Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Autumn 2025, Vol. 15 (3): 93 - 114

Research Article

# Investigating the reproductive relationship between Cu and Zn elements in the volcanogenic massive sulfide deposit of Sargaz, northwest of Jiroft, southeast of Iran.

Hamid Rostamipour[1]*, Mehrdad Behzadi[1]

1-Department of Mineral and Water Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

**Keywords:** *Massive sulfide, Sargaz, paragenesis, copper and zinc, Jiroft*

## 1-Introduction

The Sargaz volcanogenic massive sulfide deposit is located in southeastern Iran, northwest of Jiroft County. The study area comprises a series of Upper Triassic-Jurassic volcanic, pyroclastic, and sedimentary rocks. The morphology of this area is mountainous, with deep valleys, and accessibility is difficult, especially in the eastern parts. Previous studies in this area indicate extensive volcanogenic massive sulfide copper-zinc mineralization. The massive sulfide zone is located in basaltic and jasper horizons. Mineralization has occurred in the shear stringer zone as veinlets. The massive sulfide mineralization in Sargaz mainly consists of chalcopyrite, pyrite, and sphalerite with smaller amounts of galena and tennantite. The dominant textures include massive, veinlet, and shear, indicating multi-stage formation. Most silicic-chlorite alteration is observed around the mineralization zones. Analyses show that the major elements (Cu, Zn) are present at high grades (Cu up to 6% and Zn up to 4%) and exhibit strong positive correlations. The rare-earth element (REE) pattern with a negative Ce anomaly confirms a marine formation environment. The deposit forms stratigraphic lenses, 10-40 m thick, between volcanic and sedimentary units. The high-grade sulfide zone is surrounded by a low-grade stringer zone (veined) below. Based on the drill core data, the stratigraphic horizons are observed from surface to depth: first flysch, then andesite, pyroclastic, jasper, massive sulfide lens-stringer, and basalt.

## 2-Materials and Methods

After conducting field operations and sampling, thin sections were prepared for petrographic studies. Microscopic studies were performed on 20 polished sections and 40 thin sections. To verify the accuracy of the microscopic studies, 15 rock samples were taken from different parts of the deposit for XRD analysis and analyzed in the laboratory of Zar Azma Mahan Minerals Company. To study the geochemical behavior of major and trace elements, 35 samples were taken from the ore-bearing parts of the deposit. These samples were then analyzed in the laboratory of Zar Azma Mahan Minerals Company using ICP-MS methods.

## 3-Results and Discussion

The target deposit is of Mesozoic age (Shahraki ghadimi, 2004). Available data indicate that the Sargaz deposit was probably formed in the environment of a spreading intracontinental back-arc basin (Baderzadeh, 2009). The mineralization zone is located within the basaltic unit, and the jasper-carbonate horizon covers its upper part. Approaching the mineralization zone, the jasper-carbonate exfoliative unit is formed right at the boundary between the lower pillow basalt rocks containing mineralization and the upper andesite, pyroclastic, and flysch rocks. In the Sargaz massive sulfide deposit, pyrite is the most abundant sulfide mineral, which is visible in almost all rock units. Chalcopyrite is highly abundant in the upper part

* Corresponding author: rostamipoor12@gmail.com
DOI: 10.22055/aag.2025.49375.2511
Received: 2025-04-13
Accepted: 2025-11-01


ISSN: 2717-0764

of the mineralization zone. Siliceous, chloritic, argillic, and iron oxide alteration are closely related to mineralization. The Sargaz deposit is a bimodal mafic volcanic massive sulfide deposit. The high-grade mineral body is generally stratified and layered, lenticular, and parallel to the sedimentary and volcanic units, but the low-grade horizon is veined and sheared. The stratified part of the deposit consists of pyrite, chalcopyrite, tennantite, sphalerite, and pyrrhotite, which are located below the jasper exhalative horizon. The vein-shear ore part in the stringer zone, with a stockwork and shear structure, contains pyrite and chalcopyrite. At the edge of the massive sulfide zone, there is a thin pyrite-sphalerite zone that contains low-grade zinc mineralization (Fig 1).

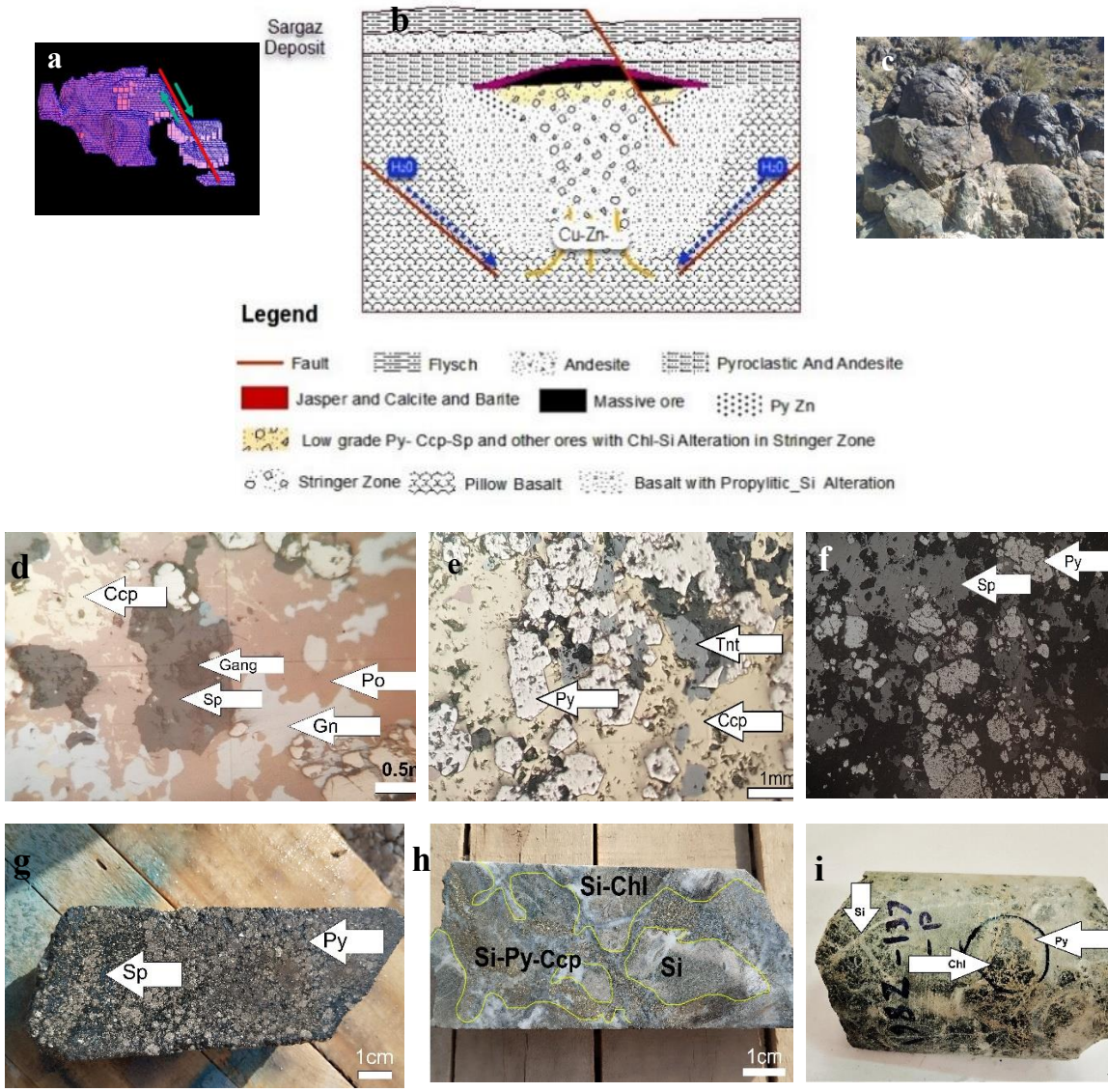



Figure 1- a) Block model of the deposit body in the Surpac software environment, b) Schematic of the body of one of the zones of the Sargaz copper and zinc deposit, c) Pillow basalt unit that is sometimes visible due to erosion of the upper units, d) and e) Polished section of the massive sulfide zone containing pyrite (Py), chalcopyrite (Ccp), tennantite (Tnt), sphalerite (Sp), galena (Gn), pyrrhotite (Po) and gangue (Gang) waste minerals, f) and g) Polished section picture and core sample of the pyrite-sphalerite (Py-Sp) zone at the edge of the massive sulfide zone (according to the shape of the deposit body), h) Polished section picture of the low-grade zone below the massive sulfide zone (upper part of the stringer zone), and i) Core sample from the stringer zone containing silicic, chloritic alteration with pyrite veins without mineralization. Mineral truncated symbols from (Whitney and Evans,2010)


ISSN: 2717-0764
CC BY

The normalized rare earth element pattern indicates a relative increase in HREE elements compared to LREE. Based on the Pearson correlation coefficient, the copper element shows a positive correlation with the zinc element.

## 4-Conclusion

In this research, mineralogy and petrology studies, along with geochemical studies of the main elements of the deposit and rare and rare-earth elements in the Sargaz volcanogenic massive sulfide deposit, were investigated. Mineralization is in the form of massive sulfide and stringer. The delineation of the deposit body shows a regular mineral and rock zoning in the Sargaz deposit. Generally, mineralization is located below the jasper zone. Geochemical studies indicate a correlation between the elements copper and zinc. The study of the geochemistry of normalized rare-earth elements shows that HREEs exhibit a relative increase compared to LREEs.

## 5-References

Badrzadeh, Z., 2009. Petrology, geochemistry and petrogenesis of pillow lavas in the Sargaz region (northwest of Jiroft) with a special view on their associated massive copper and zinc mineralization (VMS). PhD thesis, Tarbiat Modarres University. p. 139.

Shahraki ghadimi, A., 2004. Geological Map 1/100,000 Esfandaqheh, Geological and Mineral Exploration Organization of Iran.

Whitney, D., Evans, B., 2010. Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals, American Mineralogist 95, 185-187. https://doi.org/10.2138/am.2010.3371.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Rostamipour, H., Behzadi, M., 2025. Investigating the reproductive relationship between Cu and Zn elements in the volcanogenic massive sulfide deposit of Sargaz, northwest of Jiroft, southeast of Iran. Adv. Appl. Geol. 93-114.
DOI: 10.22055/aag.2025.49375.2511
https://aag.scu.ac.ir/article_20438.html

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers


ISSN: 2717-0764

مقاله پژوهشی

# بررسی ارتباط زایشی بین عناصر مس و روی در کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد سرگز، شمال‌غرب جیرفت، جنوب‌شرق ایران

**حمید رستمی پور**
*گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران*
**مهرداد بهزادی**
*گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران*
*rostamipoor12@gmail.com*
*تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۰*

## چکیده
کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد سرگز در جنوب‌شرق ایران، شمال‌غرب شهرستان جیرفت قرار دارد. محدوده مورد مطالعه را مجموعه‌ای از سنگهای آتشفشانی، آذرآواری و رسوبی تریاس بالایی-ژوراسیک دربرگرفته است. ریخت‌شناسی این ناحیه کوهستانی و دره‌های عمیق می‌باشد و از نظر دسترسی بویژه در بخش‌های شرقی صعب‌العبور است. مطالعات قبلی در این محدوده نشان از کانه‌زایی گسترده مس و روی سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد دارد. زون سولفید توده‌ای مابین افق بازالتی و ژاسپری قرار دارد. کانه‌زایی در زون استرینگر برشی به صورت رگه رگچه‌ای رخ داده است. کانی‌سازی سولفید توده‌ای در سرگز عمدتاً شامل کالکوپیریت، پیریت و اسفالریت با مقادیر کمتری گالن و تنانتیت است. بافت‌های غالب شامل توده‌ای، رگه‌ای و برشی بوده که نشان‌دهنده تشکیل در چند مرحله است. دگرسانی سیلیسی-کلریتی شدید در اطراف زون‌های کانه‌رایی مشاهده می‌شود. تحلیل‌ها نشان می‌دهد عناصر اصلی (Cu, Zn) با عیار بالا (Cu تا ۶٪ و Zn تا ۴٪) و همبستگی مثبت قوی وجود دارند. الگوی عناصر نادر خاکی (REE) با آنومالی منفی Ce محیط تشکیل دریایی را تأیید می‌کند. کانسار به صورت عدسی‌های چینه‌سان با ضخامت ۱۰-۴۰ متر در بین واحدهای آتشفشانی و رسوبی تشکیل شده است. زون پرعیار سولفیدی در زیر توسط زون استرینگر کم‌عیار (رگه‌ای) احاطه شده است. بر پایه اطلاعات مغزه‌های حفاری افق چینه‌شناسی به طور ایده‌آل به ترتیب از سطح به عمق ابتدا فلیش و پس از آن آندزیت-پیروکلاستیک-ژاسپر-عدسی سولفید توده‌ای-استرینگر و بازالت مشاهده می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** *سولفید توده ای، سرگز، پاراژنز، مس و روی، جیرفت*

## ۱-مقدمه
کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد بر اساس ویژگی‌های سنگ میزبان خود توسط باری و هانینگتون (Barrie and Hannington, 1999) به پنج گروه تقسیم شده‌اند. (۱) مافیک، (۲) مافیک-سیلیسی کلاستیک، (۳) بایمدال مافیک، (۴) بایمدال-فلسیک، و (۵) فلسیک-سیلیسی‌کلاستیک. ایران دارای انواع مختلفی از کانسارهای VMS در محدوده سنی از اردویسین تا الیگوسن است (Mousivand et al, 2008). کانسارهای شناخته شده VMS در ایران عبارتند از تکنار (Karimpour and Shafaroudi, 2005)، بوانات (Mousivand et al, 2012)، چاه‌گز (Mousivand et al, 2011)، زورآباد (Aftabi et al, 2006) و باریکا (Tajeddin Yarmohamadi et al, 2006, Khodaparast ،et al, 2010 et al, 2010). محدوده معدنی سرگز در شمال باختر شهرستان جیرفت، در بخش جنوبی زون سنندج-سیرجان واقع شده است (Ghasemi and Talbot, 2006). محدوده مورد مطالعه در سیستم مرکاتور عرضی جهانی ۵۳۵۵۰۰ و ۵۳۶۰۰۰ شرقی، ۳۱۷۷۸۰۰ و ۳۱۷۸۳۰۰ شمالی و در زون ۴۰ قرار دارد. این ناحیه به طور عمده با گدازه‌ها، مواد آذرآواری و واحدهایی از فلیش پوشیده شده است (Shahraki Ghadimi, 2004). کانسار سرگز به‌عنوان یک ذخیره VMS از نوع بایمدال مافیک، در کمربند سنندج-سیرجان واقع شده و با ویژگی‌های

زمین‌شناسی پیچیده و پتانسیل معدنی بالا، نیازمند مطالعه جامع برای پاسخ به سوالات کلیدی زیر است: بررسی ارتباط زایشی بین عناصر مس و روی در کانسار سرگز و تعیین پاراژنز کانی‌شناسی آنها و شناسایی عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی (ساختاری، سنگ میزبان، دگرسانی) و نقش محیط تکتونیکی در تشکیل کانسار. راهکارها و روش‌شناسی در این پژوهش شامل: ترکیب مطالعات صحرایی (لاگینگ مغزه‌های حفاری، نمونه‌برداری، آزمایشگاهی) آنالیزXRD ، ICP-MS و تحلیل (نمودارهای عنکبوتی، همبستگی پیرسون) برای تعیین ارتباط عناصر. از نظر دیدگاه اکتشافی، یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که دگرسانی سیلیسی-کلریتی و افق ژاسپری به عنوان کلیدهای اکتشافی در شناسایی زون‌های پرعیار مس و روی عمل می‌کنند. همبستگی مثبت مس با روی (ضریب ۰.۷) و عناصر Cd, Ag, Bi نشان‌دهنده سیستم هیدروترمال با منشأ واحدی است که می‌تواند در اکتشاف ذخایر مشابه در پهنه سنندج-سیرجان مورد استفاده قرار گیرد. آنومالی منفی Ce در نمونه‌ها تأییدکننده تشکیل کانسار در یک محیط دریایی کم‌عمق است که به عنوان معیاری برای شناسایی محیط‌های مشابه کاربرد دارد.

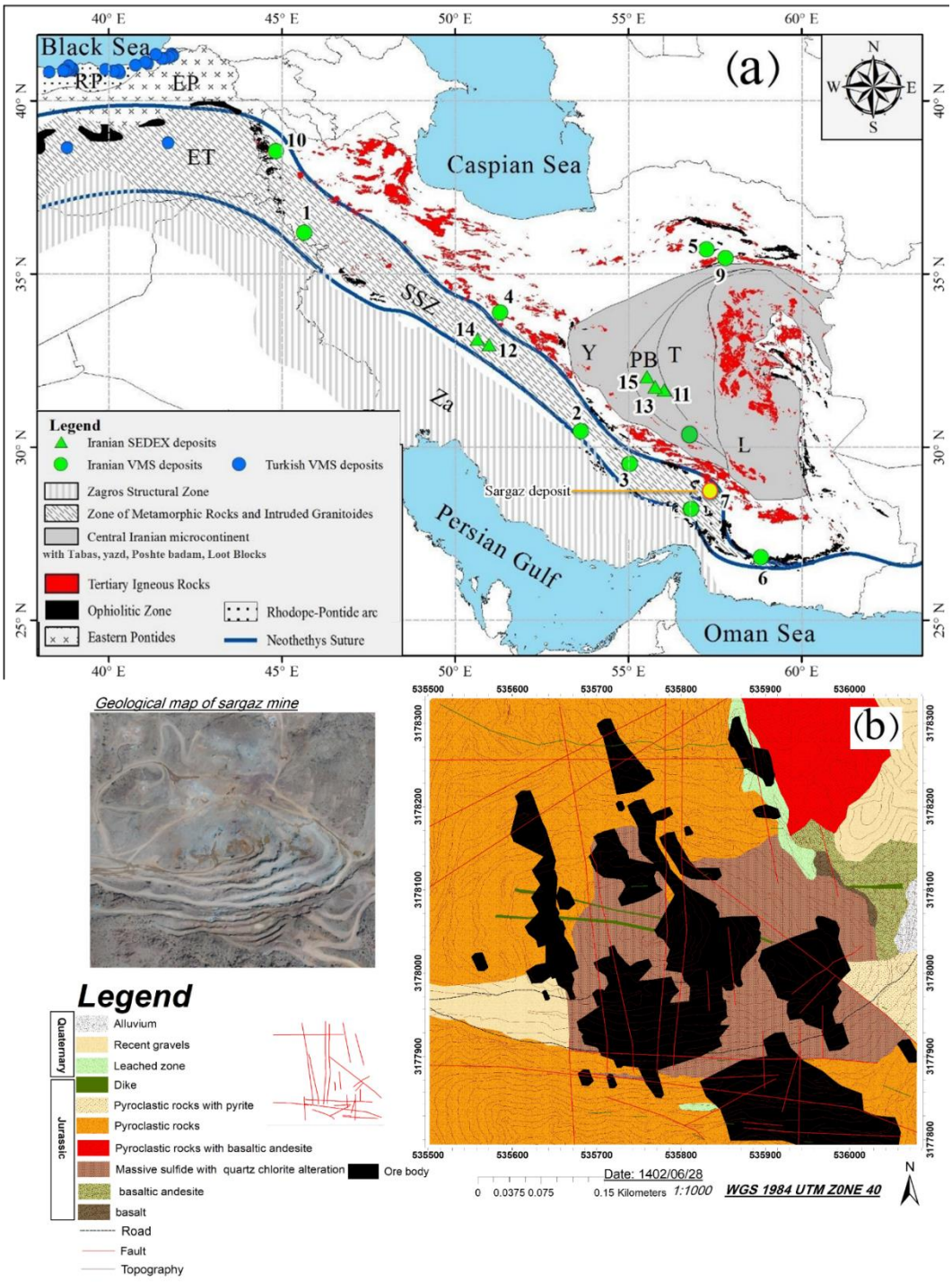
مهمترین نوآوری و کاربرد عملی این پژوهش شامل ارائه مدل ژنتیکی برای کانسارهای VMS در حوضه‌های پشت قوسی درون‌قاره‌ای با تأکید بر نقش گسل‌های عمیق در هدایت سیالات گرمابی و پیشنهاد اکتشافات هدفمند در مناطق با رخنمون واحدهای بازالتی بالشی و دگرسانی‌های شدید سیلیسی-کلریتی می‌باشد.

## ۲-زمین‌شناسی

### ۲-۱- زمین‌شناسی عمومی

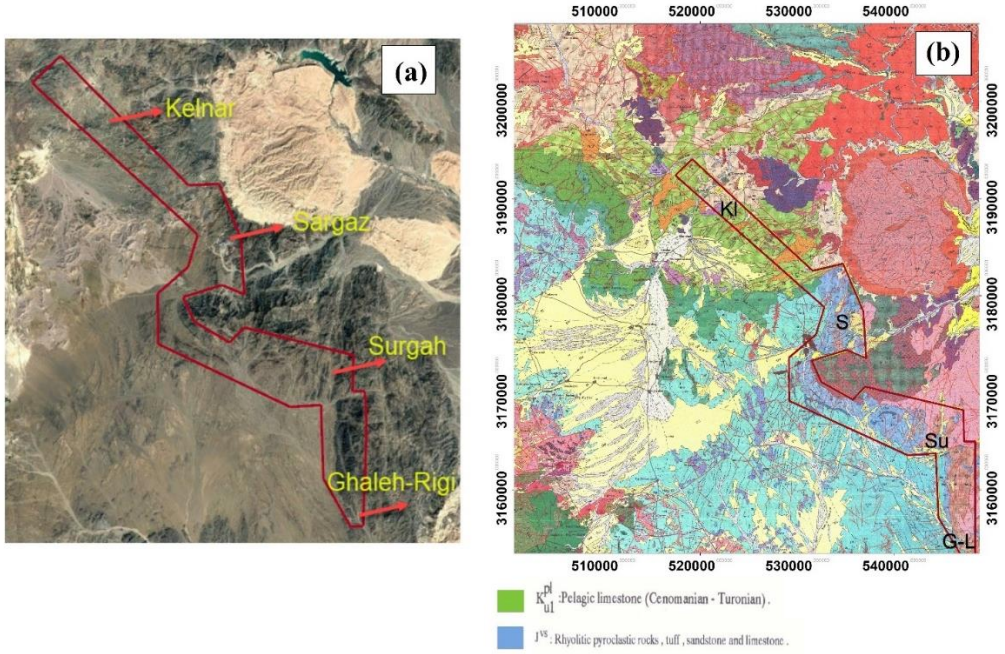
نهشته‌های VMS عمدتاً در زون ساختاری سنندج-سیرجان و ایران مرکزی (بلوک پشت بادام) قرار گرفته‌اند (شکل ۱). بر اساس شواهد ژئوشیمیایی و چینه‌شناسی، فرآیندهای تکتونیکی مرتبط با فرورانش پوسته نئوتتیس منجر به نازک‌شدن پوسته و فعالیت ماگمایی در منطقه شده است. این شرایط باعث تشکیل سیستم‌های هیدروترمال و تمرکز کانی‌سازی شده است. داده‌های موجود نشان می‌دهند که کانسار سرگز احتمالاً در محیط یک حوضه پشت قوسی درون‌قاره‌ای در حال گسترش تشکیل شده است (بدرزاده، ۲۰۰۹). این یافته‌ها با ویژگی‌های ردیف چینه‌ای و ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه که حاکی از یک محیط تکتونیکی فعال است، همخوانی دارد. مجموعه شواهد زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی مؤید تشکیل کانسار در چارچوب فرآیندهای مرتبط با فرورانش و گسترش پوسته در این محدوده است. (شکل۱) نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰ منطقه سرگز به همراه موقعیت کانسار سرگز نسبت به پهنه‌های ساختاری ایران و کانسارهای سولفید توده‌ای ایران نشان می‌دهد.

براساس نقشه زمین‌شناسی یکصدهزار ورقه اسفندقه در محدوده مورد مطالعه، واحد JVS رخنمون دارد که شامل واحدهای پیروکلاستیک ریولیتی، توف، ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک می‌باشد (Shahraki Ghadimi, 2004). با انجام پیمایشهای صحرایی متعدد از واحد JVS در محدوده موردنظر و همچنین محدوده‌های مجاور، علاوه بر واحدهای یاد شده، لایه‌های شیل-منگنز، آندزیت و بازالت نیز رویت گردید. واحد JVS دارای کانسارهای شناخته شده قلعه‌ریگی(Jahangiri et al, 2021) و سرگز می‌باشد. در مطالعات زمین‌شناسی انجام گرفته از واحد JVS شواهدی از کانه‌زایی مس سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد رویت گردید، از جمله در روستای سورگاه. همچنین در شمال کانسار سرگز (روستای کلنار) واحد $K_{ul}^{pl}$ با سن کرتاسه شامل آهک پلاژیک می‌باشد که بر روی واحد JVS قرار گرفته است. در بخشهایی از این واحد به دلیل فرسایش در کف دره‌ها، واحد JVS بیرون‌زدگی داشته و دارای رخنمون می‌باشد که حاوی آثاری از کانه‌زایی سولفید توده‌ای است. در شکل ۲ نقشه برش خورده زمین‌شناسی یکصدهزار ورقه اسفندقه به همراه کمربند کانه‌زایی سولفید توده‌ای نشان داده شده است.




شکل ۱- کانسارهای سولفید توده‌ای در ایران از گسترش قابل توجهی برخوردارند. (a)- موقعیت کانسارهای VMS و SEDEX ۱: باریکا، ۲: بوانات،۳: چاه گز، ۴: دره، ۵: نوده، ۶: رمشک، ۷: سرگز، ۸: شیخ عالی، ۹: تکنار، ۱۰: زورآباد، ۱۱: چاه میر، ۱۲، حسین آباد، ۱۳: کوشک، ۱۴: لاکان، ۱۵: زریگان (حاج صادقی و همکاران، ۲۰۱۷)، (b) نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰ زون کانه‌زایی سرگز که در آن رخنمون کانه‌زایی دارای روند شمال‌غرب-جنوب-شرقی می‌باشد.

Fig. 1. Massive sulfide deposits are significantly widespread in Iran. (a) Location of VMS and SEDEX deposits 1: Barika, 2: Bavanat, 3: Chah Gaz, 4: Darreh, 5: Nodeh, 6: Rameshk, 7: Sargaz, 8: Sheikh Ali, 9: Taknar, 10: Zourabad, 11: Chah Mir, 12, Hossein abad, 13: Koushk, 14: Lakan, 15: Zarigan (Haj Sadeghi et al., 2017), (b) Geological map of the 1/1000 Sargaz mineralization zone, where the mineralization outcrop has a northwest-southeast trend.




شکل۲- (a) موقعیت کمربند کانه‌زایی سولفید توده‌ای در تصاویر گوگل‌ارث در منطقه سرگز، (b) موقعیت این کمربند در نقشه زمین‌شناسی یکصد هزار ورقه اسفندقه (Shahraki Ghadimi, 2004). نقشه زمین‌شناسی برش خورده و تنها کمربند مذکور را در بر می‌گیرد. همانگونه که مشخص است به دلیل تحرکات تکتونیکی و جابجایی واحدهای سنگی، کمربند کانه‌زایی به صورت مارپیچ درآمده است.

Fig. 2. (a) Location of the massive sulfide mineralization belt in Google Earth images in the Sargaz region, (b) Location of this belt in the geological map of 100,000 Esfandaghe sheets (Shahraki ghadimi, 2004). The geological map is cropped and includes only the aforementioned belt. As is clear, due to tectonic movements and displacement of rock units, the mineralization belt has become spiral.

## ۳-روش مطالعه

پس از انجام مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری های سیستماتیک، بررسی‌های آزمایشگاهی جامعی بر روی نمونه‌های جمع‌آوری شده انجام شد. در مرحله اول، مطالعات پتروگرافی با تهیه ۴۰ مقطع نازک و ۲۰ مقطع صیقلی آغاز گردید تا ویژگی‌های بافتی و کانی‌شناسی نمونه‌ها به دقت مورد بررسی قرار گیرد. برای تکمیل داده‌های میکروسکوپی و اطمینان از صحت نتایج، تعداد ۱۵ نمونه منتخب به روش پراش اشعه ایکس (XRD) در آزمایشگاه شرکت مواد معدنی زرآزما ماهان مورد تحلیل قرار گرفت.

در ادامه، به منظور مطالعه دقیق رفتار ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب، تعداد ۳۵ نمونه از بخش‌های کانه‌دار کانسار انتخاب و به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) آنالیز شدند. این روش پیشرفته با مزایای منحصر به فردی همچون یونیزاسیون در محیط بی‌اثر شیمیایی، دمای یکنواخت مشعل و حد تشخیص بسیار پایین (۰/۱ تا ۱ پی‌پی‌ام برای عناصر نادر خاکی)، امکان سنجش دقیق غلظت عناصر را فراهم می‌سازد. این ویژگی‌ها باعث شده است ICP-MS نسبت به روش‌های سنتی مانند یونیزاسیون شعله از دقت و حساسیت بالاتری برخوردار باشد (Bazilio and Weinrich, 2012).

## ۴-زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

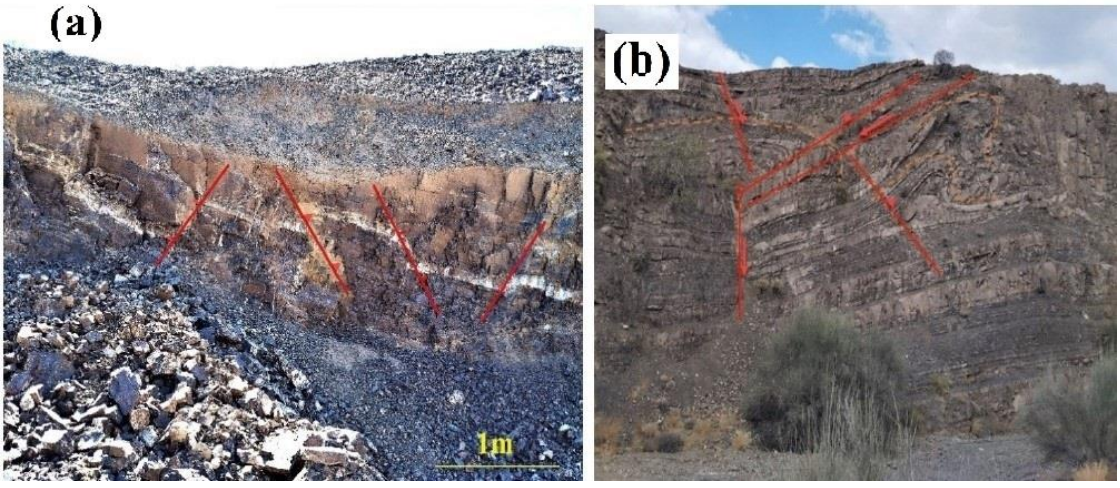
محدوده مورد مطالعه شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و رسوبی متعلق به ژوراسیک است که در زون ساختاری سنندج ـ سیرجان قرار گرفته‌اند. واحدهای آتشفشانی منطقه شامل بازالت‌های بالشی می‌باشد که بخش‌های زیرین توالی سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند و نشان‌دهنده محیط تشکیل دریایی هستند. این بازالت‌ها دارای ساختار بالشی بوده و با ژاسپرهای آهن‌دار همراهند و تحت تأثیر دگرسانی کلریتی قرار گرفته‌اند. همچنین در منطقه آندزیت و پیروکلاستیک با ضخامت تقریبا ۲۰ متر و رنگ سبز تا ارغوانی مشاهده می‌شود که حاوی کانی‌های دگرسان‌شده مانند کلریت و کائولینیت-

سریسیت هستند و در ارتفاعات اصلی منطقه رخنمون دارند. علاوه بر این، توف و آذرآواری‌ها همراه با لایه‌های ماسه‌سنگ و شیل در منطقه وجود دارد که نشان‌دهنده فعالیت‌های انفجاری آتشفشانی در محیط کم‌عمق است. در بخش رسوبی منطقه، واحد فلیش به عنوان بالاترین لایه در ستون چینه‌شناسی منطقه دیده می‌شود که ترکیبی از تناوب شیل منگنزدار سیلیسی و ماسه‌سنگ بوده و نشان‌دهنده محیط رسوبی است. لایه‌های ژاسپر نیز به صورت سیلیس و اکسید آهن با ضخامت متغیر در منطقه وجود دارد که به عنوان افق کلیدی در شناسایی کانسار عمل می‌کند. بر اساس مطالعات صحرایی و بررسی مغزه‌های حفاری، واحدهای آتشفشانی منطقه تحت تأثیر فرآیندهای دگرسانی شدید قرار گرفته‌اند. مشاهدات نشان می‌دهد: کانی‌های مافیک در بازالت‌ها و آندزیت‌ها به کلریت دگرسان شده‌اند. پلاژیوکلازها به کائولینیت-سریسیت تبدیل شده‌اند یا دارای دگرسانی کمی هستند. رخنمون‌های سنگی عمدتاً به رنگ‌های سبز، سبز تیره و سیاه مشاهده می‌شوند.

مطالعات ساختاری منطقه نشان می‌دهد: گسل‌های اصلی با روند شمالی-جنوبی، کنترل‌کننده گسل‌های فرعی هستند. اگرچه فعالیت‌های تکتونیکی باعث جابجایی زون کانه‌زایی شده‌اند، اما تأثیر مستقیمی بر تشکیل کانه‌زایی نداشته‌اند. شواهد چین‌خوردگی و گسلش در واحدهای فلیش، مؤید فعالیت‌های تکتونیکی شدید در منطقه است (شکل ۳). دایکهای جوان تمامی واحدهای سنگی محدوده را قطع کرده‌اند(شکل۴-a). واحدهای فلیشی پس از دایکها، جوانترین واحدهای سنگی محدوده را تشکیل می‌دهند که بر روی سایر واحدها قرار دارد (شکل۴-b). یک رخنمون منگنزدار با ضخامت کمتر از ۱۰ متر در فاصله ۵۰۰ متری غرب زون کانه‌زایی به عنوان شاخص اکتشافی شناسایی شده است. این واحد در زیر زون فلیش قرار دارد که بعضا با فرسایش زون فلیش رخنمون دارد(شکل۴-c). واحدهای آندزیتی و پیروکلاستیکی با حداقل ضخامت ۲۰ متر، ارتفاعات اصلی منطقه را تشکیل می‌دهند (شکل۴-d و e). طبق مطالعات مغزه‌های حفاری، ستون چینه‌شناسی منطقه از سطح به عمق به این شرح است: واحد فلیش که بالاترین لایه را تشکیل می‌دهد، ترکیبی از تناوب شیل منگنزدار سیلیسی و ماسه‌سنگ می‌باشد. لایه منگنزدار(افق کلیدی)که همیشه در زیرلایه شیل قرار دارد و از ضخامت کمتر از ده متر برخوردار است. زون سولفید توده‌ای بین واحد جاسپر و زون برشی (شکل۴- f و g و h). زون استرینگر و بازالت واحدهای تحتانی را تشکیل می‌دهند (شکل۴-i و j). در نمونه‌های دستی بعضا کانی باریت نیز به همراه زون ژاسپری مشاهده گردید اما به دلیل نادر بودن آن، در اینجا از توضیح آن صرف نظر می‌کنیم.

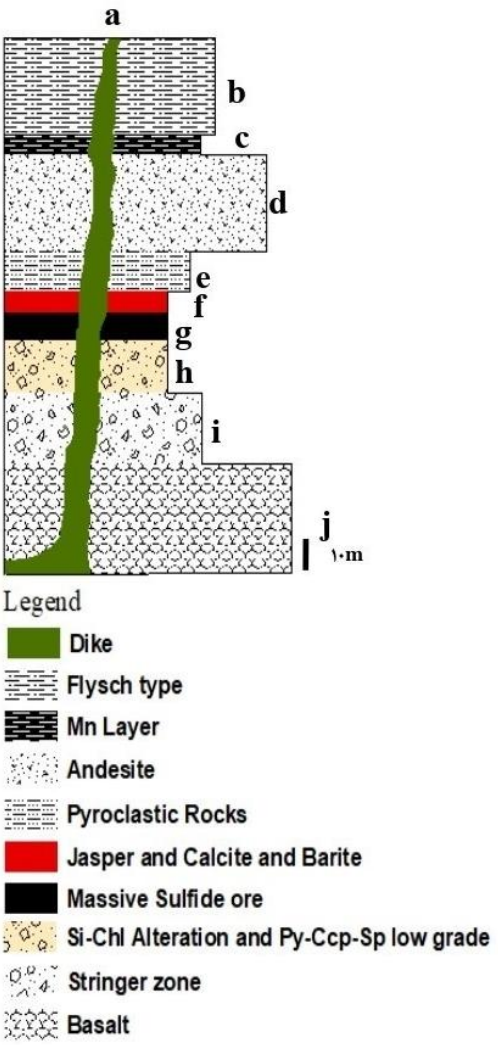
**۵-ارتباط کانه‌زایی با واحدهای سنگی**

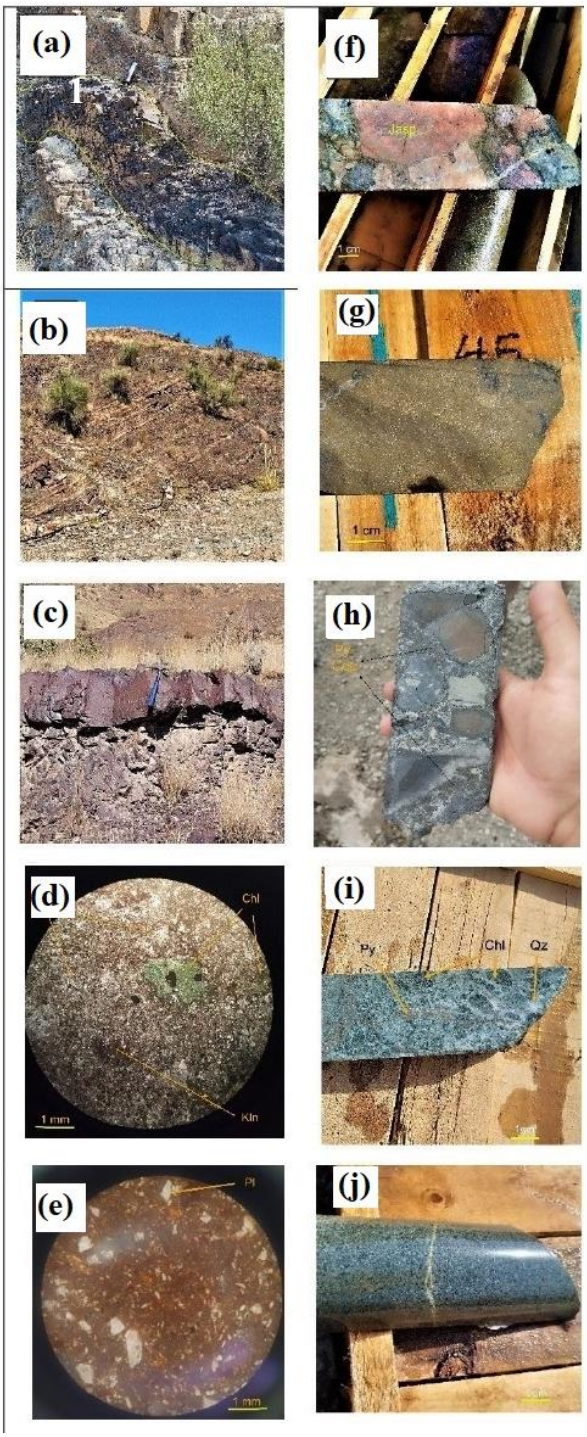
در بخش‌های شرقی منطقه که بازالت‌های بالشی رخنمون دارند، هیچگونه کانه‌زایی مشاهده نشده است. فرسایش شدید در بخش‌های شرقی باعث حذف زون کانه‌زایی و نمایان شدن واحدهای آندزیتی-پیروکلاستیکی و بازالت‌های بالشی در سطح زمین شده است.




شکل۳- ساز و کار گسل‌های محدوده بر روی واحدهای فلیش نشان داده شده است.

Fig. 3. The mechanism of area faults is shown on the flycsh units.




شکل۴- ستون چینه‌ای عمومی واحدهای سنگی کانسار مس سرگز که از توالی رسوبی تا آتشفشانی را در برمی‌گیرد و توسط دایک‌های محدوده قطع شده‌اند. تصاویر (a)، (b) و (c) سمت راست شامل تصاویر صحرایی می‌باشد، تصاویر (d) و (e) سمت راست، مقطع نازک در نور XPL آندزیت و پیروکلاستیک را نشان می‌دهند. تصاویر (f)و(g)و(h)و(i)و (j) سمت راست، شامل مغزه‌های حفاری می‌باشد. نشانه‌های کوتاه شده کانی‌ها از (Whitney and Evans, 2010).

Fig. 4. General stratigraphic column of rock units of the Sargaz copper deposit, ranging from sedimentary to volcaniclastic successions and cut by boundary dikes. Figures (a), (b) and (c) on the right are field images. Figures (d), (e) on the right are thin sections in XPL light of andesite and pyroclastics. Figures (f), (g), (h), (i), and (j) on the right are drill cores. Mineral truncated symbols from (Whitney and Evans, 2010).

**۶-کانه‌زایی، دگرسانی، کانی‌شناسی و ترسیم پیکره کانسار**

کانسار سرگز به‌عنوان یک ذخیره سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد، از کانه‌زایی گسترده مس و روی در محیطی آتشفشانی-رسوبی تشکیل شده است. در بررسی‌های صحرایی، کانی‌سازی عمدتاً به‌صورت عدسی‌های سولفید توده‌ای با روند شمال‌غرب–جنوب‌شرق مشاهده می‌شود. این کانسار در دو افق اصلی رخ داده است: افق سولفید توده‌ای: ضخامتی بین ۱۰ تا ۴۰ متر دارد و به‌صورت لایه‌ای هم‌شیب با واحدهای آتشفشانی و رسوبی قرار گرفته است. زون استرینگر: در زیر افق سولفید توده‌ای قرار دارد و کانه‌زایی به‌صورت رگه‌ای و برشی با عیار پایین‌تر دیده می‌شود. در سطح زمین، فرسایش بخش‌های بالایی باعث تشکیل گوسان به‌صورت زون اکسید آهن (هماتیت، گوتیت و ژاروسیت) شده که به‌عنوان یک شاخص اکتشافی برای شناسایی کانسارهای پنهان کاربرد دارد.

در محدوده مورد مطالعه، دگرسانی گرمابی در بخش‌های وسیع در گدازه‌ها و زون کانه‌زایی روی داده است. این دگرسانی-ها که با تغییر رنگ آشکار واحدها مشخص می‌شود، به طور عمده شامل دگرسانی سیلیسی، کلریتی، رسی و اکسید آهن می‌باشد که در حاشیه کانسار به دگرسانی اپیدوتی ختم می-شوند.

دگرسانی سیلیسی عموما به همراه دگرسانی کلریتی در زیر زون کانه‌زایی سولفید توده‌ای دیده می‌شود، و در سطح زمین دارای گسترش کمی می‌باشد. در مغزه‌های حفاری این دگرسانی با رخداد سیلیس ریزدانه تا نهان بلور مشاهده می‌گردد. در زون کانه‌زایی کم عیار حجم دگرسانی سیلیسی بیش از کلریتی می-باشد و گاها تمامی سنگ میزبان به سیلیس تبدیل شده است (شکل۵-a و ۶-d).

رخداد دگرسانی کلریتی در تمامی واحدهای آذرین محدوده روی داده است. این دگرسانی از گسترش قابل توجهی برخوردار بوده به نحوی که به همراه سایر دگرسانی‌ها نیز به وفور مشاهده می‌گردد. در زون استرینگر کانسار نیز واحد بازالتی کاملا تحت تاثیر دگرسانی کلریتی قرار گرفته است. این دگرسانی مستقل از کانه‌زایی بوده اما در بخشهای زیرین کانه‌زایی به همراه دگرسانی سیلیسی و رسی مشاهده می‌گردد (شکل۵-b و ۶- d ,a). به دلیل وجود چشمه‌های گسلی در بخشهایی از محدوده مورد مطالعه، اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی باعث تشکیل حجم زیادی از هماتیت، ژاروسیت و گوتیت دارای بافت حفره‌ای به صورت گوسان شده است. دگرسانی اکسید آهن در بخشهایی از سطح کانسار قابل رویت می‌باشد (شکل۵-c و ۶-f, ). همانگونه که در شکل ۵ نشان داده شده است کانی‌های اکسیدآهن در پیک آنالیز XRD حضور ندارند. دلیل آن انتخاب اغلب نمونه‌ها از مغزه‌های حفاری می‌باشد که کمتر دچار دگرسانی اکسید آهن شده‌اند. با توجه به اینکه دگرسانی رسی در زون کانه‌زایی مشاهده نگردید و ارتباطی با کانه‌زایی ندارد، مورد مطالعه قرار نگرفت.

همانطور که در بخش زمین‌شناسی کانسار و شکل ۴ بررسی شد، با تحلیل مغزه‌های حفاری، ترسیم ستون چینه‌شناسی، طراحی مدل بلوکی کانسار، مطالعه شواهد زمین‌شناسی، بررسی دگرسانی‌ها، تحلیل سکانس سنگ‌شناسی و ارزیابی الگوی کانه‌زایی، می‌توان مدل تشکیل کانسار سرگز را به این شکل توصیف کرد:

۱. مرحله اول: نفوذ سیالات هیدروترمال: آب‌های دریا با نفوذ از طریق گسل‌های عمیق به درون بازالت‌های بالشی راه یافته‌اند. این سیالات تحت تأثیر گرمای توده‌های نفوذی عمیق، دما و غلظت عناصر فلزی (Cu, Zn, Pb, Ag) را افزایش داده‌اند.

۲. مرحله دوم: شستشو و انتقال فلزات: سیالات داغ، عناصر فلزی را از سنگ‌های زیرین شسته و به‌صورت جریان‌های همرفتی به سمت بالا منتقل کرده‌اند. این فرآیند از طریق سیستم گسل‌های همزمان با فعالیت آتشفشان‌های زیردریایی صورت گرفته است.

۳. مرحله سوم: ته‌نشست مواد معدنی: فلزات در محیط دریایی کم‌عمق و همراه با رسوبات آذرآواری ته‌نشست شده‌اند. کاهش ناگهانی دما و فشار سیالات، منجر به تشکیل افق‌های اصلی کانه‌زایی شده است.

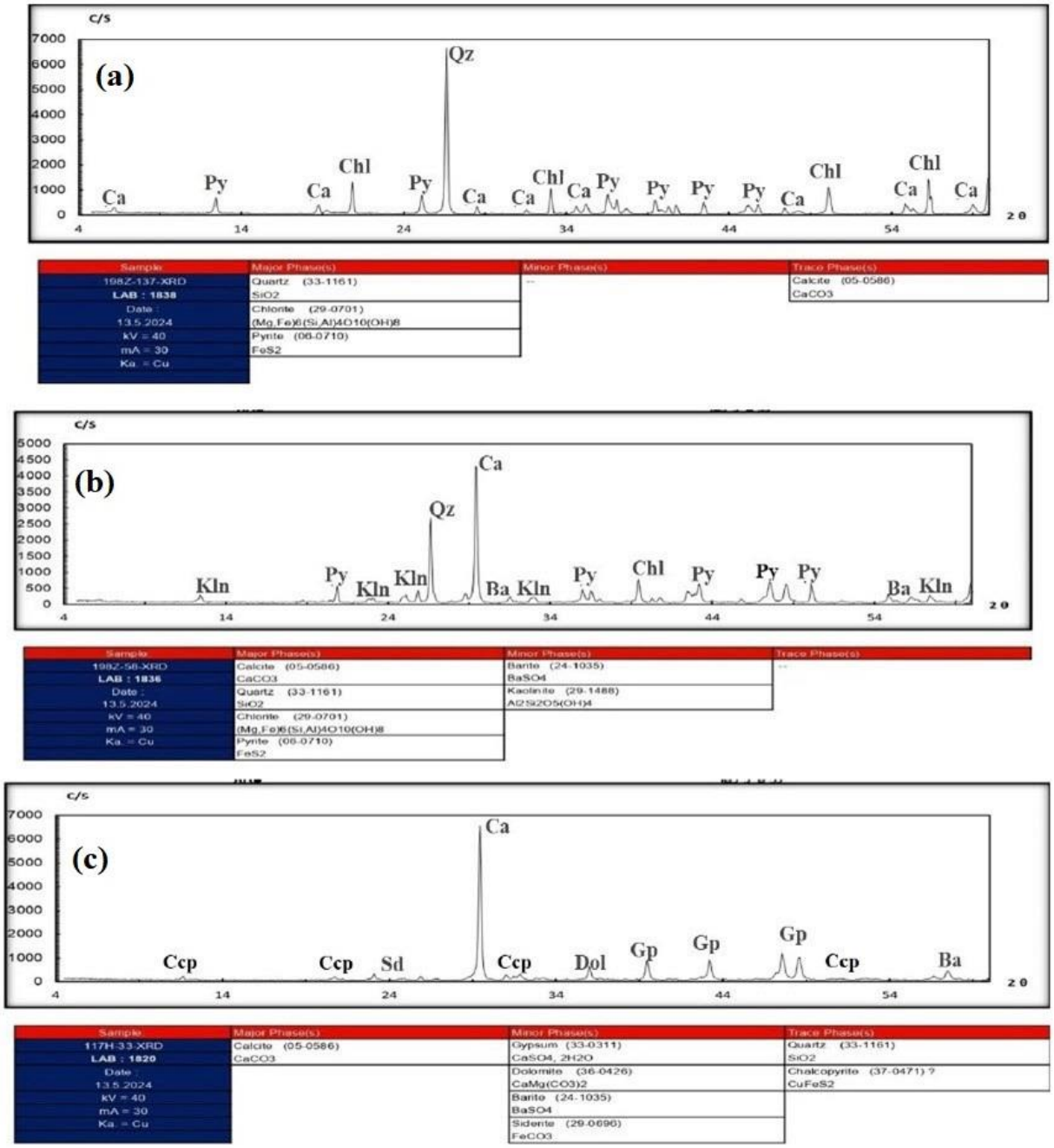
کانسار سرگز از نظر کانی‌زایی و بافت به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود:

الف) زون پرعیار (افق سولفید توده‌ای)، شکل کانسار: عدسی‌شکل، چینه‌سان و همشیب با واحدهای رسوبی و آتشفشانی.

کانی‌های اصلی: پیریت (Py)، کالکوپیریت (Ccp)، اسفالریت (Sp)، تنانتیت (Tnt) و پیروتیت (Po). بافت: توده‌ای و ریزدانه، نشان‌دهنده ته‌نشست سریع در محیط دریایی. افق

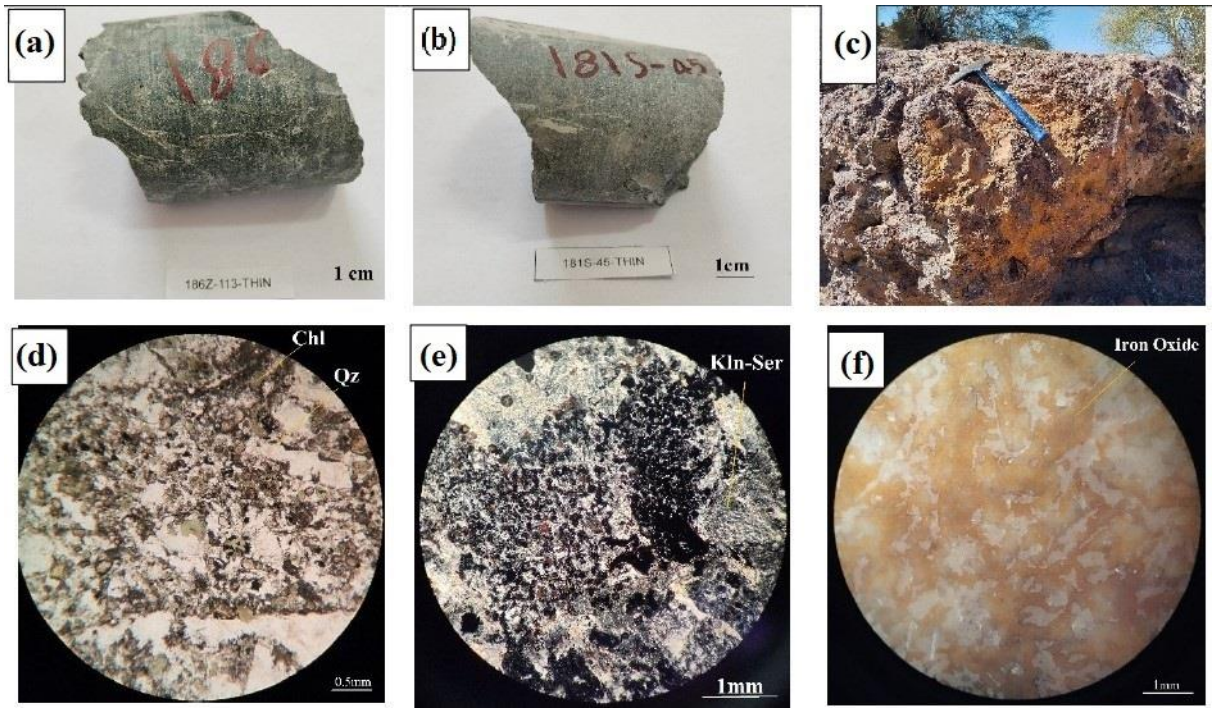
ژاسپری: لایه‌ای از کانی‌های سیلیسی و اکسید آهن که به‌عنوان افق کلیدی در شناسایی کانسار عمل می‌کند.

ب) زون کم‌عیار (استرینگر و بخش‌های برشی)، شکل کانسار: رگه‌ای، برشی و با ساختار استوک‌ورک. کانی‌های اصلی: پیریت و کالکوپیریت. بافت: دانه‌پراکنده و برشی، نشان‌دهنده فعالیت‌های تکتونیکی پس از تشکیل کانسار. دگرسانی همراه: سیلیسی-کلریتی که عمدتاً در بخش‌های زیرین زون استرینگر مشاهده می‌شود.




شکل۵- آنالیز XRD سه نمونه از زون‌های (a) دگرسانی سیلیسی(کوارتز)-کلریتی(Qz-Chl)، (b) سیلیسی-کلریتی-کائولینیتی(Qz-Chl-Kln) و (c) اکسیداسیون (ژیپس و سیدریت)(Gp-Sd). نشانه‌های کوتاه شده کانی‌ها از (Whitney and Evans, 2010).

Fig. 5. XRD analysis of three samples from the zones of (a) siliceous-chlorite alteration (Qz-Chl), (b) siliceous-chlorite-kaolinite (Qz-Chl-kln) and (c) oxidation (gypsum and siderite) (Gp-Sd). Mineral truncated symbols from (Whitney and Evans,2010).



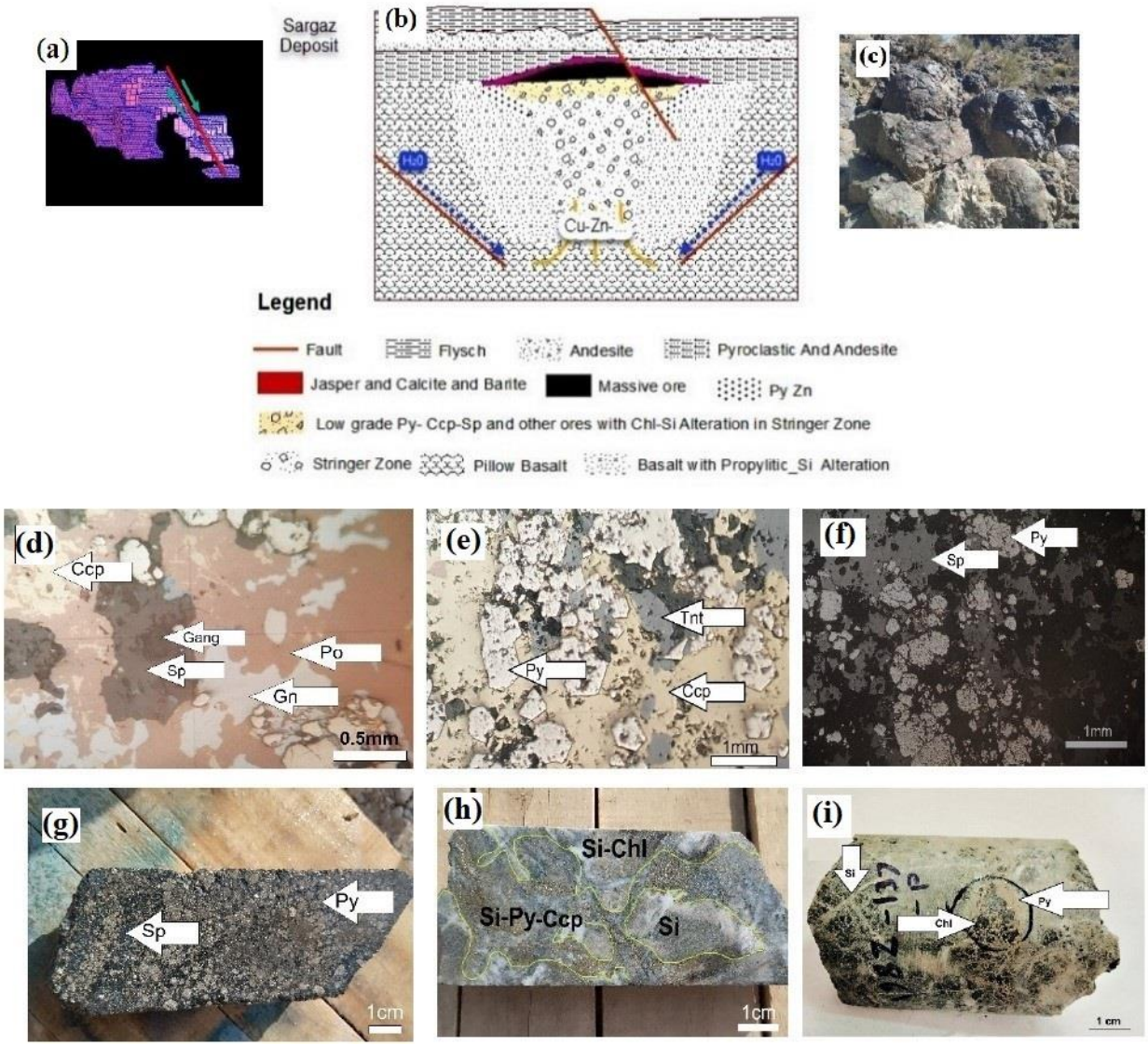

شکل۶-(a) نمونه مغزه از دگرسانی کلریتی درون واحد بازالتی، (b) نمونه مغزه از واحد بازالتی تحت دگرسانی آرژیلیکی کم و (c) رخنمونی از گوسان در سطح کانسار و (d) تصویر میکروسکوپی در نور PPL از دگرسانی سیلیسی(Qz)-کلریتی (Chl) نمونه a و (e) تصویر میکروسکوپی در نور XPL از نمونه مغزه b که در آن کانی‌های پلاژیوکلاز در حال تبدیل به کائولینیت (Kln)-سریسیت (Ser) می‌باشند و (f) تصویر میکروسکوپی در نور PPL از دگرسانی اکسید آهن تصویر c. نشانه‌های کوتاه شده کانی‌ها از (Whitney and Evans, 2010).

Fig. 6. (a) Core sample from chloritic alteration within basaltic unit, (b) core sample from basaltic unit under low argillic alteration and (c) outcrop of gossan at deposit surface and (d) PPL light microscopy picture of silicic (Qz)-chloritic (Chl) alteration of sample a and (e) XPL light microscopy picture of core sample b where plagioclase minerals are transforming to kaolinite (Kln)-sericite (Ser) and (f) PPL light microscopy picture of iron oxide alteration of picture c. Mineral truncated symbols from (Whitney and Evans,2010)

## ۷-بافت‌های کانه‌زایی و اهمیت آن‌ها

بافت توده‌ای: نشانه ته‌نشست همزمان با فعالیت آتشفشانی زیردریایی (مطابق با مدل Slack et al, 2001).

کانسار سرگز به‌عنوان یک ذخیره VMS نوع مافیک، در یک محیط پشت‌قوسی کم‌عمق تشکیل شده است. نقش گسل‌های عمیق در انتقال سیالات و کنترل کانه‌زایی کلیدی بوده است. الگوی دگرسانی (سیلیسی-کلریتی-اکسید آهن) می‌تواند به‌عنوان راهنمای اکتشافی برای ذخایر مشابه در منطقه مورد استفاده قرار گیرد. این مدل به‌خوبی نشان می‌دهد که کانه‌زایی در سرگز نتیجه تعامل پیچیده‌ای بین فرآیندهای آتشفشانی، تکتونیکی و هیدروترمال بوده است. در (شکل ۷) به کمک مدل بلوکی کانسار در نرم‌افزار سورپک (شکل۷-a)، پیکره یکی از زون‌های این کانسار رسم شده است (شکل۷-b). طبق شکل ۷-b، سنگ میزبان کانسار، واحد بازالتی می‌باشد. این واحد بعضا به صورت بازالت بالشی نیز مشاهده می‌گردد (شکل۷-c). در مرکز کانسار، زون سولفیدی با بافت توده‌ای با کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، تنانتیت، اسفالریت و پیروتیت مشخص می‌شود (شکل۷-e,d). به سمت حاشیه کانسار، از عیار مس کاسته شده اما کماکان پیریت به همراه اسفاریت قابل رویت است (شکل۷-g,f). با افزایش عمق و اتمام زون سولفید توده‌ای، زون استرینگر کانسار حاوی اندکی کانه‌زایی مس به صورت کالکوپیریت رویت می‌گردد (شکل۷-h)، و سپس زون استرینگر فاقد کانه‌زایی با کانی‌های پیریت و کلریت مشخص می‌شود (شکل۷-i).




شکل۷- (a) مدل بلوکی پیکره کانسار در محیط نرم‌افزار سورپک، (b) شماتیک پیکره یکی از زونهای کانسار مس و روی سرگز و (c) واحد بازالت بالشی که گاهی به دلیل فرسایش واحدهای بالایی قابل رویت است، (d) و (e) مقطع صیقلی از زون سولفید توده‌ای حاوی پیریت (Py)، کالکوپیریت(Ccp)، تنانتیت(Tnt) اسفالریت(Sp)، گالن(Gn)، پیروتیت(Po) و کانی‌های باطله Gangue(Gang)، و (f) و (g) تصویر مقطع صیقلی و نمونه مغزه زون پیریت-اسفالریت(Py-Sp) در حاشیه زون سولفید توده‌ای(طبق شکل پیکره کانسار)، (h) تصویر مقطع صیقلی از زون کم‌عیار در زیر زون سولفید توده‌ای (بخش فوقانی زون استرینگر) و (i) نمونه مغزه از زون استرینگر حاوی دگرسانی سیلیسی، کلریتی به همراه رگه‌های پیریتی فاقد کانه‌زایی. نشانه‌های کوتاه شده کانی‌ها از (Whitney and Evans, 2010).

Fig. 7. (a) Block model of the deposit body in the Surpac software environment, (b) Schematic of the body of one of the zones of the Sargaz copper and zinc deposit and (c) Pillow basalt unit that is sometimes visible due to erosion of the upper units, (d) and (e) Polished section of the massive sulfide zone containing pyrite (Py), chalcopyrite (Ccp), tennantite (Tnt), sphalerite (Sp), galena (Gn), pyrrhotite (Po) and gangue (Gang) waste minerals, (f) and (g) Polished section picture and core sample of the pyrite-sphalerite (Py-Sp) zone at the edge of the massive sulfide zone (according to the shape of the deposit body), (h) Polished section picture of the low-grade zone below the massive sulfide zone (upper part of the stringer zone), and (i) Core sample from the stringer zone containing silicic, chloritic alteration with pyrite veins without mineralization. Abbreviated mineral symbols from (Whitney and Evans, 2010).

**۸-ژئوشیمی**

این بخش با بررسی سیستماتیک رفتار ژئوشیمیایی عناصر در کانسار سرگز، سه سؤال کلیدی را پاسخ می‌دهد: چه الگوی پراکندگی‌ای بین عناصر اصلی مس و روی وجود دارد؟ روابط همبستگی عناصر چه اطلاعاتی درباره فرآیندهای تشکیل کانسار ارائه می‌کند؟ چگونه داده‌های ژئوشیمیایی مدل ژنتیکی کانسار را تأیید یا اصلاح می‌کنند. با توجه به اینکه کانه‌زایی در زون سولفید توده‌ای و استرینگر رخ داده است، و این دو زون از نظر مکانی به یکدیگر وابسته‌اند، برای مطالعه کانسار، تعداد ۳۰ نمونه از افق سولفید توده‌ای و زون استرینگر کانسار برداشت گردید و نتیاج آنالیز سنسوردگیری شد.

جدول۱-نتایج آنالیز عنصری به روش ICP MS نمونه‌ها (ppm)

Table 1. Results of elemental analysis by ICP MS method of samples(ppm)

| Sample | Ag(ppm) | Al(ppm) | As(ppm) | Ba(ppm) | Be(ppm) | Bi(ppm) | Ca(ppm) | Cd(ppm) | Ce(ppm) | Co(ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 117H-38-ICP | 11 | 2629 | 120 | 259 | 0.15 | 14.8 | 56822 | 9.2 | 0.4 | 58.9 |
| 117H-47-ICP | 2.2 | 5951 | 120 | 92 | 0.15 | 10.2 | 54742 | 3.1 | 0.4 | 103.5 |
| 1402-S-6-MS | 1.7 | 61133 | 89.1 | 56 | 0.15 | 7 | 2197 | 0.3 | 0.4 | 48.7 |
| 1402-S-7-MS | 3.2 | 19716 | 78.9 | 1108 | 0.15 | 16.5 | 13610 | 0.3 | 0.4 | 29.6 |
| 1402-S-8-MS | 28.6 | 1614 | 120 | 7 | 0.15 | 30.4 | 55296 | 12.8 | 0.4 | 24.3 |
| 1402-S-9-MS | 4.2 | 6904 | 120 | 62 | 0.15 | 37.7 | 7685 | 2.3 | 0.4 | 251.7 |
| 1402-S-10-MS | 3.7 | 5031 | 120 | 4 | 0.15 | 28.9 | 25218 | 2.1 | 0.4 | 172.2 |
| 1402-S-11-MS | 143.7 | 1511 | 120 | 954 | 0.15 | 43.7 | 62748 | 6.4 | 0.4 | 34 |
| 1402-Z-13-MS | 0.4 | 71601 | 29 | 55 | 0.15 | 0.5 | 31996 | 0.08 | 1 | 25.3 |
| 1403-M-4-D-ICP | 0.4 | 80143 | 10.1 | 73 | 0.15 | 0.3 | 31822 | 0.5 | 19 | 39.9 |
| 108Z-60-ICP | 122.2 | 3147 | 120 | 1071 | 0.15 | 57.7 | 27400 | 711.4 | 0.4 | 27.6 |
| 186Z-83-MS | 300 | 17331 | 120 | 1085 | 0.15 | 183.7 | 2792 | 86.5 | 0.4 | 74.6 |
| 186Z-93-MS | 43.9 | 1150 | 31.1 | 547 | 0.15 | 50.6 | 72234 | 169.2 | 6 | 1.3 |
| 186Z-147-MS | 0.7 | 64051 | 77.3 | 514 | 0.15 | 1.9 | 5478 | 4.7 | 10 | 20.7 |
| 186Z-157-MS | 1.2 | 38172 | 53.5 | 542 | 0.15 | 6.7 | 1478 | 1 | 2 | 9.1 |
| 193Z-143-MS | 0.8 | 66885 | 36.1 | 642 | 0.15 | 5 | 3469 | 0.3 | 0.4 | 32.3 |
| 195Z-30-MS | 4 | 4433 | 8 | 890 | 0.15 | 10.3 | 68462 | 0.7 | 12 | 0.8 |
| 195Z-32-MS | 65.7 | 512 | 120 | 260 | 0.15 | 85.8 | 2571 | 58.4 | 0.4 | 121 |
| 195Z-37-MS | 53.7 | 1046 | 120 | 95 | 0.15 | 99.2 | 1013 | 28.1 | 0.4 | 154.6 |
| 195Z-42-MS | 2.1 | 54636 | 51.4 | 28 | 0.15 | 4.9 | 5579 | 15.8 | 0.4 | 61.4 |
| 195Z-52-MS | 4.3 | 46119 | 120 | 504 | 0.15 | 5.3 | 10716 | 5.7 | 12 | 10.7 |
| 195Z-76-ICP | 4.5 | 22350 | 120 | 1587 | 0.15 | 12 | 2894 | 1.5 | 0.4 | 61.9 |
| 198Z-58-ICP | 2 | 51603 | 120 | 1117 | 0.8 | 33.5 | 47628 | 0.7 | 6 | 5 |
| 198Z-61-ICP | 126.5 | 2121 | 120 | 525 | 0.15 | 41.2 | 25769 | 194.6 | 0.4 | 79.8 |
| 198Z-67-ICP | 13.1 | 2666 | 120 | 845 | 0.15 | 16.6 | 67266 | 15.5 | 0.4 | 103.6 |
| 198Z-71-ICP | 2.4 | 26082 | 120 | 985 | 0.15 | 4.8 | 1420 | 4.5 | 0.4 | 23.8 |
| 198Z-79-ICP | 4.9 | 19508 | 120 | 449 | 0.15 | 8.4 | 947 | 12.1 | 0.4 | 70.2 |
| 191Z-140-MS | 5 | 75768 | 73.5 | 1405 | 0.15 | 0.3 | 3409 | 0.5 | 9 | 44.8 |
| 1402-Z-5 | 0.7 | 31997 | 50 | 158 | 0.15 | 2.4 | 530 | 0.3 | 0.4 | 14.9 |
| 1403-Z-15-ICP | 0.4 | 81536 | 10.1 | 294 | 0.15 | 0.2 | 41242 | 0.1 | 0.4 | 28.3 |
| 117H-38-ICP | 6 | 0.4 | 7078 | 0.5 | 0.08 | 0.08 | 120000 | 0.97 | 0.7 | 0.4 |

| Sample | Ag(ppm) | Al(ppm) | As(ppm) | Ba(ppm) | Be(ppm) | Bi(ppm) | Ca(ppm) | Cd(ppm) | Ce(ppm) | Co(ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 117H-47-ICP | 6 | 0.4 | 2353 | 0.7 | 0.2 | 0.08 | 120000 | 0.92 | 0.8 | 0.4 |
| 1402-S-6-MS | 17 | 0.7 | 52 | 1.1 | 0.6 | 0.08 | 120000 | 1.03 | 1.2 | 0.4 |
| 1402-S-7-MS | 17 | 0.4 | 5246 | 1.1 | 0.5 | 0.08 | 120000 | 1.02 | 0.9 | 0.4 |
| 1402-S-8-MS | 6 | 0.4 | 60000 | 0.4 | 0.08 | 0.08 | 120000 | 0.89 | 0.6 | 2.2 |
| 1402-S-9-MS | 6 | 0.4 | 1492 | 0.4 | 0.08 | 0.08 | 120000 | 0.87 | 0.6 | 0.4 |
| 1402-S-10-MS | 6 | 0.4 | 766 | 0.4 | 0.08 | 0.08 | 120000 | 0.88 | 0.6 | 0.4 |
| 1402-S-11-MS | 34 | 0.4 | 60000 | 0.8 | 0.5 | 0.08 | 120000 | 0.96 | 0.7 | 2.2 |
| 1402-Z-13-MS | 194 | 0.4 | 208 | 1.5 | 0.7 | 0.08 | 47768 | 1.21 | 1.2 | 0.4 |
| 1403-M-4-D-ICP | 314 | 0.4 | 131 | 2 | 1 | 0.7 | 59506 | 1.97 | 1.6 | 0.4 |
| 108Z-60-ICP | 10 | 0.4 | 60000 | 0.4 | 0.08 | 0.08 | 120000 | 0.91 | 0.7 | 2.9 |
| 186Z-83-MS | 32 | 0.8 | 60000 | 0.7 | 0.1 | 0.08 | 120000 | 0.97 | 0.7 | 1.2 |
| 186Z-93-MS | 6 | 0.4 | 33893 | 0.7 | 0.2 | 0.28 | 19467 | 1.03 | 0.7 | 1.9 |
| 186Z-147-MS | 11 | 0.9 | 503 | 2.5 | 1.4 | 1.15 | 57862 | 1.64 | 1.4 | 0.4 |
| 186Z-157-MS | 7 | 0.8 | 309 | 2.1 | 1.4 | 0.08 | 45753 | 1.1 | 1.9 | 0.4 |
| 193Z-143-MS | 22 | 1.6 | 86 | 3.7 | 1.5 | 1.35 | 60527 | 1.59 | 1.6 | 0.4 |
| 195Z-30-MS | 19 | 0.4 | 11214 | 2.7 | 1.7 | 2.01 | 15933 | 1.54 | 0.9 | 1.4 |
| 195Z-32-MS | 6 | 0.4 | 60000 | 0.5 | 0.08 | 0.08 | 120000 | 0.9 | 0.7 | 1.7 |
| 195Z-37-MS | 7 | 0.4 | 60000 | 0.6 | 0.08 | 0.08 | 120000 | 0.96 | 0.7 | 1.5 |
| 195Z-42-MS | 8 | 0.7 | 2707 | 1.9 | 1.1 | 0.08 | 120000 | 1.15 | 1.7 | 0.4 |
| 195Z-52-MS | 9 | 1.5 | 396 | 3.7 | 2.2 | 0.64 | 73343 | 1.8 | 2.3 | 0.4 |
| 195Z-76-ICP | 8 | 0.4 | 351 | 0.8 | 0.3 | 0.08 | 120000 | 0.96 | 0.9 | 0.4 |
| 198Z-58-ICP | 56 | 1.3 | 2089 | 2.8 | 1.5 | 1.04 | 120000 | 1.54 | 1.4 | 3 |
| 198Z-61-ICP | 9 | 0.4 | 60000 | 0.5 | 0.08 | 0.08 | 120000 | 0.89 | 0.7 | 1.4 |
| 198Z-67-ICP | 6 | 0.4 | 4506 | 0.7 | 0.2 | 0.08 | 120000 | 0.92 | 0.7 | 0.4 |
| 198Z-71-ICP | 10 | 0.7 | 334 | 1.1 | 0.7 | 0.08 | 98042 | 0.98 | 1.4 | 0.4 |
| 198Z-79-ICP | 9 | 0.4 | 1215 | 0.8 | 0.3 | 0.08 | 120000 | 0.94 | 1 | 0.4 |
| 191Z-140-MS | 7 | 1.6 | 6189 | 2.4 | 1.4 | 0.41 | 120000 | 1.52 | 1.7 | 0.4 |
| 1402-Z-5 | 6 | 0.5 | 65 | 1.8 | 1.1 | 0.08 | 75388 | 1.13 | 1.8 | 0.4 |
| 1403-Z-15-ICP | 136 | 0.6 | 130 | 1.7 | 0.7 | 0.83 | 56906 | 1.26 | 1.4 | 0.4 |
| 117H-38-ICP | 0.8 | 1 | 8 | 0.08 | 30000 | 1217 | 29.2 | 189 | 0.8 | 1 |
| 117H-47-ICP | 0.8 | 0.8 | 7 | 0.1 | 30000 | 760 | 40.9 | 0.8 | 0.8 | 0.7 |
| 1402-S-6-MS | 0.8 | 0.8 | 27 | 0.2 | 30000 | 1188 | 96.9 | 0.8 | 2.2 | 2.2 |
| 1402-S-7-MS | 0.8 | 0.8 | 20 | 0.2 | 30000 | 433 | 53.8 | 0.8 | 1 | 1.6 |
| 1402-S-8-MS | 0.8 | 0.8 | 5 | 0.08 | 5146 | 1164 | 85.9 | 0.8 | 0.8 | 0.4 |
| 1402-S-9-MS | 0.8 | 0.8 | 7 | 0.08 | 13505 | 298 | 221.2 | 0.8 | 0.8 | 0.4 |
| 1402-S-10-MS | 0.8 | 0.8 | 9 | 0.08 | 19624 | 458 | 78.5 | 0.8 | 0.8 | 0.4 |
| 1402-S-11-MS | 0.8 | 1 | 6 | 0.2 | 1037 | 1550 | 76.8 | 0.8 | 0.8 | 1.4 |
| 1402-Z-13-MS | 0.8 | 3 | 14 | 0.2 | 18388 | 1710 | 1.5 | 42650 | 2.7 | 4.9 |
| 1403-M-4-D-ICP | 489 | 15 | 20 | 0.2 | 30000 | 1523 | 0.4 | 24124 | 2 | 17.3 |
| 108Z-60-ICP | 425 | 0.8 | 6 | 0.08 | 1043 | 447 | 114.2 | 250 | 0.8 | 0.6 |
| 186Z-83-MS | 7526 | 0.8 | 6 | 0.08 | 2245 | 169 | 380 | 156 | 0.8 | 1.6 |
| 186Z-93-MS | 0.8 | 5 | 8 | 0.1 | 16071 | 3157 | 36.8 | 109 | 0.8 | 2.2 |
| 186Z-147-MS | 14752 | 7 | 14 | 0.3 | 30000 | 1324 | 5.1 | 12023 | 1.9 | 10.6 |

| Sample | Ag(ppm) | Al(ppm) | As(ppm) | Ba(ppm) | Be(ppm) | Bi(ppm) | Ca(ppm) | Cd(ppm) | Ce(ppm) | Co(ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 186Z-157-MS | 19043 | 0.8 | 9 | 0.3 | 3138 | 73 | 27.5 | 464 | 2.8 | 2.6 |
| 193Z-143-MS | 25814 | 2 | 15 | 0.3 | 30000 | 475 | 8.9 | 907 | 2.4 | 8.9 |
| 195Z-30-MS | 897 | 14 | 7 | 0.4 | 2090 | 3861 | 0.5 | 129 | 1.1 | 11.5 |
| 195Z-32-MS | 0.8 | 0.8 | 5 | 0.08 | 180 | 279 | 380.9 | 0.8 | 1.3 | 0.8 |
| 195Z-37-MS | 0.8 | 0.8 | 5 | 0.08 | 207 | 182 | 497.3 | 0.8 | 1.4 | 1.3 |
| 195Z-42-MS | 0.8 | 0.8 | 40 | 0.3 | 30000 | 765 | 49.2 | 0.8 | 1.6 | 2.9 |
| 195Z-52-MS | 14720 | 8 | 22 | 0.5 | 30000 | 315 | 13.3 | 237 | 3.8 | 12.1 |
| 195Z-76-ICP | 0.8 | 0.8 | 16 | 0.1 | 30000 | 466 | 144.1 | 0.8 | 1.1 | 1.1 |
| 198Z-58-ICP | 846 | 6 | 24 | 0.3 | 30000 | 5540 | 2.3 | 213 | 5.4 | 11.6 |
| 198Z-61-ICP | 0.8 | 0.8 | 5 | 0.08 | 1592 | 481 | 118.2 | 0.8 | 0.8 | 0.6 |
| 198Z-67-ICP | 0.8 | 2 | 6 | 0.08 | 4348 | 1729 | 76.1 | 0.8 | 0.8 | 0.9 |
| 198Z-71-ICP | 2340 | 0.8 | 23 | 0.2 | 30000 | 335 | 28.1 | 0.8 | 2 | 0.8 |
| 198Z-79-ICP | 1475 | 0.8 | 20 | 0.1 | 18355 | 301 | 67.8 | 0.8 | 1 | 0.7 |
| 191Z-140-MS | 21716 | 7 | 29 | 0.3 | 30000 | 1021 | 5.1 | 686 | 2.8 | 8.7 |
| 1402-Z-5 | 465 | 1 | 26 | 0.3 | 30000 | 399 | 26.9 | 128 | 1.9 | 2.6 |
| 1403-Z-15-ICP | 13620 | 4 | 19 | 0.2 | 30000 | 1102 | 0.6 | 24766 | 1.5 | 5.6 |
| 117H-38-ICP | 8 | 126 | 1403 | 0.04 | 5 | 40000 | 17.2 | 0.4 | 0.4 | 0.08 |
| 117H-47-ICP | 9 | 79 | 141 | 0.04 | 4 | 40000 | 6.1 | 1.5 | 0.4 | 0.08 |
| 1402-S-6-MS | 30 | 574 | 49 | 0.04 | 4 | 40000 | 4.4 | 23 | 0.4 | 0.08 |
| 1402-S-7-MS | 10 | 413 | 255 | 0.04 | 4 | 40000 | 4.7 | 6.2 | 0.4 | 0.08 |
| 1402-S-8-MS | 31 | 837 | 334 | 0.04 | 3 | 40000 | 16.5 | 1.5 | 0.4 | 0.08 |
| 1402-S-9-MS | 5 | 0.8 | 269 | 0.04 | 3 | 40000 | 10.4 | 0.4 | 0.4 | 0.08 |
| 1402-S-10-MS | 8 | 0.8 | 199 | 0.04 | 3 | 40000 | 15.4 | 0.5 | 0.4 | 0.08 |
| 1402-S-11-MS | 13 | 569 | 1256 | 0.04 | 4 | 40000 | 9.5 | 1.2 | 0.4 | 0.08 |
| 1402-Z-13-MS | 33 | 220 | 644 | 0.04 | 4 | 3692 | 1 | 40.9 | 0.4 | 0.08 |
| 1403-M-4-D-ICP | 119 | 767 | 1621 | 1.81 | 5 | 1024 | 1.2 | 36.3 | 0.4 | 1.4 |
| 108Z-60-ICP | 36 | 344 | 20215 | 0.04 | 5 | 40000 | 198.7 | 0.9 | 0.4 | 0.08 |
| 186Z-83-MS | 14 | 2158 | 4253 | 0.04 | 14 | 40000 | 76.7 | 6.2 | 0.4 | 0.08 |
| 186Z-93-MS | 1 | 441 | 903 | 0.04 | 4 | 40000 | 22.1 | 0.5 | 0.4 | 0.08 |
| 186Z-147-MS | 10 | 944 | 95 | 0.04 | 24 | 40000 | 3.9 | 29.8 | 0.4 | 2.3 |
| 186Z-157-MS | 0.8 | 34 | 73 | 0.04 | 31 | 40000 | 1.7 | 10.3 | 0.4 | 0.08 |
| 193Z-143-MS | 24 | 852 | 59 | 0.04 | 43 | 40000 | 2.1 | 32 | 0.4 | 2.9 |
| 195Z-30-MS | 1 | 1343 | 671 | 0.33 | 7 | 12571 | 2 | 2.9 | 0.4 | 2.4 |
| 195Z-32-MS | 52 | 1006 | 1783 | 0.04 | 4 | 40000 | 61.6 | 3.2 | 0.4 | 0.08 |
| 195Z-37-MS | 35 | 1560 | 1706 | 0.04 | 4 | 40000 | 24.8 | 3.9 | 0.4 | 0.08 |
| 195Z-42-MS | 3 | 2364 | 5468 | 0.04 | 4 | 40000 | 2.8 | 11.4 | 0.4 | 0.08 |
| 195Z-52-MS | 7 | 240 | 7575 | 0.66 | 27 | 40000 | 10 | 10.4 | 0.4 | 2.2 |
| 195Z-76-ICP | 7 | 121 | 4319 | 0.04 | 4 | 40000 | 5.3 | 7.6 | 0.4 | 0.08 |
| 198Z-58-ICP | 37 | 4858 | 891 | 0.24 | 7 | 40000 | 6.6 | 7.1 | 0.4 | 1.5 |
| 198Z-61-ICP | 26 | 560 | 1215 | 0.04 | 4 | 40000 | 83.5 | 1.7 | 0.4 | 0.08 |
| Sample | Ni(ppm) | P(ppm) | Pb(ppm) | Pr(ppm) | Rb(ppm) | S(ppm) | Sb(ppm) | Sc(ppm) | Se(ppm) | Sm(ppm) |
| 198Z-67-ICP | 15 | 210 | 1989 | 0.04 | 3 | 40000 | 8.9 | 0.4 | 0.4 | 0.08 |
| 198Z-71-ICP | 7 | 0.8 | 314 | 0.04 | 7 | 40000 | 4.6 | 7.9 | 0.4 | 0.08 |

| Sample | Ag(ppm) | Al(ppm) | As(ppm) | Ba(ppm) | Be(ppm) | Bi(ppm) | Ca(ppm) | Cd(ppm) | Ce(ppm) | Co(ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 198Z-79-ICP | 5 | 0.8 | 675 | 0.04 | 6 | 40000 | 4.6 | 4.7 | 0.4 | 0.08 |
| 191Z-140-MS | 13 | 1013 | 170 | 0.04 | 27 | 40000 | 1.8 | 32.7 | 0.4 | 1.2 |
| 1402-Z-5 | 5 | 0.8 | 58 | 0.04 | 5 | 40000 | 1.1 | 6.1 | 0.4 | 0.08 |
| 1403-Z-15-ICP | 30 | 340 | 59 | 0.04 | 21 | 937 | 1 | 36.7 | 0.4 | 0.8 |
| 117H-38-ICP | 0.1 | 62 | 0.08 | 0.3 | 6.6 | 0.08 | 0.8 | 11.2 | 0.08 | 2.2 |
| 117H-47-ICP | 0.08 | 41.8 | 0.08 | 0.3 | 7.5 | 0.08 | 425 | 5.7 | 0.1 | 1.9 |
| 1402-S-6-MS | 0.2 | 1.5 | 0.2 | 0.3 | 3.2 | 0.08 | 4376 | 9.4 | 0.2 | 1.7 |
| 1402-S-7-MS | 0.2 | 31.8 | 0.1 | 0.3 | 5 | 0.08 | 1507 | 2.3 | 0.2 | 0.9 |
| 1402-S-8-MS | 0.6 | 16.3 | 0.08 | 0.2 | 10.3 | 0.08 | 0.8 | 11.3 | 0.08 | 9 |
| 1402-S-9-MS | 0.08 | 2 | 0.08 | 0.2 | 20.7 | 0.08 | 0.8 | 8.4 | 0.08 | 0.2 |
| 1402-S-10-MS | 0.08 | 7.4 | 0.08 | 0.2 | 14.9 | 0.08 | 0.8 | 23.2 | 0.08 | 1.4 |
| 1402-S-11-MS | 0.5 | 46.1 | 0.08 | 0.3 | 16.5 | 0.08 | 0.8 | 15.7 | 0.2 | 1.1 |
| 1402-Z-13-MS | 0.1 | 102.7 | 0.3 | 0.4 | 1.3 | 0.08 | 2470 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 1403-M-4-D-ICP | 0.3 | 585.8 | 0.2 | 0.5 | 0.4 | 0.08 | 3998 | 0.08 | 0.2 | 0.4 |
| 108Z-60-ICP | 0.8 | 29.1 | 0.08 | 0.3 | 19.1 | 0.08 | 0.8 | 13.7 | 0.08 | 0.6 |
| 186Z-83-MS | 2.1 | 55 | 0.08 | 0.3 | 41 | 0.08 | 0.8 | 4.7 | 0.08 | 1.1 |
| 186Z-93-MS | 0.7 | 69.6 | 0.08 | 0.3 | 10.3 | 0.08 | 0.8 | 0.2 | 0.1 | 3.3 |
| 186Z-147-MS | 0.4 | 21.3 | 0.3 | 0.5 | 1.7 | 0.08 | 7149 | 0.3 | 0.3 | 0.7 |
| 186Z-157-MS | 1.4 | 9.1 | 0.3 | 0.4 | 3.3 | 0.08 | 784 | 0.7 | 0.4 | 1 |
| 193Z-143-MS | 0.5 | 6.6 | 0.4 | 0.5 | 2.1 | 0.08 | 6342 | 0.8 | 0.4 | 0.6 |
| 195Z-30-MS | 0.9 | 337.6 | 0.08 | 0.5 | 3.3 | 0.08 | 100 | 0.3 | 0.4 | 1.2 |
| 195Z-32-MS | 1.3 | 8.1 | 0.5 | 0.3 | 27.8 | 0.08 | 0.8 | 23.3 | 0.08 | 2.3 |
| 195Z-37-MS | 1 | 3.5 | 0.08 | 0.3 | 28.4 | 0.08 | 0.8 | 28.6 | 0.08 | 2.1 |
| 195Z-42-MS | 0.2 | 10.4 | 0.2 | 0.4 | 4.1 | 0.08 | 949 | 0.6 | 0.3 | 0.9 |
| 195Z-52-MS | 0.9 | 18.4 | 0.3 | 0.6 | 2.3 | 0.08 | 1404 | 7.2 | 0.5 | 0.9 |
| 195Z-76-ICP | 0.08 | 33.8 | 0.1 | 0.3 | 6.2 | 0.08 | 1724 | 4.8 | 0.1 | 0.6 |
| 198Z-58-ICP | 2.2 | 127.2 | 0.4 | 0.5 | 6.7 | 0.08 | 1934 | 0.9 | 0.3 | 4.5 |
| 198Z-61-ICP | 0.4 | 44.9 | 0.08 | 0.3 | 13 | 0.08 | 0.8 | 14.1 | 0.08 | 1.3 |
| 198Z-67-ICP | 0.08 | 56.7 | 0.08 | 0.3 | 10.2 | 0.08 | 0.8 | 6.4 | 0.1 | 4 |
| 198Z-71-ICP | 0.08 | 29.2 | 0.2 | 0.3 | 2.9 | 0.08 | 1275 | 3.5 | 0.2 | 0.9 |
| 198Z-79-ICP | 0.08 | 3.1 | 0.08 | 0.3 | 5.2 | 0.08 | 615 | 2.9 | 0.2 | 0.6 |
| 191Z-140-MS | 0.5 | 18.2 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.08 | 9087 | 0.6 | 0.3 | 2.1 |
| 1402-Z-5 | 0.2 | 6 | 0.2 | 0.4 | 1.8 | 0.08 | 542 | 1.2 | 0.3 | 0.9 |
| 1403-Z-15-ICP | 0.08 | 429.8 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.08 | 3646 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |

| Sample | V(ppm) | W(ppm) | Y(ppm) | Yb(ppm) | Zn(ppm) | Zr(ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 117H-38-ICP | 16 | 0.8 | 1 | 1.16 | 2769 | 7 |
| 117H-47-ICP | 35 | 0.8 | 3.1 | 2.84 | 3252 | 16 |
| 1402-S-6-MS | 248 | 2.3 | 7.4 | 2.82 | 234 | 44 |
| 1402-S-7-MS | 109 | 1.9 | 6.7 | 2.08 | 334 | 19 |
| 1402-S-8-MS | 18 | 1.2 | 1 | 3.19 | 6144 | 10 |
| 1402-S-9-MS | 39 | 0.8 | 0.4 | 5.07 | 937 | 13 |

| Sample | V(ppm) | W(ppm) | Y(ppm) | Yb(ppm) | Zn(ppm) | Zr(ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1402-S-10-MS | 20 | 0.8 | 0.6 | 4.53 | 1006 | 11 |

| Sample | Ag(ppm) | Al(ppm) | As(ppm) | Ba(ppm) | Be(ppm) | Bi(ppm) | Ca(ppm) | Cd(ppm) | Ce(ppm) | Co(ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1402-S-11-MS | 157 | 0.8 | 7.6 | 4.21 | 828 | 10 | | | | |
| 1402-Z-13-MS | 225 | 0.8 | 9.5 | 1.74 | 99 | 31 | | | | |
| 1403-M-4-D-ICP | 242 | 0.8 | 10.4 | 1.71 | 180 | 53 | | | | |
| 108Z-60-ICP | 43 | 1.3 | 0.9 | 3.63 | 40000 | 11 | | | | |
| 186Z-83-MS | 247 | 0.8 | 2.8 | 3.29 | 19201 | 9 | | | | |
| 186Z-93-MS | 24 | 0.8 | 3.7 | 0.04 | 40000 | 4 | | | | |
| 186Z-147-MS | 290 | 1.7 | 22.7 | 3.44 | 1945 | 61 | | | | |
| 186Z-157-MS | 30 | 0.8 | 17.3 | 2.9 | 156 | 90 | | | | |
| 193Z-143-MS | 170 | 1.3 | 24.7 | 2.92 | 109 | 55 | | | | |
| 195Z-30-MS | 130 | 1.4 | 23 | 2.02 | 239 | 23 | | | | |
| 195Z-32-MS | 11 | 0.8 | 0.9 | 4.27 | 25870 | 12 | | | | |
| 195Z-37-MS | 10 | 0.8 | 1.5 | 4.22 | 16553 | 12 | | | | |
| 195Z-42-MS | 141 | 3 | 17.7 | 5.54 | 8517 | 86 | | | | |
| 195Z-52-MS | 33 | 1.3 | 30 | 4.41 | 3610 | 102 | | | | |
| 195Z-76-ICP | 94 | 1.2 | 3.7 | 3.61 | 330 | 24 | | | | |
| 198Z-58-ICP | 480 | 4.6 | 29.4 | 5.03 | 3103 | 61 | | | | |
| 198Z-61-ICP | 39 | 1.4 | 1.1 | 4.23 | 40000 | 13 | | | | |
| 198Z-67-ICP | 38 | 0.8 | 3.7 | 2.7 | 5622 | 12 | | | | |
| 198Z-71-ICP | 81 | 0.8 | 9.4 | 2.57 | 1052 | 52 | | | | |
| 198Z-79-ICP | 66 | 1.1 | 5 | 3.08 | 2454 | 35 | | | | |
| 191Z-140-MS | 323 | 2.3 | 22.3 | 4.39 | 323 | 83 | | | | |
| 1402-Z-5 | 42 | 0.8 | 18.4 | 3.03 | 149 | 76 | | | | |
| 1403-Z-15-ICP | 244 | 0.8 | 10.7 | 1.91 | 79 | 49 | | | | |

**۹-ژئوشیمی عناصر کمیاب و نادر خاکی در کانسار سولفید توده‌ای سرگز: شواهدی از محیط تشکیل و فرآیندهای هیدروترمال**

طبق جدول شماره۱ و با توجه به اینکه نمونه‌ها از بخش سولفید و استرینگر برداشت شده‌اند، مجموع مقادیر REE کمتر از 50 ppm است که نشان‌دهنده عدم جذب این عناصر توسط کانی‌های سولفیدی اصلی (پیریت، کالکوپیریت) است. نسبت (La/Yb)N ~ 2.5 نشان‌دهنده غنی‌شدگی نسبی عناصر سنگین نسبت به عناصر سبک، که می‌تواند ناشی از تفکیک فازهای سیال در دمای بالا باشد. همانگونه که در بالا به آن اشاره شد، مقدار REE در نمونه‌ها پایین می‌باشد و به این دلیل است که بیشتر کانی‌های سولفیدی و اکسیدی میزبان خوبی برای REE نیستند (Cullers and Graf, 1984). همچنین برای عنصر سریم براساس (Spray et al, 2000) آنومالی منفی این عنصر از خواص ژئوشیمی REE در آب دریا می‌باشد.

بنابراین آنومالی منفی Ce در رخساره‌های مختلف ماده معدنی در کانسار سرگز نشانه ته‌نشست آن در یک محیط دریائی می‌باشد (شکل۸).

**۱۰-ژئوشیمی مس و روی**

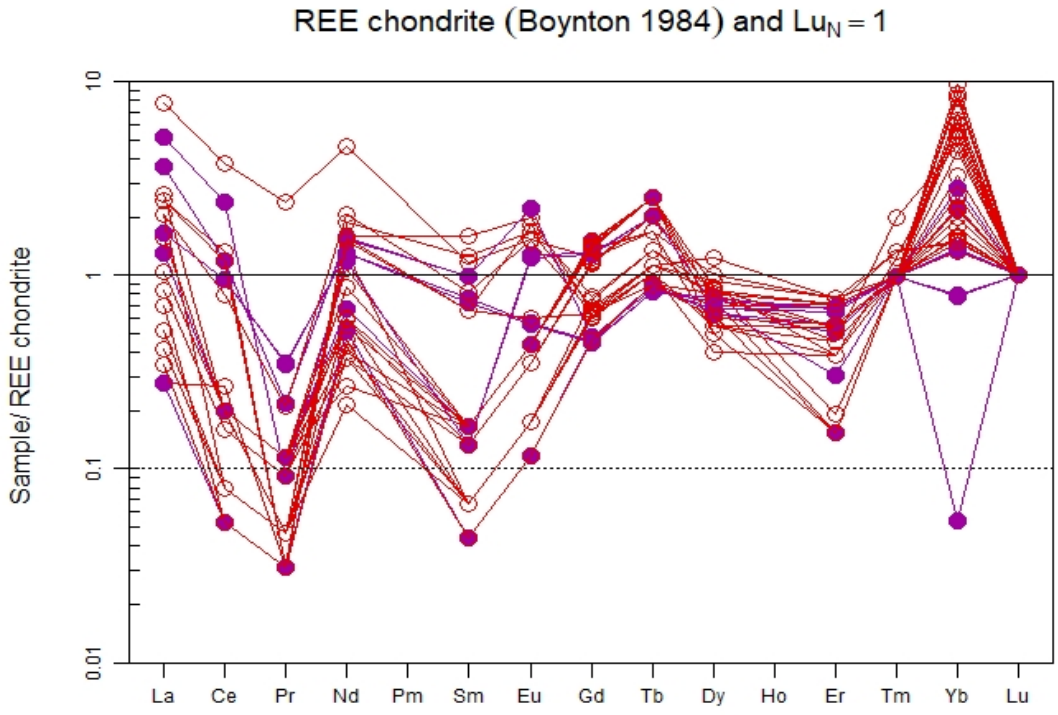
با توجه به اینکه هر گروه معین از عناصر، نسبت به یک سری از شرایط محیطی، کم و بیش بطور مشابه حساسیت نشان می‌دهند، شناخت ارتباط و همبستگی متقابل بین عناصر مختلف می‌تواند در شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی بکار گرفته شود. ضمنا همبستگی بعضی از عناصر ممکن است به عنوان راهنما در تفسیر نوع نهشته‌ای که احتمالا در ناحیه وجود دارد بکار رود. شناخت همبستگی‌هایی که بین عناصر وجود دارد اطلاعات لازم را برای تفسیر هر چه صحیح‌تر داده‌های ژئوشیمایی در اختیار می‌گذارد (رستمی پور و همکاران، ۱۴۰۳). میانگین عیاری مس در نمونه‌های آنالیز شده ۱/۵ درصد، روی برابر با ۰/۸ درصد، سرب ۰/۲ درصد و نقره ۲۹ پی‌پی‌ام می‌باشد. براساس مطالعات و بررسی‌های ژئوشیمیائی

انجام شده بر روی عناصراصلی و فرعی کانسار ساز در کانسار سرگز، مهمترین عناصر اصلی Ag -Pb -Zn -Cu و مهمترین عناصر فرعی شامل Co-Mo-Cd- As می‌باشد. جدول همبستگی پیرسون، ماتریسی است که میزان همبستگی خطی بین جفت عناصر مختلف را در نمونه‌های برداشت‌شده از کانسار سرگز نشان می‌دهد. مقادیر این جدول بین -۱ تا +۱ متغیر هستند: مقدار +۱ نشان‌دهنده همبستگی مثبت کامل است، یعنی افزایش یک عنصر با افزایش عنصر دیگر همراه است. مقدار ۱- نشان‌دهنده همبستگی منفی کامل است، یعنی افزایش یک عنصر با کاهش عنصر دیگر همراه است. مقدار ۰ نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی خطی بین دو عنصر است.

بر اساس محاسبه ضریب همبستگی پیرسون (در جدول۲) عنصر مس همبستگی مثبت با عنصر روی (c۰/۷=)، نقره (c۰/۷۷=) و همبستگی منفی با منگنز (c۰/۰۵=) دارد. عنصر روی همبستگی مثبت با عنصر مس (c۰/۷=)، نقره (c۰/۵۳=)، کادمیوم (c۰/۷۴=) و همبستگی منفی با عنصر آهن (c۰/۰۶=) دارد.

نتایج آنالیز همبستگی نشان می‌دهد که مس و روی از همبستگی مثبت و معناداری برخوردارند (جدول ۲ و شکل۹).

این رابطه می‌تواند نشان‌دهنده‌ی: تشکیل همزمان در طی فرآیندهای هیدروترمال (Large et al, 2011) و جایگزینی مشترک در کانی‌های سولفیدی مانند کالکوپیریت و اسفالریت باشد (Cook et al, 2009). همبستگی مثبت ممکن است نشان‌دهنده‌ی تداخل زون‌های دمایی در طی فرآیند کانه‌زایی باشد، به‌طوری که مس و روی در محدوده‌ی دمایی مشابهی رسوب کرده‌اند (Hannington et al, 1999). همبستگی مثبت Cd با روی، نشان‌دهنده‌ی جایگزینی ایزومورفیک کادمیوم در ساختار اسفالریت است (Huston et al,1995). همراهی Sb با مس ممکن است به تشکیل کانی‌های ثانویه مانند تترائدریت ($Cu_{12}Sb_4S_{13}$)مرتبط باشد (Etschmann et al, 2017). همبستگی منفی مس با Mg احتمالاً نشان‌دهنده‌ی تأثیر سنگ‌های میزبان غنی از منیزیم در تفکیک این عناصر است (Piercey, 2011). روی همبستگی ضعیف منفی با آهن دارد، در حالی که مس رابطه‌ی معناداری نشان نمی‌دهد. این امر ممکن است به تفاوت در مکانیسم‌های جذب این عناصر در کانی‌های سولفیدی مرتبط باشد (Barton and Bethke, 1987).



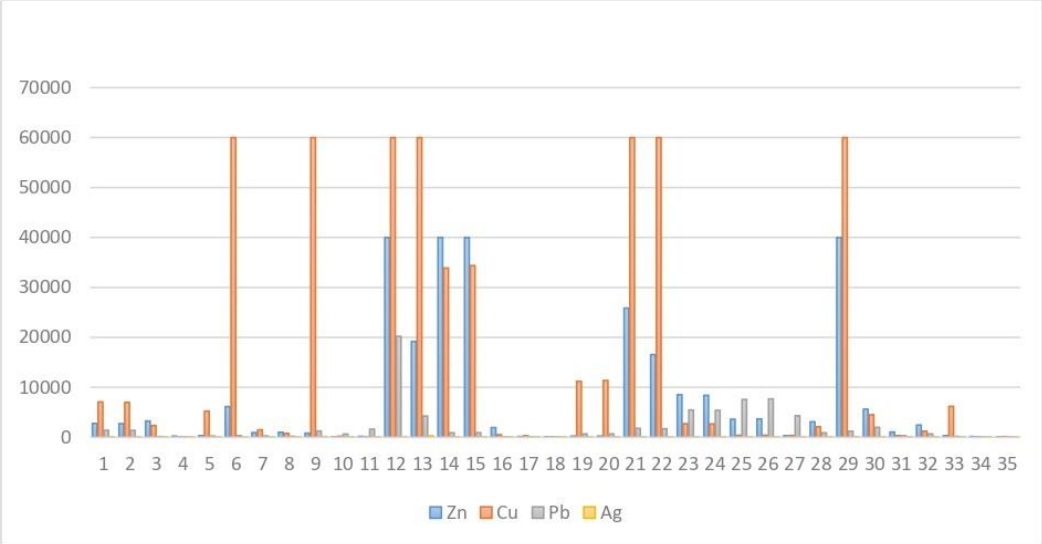

شکل۸- نمودار عناصر نادرخاکی در بخش سولفیدی کانسار سرگز که نسبت به کندریت نرمالیزه شده‌اند (Boynton, 1984).

Fig. 8. Diagram of rare earth elements in the sulfide part of the Sargaz deposit normalized to chondrite (Boynton, 1984).

جدول۲-جدول همبستگی پیرسون بر روی برخی عناصر مدنظر کانسار

Table 2. Pearson correlation table on some elements of the deposit

| | Ag | As | Ba | Bi | Cd | Co | Cu | Fe | Mg | Mn | Mo | Ni | Pb | Rb | S | Sb | W | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ag | 1.00 | 0.30 | 0.27 | 0.86 | 0.44 | 0.08 | 0.77 | 0.23 | -0.57 | -0.15 | 0.56 | 0.07 | 0.31 | -0.11 | 0.19 | 0.63 | -0.20 | 0.53 |
| As | 0.30 | 1.00 | 0.10 | 0.33 | 0.12 | 0.46 | 0.29 | 0.79 | -0.11 | -0.40 | 0.44 | -0.10 | 0.23 | -0.19 | 0.68 | 0.32 | -0.03 | 0.07 |
| Ba | 0.27 | 0.10 | 1.00 | 0.14 | 0.21 | -0.34 | 0.09 | -0.01 | -0.11 | 0.22 | -0.06 | -0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.13 | 0.19 | 0.18 | 0.05 |
| Bi | 0.86 | 0.33 | 0.14 | 1.00 | 0.33 | 0.30 | 0.76 | 0.23 | -0.58 | -0.09 | 0.81 | 0.09 | 0.19 | -0.19 | 0.25 | 0.54 | -0.19 | 0.55 |
| Cd | 0.44 | 0.12 | 0.21 | 0.33 | 1.00 | -0.09 | 0.52 | 0.04 | -0.37 | -0.04 | 0.14 | 0.11 | 0.77 | -0.15 | 0.14 | 0.92 | -0.07 | 0.74 |
| Co | 0.08 | 0.46 | -0.34 | 0.30 | -0.09 | 1.00 | 0.10 | 0.55 | -0.19 | -0.42 | 0.61 | 0.04 | -0.10 | -0.31 | 0.24 | 0.08 | -0.22 | -0.01 |
| Cu | 0.77 | 0.29 | 0.09 | 0.76 | 0.52 | 0.10 | 1.00 | 0.20 | -0.74 | -0.05 | 0.63 | 0.18 | 0.26 | -0.27 | 0.21 | 0.66 | -0.22 | 0.70 |
| Fe | 0.23 | 0.79 | -0.01 | 0.23 | 0.04 | 0.55 | 0.20 | 1.00 | 0.05 | -0.46 | 0.42 | 0.07 | 0.18 | -0.32 | 0.55 | 0.24 | 0.22 | -0.06 |
| Mg | -0.57 | -0.11 | -0.11 | -0.58 | -0.37 | -0.19 | -0.74 | 0.05 | 1.00 | -0.07 | -0.52 | -0.03 | -0.13 | 0.23 | 0.02 | -0.48 | 0.34 | -0.45 |
| Mn | -0.15 | -0.40 | 0.22 | -0.09 | -0.04 | -0.42 | -0.05 | -0.46 | -0.07 | 1.00 | -0.36 | 0.01 | -0.21 | -0.20 | -0.33 | -0.19 | 0.39 | 0.06 |
| Mo | 0.56 | 0.44 | -0.06 | 0.81 | 0.14 | 0.61 | 0.63 | 0.42 | -0.52 | -0.36 | 1.00 | 0.16 | 0.10 | -0.25 | 0.28 | 0.38 | -0.23 | 0.35 |
| Ni | 0.07 | -0.10 | -0.20 | 0.09 | 0.11 | 0.04 | 0.18 | 0.07 | -0.03 | 0.01 | 0.16 | 1.00 | 0.06 | -0.10 | -0.45 | 0.18 | -0.01 | 0.05 |
| Pb | 0.31 | 0.23 | 0.20 | 0.19 | 0.77 | -0.10 | 0.26 | 0.18 | -0.13 | -0.21 | 0.10 | 0.06 | 1.00 | 0.01 | 0.15 | 0.74 | 0.10 | 0.40 |
| Rb | -0.11 | -0.19 | 0.20 | -0.19 | -0.15 | -0.31 | -0.27 | -0.32 | 0.23 | -0.20 | -0.25 | -0.10 | 0.01 | 1.00 | 0.02 | -0.15 | 0.03 | -0.25 |
| S | 0.19 | 0.68 | 0.13 | 0.25 | 0.14 | 0.24 | 0.21 | 0.55 | 0.02 | -0.33 | 0.28 | -0.45 | 0.15 | 0.02 | 1.00 | 0.19 | 0.16 | 0.25 |
| Sb | 0.63 | 0.32 | 0.19 | 0.54 | 0.92 | 0.08 | 0.66 | 0.24 | -0.48 | -0.19 | 0.38 | 0.18 | 0.74 | -0.15 | 0.19 | 1.00 | -0.11 | 0.71 |
| W | -0.20 | -0.03 | 0.18 | -0.19 | -0.07 | -0.22 | -0.22 | 0.22 | 0.34 | 0.39 | -0.23 | -0.01 | 0.10 | 0.03 | 0.16 | -0.11 | 1.00 | -0.11 |
| Zn | 0.53 | 0.07 | 0.05 | 0.55 | 0.74 | -0.01 | 0.70 | -0.06 | -0.45 | 0.06 | 0.35 | 0.05 | 0.40 | -0.25 | 0.25 | 0.71 | -0.11 | 1.00 |




شکل۹- نمودار عیار مس، روی، سرب و نقره بر اساس ppm در نمونه‌های برداشت شده از کانسنگ کانسار سرگز.

Fig. 9. Graph of copper, zinc, lead, and silver grades based on ppm in samples taken from the ore of the Sargaz deposit.

## ۱۱-نتیجه گیری

مطالعات انجام‌شده بر روی کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد سرگز در جنوب‌شرق ایران نشان می‌دهد که این کانسار در یک محیط پشت قوسی کم‌عمق و تحت تأثیر فرآیندهای هیدروترمال تشکیل شده است. ارتباط زایشی قوی بین عناصر مس و روی، همراه با همبستگی مثبت با عناصری مانند کادمیوم و نقره، نشان‌دهنده منشأ مشترک و شرایط مشابه رسوب‌گذاری این عناصر است. وجود آنومالی منفی سریم و الگوی عناصر نادر خاکی، تشکیل کانسار در یک محیط دریایی را تأیید می‌کند. همچنین، دگرسانی‌های سیلیسی-کلریتی و افق‌های ژاسپری به‌عنوان شاخص‌های اکتشافی برای شناسایی ذخایر مشابه در منطقه پیشنهاد می‌شوند. این یافته‌ها می‌توانند در اکتشاف و بهره‌برداری از منابع معدنی مشابه در پهنه سنندج-سیرجان مورد استفاده قرار گیرند.

## مراجع


Aftabi, A., Ghodrati, Z., MacLean, WH., 2006. Metamorphic textures and geochemistry of the Cyprus-type massive sulfide lenses at Zurabad, Khoy, Iran. Journal of Asian Earth Sciences 27(4), 523-533. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.06.001

Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran, Geology and Mineral Exploration Organization of the country.

Asadi, A., Ghasemi, H., Mobasheri, M., 2023. Olivine chemistry as a petrogenetic indicator for origin and formation conditions of Sargaz-Abshur ultramafic-mafic intrusion, SE Baft, Kerman, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 31, 31-44. https://doi.org/10.52547/ijcm.31.1.31

Badrzadeh, Z., 2009. Petrology, geochemistry and petrogenesis of pillow lavas in the Sargaz region (northwest of Jiroft) with a special view on their associated massive copper and zinc mineralization (VMS). PhD thesis, Tarbiat Modarres University. p. 139.

Barrie, CT., Hannington, MD., 1999. Classification of volcanic-associated massive sulfide deposits based on host-rock composition. Reviews in Economic Geology 8, 1-11. https://doi.org/10.5382/Rev.08.01.

Barton, PB., Jr., Bethke, PM.,1987. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits (3rd ed.).

Bazilio, A., Weinrich, J., 2012. Inductively coupled Plasma mass spectrometry, Duke University publication.

Boynton, WV., 1984. Geochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies. In: Henderson, P., Ed., Rare Earth Element Geochemistry 2, 63-114. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-42148-7.50008-3.

Cook, NJ., Ciobanu, CL., Pring, A., Skinner, W., Shimizu, M., Danyushevsky, L., Melcher, F., 2009. Trace and minor elements in sphalerite: A LA-ICP-MS study. Geochimica et Cosmochimica Acta 73(16), 4761-4791. https://doi.org/10.1016/j.gca.2009.05.045

Cullers, RL., Graf, JL., 1984. Rare Earth Elements in Igneous Rocks of the Continental Crust: Intermediate and Silicic Rocks-Ore Petrogenesis. In: Henderson, P., Ed., Rare Earth Element Geochemistry 2, 275-316. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42148-7.50013-7.

Etschmann, B., Liu, W., Testemale, D., Müller, H., Rae, N., Pring, A., Brugger, J., 2016. A review of the coordination chemistry of hydrothermal systems, or do coordination changes make are deposits?, Chemical Geology 447.219-253. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.10.021

Ghasemi, A., Talbot, CJ., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran). Journal of Asian Earth Sciences 26, 683–693. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.01.003

Haj sadeghi, M. Mirmohammadi, O. Asghari, Meshkani, SA., 2017. Geology and mineralization at the copper-rich volcanogenic massive sulfide deposit in Nohkouhi, Posht-e-Badam block, Central Iran, Ore Geology Reviews 92, 379-396. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.11.030.

Hannington, MD., Herzig, PM., Fouquet, Y., Petersen, S.,1999. Seafloor hydrothermal systems: Modern analogs for ancient volcanogenic massive sulfide deposits. Reviews in Economic Geology 8, 1-28.

Huston, DL., Sie, SH., Suter, GF., Cooke, DR., Both, RA.,1995. Trace elements in sulfide minerals from eastern Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits. Geochimica et Cosmochimica Acta 59(10), 2077-2091. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.90.5.1167

Jahangiri, H., Saadat, S., Mazaheri, A., Heidarian Shahri, M., Foudazi, M., Omrani, J., 2021. Geochemistry, Mineralography and Rare Earth Elements Distribution of Gossans related to Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Case Study: Ghaleh-Rigi, Southwest of Jiroft, South of Iran, Journal of Economic Geology Volume 13, 537-559. https://doi.org/10.22067/ econg.v 13I3.86658

Karimpour, MH., Shafaroudi, AM., 2005. Taknar polymetal (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) deposit: a new type magnetite-rich VMS deposit, Northeast of Iran. Journal of Sciences Islamic Republic of Iran 16(3), 239-254. B2n.ir/x20410

Khodaparast, M., Tajedin, H., Shahrokhi, V., 2010. April. Nature of fluid inclusions of gold mineralization at Barika shear zone: Example of Kuroko type gold mineralization in the west of Iran. In The 1st International Applied Geological Congress. Department of Geology, Islamic Azad University–Mashhad Branch, Iran, 26-28.

Large, RR., Bull, SW., Maslennikov, VV., 2011. A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits. Economic Geology 106, 331-358. https://short-url.org/1darc

Mousivand, F., Rastad, E., Peter, M., 2008. An overview of volcanogenic massive sulfide deposits of Iran. In 33rd Int Geol Congress Oslo.

Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S., Peter, J.M., Mohajjel, M., Zaw, K., Emami, MH., 2012. Age and tectonic setting of the Bavanat Cu–Zn–Ag Besshi type volcanogenic massive sulfide deposit, southern Iran. Mineralium Deposita 47(8), 911-931. https://doi.org/10.1007/s00126-012-0407-6

Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S., Peter, JM., Solomon, M., Zaw, K., 2011. U–Pb geochronology and Pb isotope characteristics of the Chahgaz volcanogenic massive sulfide deposit, southern Iran. International Geology Review 53(10), 1239-1262. https://doi.org/10.1080/00206811003783364.

Piercey, SJ., 2011. The setting, style, and role of magmatism in the formation of volcanogenic massive sulfide deposits. Mineralium Deposita 46(5-6), 449-471. https:// doi.org/10.1007/s00126-011-0341-z

Rostamipour, H., Behzadi, M., Movahedi, M., Amini, M., 2024. Mineralization of gold, copper and associated metals in the northern Hired area, South Khorasan, East Iran, Researches in Earth Sciences 15(2), 129-141. https://doi.org/10.48308/esrj.2023.103546

Sabzehei, M., Afroz, A., 2002. Geological map of Sargaz region 1/20000 (corporate report).

Sabzehei, M., 1974. Les mélanges ophiolitiques de la région d'Esfandageh (Iran méridional). Etude pétrologique et structurale; interprétation dans le cadre Iranien, Ph.D. thesis Université de Grenoble, Grenoble France, 306.

Slack, JF., Offieltd, TW., Woodruf, LG., Shanks, WC., 2001. Geology and geochemistry of Besshi-type massive sulfide deposits of the Vermont Copper Belt, Economic Geologists Guidebook Series. https://doi.org/10.5382/GB.35.15

Shahraki ghadimi, A., 2004. Geological Map 1/100000 Esfandaqheh, Geological and Mineral Exploration Organization of Iran.

Shoale, A., Rastad, A., Babakhani, A., 2007. Stratiform Extrusive-volcanogenic tungsten (Cu-Zn) mineralization in Chah-Kalap deposit (south of Birjand) and its ore-bearing horizons. Quarterly Journal of Earth Sciences 17, 80-99. https://doi.org/10.22071/gsj.2008.58189.

Tajeddin, H., Rastad, E., Yaghoubpour, A., Mohajjel, M., 2010. Formation and evolution stages of gold rich Barika massive sulfide deposit, east of Sardasht, northern Sanandaj-Sirjan zone: based on structural, textural and fluid inclusion studies, Economic Geology 2, 97-121. https://doi.org/10.22067/econg.v2i1.3688.

Whitney, D., Evans, B., 2010. Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals, American Mineralogist 95, 185-187. https://doi.org/10.2138/am.2010.3371.

Yarmohamadi, A., Rastad, E., Mohajjel, M., Shamsa, M., 2006. Barika Gold mineralization: A Gold-Rich Volcanogenic Massif sulfide deposit in Iran, Tehran University Science Journal 34, 47-60. https://sid.ir/paper/2109/en .