

## Geology, mineralization and fluid inclusion studies of the South Ghabaqloujeh gold deposit, southwest Saqqez (Kurdistan)

Shojaeddin Niroomand<sup>1\*</sup>, Mina Nemati<sup>1</sup>, Hossein Ali Tajeddin<sup>2</sup>

1-Department of Geology, Tehran University, Tehran, Iran

2-Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

**Keywords:** Orogenic gold, Fluid inclusion, South Ghabaqloujeh, Saqqez, Sanandaj-Sirjan Zone

### 1-Introduction

Orogenic gold deposits are one of the most important types of gold resources in metamorphic belts that are formed by orogenic processes and contain more than half of the world's gold production. The folded and orogenic belts, which occur on the active continental margins, are suitable geological environments for the formation of these deposits (Groves et al., 1998, 2003; Goldfarb et al., 2005; Goldfarb and Groves, 2015). The Sanandaj-Sirjan metamorphic Zone, which conforms to the accretionary prism in convergent margin, has provided a favorable location for orogenic gold deposits.

Mineral exploration studies conducted by the Geological Survey of Iran in the northwest of the Sanandaj-Sirjan area in the last 20 years have led to the discovery of 10 gold deposits in the Saqqez-Piranshahr area, which among them we can mention the orogenic gold deposits of Kervian (Heidari, 2004; Aliyari et al., 2009; Heidari et al., 2016), Qolqoleh (Aliyari et al., 2009; Heidari et al., 2016), Kasnazan (Tajeddin, 2011) and Kharapeh (Niroomand, 2010; Niroomand et al., 2011).

South Ghabaqloujeh gold deposit is located 28 km southwest of Saqqez in the northwestern Sanandaj-Sirjan Zone. The deposit was discovered in 2008 during a regional gold exploration campaign carried out by the Geological Survey of Iran (Tajeddin, 2008). Herein we present the geology, deformation, alteration, mineralogy and fluid inclusion petrography and microthermometry to constrain ore genesis of South Ghabaqloujeh area and help to exploration of this type of gold deposit in northwestern Sanandaj-Sirjan Zone.

### 2-Methodology

A field campaign and sampling were done during this study. Field studies include sampling of alteration and ore zones in the deposit, which more than 60 rock samples were taken from outcrops and trenches. Documentation of the mineralogy, textures and paragenesis of the South Ghabaqloujeh deposit is based on field observations and petrographic study of over 15 thin and 18 polished thin sections, supplemented by electron probe microanalysis (EPMA) at the Iranian Mineral Processing Research Center using a Cameca SX-100 electron microprobe (Table 4). To assess the geochemical characteristics of mineralization zone, 9 samples were chosen for major and trace-elements analysis. These samples selected from trenches and were determined for all samples by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-AES) at the Iranian Mineral Processing Research Center. Studies of fluid inclusions have been performed on 4 samples of siliceous ores. Micro-measurements were performed using Linkam THMSG600 model coupled to ZEISS microscope equipped with TMS94 thermal controller and LNP cooler at Iranian Mineral Processing Research Center.

### 3- Discussion and conclusion

The rocks in the deposit area predominantly consist of Precambrian and Cretaceous volcanosedimentary sequences of schist, phyllite and marble which intruded by granitoid bodies. The main gold reservoir in the deposit is hosted inside a lens-shaped granitic body that is intruded along a Northeast - Southwest shear zone.

\*Corresponding author: niroomand@ut.ac.ir

DOI: 10.22055/aag.2020.23876.1786

Received 2017-10-28

Accepted 2020-08-31

The high-grade gold ores belong to highly deformed mylonitic and ultramylonitic granitoid rocks which occurred as quartz-sulfide veins and veinlets at thicknesses less than 2 cm and associated with quartz, sericite-muscovite, carbonate and sulfide alteration minerals. Ore mineral assemblages of the deposit are simple and consist of pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, magnetite, electrum, bismuthinite and sylvanite. Electrum grains with less than 50 microns in size has been found as intergrowth with quartz, carbonite and biotite and also in the form of inclusion and veinlet in pyrites. Fluid inclusion studies indicate homogenization temperatures between 162 and 255°C and salinity between 0.6 to 17.08 wt% NaCl eq. The study shows the mixing of a hydrothermal fluid with moderate temperature and low salinity (metamorphic fluid-containing CO<sub>2</sub>) with another isothermal and lower salinity fluid which can be consistent with a combination of dilution and mixing processes. The study indicates that main characteristics of the geology and mineralization of the South Ghabaqloujeh gold deposit is similar to orogenic gold deposits.

## References

- Aliyari, F., Rastad, E., Mohajjel, M., Arehart, G.B., 2009. Geology and geochemistry of D–O–C isotope systematics of the Qolqoleh gold deposit, Northwestern Iran: Implications for ore genesis. *Ore Geology Reviews* 36, 306–1314.
- Goldfarb, R.J., Baker, T., Dube, B., Groves, D.I., Hart, C.J.R., Gosselin, P., 2005. Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. *Economic Geology*, 100th Anniversary, p. 407–450.
- Goldfarb, R.J., Groves, D.I., 2015. Orogenic gold: common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos* 233, 2–26.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., Robert, F., 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews* 13, 7–27.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Robert, F., Hart, C.J.R., 2003. Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research and exploration significance. *Economic Geology* 98, 1–29.
- Heidari, S.M., 2004. Mineralogy, geochemistry and fabrics of gold mineralization in ductile shear zone of Kervian deposit, Southwest of Saqqez. Unpublished M.S Thesis, Tarbiat-Modares University, Tehran, Iran.
- Heidari, S.M., Moosavi Makooi, S.A., Mirzakhani, M., Rasoli, F., Ghaderi, M., Abadi, A.R., 2016. A review of tectono-magmatic evolution and gold metallogeny in the inner parts of Zagros orogeny: A tectonic model for the major gold deposits, western Iran. *Eurasian Mining* 25(1), 3–20.
- Niroomand, Sh., Goldfarb, R.J., Moore, F., Mohajjel, M., Marsh, E.E., 2010. The Kharapeh orogenic gold deposit: Geological, structural, and geochemical controls on epizonal ore formation in west Azerbaigan Province, northwest Iran. *Mineralium Deposita* 46, 409–428.
- Niroomand, S., 2011. The study of geology, mineralogy, geochemistry and genesis of Kharapeh–Zinonjian gold deposit (NW Piranshahr–West Azarbaijan Province). Unpublished PhD Thesis, Shiraz University, Iran.
- Tajeddin, H., 2011. Ore controlling parameters of gold mineralization in the metamorphic rocks of Sagez-Sardasht area, NW Sanandaj-Sirjan zone. Unpublished Ph.D. Thesis, Tarbiat-Modares University, Tehran, Iran.
- Tajeddin, H.A., 2008. Exploration and introduction of the gold mineralization at the Southern Ghabaqloujeh area (SW of Saqqez, Kordestan). Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.

## HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Niroomand, Sh., Mina, N., Tajeddin, H.A., 2021. Geology, mineralization and fluid inclusion studies of the South Ghabaqloujeh gold deposit, southwest Saqqez (Kurdistan). *Adv. Appl. Geol.* 10(4), 652–668.

DOI: 10.22055/AAG.2020.23876.1786

url: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_15848.html?lang=en](https://aag.scu.ac.ir/article_15848.html?lang=en)

## زمین‌شناسی، کانه‌زایی و مطالعه میانبارهای سیال در کانسار طلای قبغلوچه جنوبی، جنوب غرب سقز (کردستان)

شجاع‌الدین نیرومند\*

دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مینا نعمتی

دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

حسینعلی تاج‌الدین

گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۰

\*niroomand@ut.ac.ir

### چکیده

کانسار طلای قبغلوچه جنوبی در شمال غرب پهنه دگرگونی سنندج - سیرجان و در ۲۸ کیلومتری جنوب غرب سقز واقع شده است. واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده کانسار، مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی دگرگون شده متعلق به پرکامبرین و کرتاسه شامل شیست، فیلیت و مرمر می‌باشند که توسط توده‌های گرانیتوئیدی قطع شده‌اند. در این مقاله با استفاده از مشاهدات صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی (از جمله پتروگرافی پهنه‌های کانه‌دار، کانه‌نگاری کانسنگ‌های طلا دار و مطالعه میانبارهای سیال)، ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی طلا در کانسار طلای قبغلوچه جنوبی مطالعه و بررسی شده است. بخش اصلی کانی‌سازی طلا در داخل یک توده گرانیتوئیدی عدسی شکل، که در امتداد یک پهنه بُرشی با راستای شمال شرق - جنوب غرب تزریق گردیده، متمرکز شده است. بخش‌های پرعبار کانسنگ مربوط به بخش‌های شدیداً دگرشکل و دگرسان شده از توده گرانیتوئیدی می‌باشند که واجد فابریک‌های میولنیتی - اولترامیولنیتی بوده و با مجموعه‌ای از کانی‌های دگرسانی کوارتز، سرسیت - موسکویت، کربنات و سولفید همراه هستند. کانی‌شناسی کانسنگ ساده و شامل کانی‌های اولیه پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، مگنتیت، الکتروم، بیسموتینیت و سیلوانیت می‌باشد. الکتروم در اندازه‌های کوچک‌تر از ۵۰ میکرون، به صورت آزاد در کوارتز، کربنات و بیوتیت و نیز به صورت ادخال و رگچه‌ای در پیریت مشاهده شده است. مطالعه میان‌بارهای سیال اولیه بر روی کوارتزهای کانسنگ‌های طلا دار، بیانگر دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع در بازه ۱۶۲ تا ۲۵۵ درجه سانتی‌گراد و شوری ۰/۶ تا ۱۷/۱ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد که با ترکیبی از فرآیندهای رقیق‌شدگی و اختلاط سازگار است. برای میانبارهای سیال دو فازی مایع CO<sub>2</sub> دار، دمای همگن‌شدگی در محدوده ۳۰۷ تا ۳۹۷ درجه سانتی‌گراد و شوری ۵/۵ تا ۱۴/۴ درصد وزنی معادل نمک طعام اندازه‌گیری شده است. ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی طلا در کانسار قبغلوچه جنوبی، بیشترین شباهت را با دیگر ذخایر طلای کوهزایی در محدوده سقز - سردشت (از جمله قلقله و کرویان) نشان می‌دهد. بدیهی است که مطالعه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی طلا در محدوده کانسار قبغلوچه، می‌تواند در اکتشاف ذخایر مشابه در شمال غرب پهنه سنندج - سیرجان مورد استفاده قرار گیرد.

**کلمات کلیدی:** طلای کوهزایی، میان‌بارهای سیال، قبغلوچه جنوبی، سقز، پهنه سنندج - سیرجان

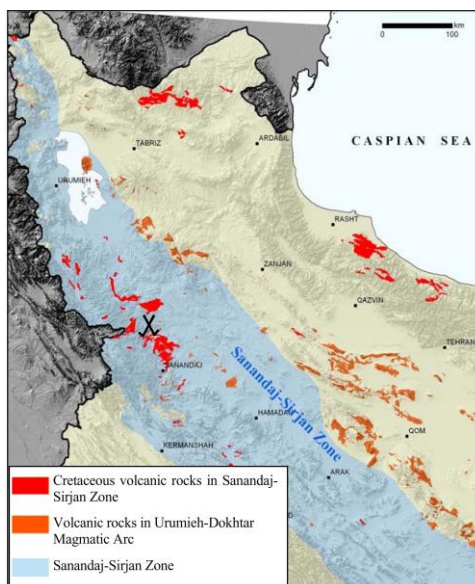
### مقدمه

آورده است. مطالعات اکتشافی که در ۲۰ سال اخیر توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در شمال غرب پهنه سنندج - سیرجان به انجام رسیده است به اکتشاف ۱۰ کانسار طلا در محدوده سقز - پیرانشهر منجر شده است که از آن میان می‌توان به کانسارهای طلای کوهزایی کرویان (Heidari, 2004)، قلقله (Aliyari et al., 2009; Heidari et al., 2016) و خراپه (Niroumand et al., 2011) و (Niroomand, 2010) اشاره داشت. کانسار طلای قبغلوچه جنوبی که در ۲۸ کیلومتری جنوب غرب سقز، استان کردستان قرار دارد (شکل ۱)، یکی از ذخایر طلای شناسایی شده در شمال غرب پهنه سنندج - سیرجان است، که در راستای عملیات اکتشافی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور شناسایی و معرفی شده است (Tajeddin, 2011).

کانسارهای طلای کوهزایی، یکی از مهم‌ترین انواع ذخایر طلا در کمربندهای دگرگونی می‌باشند که در پی فرآیندهای کوهزایی تشکیل شده و بیش از نیمی از طلای تولیدی جهان را به خود اختصاص داده‌اند. از جمله محیط‌های زمین‌شناسی مستعد این تیپ از کانی‌سازی، موقعیت‌های مرتبط با کمربندهای چین‌خورده و کوهزایی است که در حاشیه فعال قاره‌ای رخ می‌دهد (Groves et al., 1998, 2003; Goldfarb et al., 2005; Goldfarb and Groves, 2015). در ایران، با توجه به موقعیت ژئودینامیکی پهنه دگرگونی سنندج - سیرجان و قرار داشتن آن در موقعیت منشورهای برهم افزاینده (accretionary prisms) حاشیه قاره‌ای فعال (Sheikholeslami, 2002)، این پهنه موقعیت مناسبی را برای تشکیل ذخائر طلای تیپ کوهزایی فراهم

کانسار طلای قبغلوچه جنوبی مطالعه گردیده و با توجه به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌ساز، چگونگی نهشت کانسنگ و تیپ کانی-سازی بررسی شده است. بدیهی است که مطالعه ویژگی‌های زمین-شناسی و کانه‌زایی این کانسار می‌تواند برای اکتشاف این نوع از کانسارهای طلا در بخش‌هایی از شمال غرب پهنه سنندج - سیرجان، که شرایط زمین‌شناسی مشابهی دارند، مورد استفاده قرار گیرد.

در سال‌های گذشته تعدادی از کانسارهای طلا در محدوده سقز- سردشت از جمله قلقله (Aliyari et al., 2009; Heidari et al., 2016)، کسنزان و میرگه‌نقشینه (Tajeddin, 2011) مورد مطالعه قرار گرفته و به‌عنوان ذخایر طلای تیپ کوهزایی معرفی شدند. در پژوهش حاضر، برای اولین بار ویژگی‌های زمین-شناسی، دگرشکلی، دگرسانی، کانی‌شناسی و میان‌بارهای سیال در



شکل ۱- موقعیت کانسار طلای قبغلوچه جنوبی (با علامت چکش) در پهنه دگرگونی سنندج - سیرجان.

Fig. 1. Location of the South Ghabaqloujeh gold deposit (crossed hammer) in the Sanandaj-Sirjan metamorphic Zone.

مطالعات میان‌بارهای سیال بر روی ۴ نمونه از کانسنگ‌های سیلیسی انجام شده است. اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی با استفاده از دستگاه میان‌بار سیال مدل Linkam THMSG600 متصل به میکروسکوپ ZEISS و مجهز به کنترل‌کننده حرارتی TMS94 و سردکننده LNP در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شده است. دامنه حرارتی دستگاه، ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. کالیبراسیون دستگاه در مرحله گرمایش با دقت  $\pm 0.6$  درجه است که با نیترات سزیم با نقطه ذوب ۴۱۴ درجه سانتی‌گراد و در مرحله سرمایش با دقت  $\pm 0.2$  درجه سانتی‌گراد و با ماده استاندارد آن هگزان (n-Hexane) با نقطه ذوب ۹۴/۳- درجه سانتی‌گراد انجام شد. میزان شوری به‌صورت معادل درصد وزنی نمک طعام (wt. % NaCl) و از طریق دمای ذوب آخرین قطعه یخ (Tm-ice) با استفاده از فرمول ارائه‌شده توسط Hall و همکاران (1988) و مقایسه با روش Sterner و همکاران (1988) محاسبه شده است.

### زمین‌شناسی

کانسار طلای قبغلوچه جنوبی، در شمال غرب پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان (شکل ۱) و در زیرپهنه با دگرشکلی پیچیده، که از سنگ‌های دگرگون و شدیداً دگرشکل شده تشکیل شده است، (Mohajjel

### روش مطالعه

پژوهش در دو بخش مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده است. مطالعات صحرایی شامل مشاهدات زمین‌شناسی و برداشت نمونه از پهنه‌های دگرسانی و کانسنگی در محدوده کانسار می‌باشد. در این مرحله بالغ بر ۶۰ نمونه سنگی از رخنمون‌ها و ترانشه‌ها برداشت و به آزمایشگاه‌های مربوطه ارسال گردید. در مرحله مطالعات آزمایشگاهی، پس از بررسی‌های مقدماتی، از میان نمونه‌های برداشت‌شده، تعداد ۱۵ مقطع نازک، ۱۸ مقطع نازک - صیقلی و ۴ مقطع دو بر صیقلی تهیه و به‌لحاظ ویژگی‌های سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری، ساخت، بافت و میان-بارهای سیال مطالعه شدند. به‌منظور مطالعات زمین‌شیمی کانسار، از زون‌های کانسنگی رخنمون یافته در امتداد ترانشه‌ها ۹ نمونه برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده با استفاده از روش Fire Assay (برای طلا) و ICP-OES (برای سایر عناصر) در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران آنالیز شدند (جدول ۱). همچنین به منظور شناسایی نوع و شیمی کانه‌های موجود در کانسنگ‌های طلا دار، ۲ نمونه حاوی کانه‌های سولفیدی و طلا انتخاب و در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران، توسط دستگاه الکترون میکروپروب مدل EPMA Cameca SX-100، ساخت کشور فرانسه آنالیز و مطالعه شدند (جدول ۲).

رنگ بوده است که در اثر دگرگونی ناحیه‌ای، به فیلیت با درون لایه-هایی از آهک دگرگون شده (مرمر) تبدیل شده‌اند. فیلیت‌ها میزبان رگه‌های کوارتزی دگرگون‌زاد در ضخامت چند میلی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر می‌باشند که فاقد کانه فلزی بوده و به صورت عدسی‌های موازی با برگوارگی مشاهده می‌شوند. بخش‌های فیلیتی عموماً از کانیهای کوارتز، فلدسپات و میکا تشکیل شده و برگوارگی نسبتاً مشخصی به موازات سطح محوری چین‌های منطقه، با امتداد شمال-شرق- جنوب‌غرب و شیبی به سمت شمال‌غرب را نشان می‌دهند. کانی‌های تشکیل دهنده برونزدهای فیلیتی شامل کوارتز، فلدسپات، کلریت، موسکویت- سربیسیت، بیوتیت و مواد آلی می‌باشند.

- **واحد K<sup>1</sup>**: این واحد به صورت درون لایه‌هائی در داخل واحد فیلیتی (K<sup>ph</sup>) مشاهده می‌شوند. میان‌لایه‌های مذکور، با رنگ ظاهری خاکستری روشن تا کرم، بیشتر از آهک‌های بلورین متوسط تا ضخیم لایه و توده‌ای تشکیل شده‌اند و همراه با فیلیت‌های دربردارنده، در مقیاس‌های مختلف چین خورده و طاق‌دیس و ناودیس‌هائی را تشکیل می‌دهند که سطوح محوری آنها به موازات برگوارگی غالب منطقه است. Babakhani و همکاران (2003)، برپایه فسیل‌های شناسائی شده در میان لایه‌های آهکی مذکور، که در خارج از محدوده مورد مطالعه درجات کمتری از دگرگونی را تحمل کرده‌اند، سن آپتین- آلبین را برای این واحدهای K<sup>ph</sup> و K<sup>ph</sup> پیشنهاد کرده‌اند.

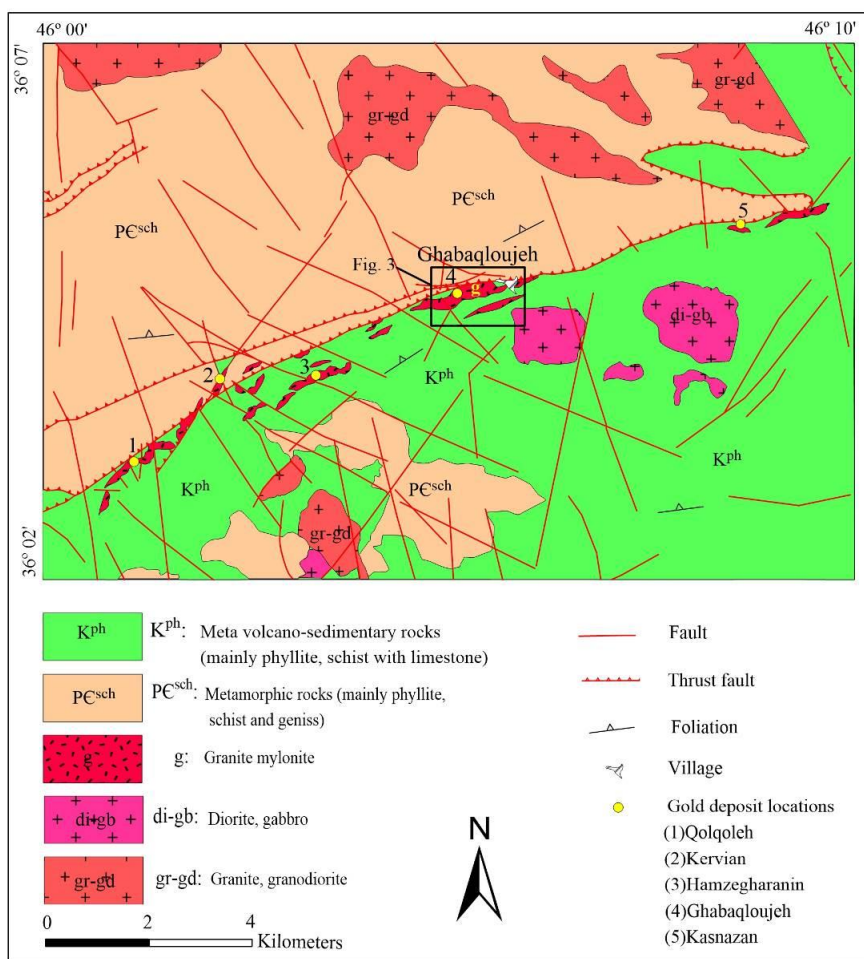
- **گرانیتوئیدهای میلونیتی (mgr)** در محدوده کانسار قبغلوچه جنوبی، تعدادی گرانیتوئید دوکی شکل با ترکیب گرانیت تا مونوزوگرانیت تزریق شده‌اند که با طول‌های چند ده تا چند صد متر در راستای پهنه بُرش قفله - کسنزان امتداد دارند. براساس مطالعات میکروسکوپی، کانی‌های اصلی و سازنده توده گرانیتوئیدی را بلورهای فلدسپار آلکالن، پلاژیوکلاز و کوارتز تشکیل می‌دهند. بافت اولیه سنگ، گرانولار است که در اثر عملکرد فرایندهای دگرشکلی بافت کاتاکلاستیک و فابریک میلونیتی نشان می‌دهند ( شکل ۵). آلکالی- فلدسپارها از نوع میکروکلین هستند که گاه با بافت‌های پرتیتی و کمتر آنتی‌پرتیتی همراهند. در بخش‌های کانسنگی، که با دگرشکلی شدید میلونیتی و دگرسانی گرمایی همراه است، علاوه بر گسترش خردشدگی و ایجاد بافت کاتاکلاستیک و تبلور محدد دینامیکی در بلورها، جابجائی ماکلی و نیز خمیدگی (kinkband) در ماکل‌های پلاژیوکلاز مشاهده شده است. کوارتزها اغلب تبلور مجدد یافته و با رشد توأم و خاموشی موجی دیده می‌شوند. علاوه بر رخداد فابریک-های میلونیتی و اولترامیلونیتی، با دگرسانی‌های سیلیسی، کربناتی، سولفیدی و سربیسیتی همراه می‌باشند. شواهد به دست آمده از مطالعات صحرایی و میکروسکوپی، حاکی از آن است که این نفوذی‌ها به صورت همزمان با تکتونیک پالئوسن، در پهنه بُرش قفله- کسنزان تزریق شده‌اند (Tajeddin, 2011).

(et al., 2003) قرار دارد. این کانسار در جنوب‌غرب نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ ورقه سقر (Babakhani et al., 2003) واقع است. رخنمون‌های سنگی محدوده کانسار، مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده با ترکیب سنگ‌شناختی کلریت شیست، گنایس و متاریولیت منسوب به پرکامبرین (واحد PC<sup>sch</sup>) و فیلیت همراه با میان لایه‌های مرمری با سن کرتاسه (واحد K<sup>ph</sup>) را شامل می‌شود که توسط گامه‌های مختلفی از توده‌های گرانیتوئیدی قطع شده‌اند. واحدهای رخنمون یافته در محدوده، چندین فاز دگرشکلی از جمله چین خوردگی، شکستگی و میلونیتی شدن مرتبط با عملکرد پهنه برشی را نشان می‌دهند. زون اصلی کانی سازی طلا در محدوده کانسار قبغلوچه جنوبی، منطبق بر یک پهنه برشی دگرسان شده با راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب (N55-75E) و شیب عمومی ۳۰ تا ۵۰ درجه به سمت شمال‌غرب می‌باشد (شکل ۲). این پهنه که به نام پهنه برشی قفله- کسنزان معرفی شده است (Tajeddin, 2011)، با طول حدود ۲۰ کیلومتر، از غرب روستای قفله تا شرق روستای کسنزان تداوم دارد. پهنه برشی مذکور در ارتباط با یک گسل تراستی از نوع راستالغز چپ‌بُر با مؤلفه معکوس می‌باشد که واحد کلریت شیستی منسوب به پرکامبرین را بر روی فیلیت‌های کرتاسه قرار داده است (شکل‌های ۲ و ۳). فعالیت‌های ماگمایی پس از کرتاسه، با نفوذ توده گرانیتوئیدی متعلق به پالئوسن با ترکیب گرانیت تا کوارتز مونوزونیت در راستای پهنه برشی مشخص می‌شود (Tajeddin, 2011). توده گرانیتوئیدی مذکور میزبان کانسنگ‌های طلا بوده و حجم اصلی ذخیره را دربر دارد. به‌طور خلاصه زمین‌شناسی واحدهای سنگی در محدوده کانسار قبغلوچه جنوبی به شرح زیر می‌باشد (شکل ۳).

- **واحد PC<sup>sch</sup>**: این واحد با رنگ سبز تیره و برگوارگی واضح گسترش قابل توجهی در بخش شمالی محدوده کانسار را داراست. سنگ‌شناسی واحد PC<sup>sch</sup> اساساً از کلریت شیست همراه با میان لایه‌هایی از میکاشیست و متاآندزیت می‌باشد که با یک مرز تراستی بر روی ترادف‌های آتشفشانی - رسوبی کرتاسه قرار گرفته است. روند عمومی برگوارگی کلریت شیست‌های محدوده، شمال‌شرق- جنوب‌غرب (N55-75E) با شیب ۳۰ تا ۷۰ درجه به سوی شمال‌غرب می‌باشد. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده این واحد به ترتیب فراوانی شامل پلاژیوکلاز (اولیگوکلاز- آندزین سدیک) و کوارتز با رشد توأم و موزاییکی کلریت، سربیسیت، کربنات و مقادیر ناچیزی بیوتیت است که مجموعاً از جهت‌یافتگی عمومی برگوارگی دگرگونی تبعیت می‌کنند. بررسی شواهد صحرایی و رخنمون‌های سطحی حاکی از آن است که این واحد توسط دایک‌های آندزیتی با ضخامت‌های کمتر از یک متر قطع شده است.

- **واحد K<sup>ph</sup>**: این واحد با رنگ خاکستری تیره و جلای درخشان میزبان اصلی گرانیتوئیدهای کانه‌دار بوده و گسترش وسیعی در بخش جنوبی محدوده مورد مطالعه دارد. سنگ مادر واحد K<sup>ph</sup>، ترادف‌های ضخیمی از شیل‌های سیلیتی، شیل‌های کربن‌دار، تناوب شیل و آهک، لایه‌های ضخیم آهکی و آهک دولومیتی خاکستری





شکل ۲- نقشه زمین شناسی محدوده کانسارهای طلا در پهنه برشی قلقله-کسنزان (Tajeddin, 2011). موقعیت محدوده قبغلوچه در چهار گوش مشکی (شکل ۳) نشان داده شده است.

Fig. 2. Geological map showing gold deposits on the Qolqouleh-Kasnazan shear zone (Tajeddin, 2011). Outlined rectangle is the Ghabaqloujeh gold area shown in Fig. 3.

آنالیز نمونه‌های کانسنگی حاکی از آن است که علاوه بر طلا و نقره، عناصر سرب (تا ۲۷۶۸ ppm)، روی (تا ۲۹۲ ppm) و آرسنیک (تا ۱۳۶ ppm) ناهنجار بوده و تمرکزهای نسبتاً بالایی را در همراهی با کانسنگ‌های طلا دار نشان می‌دهند.

حجم و عیار کانی‌سازی طلا در کانسار قبغلوچه جنوبی، به واسطه ساختارهای میزبان کانه‌زایی و شیوه دگرشکلی کنترل می‌شود. در سنگ‌های گرانیتوئیدی میزبان کانسنگ، تجمع کانه‌های فلزی، که به صورت رگه و رگچه‌های کوارتز - کربنات - سولفید رخداد دارند، در ساختارهای میلونیتی تا اولترامیلونیتی به شدت دگرسان شده مشاهده می‌شود (شکل ۴). کانسنگ‌های طلا دار، بیشتر با دگرسانی‌های سیلیسی، کربناتی، سولفیدی و سریسیتی همراه می‌باشند. دگرسانی‌های مذکور در بخش‌هایی که متحمل دگرشکلی شدیدتری شده‌اند، از شدت بیشتر برخوردارند.

### دگرسانی

واحد گرانیت میلونیتی میزبان کانه‌سازی طلا، به واسطه رخداد فابریک‌های میلونیتی - اولترامیلونیتی و نیز تغییر رنگ ظاهری

### کانی‌سازی

بر اساس مطالعات و برداشت‌های صحرایی، کانسار طلای قبغلوچه جنوبی به صورت یک توده بیضوی شکل کشیده در طول حدود ۳۰۰ و پهنای ۱ تا ۳۰ متر می‌باشد که با راستای تقریباً شرقی- غربی، در سنگ‌های گرانیتوئیدی تزیق شده در واحد فیلیتی ( $K^{ph}$ ) رخ داده است (شکل ۳). کانسنگ‌های طلا دار به شدت میلونیتی و دگرسان بوده و مقدار طلا در بخش‌های مختلف کانسار، از ۰/۱ تا ۴/۵ گرم در تن اندازه‌گیری شده است (Tajeddin., 2008).

در این مطالعه، به منظور دستیابی به خصوصیات زمین‌شیمیایی کانسار قبغلوچه جنوبی، ۹ نمونه از گرانیتوئیدهای به شدت میلونیتی و دگرسان شده، که در داخل ترانشه‌های اکتشافی برونزد داشتند، برداشت و در آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران آنالیز شدند (جدول ۱). با توجه به نتایج آنالیز، بیشینه مقدار طلا و نقره در کانسنگ‌های طلا دار به ترتیب ۳/۲۱ و ۰/۲۳ گرم در تن اندازه‌گیری شده و نسبت طلا به نقره (Au:Ag)، حدود ۸ محاسبه شده است. مقادیر میانگین طلا و نقره در این کانسار به ترتیب ۰/۸ و ۰/۱۳ گرم در تن محاسبه شده است. نتایج

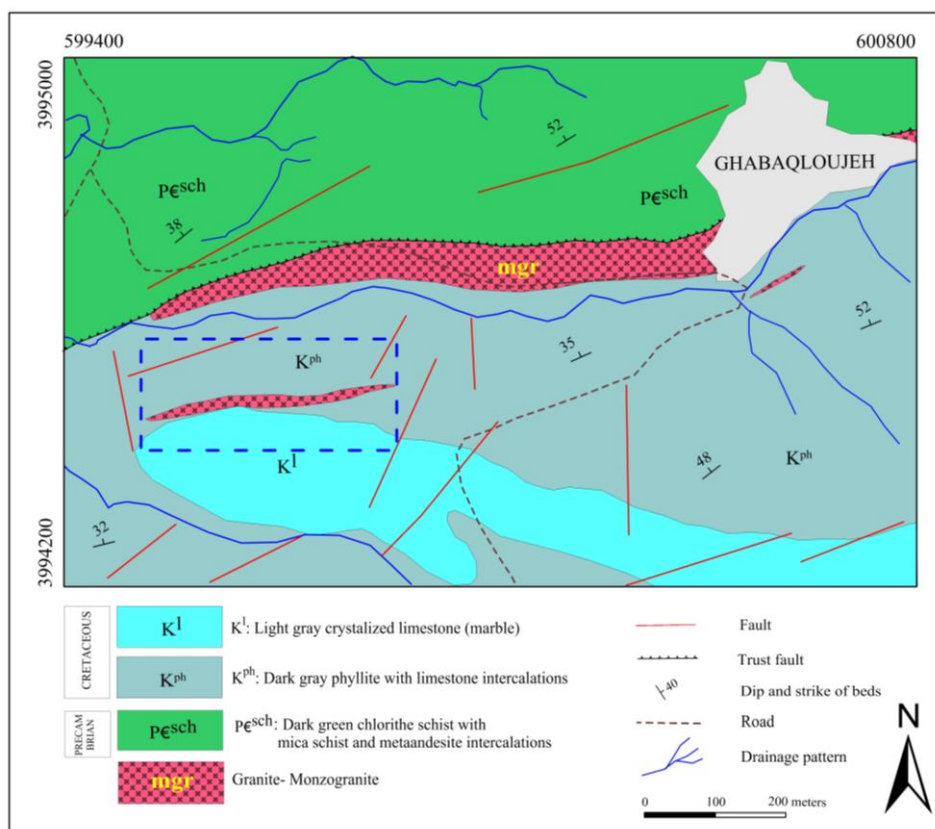
دگرسانی کربناتی به صورت رخداد کانی‌های کربناتی (بیشتر آنکزیت) و در همراهی با کوارتز، سریسیت، سولفیدها (و بیوتیت) تشکیل شده است. در آنکزیت‌ها ذرات الکتروم مشاهده شده است.

سریسیت و بیوتیت به عنوان محصولات فرعی دگرسانی (با فراوانی ۱ تا ۳ درصد)، کانی‌های اصلی دگرسانی را همراهی کرده‌اند. سریسیت به صورت کانی‌های ورقه‌ای شکل پراکنده در متن سنگ و در سیمای عمومی تر به صورت رشته‌های طویل و تاب‌دار در همراهی با سایر کانی‌های دگرسانی مشاهده شده است. بیوتیت نیز اغلب به صورت رشته‌های کوتاه در همراهی با کانی‌های دگرسانی سولفیددار، رخداد دارد.

دگرسانی (کانی‌سازی) سولفیدی، به صورت رخداد کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن) مشاهده شده است. سولفیدها معمولاً ۱ تا ۵ درصد از حجم کانسنگ را تشکیل داده و با افزایش شدت دگرشکلی و شدت دگرسانی‌های سیلیسی، کربناتی و سریسیتی، بر مقدار سولفیدها نیز افزوده می‌شود (شکل ۵). بیشتر ذرات الکتروم در پیریت‌ها مشاهده شده‌اند.

حاصل از عملکرد سیالات گرمایی، که به دگرسانی سنگ‌ها منجر شده است، از سنگ‌های فیلیتی میزبان کانی‌سازی متمایز است. دگرسانی‌های رخ داده در محدوده کانسار انواع سیلیسی، کربناتی، سولفیدی و سریسیتی را شامل می‌شود. مقایسه نتایج آنالیز طلا و پتروگرافی ترانشه‌ها نشان می‌دهد که مقادیر بالاتر طلا (بیش از ۰/۱ گرم در تن) با بخش‌های دگرشکل و دگرسان شده از پهنه بُرشی، که معمولاً با مقادیر قابل توجهی از کانی‌های کوارتز، کربنات و کانه‌های سولفیدی همراهند، در ارتباط است (شکل‌های ۴ و ۵).

دگرسانی سیلیسی اصلی‌ترین نوع دگرسانی در کانسنگ‌های طلا دار محدوده قبغلوچه جنوبی می باشد که به صورت رگه و رگچه‌های سیلیسی سولفیددار سفید رنگ در گرانیتهای میزبان رخ داده است. این دگرسانی در بخش‌های حاشیه‌ای توده میزبان کانی‌سازی، که متحمل دگرشکلی شدیدتری شده‌اند (میلونیت - اولترامیلونیت)، از شدت بیشتر برخوردار است. کوارتزها و دیگر محصولات دگرسانی در فضاهای حاصل از میلونیتی شدن سنگ میزبان تمرکز دارند. کوارتزها میزبان بیشترین ذرات الکتروم می‌باشند.



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی محدوده قبغلوچه. موقعیت کانسار قبغلوچه جنوبی با مستطیل آبی رنگ مشخص شده است.

Fig. 3. Geological map of the South Ghabaqloujeh gold deposit. Outlined blue rectangle is the South Ghabaqloujeh gold deposit.



شکل ۴- نمونه‌ای از کانسنگ طلا، که با دگرسانی‌های سیلیسی- کربناتی- سریسیتی و تمرکز کانه‌های سولفیدی (عمدتاً پیریت Py) همراه است.  
 Fig. 4. Landview of gold-bearing quartz-carbonate-sericite altered sample which associated with sulfide ores (mainly pyrite).

جدول ۱- نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده از کانسنگ‌های طلا دار در کانسار قبعلوجه جنوبی. فراوانی عناصر برحسب گرم در تن (ppm) است. طلا به روش Fire Assay و سایر عناصر به روش ICP-OES آنالیز شدند.

Table 1. Geochemical data of gold-bearing ore samples from the South Ghabaqloujeh deposit. All data in ppm. Gold analyzed by fire assay and other elements by ICP-OES method.

Sample No.	Ag	As	Au	Bi	Cu	Hg	Mo	Pb	S	Sb	Zn	Au/Ag
GH-101	0.08	74	0.33	0.07	19	0.1	0.08	77	1.65	2	150	4.1
GH-103	0.05	136	0.42	0.06	31	0.1	0.07	79	2.71	5	183	8.8
GH-104	0.07	33	3.21	0.07	11	0.2	1.00	45	1.06	1	82	45.2
GH-105	0.06	62	0.22	0.06	18	0.1	0.45	2768	0.98	10	184	3.7
GH-106	0.14	48	0.21	0.07	18	0.1	0.41	75	0.76	1	292	1.5
T21-S1	0.15	26	0.60	0.05	20	0.1	0.33	97	0.28	2	166	4.2
T21-S4	0.20	56	0.40	0.05	103	0.2	0.68	132	0.28	3	160	2.0
T21-S6	0.21	58	1.39	0.07	15	0.2	0.02	48	0.18	1	67	6.8
T21-QC	0.23	44	0.21	0.10	17	0.2	0.05	41	0.89	1	253	0.9

پیریت به‌عنوان فراوان‌ترین کانه سولفیدی، معمولاً ۱ تا ۵ درصد از حجم کانسنگ و بیش از ۹۰ درصد محتوای کانه‌های سولفیدی را تشکیل داده است (شکل ۶). پیریت‌ها به تبعیت از فضای تشکیل، به صورت بی‌شکل تا خود شکل و گاه به صورت کشیده و طویل شده و در اندازه‌های کوچکتر از ۱۰ میکرون تا ۵ میلی‌متر مشاهده می‌شود. براساس روابط بافتی، پیریت‌ها بیشتر در ریزرگچه‌های قطع کننده کانسنگ و در همراهی با کانی‌های کوارتز، کربنات (آنکریت و کلسیت)، سریسیت - موسکویت تشکیل شده‌اند (شکل ۶). پیریت‌ها با سایر کانه

### ساخت، بافت و کانی‌شناسی

اصلی‌ترین ساخت و بافت‌های کانسنگ‌های طلا دار، میلونیتی و اولترامیلونیتی می‌باشد (شکل ۵) که با فابریک‌های غالب شکنا (ductile) به صورت رخداد رگه و رگچه‌های کوارتز - سولفیدی در ضخامت‌های کمتر از دو سانتی‌متر در گرانیتوئیدهای دگرشکل و دگرسان شده میزبان رخ داده‌اند. براساس مطالعات پتروگرافی و کانه‌نگاری نمونه‌های کانسنگی، کانی‌های فلزی موجود در کانسار ساده بوده و شامل کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، مگنتیت، الکتروم، بیسموتینیت و سیلوانیت و ترکیبات هیدروکسیدی آهن می‌باشند.



همراهی با ذرات الکتروم و به صورت آزاد در زمینه کوارتزی و نیز به صورت مینابر در پیریت‌ها مشاهده شده‌اند (شکل‌های e۶ و f۶).

هوازدهی سبب اکسایش کانه‌های سولفیدی (عمدتاً پیریت) و تشکیل ترکیبات هیدروکسیدی آهن شده است. با توجه به روابط بافتی و کانی-شناسی نمونه‌های کانسنگی، توالی پاراژنزی کانی‌ها در کانسار طلائی قبعلوجه جنوبی در شکل ۷ ترسیم شده است. براساس بررسی‌های صحرایی، نمونه‌های دستی و میکروسکوپی، توالی پاراژنزی کانی‌های موجود در کانسار قبعلوجه جنوبی را می‌توان به دو مرحله کانی‌سازی و هوازدهی (Oxidation) تقسیم کرد. مرحله کانی‌سازی (طلا) در ارتباط مستقیم با دگرسانی گرمایی و تشکیل کانی‌های کوارتز، کربنات، سریست/موسکویت و کانی‌های سولفیدی است. در این مرحله سیالات گرمایی کانه‌دار در کنش با پهنه برشی میزبان کانی‌سازی، دگرسانی سنگ‌های گرانیتوئیدی میزبان کانسنگ را موجب شده است، که در طی آن، کانه‌های فلزی (عمدتاً سولفیدها همراه با مگنتیت و الکتروم) به صورت رخداد رگه و رگچه‌های کوارتز، کربنات-سریست/موسکویت و سولفید نهشته می‌شوند. براساس مطالعات پتروگرافی و کانه‌نگاری کانسنگ‌های طلادار، مقدار کانی‌های فلزی در طی نهشت کانسنگ با شدت و مقدار کانی‌های دگرسانی (کوارتز، کربنات-سریست/موسکویت) ارتباط مستقیم دارد. در نمودار توالی پاراژنزی (شکل ۷)، ضخامت خطوط ترسیم شده برای هر کانی، معرف مقدار نسبی حضور آن کانی در مقاطع میکروسکوپی مورد مطالعه می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در مراحل اولیه کانی‌سازی، کانی‌های دگرسانی و به تبع آن کانی‌های سولفیدی، مگنتیت و الکتروم در مقادیر کم‌تر رخداد دارند ولی با افزایش شدت دگرسانی بر مقدار کانی‌های فلزی (از جمله الکتروم) افزوده می‌گردد. مرحله دوم کانه‌زایی مربوط به فرآیندهای سوپرژن و هوازدهی بوده که در طی آن، کانی‌های ثانویه (عمدتاً ترکیبات هیدروکسیدی آهن) تشکیل شده‌اند.

های سولفیدی، مگنتیت (و الکتروم) هم‌رشد بوده و گاه حاوی مینابرهایی از کالکوپیریت، گالن و الکتروم می‌باشند (شکل‌های b۶، e و g).

کالکوپیریت با فراوانی کم و به صورت کانی‌های بی‌شکل با اندازه‌های کوچک‌تر از ۳۰۰ میکرون در کانسنگ پراکنده است (شکل c۶). کالکوپیریت‌ها به صورت مینابرهای ریز (کوچکتر از ۱۰۰ میکرون) در پیریت‌های درشت بلور نیز مشاهده شده‌اند (شکل‌های b۶ و e).

گالن و اسفالریت در اندازه‌های کوچکتر از یک میلی‌متر و با فراوانی کم در کانسنگ حضور دارند. با توجه به روابط بافتی، این کانه‌ها اغلب به صورت هم‌زمان با پیریت‌ها و کانی‌های دگرسانی گرمایی تشکیل شده‌اند (شکل d۶).

مگنتیت به صورت بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و در اندازه‌های کوچکتر از ۱۲۰۰ میکرون و در همراهی با کانه‌های سولفیدی مشاهده شدند (شکل e۶).

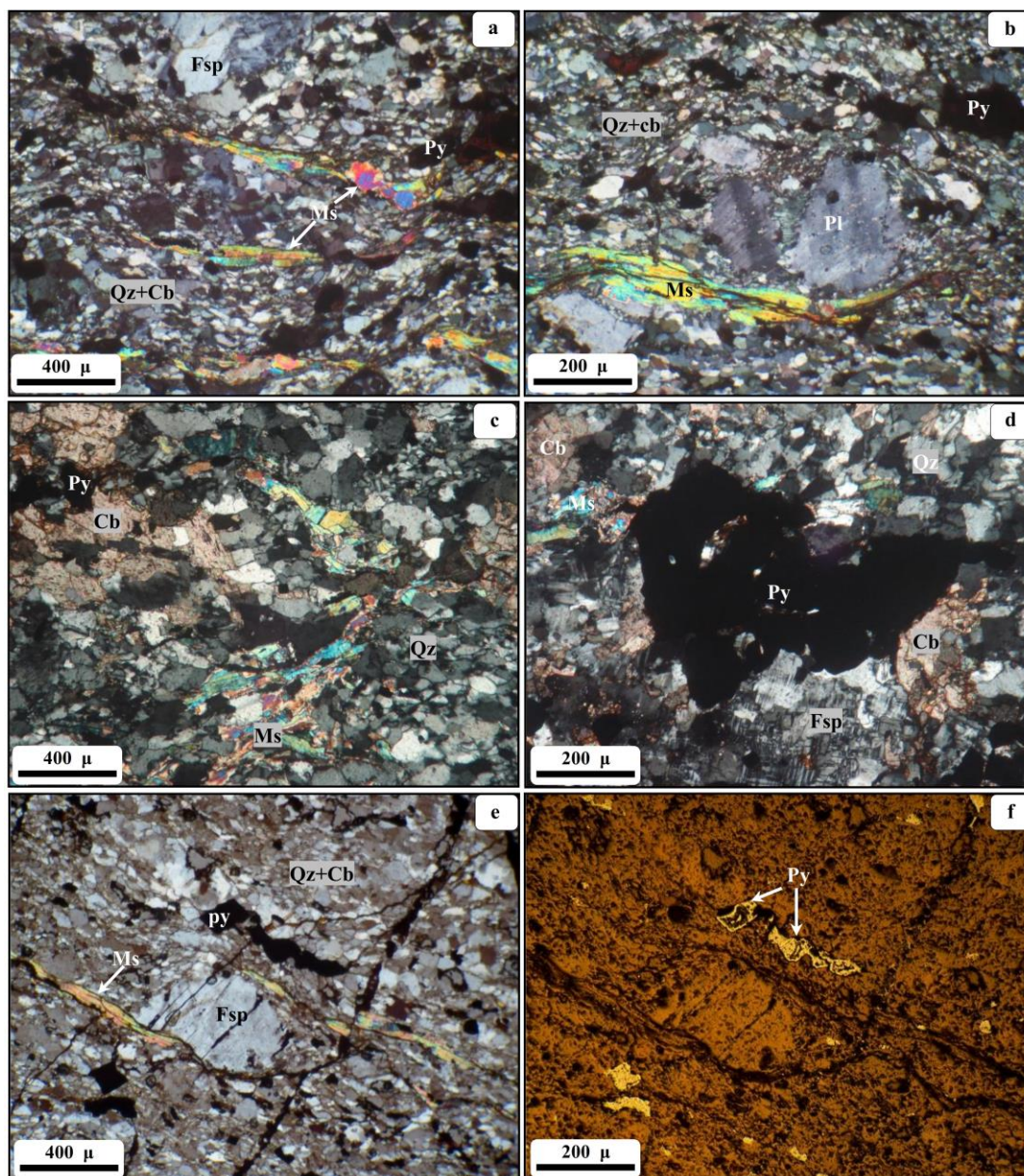
اکسیدهای تیتان (تیتانیت) با فراوانی ۱ تا ۳ درصد، به صورت ریزبلورهای کشیده و تیغه‌ای شکل هم‌رند با برگوارگی‌های میلی‌متری در مقاطع مشاهده شده‌اند.

نتایج مطالعات الکترون میکروپروب نشان‌دهنده حضور طلا به صورت الکتروم با نسبت طلا به نقره حدود ۵ می‌باشد. بر این اساس ترکیب الکتروم‌ها در محدوده ۶۹/۶ تا ۷۵/۴ درصد طلا و ۱۶/۸ تا ۱۹/۹ درصد نقره می‌باشد. الکتروم در اندازه‌های کوچک‌تر از ۵۰ میکرون، بیشتر به صورت آزاد در زمینه و یا مرز کانی‌های کوارتز و کربنات (آنکریت) مشاهده شده‌اند. مطالعات میکروسکوپی و تصاویر میکروسکوپ الکترونی BSE (Back Scattered Electrons) نشان داد که بخشی از الکتروم‌ها به صورت مینابر و نیز رگچه‌ای در پیریت‌ها حضور دارند (شکل‌های f۶ - i۶). همچنین بیسموتینیت و سیلوانیت، با اندازه‌های کوچکتر از ۳۰ میکرون، از دیگر کانی‌های مشاهده شده در کانسنگ‌های طلادار می‌باشند که در

جدول ۲- نتایج آنالیز الکترون میکروپروب برای کانی‌های پیریت، الکتروم، بیسموتینیت و سیلوانیت در کانسنگ طلادار قبعلوجه جنوبی. فراوانی عناصر برحسب درصد (%) می‌باشد.

Table 2. Chemical compositions of pyrite, electrum, bismuthinite and sylvanite in Southern Ghabaghlojeh deposit (all elements given in wt. %). The minerals were analyzed by electron microprobe.

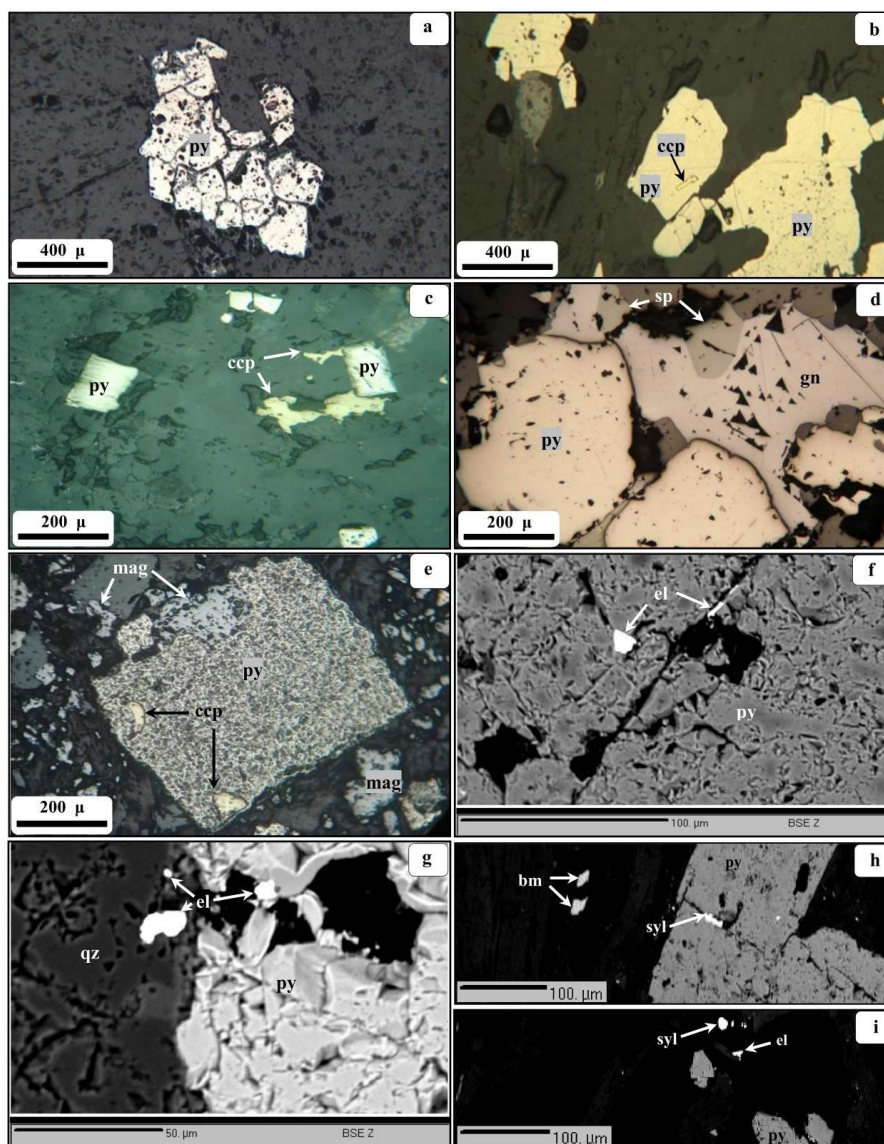
Elements Mineral	Ag	As	Au	Bi	Cu	Fe	Hg	S	Te	Zn	Total
Pyrite	0.02	0.07	0.00	0.02	0.01	46.17	0.03	53.63	0.08	0.03	100.1
Electrum	16.88	0.00	75.38	0.59	0.00	0.27	0.00	0.29	0.04	0.00	97.02
Bismuthinite	0.00	0.03	0.00	76.8	1.77	2.16	0.10	16.56	0.07	0.00	98.18
Sylvanite	53.78	0.00	0.90	0.01	0.00	6.49	0.34	6.45	28.82	0.04	98.6



شکل ۵- نمونه‌هایی از کانسنگ‌های طلا در کانسار قیغلوچه جنوبی؛ (a-e) گرانیتوئیدهای میزبان کانی‌سازی به شدت دگرشکل و دگرسان شده‌اند. دگرشکلی به صورت توسعه فابریک‌های میلونیتی- اولترامیلونیتی، تبلور مجدد دینامیکی در بلورهای کوارتز و جابجائی ماکلی در پلاژیوکلازها مشهود است. دگرسانی با ظهور کانی‌های کوارتز، موسکوست (و سریسیت)، کربنات و کانی‌های کدر (بیشتر سولفیدها) مشخص می‌باشند؛ تصاویر در نور عبوری با نیکول‌های متقاطع (XPL) اخذ شدند و (f) همان تصویر "e" در نور انعکاسی با نیکول‌های موازی (PPL) می‌باشند. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است. (Cb: کربنات، Fsp: فلدسپار، Ms: موسکویت، Pl: پلاژیوکلاز و Py: پیریت).

Fig. 5. Photomicrographs (transmitted light, XPL) of some gold-bearing samples of South Ghabagloujeh deposit; (a-e) Highly deformed and altered granitoid which is the gold-bearing hostrock. The deformation is evidenced by the development of mylonitic-ultramylonite fabrics, dynamic recrystallization in quartz crystals and twining displacement in plagioclases. Alterations are characterized by the occurrence of quartz, muscovite (and sericite), carbonate and opaque minerals (most sulfides), and (f) Same image as "e" in reflective light. Mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010). (Cb: Carbonate, Fsp: Feldspar, Ms: Muscovite, Pl: Plagioclase, and Py: Pyrite).





شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ نور انعکاسی (a تا e) و میکروسکوپ الکترونی (f تا i) از نوع کانی‌های فلزی در کانسنگ‌های قبغلوچه جنوبی؛ (a) پیریت به عنوان اصلی‌ترین کانه سولفیدی، (b) پیریت، میانبارهایی از کالکوپیریت را دربر دارد، (c) هم‌رشدی پیریت و کالکوپیریت، (d) هم‌رشدی پیریت، گالن و اسفالریت، (e) هم‌رشدی پیریت و مگنتیت؛ پیریت، میانبارهایی از کالکوپیریت را دربر دارد، (f) تصویر BSE از ذرات الکتروم، که به صورت میانبار و رگچه در پیریت مشاهده می‌شوند، (g) تصویر BSE از ذرات الکتروم، که به صورت آزاد در کوارتز و نیز به صورت میانبار در پیریت حضور دارند، (h) تصویر BSE از ذرات بیسموتینیت، که به صورت آزاد در گانگ کوارتزی و سیلوانیت، به صورت رگچه در پیریت مشاهده می‌شوند و (i) تصویر BSE از حضور ذرات سیلوانیت و الکتروم در گانگ کوارتزی. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است. (Bi: بیسموتینیت، Ccp: کالکوپیریت، El: الکتروم، Gn: گالن، Mag: مگنتیت، Py: پیریت، Sp: اسفالریت و Syl: سیلوانیت).

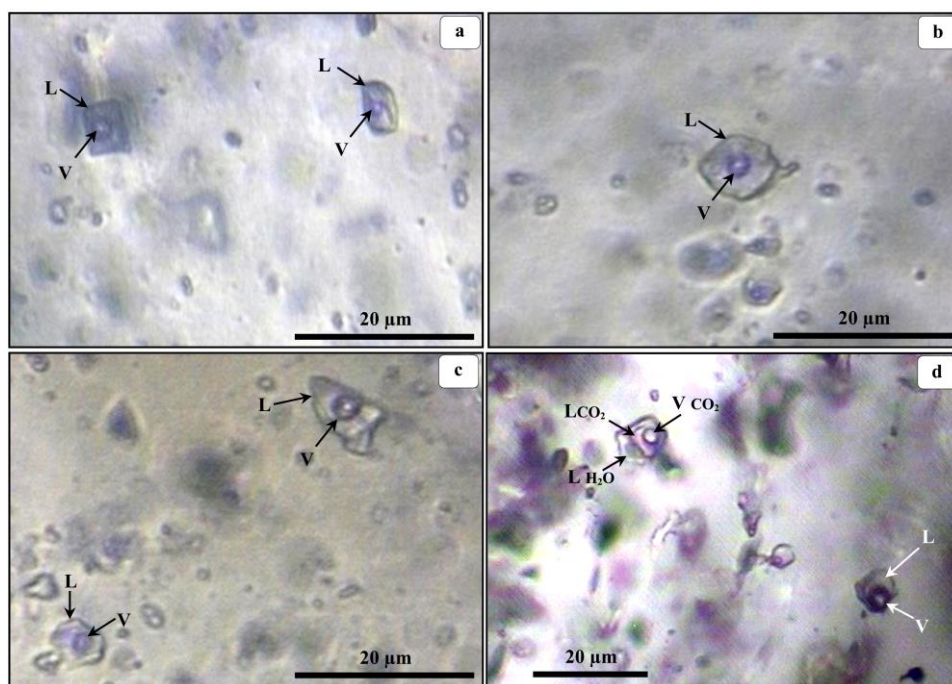
Fig. 6. Photomicrographs (reflected light and SEM) of ore mineralogy at the South Ghabaqloujeh deposit; (a) Pyrite as the main sulphide ore, (b) Pyrite contains an inclusion of chalcopyrite, (c) Pyrite is intergrowth with chalcopyrite, (d) Pyrite is intergrowth with galena and sphalerite, (e) Pyrite is intergrowth with magnetite; Pyrite also contains inclusions of chalcopyrite; Backscattered electron images of electrum particles as inclusion and microveinlet in pyrite (f), Electrum particles as inclusions in pyrite and quartz (g), Bismuthinite particles in quartz (black) and sylvanite microveinlet in pyrite (h), Sylvanite and electrum particles in quartz (i). Mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010). (Bi: Bismutite, Ccp: Chalcopyrite, El: Electrum, Gn: Galena, Mag: Magnetite, Py: Pyrite, Sp: Sphalerite and Syl: Sylvanite).





سیال اولیه دو فاز غنی از مایع (تیپ LV) و دو فاز مایع CO<sub>2</sub> دار برای کانسار طلای قبعلوجه جنوبی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. محدوده اولین نقطه ذوب یخ یا اوتکتیک (T<sub>e</sub>) در برخی سیالات دو فاز غنی از مایع (LV) تا -۳۰ درجه سانتی گراد اندازه گیری شده است که نشان می دهد این نوع از سیالات، منحصرأ به صورت یک شوراب NaCl نبوده بلکه ممکن است علاوه بر کلرید سدیم حاوی نمک های دیگری از جمله منیزیم، پتاسیم، کلسیم، آهن و منگنز نیز می باشد (Valenza et al., 2000).

نمودار ویلکینسون (Wilkinson, 2001) در محدوده کانسارهای طلای کوهزایی قرار می گیرند (شکل ۱۰). در شکل ۱۰ و براساس نمودار تغییرات دمای همگن شدن در برابر شوری، روند تحول سیال کانه ساز در کانسار قبعلوجه جنوبی آورده شده است. این نمودار روندی از اختلاط یک سیال گرمابی (با منشأ دگرگون زاد و حاوی CO<sub>2</sub>) با دمای متوسط و شوری پایین- متوسط را با سیال همدمای دیگر با شوری پایین تر را نشان می دهد که می تواند با ترکیبی از فرآیندهای رقیق شدگی و اختلاط سازگار باشد (Wilkinson, 2001). نمودار شوری برای میانبارهای



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی از میان بارهای سیال اولیه در کوارتزهای کانسنگ طلا دار کانسار قبعلوجه جنوبی؛ (a، b و c) میانبارهای سیال دو فاز غنی از مایع (LV) و (d) میانبارهای سیال دو فاز غنی از مایع (LV) و دو فاز مایع غیر قابل امتزاج به همراه حباب گاز (L+L(CO<sub>2</sub>)+V). L: فاز مایع و V: فاز بخار.

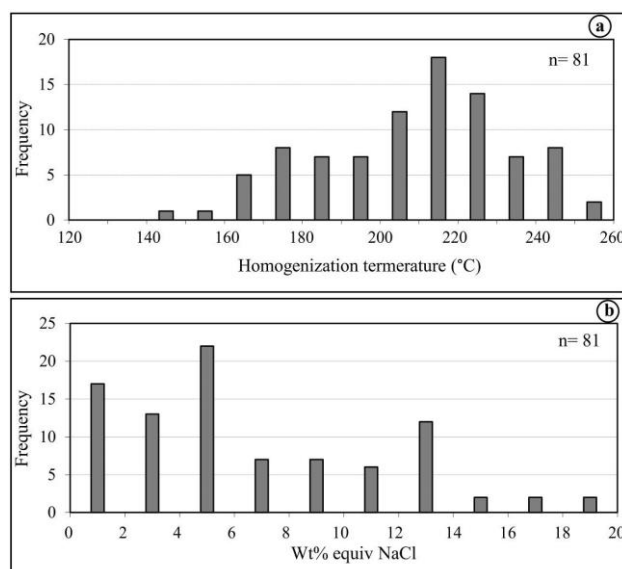
Fig. 8. Photomicrographs of primary fluid inclusion types in quartz from South Ghabaqloujeh deposit; (a, b and c) L+V fluid inclusions and (d) L+V and L+L (CO<sub>2</sub>) +V fluid inclusions.

جدول ۳- داده های ریزدماسنجی میان بارهای سیال اولیه دو فاز غنی از مایع (LV) و دو فاز مایع CO<sub>2</sub> دار (L+L(CO<sub>2</sub>)+V) در کانی کوارتز، کانسار قبعلوجه جنوبی.

Table 3. Microthermometry data of primery fluid inclusions (L+V and (L+L (CO<sub>2</sub>) +V) in quartz at the South Ghabaqloujeh deposit.

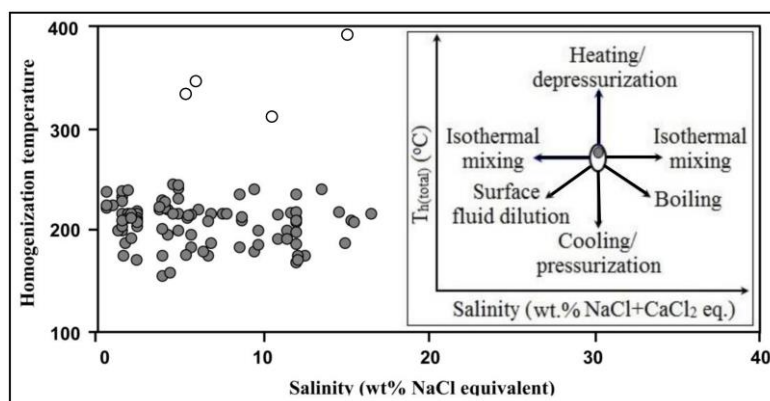
Incl. Type	Size (μm)	T <sub>e</sub> (°C)	T <sub>m-ice</sub> (°C)	T <sub>m-Clath</sub> (°C)	T <sub>h</sub> (°C)	Salinity (wt. % NaCl equiv.)	Mineral
L+V (n=81)	5-18	-30 to -21	-0.5 to -13.3	-	162-225	0.6-17.1	Quartz
L+L (CO <sub>2</sub> )+V (n=5)	7-12	-58.5 to -58	-	1-7.1	307-397	5.5-14.4	Quartz

T<sub>h</sub>: Hemogenization temperature; T<sub>m-Clath</sub>: Clathrate melting temperature; T<sub>m-ice</sub>: Final ice melting temperature; T<sub>e</sub>: Eutectic temperature



شکل ۹- (a) نمودار دماهای همگن شدن به فراوانی میانبارهای سیال دو فاز غنی از مایع (LV) و (b) نمودار درجه شوری به فراوانی میانبارهای سیال (LV) در کانی‌های کوارتز موجود در کانسنگ طلا دار کانسار قبعلوجه جنوبی.

Fig. 9. Histogram of homogenization temperatures (Th) and (b) Histogram of salinities for primary liquid- rich fluid inclusions (LV) in quartz from South Ghabaqloujeh deposit.



شکل ۱۰- نمودار دوتایی دمای همگن شدن نهایی در مقابل شوری برای داده‌های میان‌بارهای سیال در کانسار قبعلوجه جنوبی. روندها نشان‌دهنده فرآیند اختلاط دو سیال هم‌دما با شوری متفاوت می‌باشد. نمودار شماتیک داخلی بیانگر روندهای معمول میان‌بارهای سیال در فضای شوری- دمای همگن شدن ناشی از فرآیندهای مختلف تحول سیال (Wilkinson, 2001) می‌باشد. میانبارهای سیال دو فاز غنی از مایع (LV) با دایره‌های توپر تیره رنگ و میانبارهای دو فاز مایع غیرقابل امتزاج به همراه حباب گاز (L+L(CO<sub>2</sub>)+V) با دایره‌های توخالی نشان داده شدند.

Fig. 10. The homogenization temperature versus salinity plot (Wilkinson, 2001) for fluid inclusions data of South Ghabaqloujeh deposit. Trends indicate the process of mixing two fluids with same temperature and different salinity. Liquid-rich two phase (LV) fluid inclusions were shown with solid black circles and the other circles are CO<sub>2</sub>- bearing fluid inclusions.

بافت و پاراژنز کانی‌شناسی، ویژگی‌های دما و شوری میانبارهای سیال و نیز ویژگی‌های زمین‌شیمیایی و پاراژنز عنصری کانسنگ، کانسار طلای قبعلوجه جنوبی بیش‌ترین شباهت را با ذخایر تیپ کوهزایی نشان می‌دهد (جدول ۴).

مجموع مشاهدات صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که کانسنگ طلا دار در کانسار قبعلوجه جنوبی مشابه با اغلب کانسارهای طلای کوهزایی در ارتباط با پهنه برشی به‌شدت دگرشکل شده و

## بحث و نتیجه‌گیری

پهنه سندانج - سیرجان، به‌لحاظ موقعیت ژئودینامیکی و قرار داشتن در حاشیه قاره‌ای، پتانسیل بالایی در میزبانی ذخایر طلای کوهزایی را داراست. از جمله مجموعه ذخایر طلای کوهزایی در این پهنه، می‌توان به معدن طلای موته و ذخایر طلا در محدوده سقز - پیرانشهر اشاره داشت. با توجه به ویژگی‌های شاخص زمین‌شناسی و کانی‌سازی از جمله جایگاه زمین‌ساختی، عملکرد پهنه برشی در کنترل کانی‌سازی، ساخت،

میلونیت - اولترامیلونیتی، که به شدت دگرسان شده و حاوی مقادیر قابل توجهی کانه‌های سولفیدی هستند، منطبق است. طلا تنها عنصر فلزی است که در کانسار قبغلوچه جنوبی از تمرکز قابل توجهی برخوردار است. بیشینه مقادیر طلا و نقره در کانسنگ‌های طلا دار کانسار قبغلوچه جنوبی به ترتیب ۳/۲۱ و ۰/۲۳ گرم در تن اندازه‌گیری شده و نسبت طلا به نقره (Au:Ag)، حدود ۸ محاسبه شده است. در این کانسار طلا به صورت الکتروم‌هایی در اندازه‌های کوچکتر از ۵۰ میکرون و با نسبت طلا به نقره حدود ۵ رخداد دارد. بر این اساس ترکیب الکتروم‌ها در محدوده ۶۹/۶ تا ۷۵/۴ درصد طلا و ۱۶/۸ تا ۱۹/۹ درصد نقره می‌باشد.

دگرسان شده رخ داده است. کانسنگ طلا در همراهی با دگرشکلی‌های غالب میلونیتی و اولترامیلونیتی ایجاد شده در اثر عملکرد پهنه برشی در گرانیتوئید میزبان، تشکیل شده است. دگرسانی‌های گرمایی شامل سیلیسی، کربناتی، سریسیتی و سولفیدی کانسنگ‌ها طلا را همراهی می‌کنند. از طرف دیگر کانه‌زایی طلا و دگرسانی‌های گرمایی همراه با آن، ارتباط مستقیمی با شدت دگرشکلی سنگ‌های میزبان نشان می‌دهد، به طوری که در بخش‌های مرکزی پهنه‌های برشی، که به شدت دگرشکل شده و به خوبی فابریک‌های میلونیتی - اولترامیلونیتی را نشان می‌دهند، سیالات گرمایی در حجم وسیع‌تری عملکرد داشته و متعاقباً شدت دگرسانی و حجم و عیار کانی‌سازی طلا بالاتر بوده است. مطالعات ریز ساختاری و پتروگرافی نمونه‌های کانسنگی در بخش‌های مختلف زون‌های کانه‌دار نشان می‌دهد که بالاترین عیار طلا با ظهور فابریک‌های

جدول ۴- مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی کانسار طلای قبغلوچه جنوبی با ویژگی‌های شاخص در کانسارهای طلای کوهزایی.

Table 4. Comparison of main characteristics of the South Ghabaqloujeh gold deposit with index features in Orogenic gold deposits.

Main characteristics	Southern Ghabaqloujeh	Orogenic gold deposits
Tectonic setting	In complexly deformation subzone of the Sanandaj-Sirjan metamorphic Zone, which is part of the Zagros orogenic belt	In orogenic setting on the continental margin, especially in structures close to convergen margins, which are associated with complex deformation
Regional metamorphism facies	Green schist facies	Low green schist facies to granulite; mainly in green schist facies
Host rock (s)	Mineralization occurred mainly in granit-granodiorite and slightly in the contact of the granitoid and phyllite	Predominantly metamorphosed volcano-sedimentary sequences at the accretionary prism; grevack- slate sequences
Association with intrusions	Granite-granodiorite is main host rock	Granitoid intrusions are common before, during, and post mineralization; sometimes the intrusives are host rock of mineralization
Alteration minerals (type)	Quartz, carbonate, cericite-muscovite, sulfide. The sulfide content varies from 1% to 5%. Pyrite comprises more than 90% of the sulfide minerals	Quartz, carbonate, sulfides, muscovite, chlorite, potassium feldspar, biotite, tourmaline and albite. The abundance of sulfides is less than 3 to 5%. Pyrite and arsenopyrite are the most abundant sulfide minerals
Fluid inclusion	Homogenization temperatures between 162 and 255°C and salinity between 0.6 to 17.08 wt% NaCl eq. CO <sub>2</sub> was observed in some fluid inclusions	The homogenization temperature is in the range of 150 to 700 ° C. Fluid salinity is usually less than 12% eq. wt% NaCl. The fluids are associated with significant amounts of CO <sub>2</sub>
Au/Ag ratio	~8 (average)	5-10
References	Nemati (2017)	Groves et al. (1998); Goldfarb et al. (2005); Goldfarb et al. (2015)

### قدردانی و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه تهران بخاطر حمایت‌های مالی و از مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به جهت آنالیز زمین-شیمیایی نمونه‌ها و نیز مطالعه میانبارهای سیال تشکر نمایند. همچنین از سردبیر و داوران محترم مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، به خاطر راهنمایی‌های ارزنده علمی که منجر به غنای بیش‌تر مقاله حاضر گردیده است، قدردانی می‌شود.

بررسی داده‌های میانبار سیال بیانگر آن است که سیالات مسئول کانی-سازی در این کانسار، مشابه با اغلب کانسارهای طلای کوهزایی سیالاتی داغ با دمای ۱۶۲ تا ۲۵۵ (با میانگین ۲۱۳) درجه سانتی‌گراد و شوری ۰/۶ تا ۱۱۷/۱ (با میانگین ۶/۸) درصد وزنی معادل NaCl، همراه با فازهای مایع و گازی CO<sub>2</sub> می‌باشند. مطالعه میانبارهای سیال اختلاط یک سیال گرمایی (با منشأ دگرگون‌زاد و حاوی CO<sub>2</sub>) با دمای متوسط و شوری پایین - متوسط را با سیال هم‌دمای دیگر با شوری پایین‌تر را نشان می‌دهد که می‌تواند با ترکیبی از فرآیندهای رقیق‌شدگی و اختلاط سازگار باشد.

### منابع

- Aliyari, F., Rastad, E., Mohajjel, M., Arehart, G.B., 2009. Geology and geochemistry of D–O–C isotope systematics of the Qolqoleh gold deposit, Northwestern Iran: Implications for ore genesis. *Ore Geology Reviews* 36, 306–1314.
- Babakhani, A.R., Hariri, A., Farjandi, F., 2003. Geological map of Saqqez, scale 1:100000. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- Goldfarb, R.J., Baker, T., Dube, B., Groves, D.I., Hart, C.J.R., Gosselin, P., 2005. Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 407–450.
- Goldfarb, R.J., Groves, D.I., 2015. Orogenic gold: common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos* 233, 2–26.
- Goldstein, R.H., Reynolds, T.J., 1994. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. *SEPM Short Course* 3, 1–198.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., Robert, F., 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews* 13, 7–27.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Robert, F., Hart, C.J.R., 2003. Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research and exploration significance. *Economic Geology* 98, 1–29.
- Hall, D.L., Sterner, S.M., Bodnar, R.J., 1988. Freezing point depression of NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O solutions. *Economic Geology* 83, 197–202.
- Heidari, S.M., 2004. Mineralogy, geochemistry and fabrics of gold mineralization in ductile shear zone of Kervian deposit, Southwest of Saqqez. Unpublished M.S Thesis, Tarbiat-Modares University, Tehran, Iran.
- Heidari, S.M., Moosavi Makooi, S.A., Mirzakhani, M., Rasoli, F., Ghaderi, M., Abadi, A.R., 2016. A review of tectono-magmatic evolution and gold metallogeny in the inner parts of Zagros orogeny: A tectonic model for the major gold deposits, western Iran. *Eurasian Mining* 25, 3–20.
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L., Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Science* 21, 397–412.
- Nemati, M., 2017. Geology, mineralogy and geochemistry of Southern Ghabaghlojeh gold deposit, SW of Saqqez, Kordestan province. Unpublished M. S Thesis, Tehran University, Tehran, Iran.
- Niromand, Sh., Goldfarb, R.J., Moore, F., Mohajjel, M., Marsh, E.E., 2010. The Kharapeh orogenic gold deposit: Geological, structural, and geochemical controls on epizonal ore formation in west Azerbaijan province, Northwestern Iran. *Mineralium Deposita* 46, 409–428.



- Niroomand, S., 2011. The study of geology, mineralogy, geochemistry and genesis of Kharapeh–Zinonjian gold deposit (NW Piranshahr–West Azarbaijan Province). Unpublished PhD Thesis, Shiraz University, Tehran, Iran.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy* 12, 664 p.
- Sheikholeslami, M.R., 2002. Evolution structurale et métamorphique de la marge sud de la microplaque de l'Iran central: les complexes métamorphiques de la région de Neyriz (Zone de Sanandaj-Sirjan), Thèse, université de Brest, 194p.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H., Alderton, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow, 223 p.
- Sterner, S.M., Hall, D.L., Bodnar, R.J., 1988. Synthetic fluid inclusions V: solubility relations in the system NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O under vaporsaturated conditions. *Geochemica et Cosmochemica Acta* 52, 989-1005.
- Tajeddin, H., 2011. Ore controlling parametrs of gold mineralization in the metamorphic rocks of Sagez-Sardasht area, NW Sanandaj-Sirjan zone. Unpublished Ph.D. Thesis, Tarbiat-Modares University, Tehran, Iran.
- Tajeddin, H.A., 2008. Exploration and introduction of the gold mineralization at the Southern Ghabaghloujeh area (SW of Saqez, Kordestan). Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Internal report 35p.
- Valenza, K., Moritz, R., Mouttaqi, A., Fontignie, D., Sharp, Z., 2000. Vein and karst barite deposits in the western Jebilet of Morocco: fluid inclusion and isotope (S, O, Sr) evidence for regional fluid mixing related to central Atlantic Rifting. *Economic Geology* 95, 587-606.
- Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95, 185–187.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos* 55, 229-272.

