




Research Article

Mineralization of gold, copper and associated metals in the northern Hired area, South Khorasan, East Iran

Hamid Rostamipour^{*1} , Mehrdad Behzadi¹, Mehrdad Movahedi¹, Mohammad Amini²

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

2-Faculty of Geology, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 26 May 2023 Accepted: 02 Jan 2024

Extended Abstract

Introduction

Northern Hired mining area with an area of about 25 square kilometers is located in South Khorasan province and 140 kilometers south of Birjand city. In this area, intermediate to acidic intrusive masses with the composition of granodiorite to granite have infiltrated and affected the Tertiary volcanic-sedimentary sequence. In the studied area, mineralization is associated with siliceous, sericite, tourmaline, chlorite and carbonate alterations. The structure and texture of these deposits include planar veins and veins and rarely stockwork, scattered, sheared and massed.

Materials and Methods

The studied area is located in the southern part of South Khorasan province. This area is located 145 km south of Birjand city and north of Hired village. The way to access this mineral area is the paved road from Birjand to Khosf and then Hird or from Nehbandan to Hired. After reviewing the library studies, a field visit was made to the target area. According to the area, samples were taken from all existing lithological units, mineral mass and alteration around the mine. 57 samples were taken for ICP-MS and ICP-OES analysis. The characteristics of all collected samples and studied stations are carefully recorded. Then, the analysis results were analyzed in the relevant software.

Results and Discussion

In this range, intermediate to acidic intrusive masses with the composition of granodiorite to granite have infiltrated and affected the Tertiary volcanic-sedimentary sequence. According to the field observations, the most important changes that have been identified on the surface of the earth are: 1) quartz-tourmaline-sericite, 2) carbonate and 3) propylitic. In the samples, plagioclase crystals can be seen both in the background and as phenocrysts, which sometimes have zoning. A number of plagioclases have been dissolved and recrystallized. The mafic minerals in the rock are amphibole and pyroxene.

Citation: Rostamipour, H. et al, 2024. Mineralization of gold, copper and associated metals in the northern Hired area, *Res. Earth. Sci.* 15(2), (129-24) DOI: 10.48308/esrj.2023.103546

* Corresponding author E-mail address: h_rostamipour@sbu.ac.ir





Amphiboles and plagioclase have generally changed to chlorite and sericite, which indicates the effect of atmospheric waters on the rocks of the region. Mineralization in the studied area can be seen in the form of veins with different thicknesses along fractures and fault zones, and most of the mineralization has occurred in the basalts and basaltic andesite of the area. Amphibole and plagioclase have generally changed to chlorite and sericite, which indicates the effect of atmospheric waters on the rocks of the region. Pyroxenes are also seen in the composition of the background. In the analyzed samples, 29 samples have values higher than one percent of copper, of which 18 samples have values higher than five percent of copper. The maximum amount of molybdenum in the obtained samples was equal to 1.1%. 30 samples have values higher than 0.12% of lead and 12 samples have values higher than 1% of lead and the maximum amount of lead measured in the samples of this area was higher than 3%. 28 samples have values higher than 0.2% of sulfur and 3 samples have values higher than 1% of sulfur and the maximum amount of sulfur measured in samples of this area was higher than 3%. By drawing correlation diagrams .Cu element also has a good correlation with Mo element. (Al, Ti, Cr, Ni) Al with Ti and Also, Cr has a strong correlation with Ni. The gold element is also strongly correlated with iron and arsenic.


Conclusion

Geochemical investigations of associated elements show that the source magma of the mineralization in the northern Hired area is the result of subduction and hence it is type I. These investigations show that the existing gold is placed within the pyrite structure and according to the paragenesis of copper and molybdenum and also the presence of copper in the form of chalcopyrite minerals, it can indicate that the mineralization of copper and molybdenum is near The thermal source is formed, while gold mineralization is of epithermal type. Based on the conducted studies and field observations, the North Hired gold-copper deposit is mainly in the form of veins, and due to the high anomaly of elements such as lead, zinc and molybdenum, the term multi-metallic can be used for the North Hired deposit. In this range, intermediate to acidic intrusive masses with the composition of granodiorite to granite have infiltrated and affected the Tertiary volcanic-sedimentary sequence. The outcrop of these intrusive masses can be seen in the south of the range. Generally, the host rock of the mineralization in the range is basic to moderate, but in some places rhyodacite outcrops have also been observed.

Keywords: Epithermal, South Khorasan, Mining, Gold, Copper, Northern Hired.



کانه‌زایی طلا، مس و فلزات همراه در محدوده هیرد شمالی، خراسان جنوبی، شرق ایران

حمید رستمی پور*¹ , مهرداد بهزادی¹، مهرداد موحدی¹، محمد امینی²

۱- گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۰۵ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲

چکیده گسترده

مقدمه

محدوده معدنی هیرد شمالی با مساحتی حدود ۲۵ کیلومتر مربع در استان خراسان جنوبی و ۱۴۰ کیلومتری جنوب شهرستان بیرجند واقع شده است. در این ناحیه توده‌های نفوذی متوسط تا اسیدی با ترکیب گرانودیوریت تا گرانیت نفوذ کرده و توالی آتشفشانی- رسوبی ترشیری را تحت تأثیر قرار داده‌اند. در محدوده مورد مطالعه کانی‌سازی با دگرسانی‌های سیلیسی، سرسیتی، تورمالینی، کلریتی و کربناتی همراه است. ساختار و بافت این نهشته‌ها شامل رگه‌ها و رگه‌های مسطح و به ندرت استوک و رک، پراکنده، بریده و توده‌ای است.

مواد و روش‌ها

پس از بررسی مطالعات کتابخانه‌ای، بازدید میدانی از محدوده مورد نظر انجام شد. از تمامی واحدهای سنگ‌شناسی موجود، توده معدنی و دگرسانی اطراف کانسار نمونه‌برداری شد. ۵۷ نمونه برای آنالیز ICP-MS و ICP-OES گرفته شد. مشخصات کلیه نمونه‌های جمع‌آوری شده و ایستگاه‌های مورد مطالعه به دقت ثبت گردید. سپس نتایج آنالیز در نرم افزارهای مربوطه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

کانی‌سازی در محدوده مورد مطالعه به صورت رگه‌هایی با ضخامت‌های مختلف در امتداد شکستگی‌ها و پهنه‌های گسلی دیده می‌شود و بیشترین کانی‌سازی در بازالت‌ها و آندزیت‌بازالت محدود رخ داده است. آمفیبول و پلاژیوکلاز عموماً به کلریت و سریسیت تبدیل شده‌اند که نشان دهنده تأثیر آب‌های جوی بر سنگ‌های محدوده است. پیروکسن‌ها نیز در ترکیب پس زمینه دیده می‌شوند. در نمونه‌های مورد تجزیه و تحلیل، ۲۹ نمونه دارای مقادیر بالاتر از یک درصد مس هستند که از این تعداد ۱۸ نمونه دارای مقادیر بالاتر از پنج درصد مس است. حداکثر مقدار مولیبدن در نمونه‌های به دست آمده برابر با ۱/۱ درصد بود. ۳۰ نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۰/۱۲ درصد سرب و ۱۲ نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۱ درصد سرب بوده و حداکثر میزان سرب اندازه گیری شده در نمونه‌های این محدوده بالاتر از ۳ درصد بوده است. ۲۸ نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۰/۲ درصد گوگرد و ۳ نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۱ درصد گوگرد و حداکثر میزان گوگرد اندازه‌گیری شده در نمونه‌های این محدوده بالاتر از ۳ درصد بوده است.

استناد: رستمی پور، ح. و همکاران، ۱۴۰۳. کان‌زایی طلا، مس و فلزات همراه در محدوده هیرد شمالی، خراسان جنوبی، پژوهشهای

دانش زمین: ۱۵(۲)، (۲۴-۱۲۹)، DOI: 10.48308/esrj.2023.103546

E-mail: h_rostamipour@sbu.ac.ir

* نویسنده مسئول:



با رسم نمودارهای همبستگی. عنصر مس نیز همبستگی خوبی با عنصر Mo دارد. Al (Al, Ti, Cr, Ni) با Ti و همچنین کروم همبستگی قوی با Ni دارد. عنصر طلا نیز به شدت با آهن و آرسنیک همبستگی دارد.

نتیجه گیری

بررسی های ژئوشیمیایی عناصر همراه نشان می دهد که ماگمای منشأ کانی سازی در ناحیه هیرد شمالی حاصل فرورانش بوده و از این رو نوع I است. این بررسی ها نشان می دهد که طلای موجود در داخل ساختار پیریت قرار گرفته و با توجه به پاراژنز مس و مولیبدن و همچنین وجود مس به شکل کانی های کالکوپیریت می تواند نشان دهنده نزدیکی کانی سازی مس و مولیبدن باشد.

واژگان کلیدی: اپی ترمال، خراسان جنوبی، کانسار، طلا، مس، هیرد شمالی.

مقدمه

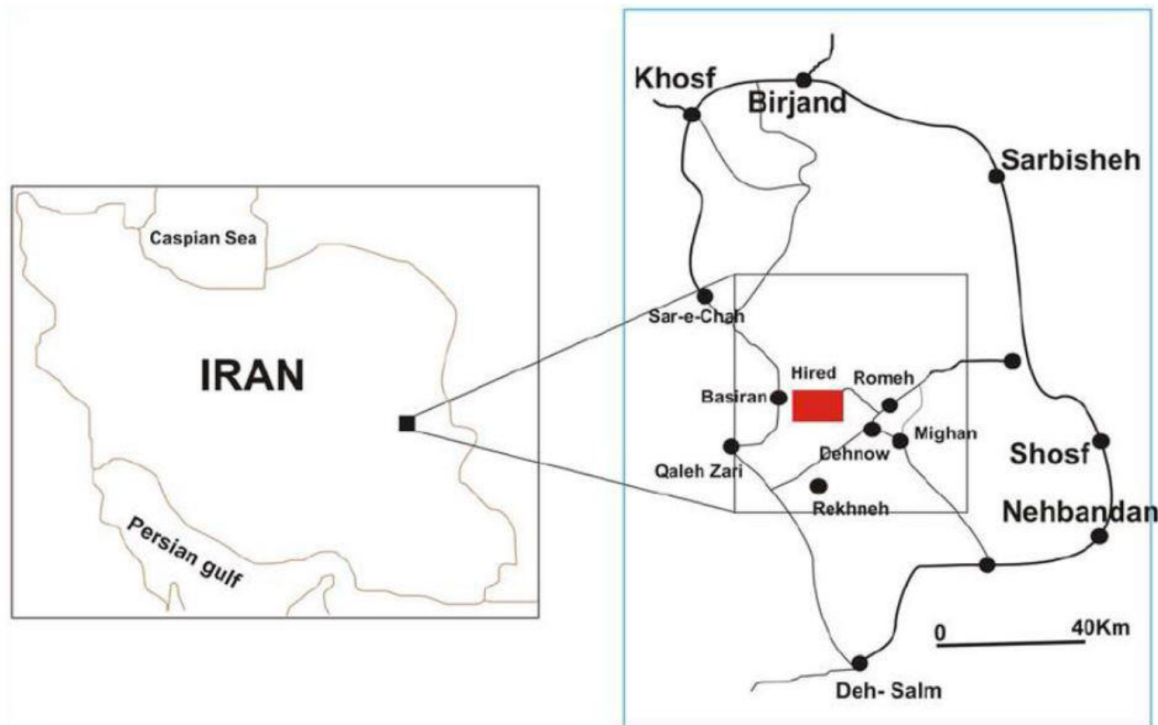
باشد. کنگلومرای قاعده پالتوسن این توالی را می پوشاند. سنگ های ولکانیک ائوسن در این گستره شامل سنگ های آندزیتی، آندزیت سبز رنگ، آندزیت های دگرسان، آندزیت- های آمیگدوئیدال، توف های شیشه ای، آگلومرا، آندزیت پیروکسن دار، کوارتز آندزیت و آندزیت پورفیری است. بازالت های آندزیتی، بازالت های تراکیتی و لاتیت های شدیداً دگرسان، غالب سنگ های ولکانیکی نئوژن را تشکیل می دهند. کانی سازی طلا در ناحیه معدنی طلای هیرد در گستره ای به وسعت ۴۰ کیلومتر مربع در ارتباط با توده های گرانیتوئیدی احیایی شکل گرفته است (Karimpour et al, 2007). در محدوده مورد مطالعه کانه زایی با دگرسانی های سیلیسی، سریسیتی، تورمالینی، کلریتی و کربناتی همراه است. ساخت و بافت موجود در این ذخایر، شامل رگه و رگچه های صفحه ای و به ندرت استوک ورکی، پراکنده، برشی و توده ای می باشد (Thompson and Newberry, 2000).

منطقه مورد مطالعه

جایگاه و موقعیت جغرافیایی

محدوده مورد مطالعه در قسمت جنوبی استان خراسان جنوبی واقع شده است. این محدوده در ۱۴۵ کیلومتری جنوب شهر بیرجند و در شمال روستای هیرد قرار دارد. راه دسترسی به این محدوده معدنی جاده آسفالتی از بیرجند به خوسف و سپس هیرد و یا از نهبندان به هیرد می باشد. در شکل ۱، موقعیت این محدوده نشان داده شده است.

شرق ایران زون جوش خورده ایست که دو بلوک لوت و افغان را بهم پیوند داده و در دوره تکوین خود حوادث متعددی را پشت سر گذاشته است (Tirrul et al, 1983). این حوادث شامل ریفت زایی، فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر بلوک افغان، ماگماتیسیم، تصادم بلوک لوت با زون فلیش و خاتمه فرورانش، جایگیری افیولیت ها در کنار گسل ها و روراندگی ها می باشد (Camp and Griffis, 1982). بخش اعظم بلوک لوت را سنگ های آتشفشانی کالک آلکالن ترشیری تشکیل می دهند. توده های گرانیتوئیدی با سن ژوراسیک بالایی و ترشیری نیز در برخی نقاط، سنگ های قدیمی تر از خود را نیز تحت تاثیر قرار داده اند (Camp and Griffis 1982). سنگ های این ناحیه تحت تاثیر دگرگونی قرار گرفته که شدت آن در بخش های مختلف متفاوت است. مهم ترین فعالیت ماگمایی منطقه، توده عظیم گرانیت شاهکوه است، که به صورت نواری طویل در امتداد شمال غرب - جنوب شرقی کشیده شده است و در واقع بخش اعظم رخنمون سنگی ورقه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی کاربا را به خود اختصاص داده است (Stocklin, 1968). با توجه به نظر عسگری و صفری (Askari and Safari, 2003) واحد شیلی - ماسه سنگی ژوراسیک قدیمی ترین سنگ های منطقه را تشکیل داده است که بر روی آن توالی رسوبی کرتاسه بالایی با یک دگرشیبی زاویه دار قرار می گیرد. توالی کرتاسه بالایی شامل واحدهای شیلی، کنگلومرای، ماسه - سنگی، آهکی - مارنیتوف های آهکی و آهک ماسه ای می



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

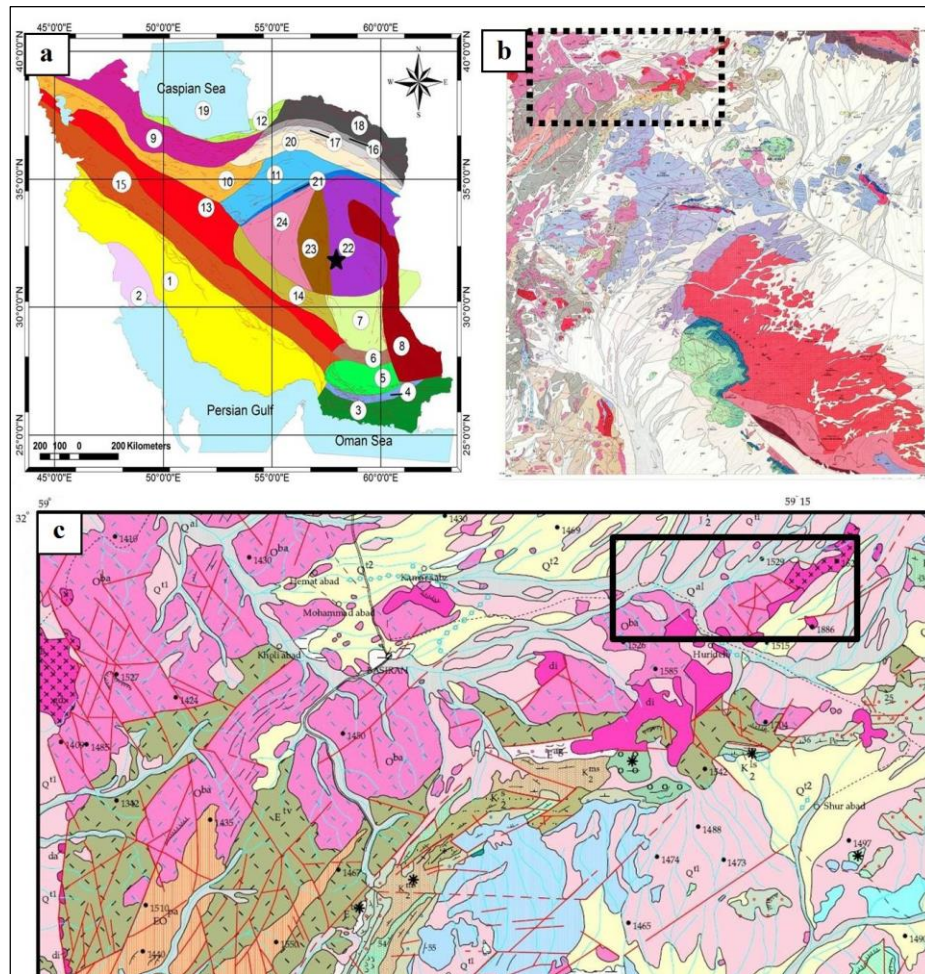
زمین شناسایی شده‌اند عبارتند از: (۱) کوارتز- تورمالین- سربیسیت، (۲) کربناتی و (۳) پروپیلیتیک. بر طبق نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران در شکل ۲، در این محدوده واحدهای Q^{al} و Q^{12} رخمون دارند. گسترش واحد بازالتی نسبت به سایر واحدهای سنگی بیشتر می‌باشد (شکل ۳a). نهشته‌های آبرفتی پادگانه‌ای از ارتفاع توپوگرافی بالاتری نسبت به سایر رسوبات آبرفتی برخوردار است و از کنگلومرای با سیمان سست و قلوه- های با ابعاد مختلف تشکیل شده است (شکل ۳a و b). یکی از واحدهای محدوده مورد مطالعه پیروکسن‌آندزیت، آندزیت با بافت پورفیری و آندزیت بازالت می‌باشد که در این واحد فرسایش پوست پیازی دیده می‌شود (شکل ۳d). یکی دیگر از واحدهای مهم در محدوده مورد مطالعه شامل سنگ‌های نفوذی ترشیری (بعد از ائوسن) می‌باشد که صورت دیوریت و میکروگرانودیوریت رخمون دارد (شکل ۳e).

مواد و روش‌ها

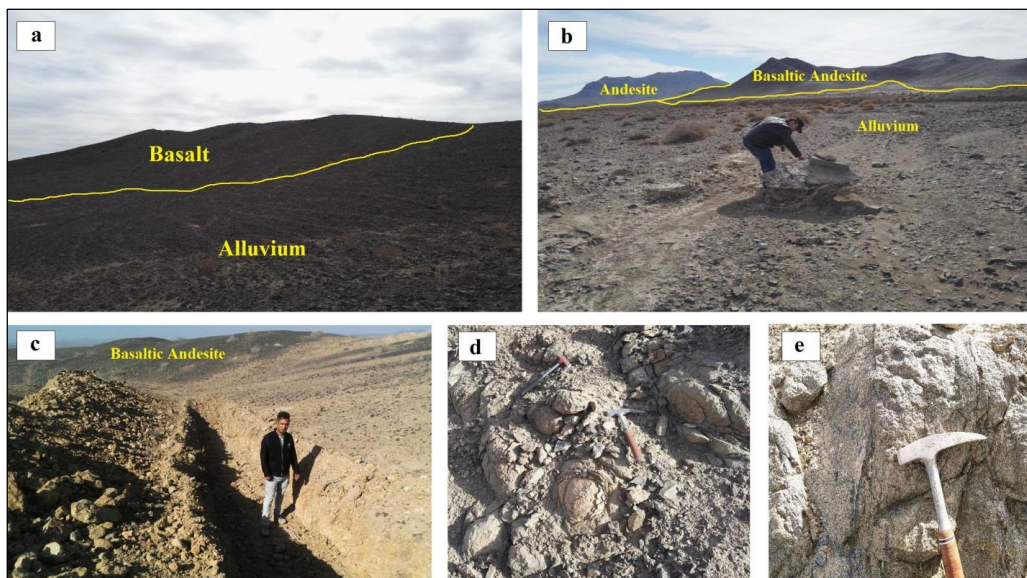
در طی عملیات اکتشافی انجام شده در این منطقه تعداد ۱۹۸ نمونه سنگی از بخش‌ها و واحدهای مختلف برداشت گردید و در آزمایشگاه زرآزما به روش‌های ICP-OES مورد آنالیز قرار گرفت. همچنین کلیه نمونه‌ها در صحرا توسط لوپ دستی با بزرگنمایی ۲۰ برابر مورد بررسی قرار گرفتند و نمونه‌ها به منظور یافتن طلا به روش آکوارجیا آماده‌سازی گردید. تعداد ۲۰ نمونه مقطع نازک و تعداد ۱۵ نمونه مقطع صیقلی از این واحدها در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید بهشتی تهیه گردید. و پس از انجام مطالعات میکروسکوپی نمونه انتخاب و تجزیه شیمیایی به روش- های ICP-OES و ICP-MS انجام گردیده است.

زمین‌شناسی عمومی

در این محدوده توده‌های نفوذی حدواسط تا اسیدی با ترکیب گرانودیوریت تا گرانیت در توالی آتشفشانی- رسوبی ترشیری نفوذ کرده و آنها را تحت تاثیر قرار داده‌اند. براساس مشاهدات صحرائی مهم‌ترین دگرسانی‌هایی که در سطح



شکل ۲: موقعیت محدوده مورد مطالعه در زون تقسیم‌بندی زون‌های ایران و همچنین در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بصیران.



شکل ۳: تصاویر صحرایی از محدوده مورد مطالعه. a: واحد بازالت در محدوده مورد مطالعه (دید به سمت غرب). b: نمایی از نهشته‌های آبرفتی موجود در منطقه دید به سمت غرب. c: نمایی از ترانشه انجام شده در واحد بازالتیک آندزیت. d: فرسایش پوست پیازی. e: نمایی از میکروگرانودیوریت‌های موجود در محدوده مورد مطالعه.

بحث و نتایج

سنگ‌شناختی و کانی‌شناختی

پتروگرافی، خصوصیات کانی‌شناسی و بافت سنگ است که در قالب مشاهدات انجام شده در مقاطع نازک توسط میکروسکوپ پلاریزان قرار می‌گیرد. عوامل مختلفی در به وجود آوردن سنگ‌های آذرین موثر است و بر حسب شدت تأثیر این عوامل، سنگ‌ها دارای ساخت، بافت و ترکیب شیمیایی متفاوت می‌شوند.

آندزیت

در نمونه‌ها بلورهای پلاژیوکلاز هم در زمینه و هم به صورت فنوکریست دیده می‌شوند که گاهی دارای زونینگ هستند. تعدادی از پلاژیوکلازها دچار انحلال شده‌اند و تبلور مجدد داشته‌اند. کانی‌های مافیک موجود در سنگ آمفیبول و پیروکسن هستند. آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازها عموماً به کلریت و سریسیت دگرسان شده‌اند و که خود بیانگر تأثیر آب‌های جوی بر روی سنگ‌های منطقه است. پیروکسن‌ها در ترکیب خمیره نیز دیده می‌شوند. حضور این مقدار پیروکسن در مقاطع می‌تواند بیانگر نزدیک شدن ترکیب سنگ به بازالت باشد به طوری که می‌توان نام سنگ را پیروکسن آندزیت یا آندزیت بازالت نیز در نظر گرفت. بافت کلی سنگ میکروگرانولار است (شکل a۴).

بازالت

گسترش واحد بازالتی نسبت به سایر واحدهای سنگی بیشتر می‌باشد. در اغلب نمونه‌های دستی رگچه‌های کربناته دیده می‌شود. همچنین میان لایه‌هایی از کوارتز در گمانه‌های اکتشافی قابل رویت است. در مقاطع نازک عمدتاً دارای بافت پورفیری و بعضاً میکروگرانولار است. پلاژیوکلازها در حال تجزیه و تبدیل به سریسیت هستند، حدود ۳۰٪ مقطع را پیروکسن‌ها تشکیل داده‌اند، به دلیل فعالیت تکتونیکی منطقه پیروکسن‌ها خرد شده‌اند (شکل b۴).

دیاباز

این سنگ‌ها در نمونه دستی سیاه مایل به سبز می‌باشند و دانه‌های سبز رنگ و درشت کلریت در آنها یافت می‌شود. بافت این سنگ‌ها پورفیری است. کانی‌های مشاهده شده در زیر میکروسکوپ عبارتند از: فلدسپات: اغلب از نوع

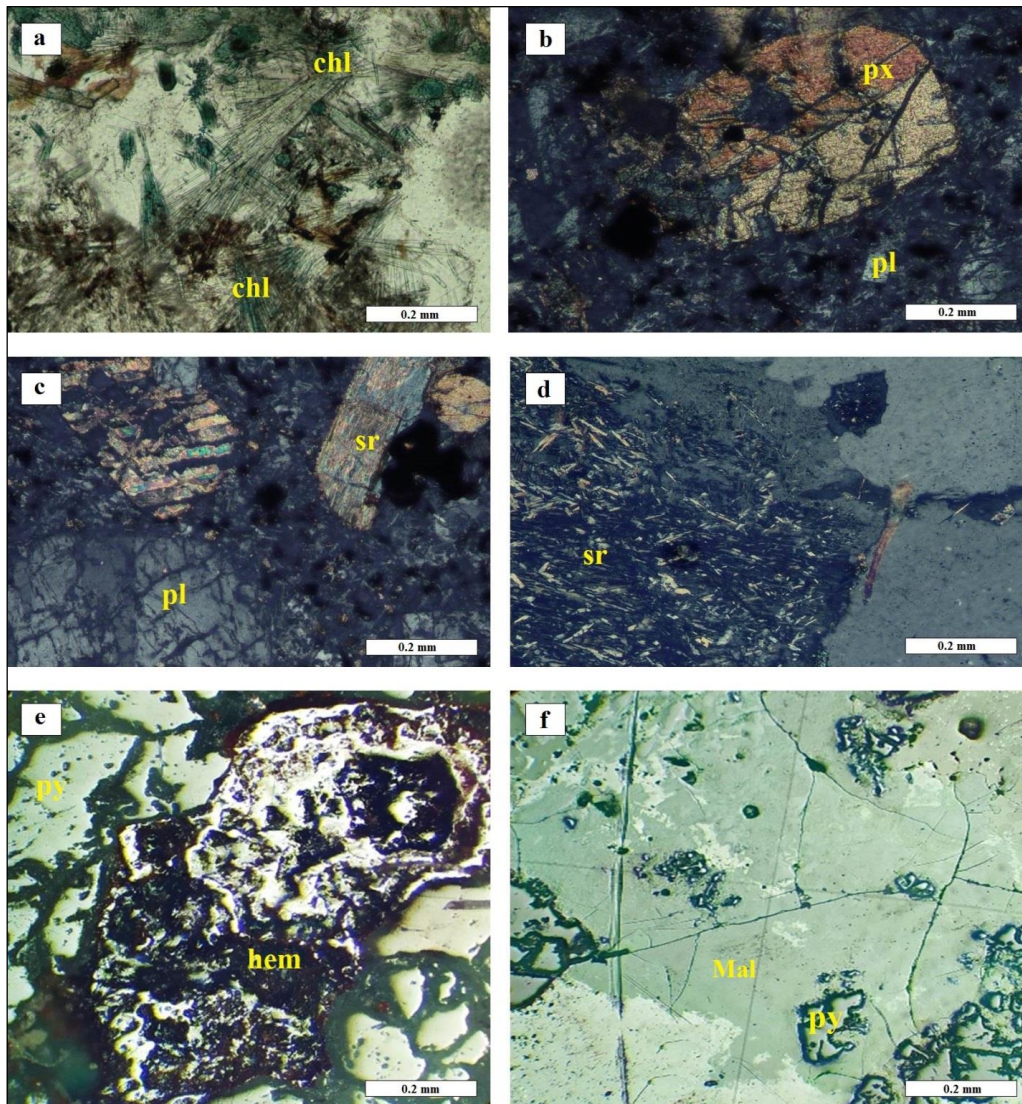
پلاژیوکلاز می‌باشند و در حدود ۵۰ درصد از کانی‌های تشکیل دهنده سنگ را شامل می‌شوند. پلاژیوکلازها دارای ماکل البیتی، کارلسباد و تکراری می‌باشند و نیمه شکل تا شکل دار می‌باشند. پلاژیوکلازها به دلیل اینکه فرصت تبلور داشته اندازه درشت داشته و رشد کرده‌اند. از جمله بافت‌های موجود بافت اینترسرتال می‌باشد که در بین تیغه‌های پلاژیوکلاز شیشه و کانی‌های تیره و مافیک وجود دارد که دال بر نیمه عمیق بودن سنگ است (شکل c۴). اثرات جابجاشدگی و شکستگی‌های فراوان در پلاژیوکلازها و همچنین پیروکسن‌ها دیده می‌شود که حاکی از تأثیر فشارهای تکتونیکی منطقه بر روی سنگ‌ها است. در برخی نقاط درون شکستگی‌ها اکسید آهن تشکیل گردیده است.

میکروگرانولادیوریت

توده‌های میکروگرانولادیوریتی کمابیش در قسمت‌های شرقی محدوده رخنمون دارند، بافت سنگ میکروگرانولار و پورفیری بوده و کانی‌های دگرسان مشاهده شده در زمین و مقاطع بیشتر از نوع کربنات، سریسیت و کلریت می‌باشد. کانی‌های اصلی سنگ شامل پلاژیوکلاز، فلدسپار، کوارتز و بیوتیت است، که بیوتیت‌ها در اثر دگرسانی به کلریت و پلاژیوکلازها و فلدسپار نیز به سریسیت تبدیل شده‌اند (شکل d۴).

کانی‌شناختی

کانی‌های فلزی غالباً نور را از خود عبور نمی‌دهند، بنابراین آنها را نمی‌توان براساس قانون شکست نور مطالعه کرد. برای مطالعه این نوع کانی‌ها باید از نور منعکسه استفاده کرد. به وسیله مطالعات مینرالوگرافی می‌توان علاوه بر شناسایی کانی‌های فلزی و بافت آن، پارازنز و شرایط تشکیل کانه را نیز بررسی کرد. در شکل e۴، کانی پیریت در حال تجزیه و تبدیل شدن به کانی هماتیت، تجزیه شدن از محل رخ یا قسمت‌های ضعیف کانی شروع شده است. این نوع دگرسانی که معمولاً همراه با رگه‌های سیلیسی کانه‌دار مشخص می‌شود باعث تغییر رنگ رگه کانی‌سازی و سنگ میزبان به قهوه‌ای یا زرد می‌شود. کانی مالاکیت که بر اثر اکسیداسیون و کربناته شدن اغلب کانی‌های سولفیدی مس‌دار ایجاد می‌شود درون مقطع صیقلی در شکل f۴، قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۴: تصاویر میکروسکوپی از مقاطع تهیه شده در نمونه‌های منتخب برداشت شده. (شماره نمونه‌ها در این مقاله براساس پایان‌نامه اینجانب با همین موضوع برداشت شده است): a: نمونه SH-5 شامل کلریت‌های درون نمونه آندزیتی. b: نمونه SH-3 پیروکسن خرد شده به همراه پلاژیوکلاز (پلاژیوکلازها در حال تبدیل شده به سریسیت می‌باشند). c: نمونه SH-2 پلاژیوکلازهای در حال تبدیل به سریسیت و پیروکسن. d: نمونه SH-4 دگرسانی سریسیتی درون سنگ میکروگرانودیوریت. e: نمونه PH-1 کانی پیریت در حال تجزیه و تبدیل شدن به کانی هماتیت، تجزیه شدن از محل رخ یا قسمت‌های ضعیف کانی شروع شده است. f: نمونه PH-9 کانی مالاکیت درون مقطع صیقلی.

دگرسانی

به کلیه تغییرات کانی‌شناسی که تحت‌تاثیر محلول‌های گرمابی، آب‌های ماگمایی و سیالات در سنگ‌ها ایجاد می‌شوند، دگرسانی می‌گویند (Guilbert and Park, 1986). دگرسانی از مدت‌ها پیش به عنوان جزء جدایی‌ناپذیر اغلب سیستم‌های کانه‌زا شناخته شده است. در فرهنگ زمین‌شناسی دگرسانی به عنوان هر نوع تغییر در ترکیب کانی‌شناسی اولیه سنگ از لحاظ فیزیکی و شیمیایی تعریف شده که به ویژه حاصل فعالیت سیالات گرمابی می‌باشد. دگرسانی گرمابی در مفهوم خاص آن عبارت از جانشینی

شیمیایی کانی‌های اولیه یک سنگ توسط کانی‌های جدید، در اثر تبادلات شیمیایی با سیالات گرمابی می‌باشد. با شناسایی مجموعه‌های دگرسانی همیافت با هر یک از تیپ‌های کانساری، راهنمای ارزشمندی در مطالعات اکتشافی و پی‌جویی ناحیه‌ای در اختیار خواهیم داشت. گسترش و شدت زون‌های دگرسانی رابطه مستقیم با میزان ذخیره دارند. به هنگام بازدید از منطقه اولین و مهم‌ترین عواملی که باید مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد، ناحیه‌های دگرسان شده هستند. عموماً رخدادهای دگرسانی را به عنوان مجموعه‌ای از کانی‌های باطله تصور می‌نمایند، در صورتی

کوارتز حاصل می‌گردد (Zhou and Wang, 1999). کلریتی شدن بیوتیت منبع مهمی برای یون K^+ به شمار می‌آید. با آزاد شدن یون K^+ ، تبدیل پلاژیوکلاز به سرسیت گسترش می‌یابد. این دگرسانی در نمونه‌های SH-2، SH-3، SH-4 و SH-6 و SH-8 دیده شده است.

دگرسانی کربناتی

رخداد دگرسانی کربناتی، نتیجه آشکار واکنش میان سیال هیدروترمالی غنی از CO_2 و سنگ دیواره است. به دلیل نرخ بالای هسته‌زایی و تبلور کربنات‌ها، انتشار کانی‌های کربناته درون پهنه دگرسانی تصادفی است. به همین دلیل نمی‌توان در یک پهنه دگرسانی، محدوده خاصی را به عنوان زون کربناتی مشخص نمود. ترکیب کربنات ناشی از دگرسانی، بستگی به ترکیب سنگ دیواره و شدت دگرسانی دارد. این نوع دگرسانی در نمونه‌های PH-6، PH-9 دیده شده است.

دگرسانی پروپلیتیک

این دگرسانی غالباً حاصل تجزیه پلاژیوکلازهای کلسیک است که معمولاً با افزایش Ca و خروج Na و Si همراه است. دگرسانی پلاژیوکلازها در شرایط رخساره شیست سبز، ابتدای فرآیند سوسوریتی شدن است که طی آن با افزایش آب، سازنده آنورتیتی به اپیدوت تغییر می‌یابد و پلاژیوکلاز باقی مانده نیز به صورت آلبیت در می‌آید. سوسوریت در رخساره شیست سبز تشکیل گروه، حاصل و تیپیک دگرگونی دیناموترمال هستند که در آن سیلیکات‌های رنگین و پلاژیوکلازها، به کانی‌های گروه اپیدوت تبدیل می‌شوند. این نوع دگرسانی در نمونه‌های HDN-103، HDN-104، HDN-105، HDN-106، HDN-107، HDN-108 دیده شده است.

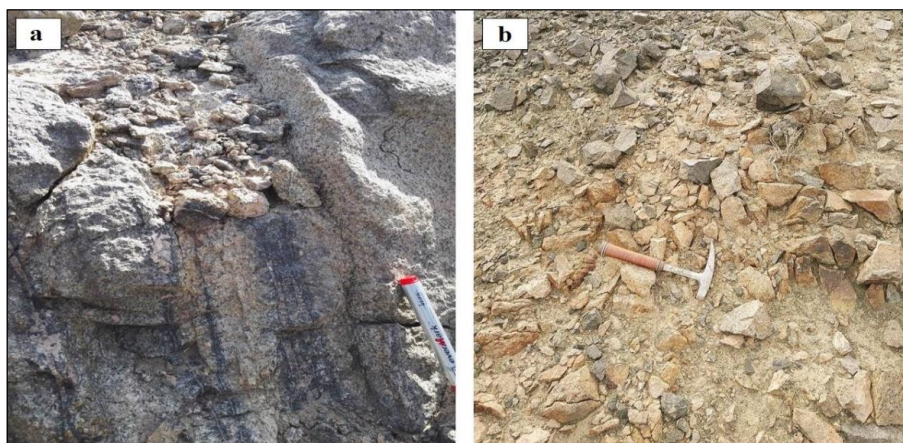
که کانه‌ها بخش مهمی از این مجموعه را تشکیل می‌دهند. در واقع همان محلول‌هایی که موجب نهشت کانه‌ها شده‌اند، عامل دگرسانی سنگ دیواره در محل تله کانسنگی نیز بوده‌اند (Barnes, 1997).

دگرسانی کوارتز- تورمالین- سرسیت

دگرسانی سیلیسی با افزایش کوارتز و با اکسیدهای سیلیسی در سنگ دگرسان شده، نمود می‌یابد که یا از طریق اضافه شدن SiO_2 به سنگ توسط محلول‌ها و یا بالا رفتن مقدار سیلیس به دلیل انحلال مواد دیگر در سنگ مانند فلدسپارها صورت می‌گیرد. سیال غنی از SiO_2 به شدت با سنگ‌های دیواره واکنش داده و کوارتز به صورت توده‌ای، دانه پراکنده تا رگه‌ای جانشین کانی‌های قدیمی سنگ می‌شود. شدت این جانشینی بستگی به ترکیب کانی‌شناسی سنگ دیواره دارد (Khalil et al, 2003). در اکثر موارد، نه نشست سیلیس از یک سیال هیدروترمال، به کاهش دما بیش از کاهش فشار وابسته است. دگرسانی تورمالینی یک دگرسانی دمای متوسط تا بالا بوده و در سنگ‌های دیواره به صورت رگه- رگچه‌ای رخ می‌دهد. حضور تورمالین غالباً در ارتباط با متاسوماتیسم بور (B) بوده و بور، یا از ماگمای گرانیته و یا سنگ‌های میزبان شسته شده و تورمالین زایی صورت می‌گیرد. تورمالن بیشتر در گرانیته‌های اسیدی و سرشار از آلکانل تشکیل می‌شود. این نوع دگرسانی در نمونه‌های HDN-22، HDN-23، HDN-24 دیده شده است.

دگرسانی سرسیتی

هنگامی که سیال هیدروترمالی دارای ترکیب اسیدی، از سنگ دیواره عبور کند، کانی‌هایی نظیر پلاژیوکلاز، فلدسپات آلکانل، بیوتیت و مسکویت را دگرسان می‌کند. در این شرایط، کانی‌های جدیدی مانند آلبیت، سرسیت و



شکل ۵: نمایی از چند دگرسانی موجود در محدوده مورد مطالعه. a: دگرسانی کوارتز- تورمالین، سرسیت. b: دگرسانی کربناتی.

زمین‌شیمی

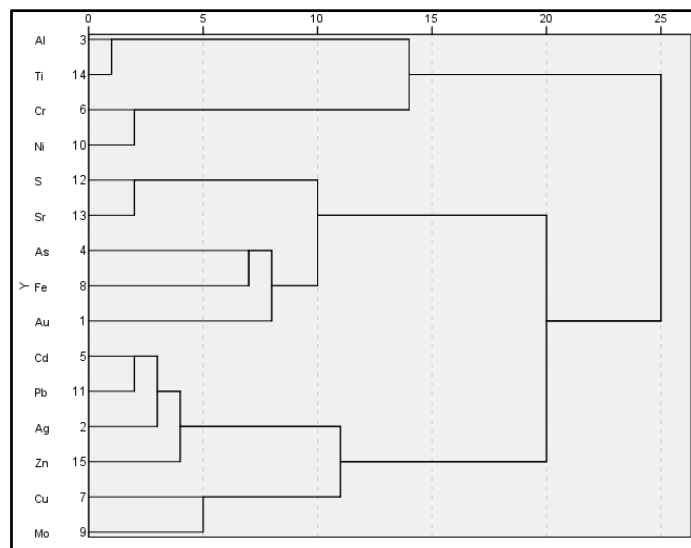
روش‌های ICP-OES و ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفتند. نمونه‌ها به منظور یافتن طلا به روش آکوارجیا آماده‌سازی گردید، که نتایج هر یک در جدول ۱ آمده است.

در طی عملیات اکتشافی انجام شده در این منطقه تعداد ۱۹۸ نمونه سنگی از واحدهای بدون دگرسانی و همچنین زون‌های کانهدار دگرسان شده مختلف برداشت گردید و به

جدول ۱: لیست آنالیزهای انجام شده منتخب در محدوده مورد مطالعه

Element	Au	Ag	As	Cu	Mo	Pb	S	Sb	Zn	
DL	5	0.1	0.5	1	0.5	1	50	0.5	1	
Unit	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
Sample										
1	HDN-1	235	4.6	>100	125	3.06	548	4735	>0.01%	105
2	HDN-13	1393	11.6	>100	177	3.04	4176	2116	>0.01%	236
3	HDN-14	1355	3	>100	68	8.5	1878	2264	>0.01%	68
4	HDN-15	1436	10	>100	41	10.7	572	1726	>0.01%	44
5	HDN-27	204	0.51	>100	3	1.76	32	1467	71.6	38
6	HDN-34	126	4.1	>100	5938	2.24	1562	276	>0.01%	1170
7	HDN-35	122	17.4	>100	8436	12.6	8917	374	>0.01%	16725
8	HDN-39	196	29.1	>100	3686	33.1	14955	213	>0.01%	2341
9	HDN-40	217	2.3	>100	1087	8.4	1497	269	>0.01%	1812
10	HDN-41	345	8	>100	864	3.51	964	317	>0.01%	761
11	HDN-42	168	23.7	>100	6427	41.4	5046	343	>0.01%	497
12	HDN-43	1329	17.2	>100	1761	2.47	839	205	>0.01%	127
13	HDN-45	130	26.1	>100	8299	13.6	12786	310	>0.01%	284
14	HDN-46	385	10.8	>100	568	2.57	3273	301	>0.01%	9860
15	HDN-47	119	156.6	>100	7050	1.9	11802	193	>0.01%	>3%
16	HDN-48	305	38.5	>100	1712	11.9	26277	505	>0.01%	>3%
17	HDN-49	675	137	>100	8520	35.9	>3%	610	>0.01%	>3%
18	HDN-50	413	285.8	>100	5188	12.8	>3%	946	>0.01%	14489
19	HDN-56	300	0.69	>100	391	113.9	83	236	>0.01%	341
20	HDN-57	495	0.65	>100	223	41.4	99	1039	>0.01%	73
21	HDN-59	306	0.6	>100	334	79	67	457	>0.01%	251
22	HDN-61	185	0.37	83.2	454	63	62	303	49	233
23	HDN-64	481	45.4	>100	25791	836.3	3467	4365	>0.01%	186
24	HDN-66	278	128.3	>100	45973	11262.1	29317	2427	>0.01%	289
25	HDN-77	111	10.9	>100	8585	72.8	1433	376	>0.01%	142
26	HDN-78	190	1.8	>100	2594	13.9	945	1266	31.8	539
27	HDN-81	236	35.2	>100	>5%	1.02	420	397	62.6	311
28	HDN-90	305	0.36	>100	40	1.72	75	254	25.4	105
29	HDN-94	3362	52.5	>100	1690	316.6	25101	2085	>0.01%	3902
30	HDN-96	243	1.4	>100	521	17.8	67	402	28.9	289
31	HDN-97	552	24	>100	620	5.6	1468	2563	>0.01%	36
32	HDN-98	152	39.9	>100	>5%	1.37	364	319	>0.01%	287
33	HDN-115	1118	0.35	>100	291	3.13	194	3538	>0.01%	65
34	HDN-117	100	64.4	>100	45	60.8	20152	693	>0.01%	15
35	HDN-186	344	5.5	>100	96	2.46	3176	1971	>0.01%	1028
36	HDN-187	657	20.8	>100	281	2.94	552	4393	>0.01%	330
37	HDN-192	275	49.2	>100	2296	1.32	4766	3888	>0.01%	130
38	HDN-193	1873	31.7	>100	369	4.71	158	5490	>0.01%	41

39	HDN-110	204	0.81	>100	149	4.19	68	2959	>0.01%	123
40	HDN-113	208	0.67	>100	99	1.74	57	2113	>0.01%	81
41	HDN-115	1118	0.35	>100	291	3.13	194	3538	>0.01%	65
42	HDN-117	100	64.4	>100	45	60.8	20152	693	>0.01%	15
43	HDN-137	302	21.2	>100	250	25.7	597	5502	>0.01%	3173
44	HDN-157	220	0.64	>100	25	1.01	551	420	>0.01%	1480
45	HDN-163	545	0.87	>100	521	4.99	7263	237	33.9	2877
46	HDN-183	584	0.27	>100	42	20.2	129	1984	92.8	61
47	HDN-185	150	1.8	>100	23	13	143	5174	42.8	58
48	HDN-189	298	0.4	>100	25	41.7	318	4669	>0.01%	540
49	HDN-190	547	106.1	>100	9269	3.85	13553	1058	>0.01%	809
50	HDN-173	338	0.5	>100	32	1.55	32	2213	37.4	130
51	HDN-171	144	0.35	>100	14	1.45	115	131	20.4	166
52	HDN-172	2348	0.86	>100	58	3.06	388	577	72.1	382
53	HDN-176	830	0.84	>100	175	2.5	443	2023	67.9	282
54	HDN-157	220	0.64	>100	25	1.01	551	420	>0.01%	1480
55	HDN-163	545	0.87	>100	521	4.99	7263	237	33.9	2877
56	HDN-176	830	0.84	>100	175	2.5	443	2023	67.9	282
57	HDN-183	584	0.27	>100	42	20.2	129	1984	92.8	61
58	HDN-185	150	1.8	>100	23	13	143	5174	42.8	58



شکل ۶: نمایش همبستگی به صورت خوشه‌ای

همبستگی بین عناصر

با توجه به اینکه هر گروه معین از عناصر، نسبت به یک سری از شرایط محیطی، کم و بیش به طور مشابه حساسیت نشان می‌دهند، شناخت ارتباط و همبستگی متقابل بین عناصر مختلف می‌تواند در شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی به کار گرفته شود. ضمناً همبستگی بعضی از عناصر ممکن است به عنوان راهنما در تفسیر نوع نهشته‌ای که احتمالاً در ناحیه

وجود دارد به کار رود. شناخت همبستگی‌هایی که بین عناصر وجود دارد اطلاعات لازم را برای تفسیر هر چه صحیح‌تر داده‌های ژئوشیمیایی در اختیار می‌گذارد. بدین منظور با توجه به نتایج آنالیزهای ICP-MS و ICP- OES نمودارهای آنالیز خوشه‌ای رسم گردید که با توجه به این روش آماری چند متغیره عناصر را براساس شباهت تغییرپذیری بین آنها در قالب دسته‌ها یا گروه‌هایی طبقه بندی می‌کند. از مهم‌ترین دلایل ارزشمند بودن آنالیز

های گسله دیده می‌شود و عمده کانه‌زایی درون بازالت و آندزی بازالت‌های محدوده رخ داده است. آمفیبول و پلاژیوکلازها عموماً به کلریت و سریسیت دگرسان شده‌اند و که خود بیانگر تاثیر آب‌های جوی بر روی سنگ‌های منطقه است. پیروکسن‌ها در ترکیب زمینه نیز دیده می‌شوند. حضور این مقدار پیروکسن در مقاطع می‌تواند بیانگر نزدیک شدن ترکیب سنگ به بازالت باشد به طوری که می‌توان نام سنگ را پیروکسن آندزیت یا آندزیت بازالت نیز در نظر گرفت. به دلیل فعالیت تکتونیکی منطقه پیروکسن‌ها خرد شده‌اند. بازالت‌های محدوده به دلیل اینکه روی سنگ‌های دیاباز قرار گرفته‌اند، غالباً در بخش‌های مرتفع محدوده واقع شده‌اند. در نمونه‌های آنالیز شده تعداد ۲۹ نمونه دارای مقادیر بالاتر از یک درصد مس بوده که از این میان تعداد ۱۸ نمونه دارای مقادیر بالاتر از پنج درصد مس می‌باشد. بیشینه مقدار مولیبدن در نمونه‌های اخذ شده برابر با ۱/۱ درصد بوده است. تعداد ۳۰ نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۰/۱۲ درصد سرب بوده و تعداد ۱۲ نمونه دارای مقادیر بالاتر از یک درصد سرب است و حداکثر مقدار سرب اندازه‌گیری شده در نمونه‌های این محدوده بالاتر از ۳ درصد بوده است. تعداد ۲۸ نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۰/۲ درصد گوگرد بوده و تعداد ۳ نمونه دارای مقادیر بالاتر از یک درصد گوگرد است و حداکثر مقدار گوگرد اندازه‌گیری شده در نمونه‌های این محدوده بالاتر از ۳ درصد بوده است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر اقدام به برداشت ۱۹۸ نمونه از واحدهای مختلف شده است. بررسی‌های آماری تک متغیره نشان می‌دهد عناصر Au Cu از توزیع نرمال برخوردار نیستند اما آهن به دلیل اینکه مقدار کشیدگی و چولگی آن در دامنه ۲ تا ۲- متغیر می‌باشد دارای توزیع نرمال است. بررسی‌های ژئوشیمیایی عناصر همراه نشان‌دهنده این موضوع است که ماگمای منبع کانی‌سازی در محدوده هیرد شمالی حاصل فرورانش می‌باشد هاجینسون (Huchinson, 1977) و بنابراین تیپ نوع I می‌باشد ایشی هارا (Ishihara, 1981). این بررسی‌ها نشان می‌دهد که طلا در محدوده درون ساختمان پیریت جایگیری شده است و با توجه به پاراژنز مس و مولیبدنیوم و همچنین حضور مس به صورت

خوشه‌ای اینست که می‌تواند در پیدا کردن گروه‌های واقعی کمک کند و همچنین از پیچیدگی داده‌ها بکاهد. با توجه به شکل ۶ به طور کلی سه بخش اصلی قابل توجه می‌باشد. بخش الف) عنصر Cu نیز از همبستگی خوبی با عنصر Mo برخوردار است. (Al, Ti, Cr, Ni) با Ti و همچنین Cr با Ni همبستگی قوی دارند. همان‌طور که مشخص است در فاصله دور تر این دو گروه باهم همبستگی نشان می‌دهند، این امر می‌تواند نشانگر این باشد که ماگمای بالا آمده در این منطقه حاصل فرورانش است. زیرا Cr و Ni عمدتاً در مناطق فرورانش پوسسته اقیانوسی به زیر قاره‌ای حضور دارند هاجینسون (Huchinson, 1977). در مورد Al و Ti این دو عنصر در پوسسته قاره‌ای فراوانی بیشتری دارند. به طوری کلی همبستگی این چهار عنصر باهم می‌تواند نماینگر یک محیط فرورانش باشد در نتیجه گرانیته تیپ I است. ایشی هارا (Ishihara, 1981). بخش ب) شامل (Au, Fe, As, Sr, S) که خود دارای دو زیرگروه (Sr, S) و (As, Fe, Au) می‌باشد که باهم همبستگی قوی دارند. استرانسیم بیشتر در بخش بالایی پوسسته قاره‌ای در گرانودیوریت‌ها و ریوداسیت‌ها جانشین کلسیم پلاژیوکلاز می‌شود. آرسنیک، آهن و طلا نیز همبستگی قوی نشان می‌دهد، از این بخش این استنباط می‌شود که طلا در این منطقه احتمالاً از نوع اپی‌ترمال است و با گوگرد نیز همبستگی قوی دارد. همبستگی قوی آهن و گوگرد با طلا بیانگر این مطلب است که طلا در شبکه پیریت وجود داشته و تجزیه شده است و گوگرد نیز با ظرفیت پایین خود در این واکنش‌ها شرکت داشته است. (بخش ج) شامل (Cd, Pb, Ag, Zn, Cu, Mo) است که دارای دو زیر گروه (Cd, Pb, Ag, Zn) و (Cu, Mo) می‌باشد که باهم همبستگی قوی دارند. این همبستگی‌ها با مشاهدات صحرایی مطابقت دارد زیرا چندین رگه مس‌دار را در مجاورت گسل‌های کششی مشاهده شده است که حالت اپی‌ترمال/مزوترمال دارند و به علت وجود مولیبدن دمای بالاتری دارند، دمای بالا می‌تواند ناشگر این باشد که کانه‌زایی نزدیک به گنبد‌های گرانیته و گرانودیوریتی می‌باشد.

بحث

کانی‌سازی در محدوده مورد مطالعه به شکل رگه-رگچه‌هایی با ضخامت‌های مختلف در امتداد شکستگی‌ها و زون

سپاسگزاری

نگارندگان این پژوهش از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهیدبهبشتی و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور کمال تشکر و قدردانی را دارند.

کانی کالکوپیریت، می‌تواند نشانگر این باشد که کانی‌سازی مس و مولیبدنیم در نزدیکی منبع حرارتی توده گرانیتی و گرانودیوریتی تشکیل شده است، درحالی که کانه‌زایی طلا از نوع اپی‌ترمال است.

References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F., 2005. Convergence history across Zagros (Iran): Constraints from collisional and earlier deformation, *International Journal of Earth Sciences*, v. 94, p. 401-419.
- Askari, A. and Safari, M., 2003. geological-mineral map report 1:20000 of Hired gold mining promising area, Iran Geological and Mineral Exploration Organization (in Persian).
- Barnes, H.L., 1997. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. John Wiley & Sons.
- Barnes, H.L., 1997. *Geochemistry of hydrothermal ore deposit*, Third ed., New York Wiley, 797 p.
- Camp, V.E. and Griffis R.J., 1982. Character, genesis and tectonic setting of igneous rock in the Sistan Suture Zone eastern Iran, *Lithos*, TSSN 004-4978, NOR., DA. 1982.
- Camp, V.E. and Griffis, R.J., 1982. Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran. *Lithos*, v. 15(3), p. 221-239.
- Eshraghi, H., 2006. *Geochemical mineralogy and type of gold mineralization in the Hired Area, northwest of Nehbandan*, Master's thesis, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modarres University (in Persian).
- Guillbert, J.M. and Park, C.F., 1986. *The geology of ore deposits*, W.H. Freeman and company, 985 p.
- Huchinson, C.S., 1977. Granite emplacement and tectonic subdivision of peninsular Malaysia: *Geol.Soc. Malaysia Bull.*, v. 9, p. 187-207.
- Ishihara, S., 1981. The Granitoid Series and Mineralization, *Economic Geology Anniversary*, v. 75, p. 458-484.
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Esmaeili Sevieri, A., Saeed, S., Allaz, J.M. and Stern, C.R., 2017. Geology, mineralization, mineral chemistry, and ore-fluid conditions of Irankuh Pb-Zn mining district, south of Isfahan, *Journal of Economic Geology*, v. 9(2), p. 267-294.
- Khademi, N., 2020. Tectonics of the eastern edge of Lut zone in Nehbandan region; A case of the architecture of an old convergent margin (in Persian).
- Khalil, M., Demirdöven, N. and Tokmakoff, A., 2003. Coherent 2D IR spectroscopy: Molecular structure and dynamics in solution. *The Journal of Physical Chemistry A*, v. 107(27), p. 5258-5279.
- Stocklin, J., 1972. Iran Central, septentrional etoreintal, Luxique stratigraphique International III. Fascicule 9b, Iran, center national De La Recherche scientifique, Paris, p. 1-283.
- Stöcklin, J., 1977. Structural correlation of the Alpine area between Iran and Central Asia.
- Stöcklin, J., Eftekhari-Nezhad, J. and Hushmand-Zadeh, A., 1972. Geological Reconnaissance Map Thompson, J. F., & Newberry, R. J. (2000). Gold deposits related to reduced granitic intrusions.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J. and Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, v. 94(1), p. 134-150.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J. and Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. 94(1), p. 134-150.
- Zachariah, J., Pertold, Z., Pudilova, M., Zak, K., Pertoldova, J., Stein, H. and Markey, R., 2001. Geology and genesis of Variscan porphyry style gold mineralization, Petrackova hora deposit, Bohemian Massif, Czech Republic. *Miner. Deposita* (in press).
- Zhou, Y. and Wang, Z., 1999. Altered ductile shear zone host type of gold deposits from south China, a case study. *J. Geoscience. Of China*, v. 1, p. 23-38.