



RESEARCH ARTICLE

10.22067/ECONG.2023.82365.1078



Identifying and Comparing the Exploration Criteria at Sari Gunay Gold, Dalli Copper-Gold and Zarshuran Gold Deposits in Zagros Orogen

Pouya Asadi Haroni ^{1*}, Omid Asghari ², Mirsaleh Mirmohammadi ³, Hooshang Asadi Haroni ⁴

¹ M.Sc., Department of Mining Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

² Associate Professor, Department of Mining Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Department of Mining Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Mining Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 07 June 2023
 Revised: 30 August 2023
 Accepted: 30 August 2023

Keywords

Gold Mineralization
 Sari Gunay
 Dalli
 Zarshuran
 Exploration Criteria

*Corresponding author

Pouya Asadi Haroni
 ✉ pooya.asadi@ut.ac.ir

ABSTRACT

There are important deposits such as Sari Gunay epithermal gold, Dalli porphyry copper-gold, and Zarshuran Carlin deposits with a few common exploration features in the Zagros metallogenic province of Iran. This study used geological maps, remote sensing, geochemical, geophysical, mineralogical, petrographic, fluid inclusion and age dating information to characterize and identify exploration criteria of these deposits. Mineralization at Sari Gunay gold deposit is epithermal, which was formed in association with an alkaline magma and brecciated, altered dacite porphyry about 11 Ma. Mineralization at Zarshuran is Carlin with black shale and carbonate sedimentary hosts, formed indirectly in association with a deep alkaline magma about 14 Ma. Mineralization at Dalli deposit is copper-gold porphyry with diorite host, formed in association with a chalk alkaline magma about 21 Ma. Despite different host rocks, mineralization at Zarshuran and Sari Gunay gold deposits reveals some similarities. Among the common exploration criteria in the two deposits are Oligo-Miocene alkaline magma, mineralization depth of more than 300 meters, northeast trending structures, gold, arsenic and antimony geochemical association, presence of iron oxides such as jarosite and hematite, vuggy breccia textures, and silica and phyllic alteration hosting gold mineralization. The most important exploration criteria at the Dalli deposit, however, are Miocene chalk alkaline magmatism, depth of mineralization of more than 500 meters, strong potassic and phyllic alterations, presence of specularite mineral, northeast trending structures and strong high magnetic anomalies, associated with potassic alteration.

How to cite this article

Asadi Haroni, P., Asghari, O., Mirmohammadi, M. and Asadi Haroni, H., 2023. Identifying and Comparing the Exploration Criteria at Sari Gunay Gold, Dalli Copper-Gold and Zarshuran Gold Deposits in Zagros Orogen. *Journal of Economic Geology*, 15(3): 25-51. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/ECONG.2023.82365.1078>



©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.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Zagros orogenic belt and its geological subdivisions such as Urumieh-Dokhtar Magmatic arc (UDMA) and Sanandaj-Sirjan Zone (SSZ), as part of Alpine-Himalayan belt and product of Neogene closure of Neo-Tethys Ocean, host several large porphyry copper (Mo and Au) and epithermal gold deposits in Iran. Sari Gunay low sulfidation epithermal, Zarshuran sediment-hosted Carlin type and Dalli porphyry (Cu-Au) deposits are three major deposits in this belt. Several conceptual studies have been carried out on individual porphyry copper and epithermal gold deposits of this belt (e.g., [Talesh-Hosseini et al., 2020](#); [Ayati et al., 2012](#); [Richards et al., 2006](#); [Hezarkhani & Williams-Joins, 1998](#); [Mehrabi et al., 1999](#)). Nevertheless, limited studies have been conducted on the application of conceptual modelling in exploration ([Daeijavad et al., 2020](#)), and comparison of porphyry copper-gold and epithermal gold mineralizations. Therefore, the main objective of this research is to use earlier conceptual and description models of these deposits and, combining them with the results of this study, to identify various criteria for exploration across the two mentioned geological subdivisions of Zagros belt.

Material and methods

This study used geodynamic model of Zagros belt, detailed geological maps, remote sensing data, mineralogical and petrographic studies by electron microprobe and normal microscope, ICP geochemical analyses of more than 3500 surface soil samples, drill core data, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age dating and fluid inclusion analyses at these deposits to characterize the controls on gold mineralization and to define exploration criteria for further exploration at Sari Gunay, Zarshuran, and Dalli, and other ones.

Results

Sari Gunay epithermal gold deposit is located in northwest of the SSZ and is associated with an alkaline magma. Geochemical analysis of surface and drill core samples show that gold mineralization at this deposit is associated with As, Sb, Hg, Tl, and Ag, with outer zones enriched in Pb, Zn, and Cu.

Mineralization is hosted by strongly silicified subvolcanic fragmental rocks and diatreme breccias and dacite porphyritic rocks showing strong phyllic and argillic hydrothermal alterations, identified by remotely sensed image processing data. Iron oxide, orpiment, realgar and stibnite minerals are closely associated with gold mineralization in the altered fragmental host rocks of dacite-lithic tuff and brecciated dacite porphyry. Gold occurred as angstrom-size or solid solutions within arsenian pyrite rims over previously formed barren brassy pyrite. Rare amounts of native gold noted within the late quartz, brassy pyrite, and galena veins. Ar/Ar and K/Ar age dating and whole rock geochemical analyses showed that mineralization at Sari Gunay occurred at about 11 Ma (Oligo-Miocene).

Zarshuran is located in the north Takab geothermal basin in northwest Iran. This deposit is geologically located at the contact of the SSZ and the UDMA. The oldest rocks are Iman Khan schists, followed by Chaldagh limestone, Zarshuran black shale, and Qaradash shale. A Miocene brecciated and altered dacite porphyry and locally dacite lithic tuff intruded the Zarshuran black shale and Chaldagh limestone. Mineralization associated with silicification mostly occurred in the Zarshuran black shales and Chaldagh limestone and extended in a northwest direction. Ar/Ar and K/Ar age dating revealed that mineralization at Zarshuran occurred at about 14 Ma and was about the time of Miocene volcanic activities (13.7 ± 2.9 Ma). In Chaldagh limestone, gold mineralization is mostly concentrated in quartz veins. Quartz veins in Chaldagh limestone include barite, pyrite, arsenian pyrite, sphalerite, and iron oxides. Mineralized quartz veins and jasperoid lenses in the Zarshuran black shale contain arsenic-antimony sulfides, pyrite, gold-bearing arsenian pyrite, and base metal sulfides such as galena and sphalerite. Mineralization showed elements association of Au, As, Sb, and Pb.

Dalli is a newly discovered porphyry Cu-Au deposit, which is located in the western margin of UDMA, near the contact the SSZ. Discovery of Dalli was initially based on alteration mapping by satellite imagery data, and then by using surface soil and rock geochemical studies, geological mapping, and magnetic surveys, which delineated two porphyry centers as targets for detailed geochemical prospecting. These porphyry centers (South Hill and North Hill), crop out within a northeast trending

corridor of altered Oligo-Miocene dioritic plutonic rocks intruded into volcanic rocks. Dalli is a gold-rich porphyry Cu deposit in Iran, with proven reserve of 5 million tons of ore containing 0.65 g/t Au and 0.5% Cu. Mineralization is hosted by altered porphyritic amphibole-bearing diorite and occurs in quartz-hematite-magnetite stock works and veins. Hypogene mineralization is characterized by chalcopyrite, pyrite, bornite, magnetite, and native gold. Mineralization showed a strong element association of Cu, Au, and Fe. Chalcopyrite and rare hypogene bornite occur as dissemination in subvolcanic rocks and in quartz-chalcopyrite-pyrite-magnetite veinlets within potassic and phyllic alteration zones. Gold is observed as free grains and inclusions in pyrite and chalcopyrite. Supergene mineralization in the oxidized zone includes malachite, azurite, cuprite, and iron oxides, with limited supergene Cu enrichment characterized by covellite and chalcocite. The dioritic plutonic and andesitic volcanic host rocks were subjected to intense potassic (quartz-biotite-magnetite) and phyllic (quartz-sericite-chlorite) alterations.

Discussion

Mineralizations at Sari Gunay and Zarshuran, despite their different host rocks, show significant

similarities, while, mineralization at Dalli is quite different. Dalli only shows some similarities with deep-seated low grade porphyry Cu-Au portion of the Sari Gunay mineralization. Exploration criteria, to search for similar deposits such as Sari Gunay and Zarshuran, are alkaline Oligo-Miocene magmatism, original mineralization depth of more than 300 meters, within a temperature range of 150 °C to 360 °C, NE-trending structures, Au-As-Sb-Hg-Tl-Te geochemical suit elements and related minerals, invisible gold in arsenian pyrite, strong silicification and widespread sericite-argillic alterations. Whereas, exploration criteria to search for Cu-Au porphyry deposits, like Dalli, are calc-alkaline Miocene dioritic magmatism, strong silicification and potassic alteration associated with Cu-Au mineralization and widespread surrounding propylitic alteration associated with Mn-Zn mineralization, northeast and north trending structures, visible micro-sized native gold in quartz and chalcopyrite as well as strong magnetic anomalies associated with potassic alteration.

Acknowledgments

GeoPersia and Dorsa mining companies are highly appreciated for providing some of the data used in this research.



شناسایی و مقایسه معیارهای اکتشافی کانسارهای طلائی ساری گونی، مس-طلائی دالی و طلائی زرشوران واقع در کوهزاد زاگرس

پویا اسدی هارونی^{۱*}، امید اصغری^۲، میر صالح میر محمدی^۳، هوشنگ اسدی هارونی^۴

^۱ کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۴ استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
ایالت متالوژنی زاگرس دارای کانسارهای مهمی نظیر طلائی ساری گونی، مس-طلائی دالی و طلائی زرشوران می‌باشد. در پژوهش پیش‌رو جهت شناسایی معیارهای اکتشافی این سه کانسار، از نقشه‌های زمین‌شناسی، مطالعات دورسنجی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی، کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی، سیالات درگیر و سن‌سنجی استفاده شده‌است. کانی‌سازی در ساری گونی از نوع اپی‌ترمال سولفید پایین می‌باشد که حدود ۱۱ میلیون سال پیش (میوسن پایینی) در ارتباط با ماگمای آلکالن و سنگ‌های برشی دگرسان‌شده داسیت پورفیری شکل گرفته‌است. کانی‌سازی در کانسار دالی از نوع مس-طلائی پورفیری با سنگ‌میزبان دیوریتی بوده، که حدود ۲۱ میلیون سال پیش (میوسن پسین) در رابطه با یک ماگمای کالک‌آلکالن شکل گرفت. کانی‌سازی در زرشوران، از نوع کارلین با سنگ‌میزبان کربناته می‌باشد، که حدود ۱۴ میلیون سال پیش (میوسن میانی) در ارتباط با یک ماگمای آلکالن تشکیل شده‌است. کانی‌سازی در کانسارهای ساری گونی و زرشوران به‌رغم سنگ‌میزبان متفاوت، دارای معیارهای اکتشافی مشابهی بوده که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به ماگماتیسیم آلکالن میوسن، شکل‌گیری کانی‌سازی در اعماق بیش از ۳۰۰ متر، ساختارهای با روند شمال-شرق، پاراژنز عناصر طلا، آرسنیک، آنتیموان، اکسیدهای آهن نوع هماتیتی و جاروسیتی، بافت خلل و فرج‌دار، برشی و دگرسانی‌های سیلیسی و فلیک‌میزبان کانی‌سازی اشاره کرد. از جمله معیارهای اکتشاف دالی نیز می‌توان به ماگماتیسیم دیوریتی کالک‌آلکالن میوسن، شکل‌گیری کانی‌سازی در اعماق بیش از ۵۰۰ متر، دگرسانی پتاسیک و سیلیسی میزبان کانی‌سازی، حضور کانی اسپیکولاریت، ساختارهای با روند شمال‌شرق و آنومالی بالای مغناطیسی در رابطه با دگرسانی پتاسیک اشاره نمود.	<p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۷</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸</p> <p>واژه‌های کلیدی</p> <p>کانی‌سازی طلا</p> <p>ساری گونی</p> <p>زرشوران</p> <p>دالی</p> <p>معیارهای اکتشافی</p> <p>نویسنده مسئول</p> <p>پویا اسدی هارونی</p> <p>pooya.asadi@ut.ac.ir ✉</p>

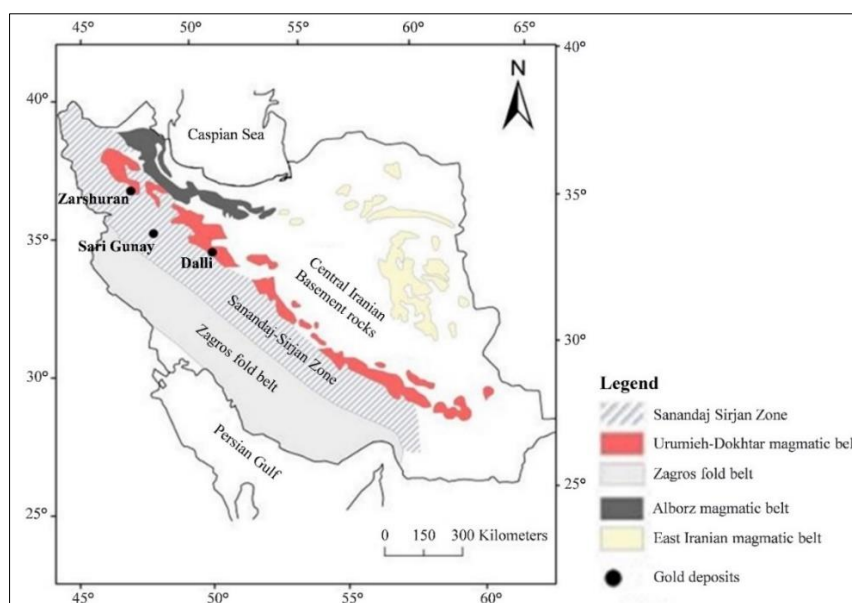
استناد به این مقاله

اسدی هارونی، پویا؛ اصغری، امید؛ میرمحمدی، میر صالح و اسدی هارونی، هوشنگ، ۱۴۰۲. شناسایی و مقایسه معیارهای اکتشافی کانسارهای طلائی ساری گونی، مس-طلائی دالی و طلائی زرشوران واقع در کوهزاد زاگرس. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۵(۳): ۲۵-۵۱. <https://doi.org/10.22067/ECONG.2023.82365.1078>

مقدمه

سندج-سیرجان، در حاشیه جنوب غربی به موازات کمان ماگمایی ارومیه-دختر واقع شده است (Alavi, 1994). این زون، میزبان چندین کانی سازی طلا از نوع گرمایی نظیر کانسارهای طلای ساری گونی در بخش شمال غربی، طلای موله و طلای زرشوران در نزدیکی مرز با کمان ماگمایی ارومیه-دختر می باشد. علاوه بر آن، کانسار سرب-روی تیپ دره می سی سی پی ایران کوه در محور ملایر-اصفهان نیز در زون سندج-سیرجان واقع شده است (Shahabpour, 1994; Asadi, 2000). گسترش سه زون تشکیل دهنده کمر بند کوهزائی زاگرس در شکل ۱ قابل مشاهده است.

کمر بند کوهزائی زاگرس در ایران که بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر طول دارد، بخشی از کمر بند فلز زائی آلپ-همالیا بشمار می رود. کمان ماگمایی ارومیه-دختر، زون سندج-سیرجان، زاگرس مرتفع و زاگرس چین خورده، کمر بند کوهزائی زاگرس را تشکیل می دهند (Schroder, 1994; Alavi, 1994). بیشتر کانی سازی های مس پورفیری (طلا، مولیبدن) شناخته شده ایران نظیر کانسارهای مس-مولیبدن پورفیری سرچشمه، مس-مولیبدن پورفیری سونگون و مس-طلا پورفیری دالی، در سنگ های ولکانیک-پلو تونیک کمان ماگمایی ارومیه-دختر مربوط به دوران سوم تشکیل شده است (Hezarkhani and Williams-Joins, 1998). زون



شکل ۱. موقعیت سه کانسار طلای ساری گونی، دالی و زرشوران بر روی کمان ماگمایی ارومیه-دختر و زون سندج-سیرجان (Modified after Alavi, 1994).

Fig. 1. The location of the Sari Gunay, Dalli and Zarshuran deposits on Urumieh-Dokhtar magmatic arc and Sanandaj-Sirjan zone (Modified after Alavi, 1994).

گرمایی و کانسارهای طلا، آرسنیک و آنتیموان کوهزایی و ایی ترمال باشد. این کانسارها بلحاظ مکانی در ارتباط با کمان ماگمایی ارومیه-دختر و عمدتاً حاشیه غربی زون سندج-

کمر بند کوهزائی زاگرس، همچون دیگر محیط های کوهزایی، می تواند میزبان انواع مختلف کانی سازی همچون کانسارهای مس (طلا، مولیبدن) پورفیری، کانسارهای فلزات پایه با منشأ

بررسی تحقیقات قبلی (مطالعات سنسنجی، سیالات در گیر، سنگ شناسی و کانی شناسی)، بازدیدهای صحرائی و همچنین تفسیر داده‌های اکتشافی (ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و دورسنجی) و نقشه‌های زمین شناسی معرفی می گردند. داده‌های اکتشافی و نقشه‌هایی که در کانسار ساری گونی مورد بررسی و تفسیر واقع شدند، عمدتاً شامل نقشه دگرسانی داده‌های ماهواره ای لندست ETM^+ ، نقشه‌ی زمین شناسی ۱:۱۰۰۰، نقشه هاله مرکب ژئوشیمیایی نمونه‌های خاک و نقشه ژئوفیزیکی برگردان به قطب داده‌های مغناطیس زمینی که توسط شرکت ریوتینتو تهیه شدند. در کانسار دالی عمدتاً از نقشه ۱:۱۰۰۰۰ زمین شناسی، نتایج آنالیز ۹۸ نمونه خاک و نقشه ژئوفیزیکی برگردان به قطب داده‌های مغناطیس زمینی شرکت در ساپرا دازه استفاده گردید. داده‌های اکتشافی مورد استفاده در کانسار زرشوران عبارتند از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰، نقشه ژئوشیمیایی آنومالی طلا و نقشه ژئوفیزیکی برگردان به قطب داده‌های مغناطیس زمینی که عمدتاً توسط شرکت تهیه تولید مواد معدنی ایران تهیه شده‌اند.

کانسار طلای ساری گونی

کانسار طلای ساری گونی در شمال غربی ایران، جنوب شرق استان کردستان، در ۶۰ کیلومتری جاده همدان- سنندج و ۲۵ کیلومتری شمال شرق شهرستان قروه واقع شده‌است. فعالیت‌های اکتشافی در منطقه بر روی دو تپه با نام‌های ساری گونی و آق داغ که به فاصله‌ی حدود یک کیلومتر از یکدیگر قرار گرفته‌اند، متمرکز شده‌است. این کانسار در شمال غرب پهنه سنندج- سیرجان بر روی یک آنومالی مغناطیس بزرگ حلقوی واقع شده‌است، که می‌تواند در ارتباط با ولکانیک‌های ائوسن تا میوسن با ترکیب سنگ‌شناختی آندزیت و بازالت‌های الیگومیوسن در منطقه باشد (Wilkinson, 2005). سنگ بستر در محدوده کانسار ساری گونی شامل شیست‌های ژوراسیک پایینی می‌باشد که بر روی آن سیلتستون و آهک‌های ژوراسیک

سیرجان می‌باشند. کانی‌سازی در این کانسارها بشدت توسط ساختارهایی با روند شمال شرقی که گسل‌های اصلی با روند شمال غرب و شمالی- جنوبی را قطع کرده‌اند، کنترل می‌شوند (Alavi, 1994; Shahabpour, 1994; Asadi, 2000).

کانسارهای ساری گونی، دالی و زرشوران سه کانسار طلای اصلی بر روی کمربند کوهزائی زاگرس هستند که موقعیت آن‌ها در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌است.

بیشتر مطالعات قبلی توسط محققین بر روی کانسارهای طلای اپی ترمال ساری گونی (Richards, et al., 2006)، مس - طلای پورفیری دالی (Ayati et al., 2012) و طلای تیپ کارلین زرشوران (Mehrabi et al., 1999; Asadi et al., 2000; Daeijavad, et al., 2020; Daliran et al., 2018; Heshmatnia, et al., 2022) متمرکز بر مدل‌سازی‌های مفهومی و ژنز کانسار بوده، درحالی که کمتر به کاربرد این مدل‌ها در اکتشاف کانسارهای مشابه پرداخته‌اند. این سه کانسار در رابطه با فرآیند فرورانش و بسته‌شدن اقیانوس نئوتتیس تشکیل شده‌اند و یکی از دلایلی که این مقایسه صورت گرفت وجود شاخص‌ها و معیارهای اکتشافی مشترک در این سه کانسار است. لذا هدف اصلی این تحقیق ارائه کاربرد مدل‌های مفهومی کانسارهای مذکور و همچنین استفاده از مدل‌های توصیفی و نتایج مطالعات ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و دورسنجی برای شناسایی معیارهای مراحل مختلف اکتشاف این کانسارها و کانسارهای مشابه آنها در ایالت متالورژنی زاگرس (بویره کمان ماگمایی ارومیه- دختر و زون سنندج- سیرجان) و نقاط دیگر جهان با ساختارهای مشابه می‌باشد.

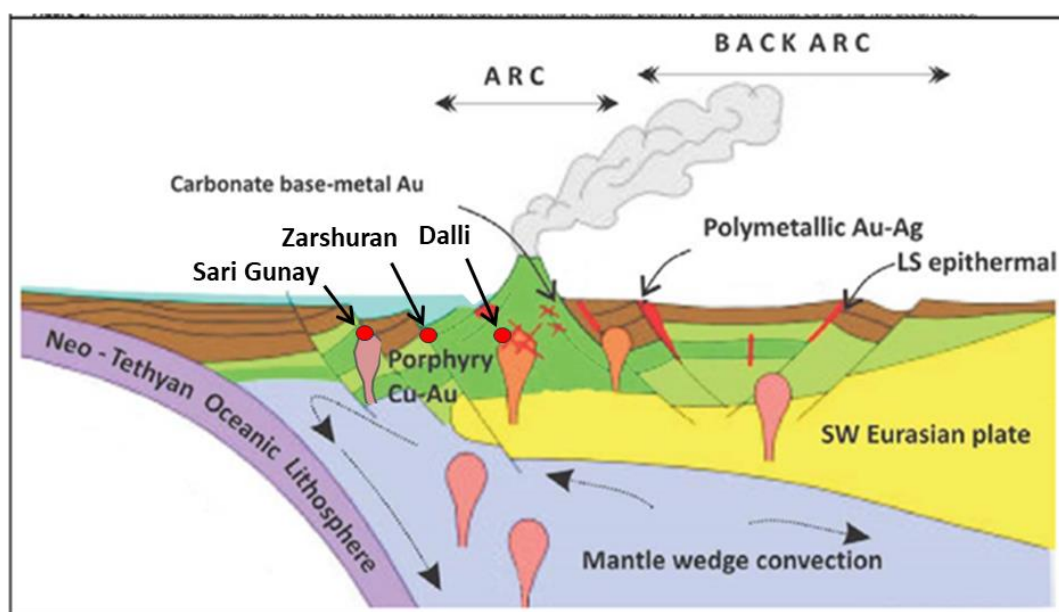
روش تحقیق

در این تحقیق معیارهای اکتشافی دو کانسار مهم طلا ساری گونی و زرشوران و همچنین کانسار مس - طلای دالی، با استفاده از

پورفیری و توف‌های الیگومیوسن آلتزه و برشی گردید. نتایج حاصل از بررسی‌های انجام‌شده، ساری گونی را بعنوان یک ذخیره‌ی طلای اپی‌ترمال سولفید پایین به همراه یک توده هیپوژن مس-طلا پورفیری در زیر توده کانی‌سازی اصلی معرفی نمود (Wilkinson, 2005). سیستم دگرسانی گرمابی، بخش‌های مرکزی کمپلکس ولکانیکی داسیت-آندزیت ساری گونی-نای بند را با مساحت تقریبی ۱۶ کیلومتر مربع می‌پوشاند. سیستم دگرسانی شامل دو زون مجزا و قوی دگرسانی موجود در آق‌داغ و ساری گونی می‌باشد. این دو زون در تصویر پردازش شده لندست ETM⁺ منطقه (شکل ۴) با استفاده از روش کروستا نشان داده شده است (Wilkinson, 2005). نقشه زمین‌شناسی محدوده ساری گونی و پراکندگی واحدهای سنگی مختلف و زون دگرسانی در شکل (۳) قابل مشاهده است.

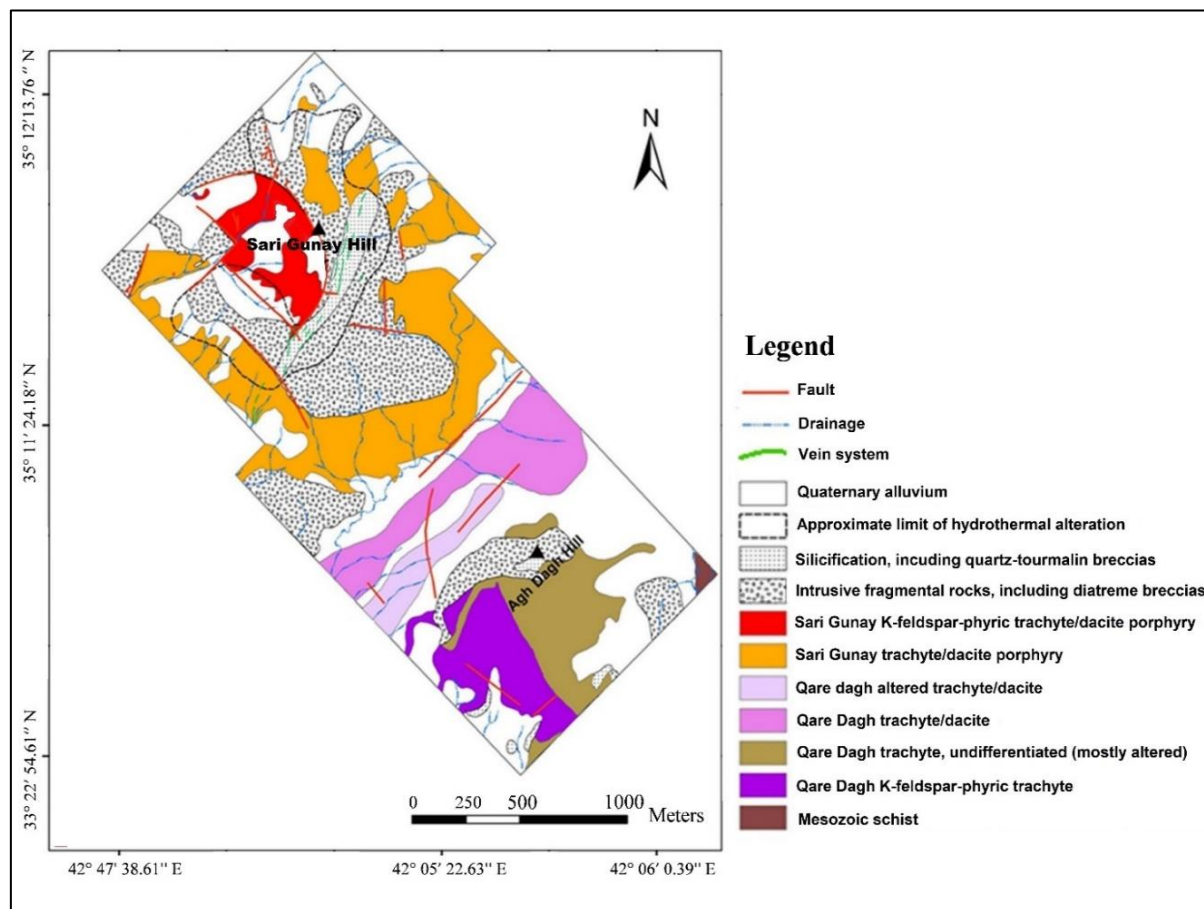
بالایی قرار گرفته است. داسیت و آندزیت پورفیری، توف داسیتی برشی، توف داسیتی کریستاله و برش گرمابی الیگومیوسن عمده رخنمون‌های سنگی محدوده کانسار را تشکیل می‌دهند (Wilkinson, 2005). کانی‌سازی طلا و عناصر وابسته عمدتاً در واحدهای سنگی برش‌های گرمابی، توف‌های داسیتی برشی و داسیت پورفیری حاوی دگرسانی سیلیسی و سرسیتی اتفاق افتاده است (Richards et al., 2006). سری ماگمایی تشکیل‌دهنده این کانسار از نوع آلکالن می‌باشد. مطالعات سن‌سنجی $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ بر روی سرسیت‌های گرمابی، سن تشکیل این کانسار را حدود ۱۱ میلیون سال (میوسن پایینی) تخمین زده است (Richards, 2003).

بررسی‌های ابتدایی در سال ۱۳۹۹ توسط شرکت بین‌المللی ریوتینتو منجر به تشخیص یک سیستم دگرسانی گرمابی همراه با کانی‌سازی طلا، آنتیموان و آرسنیک در داسیت‌ها، آندزیت‌های



شکل ۲. مقطع شماتیکی از مدل ژئودینامیکی ارائه‌شده از کمر بند کوهزایی نئوتتیس و محل تقریبی کانسارهای ساری گونی، دالی و زرشوران (Modified after Richards and Sholeh, 2016).

Fig. 2. Cross section of geodynamic model of the Neo-Tethyan Orogenic belt and the approximate location of the Sari Gunay, Dalli, and Zarshuran deposits (Modified after Richards and Sholeh, 2016).



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ محدوده کانسار طلای ساری گونی (Wilkinson, 2005).

Fig. 3. Geological map (1:10000) of Sari Gunay gold mining area (Wilkinson, 2005).

کانسار در حدود ۲۴۰ تا ۳۶۰ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شده‌است (Richards et al., 2006). کانی‌سازی در ساری گونی شامل دو فاز سیستم گرمابی است. فاز اول کانی‌سازی، شامل یک سیستم پورفیری بزرگ همراه با دگرسانی پتاسیک، سرسیت و کوارتز-تورمالین-فلدسپات پتاسیک در اعماق بیش از ۵۰۰ متر می‌باشد که در حفاری‌های عمقی مشاهده شده‌است. در این فاز کانی‌سازی مس-طلا پورفیری کم‌عیار در ارتباط با دایک‌های همراه دگرسانی پتاسیک و سرسیتی دارای رگه‌های پیریت و کالکوپریت پراکنده می‌باشد (Wilkinson, 2005). فاز دوم کانی‌سازی در

کنترل‌کننده‌های ساختاری نقش بسیار مهمی در توزیع دگرسانی در منطقه دارند. دگرسانی‌های غالب در منطقه از مرکز بسمت حاشیه بترتیب شامل زون‌های سیلیسی، سرسیتی (فیلیک)، آرژلیک و پروپیلیتیک می‌باشند. کانی‌سازی طلا عمدتاً در رابطه با آلتراسیون‌های سیلیسی و سرسیتی می‌باشد. در مرکز سیستم دگرسانی ساری گونی و آق‌داغ، دگرسانی سیلیسی با شدت بالا همراه با زون‌های برشی گرمابی کوارتز-تورمالین وجود دارند، که نشان می‌دهد این زون‌های برشی، مجاری اصلی برای عبور سیالات گرمابی کانه‌ساز بوده‌اند. بر اساس مطالعات سیالات درگیر بر روی کانی‌های کوارتز، دمای تشکیل این

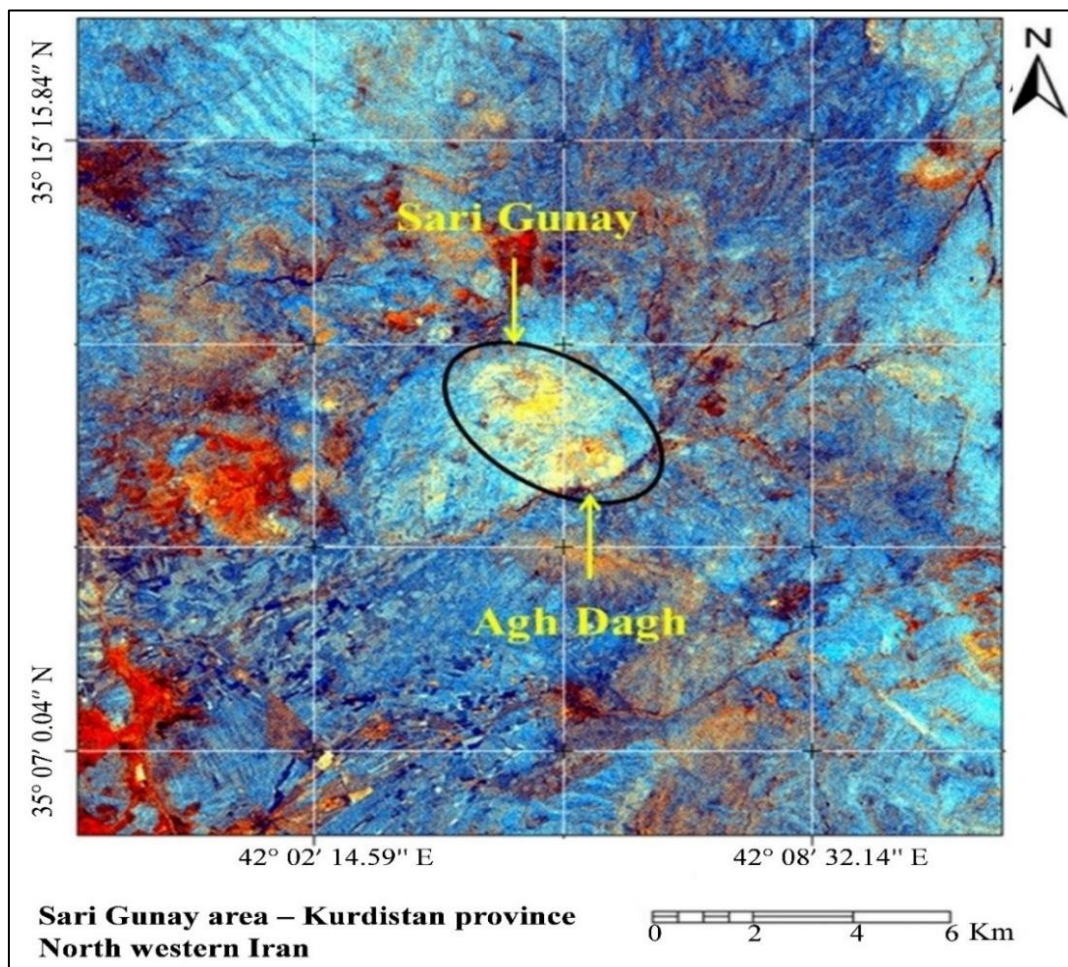
سیلیسی شدن باشد. حضور طلا با سنگ‌های دگرسان شده در همه جا ارتباط معنادار قوی ندارد که این موضوع می‌تواند به دلیل نقش کلیدی کنترل‌کننده‌های ساختاری در توزیع طلا در سنگ‌های برشی و پورفیری آلتزه باشد. حضور کانه‌زایی پیریت آرسنیک‌دار در رگه‌های سیلیسی حاوی آنتیموان و آرسنیک، نشانه‌ای قوی از حضور طلا می‌باشد. هر دو نوع کانی‌سازی پراکنده و رگه‌ای در واحدهای برشی و توف خرد شده از اهمیت بالایی برخوردارند. این واحدها اصلی‌ترین میزبان‌های کانی‌سازی هستند چرا که تخلخل موجود در آن‌ها بیشتر از واحدهای داسیت و آندزیت پورفیرهای کریستالی می‌باشد (Wilkinson, 2005; Richards et al., 2006).

بررسی نمونه‌های ژئوشیمیایی از محیط سنگ و خاک نشان می‌دهد که مرکز سیستم، غنی از عناصر طلا، آرسنیک، آنتیموان، جیوه و تالیم می‌باشد که توسط هاله‌ای از عناصر روی، سرب و نقره محاصره شده‌اند (Talesh-Hosseini et al., 2020). نقشه آنومالی شاخص جمعی عناصر $Au+As+Sb+Hg+Tl$ حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌های خاک در محدوده ساری گونی در شکل (۵) قابل مشاهده است.

در سال ۱۳۸۱، برداشت مغناطیسی در محدوده اکتشافی با استفاده از دستگاه مگنتومتر پرتون شرکت بین‌المللی ریوتیتو انجام شد. ایستگاه‌های اندازه‌گیری با توجه به شبکه نمونه‌برداری ژئوشیمیایی طراحی گردید و نقشه‌های مختلف شدت کل میدان مغناطیسی و تبدیل نسبت به قطب تهیه گردید. در نتیجه بررسی نقشه تبدیل به قطب میدان مغناطیسی (شکل ۶) در این تحقیق می‌توان دریافت که مقادیر بالای مغناطیس در ارتباط با سنگ‌های غیر آلتزه می‌باشند، که از نظر مکانی همبستگی قابل توجهی با کانه‌سازی ندارند. مقادیر پایین مغناطیس نیز منطبق بر رسوبات منطقه می‌باشند. تنها مقادیر متوسط مغناطیس از لحاظ مکانی در ارتباط با کانه‌سازی هستند (Wilkinson, 2005).

دمای پایین‌تر در سیستم اپی‌ترمال و همراه با دگرسانی وسیع از سطح زمین تا عمق ۵۰۰ متری در حفاری‌ها مشاهده گردید. در این فاز سیلیسی شدن محلی و همچنین تبدیل سیریسیت تشکیل شده در فاز اول به فزیت و تشکیل پیریت آرسنیک‌دار بصورت پراکنده در اطراف ذرات پیریت پورفیروبلاستیکی فاز اول دیده می‌شود. پس از تشکیل پیریت آرسنیک‌دار اولیه، محلول کانه‌ساز به مرور از آرسنیک غنی‌تر شده، درحالی که از آهن تهی‌تر می‌شود. این امر به دلیل آن است که، آهن جهت تشکیل پیریت آرسنیک‌دار مصرف می‌شود. پس از تشکیل پیریت آرسنیک‌دار نیز آرسنوپیریت تشکیل می‌شود. دورتر از پیریت آرسنیک‌دار و آرسنوپیریت، رآلگار و اریمنت بصورت پراکنده در سنگ مشاهده می‌شوند. در زون‌های غنی از سیلیس و پیریت آرسنیک‌دار، رگه‌های اریمنت و رآلگار درون شکستگی‌ها تشکیل شده‌اند. در پایان فاز دوم، بتدریج دمای محلول کانه‌ساز غنی از آرسنیک، کاهش یافته که در نهایت منجر به تشکیل رگه‌های استینیت می‌شود. کانی‌های کوارتز، کلسیت و فلدسپات ثانویه (آدولاریا) در این رگه‌ها حضور دارند. در این بخش، کانی‌های دماپایین دیگری همچون کائولینیت و پیروفیلیت نیز حضور دارند که بصورت پراکنده در رگه‌های رآلگار-اریمنت دیده می‌شوند. محصولات نهایی در فاز دوم کانه‌سازی، تشکیل کانی‌هایی نظیر کوارتز، کلسیت، پیریت آرسنیک‌دار، استینیت، رآلگار، اریمنت، گالن، اسفالریت و بندرت ذرات طلائی آزاد می‌باشد.

کانی‌زایی طلا در هر دو فاز کانی‌سازی پورفیری و اپی‌ترمال صورت گرفته است. در فاز اول عمدتاً بصورت اذخالی‌های در حد میکرون در کانی پیریت، درحالی که در فاز دوم بصورت محلول جامد و یا ذرات ریز در حد آنگستروم در ترکیب پیریت آرسنیک‌دار یافت می‌شود (Wilkinson, 2005). کانه‌زایی طلا می‌تواند در ارتباط با دگرسانی فیلک (سیریسیت، فزیت) و

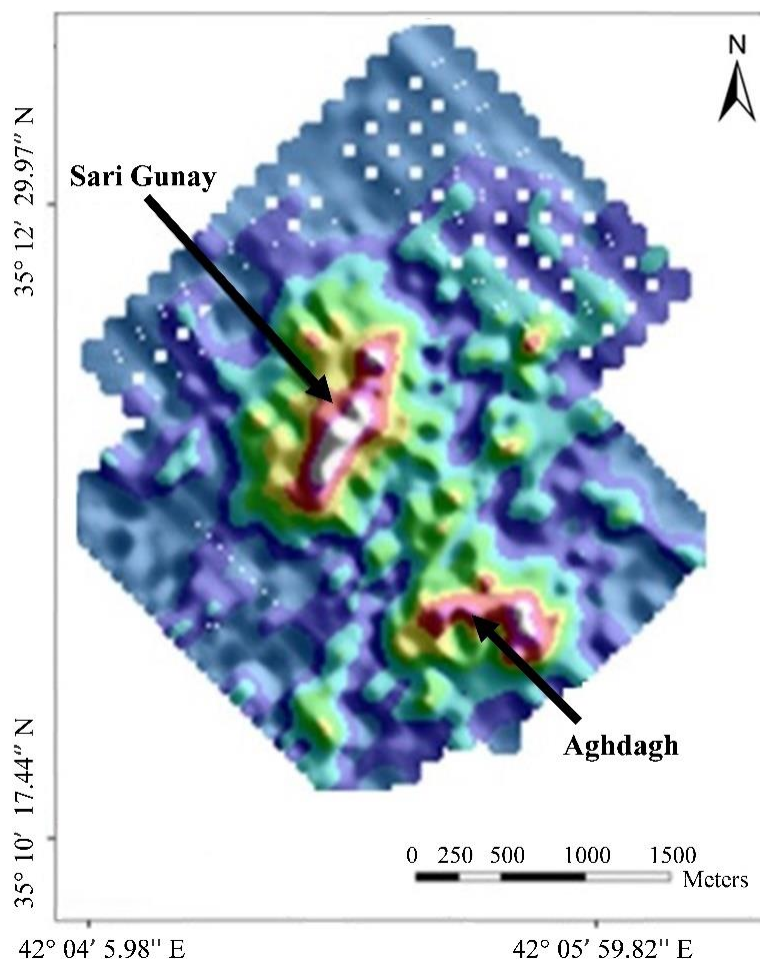


شکل ۴. موقعیت دو سیستم دگرسانی حلقوی (زرد رنگ) در کانسار طلای ساری گونی در تصویر پردازش شده لندست ETM⁺ به روش کروستا (Wilkinson, 2005).

Fig. 4. The location of two circular hydrothermal alteration systems (yellow pixels), mapped by processing ETM⁺ satellite imagery data with Crosta method, at the Sari Gunay gold deposit (Wilkinson, 2005).

حائز اهمیت می‌باشند. پیوستگی ساختارهای اصلی (گروه اول) نشان می‌دهد که کانه‌سازی طلا عمدتاً در طول ساختارهای پیوسته و غیرمنقطع تشکیل شده است (Wilkinson, 2005). در نهایت، نتایج حاصل از حفاری در کانسار طلای ساری گونی نشان داده‌است که زون اکسیدی در این کانسار تا عمق حدود ۱۰۰ متری و زون سولفیدی از حدود ۱۰۰ متری تا بیش از ۳۰۰ متر ادامه دارد (Jackson et al., 2006).

در سال ۱۸۸۱، تعداد ۱۷۹۰ برداشت ساختاری در محدوده اکتشافی توسط شرکت ریوتینتو نیز انجام شد (Wilkinson, 2005). نتایج حاصل از این برداشت‌ها نشان داد که ساختارهای اصلی و پیوسته با روند شمال، شمال شرقی کنترل‌کننده‌های اصلی کانی‌سازی طلا در محدوده می‌باشند. ساختارهای روندهای شمال، شمال غربی و همچنین شرقی-غربی در محدوده وجود دارد که تقاطع آنها با گسل‌های گروه اول در کانه‌سازی طلا نیز



شکل ۵. نقشه آنومالی ژئوشیمیایی شاخص جمععی عناصر $Au+As+Sb+Hg+Tl$ محدوده کانسار طلای ساری گونی، رنگ بنفش و قرمز آنومالی‌های بالا، رنگ زرد و سبز آنومالی‌های متوسط و رنگ آبی آنومالی‌های پایین ژئوشیمیایی را نشان می‌دهند (Talesh-Hosseini et al., 2020)

Fig. 5. Additive index geochemical anomaly map ($Au+As+Sb+Hg+Tl$) of the Sari Gunay area, red to purple, green to yellow, and blue colours, respectively, show high, moderate and low geochemical anomalies (Talesh-Hosseini et al., 2020).

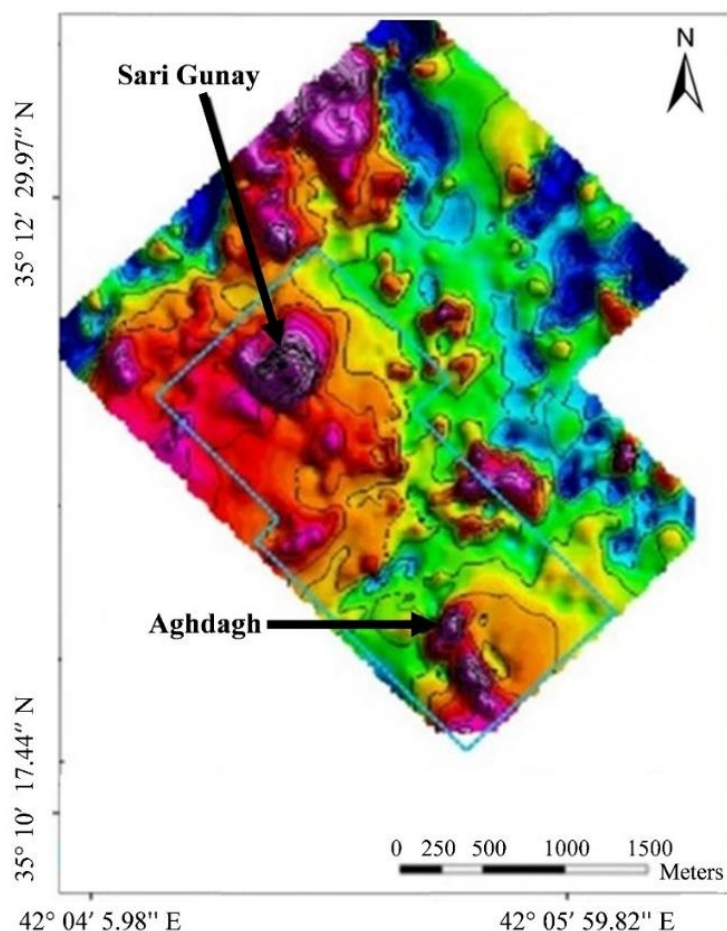
سن سنجی $^{40}Ar/^{39}Ar$ بر روی کانی سرسیت سنگ میزبان دیوریتی، سن کانی‌سازی در این کانسار را در حدود ۲۱ میلیون سال (میوسن پسین) تخمین زده و توده نفوذی عامل کانی‌سازی منطقه از نوع کالک‌آلکالن گزارش شده است (Ayati et al., 2012).

کانسار مس-طلا پورفیری دالی

کانسار مس-طلا پورفیری دالی در ۲۰۰ کیلومتری جنوب غرب تهران و ۸ کیلومتری شمال غرب روستای راهه در استان مرکزی واقع شده است. محدوده اکتشافی از نظر ژئودینامیکی نزدیک کتساکت کمر بند ماگمایی ارومیه-دختر و زون دگرگونی-آتشفشانی-رسوبی سنندج-سیرجان قرار گرفته است. مطالعات

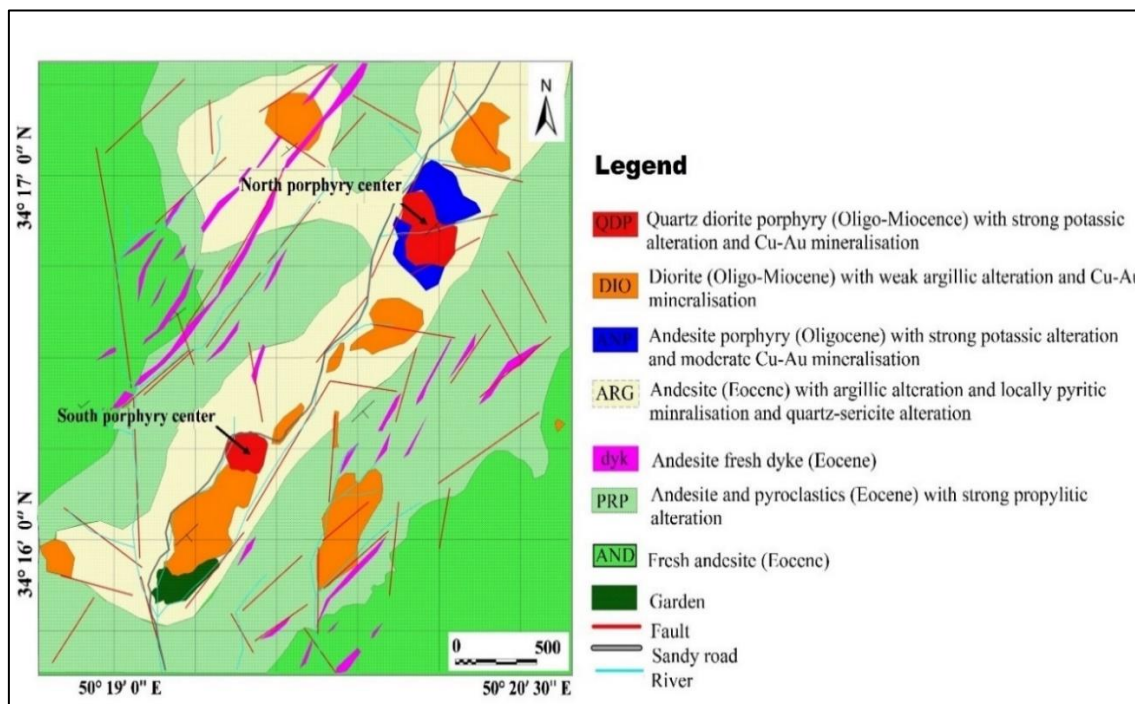
استوک ورک‌های کواتز-مگنیت می‌باشد. واحدهای سنگی میزبان کانی‌سازی تحت تأثیر محلول‌های گرمابی تبدیل به دگرسانی‌های نوع پتاسیک، سریستی و سیلیسی شده‌اند. این واحدها در یک امتداد ۵۵ درجه نسبت به شمال، در طول ۳ تا ۴ کیلومتری در داخل یک زون گسله به عرض حدود ۱ کیلومتر امتداد دارند. رخنمون‌های اطراف واحدهای میزبان کانی‌سازی، همگی سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌های هورنبلند آندزیت با آلتراسیون پروپلیتی هستند (Ayati et al., 2012).

همان‌طوری که در نقشه ۱:۱۰۰۰۰ کانسار دالی نشان داده شده است (شکل ۷)، عمده واحدهای سنگی را گدازه‌های آندزیتی، دایک‌های آندزیتی و آذرآواری‌های آندزیتی ائوسن، آندزیت پورفیری‌های نیمه‌عمیق الیگوسن و توده‌های نفوذی دیوریت و کواتز دیوریت‌های الیگومیوسن را تشکیل می‌دهند (Asadi, 2008). واحدهای سنگی میزبان کانی‌سازی مس و طلا شامل دیوریت، کواتز دیوریت و آندزیت پورفیری می‌باشند. بافت سنگ میزبان عمدتاً پورفیری همراه با



شکل ۶. نقشه تبدیل به قطب میدان مغناطیسی در محدوده ساری گونی، رنگ قرمز و بنفش آنومالی بالا، رنگ سبز و زرد آنومالی متوسط و رنگ آبی آنومالی پایین مغناطیسی را نشان می‌دهند (Wilkinson, 2005).

Fig. 6. Reduced to pole magnetic map of the Sari Gunay area, red to purple, green to yellow and blue colours, respectively, show high, moderate and low magnetic anomalies (Wilkinson, 2005).

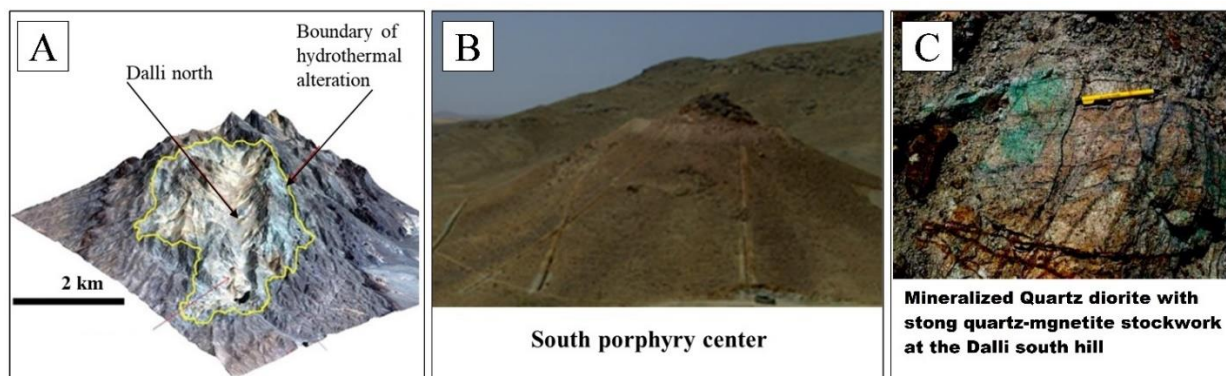


شکل ۷. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰ محدوده کانسار دالی (Asadi, 2008)

Fig. 7. Geological map (1:10000) of the Dalli deposit area (Asadi, 2008)

این آلتراسیون از قبیل اپیدوت، کلریت و کلیست بوضوح قابل مشاهده است. تأثیر محلول‌های گرمابی بر روی سنگ‌های موجود در زون پروپیلیتی بمراتب کمتر از تأثیر آن بر زون‌های داخلی آلتراسیون می‌باشد. از دیگر نشانه‌های تأثیر محلول‌های گرمابی بر سنگ‌های منطقه، می‌توان به حضور اکسیدهای آهن مرتبط با محلول‌های گرمابی، هماتیت ثانویه و اسپیکولاریت اولیه اشاره کرد. گسترش زون دگرسانی گرمابی در محدوده اکتشافی کانسار دالی و همچنین موقعیت مراکز پورفیری جنوبی و شمالی بر روی تصویر رنگی کاذب سه‌بعدی ماهواره‌ای با دقت بالای کوئیک‌برد در شکل (۸) نشان داده شده است. در شکل (۸) همچنین تصویر صحرائی توده‌ی مرکز پورفیری جنوبی و زون استوک و رک کوارتز-مگنتیت نشان داده شده است.

زون شدید کانی‌سازی و توده اصلی با شکل مخروطی در داخل یک بدنه هورنبلند دیوریت، که مرکز پورفیری جنوبی نامیده می‌شود، بر روی سطح زمین مشاهده می‌شود. ابعاد مرکز پورفیری جنوبی در حدود ۱۹۰ در ۲۰۰ متر است و بوسیله آلتراسیون پتاسیک (فلدسپات پتاسیک، بیوتیت ثانویه، مگنتیت و کوارتز) و بصورت جزئی آلتراسیون فیلیک (کوارتز، سرسیت، اسپیکولاریت ± کلریت) به همراه رگه‌ها و استوک‌ورک‌های با دانسیته‌های بالای کوارتز-مگنتیت که توسط آلتراسیون پروپیلیتی گسترده احاطه شده است، مشخص می‌شود (Asadi, 2008). آلتراسیون پتاسیک به همراه اکسید و هیدروکسیدهای آهن (مگنتیت، هماتیت، اسپیکولاریت و گوتیت) مرکز پورفیری جنوبی کانی‌سازی شده را پوشش می‌دهند. آلتراسیون پروپیلیتی نیز در حاشیه آلتراسیون‌های مذکور با حضور گسترده کانی‌های



شکل ۸. A: تصویر رنگی کاذب سه بعدی داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی کوئیک‌برد نشان‌دهنده محدوده دگرسان گرمابی و مراکز پورفیری دالی شمالی و جنوبی، B: نمای صحرایی از مرکز پورفیری جنوبی و C: زون استوک‌ورک کوارتز-مگنتیت به همراه کانی مالاکیت در کانسار دالی.

Fig. 8. A: 3D Colour composite image (RGB:321) of multi spectral Quickbird satellite imagery data showing the extension of hydrothermal alterations and North and South porphyry centres, B: the field view of South porphyry centre and C: quartz magnetite stockwork with malachite mineral at the Dalli deposit.

کانی‌سازی در منطقه دالی از نوع مس پورفیری غنی از طلا می‌باشد، که این تیپ در ایران بسیار کمیاب است (Asadi, 2008). در بخش مرکز پورفیری جنوبی، کانی‌سازی کربنات مس (مالاکیت و آزوریت) و اکسیدهای آهن تقریباً در سرتاسر توده اصلی دیوریتی مشاهده می‌شود و در یک نقطه آثار کار قدیمی جزئی وجود دارد. کانی‌سازی با بافت استوک‌ورک و افشان و با عیار بالای مس و طلا در ارتباط با انواع آلتراسیون‌های پتاسیک (کوارتز-مگنتیت)، فلیک (کوارتز-سریسیت) و همچنین سیستم استوک‌ورک و رگه‌های سیلیسی در سنگ میزبان دیوریتی مشاهده می‌گردد (Ayati et al., 2012).

کانی‌های کالکوپیریت و پیریت کانه‌های سولفیدی اصلی بخش‌های عمقی کانسار دالی را شامل می‌شوند. کانی پیریت به مقدار ناچیز در بخش‌های سطحی یال شمال-شمال غربی توده کانه‌سازی شده جنوبی یافت می‌شود. وجود سولفور در پیریت، منجر به تولید اسید سولفوریک شده، که متعاقب آن، این اسید ترکیبات مس را در بخش‌های بالایی در خود حل کرده و در بخش پایینی (عمق حدود ۳۰ الی ۳۸ متری) بصورت کانی کالکوسیت ته‌نشین کرده است. کانی بورنیت از دیگر کانه مس دار در این کانسار می‌باشد (Ayati et al., 2012). در مطالعات میکروسکوپی نور انعکاسی، مگنتیت کانی فلزی غالب بوده، طلا نیز بصورت دانه‌ای در زمینه‌ای از سیلیس قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۹). با توجه به آنالیز نمونه‌های سنگی، عیار طلا در نمونه‌های کانی‌سازی شده ۰/۲۴-۲/۰۴ گرم در تن، عیار مس کمتر از ۰/۲ تا ۳/۳۱ درصد و نقره نیز ۰/۱۹-۲/۷۳ گرم در تن می‌باشد. نسبت طلا به نقره از ۱/۲۵ تا ۲/۲۵ متغیر است. مقدار مولیدن کم و بطور کلی کمتر از ۱۰ گرم بر تن می‌باشد. مقادیر سرب، روی، آرسنیک، آنتیموان، جیوه و بیسموت بسیار کم می‌باشد. در مرکز توده پورفیری عناصر Fe، Au و Cu تمرکز دارند و در پیرامون آن بیشتر کانی‌سازی نقره، روی و منگنز متمرکز شده‌اند. شکل (۱۰) نقشه آنومالی هاله مرکب عناصر مس و طلای حاصل از آنالیز ۹۸ نمونه خاک بر روی مرکز پورفیری جنوبی و بخش‌های جنوبی آن را نشان می‌دهد.

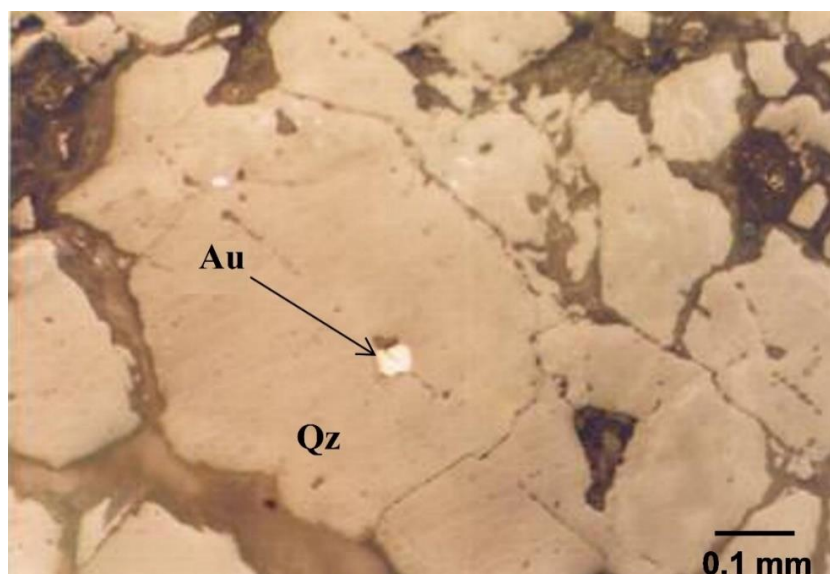
کانی‌سازی در منطقه دالی از نوع مس پورفیری غنی از طلا می‌باشد، که این تیپ در ایران بسیار کمیاب است (Asadi, 2008). در بخش مرکز پورفیری جنوبی، کانی‌سازی کربنات مس (مالاکیت و آزوریت) و اکسیدهای آهن تقریباً در سرتاسر توده اصلی دیوریتی مشاهده می‌شود و در یک نقطه آثار کار قدیمی جزئی وجود دارد. کانی‌سازی با بافت استوک‌ورک و افشان و با عیار بالای مس و طلا در ارتباط با انواع آلتراسیون‌های پتاسیک (کوارتز-مگنتیت)، فلیک (کوارتز-سریسیت) و همچنین سیستم استوک‌ورک و رگه‌های سیلیسی در سنگ میزبان دیوریتی مشاهده می‌گردد (Ayati et al., 2012).

کانی‌های کالکوپیریت و پیریت کانه‌های سولفیدی اصلی بخش‌های عمقی کانسار دالی را شامل می‌شوند. کانی پیریت به مقدار ناچیز در بخش‌های سطحی یال شمال-شمال غربی توده کانه‌سازی شده جنوبی یافت می‌شود. وجود سولفور در پیریت، منجر به تولید اسید سولفوریک شده، که متعاقب آن، این اسید ترکیبات مس را در بخش‌های بالایی در خود حل کرده و در بخش پایینی (عمق حدود ۳۰ الی ۳۸ متری) بصورت کانی

شرکت بین‌المللی ریوتینو انجام گرفت و تعداد ۸۵۰ نقطه برداشت شد. پس از برداشت داده‌های مغناطیسی، با انجام فیلتر تبدیل به قطب بر روی داده‌ها و تهیه نقشه نشان داده شده در شکل (۱۱)، وجود دو مرکز پورفیری شمالی و جنوبی با آنومالی مغناطیسی بسیار بالا، تأیید شد (Asadi, 2008). در مقایسه با نقشه ژئوشیمیایی خاک، می‌توان نتیجه گرفت که آنومالی‌های مغناطیسی و آنومالی‌های ژئوشیمیایی، انطباق خوبی با یکدیگر دارند. غنی‌شدگی مس و طلا در خاک ارتباط مستقیمی با آنومالی‌های مغناطیسی آلتراسیون پتاسیک دارد (Fatehi, et al., 2020). با استفاده از این داده‌های مغناطیسی و داده‌های ژئوشیمیایی می‌توان نتیجه گرفت که، بالا بودن مقادیر عناصر مس و طلا در ارتباط مستقیم با آنومالی‌های مغناطیس بالا در مراکز پورفیری شمالی با شدت بیشتر و گسترده‌تر و در بخش جنوبی با شدت کمتر و کوچکتر می‌باشد (Fatehi and Asadi, 2019).

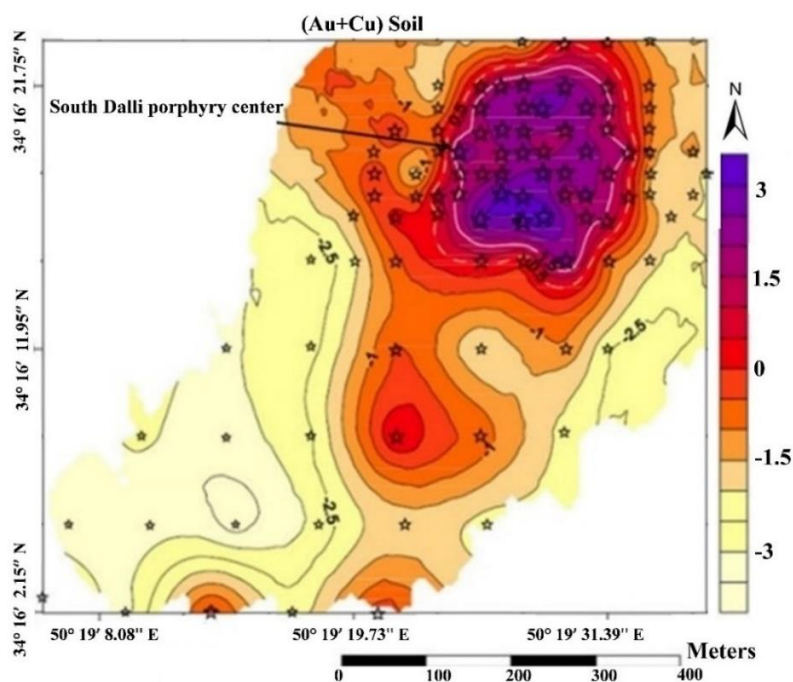
با توجه به آنالیز نمونه‌های سنگی، عیار طلا در نمونه‌های کانی‌سازی شده ۰/۲۴-۲/۰۴ گرم در تن، عیار مس کمتر از ۰/۲ تا ۳/۳۱ درصد و نقره نیز ۰/۱۹-۲/۷۳ گرم در تن می‌باشد. نسبت طلا به نقره از ۱/۲۵ تا ۲/۲۵ متغیر است. مقدار مولیبدن کم و بطور کلی کمتر از ۱۰ گرم بر تن می‌باشد. مقادیر سرب، روی، آرسنیک، آنتیموان، جیوه و بیسموت بسیار کم می‌باشد. در مرکز توده پورفیری عناصر Fe، Au و Cu تمرکز دارند و در پیرامون آن بیشتر کانی‌سازی نقره، روی و منگنز متمرکز شده‌اند. شکل (۱۰) نقشه آنومالی هاله مرکب عناصر مس و طلای حاصل از آنالیز ۹۸ نمونه خاک بر روی مرکز پورفیری جنوبی و بخش‌های جنوبی آن را نشان می‌دهد.

با توجه به حضور مگنتیت با خاصیت مغناطیسی در زون پتاسیک و ارتباط آن با کانی‌زایی طلا در منطقه مورد مطالعه، عملیات برداشت مغناطیسی در مرکز پورفیری جنوبی کانسار دالی توسط



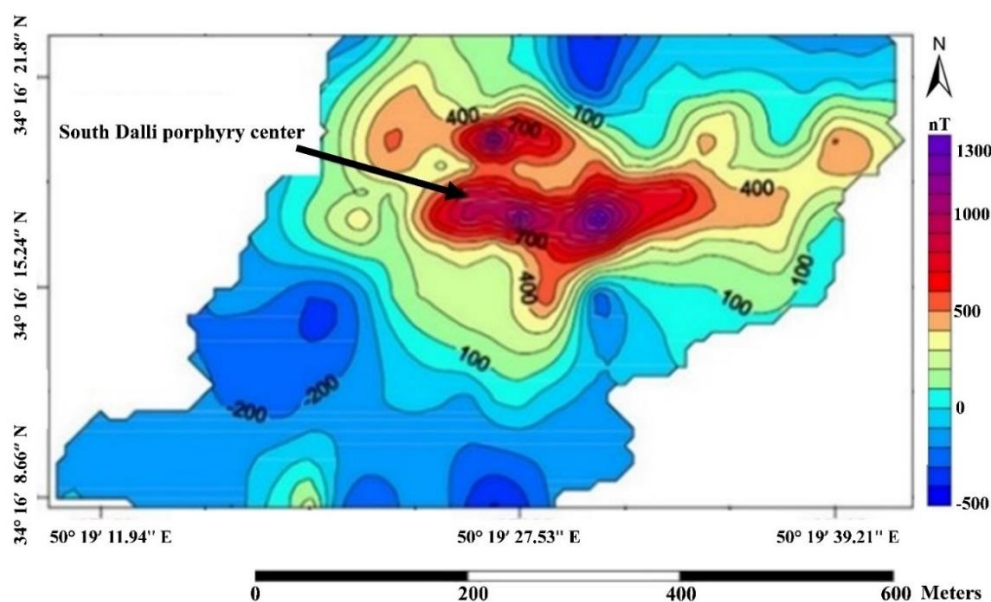
شکل ۹. حضور ذره طلا در زمینه کانی کوارتز در تصویر میکروسکوپ الکترونی در کانسار دالی (Asadi, 2008)، علائم اختصاری بر اساس ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Au: طلا، Qz: کوارتز).

Fig. 9. The occurrence of gold nugget in quartz mineral in the scanned electron microprobe (SEM) with 100 times magnifier in normal light at the Dalli deposit (Asadi, 2008). Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Au: gold, Qz: quartz).



شکل ۱۰. نقشه آنومالی هاله مرکب مس-طلا در نمونه‌های خاک مرکز پورفیری جنوبی کانسار دالی.

Fig. 10. Additive index Cu-Au anomaly map of soil samples at the South porphyry center of the Dalli deposit.



شکل ۱۱. نقشه تبدیل به قطب داده‌های مغناطیسی مرکز پورفیری جنوبی کانسار دالی (Asadi, 2008).

Fig. 11. Reduced to pole magnetic map of the South porphyry center at the Dalli deposit (Asadi, 2008).

با توجه به حضور مگنتیت با خاصیت مغناطیسی در زون پتاسیک و ارتباط آن با کانی‌زایی طلا در منطقه مورد مطالعه، عملیات برداشت مغناطیسی در مرکز پورفیری جنوبی کانسار دالی توسط شرکت بین‌المللی ریوتینتو انجام گرفت و تعداد ۸۵۰ نقطه برداشت شد. پس از برداشت داده‌های مغناطیسی، با انجام فیلتر تبدیل به قطب بر روی داده‌ها و تهیه نقشه نشان داده شده در **شکل (۱۱)**، وجود دو مرکز پورفیری شمالی و جنوبی با آنومالی مغناطیسی بسیار بالا، تأیید شد (Asadi, 2008). در مقایسه با نقشه ژئوشیمیایی خاک، می‌توان نتیجه گرفت که آنومالی‌های مغناطیسی و آنومالی‌های ژئوشیمیایی، انطباق خوبی با یکدیگر دارند. غنی‌شدگی مس و طلا در خاک ارتباط مستقیمی با آنومالی‌های مغناطیسی آلتراسیون پتاسیک دارد (Fatehi, et al., 2020). با استفاده از این داده‌های مغناطیسی و داده‌های ژئوشیمیایی می‌توان نتیجه گرفت که، بالا بودن مقادیر عناصر مس و طلا در ارتباط مستقیم با آنومالی‌های مغناطیس بالا در مراکز پورفیری شمالی با شدت بیشتر و گسترده‌تر و در بخش جنوبی با شدت کمتر و کوچکتر می‌باشد (Fatehi and Asadi, 2019). با مطالعه سیالات درگیر در کانی‌کوارتز، دمای همگن شدن سیال کانه‌ساز در کانسار دالی در حدود ۴۵۰ تا ۵۶۰ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شده که وجود دگرسانی شدید پتاسیک و حضور کانی‌های درجه حرارت بالا (بیوتیت ثانویه، مگنتیت و ارتوز) گواهی بر این موضوع است. ساختارهای اصلی کنترل‌کننده کانی‌سازی در کانسار دالی دارای روند شمال شرقی می‌باشد (Ayati et al., 2012). براساس نتایج حاصل از مطالعات تخمین ذخیره، کانسار دالی دارای ذخیره قطعی ۵ میلیون تن با عیار ۰/۶۵ گرم بر تن طلا و ۰/۵ درصد مس می‌باشد، که حدود ۳۰ درصد از این ذخیره در زون اکسیدی قرار گرفته است (Asadi, 2008).

کانسار طلا تپ کارلین زرشوران

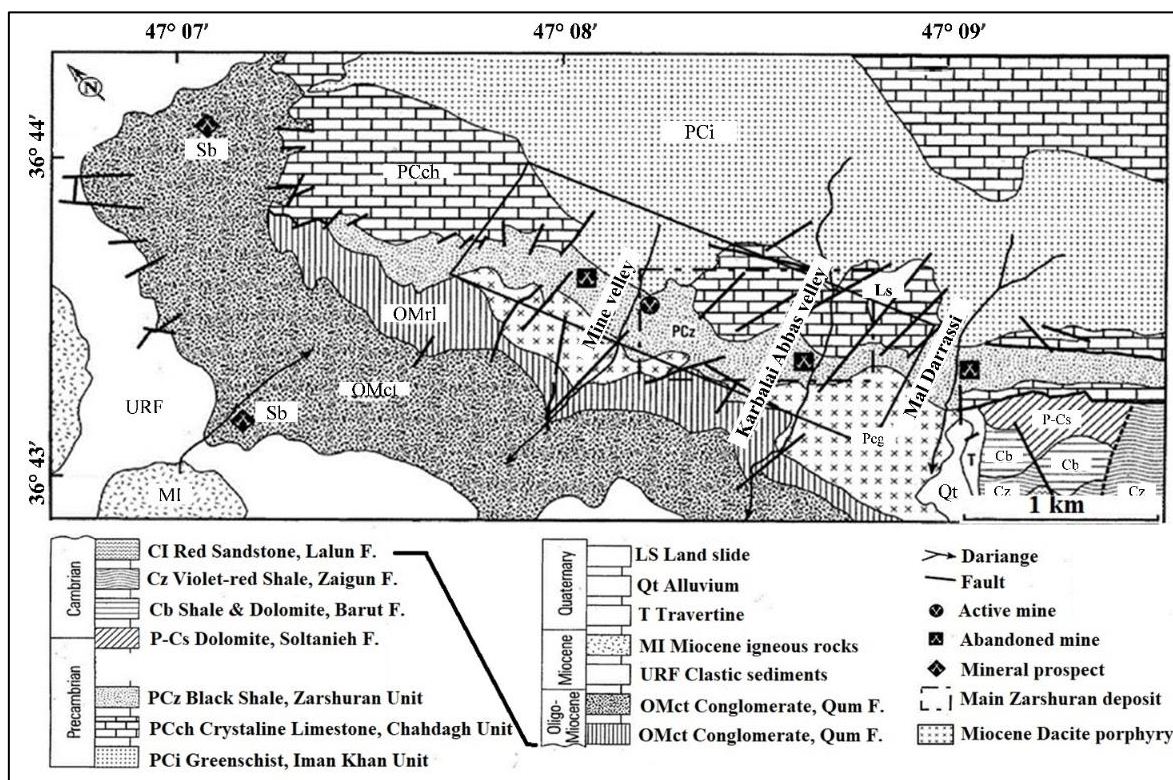
کانسار طلا زرشوران در ۴۲ کیلومتری شمال شهرستان تکاب

در استان آذربایجان غربی در شمال غربی ایران قرار گرفته است. این کانسار براساس زون‌های زمین‌ساختاری ایران، در حاشیه شمال شرقی زون سنندج-سیرجان، در نزدیکی مرز کمان ماگمایی ارومیه-دختر واقع شده است. واحدهای سنگی در منطقه اغلب شامل سنگ بستر دگرگونی پرکامبرین، سنگ‌های کربناته، ولکانیک‌های اسیدی تا حدواسط دوران سوم و رسوبات کواترنری می‌باشد. این منطقه از لحاظ میزبانی کانی‌سازی طلا، آرسنیک، آنتیمون، جیوه و فلزات پایه در ژاسپروئیدها، شیل‌های سیاه، سنگ‌های کربناته و آندزیت‌های دگرسان شده دارای اهمیت می‌باشد. کانی‌سازی طلا در کانسار زرشوران، در داخل شیل‌های سیاه زرشوران که حاوی مواد آلی با میان‌لایه‌هایی از دولومیت و آهک سیلیسی شده هستند، با ضخامت‌های متغیر تشکیل شده است. همچنین در داخل واحدهای آهکی سیلیسی شده چال‌داغ نیز شواهدی از کانه‌زایی طلا مشاهده می‌شود (Asadi, 2000; Heshmatinia et al., 2022). نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ کانسار زرشوران در **شکل (۱۲)** قابل مشاهده است.

با استفاده از بررسی نتایج آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی، ترکیب ماگمای تشکیل دهنده این کانسار آلکالن تشخیص داده شد، و مطالعات سن‌سنجی $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ بر روی کانی‌های رسی در رابطه با کانی‌سازی، سن تشکیل این کانسار را حدود ۱۴ میلیون سال (میوسن میانی) تخمین زده است (Daeijavad et al., 2020). بر اساس مطالعات سیالات درگیر بر روی کانی‌های کوارتز و فلورین دمای تشکیل این کانسار حدود ۱۵۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شده است (Asadi, 2000). سه نوع دگرسانی اصلی در کانسار زرشوران شناخته شده است، که شامل دگرسانی‌های سیلیسی شدن، آرژیلیکی و کربنات‌زدائی می‌باشد. در منطقه فرآیندهای شستشوی اسیدی و اکسیداسیون پسین نیز مشاهده می‌شود. دگرسانی کربنات‌زدایی که در آن جایگزینی سنگ‌های کربناته با سیلیس رخ می‌دهد، اغلب در

شده است. سپس سیلیس ته نشین شده در اثر فرآیند تبلور مجدد به کلسدونی و کوارتز تبدیل شده است. شدت دگرسانی سیلیسی از ضعیف تا جانیشینی کامل سنگ اولیه با ژاسپروئید در تغییر است. دگرسانی سیلیسی یادشده گسترش وسیعی را در واحدهای شیل سیاه، جایی که رگه های ژاسپروئید حضور دارند، نشان می دهد.

زون گسله و در مرز بین واحدهای سنگ آهک چال داغ و شیل سیاه زرشوران مشاهده می شود. متعاقب این دگرسانی، افق کربناته و شیل سیاه نیز تحت تأثیر قرار گرفته اند. دگرسانی سیلیسی مهم ترین و گسترده ترین دگرسانی در کانسار زرشوران می باشد. این دگرسانی، در اثر خنثی سازی محلول های اسیدی غنی از سیلیس، بوسیله کربنات ها همراه با رسوب سیلیس تشکیل



شکل ۱۲. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰ محدوده طلای زرشوران (Modified after Asadi, 2000)

Fig. 12. Geological map of the Zarshuran gold deposit (Modified after Asadi, 2000)

شیل های سیاه زرشوران مشاهده کرد. دگرسانی سیلیسی بصورت رگه ای همراه با کانی سازی مشاهده می شود. در حالی که، دگرسانی آرزلیکی بصورت محدود در نواحی همراه با کانی سازی طلا و خارج از آن ها مشاهده می شود (Asadi et al., 2000). کربنات ها و شیل سیاه پرکامبرین میزبان

سنگ آهک چال داغ نیز در نزدیکی مرز با شیل سیاه زرشوران، در اطراف گسل ها و شکستگی ها تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته است. همچنین می توان شواهدی از این دگرسانی سیلیسی را در داخل واحدهای داسیت لیتیک توف و کربنات های شدیداً دگرسان شده در مجاورت با مرز سنگ های آهکی چال داغ و

آرسنیک، پیریت، پیریت آرسنیک دار، سولفیدهای فلزات پایه، سولفوسالت‌ها، باریت، فلوریت و اکسیدهای آهن می‌باشد. واحدهای داسیت لیتیک توف و داسیت پورفیری آلتره و برشی که فاقد کانی‌سازی هستند به لحاظ مکانی در مجاورت ژاسپروئیدها در شیل سیاه قرار گرفته‌اند (Daeijavad et al., 2020). پیریت یکی از فراوان‌ترین سولفیدهای موجود در کانسنگ و باطله در واحدهای سیلیسی شده سنگ آهک چال داغ، شیل سیاه و زرشوران به شمار می‌رود. در اطراف پیریت معمولاً پیریت آرسنیک دار (شکل ۱۴) وجود دارد که همراه با آن کانی‌سازی طلای ناپیدا (بصورت محلول جامد و یا ذرات در حد آنگستروم) مشاهده می‌شود. همچنین ذرات بسیار ریز کانی مارکاسیت نیز به میزان بسیار ناچیز همراه با پیریت در شیل سیاه حضور دارد (Asadi et al., 1999)

کانی‌سازی در زرشوران می‌باشند که بر روی واحدهای عقیم شیبست سبز و سرپانتینیت‌های ایمان خان قرار گرفته‌اند، و واحدهای داسیت لیتیک توف و کوارتز پورفیری الیگوموسن در آن‌ها نفوذ کرده‌اند. در سنگ آهک سیلیسی چال داغ، طلا در رگه‌های کوارتز متمرکز شده است. سنگ آهک چال داغ نیز دارای کانی‌سازی رگه و پراکنده در مرز پایینی خود با واحد شیل سیاه زرشوران است. شکل ۱۳ تصاویری میدانی از کانسار طلای زرشوران را نشان می‌دهد.

کانی‌سازی طلا در شیل‌های سیاه بصورت پراکنده مشاهده می‌شود. رگه‌های کوارتز در داخل سنگ‌های آهکی، حاوی رگه‌هایی از باریت، پیریت، پیریت آرسنیک دار، اسفالریت و اکسید آهن می‌باشد. رگه‌های کوارتز و ژاسپروئیدهای میزبان کانی‌سازی در شیل‌های سیاه نیز شامل سولفیدهای آنتیموان-



شکل ۱۳. A: واحدهای سنگی مختلف مهم در یال جنوبی طاق‌دیس ایمان خان در کانسار طلای زرشوران را نشان می‌دهد، در این شکل شیبست و سرپانتینیت‌های ایمان خان در هسته طاق‌دیس می‌باشند که بر روی آن آهک چال داغ و سپس شیل سیاه زرشوران قرار گرفته است، کانی‌سازی طلا عمدتاً در مرز واحد آهکی و شیل سیاه در رابطه با دگرسانی سیلیسی شکل گرفته است (دید بسمت شمال شرق). B: نمایی از رگه سیلیسی حاوی کانی‌سازی، و کانی‌های ارپیمنت، رآلگار و فلوریت را نشان می‌دهد.

Fig. 13. (A) Various important lithological units in the southern limb of Iman Khan anticline at Zarshuran deposit, in this picture Iman Khan schist and sepantinite are located in the core of anticline, followed by Chaldagh limestone and Zarshuran black shale, the mineralized silicified zone is located at the contact of limestone and shale. (B) Mineralized silicified zone (vein), as well as orpiment, realgar and fluorite minerals.

رگه‌هایی از باریت، پیریت، پیریت آرسنیک دار، اسفالریت و اکسید آهن می‌باشد. رگه‌های کوارتز و ژاسپروئیدهای میزبان

کانی‌سازی طلا در شیل‌های سیاه بصورت پراکنده مشاهده می‌شود. رگه‌های کوارتز در داخل سنگ‌های آهکی، حاوی

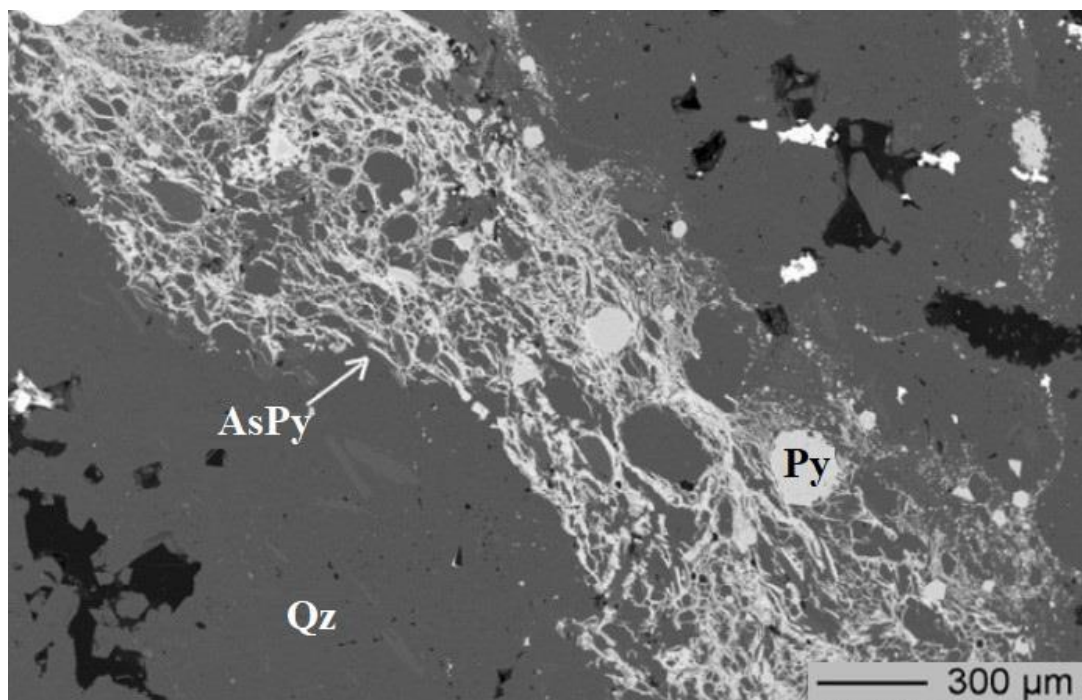
کانی سازی در شیل های سیاه نیز شامل سولفیدهای آنتیموان - آرسنیک، پیریت، پیریت آرسنیک دار، سولفیدهای فلزات پایه، سولفوسالت ها، باریت، فلوریت و اکسیدهای آهن می باشد. واحدهای داسیت لیتیک توف و داسیت پورفیری آلتره و برشی که فاقد کانی سازی هستند به لحاظ مکانی در مجاورت ژاسپروئیدها در شیل سیاه قرار گرفته اند (Daeijavad et al., 2020). پیریت یکی از فراوان ترین سولفیدهای موجود در کانسنگ و باطله در واحدهای سیلیسی شده سنگ آهک چال داغ، شیل سیاه و زرشوران به شمار می رود. در اطراف پیریت معمولاً پیریت آرسنیک دار (شکل ۱۴) وجود دارد که همراه با آن کانی سازی طلائی ناپیدا (بصورت محلول جامد و یا ذرات در حد آنگستروم) مشاهده می شود. همچنین ذرات بسیار ریز کانی مارکاسیت نیز به میزان بسیار ناچیز همراه با پیریت در شیل سیاه حضور دارد (Asadi et al., 1999).

ارپیمت فراوان ترین کانی سولفیدی و کانی اصلی عنصر آرسنیک در زرشوران به حساب می آید. رآلگار دیگر کانی آرسنیک دار است که معمولاً همراه با ارپیمت مشاهده می شود. استینیت و سینابر نیز بصورت ذرات پراکنده در ماتریکس کانی ارپیمت و یا بصورت ادخال در ارپیمت، گچلیت و اسفالریت مشاهده می شود. اسفالریت فراوان ترین کانی سولفید فلزات پایه در زرشوران است. کالکوپیریت و گالن نیز دیگر کانی سولفید فلزات پایه می باشند که به ندرت و همراه با پیریت یافت می شوند. از کانی های باطله کانسار زرشوران می توان به باریت، فلوریت، کلسیت و دولومیت اشاره نمود. پیریت آرسنیک دار، اسفالریت، سولفیدهای آرسنیک - آنتیموان - تالیم، سولفوسالت های سرب، اکسیدهای آهن و کانی های باطله در رگه های سیلیسی و ژاسپروئیدها مشاهده می شوند.

در کانسنگ طلائی زرشوران، طلا عمدتاً بصورت ناپیدا در شبکه پیریت آرسنیک دار و بندرت همراه با ارپیمت و رآلگار دیده می شود. بخش ناچیزی از طلا که قابل مشاهده می باشد در

ژاسپروئید، شیل های سیلیسی شده و سنگ آهک سیلیسی شده حضور دارد. در این سنگ ها، تمرکز طلا به خصوص در نمونه هایی که شامل پیریت و ارپیمت هستند بالا می باشد. طلا همبستگی بالایی با آرسنیک و جیوه، و تا حدی با آنتیموان و روی دارد. بیشترین عیار طلا در نمونه های حاوی پیریت، ارپیمت و اسفالریت مشاهده شد. طلا بصورت غیر قابل مشاهده با اسفالریت هم یافت می شود. ذرات طلائی قابل مشاهده در حد میکرون به مقدار ناچیز تنها در ارپیمت و سیلیس وجود دارد. آنالیز نقطه ای کانی های حاوی طلا از جمله پیریت شبکه ای و کفرم با روش الکترون میکروپروپ حدود ۴۰ تا ۱۰۰ گرم در تن طلا و تا ۲/۴ درصد آرسنیک از خود نشان دادند. همچنین طلا در برخی از نسل های اسفالریت تمرکزی در حدود ۱۱۰ تا ۳۹۰ گرم در تن دارد. ارپیمت نیز حاوی حدود ۱۵۸ گرم در تن طلا می باشد، که این تمرکز بالا احتمالاً می تواند ناشی از حضور ذرات طلائی طبیعی و پیریت های طلا دار در این کانی باشد (Asadi et al., 1999).

بدلیل همراهی طلا با سولفوسالت ها، می توان با مطالعه بر روی آن ها اطلاعات سودمندی در مورد کانی سازی طلا به دست آورد. بررسی های انجام شده بر روی کانی های سولفیدی و طلا، چندین کانی سولفوسالت همراه با کانی های سولفیدی و طلا را مشخص نمود. این سولفوسالت ها حاوی سرب، آرسنیک، آنتیموان، جیوه، تالیم، مس و سولفور می باشند (Daliran, et al., 2018). ذرات طلائی فلزی بندرت همراه با کانی سولفوسالت تالیم، جیوه، و آرسنیک مشاهده می شود. فاز اول کانی سازی طلا در زرشوران (تشکیل طلا بصورت حلقه پیرامون پیریت آرسنیک دار) مقدم بر تشکیل سولفوسالت ها بوده است، که این موضوع را می توان از حضور سولفوسالت ها در اطراف پیریت های آرسنیک دار حاوی طلا نتیجه گیری نمود (Asadi et al., 2001).



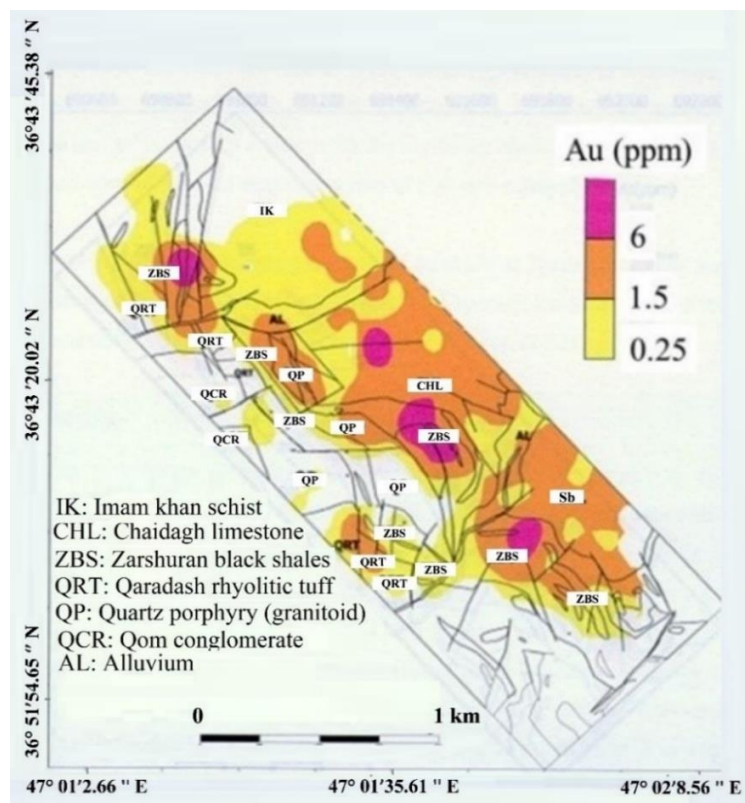
شکل ۱۴. تصویر میکروسکوپ الکترونیکی از پیریت آرسنیک‌دار شبکه‌ای حاوی طلای ناپیدا و پیریت عقیم در زمینه‌ی کانی کوارتز در معدن زرشوران (Asadi et al., 1999). علائم اختصاری بر اساس ویتنی و واتز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده‌است (AsPy: پیریت آرسنیک‌دار، Py: پیریت، Qz: کوارتز).

Fig. 14. Electron microprobe image of network arsenian pyrite bearing invisible gold, barren pyrite in the quartz matrix at the Zarshuran deposit (Asadi et al., 1999). Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (AsPy: arsenian pyrite, Py: pyrite, Qz: quartz).

درجه حرارت ۱۵۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد رخ داده است (Asadi, 2000; Mehrabi et al., 1999).

همانطوری که در نقشه آنومالی ژئوشیمیایی نمونه‌های خاک کلاس‌بندی شده طلا در محدوده زرشوران در شکل (۱۵) نشان داده شده‌است، عیارهای بالای طلا عمدتاً در رابطه با شیل سیاه زرشوران و سنگ آهک چال‌داغ می‌باشد، که این موضوع نشانگر تاثیر عامل سنگ‌های کربناته با فعالیت بالای شیمیایی بر کانی‌سازی می‌باشد. علاوه بر این مطالعات ژئوشیمیایی بر روی نمونه‌های خاک نشان داد که پارائنز ژئوشیمیایی عناصر Au-As-Sb-Tl-Hg-Cd-Zn-Ba-Ag در محدوده زرشوران دارای تمرکز قابل توجهی می‌باشند (Asadi, 2000).

اگرچه واضح است که کانی‌سازی طلا در زرشوران در دو فاز مختلف انجام شده‌است، ولی لزوماً به این معنی نیست که دو فاز محلول کانی‌ساز بصورت جداگانه منجر به تشکیل کانسار شده باشند، بلکه کانی‌سازی موجود در زرشوران ناشی از تنها یک محلول کانی‌ساز است. توالی عناصر سولفوسالت و تغییر نسبت عنصر آرسنیک به آنتیموان در آن‌ها، نشان‌دهنده فرآیند تکامل در یک محلول گرمابی کانی‌ساز می‌باشد. محلولی که منجر به ته‌نشست طلا و پس از آن کانی‌های سولفوسالت شده‌است. فاز اول کانی‌سازی طلا ناشی از محلول غنی از آنتیموان و تهی از آرسنیک در درجه حرارت بیش از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. فاز دوم کانی‌سازی نیز از محلولی غنی از آرسنیک در



شکل ۱۵. نقشه آنومالی ژئوشیمیایی طلا در نمونه‌های خاک زرشوران (Asadi, 2000).

Fig. 15. Gold geochemical anomaly map of soil samples at the Zarhshuran deposit (Asadi, 2000).

حاوی زون‌های سیلیسی و همچنین توف آلتزه و برشی داسیتی می‌باشد. (Asadi, 2000).

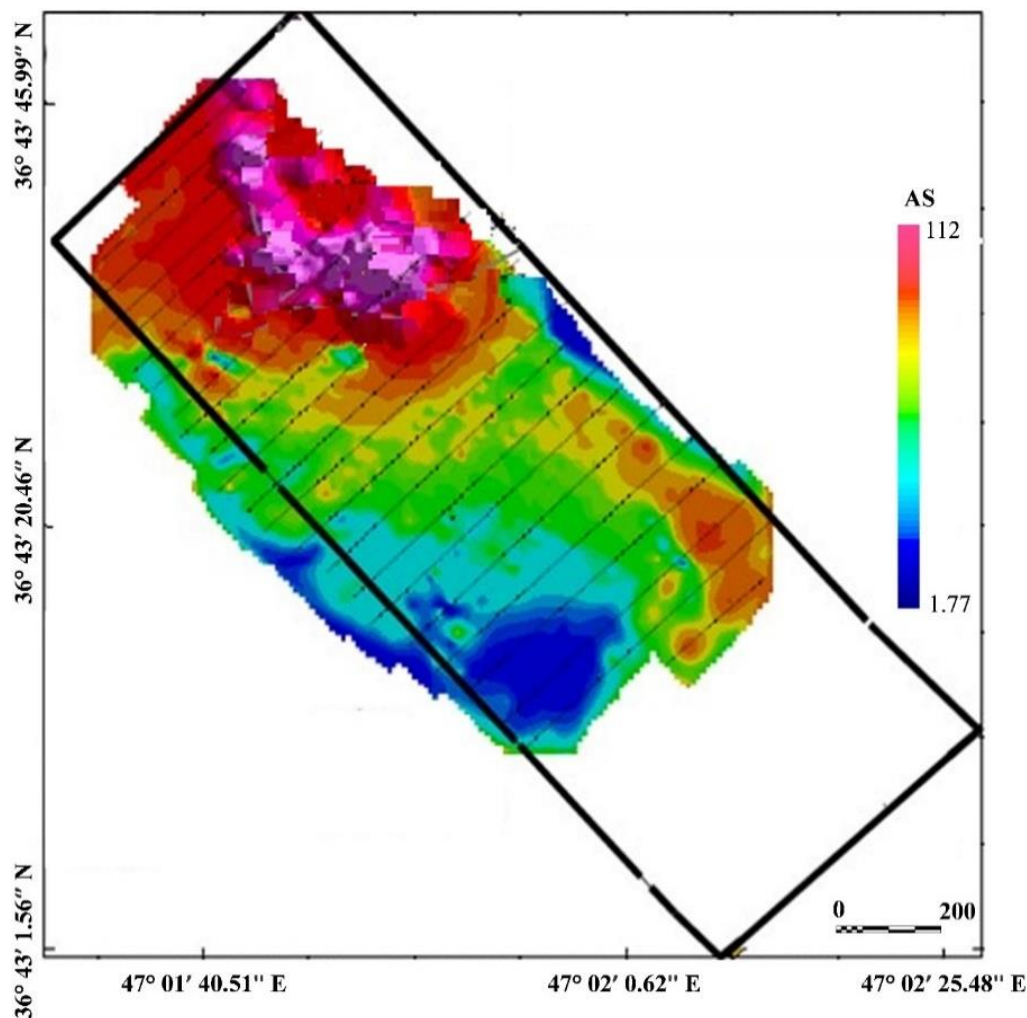
گسل‌های اصلی در محدوده دارای روند شمال شرقی (NE) و شمال غربی (NW) می‌باشند. کنترل کننده اصلی کانی‌سازی، ساختارهای موجود در محدوده با روند شمال شرقی - جنوب غربی است (Asadi, 2000). بر اساس نتایج حفاری‌های انجام شده و مطالعات تخمین ذخیره، معدن زرشوران دارای عیار متوسط ۲/۶۳ گرم در تن و محتوای طلا ۱۵۵ تن گزارش شده است (Heshmatnia et al., 2022). از این ذخیره حدود ۹۵ درصد آن در زون سولفیدی قرار گرفته است، بطوری که طلا عمدتاً بصورت ناپیدا در شبکه پیریت آرسنیک‌دار وجود دارد.

در مطالعات ژئوفیزیکی، مهم‌ترین ویژگی در محدوده زرشوران شدت بالای میدان مغناطیسی بر روی واحد شیست ایمان‌خان می‌باشد. نقشه مغناطیس هوایی آنومالی شدید در اطراف معدن زرشوران را نشان می‌دهد که ناشی از حضور سرپانتینیت می‌باشد (Asadi and Hale, 1999). در نقشه سیگنال تحلیلی (شکل ۱۶)، مقادیر بالا منطبق بر حاشیه سنگ‌های دگرگونی ایمان‌خان شامل شیست، آمفیبولیت و سرپانتینیت است. علاوه بر این، این پدیده را می‌توان در ارتباط با یک توده زیرسطحی مغناطیسی ناشناخته دانست. مقادیر پایین در این نقشه منطبق بر واحدهای رسوبی عهد حاضر و ولکانیک‌های اسیدی قره داغ می‌باشند. در حالی که مقادیر متوسط در این نقشه در ارتباط با واحدهای حاوی کانی‌سازی شیل سیاه زرشوران و آهک سیلیسی چال داغ

جدول ۱. خصوصیات و معیارهای اکتشافی کانسارهای طلای ساری گونی، طلای زرشوران و مس-طلای دالی.

Table 1. Characteristics and exploration criteria of the Sari Gunay gold, Zarshuran gold and Dalli copper-gold deposits.

Exploration Criteria	Dalli copper-gold deposit	Sari Gunay gold deposit	Zarshuran gold deposit
Geodynamic Setting	Contact of Urumiyeh-Dokhtar magmatic arc and Sanandaj-Sirjan zone (inside Urumiyeh-Dokhtar arc)	Sanandaj-Sirjan zone	Contact of Urumiyeh-Dokhtar arc and Sanandaj-Sirjan zone (inside Sanandaj-Sirjan zone)
Magma Series	Calc-alkaline	Alkaline	Alkaline
Age Dating ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	~15 Ma	~11 Ma	~14 Ma
Host Rock	Diorite	Dacite lithic tuff, breccias, dacite porphyry	Black shale and limestone
Hydrothermal Alteration	Potassic, phyllic and silica alterations (copper-gold hosts), surrounded by barren argillic and propylitic alterations	Silica and phyllic alterations (gold host), barren argillic and propylitic alterations	Silicification and decalcification (gold hosts), and locally barren phyllic-argillic alteration
Mineralogy	Chalcopyrite, pyrite, spicularite, bornite, chalcocite, bornite and native gold	Arsenian pyrite (gold host), orpiment, realgar, stibnite, galena, As-Sb oxides, chalcopyrite,	Arsenian pyrite (gold host), orpiment, realgar, stibnite, sphalerite, galena, fluorite, As-Sb oxides
Geochemical Characteristics	Au-Cu-Fe	Au-As-Sb-Pb-Tl-Cd-Hg-Ag-Cu-Te	Au-As-Sb-Zn-Hg-Pb-Tl-Cd-Zn-Ba-Ag-Te-F-Ba
Geophysical Characteristics	High magnetic anomaly associated with potassic alteration, high chargeability associated with sulfides and high resistivity related to silicification	Low magnetic anomaly, high chargeability associated with sulfides and high resistivity related to silicification	Low magnetic anomaly, high chargeability associated with sulfides and high resistivity related to silicification
Structural Controls	NE and N-S trending and circular structures associated with porphyry center	NE and NNE trending	NW and NE trending (strong mineralization at intersections)
Homogenization Temperature	450° to 560°C	246° to 360°C	150° to 350°C
Textures	Porphyry, stockwork	Vuggy, breccia, stockwork	Vuggy, breccia
Grade and Tonnage	~5 Mt at 0.65 g/t Au and 0.5% Cu	Oxide zone: ~53 Mt at 1.66 g/t Au	155 tons of gold content grade of 2.63 g/t Au
Genesis	Copper-Gold porphyry (or dioritic type)	Low sulfidation epithermal Au, deep-seated porphyry	Carlin type
Advantage and Disadvantages	Two elements, easy mineral processing, due to limited exploration relatively small deposit, low grade	Oxide ore up to 100m, easy mineral processing (heap leaching), large deposit and relatively low grade, refractory gold in sulfide ore	Very limited oxide ore, mainly sulfide and difficult mineral processing, large and high grade, mainly refractory gold in sulfide ore



شکل ۱۶. نقشه سیگنال تحلیلی داده‌های مغناطیسی کانسار طلای زرشوران (Asadi, 2000).

Fig. 16. Analytical signal map of magnetic data at the Zarhshuran deposit (Asadi, 2000).

آلکان با دگرسانی شدید سیلیسی و فلیک تشکیل شده است. کانی سازی در کانسار زرشوران از نوع کارلین با سنگ میزبان رسوبی کربناته می باشد که در ارتباط غیرمستقیم با یک ماگماتیسم آلکان عمیق به همراه دگرسانی شدید سیلیسی شده شکل گرفته است. در کانسار دالی کانی سازی از نوع مس پورفیری غنی از طلا با سنگ میزبان آذرین دیوریتی می باشد که در ارتباط با یک ماگمای کالک آلکان و دگرسانی های شدید

بحث و نتیجه گیری

نتایج و مقایسه این مطالعات نشان داد که کانی سازی در کانسار طلای ساری گونی بواسطه وجود کانی آدولاریا، بافت خلل فرج دار در سنگ های حاوی کانی سازی سیلیسی، همبستگی عناصر طلا، آرسنیک، آنتیموان، نقره، جیوه، روی و تالیم، عدم وجود کانی آلونیت و عیار پایین مس در بخش های بالایی از نوع اپی ترمال سولفیداسیون پایین می باشد که در ارتباط با داسیت های

پتاسیک، سربستی و سیلیسی تشکیل شده است. برخی از معیارهای مهم اکتشافی دیگر کانسار مس-طلای دالی عبارتند از: (۱) همبستگی ژئوشیمیایی بسیار قوی مس و طلا، (۲) کانی‌زایی مرتبط با دگرسانی‌های پتاسیک و فلیک در مرکز سیستم پورفیری که توسط دگرسانی‌های عقیم آرژیلیکی و پروپیلیتی محاصره شده‌اند و (۳) آنومالی بسیار بالای مغناطیسی مرتبط با دگرسانی پتاسیک.

کانی‌سازی در ساری گونی و زرشوران به رگم سنگ میزبان و ژنز متفاوت، دارای شباهت‌هایی هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به عمق کانی‌سازی بیش از ۳۰۰ متر، دمای همگن شدن سیالات کانه‌ساز بین ۱۵۰ تا ۳۶۰ درجه سانتی‌گراد، ساختارهایی با روند شمال شرقی، پاراژنز عناصر طلا، آرسنیک و آنتیمون، طلای غیر قابل رؤیت در پیریت آرسنیک‌دار، اکسیدهای آهن نوع هماتیتی و جاروسیتی در سطح، سیلیسی شدن قوی و محدود و در نهایت دگرسانی سربستی-آرژیلیک اشاره کرد. درحالی‌که کانی‌سازی در کانسار دالی کاملاً با دو کانسار ذکر شده در بالا

متفاوت است. کانی‌سازی در کانسار دالی تنها یک سیستم کانی‌سازی مس-طلای نوع پورفیری بوده و شباهت‌های زیادی با زون‌های با عمق بیش از ۵۰۰ متری در کانسار ساری گونی دارد. از جمله معیارهای تشخیص برای اکتشاف کانسارهای مشابه با زرشوران و ساری گونی می‌توان به ماگماتیسیم الیگومیوسن آلکالن در ارتباط با محیط تکتونیکی بعد از برخورد صفحه قاره‌ای و فرآیند آبداکشن اشاره کرد. خصوصیات و معیارهای اکتشاف این سه کانسار در **جدول شماره ۱** خلاصه شده است.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان بیان نشده است.

قدردانی

از همکاری شرکت‌های ژئوپرشیا و درسازپردازه برای در اختیار گذاشتن برخی اطلاعات برای انجام این تحقیق کمال تشکر بعمل می‌آید.

References

- Alavi, M., 1994. Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229 (3-4): 211-238.
[https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2)
- Asadi, H. H. and Hale, M., 1999. Integrated analysis of aeromagnetic, Landsat TM and mineral occurrence data for epithermal gold exploration in northwest Iran. *Proceedings of the 13th International Conference on Applied Geologic Remote Sensing*, Vancouver, British Columbia, Canada.
- Asadi, H.H., 2000. The Zarshuran Gold deposit model applied in a mineral exploration GIS in Iran, Ph.D. Thesis, Delft University, Delft, The Netherland, 172 pp. Retrieved August 16, 2023 from
<http://resolver.tudelft.nl/uuid:2c1c4bb4-8403-4d93-8f49-705b0b9f4482>
- Asadi, H.H., Voncken, J.H.L. and Hale, M., 1999. Invisible gold at Zarshuran, Iran. *Economic Geology*, 94(8) :1367-1374.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.94.8.1367>
- Asadi, H.H., Voncken, J.H.L., Kühnel, R.A. and Hale, M., 2000. Petrography, mineralogy and geochemistry of the Zarshuran Carlin-like gold deposit, NW Iran. *Mineralium Deposita*, Springer, 35: 656-671.
<http://doi.org/10.1007/s001260050269>
- Asadi, H.H., 2008. Final exploration report at Dalli Cu-Au deposit, Dorsa Mining Company, (open file report), 154 p (in Persian).
- Asadi, H.H., Voncken, J.H.L. and Hale, M., 2001. Sulphosalts at the Zarshuran Carlinlike gold deposit, northwest Iran, implications for gold mineralization. *Transaction of Institution of Mining and Metallurgy (Section B)*. 110 (1): 24-32.
<http://doi.org/10.1179/aes.2001.110.1.24>
- Ayati, F., Yavuz, F., Asadi, H.H., Richards, L., and Jourdan, F., 2012. Petrology and geochemistry of calc-alkaline volcanic and subvolcanic rocks, Dalli porphyry copper–gold deposit, Markazi Province, Iran. *International Geology Review*, 55 (2): 158-184.
<http://doi.org/10.1080/00206814.2012.689640>
- Daeijavad, H.A., Asadi H.H., Mokhtari A.R., 2020. Identification and application of a Carlin-type gold mineral system for exploration targeting in the Takab geothermal basin, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 121: 103494.
<http://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103494>
- Daliran, F., Hofstra. A., Walther, J. and Topa D., 2018. Ore Genesis Constraints on the Agdarreh and Zarshuran Carlin-Style Gold Deposits in the Takab Region of Northwestern Iran. In John L.Muntean (Editor), *Diversity in Carlin-Style Gold Deposits*, Society of Economic Geologists, United states of America, pp. 299-333.
<http://doi.org/10.5382/rev.20.09>
- Fatehi, M., Asadi H.H. and Morshedy A.H., 2020. 3D Design of Optimum Complementary Boreholes by Integrated Analysis of Various Exploratory Data Using a Sequential-MADM Approach. *Natural Resources Research*, 29 (2):1-21.
<http://doi.org/10.1007/s11053-019-09484-7>
- Fatehi, M. and Asadi, H.H., 2019. Geophysical signatures of gold rich porphyry copper deposits: A case study at the Dalli Cu-Au porphyry deposit. *Journal of Economic Geology*, 10 (2): 639-675 (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/econg.v10i2.69539>
- Hezarkhani, A. and Williams-Jones, A.E., 1998. Controls of alteration and mineralization in the Sungun porphyry copper deposit, Iran; evidence from fluid inclusions and stable isotopes. *Economic Geology*, 93 (5): 651- 670.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.93.5.651>
- Jackson, S., Casley, Z. and Bertoli, O., 2006. Estimation of gold resources at the Sari Gunay gold deposit, Kordestan province, northwest Iran (Technical Report). Rio Tinto Mining and Exploration Limited Company (Iran branch), Tehran, 104 pp.
- Mehrabi, B., Yardley, B.W.D. and Cann, J.R., 1999. Sediment-hosted disseminated gold mineralization at Zarshuran, NW Iran. *Mineralium Deposita*, 34: 673– 696.
<http://doi.org/10.1007/s001260050227>
- Richards, J.P., 2003. Sari Gunay Gold Project: 40Ar/39Ar Geochronology, Kordestan province, northwest Iran (Technical Report). Rio Tinto Mining and Exploration Limited Company (Iran branch), Tehran, 87 pp.

- Richards, J.P., Wilkinson, D. and Ullrich, T., 2006. Geology of the Sari Gunay Epithermal Gold Deposit, Northwest Iran. *Economic Geologists*, 101(8): 1455–1496.
<http://doi.org/10.2113/gsecongeo.101.8.1455>
- Richards, J.P. and 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: 193–212. Retrieved June 13, 2023 from
https://www.researchgate.net/publication/308397702_The_Tethyan_Tectonic_History_and_Cu-Au_Metallogeny_of_Iran_SEG_Special_Publication_19
- Schroder, J.W., 1944. Essai sur la structure de l'Iran. *Eclogae Geologicae Helvetiae.*, 37(1):37-81. Retrieved August 16, 2023 from
<https://archive-ouverte.unige.ch/unige:154757>
- Shahabpour, J., 1994. Post mineralization breccia dike from the Sar Cheshmeh porphyry copper deposits, Kerman, Iran. *Exploration and Mining Geology*, 3(1): 39-43. Retrieved August 16, 2023 from
<https://sciexplore.ir/Documents/Details/989-529-680-812>
- Heshmatnia, S.H., Tale-Fazel, E. and Oroji, A., 2022. The role of sulfidation of Fe-carbonate rocks in increasing gold contents at the Zarshuran deposit (northern Takab), Takab-Angouran metallogenic district. *Journal of Economic Geology*, 14(4): 89–114. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/ECONG.2022.75417.1042>
- Talesh-Hosseini S., Asghari O. and Asadi H.H., 2020. Multivariate anomaly modeling of primary geochemical halos by U-spatial statistic algorithm development: A case study from the Sari Gunay epithermal gold deposit, Iran, *Ore Geology Reviews*, 127: 103845.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103845>
- Wilkinson, L.D., 2005. Geology and mineralization of the Sari Gunay gold deposit, Kordestan province, northwest Iran (Technical Report). Rio Tinto Mining and Exploration Limited Company (Iran branch), Tehran, 165 pp.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187.
<https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>