دگرسان (۸ نمونه XRD) در این کانسار، با هدف شناخت بیشتر واحدهای سنگی، دگرسانی و کانه‌زایی بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ (I.I.M.M.C, 2019) و پردازش تصاویر ماهواره‌ای استر، با روش‌های ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی و بارزسازی با روش نقشه‌برداری زاویه طیفی، در نرم‌افزار ENVI4.8، صورت گرفته است. به منظور بررسی الگوی توزیع و رفتار مس و دیگر عناصر همراه، پس از تفکیک نمونه‌های مربوط به رگه‌های سیلیسی سطحی، ترانسه و حفاری‌ها، از نتایج آنالیز ۳۰۰ نمونه، که در آزمایشگاه کانساران بینالود به روش ICP-OES و طلا به روش قال‌گذاری (Fire assay) (با دقت ۰/۰۱ تا ۰/۰۱ گرم بر تن) انجام شده بود، استفاده گردید (I.I.M.M.C, 2019). همچنین مطالعات ریزدمانسجی، بر روی ۴ نمونه از کوارتزهای کانه‌دار، پس از تهیه و پتروگرافی با استفاده از دستگاه 600 Linkam THMSG با توانایی ایجاد گرمایش و سرمایش ۶۰۰+ تا ۱۹۰- درجه سانتی‌گراد (دقت ۱+ درجه سانتی‌گراد) متصل به میکروسکوپ نیکون با بزرگنمایی ۵۰





شکل ۳- نقشه اصلاح شده زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ محدوده کانسار براساس نتایج این تحقیق (برگرفته از (I.I.M.M.C, 2019).  
 Fig. 3. Modified geological map of 1: 25000 deposit area based on the results of this study (from I.I.M.M.C, 2019).

سنگی در شمال محدوده گسترش چشم‌گیری دارد (شکل ۳). واحد فوق ضخامت کم تا متوسط دارد اما در برخی نقاط به صورت ضخیم‌لایه و توده‌ای نیز مشاهده می‌شود (شکل ۱۵). این واحد نیز توسط دایک‌های داسیتی قطع شده است (شکل ۳). بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول‌های سوزنی که به اکسیدهای آهن، سیلیس و کلسیت دگرسان شده‌اند، در آن مشاهده می‌شود (شکل ۴ f و g).

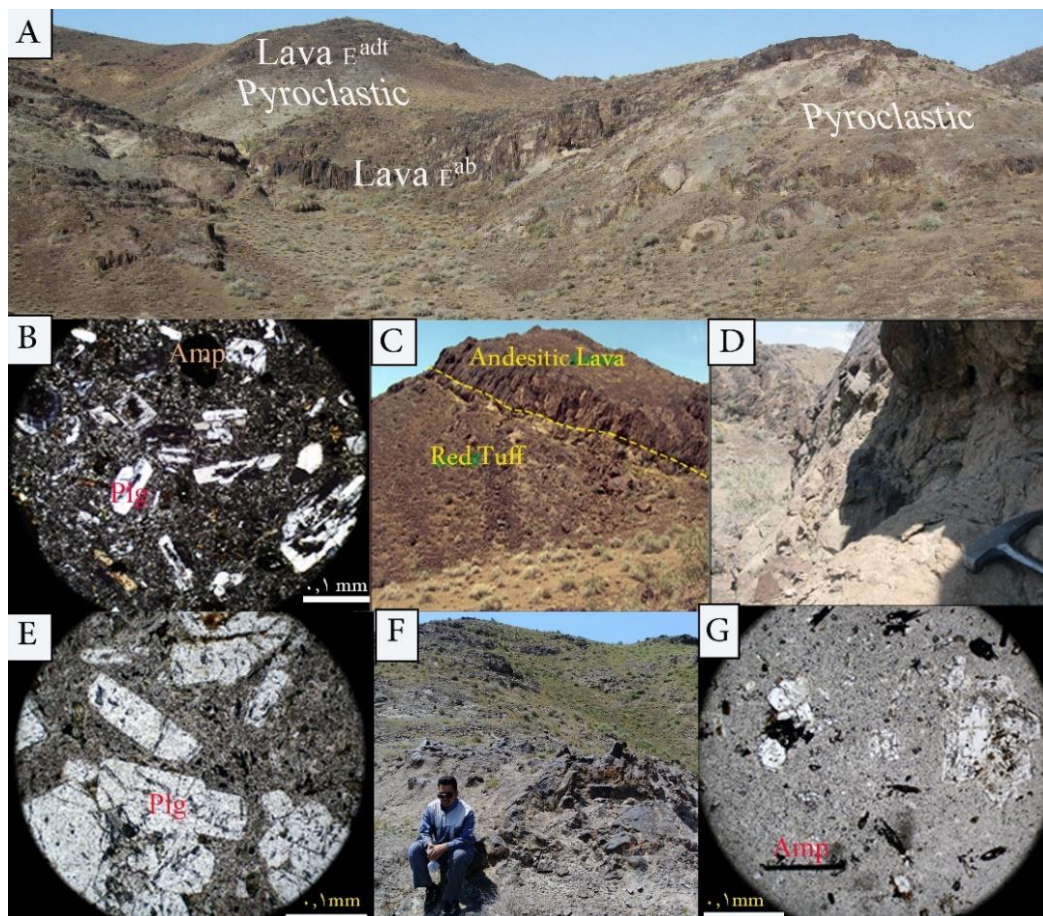
#### ۴-۱-۲ آذرآواری‌ها

این واحد غالباً شامل توف، کریستال توف، لیتیک توف و ایگنیمبریت‌ها بوده و بیشتر به صورت جریان‌های سبز تا قرمز، در دامنه تپه‌ها قابل تشخیص می‌باشد (اشکال ۳ و ۴a). ترکیب آن به ترکیب قطعات تشکیل‌دهنده بستگی دارد، به گونه‌ای که در بخش‌های مرکزی و باختری بیشتر اسیدی (داسیتی) و در جنوب و خاور عمدتاً انفجاری با لایه‌بندی (توفیت) و آندزیتی می‌باشند. عمده واحدهای این مجموعه شامل توف آندزیتی ( $E^{ant}$ ) و توف داسیتی ( $E^{dt}$ ) است (شکل‌های ۳ و ۵). حضور توف‌های بلورین در این مجموعه، نمایانگر فوران‌های انفجاری است که بخش قابل توجهی از آن، پیش از فوران و نزدیک شدن به سطح، تبلور یافته (شکل ۵ e و f)، زیرا در غیر این صورت، فوران آنها به صورت انفجاری میسر نمی‌گردد.

واحد آندزیتی  $E^{adt}$  که بیشتر در مرکز و خاور محدوده رخنمون دارد (شکل ۳)، شامل روانه‌های آندزیت پورفیری تا داسیت هوازده است. این واحد در بخش‌های مرکزی بیشتر به صورت پوشش بر روی توف‌های داسیتی قرمز رنگ، با رنگ قهوه‌ای از دور قابل شناسایی است (شکل ۴c). هرچند در برخی بخش‌هایی از توف‌های داسیتی قرمز رنگ، تناوبی از میان‌لایه‌های نازک این گدازه‌ها قابل مشاهده است.

واحد گدازه  $E^{ab}$  که برونزد وسیعی در مرکز محدوده دارد (شکل ۳)، از نظر سنگ‌شناسی شامل گدازه‌هایی با ترکیب آندزیت و آندزیت‌بازالت با ساخت منشوری می‌باشند (شکل ۴a)، که دایک‌های موازی با روند خاوری-باختری درون آن تزریق شده‌اند (شکل ۳). مشاهدات صحرایی در برخی نقاط حاکی از این است که این واحد به صورت دگرشیب بر روی سایر واحدها قرار گرفته است (شکل ۴a و d). سنگ‌های این واحد، با رنگ عمومی خاکستری تا قهوه‌ای تیره، دارای بافت پورفیری با درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز که در زمینه‌ای از کوارتز، پلاژیوکلاز و کانی کدر قرار دارند، تشکیل شده است (شکل ۴e).

واحد  $E^{ad}$  عمدتاً شامل سنگ‌های داسیت- آندزیت به رنگ روشن تا حدودی قرمز می‌باشد (شکل ۴). برونزدهای این واحد



شکل ۴- تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از گدازه‌های تراکی‌اندزیتی تا آندزیتی‌بازالتی در محدوده مورد مطالعه. (a) نمایی عمومی از توالی گدازه‌ها و آذرآواری‌ها که در آن منشورهای آندزیتی‌بازالتی به صورت دگرشیب بر روی واحدهای دیگر واقع‌اند (دید به سمت شمال)، (b) مقطع میکروسکوپی از واحد آندزیتی با پورفیرهای آمفیبول و پلاژیوکلاز در نور عبوری، (c) نمایی از همبری واحد آندزیت و توف‌های قرمز زیرین که آثار کلریتی شدن در آن نمایان است (دید به سمت باختر)، (d) نمایی نزدیک از واحد آندزیت- آندزیتی‌بازالت (E<sup>ab</sup>), (e) مقطع میکروسکوپی با بافت پورفیری و درشت- بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از کوارتز و پلاژیوکلاز و کانی کدر (در نور عبوری صفحه‌ای)، (f) نمایی از واحد داسیت- آندزیت (E<sup>ad</sup>) و (g) نمایی میکروسکوپی با بافت پورفیری و آمفیبول‌های سوزنی دگرسان به اکسیدهای آهن و سیلیس و کلسیت در نور عبوری صفحه‌ای. علائم اختصاری کانیها از Withney و Ewans (۲۰۱۰) اقتباس شده است. (Amp: آمفیبول، Plg: پلاژیوکلاز).

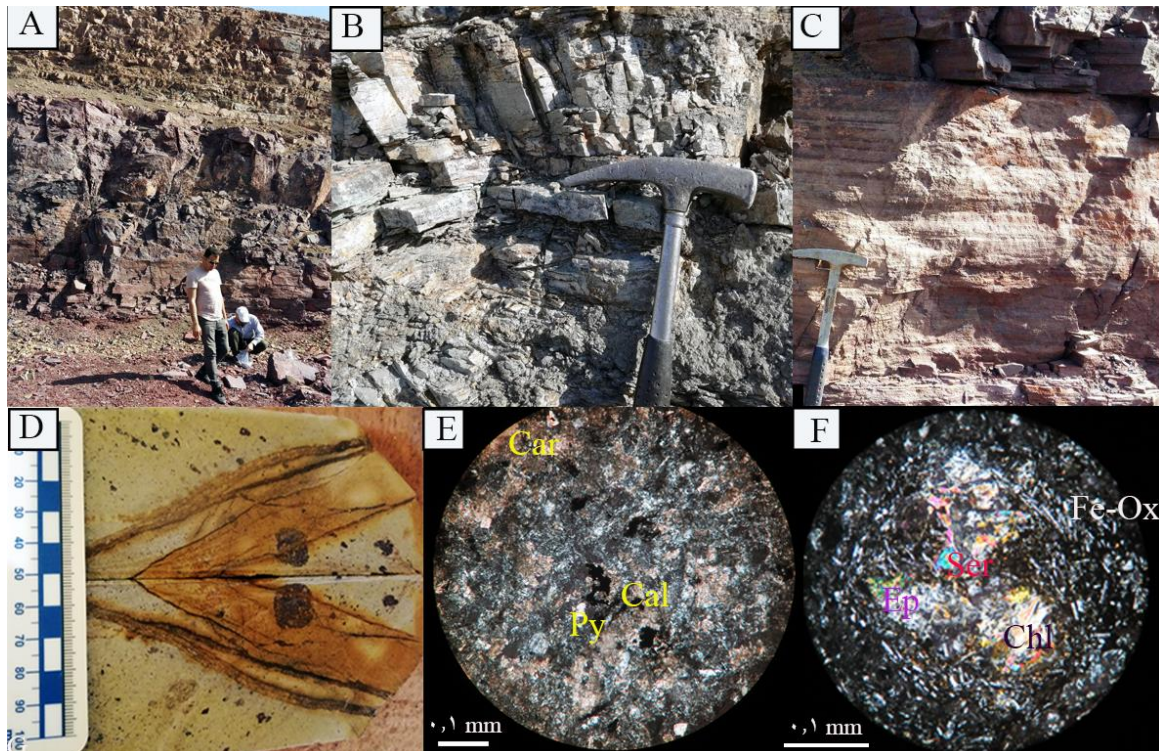
Fig. 4. Field and microscopic images from trachy-andesitic to andesitic-basaltic lavas in the study area. (a) General view of the lava flow and pyroclastic sequences, which the andesitic-basaltic prisms are located as unconformity on other units, (b) Microscopic section of an andesitic unit with amphibole porphyries and plagioclase, (c) Contact of andesite unit and lower tuffs, in which the effects of chloritization are visible, view to the west. (d) Close view of andesite-andesitic basalt (E<sup>ab</sup>) unit, (e) Microscopic section with porphyry texture and plagioclase phenocrysts in a background of silica, plagioclase and opaque mineral (in ppl light), (f) View of Dacite-andesite unit (E<sup>ad</sup>) and (g) Microscopic view with porphyry texture and columnar amphiboles altered to iron oxides, silica and calcite in polarizeh light. Mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010). (Amp: amphibole, Plg: plagioclase).

سطح و امتداد لایه‌بندی (N100E) در این واحد با شیبی حدود ۳۰ درجه به سمت شمال نمایان است (شکل a و b) هرچند گاهی به صورت نوارهای ضخیم و کم‌وسعت در برخی نقاط محدوده مورد بررسی تظاهر می‌یابد. بر روی توف‌های آندزیتی تناوبی از توف‌های نازک‌لایه

واحد توف آندزیتی (E<sup>ant</sup>), روند خاوری- باختری و رنگ تیره تا سبز داشته و بیشتر تپه‌ماهورهای جنوب محدوده را تشکیل می‌دهد (شکل b5). این واحد معمولا دچار دگرسانی پروپیلیتیک با کلریت فراوان شده است، هرچند در آن آثار دگرسانی آرتزلیک به همراه اکسید آهن نیز قابل مشاهده است.

جنوب-جنوب‌باختر محدوده، با شیبی حدود ۲۰ درجه به سمت شمال، بیشترین رخنمون دارند (شکل ۳). ابعاد قلوها در بخش‌های آگلومرایی آن در حدود ۱-۴۰ سانتی‌متر است. دگرسانی‌های آرژیلیک، اکسید آهن و رگچه‌های کربناته حاوی اکسید آهن نیز در آن به صورت پراکنده دیده می‌شود.

(E<sup>dt</sup>)، شامل توف، توف اسیدی- حدواسط، توف برش، لیتیک کریستال توف سرسیتی-کلریتی و توف ماسه‌ای به رنگ روشن که در برخی قسمت‌ها حالت آگلومرایی دارد، قرار می‌گیرد (شکل ۵ و c). به‌طور کلی این واحد با روندهای خاوری-باختری، شمال‌باختر- جنوب‌خاور (WSW-ENE) در



شکل ۵- تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از واحدهای آذرآواری در محدوده مورد مطالعه. (a) توالی و لایه‌بندی توف‌ها (توفیت) به رنگ خاکستری تا سبز و قرمز روشن، (دید بسمت جنوب‌خاور)، (b) نمایی نزدیک از واحد توف آندزیتی، (c) واحد توف ماسه‌ای و داسیتی، (d) توف داسیتی حاوی لیتیک‌های فراوان آندزیتی (نیمه‌گرد، پراکنده، سیاه‌رنگ و قرینه) در نمونه‌ای از مغزه حفاری، (e) مقطع میکروسکوپی از توف ماسه‌ای- داسیتی حاوی کوارتزهای ریز، کلسیت و کانیهای کدر غالباً پیریت (نور عبوری) و (f) لیتیک توف آندزیتی در نور عبوری، که در آن قطعات دگرسان به اپیدوت، کلریت و سرسیت در مرکز آن و اکسیدهای آهن در حواشی قابل تشخیص است. علائم اختصاری کانیها از Withney و Ewans (۲۰۱۰) اقتباس شده است. (Cal: کلسیت، Py: پیریت، Ep: اپیدوت، Chl: کلریت، Ser: سرسیت، Fe-Ox: اکسیدهای آهن).

Fig. 5. Field and microscopic images from pyroclastic units in the study area. a) The sequence of tuffs with gray to green and light red color (view to the southeast). b) Close view of andesitic tuff. c) The sandy and dacitic tuff. d) Dacitic tuff contains abundant andesitic lithics (semi-round, dissiminate, black and symmetrical) in a drill core sample. e) Microscopic images of sandy-dacitic tuff with fine-grained quartz, calcite and opaque minerals, often pyrite (xpl) and f) Lithic andesitic tuff in PPL, with lithic altered to iron oxides, epidote, chlorite and sericite that is in the center. Mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010). (Cal: calcite, Py: pyrite, Ep: epidote, Chl: chlorite, Ser: sericite, Fe-Ox: fe-oxide).

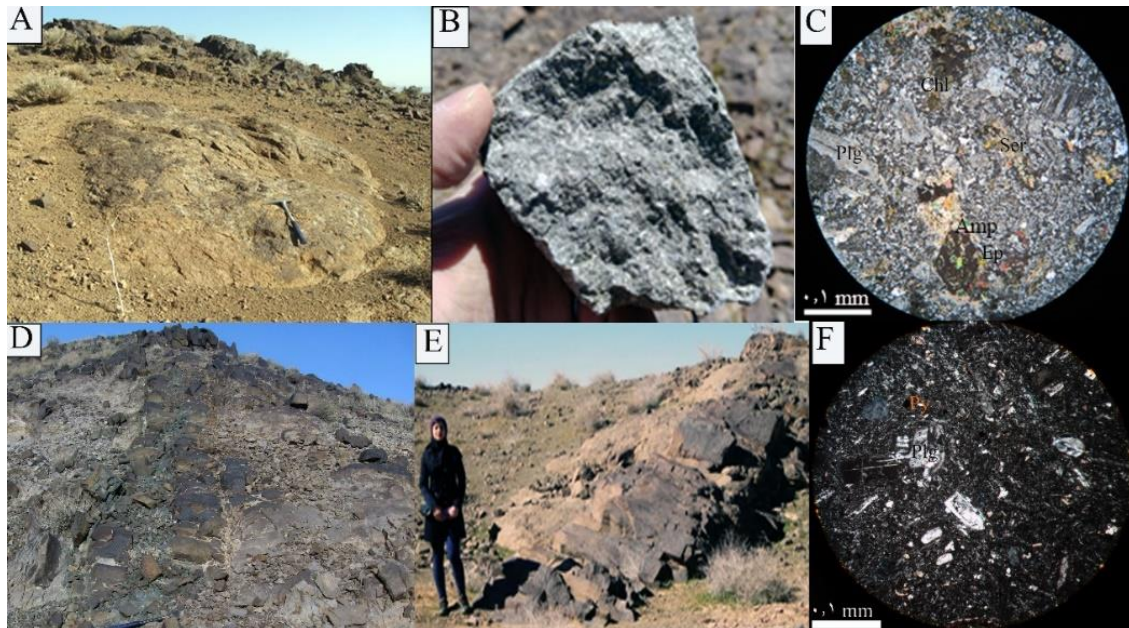
دارد (شکل ۳). این در حالی است که بخش اعظم رخنمون آن با ترکیب مونزونیت، مونزودیوریت، دیوریت و مگادیوریت پورفیر در خارج از محدوده (شکل ۲) و در محدوده مجاور (شمال نارباغی، شکل ۱b)، با رنگ زرد روشن (متاثر از دگرسانی گرمایی) و بافت پورفیری، میکروگرانولار پورفیری، میکرولیتی

#### ۴-۳ نفوذی‌ها

توده‌های نیمه‌عمیق اغلب شامل دیوریت، میکرودیوریت و دایک‌های آندزیتی- داسیتی می‌باشند (شکل ۳). در این بین، تنها بخش کوچکی از توده‌ی دیوریتی، با بافت میکروگرانولار تا پورفیری و روند شمالی- جنوبی در نیمه باختری محدوده بروزند

ریزبلورهای هورنبلند و بیوتیت تشکیل یافته است، که به نوعی به آبدار بودن ماگما نیز اشاره دارد (Richards, 2015).

پورفیری و گرانولار برونزد دارد (Fazli et al., 2019). این واحد غالباً از پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار، کوارتز، پیروکسن همراه با



شکل ۶- تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق در منطقه مورد مطالعه. (a) واحد نیمه‌عمیق دیوریتی، در منتهی‌الیه باختری محدوده، (b) نمونه دستی از واحد نیمه‌عمیق، (c) نمای میکروسکوپی از توده نیمه‌عمیق دیوریت پورفیری دگرسان که در آن آمفیبول، پلاژیوکلاز و کانی‌های ثانویه (کلریت و اپیدوت) وجود دارد، (d) دایک آندزیتی با روند خاوری- باختری و ضخامتی در حدود ۲۰ متر (دید به سمت باختر)، (e) دایک داسیتی با حدود ۵ متر ضخامت (دید به سمت خاور)، و (f) نمائی میکروسکوپی از دایک آندزیتی حاوی بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از کانی‌های تیره دگرسان، کوارتز و کانی‌های کدر (غالباً پیریت) در نور عبوری.

Fig. 6. Field and microscopic images from subvolcanic intrusive rocks in the study area. a) Subvolcanic intrusives (diorite unit), in the western part of the area. b) Hand sample of diorite. c) Microscopic view of the altered dioritic porphyry, containing amphibole, plagioclase and secondary minerals (chlorite and epidote). d) Basic dyke with east-west trend and a thickness of about 20 meters (view to the west). e) Dacitic dyke with a thickness of about 5 meters (view to the east) and f) Microscopic view of andesitic dykes containing plagioclase crystals in a background of dark altered minerals, quartz, and opaque minerals (often pyrite), in ppl.

آندزیتی- بازالتی دشوار و قطع‌کنندگی آنها، راه شناخت آنها محسوب می‌شود (شکل ۶d). به‌ندرت در حاشیه این دایکها آثار کانه‌زایی مشاهده می‌شود. دایک‌های آندزیتی با بافت میکروپورفیری از بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول، کلینوپیکروکسن در زمینه‌ای از پلاژیوکلاز ریزبلور- نهان‌بلور، کلریت، کانی‌های رسی، کلسیت و کدر تشکیل شده‌اند. در مقابل، دایک‌های داسیتی- ریوداسیتی ( $Dy^{da}$ ) با رنگ روشن (شکل ۶e)، به خوبی در مشاهدات صحرایی قابل تشخیص هستند. دایک‌های داسیتی- ریوداسیتی با بافت پورفیری عمدتاً از بلورهای کوارتز، پلاژیوکلاز و آمفیبول تشکیل شده‌اند (شکل ۶f). این دایکها معمولاً طولی بین ۰/۵ تا کمتر از ۲۰ متر و زاویه شیب حدود ۸۰ درجه دارند. به لحاظ ساختاری روند غالب گسل‌ها در این

اما جوان‌ترین واحد آذرین در این محدوده را دایک‌ها، تشکیل می‌دهند که واحدهای دیگر را قطع کرده‌اند (شکل ۳). از این رو ممکن است فازهای تاخیری توده‌های نیمه‌عمیق باشند که در فضاهای کششی جایگزین شده‌اند. روند عمومی آنها، خاوری- باختری و شمال‌خاور- جنوب‌باختر می‌باشد که به موازات یکدیگر و رگه‌های سیلیسی در منطقه می‌باشند (شکل ۳). گسترش طولی برخی از این دایک‌ها قابل توجه و تا بیش از ۱۰۰ متر قابل تعقیب است (شکل‌های ۳ و ۶). این دایک‌ها به دو گروه آندزیتی و داسیتی قابل تفکیک می‌باشند. دایک‌های آندزیتی ( $Dy^{an}$ ) با رنگ سبز تا خاکستری تیره، ابعاد متغیر (یک تا چند صد متر) و شیب حدود ۸۰ درجه به سمت جنوب قابل ردیابی هستند (شکل ۳). تشخیص این دایکها از گدازه‌های

از هم تفکیک شده‌اند (شکل ۸).

دگرسانی آرژیلیک حدواسط از بارزترین دگرسانی‌های این محدوده و سامانه‌های اپی‌ترمال می‌باشد که در حواشی رگه‌ها از گسترش بیشتری برخوردار می‌باشند (شکل‌های ۷ و ۸). این دگرسانی با توجه به رنگ زرد تا سفید آن قابل تشخیص (شکل ۸a و b) و معمولاً از روند گسل‌ها و شکستگی‌ها پیروی می‌کند (شکل ۸b). کانی‌های رسی (کائولن یا کائولینیت، ایلیت)، سریسیت، پیریت و کوارتز مجموعه کانی‌های تشکیل‌دهنده این دگرسانی محسوب می‌شوند. علاوه بر دگرسانی آرژیلیک حدواسط، شواهدی از حضور دگرسانی آرژیلیک پیشرفته با توجه به بازتاب کانیایی آلونیت در این محدوده و در مجاورت توده نفوذی نیمه‌عمیق قابل تشخیص است (شکل ۷)، هرچند این کانی در مطالعات کانی‌شناسی توسط XRD و میکروسکوپی تشخیص داده نشده است. این در حالی است که در محدوده مجاور (کوه‌پنگ، شکل ۱b) Rajabpour و همکاران (2017)، کانی آلونیت را بر اساس آنالیز XRD همراه با کائولینیت در برشهای گرمابی تشخیص داده و بر این اساس اشاره به دگرسانی آرژیلیک پیشرفته در محدوده همجوار دارند. لازم به توضیح است رگه‌های سیلیسی کانه‌دار در این محدوده و محدوده کوه‌پنگ در امتداد هم (شکل ۱b) و متناثر از یک فاز کانه‌زائی می‌باشند.

هسته یا بخش مرکزی سامانه دگرسانی گرمابی را دگرسانی سیلیسی که مهم‌ترین نوع دگرسانی گرمابی در این محدوده است، تشکیل می‌دهد (شکل‌های ۷ و ۸a). عامل اصلی تشکیل این نوع دگرسانی، سیالات گرمابی می‌باشند، لذا سامانه درزه و شکستگی‌های کششی نقش بسیار مؤثری در ایجاد فضاهای خالی و جریان یافتن سیالات از حواشی این مجاری به داخل سنگ میزبان داشته‌اند (اشکال ۷ و ۸a و b). این دگرسانی به صورت رگه-رگچه‌های سیلیسی همراه با اکسیدهای آهن با روندهای خاوری-باختری، شمال‌باختر-جنوب‌خاور همراه با دگرسانی آرژیلیک، سریسیتی، سولفیدی و کربناتی دیده می‌شود (اشکال ۷ و ۸a و b). در واقع، این دگرسانی نوعی دگرسانی گرمابی است که می‌توان آن را متأخر از دگرسانی آرژیلیک در نظر گرفت. این دگرسانی اغلب به صورت جانیشینی در امتداد شکستگی‌ها با ژئومتری رگه‌ای پدید آمده است، اما شواهدی از وجود دگرسانی سیلیسی به صورت حفره پرکن نیز وجود دارد. بنابراین سیلیسی شدن با اضافه شدن سیلیس به متن

محدوده، روند خاوری-باختری است (شکل ۳). این گسل‌ها عمدتاً دارای سازوکار راستگرد و امتدادلغز بوده و به نظر می‌رسد با فعالیت خود نه تنها موجب ایجاد گسل‌های فرعی، بلکه ایجاد مجاری لازم برای جریان محلی سیال کانه‌دار شده‌اند و بیشترین نقش را در جایگیری رگه‌ها و به وجود آمدن زون‌های خرد شده دارند.

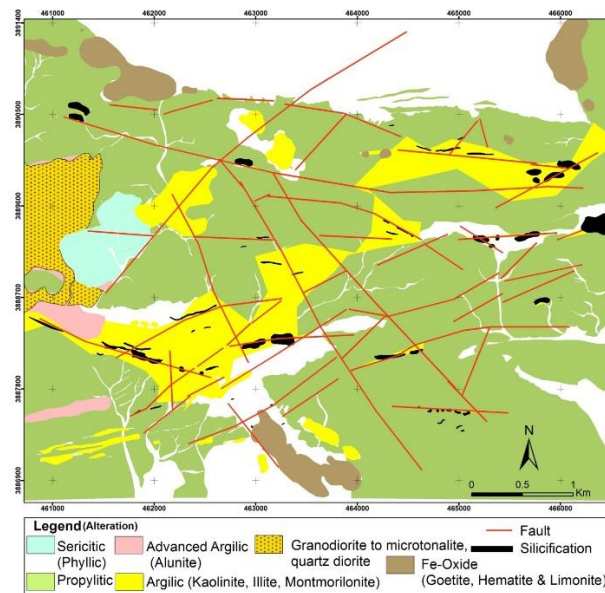
#### ۲-۴ دگرسانی گرمابی

پهنه دگرسان در این کانسار با روند شمال‌خاوری-جنوب‌باختری و طولی حدود ۴-۵ کیلومتر، در واحدهای آتشفشانی رخ داده است (شکل‌های ۷ و ۸a). این پهنه، در بخش باختری به توده نیمه‌عمیق ختم می‌شود که با فاصله گرفتن از آن به سمت خاور، نوع و شدت دگرسانی‌ها تغییر می‌کنند (شکل‌های ۷ و ۸a). با توجه به مجموعه کانی‌های دگرسان در مشاهدات صحرایی، آزمایشگاهی و تصاویر ماهواره‌ای در این پهنه، انواع دگرسانی‌های گرمابی از قبیل سیلیسی، آرژیلیک (حدواسط و به‌ندرت پیشرفته)، سریسیتی (فیلیک)، پروپیلیتیک و کربناتی (شکل‌های ۷ و ۸)، قابل تشخیص است. دگرسانی پروپیلیتیک با وسعت نسبتاً زیاد، بیشتر در واحدهای آذرآواری، برش آتشفشانی و گدازه‌های آندزیتی پیرامون پهنه کانه‌دار توسعه یافته است (اشکال ۷ و ۸a و b). این دگرسانی عمدتاً حاوی کلریت، اپیدوت و کوارتز همراه با مقادیر کمی کربنات، پیریت، اکسیدهای آهن و کائولینیت است. بافت اولیه سنگ در آن، محفوظ و مقادیر مس آن در حد زمینه می‌باشد. این دگرسانی، در امتداد گسل‌ها، گاه با اکسیدهای آهن همراه است (اشکال ۷ و ۸b).

از دیگر دگرسانی‌هایی که به‌ویژه در جوار توده نفوذی و در باختر محدوده، بیشترین رخنمون را، از خود نشان می‌دهد، دگرسانی فیلیک (سریسیتی) است (شکل ۷). این دگرسانی در مجاورت رگه‌های سیلیسی حاوی کانه‌های سولفیدی مس‌دار، یا همراه با برش‌های سولفیددار، در بخش‌های سطحی و مغزه‌های حفاری قابل تشخیص است (شکل ۸c). لذا ارتباط نزدیکی با زون‌های کانه‌دار نشان می‌دهد. در این نوع دگرسانی کانی‌های پلاژیوکلاز بیشتر به سریسیت و کانیهای رسی تبدیل شده‌اند. رنگ ظاهری آن، خاکستری روشن و از کوارتز، سریسیت و پیریت تشکیل شده است. تفکیک این دگرسانی از دگرسانی آرژیلیک بسیار مشکل و با توجه به مطالعات کانی‌شناسی (XRD) و بازتاب کانیایی متفاوت آن در تصاویر ماهواره‌ای استر

۹). در این بین، برش‌های گرمایی (شکل f۸) با قطعات زاویه‌دار و ابعادی بین ۰/۱ تا ۵ سانتی‌متر، بیشتر در مرکز زون‌های سیلیسی قرار دارند. سیمان آنها بیشتر از کوارتز  $\pm$  سولفید و مقادیر کمتری قطعات ریز سنگ دیواره تشکیل یافته است (شکل f۸).

سنگ و متناسب با نفوذپذیری آن، بیشتر به صورت جانشینی مشخص می‌شود (شکل d۸ و g). از بارزترین آنها، جانشینی سیلیس به جای کلسیت تیغه‌ای است که از آن به عنوان شاهدهی بر فرایند جوشش یاد می‌کنند. از ویژگی‌های بافتی دگرسانی سیلیسی وجود بافت‌های برشی، موزائیکی، حفره‌ای و استوک‌ورک است (شکل‌های ۸ و



شکل ۷- انواع دگرسانی‌ها و ارتباط آن با توده‌ی نیمه‌عمیق و گسل‌ها در محدوده معدنی شمال خاور نارباغی.

Fig.7. Various alteration types and its relationship to subvolcanic intrusive and faults in the NE Narbaghi deposit.

مافیک و اکسیدهای آهن (مگنتیت) دگرسان، در سنگ دیواره حاصل می‌شود و به نوعی این دگرسانی در ذخائر اپی‌ترمال نوع حدواسط مرتبط با توده نفوذی، از عمومیت بیشتری برخوردارند (Muntean et al., 1990; Wang et al., 2019).

کربنات در این محدوده به صورت اولیه و گرمایی در فازهای مختلف قابل تشخیص است. نوع اول به همراه توف‌ها و به صورت ذرات آواری (لیتیک)، با توجه به اینکه در حوضه رسوبی تشکیل شده‌اند، وجود دارد. به عبارت بهتر سنگ میزبان، شامل کریستال لیتیک توفی است که زمینه آن از بلورهای گردشده کوارتز، بلورهای ریز کربنات، فلدسپات، سریسیت، مواد آلی و پیریت تشکیل شده است (شکل e۵). اما نوع گرمایی ممکن است از انحلال کربنات‌های نوع اول توسط چرخش سیال گرمایی و یا از تبدیل کانی‌های مافیک و پلاژیوکلاز در اثر نفوذ سیال حاوی  $CO_2$  به سنگ و یا هر دو مورد، منشاء گرفته باشند. این دگرسانی به صورت رگه‌ای و پرکننده فضای خالی، به شکل سیدریت (کرم تا زرد، شکل g۸) تشکیل می‌شود که به نقش  $CO_2$  و آهن دو

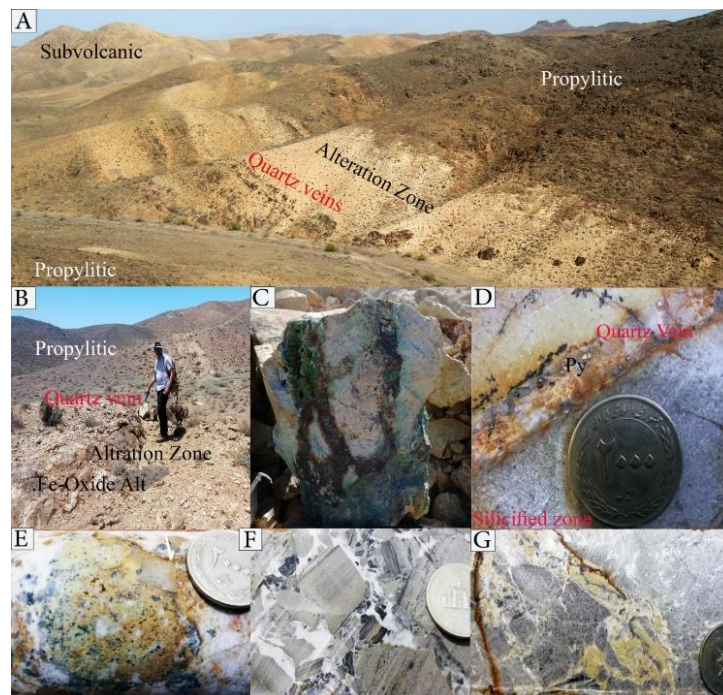
نکته حائز اهمیت در مورد کوارتزهای حفره‌ای اینکه، آنها به دلیل رخ دادن در داخل بخش‌های سیلیسی، با کوارتزهای حفره‌ای که در سیستم‌های اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا (Hedenquist et al., 1998) و متاثر از بخارهای سیال شدیداً اسیدی و شسته‌شدن کانی‌ها (به جزء سیلیس) در سنگ میزبان (سیلیس باقیمانده) حاصل شده است، فرق دارند. لذا، وجود این نوع کوارتزهای حفره‌ای الزاماً نشان‌دهنده اسیدپته بسیار بالای سیال گرمایی و شستشوی ذرات یا درشت‌بلورها از پیکره سنگ میزبان و تشکیل کوارتز باقیمانده، نمی‌باشند. بلکه بیشتر گویای همراهی گاز با سیال و جدایش فاز گازی از سیال سیلیسی حین انجماد و ایجاد حفره در داخل رگه کوارتز می‌باشد. از دیگر ویژگی دگرسانی سیلیسی همراهی آن با سولفیدها است که در ارتباط با فرایندهای گرمایی و دگرسانی سولفیدی شدن می‌باشد (شکل c۸ و d). این دگرسانی (سولفیدی شدن) غالباً در اثر واکنش گوگرد موجود در سیال با آهن موجود در کانی‌های

ظرفیتی در تشکیل این دگرسانی گرمایی اشاره دارد.

### ۳-۴ کانه‌زایی

با توجه به نتایج آنالیزها و مشاهدات صحرایی، تمرکز کانه‌زایی در این کانسار، محدود به مجموعه‌ای از رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی-برشی و حاشیه دگرسان آنها می‌باشد (شکل ۷). این رگه‌ها غالباً در محل تقاطع گسل‌ها، مناطق دارای شکستگی به‌صورت ناپیوسته، با روند شمال‌باختر- جنوب‌خاور، خاوری-

باختری و به‌ندرت شمال‌خاور-جنوب‌باختر تظاهر یافته‌اند (شکل‌های ۳، ۷ و ۸). در این بین، ۴ رگه سیلیسی اصلی با ضخامت‌های بین ۴-۰/۲ متر و طولی در مجموع حدود ۱۲۵۰ متر، عمده کانه‌زایی‌های مس (طلا- نقره) را در این محدوده تشکیل می‌دهند (جدول ۱). بیشترین عیار مس در این رگه‌ها (پهنه کانه‌دار) حدود ۵/۲٪، طلا و نقره به‌ترتیب ۰/۹۲ و ۴۸/۳ گرم بر تن گزارش شده است (I.I.M.M.C, 2019).



شکل ۸- نماهایی از پهنه دگرسانی و انواع دگرسانی‌ها در محدوده مورد مطالعه. (a) نمایی عمومی از پهنه دگرسان (دید به سمت شمال) به‌همراه رگه‌های سیلیسی و دگرسانی پروپلیتیک (سبز رنگ) در واحدهای آندزیتی حواشی و موقعیت توده نیمه‌عمیق، (b) نمایی نزدیک‌تر در امتداد شکستگی، از دگرسانی آرژیلیک-سرسیتی همراه با رگه‌های سیلیسی کانه‌دار (دید به سمت جنوب‌باختر) و اکسیدهای آهن، (c) دگرسانی آرژیلیک-سرسیتی در جوار رگه سیلیسی-سولفیدی کانه‌دار، (d) رگه سیلیسی قطع‌کننده در واحد توفی حاوی پیریت به صورت دانه پراکنده، همراه با توف‌های سیلیسی‌شده، (e) کوارتز حفره‌ای بسیار ریز در رگه سیلیسی کانه‌دار در نمونه حفاری، (f) بافت برشی حاوی قطعات سنگ میزبان (توف) با زمینه‌ای از سیلیس‌های سفیدرنگ در مغزه حفاری و (g) رگه کربناتی به رنگ زرد (سیدریت) در توف، همراه و در جوار رگه سیلیسی.

Fig. 8. A views of alterations types and zones in the study area. (a) General view of the alteration zone (view to the north) along with quartz veins and propylitic alteration (green) in the marginal andesitic units and outcrop of a subvolcanic intrusive body, (b) Closer view along the fracture, of argillic-sericite alteration with mineralized quartz veins (southwest view) and iron oxides, (c) Argillic-sericite alteration near the quartz-sulfide vein, (d) Silica vein in the tuff with disseminated pyrite, together with silicified tuffs, (e) Very small vuggy quartz in a mineralized silica vein of drilling sample, (f) Breccia texture containing pieces of host rock (tuff) with a background of white quartz in the drilling core and (g) Yellow carbonate vein (siderite) within tuff, together with the silica vein.

جدول ۱- توصیف رگه‌های سیلیسی کانه‌دار اصلی شمال‌خاور نارباغی.

Table 1. Description of the main mineralized quartz veins of NE Narbaghi.

No.Vein	Length (m)	Thickness (m)	Trend	Av. vein grade (Cu%, Au ppb, Ag ppm)
1	400	1-0/2	E-W	Cu 0/5, Au 183, Ag 15
2	250	1/5-0/2	E-W	Cu 0/7, Au 245, Ag 23
3	400	2-1	E-W	Cu 1/2, Au 146, Ag 25
4	200	5-0/5	E-W	Cu 1/2, Au 372, Ag 30

(Hedenquist, 2015).

اگرچه این فاز (اول) از بیشترین رخنمون و گسترش در سطح، به صورت رگه‌های سیلیسی طولیل، برخوردار می‌باشد (شکل ۹a و c)، اما در عمق و مغزه‌های حفاری نیز به صورت رگه- رگچه‌های متصل بهم با بافت موزائیکی قابل تشخیص است (شکل ۹c). از ویژگی مشترک این فاز می‌توان به قطع-کنندگی و داشتن مرز واضح با سنگ میزبان، همراهی با دگرسانی آرژیلیک حدواسط و رنگ سفید آن اشاره کرد (شکل ۹). این نوع کوارتز در سراسر محدوده و در ابعاد مختلف رخنمون داشته و اکثراً فاقد کانه‌زایی (عقیم) و یا دارای کانه‌زایی بسیار ضعیف می‌باشند (شکل ۹c و d). هرچند برخی از آنها در اثر نفوذ فازهای بعدی، ممکن است کانه‌دار شده باشند (شکل ۸b). معمولاً کوارتزهای بلورین با بافت موزاییکی، شانه‌ای با حواشی مضرس در این مرحله قابل مشاهده است (شکل ۹e).

مرحله پیش از کانه‌زایی با فاز سیلیسی- سولفیدی (مرحله دوم) ادامه یافته و مرحله اصلی کانه‌زایی را تشکیل می‌دهد. فاز سیلیسی در این مرحله نسبت به مرحله قبل، ریز دانه‌تر و با فاز سولفیدی بیشتری همراه است (شکل ۹b). از مشخصه‌های این مرحله، قطع‌کنندگی فاز قبلی، همراهی با برش‌های گرمابی و مرئی بودن کانه‌زایی در آن می‌باشد (شکل ۹b). قطعات برش در این فاز، بیشتر از کوارتزهای سفید رنگ مرحله اول تشکیل شده است که در آن به صورت زاویه‌دار در زمینه‌ای از سیلیس تیره رنگ حضور دارند. این فاز به دلیل برشی شدن، نقش مهمی در کنترل کانه‌زایی و تمرکز کانه‌هایی نظیر کالکوپیریت، بورنیت، پیریت، کالکوسیت، کوولیت و بندرت گالن، اسفالریت و سولفوسالت (تتراهدريت و تنانتیت) بر عهده دارند (شکل ۱۰). ابعاد سولفیدها در این مرحله از درشت تا متوسط و از خودشکل تا بی‌شکل تغییر می‌کند (شکل ۱۰). مقادیر این سولفیدها از کمتر از ۱ تا بیش از ۳ و حداکثر ۵ درصد مشاهده می‌شود.

کانه‌های سولفیدی قابل تشخیص است. بافت جانیشینی، از متداول‌ترین بافت‌های اولیه و ثانویه در این مرحله از کانه‌زایی است و از آن جمله می‌توان به جانیشینی کالکوپیریت توسط بورنیت، کوولیت و کالکوسیت اشاره کرد (شکل ۱۰c و f). همچنین، سولفوسالتهائی نظیر تتراهدريت و تنانتیت در جوار کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و کوولیت حضور دارند (شکل ۱۰h). سولفیدها اغلب از حواشی به اکسیدهای آهن از قبیل گوتیت و سولفورهای مس همچون کالکوسیت و کوولیت، تبدیل

کانه‌ها و کانی‌های تشکیل‌دهنده این رگه‌ها بیشتر شامل کوارتز، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، سولفوسالتهائی (تتراهدريت و تنانتیت)، هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت و گوتیت)، کربنات‌های مس (آزوریت و مالاکیت)، سریسیت و سیدریت می‌باشند (شکل ۹). کانه‌زایی به لحاظ بافتی عمدتاً به صورت پرکننده فضای خالی (بیانگر محیط کم فشار)، رگه- رگچه‌ای، نواری، شانه‌ای، برش گرمابی، جانیشینی و دانه‌پراکنده می‌باشد (شکل ۹). در این بین، بافت‌های پرکننده فضای خالی نسبت به دیگر بافتها، از قرابت بیشتری با کانه‌زایی برخوردار بوده و سیال‌های کانه‌دار در آن از گردش نسبتاً آزادتری برخوردار بوده‌اند. بنابراین افت سریع دما و فشار (جوشش)، و ته‌نشست سیال کانه‌دار را تسهیل کرده است. بر این اساس و با توجه به مطالعات صحرائی، سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری، آنالیز شیمیایی، XRD، مراحل تکوین این سامانه و پیرو آن کانه‌زایی را می‌توان در ۴ مرحله زیر خلاصه کرد:

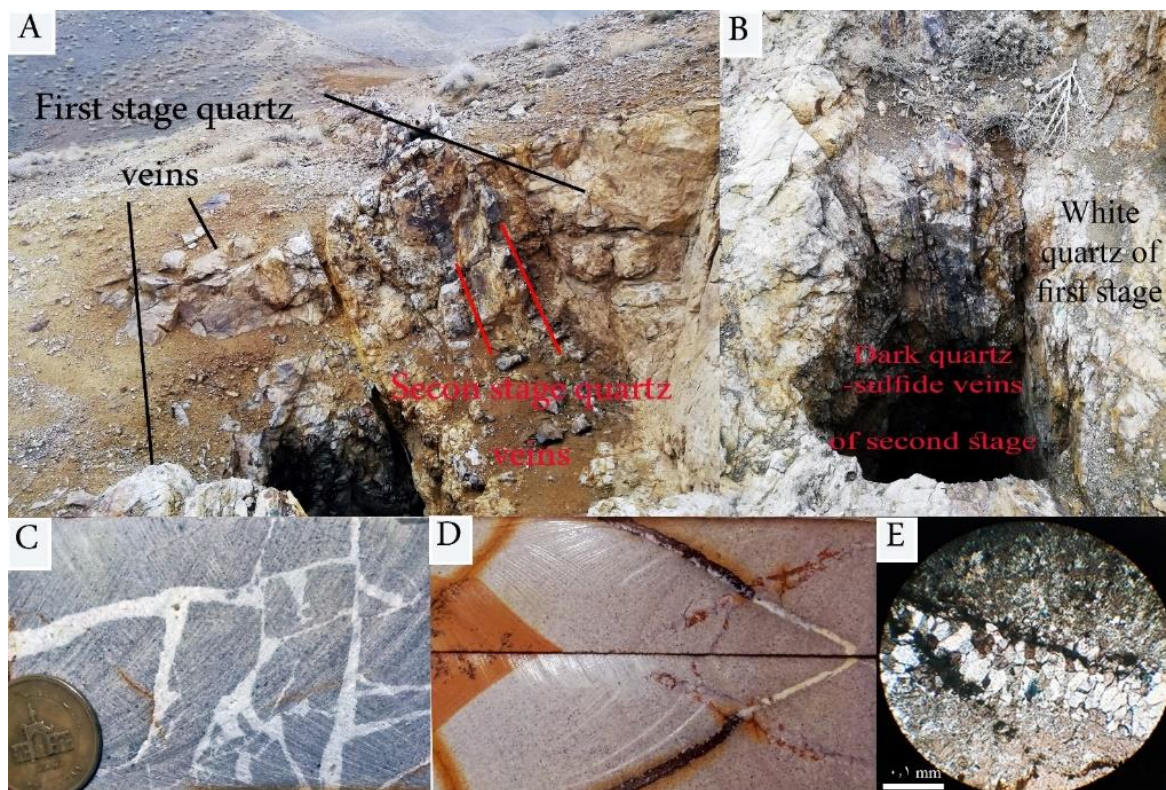
مرحله پیش از کانه‌زایی، مربوط به نفوذ سیال حاوی سیلیس‌های سفید رنگ اولیه به داخل شکستگی‌های خطی و کششی با حجم زیاد است (شکل‌های ۹ و ۱۰). این مرحله، به لحاظ کانه‌زایی مس و فلزات قیمتی بسیار ضعیف و عیار میانگین آن، در حد سنگ میزبان اولیه، با غنی‌شدگی جزئی می‌باشد (شکل ۸). این مرحله به لحاظ ترکیب از بیش از ۹۸٪ کوارتز، مقادیر جزئی اکسیدهای آهن (مگنتیت) و بسیار ناچیز سولفید (عمدتاً پیریت یا آرسنوپیریت)، روتیل، کلسیم و اکسید منیزیم تشکیل شده است. هرچند احتمالاً بخشی از آن در ارتباط با هوازدگی باشد. این مرحله در واقع، بخشی از مراحل اولیه دگرسانی است که در حین تشکیل سامانه‌های اپی‌ترمال- پورفیری حاصل می‌شوند (Sillitoe and Hedenquist, 2003) و در برخی مواقع به‌عنوان مرحله پیش از کانه‌زایی در ذخائر اپی‌ترمال با سولفیداسیون بالا در نظر گرفته می‌شوند کالکوپیریت، بورنیت و به مقدار کمتر پیریت، فراوان‌ترین کانی‌های پاراژنز در این مرحله محسوب می‌شوند که به‌صورت دانه‌پراکنده و یا به‌صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل در داخل شکستگی‌ها و حفرات کوارتز مشاهده می‌شوند (شکل ۱۰). کالکوپیریت بیشتر به‌صورت تک‌کانی و لکه‌های پراکنده و در برخی مقاطع به‌صورت هم‌رشد با پیریت یا بورنیت دیده می‌شود (شکل ۱۰). پیریت در نمونه‌ها عموماً به‌صورت خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار و در اندازه‌های کوچک در کنار کالکوپیریت و دیگر



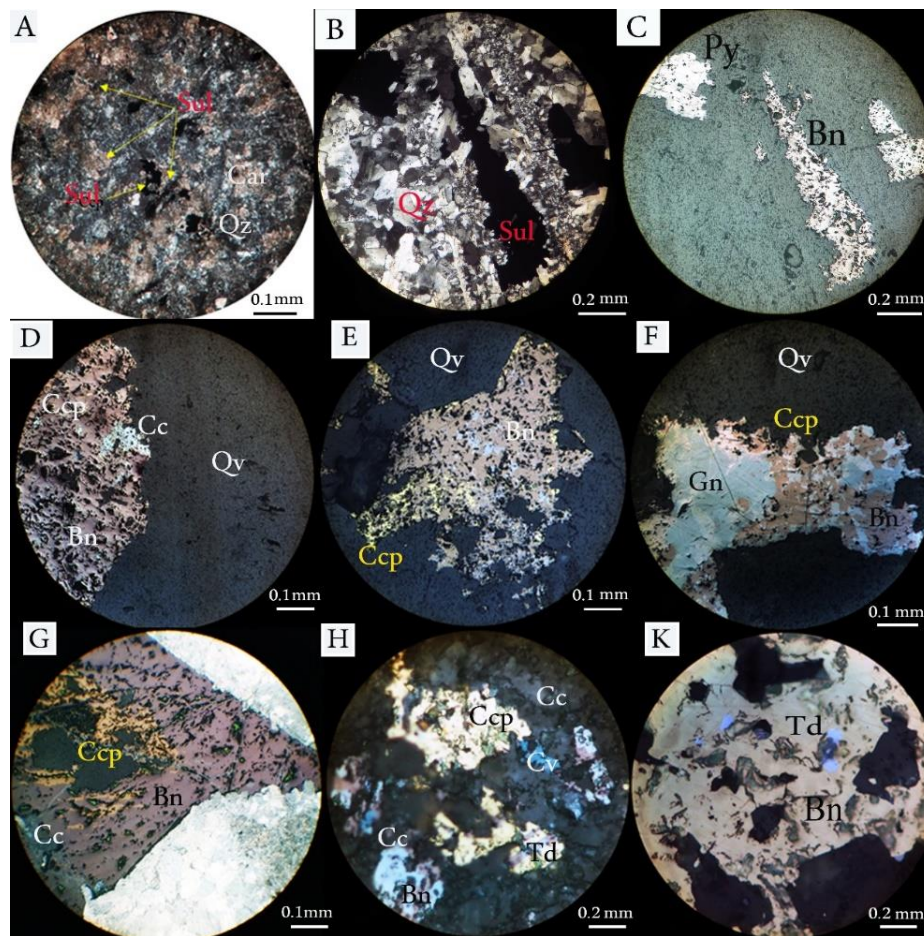
باریت، کلسیت در حفرات و شکستگی‌های قبلی همراه است، ولی در همه جا عمومیت ندارد (شکل ۱۱). آخرین مرحله در این سامانه، فرایند برونزاد است که با توجه به گمانه‌ها، تا عمق ۷۰ متری نیز گاهی در امتداد شکستگی‌ها مشاهده می‌شوند. این فرایند در نتیجه واکنش‌های شیمیایی در مناطق سطحی رخ داده است. لذا شکستگی‌ها، رخ‌ها و مرز بین دانه‌ها مکان‌های مناسب برای آن به‌شمار می‌روند. این فرایند باعث تشکیل کانی‌های کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، لیمونیت و گوتیت شده است (شکل ۱۱).

شده و بقایایی از آن در مرکز باقی مانده است (شکل ۱۰g). اگرچه این مرحله از کانه‌زایی در این تحقیق و محدوده‌های همجوار (Rajabpour et al., 2017; Fazli et al., 2019)، دارای پارائز اصلی کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت است ولی حضور سولفوسالته‌ها (نظیر تتراهدردیت، تنانتیت)، به افزایش فوگاسیته گوگرد (فاز سولفیدی شدن، (Creaser and White, 1991) در شرایط خاص از این مرحله از کانه‌زایی اشاره دارد (شکل ۱۱).

مرحله بعد در واقع تبدیل فاز سولفیدی به اکسیدی و پایان مرحله کانه‌زایی سولفیدی است. این مرحله با حضور غالب



شکل ۹- تصاویری از رگه‌های کوارتزی سفید رنگ مرحله اول با مرز کاملاً مشخص با سنگ میزبان، در مقیاس رخنمون، نمونه‌دستی و میکروسکوپی. (a) فاز دگرسانی سیلیسی مرحله اول به رنگ سفید در حواشی و رگه سیلیسی- سولفیدی کانه‌دار (فاز دوم) به صورت رگه‌ای در مرکز آن، (b) نمایی نزدیکتر از تصویر a، از درون چاه استخراجی که این دو مرحله کاملاً قابل تفکیک می‌باشند، (c) رگچه‌های سیلیسی سفید رنگ مرحله اول در مغزه حفاری، با سنگ میزبان توفی، (d) رگچه‌های سیلیسی حاوی پیریت اکسید در مغزه حفاری و (e) رگچه سیلیسی با کانی‌های درشت و بافت شانه‌ای. Fig. 9. Photo of white quartz veins of the first stage with a sharp boundary in the host rock, at the outcrop, hand specimen and microscop. (a) First stage siliceous phase with white color in the margins of mineralized siliceous-sulfide veins (second phase) in the form of veins in the center, (b) A closer view at Figure a, from inside the extraction well, where the two steps are completely separate, (c) White quartz veins of the first stage in the drilling core, with tuff host rock, (d) Silica veins containing oxide pyrite in the core and (e) Quartz vein with coarse minerals and comb texture.



شکل ۱۰- هم‌رشدی و جان‌نشینی سولفیدهای مرحله اصلی کانه‌زایی (دوم) در کانسار مورد مطالعه. (a) کانه کدر (کالکوپیریت) در زمینه‌ای از سیلیس ریزدانه، همراه با کربنات به رنگ قهوه‌ای تا کرم، (b و c) رگه سیلیسی که مرکز آن توسط کانی کدر (بورنیت) پر شده است، در نور عبوری و انعکاسی، (d) هم‌رشدی کانی‌های کوارتز، بورنیت و کالکوپیریت همراه با کالکوسیت ثانویه (برونزاد). (e و f) هم‌رشدی بورنیت، کالکوپیریت و گالن در کوارتز، (g) هم‌رشدی کالکوپیریت و بورنیت، همراه با کالکوسیت ثانویه در حواشی، (h) پاراژنز کانی‌های کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و کولیت و به میزان کمتر تتراهدریت به رنگ خاکستری و (k) ادخال‌های تتراهدریت در بورنیت. علائم اختصاری کانیها از Whitney و Ewans (۲۰۱۰) اقتباس شده است. (Ccp: کالکوپیریت، Qv: رگه سیلیسی، Bn: بورنیت، Cc: کالکوسیت، Gn: گالن، Cv: کولیت، Td: تتراهدریت).

Fig. 10. The coexistence and replacement of sulfides in the main stage of mineralization (second stage), in the study deposit. (a) Opaque mineral (chalcopyrite in a background of fine-grained quartz and carbonates with brown to cream color, (b&c) Quartz vein filled by bornite in the center, in pl and ppl light, (d) Correlation and forming of quartz, bornite and chalcopyrite minerals with secondary chalcocite, (e&f) The coexistence of bornite, chalcopyrite and galena, (H) Paragenesis of chalcopyrite, bornite, chalcocite and covellite and to a lesser gray tetrahedrite minerals and (k) Inclusion of tetrahedrite in bornite. Mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010). (Ccp: chalcopyrite, Qv: quartz vein, Bn: bornite, Cc: chalcocite, Gn: galena, Cv: covellite, Td: tetrahedrite).

#### ۴-۴ زمین‌شیمی

وجود عناصر در فازهای مختلف یکسان نمی‌باشد، به گونه‌ای که عناصری که در تمامی فازهای تکوین کانه‌زایی حضور داشته باشند، از غنی‌شدگی بیشتری برخوردار بوده و طیف پیوسته‌تری دارند. به عبارت بهتر نمودار فراوانی در مقابل عیار آنها (به شکل L) از ستون‌های پیوسته عیاری بیشتری نسبت به آنهایی که در فازهای کمتری شرکت می‌کنند، برخوردارند. بر این اساس و در

بررسی‌های آماری داده‌های زمین‌شیمی در پهنه دگرسان و کانه‌دار، حکایت از روند کاهشی مقادیر فراوانی در برابر روند افزایشی عیار نمونه‌ها، دارد (شکل ۱۲). این ویژگی در بیشتر موارد مربوط به ذخائر اپی‌ژنتیک و گرمایی، همچون ذخائر اپی-ترمال می‌باشد که از فازهای مختلف تشکیل شده‌اند. البته میزان

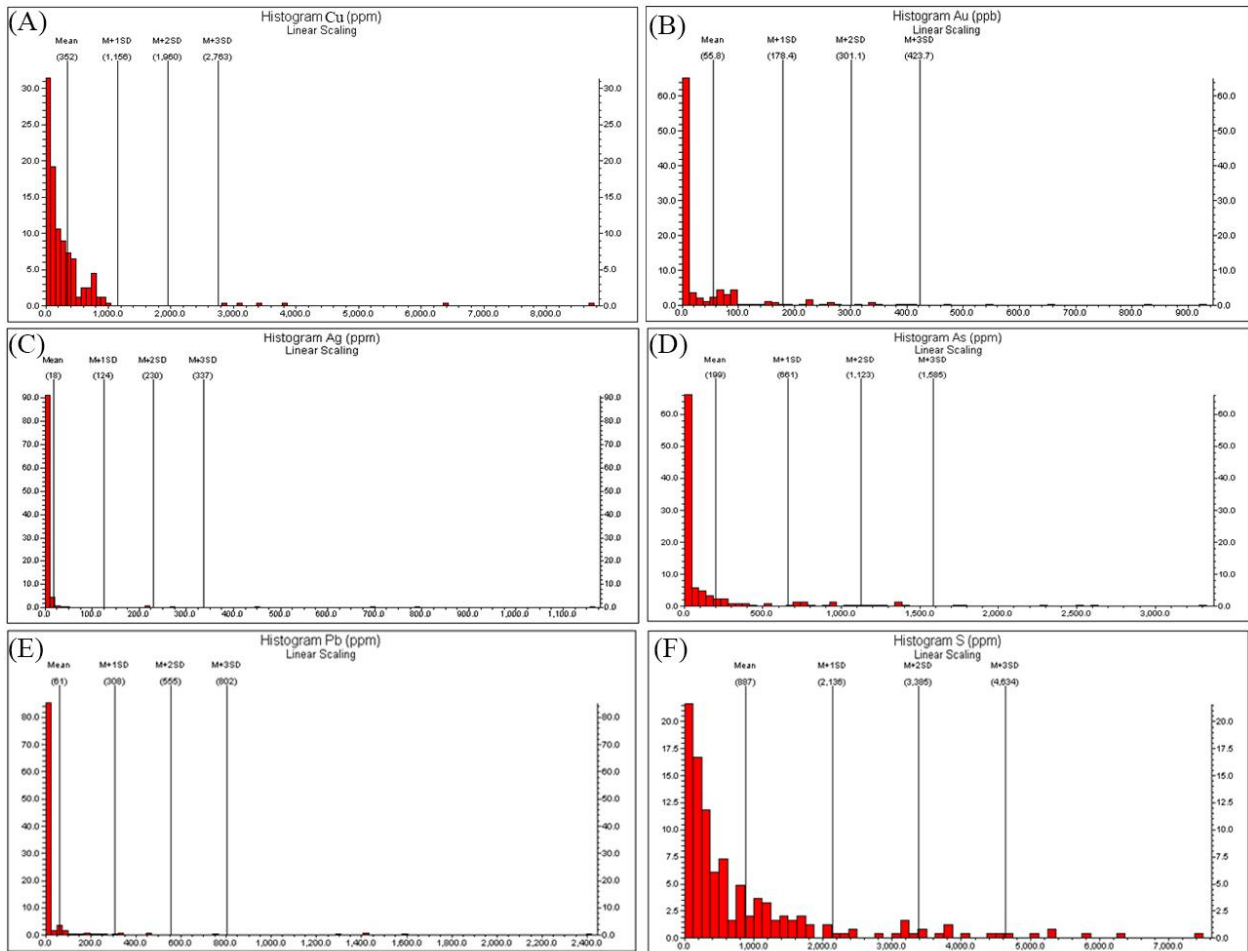
ژنتیکی و هم فازی این عناصر در در یک یا چند فاز از مراحل تکوین فازی سامانه اپی ترمال محدوده مورد مطالعه می باشد. همبستگی مثبت بین طلا و عناصری چون مس و مولیبدن به نقش سیالات ماگمایی در تشکیل این کانسار اشاره دارد (Hart et al., 2002)، در حالی که همبستگی آن با آرسنیک، آنتیموان و فلزات پایه، نشان از همراهی طلا و مس با پیریت های آرسنیک دار و سولفوسالت ها می باشد (Pirajno, 2009). طلا، علاوه بر آرسنیک و روی بیشترین همبستگی را با مولیبدن و نقره نشان می دهد (جدول ۲). همبستگی طلا با نقره ممکن است به دلیل حضور الکتروم باشد. افزون بر آن، همبستگی مثبت و بالایی بین نقره، آرسنیک و آنتیموان، روی و سرب دیده می شود (جدول ۲)، که با حضور سولفوسالتها قابل توجیه است. در مقابل، باریم با عناصر فوق و بالاخص مس همبستگی نشان نمی دهد. علاوه بر موارد فوق، نسبت Ag/Au در بیشتر نمونه ها کمتر از ۶۰ می باشد که از ویژگی ذخائر اپی ترمال سولفیداسیون حدواسط در کمان های ماگمایی است (Wang et al., 2019).

کانسار مورد مطالعه عناصری چون گوگرد، مس، طلا و آرسنیک از طیف پیوسته بیشتر و از دامنه انحراف معیار بالاتری برخوردارند (شکل ۱۲). این درحالی است که در عناصری چون نقره و آنتیموان این دامنه از گسترش کمتری برخوردار بوده و بنابراین این عناصر به نظر می رسد در فازهای کانه زائی کمتری شرکت کرده اند (شکل ۱۲). بنابراین عدم شرکت عنصری چون نقره در فازهای مختلف منجر به غنی شدگی کمتر و عدم دستیابی به عیارهای اقتصادی (محصول فرعی) در این کانسار شده و در نتیجه حین تکوین کانه زائی از مرحله پیش از کانه زائی (زمینه) و دگرسانی (شکل ۱۱) به سمت مرحله اصلی کانه زائی (سیلیسی - سولفیدی) و بعد از کانه زائی (برونزاد) با غنی شدگی تدریجی در موقعیت های خاص مواجه ایم (شکل ۱۱ و ۱۲). از طرف دیگر و براساس ضرایب همبستگی در ماتریس همبستگی عناصر به روش اسپیرمن (جدول ۲)، مس بیشترین همبستگی مثبت (بین ۰/۵ تا ۰/۸۳) را به ترتیب با عناصر روی، نقره، آرسنیک و طلا و به میزان کمتر (بین ۰/۳ تا ۰/۵) به ترتیب با سرب، مولیبدن و آنتیموان نشان می دهد که نشانگر ارتباط

	Minerals	Pre Mineralization	Mineralization	Post Mineralization (Weathering)
Ore	Pyrite	=====	=====	
	Arsenopyrite	=====	=====	
	Chalcopyrite		=====	
	Bornite		=====	
	Chalcocite		=====	=====
	Covellite		=====	=====
	Galena		=====	
	Sphalerite		=====	
	Tetrahedrite		=====	
	Tennantite		=====	
	Fe-Mn Oxide	=====		=====
	Malachite			=====
	Azurite			=====
	Barite			=====
Gangue	Quartz	=====	=====	
	Sericite	=====	=====	
	Carbonate	=====	=====	
	Kaolinite	=====	=====	
	Chlorite	=====	=====	
	Epidote	=====	=====	
	Rutile	=====	=====	

شکل ۱۱. توالی پاراژنتیکی کانه ها و کانی های موجود در کانه زایی شمال خاور نارباغی

Fig. 11. Paragenetic sequences of ores and minerals in the NE mineralization of Narbagh.



شکل ۱۲- نمودار هیستوگرام فراوانی عناصر (مس، طلا، نقره، آرسنیک، سرب و گوگرد) در برابر عیار آنها بر حسب گرم بر تن (ppm) و طلا بر حسب میلی گرم بر تن (ppb).

Fig. 12. Histogram diagram of the abundance of elements (Cu, Au, Ag, As, Pb and S) against their grade in grams per ton (ppm) and gold in milligrams per ton (ppb).

جدول ۲. ضریب همبستگی مس با عناصر مختلف در کانسار شمال خاور نارباغی

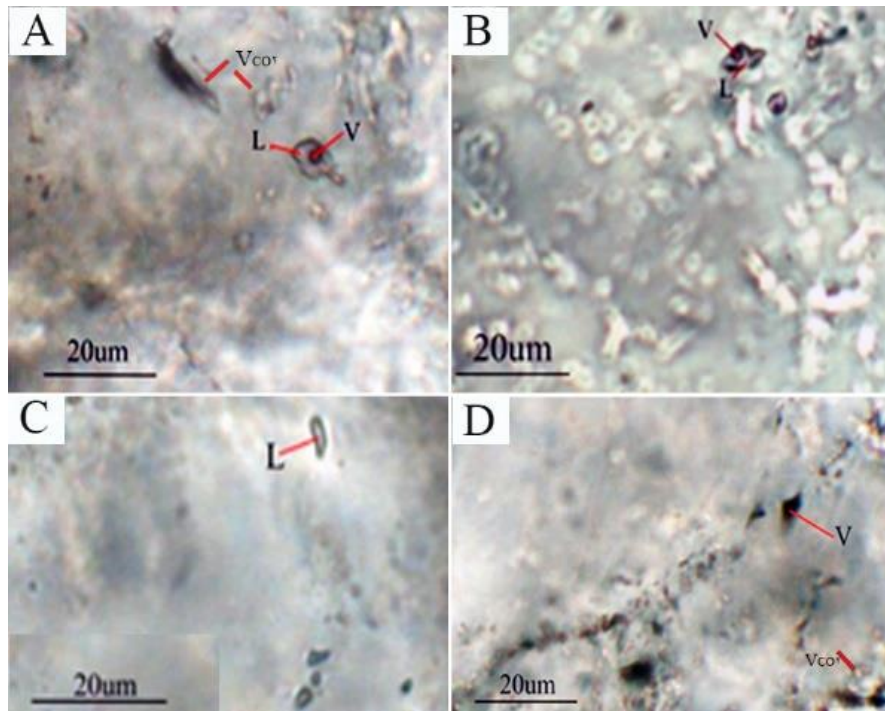
Table 2. Correlation coefficient of copper with different elements in the NE Narbaghi deposit.

	Cu	Au	Ag	As	Ba	Mo	Pb	S	Sb	Zn
<b>Cu (ppm)</b>	1.000									
<b>Au (ppb)</b>	.632	1.000								
<b>Ag (ppm)</b>	.802	.434	1.000							
<b>As (ppm)</b>	.737	.574	.776	1.000						
<b>Ba (ppm)</b>	.018	-.040	.084	.055	1.000					
<b>Mo (ppm)</b>	.374	.427	.323	.500	.126	1.000				
<b>Pb (ppm)</b>	.440	.141	.539	.520	.302	.406	1.000			
<b>S (ppm)</b>	.041	.143	-.019	-.067	-.024	.222	-.121	1.000		
<b>Sb (ppm)</b>	.314	.232	.316	.463	.004	.314	.164	-.020	1.000	
<b>Zn (ppm)</b>	.826	.528	.778	.837	.158	.389	.586	-.161	.392	1.000

#### ۴-۵ میان بارهای سیال

مطالعه سیالات درگیر بر روی کوارتزهای مرحله اصلی کانه‌زایی مس و ادخال‌های اولیه آن، با ابعاد کمتر از ۱۰ میکرون (بسیار ریز) انجام شده است (شکل a۱۳ و b). هرچند سیالات درگیر ثانویه و ثانویه کاذب با اشکالی از قبیل گرد، میله‌ای و نامنظم

نیز قابل مشاهده است (شکل a۱۳ و b). از نکات مهم، وجود میانبارهای با پدیده باریک‌شدگی در جوار میانبارهای با اشکال سوزنی و میله‌ای است که بیشتر در میانبارهای غنی از مایع دیده می‌شود (شکل c۱۳) و می‌تواند در ارتباط با تکتونیک

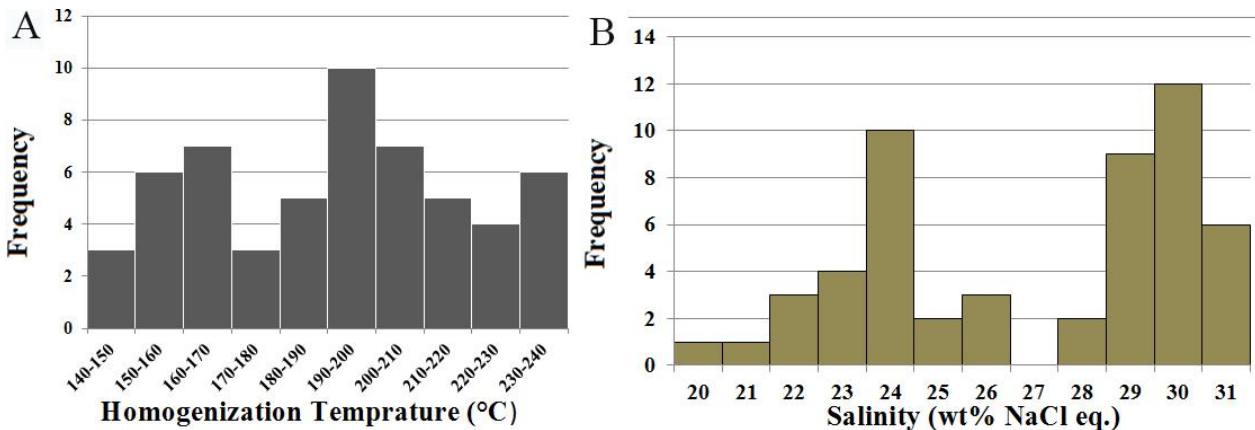


شکل ۱۳- تصاویر میکروسکوپی (در نور عبوری و دمای اتاق) از سیالات درگیر در کانسار شمال خاور نارباغی. (a) سیالات دو فاز (L+V) همراه با سیالات حاوی گاز CO<sub>2</sub>. (b) سیالات دو فاز (L+V) و سیالات درگیر ثانویه، (c) سیالات غنی از فاز مایع (L)، و (d) سیالات غنی از فاز بخار (V)، همراه با برخی سیالات حاوی گاز CO<sub>2</sub> و سیالات درگیر ثانویه.

Fig.13. Microphotographs (in pl and room temperature) of fluid inclusions in the NE Narbaghi deposit. (a) Two phase fluids (L+V) with some fluids containing CO<sub>2</sub> gas, (b) Two phase fluids (L+V) and secondary fluid inclusion, (c) Liquid-rich fluids (L) and (d) Vapor-rich fluids (V) with some CO<sub>2</sub> containing fluids and secondary fluid inclusion.

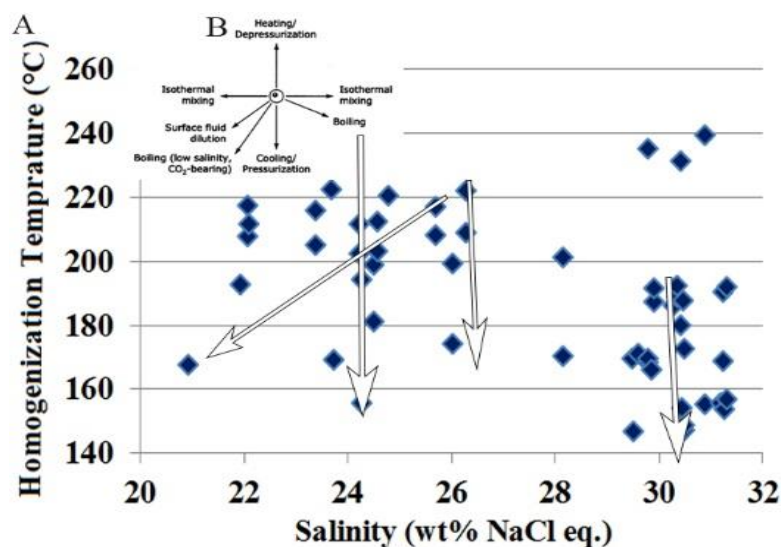
(شکل a۱۴). میزان شوری سیالات متغیر و بین ۲۰ تا بیش از ۳۱ درصد وزنی نمک طعام (دمای اوتکتیک از ۹٫۸- تا ۳۰-) و بیشترین فراوانی در محدوده ۲۴ و ۲۹-۳۰ درصد وزنی نمک طعام در تغییر است (شکل b۱۴). اگرچه این مقادیر زیاد شوری، با توجه به نوع کانه‌زایی اپی‌ترمال (حداکثر ۲۳ درصد وزنی نمک طعام در ذخائر اپی‌ترمال حدواسط (Wang et al., 2019) و عدم مشاهده ادخالهای بلور نمک طعام و دیگر نمک‌ها، در این کانه‌زایی غیرمتعارف محسوب می‌شود. اما می‌توان آنرا به ریز بودن ادخالهای مورد مطالعه و عدم تشخیص بلورهای نمک واقع در آنها نسبت داد. زیرا تشخیص ندادن فازهای جامد در این سیالات (با توجه به شوری بالای آن) دلیل بر نبودن آن نیست.

فعال در منطقه مورد مطالعه در حین کانه‌زایی بوده باشد که در آن میانبارهای سیال تحت تاثیر فشار یا کشش قرار گرفته‌اند (Shepherd et al., 1985). ادخال‌های اولیه، در این نمونه‌ها (Roedder., 1984)، غالباً شامل دو فاز مایع- گاز (L+V)، تک فاز مایع (L) و تک فاز گازی (V) است (شکل ۱۳). در این بین ادخال‌های دو فاز مایع- گاز (L+V)، در کلیه نمونه‌ها حضور دارند. فاز گازی تنها ۱۰ تا ۳۵٪ حجم این سیالات را در بر می‌گیرد (شکل a۱۳). از نکات مهم حضور سیالات حاوی بخار گاز (CO<sub>2</sub>) در برخی از این سیالات می‌باشد (شکل a۱۳ و d). دمای همگن‌شدن از حدود ۱۴۵ تا ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد با حداکثر فراوانی بین ۲۱۰-۱۹۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد



شکل ۱۴- نمودار ستونی. (a) دمای همگن شدن و (b) شوری سیالات درگیر در رگه‌های سیلیسی کانه‌دار کانسار شمال خاور نارباغی.

Fig.14. Histogram of homogenization temperatures (a) and salinity (b) of the fluids inclusions in the ore-bearing silica veins of the NE Narbaghi deposit.



شکل ۱۵- (a) دیاگرام پراکنندگی دمای همگن‌شدگی و درصد شوری میانبارهای سیال در کوارتزهای کانه‌دار شمال خاور نارباغی و (b) مقایسه آن با روندهای موثر در تکوین (ته‌نشست) سیال‌های مختلف بر اساس پیشنهاد (Wilkinson, 2001).

Fig.15. (a) Diagram of Th-salinity data of fluid inclusions in ore-bearing quartz of NE Narbaghi and (b) its Comparison with typical trends in Th salinity space due to various fluid evolution processes according to Wilkinson (2001).

نوبه خود در افزایش مقادیر شوری سیال‌ها می‌تواند نقش داشته باشد (Pirajno, 2009).

بنابراین، بررسی سیالات درگیر مربوط به کوارتزهای مرحله اصلی کانه‌زائی (فاز سولفیدی و کانه‌دار) در این کانسار و مقایسه آن با نمودار روندهای شاخص در فرایندهای موثر در تکوین (ته‌نشست) سیال‌های مختلف و کانه‌زائی (Wilkinson., 2001)، حکایت از نقش موثر کاهش فشار- دما و پیرو آن فرایندهایی

همچنین دلیل شوری غیرمتعارف این سیال‌ها را می‌توان به محیط و حوضه رسوبی تشکیل این ذخیره در زمان الیگومیوسن که با حضور تبخیری‌ها و نمک و تبخیری‌ها مقارن است، در نظر گرفت. علاوه بر این، حضور توام سیال‌های دو فاز (غنی از مایع و گاز) و غنی از گاز (تک فاز)، به جدایش فاز گازی از سیال و فرایند جوشش در زمان تشکیل گواهی می‌دهد (Simmons et al., 2000). لازم به ذکر است این فرایند (جوشش) نیز به

پروپیلیتیک، آرژیلیک حدواسط- پیشرفته، سریسیتی، سیلیسی، کربناته و سولفیدی شدن به صورت زونه با روند تقریباً شمال‌خاور-جنوب‌باختر رخ داده است. کانه‌زایی در ارتباط مستقیم با گسل‌ها و شکستگی‌هاست، به طوری که پرشدگی این فضاها منجر به تشکیل رگه‌های نسبتاً طویل همراه با مجموعه‌های برشی در کنار بافت‌های دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای و به ندرت استوک‌ورک در حاشیه توده نفوذی شده است. این رگه‌ها اغلب شامل کوارتز، سریسیت، سیدریت و کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت با پیریت می‌باشد، هرچند به ندرت سولفوسالتهائی چون تنانتیت و تتراهدریت که از مشخصه‌های ذخائر اپی‌ترمال با سولفیداسیون حدواسط می‌باشند نیز حضور دارند. مس بیشترین همبستگی مثبت (بین ۰/۵ تا ۰/۸۳) را به ترتیب با عناصر روی، نقره، آرسنیک و طلا و به میزان کمتر (بین ۰/۳ تا ۰/۵) با سرب، مولیبدن و آنتیموان نشان می‌دهد که نشانگر منشاء یکسان و ارتباط ژنتیکی این عناصر در این سامانه اپی‌ترمال دارد. کانه‌زایی تحت شرایط دمایی ۱۴۵-۲۴۰ درجه سانتیگراد و محدوده شوری ۲۰ تا ۳۰ درصد وزنی نمک طعام تشکیل شده است. این داده‌ها نشان از اختلاط سیالات ماگمایی با آب‌های سطحی (جوی و حوضه‌ای) در طی تکوین این سامانه کانه‌زایی دارد. علاوه بر این، حضور توام سیال‌های دو فاز (غنی از مایع و گاز) و تک فاز، به جدایش فاز گازی از سیال و فرایند جوشش در زمان تشکیل و کاهش دما و افت فشار اشاره دارد. بنابراین این سامانه روندی از ذخائر اپی‌ترمال با سولفیداسیون حدواسط مرتبط با توده که در محیط‌های کشتی درون‌کمانی و حوضه‌های رسوبی-تبخیری تشکیل می‌دهد، را نشان می‌دهد که در آن سیال ماگمایی در مواجهه با ساختارهای نفوذپذیر، و اختلاط با سیالهای سطحی، باعث ته‌نشست مس-طلا همراه با تشکیل کربناته‌های آهن (سیدریت)، منگنز و منیزیم دارد.

#### ۶- قدردانی

مطالعه حاضر از طرح پژوهشی مصوب ۱۴۰۰/۲/۵ به شماره ۱۱۳-ط-پ-۹۹ می‌باشد، لذا از کلیه عزیزان کمال قدردانی و تشکر را دارم. همچنین نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از شرکت‌های معدنی کانی‌های صنعتی ایران و سامانه کانسار زمین، به‌ویژه آقایان موسوی، خزائی و ملانکه به دلیل فراهم آوردن امکانات بازدید، استفاده از گزارش‌ها و همکاری‌های فراوان صمیمانه تشکر نمایند.

چون جوشش، رقیق‌شدگی و اختلاط در فرآیند کانه‌زایی به واسطه حضور ساختارهای نفوذپذیر دارد (شکل ۱۵). مقایسه این نتایج با داده‌های حاصل از سیالات مربوط به ذخائر همجوار کوه‌پنگ و نارباغی (شکل b۱) بیانگر تشابه آن از نظر وفور سیالات‌درگیر دو فاز (غنی از گاز و مایع) با شوری ۶ تا ۳۱ درصد وزنی نمک طعام، دمای همگن شدن بین ۳۵۰-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و حضور سیالات درگیر حاوی گاز CO<sub>2</sub> می‌باشد (Rajabpour et al., 2017; Fazli et al., 2019). که از این حیث با ذخائر اپی‌ترمال از نوع سولفیداسیون حدواسط بیشترین همخوانی را نشان می‌دهد (Echavarria et al., 2006).

#### ۵- نتیجه‌گیری

کانه‌زایی گرمابی مس (طلا-نقره) شمال‌خاور نارباغی، در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر، واقع است. این کمان، اگرچه عامل اصلی کانه‌زایی‌های اپی‌ترمال-پورفیری در این ناحیه و دیگر نواحی است، اما توزیع و پراکندگی ذخائر آن متأثر از قرارگیری توده‌های نفوذی در عمق‌های مختلف و پیرو آن ایجاد انواع زیرتیپ‌های گوناگون کانه‌زایی به صورت غیر یکنواخت می‌باشد.

بررسی ساختاری و توالی سنگی ائوسن در این ناحیه همچون دیگر نواحی این کمان ماگمایی، بیان‌گر بالاآمدگی، کاهش فشار، افزایش گرادیان گرمائی و ایجاد ساختارهای کشتی است، که رژیم مناسبی برای توسعه روانه‌های گدازه آندزیتی، لاپیلی توف و توف‌های برشی، در امتداد ساختارها با روند شمال‌باختر-جنوب-خاور می‌باشد. در ائوسن پایانی با تغییر تدریجی رژیم تکتونیکی، این کشتش به حداقل رسیده تا جایی که رژیم تکتونیکی فشارشی در الیگوسن با ایجاد پهنه‌برشی راستگرد، تداوم می‌یابد. این فرایند به‌ویژه در مراحل آغازین با ایجاد فضا‌های خالی در حین حرکت امتدادلغزی نقش موثری در جایگیری توده‌های نیمه‌عمیق پورفیری در اعماق کم (کمتر از ۲ کیلومتر) دارد. تداوم فعالیت ماگمایی کمان به صورت توده‌های نیمه‌عمیق در الیگومیوسن، مقارن با تشکیل حوضه‌های درون‌قاره‌ای (حوضه رسوبی-تبخیری) در سطح توام با فعالیت‌های ساختاری است که نقش به‌سزائی در نفوذ آب‌های محیطی، حوضه‌ای و جوی در عمق دارند. لذا محیط تشکیل زمین‌شناسی تأییدی بر تشکیل این کانه‌زایی در اعماق و فشار کم است.

انواع دگرسانی‌های گرمابی مرتبط با توده از قبیل

## مراجع

- 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/s001675681100046>.
- Aghazadeh, M., Hou, Z., Badrzadeh, Z., Zhou, L., 2015. Temporal-spatial distribution and tectonic setting of porphyry copper deposits in Iran: Constraints from zircon U-Pb and molybdenite Re-Os geochronology. *Ore Geology Reviews* 70, 385–406. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.03.003>.
- Alavi, M., 1994. Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations: *Tectonophysics* 229(3-4): 211-239. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2).
- Allen, M.B., Kheirkhah, M., Emami, M.H., Jones, S.J., 2011. Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia-Eurasia collision zone: *Geophysical Journal International* 184(2), 555–574. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246x.2010.04874>.
- Amidi, S., Shahrabi, M., Navi, V., 2005. Geological map of Zavieh, scale: 1: 100,000. Geological Survey of Iran.
- Caillat, C., Dehlavi, P., Martel Jantin, B., 1978. Géologie de la région de Saveh (Iran): contribution à l'étude du volcanisme et du plutonisme tertiaires de la zone de l'Iran central. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, S7-XXIV (4), 777–784. <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.s7-xxiv.4.777>.
- Chiu, H.Y., Chung, S.L., Zarrinkoub, M.H., Mohammadi, S.S., 2013. Zircon U-Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neo-Tethyan subduction and Zagros orogeny. *Lithos* 162–163(2013), 70–87. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.01.006>.
- Creaser, R. A., White, A. J. R., 1991. Yardea Dacite; large-volume, high-temperature felsic volcanism from the middle Proterozoic of South Australia, *Geology* 19(48–51). <https://doi.org/10.1130/0091-7613>.
- Dorozi, R., Vosoghi Abedini, M., 2009. Investigation of the role of magmatic subtraction and crustal contamination in volcanic rock formation south and SE south of Boeen-Zahra. *Journal of Iran Geological Quarterly*, 3(10), 15-23 (In Persian).
- Echavarria, L., Nelson, E., Humphrey, J., Chavez, J., Escobedo, L., Iriondo, A., 2006. Geologic evolution of the Caylloma epithermal vein district, southern Peru. *Economic Geology* 101(4), 843–863.
- Fatehi, M., Asadi Haroni, H., 2019. Geophysical signatures of the gold rich porphyry copper deposits: A case study at the Dalli Cu-Au porphyry deposit. *Journal of Economic Geology*, 10(2), 639-675.
- Fazli, N., Ghaderi, M., Lentz, D., ley, J., 2019. Geology, Alteration, Mineralogy and Geochemistry of the Cu-Ag North Narbaghi Epithermal Ore, NE Saveh. *Journal of Earth Sciences* 28 (112), 13-22.
- Firouzbakht, M.S., Ghaderi, M., Tajedin, H.A., 2008. Geology and mineralization in the Lak base metal (-Au) deposit, south Buin Zahra. 10<sup>th</sup>, symposium of Iranian society of economic geology, Esfahan, Iran.
- Ghalamghash, J., 1998, Geological map of Saveh, scale: 1: 100,000. Geological Survey of Iran.
- Hart, C.J.R., McCoy, D., Goldfarb, R.J., Smith, M., Roberts, P., Hulstein, R., Bakke, A.A., Bundtzen, T.K., 2002. Geology, exploration and discovery in the Tintina gold province, Alaska and Yukon. *Society of Economic Geologists Special Publication* 9, 241-274.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A., Reynolds, T.J., 1998. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system; Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines. *Economic Geology* 93, 373–404.
- Hedenquist, J.W., 2015. Porphyry copper potential in Mexico: Transitions from epithermal lithocaps to veins and tops of porphyry deposits. AIMMGM Presentation, Acapulco October, Extended abstract, 1–8.
- Heidari S.M., Daliran F., Paquette J.L., Gasquet D., 2015. Geology, timing and genesis of the high sulfidation Au (-Cu) deposit of Touzlar, NW Iran. *Ore Geology Reviews* 65(2), 460-486. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.05.013>.
- Heidari, M., Zarasvandi, A., Rezaei, M., Raith, J., Saki, A., 2019. Physicochemical Attributes of Parental Magma in Collisional Porphyry Copper Systems; Using Biotite Chemistry, Case Study: Chahfiruzeh Porphyry Copper Deposit. *Journal of Economic Geology*, 10(2), 586-561. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.101.4.843>.
- Iran Industrial Minerals Mine Company (I.I.M.M.C), 2019. Detailed exploration report of NE Narbaghi Copper deposit (Unpublished in Persian).



- Khodaparast, S., Madanipour1, S., Nozaem, R., Hessami, K., 2020. Structural evidence on strike slip Kinematic inversion of the Kushk-eNosrat Fault zone, Central Iran. *Geopersia* 10 (1), 195-209.
- Khodaparast, S., Mohajjel, M., Haj-Amini, S., 2014. Structural study and influence of thickness in Qom Formation on geometry of the structures, Dokhan Area, West Saveh. *Geoscience* 24 (93), 235-244 (In Persian with English Abstract).
- Kouhestani, H., Ghaderi, M., Zaw, K., Meffre, S., Emami, M.H., 2011. Geological setting and timing of the Chah Zard breccia-hosted epithermal gold–silver deposit in the Tethyan belt of Iran. *Mineralium Deposita*. 47(2011), 425-440. <https://doi.org/10.1007/s00126-011-0382-3>.
- 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>.
- Muntean, J.L., Kesler, S.E., Russell, N., Polanco, J., 1990. Evolution of the Monte Negro acid sulfate Au–Ag deposit, Pueblo Viejo, Dominican Republic – important factors in grade development. *Economic Geology* 85, 1738–1758.
- Nouri, F., Azizi, H., Stern, R.J., Asahara, Y., Khodaparast, S., Madanipour, S., Yamamoto. K., 2018. Zircon U-Pb dating, geochemistry and evolution of the Late Eocene Saveh magmatic complex, Central Iran: partial melts of sub-continental lithospheric mantle and magmatic differentiation. *Lithos* 314–315(2018): 274-292. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.06.013>.
- Pirajno, F., 2009. *Hydrothermal processes and mineral systems*. Springer, Berlin, 1250 pp. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8613-7>.
- Rajabpour, Sh., Behzadi, M., Jiang, Sh-Y., Rasa, I., Lehmann, B., Ma, Y., 2017. Sulfide chemistry and sulfur isotope characteristics of the Cenozoic volcanic-hosted Kuh-Pang copper deposit, Saveh county, NW central Iran. *Ore Geology Reviewe* 86(2017), 563–583. <https://www.researchgate.net/publication/314175070>.
- Richards, J., Wilkinson, D., Ulrich, T., 2006. Geology of the Sari Gunay epithermal gold deposit, northwest Iran. *Economic Geology*. 101(8),1455-1495. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.101.8.1455>.
- Richards, J.P., 2015. Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: from subduction to collision. *Ore Geology Reviw*e 70(2015), 323–345.
- Richards, J.P., Sholeh, A., 2016. The Tethyan tectonic history and Cu-Au metallogeny of Iran. In: Richards, J.P. (Ed.), *Tectonics and Metallogeny of the Tethyan Orogenic Belt: Society of Economic Geologists Special Publication* 19(2016), 193–212.
- Roedder, E., 1984. *Fluid Inclusions*. Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, 644 p.
- 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.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. Alderton, D.H., 1985. *A practical guide to fluid inclusion studies*. Blackie Academic & Professional (an Imprint of Chapman & Hall), p. 224.
- Simmons, S.F., Simpson, M.P. Mauk, J., 2000. The mineral products of boiling in the golden cross epithermal deposit. *New Zealand Minerals and Mining Conference Proceedings* 209-216.
- Sillitoe, R.H., Hedenquist, J.W., 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions and epithermal precious metal deposits. *Society of Economic Geologists Special Publication* 10(2003), 315–343. <https://doi.org/10.5382/sp.10.16>.
- 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>.
- Wang, L., Qin, K.Z., Song, G.X., Li, G.M., 2019. A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification. *Ore Geology Reviews* 107 (2019) 434–456. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.023>.
- Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95, 185–187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposit. *Lithos* 55, 229–72.