



Imam Khomeini International University

Vol. 7, No. 4, Winter 2022



نشریه مهندسی منابع معدنی

Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

Research Paper

Determination of Geochemical Anomalies in Stream Sediments of Zaylik Region (East Azerbaijan) Based on the Element Distribution Pattern

Hasanzadeh Koulani A.¹, Baharlouei Yancheshmeh S.^{2*}

1- M.Sc, Dept. of Mining Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

2- Assistant Professor, Dept. of Geology, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

Received: 11 Apr. 2021

Accepted: 14 Jul. 2021

Abstract: The Zaylik mineralization zone includes andesitic volcanic rocks which is the basis for other rocks in the area. The base of these andesitic rocks is yet to be characterized, but pyroclastic deposits and acidic to basic lava flows have overlaid them on the top. The results of statistical evaluations and distribution patterns of As, Cu, Ag, Au, Zn, Sb, Pb, and Mo, on stream sediments showed that the most significant geochemical anomalies were related to copper, lead, zinc, and gold. These anomalies appear to be consistent with the siliceous veins and caps and alteration zones in the region. Frequency histograms of Au, Pb, Zn, Mo, and Cu were mostly abnormal and showed positive skewness. The table of correlation coefficient and cluster decomposition showed positive correlations between Mo and As and also between Pb and Zn at a confidence level of 99%. Moreover, at 95% confidence, positive correlations were observed between Pb and As and also between Zn and Cu, while an inverse correlation was observed between Zn and Mo.

Keywords: Geochemical anomalies, Stream sediments, Zaylik region, East Azerbaijan.

How to cite this article

Hasanzadeh Koulani, A., and Baharlouei Yancheshmeh, S. (2022). "Determination of geochemical anomalies in stream sediments of Zaylik region (East Azerbaijan) based on the element distribution pattern". Journal of Mineral Resources Engineering, 7(4): 1-17.

DOI: [10.30479/JMRE.2022.15201.1503](https://doi.org/10.30479/JMRE.2022.15201.1503)

*Corresponding Author Email: So.Baharlouei@iau.ac.ir

COPYRIGHTS



©2022 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

INTRODUCTION

The study area in the 25 km southeast of Ahar is located in Ahar-Arasbaran zone. The lithosequence in the study area is comprised of Eocene volcanic rocks containing andesitic tuff, andesite, dacite-rhyodacite and Quaternary sediments and also intrusive masses with microdiorite and quartzmonzonite composition. Three types of mineralization were identified in the area; 1- Siliceous alteration zones (siliceous caps); 2- Vein mineralization type; 3- Altered zones with rhodocytite host rock. According to the field surveys, three types of alterations also were found in the region, which is the first and most widespread type related to advanced argillic alteration. The second type is related to siliceous argillaceous alterations around the siliceous veins and the third type is siliceous alteration in the form of silica caps with iron oxides. Some research on alteration zones and the role of hydrothermal solutions have been previously done, such as Miranvari et al. [1]. However, due to the absence or lack of statistical studies and geochemical models in the region, as well as the importance of geochemical mapping in exploration programs on the other hand, in this study we used univariate and multivariate analysis methods, then analyzed statistical parameters and finally drew local geochemical maps to understand the distribution and relationship between elements in the region.

MATERIALS AND METHODS

To achieve the objectives of the present study, Eight samples of thin sections and one polished section have been studied in terms of lithology and mineralogy. In order to study the statistical parameters, to draw distribution maps and to determine the geochemical anomalies of the elements, 18 samples of stream sediments were analyzed by ICP-OES + AU analysis in the laboratory of the Geological Survey of Iran. Samples were collected based on lithological, alteration, and catchment basin criteria. Finally, for analyzing the statistical parameters was used Excel, SPSS and R (version 3.6.2) and for drawing geochemical distribution maps of elements was utilized Arc GIS software.

FINDINGS AND ARGUMENT

In this study, after preprocessing, the background values, threshold and anomaly of some trace elements in stream sediments were calculated. Then the frequency diagrams of the normalized values of the elements were drawn. According to that Au, Pb, Zn, Mo, and Cu were mostly abnormal and showed positive skewness. Distribution and dispersion of different elements in the rock units and the relationship between these elements is one of the most important cases in geochemical studies [2]. In order to determine the relationship between elements, the correlation coefficients were obtained by Pearson method (Figure 1). Comparison of these correlations shows that the correlation between gold and its trace elements is not very high and the closest correlation was found between gold and arsenic (0.38). On the other hand, positive correlations were found between molybdenum and arsenic (0.67) and zinc and lead (0.61) with 99% confidence level. Also were found positive correlation between lead and arsenic (0.55), zinc and copper (0.50) and there is an inverse correlation between zinc and molybdenum elements (-0.53) with a 95% confidence level.

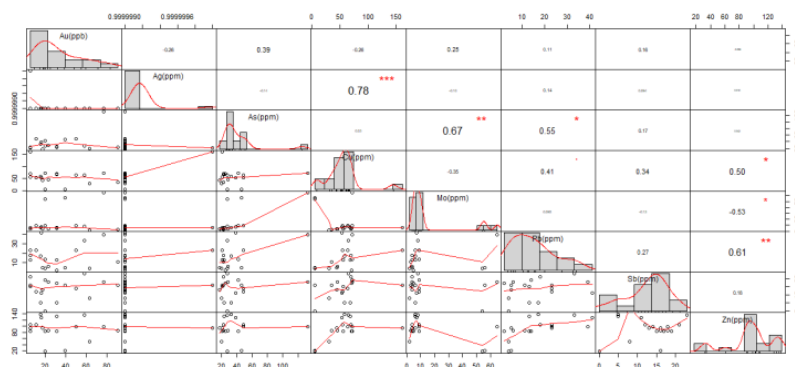


Figure 1. Correlation matrix of stream sediment elements in Zaylik area (shows the correlation coefficients that are important at the 95% confidence level)

In a cluster diagram in which the distances between clusters are arranged using Pearson correlation coefficient, the elements are divided into three groups: the first group; Including the elements Ag and Cu, which have the highest correlation coefficient. The second group; Containing Zn, Pb and Sb, which are formed as a sulfide phase in the veins of the region and show a significant correlation with each other. Finally, the third group; Includes As, Mo and Au with a strong correlation coefficient (Figure 2).

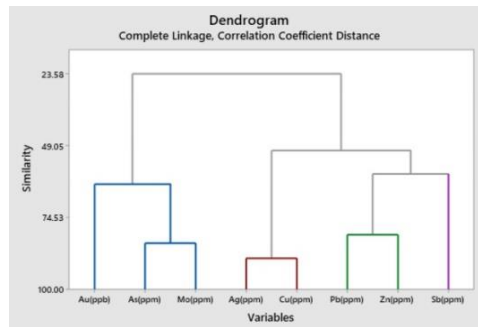


Figure 2. Cluster analysis of normalized raw data in stream sediments of the study area

In this study, geochemical maps were drawn spectrally in Arc GIS software. The most important geochemical anomalies seem to be related to the copper, lead, zinc and gold, which are consistent with veins, siliceous caps and alteration zones (Figure 3).

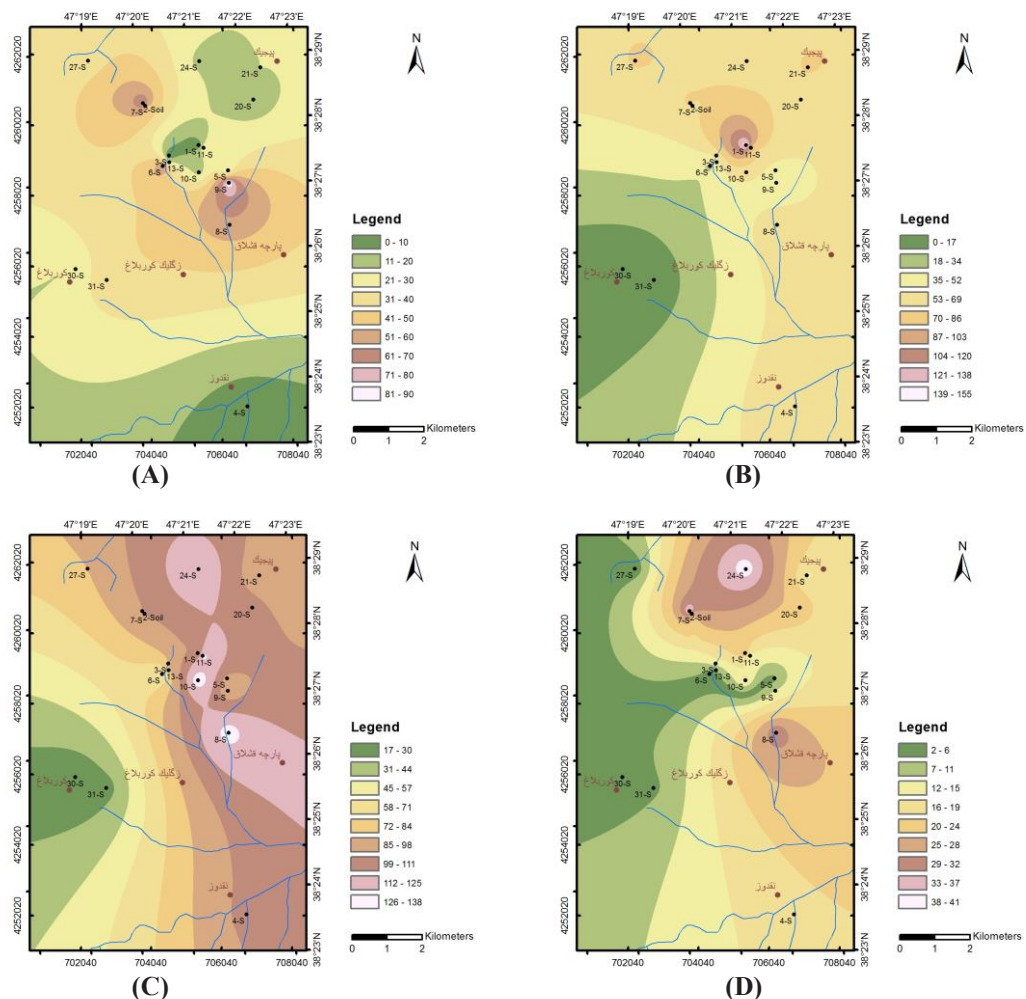


Figure 3. Geochemical map of the distribution of A: gold, B: copper, C: zinc and D: lead in the study area

CONCLUSIONS

The following conclusions were obtained by geochemical analysis as well as field observations from the region:

- The frequency diagrams of Au, Cu, Mo, Zn, Pb show positive skewness due to the more values of these elements in some of the samples.
- According to the correlation coefficient and cluster analysis of elements, a positive correlation is observed between molybdenum and arsenic as well as lead and zinc with a confidence level of 99%. There is also a positive correlation between lead and arsenic as well as zinc and copper and finally an inverse correlation between zinc and molybdenum with a 95% confidence level.
- According to field surveys, it seems that the function of the main faults in the region has been compressive and the penetration of CO₂ and SiO₂ rich fluids has caused the creation and expansion of alteration zones in the region.
- According to the diffusion and dispersion map of elements, it seems that the most important geochemical anomalies are related to copper, lead, zinc and gold, which are consistent with veins, siliceous caps and alteration zones in the region.

REFERENCES

- [1] Miranvari, A. S., Kalagari, A., A., Siahcheshm, K., and Sohrabi, Gh. (2019). "Geological investigation of alteration zones around gold-bearing silica veins of Zaylik, East Ahar, East Azerbaijan Province". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 2: 347- 360. (In Persian).
- [2] Barnes, S. J., Zientek, M., and Severson, M. (1997b). "Ni, Cu, Au and platinum group element contents of sulfides associated with intraplate magmatism: A synthesis". Canadian Journal of Earth Sciences, 34: 337-351.



دوره هفتم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، صفحه ۵ تا ۱۷
Vol. 7, No. 4, Winter 2022, pp. 5-17



نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

علمی-پژوهشی

تعیین آنومالی‌های ژئوشیمیایی در رسوبات آبراهه‌ای منطقه زایلیک، آذربایجان شرقی بر اساس الگوی پراکندگی عناصر

ابوالفضل حسن زاده کولانی^۱، سمیه بهارلوئی یانچشمه^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر

۲- استادیار، گروه زمین شناسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۳

دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۲

چکیده

محدوده کانی‌زایی زایلیک سنگ‌های آتشفشانی با ماهیت آندزیتی دارد که به صورت مجموعه وسیعی، زمینه‌ای برای سایر سنگ‌های موجود در منطقه است. بخش زیرین این سنگ‌های آندزیتی مشخص نیست و در بخش بالایی به نهشته‌های آذرآواری و گدازه‌ای اسیدی تا بازیک می‌رسند. تلفیق نتایج حاصل از بررسی‌های آماری و پراکندگی ۸ عنصر کمیاب Au, Ag, Cu, As, Zn, Pb, Sb, Mo مربوط به داده‌های ژئوشیمیایی نمونه رسوبات آبراهه‌ای بیانگر آن است که مهم‌ترین آنومالی‌های ژئوشیمیایی مربوط به عناصر مس، سرب، روی و طلا است که این آنومالی‌ها بر رگه‌ها و کپ‌های سیلیسی و زون‌های دگرسانی در منطقه منطبق است. نمودار توزیع فراوانی عناصر Au, Cu, Mo, Zn, Pb نیز اکثراً رفتار غیرنرمال دارد و کمی چولگی به راست را نشان می‌دهد که این خاصیت مربوط به بالا بودن عیار این عناصر در برخی نمونه‌ها است. همچنین در میان این عناصر مطابق با جدول ضریب همبستگی و تجزیه خوشه‌ای، همبستگی مثبت بین عناصر مولیبدن و آرسنیک و نیز عناصر سرب و روی با سطح اعتماد ۹۹ درصد، همچنین یک همبستگی مثبت بین عناصر سرب و آرسنیک و نیز عناصر روی و مس و در نهایت همبستگی معکوس بین عناصر روی و مولیبدن با سطح اعتماد ۹۵ درصد دیده می‌شود.

کلمات کلیدی

آنومالی‌های ژئوشیمیایی، رسوبات آبراهه‌ای، منطقه زایلیک، آذربایجان شرقی.

استناد به این مقاله

حسن زاده کولانی، ا. بهارلوئی یانچشمه، س.؛ ۱۴۰۱؛ "تعیین آنومالی‌های ژئوشیمیایی در رسوبات آبراهه‌ای منطقه زایلیک، آذربایجان شرقی بر اساس الگوی پراکندگی عناصر". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره هفتم، شماره ۴، ص ۱۷-۱.

DOI: 10.30479/JMRE.2022.15201.1503



حق مؤلف © نویسندگان

ناشر: دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

*نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: So.Baharlouei@iau.ac.ir

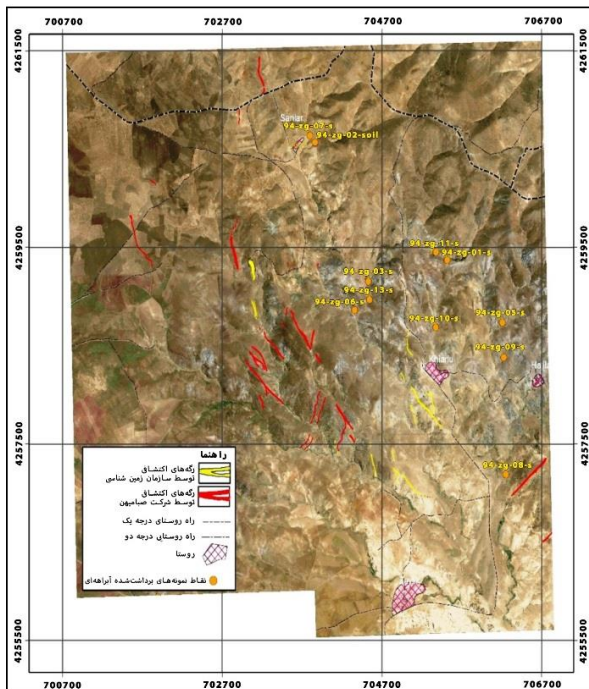
۱- مقدمه

همبستگی عناصر از نرم‌افزار R version 3.6.2 و همچنین برای ترسیم نقشه‌های ژئوشیمیایی منطقه‌ای و مشخص کردن مناطق پرتانسیل از نرم‌افزار Arc GIS استفاده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

برای دستیابی به اهداف پژوهش حاضر، از سنگ‌های آتشفشانی، رگه‌های سیلیسی و رسوبات آبراهه‌ای منطقه زایلک نمونه‌برداری شده است. تعداد ۸ نمونه مقطع نازک و یک مقطع صیقلی از سنگ‌های آتشفشانی و مناطق کانه‌زایی تهیه و مطالعه سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری انجام شده است. برای مطالعه پارامترهای آماری، ترسیم نقشه‌های پراکندگی و تعیین آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر مورد نظر تعداد ۱۸ ایستگاه بر اساس معیارهای سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی، تکتونیکی و حوضه‌های آبریز انتخاب شدند (شکل ۱). در هر ایستگاه، نمونه ژئوشیمیایی به حجم اولیه ۱۰ لیتر با استفاده از جزء زیر الک ۲۰ مش از رسوبات بخش فعال بستر آبراهه برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده برای آنالیز ICP-OES+AU در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تجزیه شدند. هم‌زمان با نمونه‌های ژئوشیمیایی رسوب

منطقه زایلک در استان آذربایجان شرقی، جنوب شرق شهرستان اهر واقع شده است. این منطقه در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه در نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر واقع شده است. محدوده مورد مطالعه در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان اهر و در اراضی روستای زایلک با مساحت ۳۴ کیلومتر مربع قرار دارد. از نظر تقسیمات زمین‌شناسی منطقه مورد نظر بر روی کمربند مهم مس-طلای اهر-ارسباران واقع شده است. کمربند مس-طلای ارسباران پیوسته از دیرباز مورد توجه زمین‌شناسان و معدنکاران از نظر اکتشاف عناصر مس و طلا بوده است و از آنجایی که در بحث اکتشاف یکی از ابزارهای کارآمد و ارزشمند به جهت شناسایی مناطق دارای احتمال کانه‌زایی، ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای است [۱]، بنابراین ایجاب می‌کند که به دلیل اهمیت موضوع نقشه‌برداری ژئوشیمیایی در کاهش هزینه و زمان از یک سو و افزایش بهره‌وری در برنامه‌های اکتشافی از سویی دیگر و همچنین کاهش عدم اطمینان ناشی از متغیرهای ناشناخته ژئوشیمیایی، ژئوشیمیست‌ها، زمین‌شناسان و معدنکاران اکتشافی بتوانند یک روش شفاف، قدرتمند و قوی را برای جداسازی آنومالی‌ها از زمینه به کار گیرند [۲]. امروزه در نقاط مختلف از این روش برای ارزیابی داده‌های ژئوشیمیایی اکتشافی استفاده می‌شود که از آن جمله می‌توان به مطالعات قیادامینی و همکاران [۳] و عباس زاده و همکاران [۴] اشاره کرد. اگرچه در این منطقه نیز مطالعاتی بر روی پهنه‌های دگرسانی و نقش محلول‌های گرمایی در گسترش این دگرسانی‌ها انجام گرفته است، از جمله مطالعات مربوط به میرانوری و همکاران [۵]، لیکن به دلیل نبود و یا کمبود مطالعات آماری و مدل‌های ژئوشیمیایی در منطقه، در این مطالعه سعی شده است تا با استفاده از نمونه رسوبات آبراهه‌ای برداشت شده از منطقه مورد نظر و بررسی روش‌های آنالیز تک متغیره و چند متغیره عناصر، تجزیه و تحلیل آنها از روی پارامترهای آماری و در نهایت ترسیم نقشه‌های ژئوشیمیایی محلی و منطقه‌ای بتوان به نحوه توزیع و ارتباط بین عناصر در منطقه پی برد. در این مقاله برای مطالعات آماری با استفاده از روش‌های آنالیز تک متغیره؛ محاسبه مقادیر زمینه، حد آستانه و آنومالی از نرم‌افزار Excel، ترسیم نمودارهای فراوانی و آنالیز چند متغیره خوشه‌ای از نرم‌افزار SPSS، ترسیم ماتریس



شکل ۱: موقعیت نمونه‌های برداشت شده از رسوبات آبراهه‌ای بر روی تصویر Google Earth

از حالت عادی خارج و به شکل غیرعادی درمی‌آیند [۶]. برای نمایش مرتبه‌های آماری برای عناصر در حالت ترسیمی از هیستوگرام داده‌های خام و جدول پارامترهای آماری استفاده شده است.

۲-۲- روش‌های آنالیز چند متغیره

فرآیندهای زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی به دلیل پیچیدگی تا اندازه‌ای ناشناخته‌اند. با توجه به عدم دسترسی به تمامی اطلاعات زمین‌شناسی و داده‌های مربوطه نمی‌توان فرآیندهای یاد شده را به آسانی با روش‌های تک متغیره، تجزیه و تحلیل و یا شبیه‌سازی کرد. تجربه نشان داده است که اگر ترکیبی از مقادیر یک گروه از عناصر معرف، به جای مقدار یک عنصر خاص به کار رود، هاله‌های ژئوشیمیایی در اطراف توده‌های کانساری بهتر مشخص می‌شوند و اثرات خطاهای تصادفی در آنها به حداقل می‌رسد [۹]. در این تحقیق از میان روش‌های متداول آنالیز چند متغیره در آمار، از ضریب همبستگی و روش‌های آنالیز چند متغیره خوشه‌ای استفاده شده است. مقدار ضریب همبستگی بالا (بین ۱- و ۱) رابطه بسیار خوبی را بین دو متغیر نشان می‌دهد و در مقابل ضریب همبستگی در اطراف صفر، رابطه‌ای بین آنها نشان نمی‌دهد. در تحلیل خوشه‌ای نیز، هدف دستیابی به ملاکی برای طبقه‌بندی هرچه مناسب‌تر متغیرها یا نمونه‌ها بر اساس تشابه هرچه بیشتر درون گروهی و اختلاف هرچه بیشتر میان گروهی است، بنابراین اگر مقدار عیار عنصری در یک نمونه X و در نمونه دیگر Y باشد، این ویژگی کمک می‌کند تا بتوانیم متغیرها را به صورت خوشه‌هایی که حداکثر تشابه ممکن درون خود و حداکثر اختلاف را میان خود دارند دسته‌بندی کنیم [۷]. روش‌های مختلفی برای خوشه‌بندی داده‌ها وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش اتصال است که در آن به ترتیب نمونه‌ها و متغیرها با شباهت بیشتر با استفاده از روش بازگشتی به هم متصل می‌شوند. تمامی روش‌های خوشه‌بندی مبتنی بر ماتریس شباهت‌ها است [۱۰]. در این مرحله دو متغیری که بیشترین شباهت را دارند به هم وصل می‌شوند. در هر تکرار شبیه‌ترین زوج خوشه‌ها و متغیرها به هم وصل می‌شوند [۷].

۳- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، در محدوده نقشه ۱:۲۰۰۰۰ زایلک قدیمی‌ترین رخنمون‌های موجود در

آبراهه‌ای، تعداد ۸ نمونه کانی سنگین نیز برداشت، گل‌شویی، لاوک‌شویی، برموفورم‌گیری و آماده‌سازی و در نهایت پس از حجم‌سنجی و جدایش مغناطیسی، مطالعه و بررسی آنها انجام و تفسیرهای لازم بر پایه مطالعات آماری، نتایج ژئوشیمیایی و کانی سنگین انجام شد. قبل از استفاده از داده‌های مربوط به آنالیز عناصر برای مطالعات آماری باید بر روی آنها پیش پردازش انجام گیرد. پیش پردازش داده‌های ژئوشیمی، شامل جایگزینی داده‌های سنسورد و جایگزینی مقادیر خارج از ردیف است. از ساده‌ترین روش‌ها برای تصحیح داده‌های سنسورد، جایگزینی مقادیر کمتر از حد تشخیص (a) با فرمول $\frac{4}{3}a$ و مقادیر بیشتر از حد تشخیص با فرمول $\frac{3}{4}a$ است [۶] که در این مطالعه از این روش استفاده شده است. برای نمایش مقادیر خارج از ردیف نیز محققان روش‌های متفاوتی را از جمله تصحیح مقادیر خارج از ردیف با استفاده از نمودار احتمال، روش کاهش بزرگترین مقدار به یکی قبل از آن و یا آزمون‌های مقادیر خارج از ردیف به کار می‌گیرند که در این تحقیق از روش دوم استفاده شده است، چرا که داده‌ها گسترش زیادی ندارند و این تصحیح ساده و نتیجه قابل قبولی می‌دهد.

۲-۱- روش‌های آنالیز تک متغیره

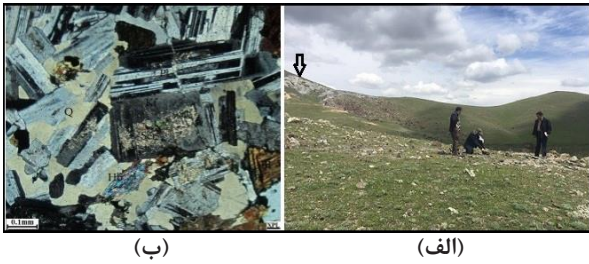
یکی از مهم‌ترین مراحل تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی مربوط به تفکیک زمینه، آنومالی و روش‌های جداسازی آنومالی از زمینه و تشخیص حد آستانه در جامعه آماری است. برای محاسبه و تعیین مقادیر زمینه، آستانه و آنومالی روش‌های مختلفی وجود دارد که بر پایه پیش فرض نرمال بودن داده‌ها قرار دارند [۷]. این مقادیر با استفاده از میانگین و انحراف معیار به روش زیر به دست می‌آید:

$$\text{Background} = \text{Mean} + \text{Sd}$$

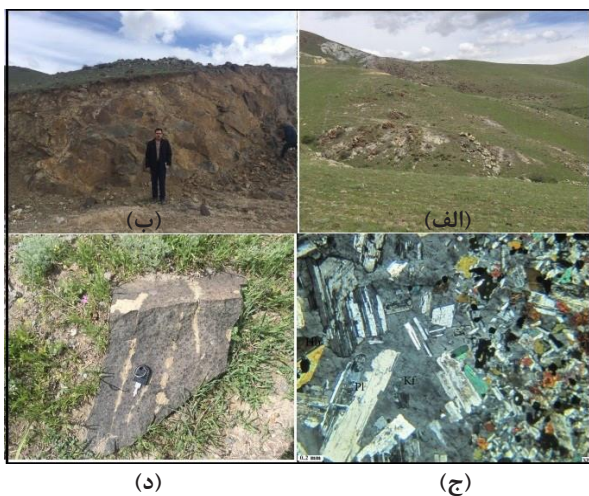
$$\text{Threshold} = 2\text{Sd} + \text{Mean}$$

$$\text{Anomaly} = \text{Sd} + \text{Mean}$$

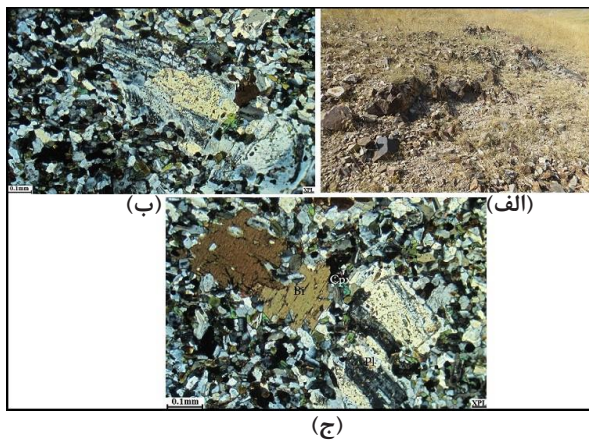
جدایی مقادیر آنومالی از زمینه در ژئوشیمی اکتشافی نقش تعیین‌کننده‌ای دارد که در دهه‌های گذشته آنومالی‌های ژئوشیمیایی فراوانی از طریق روش‌های اکتشافی شناسایی شده‌اند [۸]. در این تحقیق برای نشان دادن جدایی مقادیر آنومالی از زمینه از نمودارهای توزیع و فراوانی برای عناصر استفاده شده است. در شرایطی که سنگ‌ها تحت تاثیر دگرسانی و کانی‌سازی قرار گرفته باشند، توزیع آماری آنها



شکل ۴: الف) نمای دور از رخنمون داسیت، ب) مقطع نازک تهیه شده از داسیت

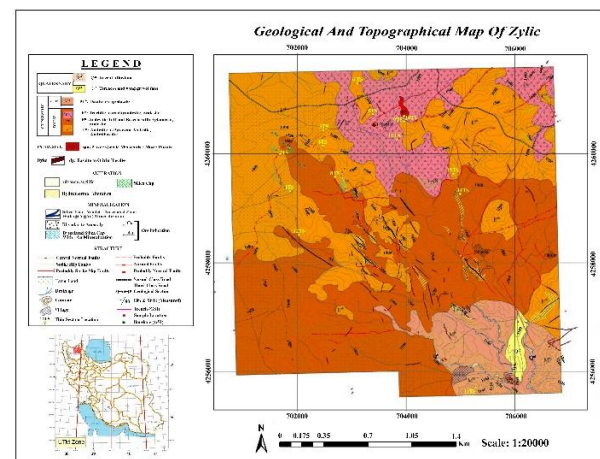


شکل ۵: الف) نمای دور از رخنمون آندزیتی بازالت، ب) نمای نزدیک از رخنمون آندزی بازالت، ج) مقطع نازک تهیه شده از آندزی بازالت و د) نمونه دستی از آندزی بازالت

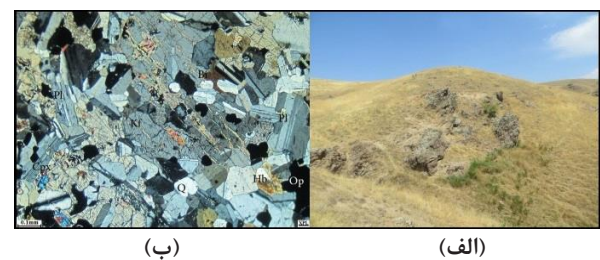


شکل ۶: الف) نمای دور از رخنمون تراکی آندزیت، ب و ج) مقطع نازک تهیه شده از تراکی آندزیت

محدوده را سنگ‌های آتشفشانی با ماهیت آندزیتی تشکیل می‌دهند که به صورت مجموعه وسیعی، زمینه‌ای برای سایر سنگ‌های موجود در منطقه‌اند. بخش زیرین این سنگ‌های آندزیتی مشخص نیست و در بخش بالایی به نهشته‌های آذرآواری و گدازه‌های اسیدی تا بازیک می‌رسند. از نقطه نظر چینش‌شناسی، منطقه مورد مطالعه از واحدهای مختلف شامل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن با ترکیب لیتیک‌توف آندزیتی تا برش ولکانیکی و آگلومرا- آندزیت، آندزیت تا پیروکسن آندزیت- آندزی بازالت، تراکیت تا تراکی آندزیت- آندزیت، داسیت- ریوداسیت، رسوبات کواترنری و توده‌های نفوذی با ترکیب میکرودیوریت، کوارتزمونونیت- الیون بازالت است (شکل‌های ۳ تا ۶). این واحدها میزبان کانی‌سازی رگه‌ای در این محدوده به شمار می‌روند که به وسیله محلول‌های گرمابی و سیالات کانی‌ساز تحت تاثیر قرار گرفته و دگرسان شده‌اند (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی، پهنه‌های دگرسانی و کانی‌زایی ۱:۲۰۰۰۰ تهیه شده از محدوده مورد مطالعه [۱۱]



شکل ۳: الف) نمای دور از رخنمون توف آندزیتی، ب) مقطع نازک تهیه شده از پیروکسن آندزیتی

۳-۱- کانی‌زایی

با توجه به پیمایش‌های انجام شده، به نظر می‌رسد با سه نوع تیپ کانه‌زایی در محدوده مورد مطالعه مواجه هستیم؛ ۱- تیپ کانی‌زایی در زون‌های دگرسانی سیلیسی (کپ‌های سیلیسی)؛ که عمدتاً ساخت برشی با قطعاتی از سنگ میزبان و سیمانی از سیلیس همراه با کانی‌زایی پیریت دارد. ۲- تیپ کانی‌زایی رگه‌ای؛ این تیپ یکی از تیپ‌های مهم کانی‌زایی است که به طور گسترده در منطقه مشاهده می‌شود. رگه‌های سیلیسی که این تیپ کانی‌زایی در محدوده مطالعاتی بیشترین حجم کانی‌زایی را به خود اختصاص داده است و کانی‌زایی مس به صورت سولفیدی (کالکوپیریت و بورنیت) از ویژگی‌های آن است. این تیپ کانی‌زایی در منطقه عموماً از روند شکستگی‌های اصلی منطقه پیروی می‌کند و غالباً در جهت شمال غرب- جنوب شرق و شمالی- جنوبی است. ۳- زون‌های دگرسان شده با سنگ میزبان ریوداسیت. بر اساس مطالعه مقطع صیقلی تهیه شده، مهم‌ترین کانه‌های اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت و بورنیت و کانه‌های ثانویه شامل کوولیت، مالاکیت، گوتیت، لیمونیت‌اند (شکل ۹). بر اساس مطالعه کانی‌های سنگین از نمونه‌های برداشت شده از آبرفت‌های محدوده مورد مطالعه، انتشار کانی‌های زیرکن، اسفن، باریت، روتیل، کوارتز، فلدسپار،

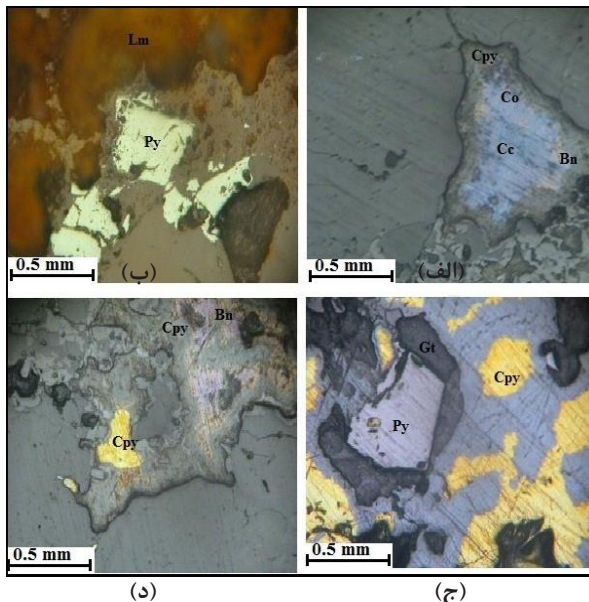
سیمای کانی‌سازی در منطقه زایلک بر اساس مشاهدات صحرایی و نمونه‌برداری از قسمت‌های مختلف منطقه، به صورت رگه- رگچه‌ای است و عموماً به وسیله ساختارهای گسلی و شکستگی‌ها کنترل می‌شود. در این منطقه، کانی‌سازی به دو صورت؛ در امتداد درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در سنگ‌ها و در قالب رگه‌های سیلیسی- برشی اتفاق افتاده است (شکل‌های ۷ و ۸). محلول‌های گرمابی حاوی سیلیس و کمپلکس‌های فلزات پایه با ورود به داخل سیستم‌های گسلی و شکستگی‌ها، در اثر تغییر شرایط ترمودینامیکی، عناصر فلزی خود را به صورت سولفیدهای فلزات پایه از جمله مس به جا گذاشته‌اند و



(ب)

(الف)

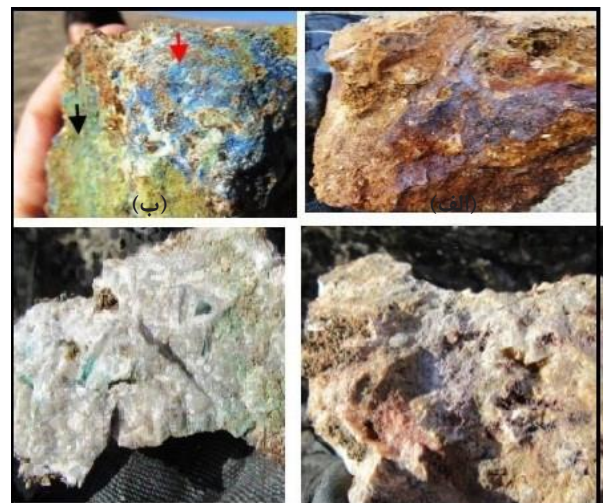
شکل ۷: نمای از رگه سیلیسی حاوی کانی‌زایی مس و اکسید آهن، (ب) رخنمون رگه سیلیسی آغشته به اکسید آهن



(د)

(ج)

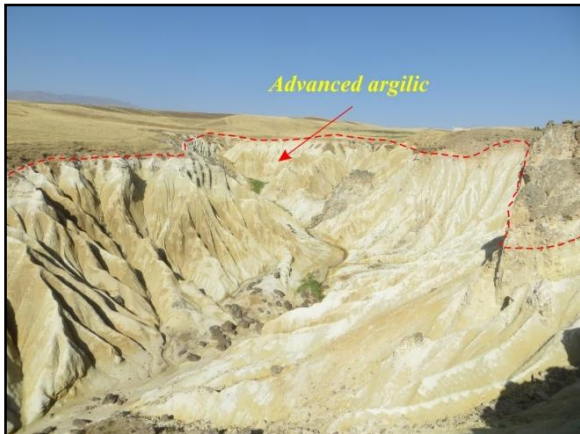
شکل ۹: (الف) تبدیل کالکوپیریت به کوولیت، بورنیت و کالکوسیت، (کالکوپیریت که به بورنیت تبدیل شده است. در این تصویر فقط آثاری از کالکوپیریت اولیه باقی مانده است.)، (ب) پیریت همراه با لیمونیت و کانی باطله (احتمالاً کوارتز)، (ج و د) کالکوپیریت همراه با پیریت (که در حال تبدیل شدن به اکسیدهای آهن است).



(د)

(ج)

شکل ۸: (الف) نمونه برداشت شده سیلیسی آغشته به اکسیدهای آهن، (ب) نمونه برداشت شده حاوی کانی‌زایی مس اکسیدی، (ج) نمونه برداشت شده سیلیسی با بافت جعبه‌ای، (د) نمونه برداشت شده سیلیسی حاوی کانی‌زایی مس



شکل ۱۰: نمای دور از زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفته در اطراف روستای زایللیک (دید به سمت شرق)



شکل ۱۱: نمایی از دگرسانی‌های موجود در اطراف رگه‌های سیلیسی



شکل ۱۲: نمایی از کپ‌های سیلیسی موجود در محدوده که به دلیل مقاومت بالا به صورت صخره‌ساز دیده می‌شود (دید به سمت شمال شرق)

کلسیت، آپاتیت و آناتاز به مقدار کم و همچنین کانی‌های هماتیت، پیروکسن، آمفیبول، مگنتیت، اپیدوت، لیمونیت، ایلمنیت، پیریت اکسید و مارتیت در نمونه‌ها مشاهده شده است.

۳-۲- دگرسانی

با توجه به مطالعات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی و همچنین پیمایش‌های انجام شده، سه نوع دگرسانی برای واحدهای سنگی در منطقه قابل تشخیص است که گسترده‌ترین دگرسانی مربوط به دگرسانی آرژیلیک پیشرفته واقع در اطراف روستای زایللیک است که هیچ ارتباطی با کانی‌سازی موجود در منطقه ندارد (شکل ۱۰).

دومین نوع دگرسانی مربوط به دگرسانی‌های آرژیلی سیلیسی مربوط به اطراف رگه‌های سیلیسی است که ارتباط مستقیم با کانی‌سازی در منطقه دارد (شکل ۱۱) و شامل زون‌های سیلیسی برشی و توده‌ای است که این زون سیلیسی عمدتاً سنگ میزبان آندزیتی را تحت تاثیر قرار داده و در اطراف رگه‌های سیلیسی دیده می‌شود. زون اکسیدان که این زون در اطراف تمامی رگه‌ها قابل مشاهده و در نمونه‌های دستی عمده کانی‌های مشاهده شده در آن هماتیت، لیمونیت، گوتیت، اکسیدهای منگنز به همراه کوارتز و پیریت است و در نهایت زون آرژیلیکی که این زون دگرسانی به رنگ‌های سفید، زرد و نارنجی در اطراف تمامی رگه‌های محدود موجود مطالعه دیده می‌شود و به دلیل نبود کانی‌های رسی دما بالا، بیشتر از نوع دگرسانی آرژیلیک متوسط است.

سومین نوع دگرسانی، دگرسانی سیلیسی است که به صورت کپ‌های سیلیسی همراه با اکسیدهای آهن در منطقه مطالعاتی قابل مشاهده است. این نوع سیلیسی شدن نیز مانند رگه‌های کانه‌دار در ارتباط مستقیم با سیستم‌های گسله است و از روند آنها تبعیت می‌کند (شکل ۱۲).

۴- نتایج و بررسی

در این مطالعه آنالیز ۱۸ نمونه رسوب آبراهه‌ای به روش ICP-MS برای ۸ عنصر انجام شد که پس از پیش‌پردازش و تصحیح داده‌های سنسورد و جایگزینی مقادیر خارج از ردیف (جدول ۱)، مقادیر زمینه، حد آستانه و آنومالی محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۱: مقادیر خارج از ردیف و تصحیح آنها برای داده‌های مورد مطالعه در منطقه زایلیک

عناصر	مقادیر خارج از ردیف
Ag (ppm)	۱
As (ppm)	۱۳۲
Cu (ppm)	۱۶۱

جدول ۲: تعیین حد زمینه، آستانه و آنومالی عناصر در رسوبات آبراهه‌ای منطقه زایلیک

عناصر	مقادیر زمینه	حد آستانه	آنومالی
Au	۵۸,۲۷	۸۴,۰۴	۱۰۹,۸۱
Ag	۰,۹۹۲۳	۰,۹۹۴۶	۰,۹۹۶۹
As	۶۲,۱۴	۸۸,۱۷	۱۱۴,۲
Cu	۹۰,۳۸	۱۲۳,۵۹	۱۵۶,۸
Mo	۳۴,۸۸	۵۵,۲۶	۷۵,۶۴
Pb	۲۸,۳۷	۴۰,۴۱	۵۲,۴۵
Sb	۱۹,۷۴	۲۵,۷۶	۳۱,۷۸
Zn	۱۲۵,۱۹	۱۵۹,۶	۱۹۴,۰۱

پارامترهای آماری مانند میانگین، میانه، مد، انحراف معیار، واریانس، چولگی، کشیدگی، کمینه و بیشینه نیز برای عناصر Au, Ag, As, Cu, Mo, Pb, Sb, Zn به دست آمد (جدول ۳)، سپس نمودار فراوانی عناصر رسم شد و با توجه به این که اکثر عناصر توزیع نرمال نشان نمی‌دهند با یک تبدیل لگاریتمی به توزیع نرمال تبدیل شدند.

۴-۱- توزیع فراوانی عناصر

همان‌طور که در جدول ۳ آمده است ماکزیمم مقدار Au،

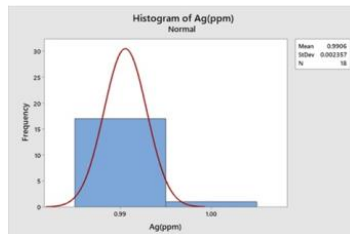
۹۱ پی پی بی تعیین شده که بیشترین مقدار فراوانی این عنصر مربوط به مقادیر کمتر از ۲۳ پی پی بی است. بر اساس مقادیر زمینه، آستانه و آنومالی (جدول ۲) می‌توان نتیجه گرفت که ۱۵ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای مقادیر Au در حد زمینه (۵۸,۲۷)، دو نمونه بیش از حد آستانه (۸۴,۰۴) و یک نمونه بیش از حد آستانه به صورت آنومال دارد. نمودار فراوانی این عنصر چولگی به راست را نشان می‌دهد (شکل ۱۳-الف). ماکزیمم مقدار Ag یک پی پی ام (جدول ۳) و بیشترین مقدار فراوانی برای عنصر Ag مربوط به مقادیر کمتر از ۰,۹۹ پی پی ام است که از بین نمونه‌های برداشت شده ۱۷ نمونه مقادیر در حد زمینه (۰,۹۹) و تنها یک نمونه بیش از حد آستانه (۰,۹۹) دارد. نمودار فراوانی عیار Ag نشان‌دهنده نرمال بودن این عنصر با کمی چولگی به راست است (شکل ۱۳-ب). جدول ۳ ماکزیمم مقدار As را ۱۳۲ پی پی ام نشان می‌دهد و بیشترین مقدار فراوانی عنصر As مربوط به مقادیری کمتر از ۲۸ پی پی ام است. ۱۷ نمونه از رسوبات برداشت شده دارای مقادیر تا حد زمینه (۶۲,۱۴ پی پی ام) و تنها یک نمونه بیش از حد آستانه (۸۸,۱۷) به صورت آنومال وجود دارد. نمودار فراوانی این عنصر همانند عنصر Ag کمی چولگی به راست را نشان می‌دهد (شکل ۱۳-ج). عناصر Ag و As هر دو از پارامترهای Au هستند. Cu عنصری کالکوفیل است و به صورت کانی‌های کالکوپیریت، کالکوسیت و بورنیت در کنسارهای سولفیدی یافت می‌شود. مس قابلیت تحرک متوسط و جذب به وسیله لیگاندهای اکسیدهای آهن، منگنز و مواد آلی را دارد [۱۲] و این ویژگی در پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی بسیار استفاده می‌شود، به طوری که مشخص کردن آن در رسوبات آبراهه‌ای، در تعیین موقعیت کنسارهای مس و عناصر همراه آن بسیار گسترده استفاده می‌شود. ماکزیمم مقدار مس ۱۶۱ پی پی ام

جدول ۳: پارامترهای آماری عناصر در رسوبات آبراهه‌ای منطقه زایلیک

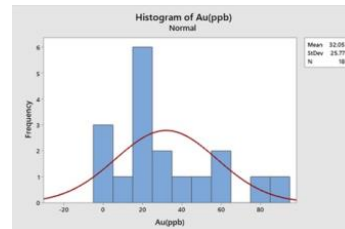
عناصر	میانگین	میانه	مد	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی	کمینه	بیشینه
Au	۳۲,۵	۲۱,۵۰	۴۹۹	۲۵,۷۷	۶۶۳,۹۲	۱,۰۲	۰,۱۳	۴۹۹	۹۱
Ag	۰,۹۹	۰,۹۹	۰,۹۹	۰,۰۰۲۳	۰,۰۰۰۰۰۶	۴,۲۴	۱۸	۰,۹۹	۱
As	۳۶,۱۱	۲۸	۲۱,۲۳,۲۸,۴۹	۲۶,۰۳	۶۵۵,۵۲	۳,۲۳	۱۱,۹۱	۱۸	۱۳۲
Cu	۵۷,۱۷	۵۷	۴۹۹,۷۲	۳۳,۲۱	۱۱۰۲,۶۲	۱,۴۷	۵,۴۹	۴۹۹	۱۶۱
Mo	۱۴,۵۰	۶	۴	۲۰,۳۸	۴۱۵,۲۱	۱,۹۵	۲,۲۴	۲	۶۵
Pb	۱۶,۳۳	۱۳,۵۰	۲۳	۱۲,۰۴	۱۴۵,۰۶	۰,۸۰	-۰,۲۲	۲	۴۱
Sb	۱۳,۷۲	۱۵,۵۰	۱۶	۶,۰۲	۳۶,۲۳	-۰,۷۸	۰,۲۲	۰	۲۳
Zn	۹۰,۷۸	۹۳	۸۴	۳۴,۴۱	۱۱۸۳,۹۵	-۰,۸۲	۰,۶۶	۱۷	۱۳۹

عنصر Mo تعداد ۱۵ نمونه مقادیر در حد زمینه (۳۴,۸۸)، یک نمونه در حد آستانه (۵۵,۲۶) و دو نمونه بیش از حد آستانه دارد. نمودار فراوانی این عنصر کمی چولگی به راست را نشان می‌دهد (شکل ۱۳-۵) که نشانگر غنی‌شدگی این عنصر است. منشأ این عنصر توده‌های نفوذی گرانیتی و کوارتز مونزونیتی است که به صورت آپوفیز در منطقه نفوذ کرده‌اند. عنصر سرب ممکن است به صورت آزاد در طبیعت باشد، اما کمیاب است و بیشتر در کانه‌های شامل Zn، Cu و Ag یافت می‌شود. ماده معدنی اصلی Pb به صورت سولفید (کانی گالن) و سایر

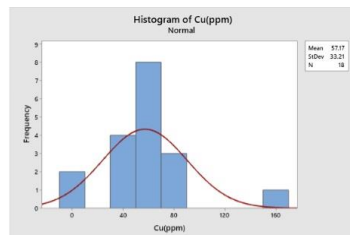
تعیین شده است (جدول ۳) و بیشترین مقدار فراوانی عنصر مس مطابق شکل ۱۳-۶ مربوط به مقادیر کمتر از ۷۲ پی پی ام است. از نمونه‌های آنالیز شده، ۱۷ نمونه دارای مقادیر در حد زمینه (۹۰,۳۸) و یک نمونه بیش از حد آستانه در حد آنومال (۱۲۳,۵۹) تعیین شده است. کانه‌زایی مس در رگه‌ها به صورت کانی‌های مالاکیت و کالکوپیریت است. بر اساس جدول ۲ ماکزیمم مقدار برای عنصر مولیبدن ۶۵ پی پی ام است و نمودار فراوانی مولیبدن بیشترین فراوانی را مربوط به مقادیر کمتر از چهار پی پی ام نشان می‌دهد. نتایج آنالیز مربوط به



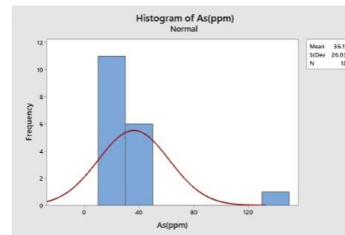
(ب)



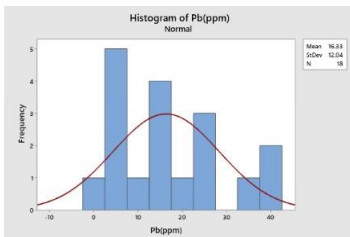
(الف)



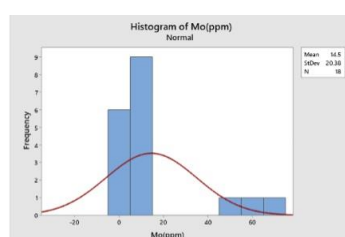
(د)



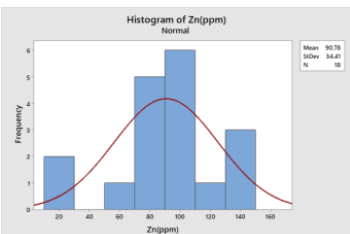
(ج)



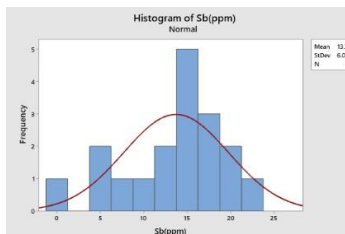
(و)



(ه)



(ز)



(ح)

شکل ۱۳: نمودارهای فراوانی مقادیر نرمالیز شده عناصر کمیاب Au، Ag، As، Cu، Mo، Pb، Sb و Zn در رسوبات آبراه‌های منطقه مورد مطالعه (همانگونه که مشخص است؛ نمودارهای توزیع فراوانی عناصر Au، Cu، Mo، Zn، Pb کمی چولگی به راست نشان می‌دهند که این خاصیت مربوط به بالا بودن عیار این عناصر در برخی نمونه‌ها است).

۴-۲- محاسبه ضریب همبستگی عناصر

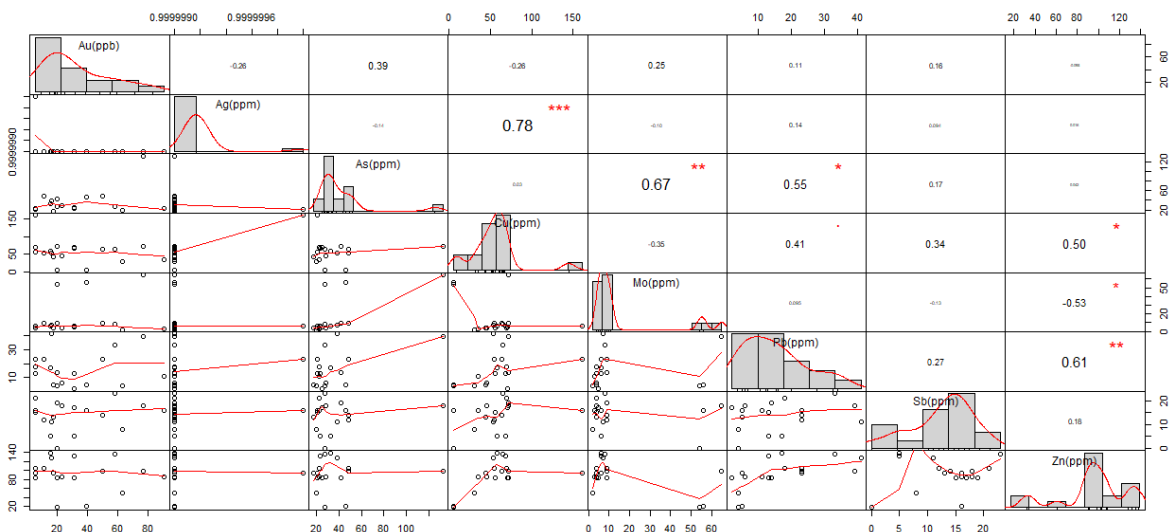
وضعیت توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی یک کانسار و بررسی ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر، از مهم‌ترین موارد در بررسی‌های ژئوشیمیایی برای تشخیص فرآیندهای موثر در تشکیل کانسار است [۱۴]. شناخت ارتباط متقابل بین عناصر ممکن است در درک شرایط محیطی، تفسیر دقیق از محیط‌های ژئوشیمیایی، درک بهتر کانه‌زایی منطقه و حتی در معرفی مناطق نهایی کمک زیادی کند. در محدوده مورد مطالعه برای تعیین ارتباط بین عناصر در رسوبات آبراهه‌ای، ضرایب همبستگی این عناصر به روش پیرسون به دست آمد (شکل ۱۴).

مقایسه همبستگی‌ها نشان می‌دهد که:

۱- همبستگی میان طلا و عناصر ردیاب آن ضریب چندان بالایی ندارند. نزدیکترین همبستگی را طلا با آرسنیک نشان می‌دهد (۰٫۳۸).

۲- همبستگی مثبت (۰٫۶۷) بین عناصر مولیبدن و آرسنیک و همبستگی مثبت (۰٫۶۱) بین عناصر روی و سرب با سطح اعتماد ۹۹ درصد وجود دارد و نیز همبستگی مثبت (۰٫۵۵) بین عناصر سرب و آرسنیک، همبستگی مثبت (۰٫۵۰) بین عناصر روی و مس و یک همبستگی معکوس (۰٫۵۳-) بین عناصر روی و مولیبدن با سطح اعتماد ۹۵ درصد وجود دارد.

کانی‌های معمول آن سروسیت و انگلسیت است. ماکزیمم مقدار سرب ۴۱ پی پی ام را نشان می‌دهد (جدول ۳) و بیشترین مقدار فراوانی عنصر سرب مربوط به مقادیر کمتر از ۶ پی پی ام است. بر اساس جدول ۲، پانزده نمونه دارای مقادیر در حد زمینه (۲۸٫۳۷) و دو نمونه در حد آستانه (۴۰٫۴۱) و یک نمونه نیز دارای مقادیر سرب بیش از حد آستانه است که در حد آنومال محسوب می‌شود. نمودار فراوانی این عنصر نرمال تا کمی چولگی به راست را نشان می‌دهد (شکل ۱۳- و). بر طبق نتایج آنالیز نمونه رسوبات آبراهه‌ای ماکزیمم مقدار عنصر Sb، ۲۳ پی پی ام (جدول ۳) و بیشترین مقدار فراوانی این عنصر مربوط به مقادیر کمتر از ۱۶ پی پی ام است. ۱۶ نمونه دارای مقادیر در حد زمینه (۱۹٫۷۴) و نیز تعداد دو نمونه در حد آستانه (۲۵٫۷۶) است و نتایج آنالیز نمونه‌ها مقدار آنومال نشان نمی‌دهد (جدول ۲)، بنابراین در منطقه غنی‌شدگی مشخصی ندارد و نمودار فراوانی کمی چولگی به چپ را نشان می‌دهد (شکل ۱۳- ح). جدول ۳ ماکزیمم مقدار روی را ۱۳۹ پی پی ام نشان می‌دهد که بیشترین مقدار فراوانی این عنصر مربوط به مقادیر کمتر از ۹۸ پی پی ام است (شکل ۱۳- ز). اسفالریت از مهم‌ترین کانی‌های شناخته شده روی است و از دیگر کانی‌های با اهمیت روی می‌توان به اسمیت زونیت، همی مورفیت و زینسیت اشاره کرد [۱۳]. مقادیر سرب در نمونه‌های آنالیز شده، تعداد ۱۴ نمونه را در حد زمینه (۱۲۵٫۱۹) و نیز تعداد چهار نمونه را در حد آستانه (۱۵۹٫۶) نشان می‌دهد (جدول ۲).



شکل ۱۴: ماتریس همبستگی عناصر رسوبات آبراهه‌ای در منطقه زایلک (ضرایب همبستگی که در سطح اعتماد ۹۵ درصد با اهمیت‌اند را نشان می‌دهد)

۴-۳- تحلیل خوشه‌ای

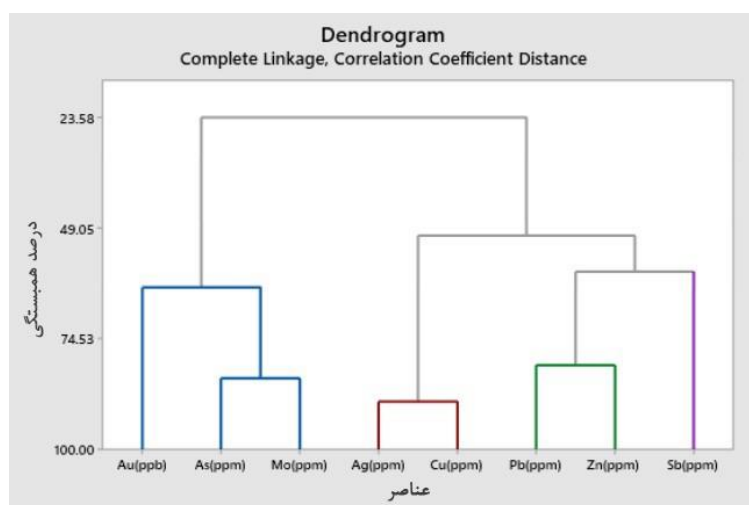
در تحلیل خوشه‌ای هدف دست یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هرچه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها بر اساس تشابه هرچه بیشتر درون گروهی است. برای بررسی دقیق نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی، آنالیز خوشه‌ای بر روی مقادیر عناصر در رسوبات آبراهه‌ای انجام شد (شکل ۱۵). در آنالیز خوشه‌ای، عناصر و یا متغیرهای آماری بر اساس میزان همبستگی آماری به خوشه‌ها و شاخه‌هایی تقسیم می‌شوند که بیانگر میزان ارتباط آنها با یکدیگر است. در اینجا از روش آماری بین گروهی برای رسم نمودارهای خوشه‌ای استفاده و فواصل بین خوشه‌ها نیز با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون مرتب شده است. بر اساس این روش عناصر به سه گروه تقسیم شده‌اند. گروه اول شامل عناصر Ag و Cu که بیشترین ضریب همبستگی را دارند و در یک گروه قرار گرفته‌اند. نقره به همراه مس در شبکه کانی‌های مس‌دار مانند کالکوپیریت و بورنیت و یا همراه با عنصر سرب در شبکه کانی گالن قرار می‌گیرد. گروه دوم شامل عناصر Zn، Pb و Sb است که به صورت فاز سولفیدی در رگه‌های منطقه شکل گرفته‌اند و همبستگی معناداری با یکدیگر دارند. سرب و روی در یک خوشه با همبستگی مثبت (۰٫۶۱) قرار می‌گیرند و در مرحله بعد آنتیموان به این خوشه اضافه می‌شود. گروه سوم شامل As، Mo و Au که با ضریب همبستگی قوی در یک گروه قرار می‌گیرند. آرسنیک و مولیبدن با همبستگی مثبت (۰٫۶۷) در یک خوشه و در مرحله بعد طلا به این خوشه اضافه می‌شود.

۴-۴- توزیع عناصر بر پایه نقشه‌های ژئوشیمیایی

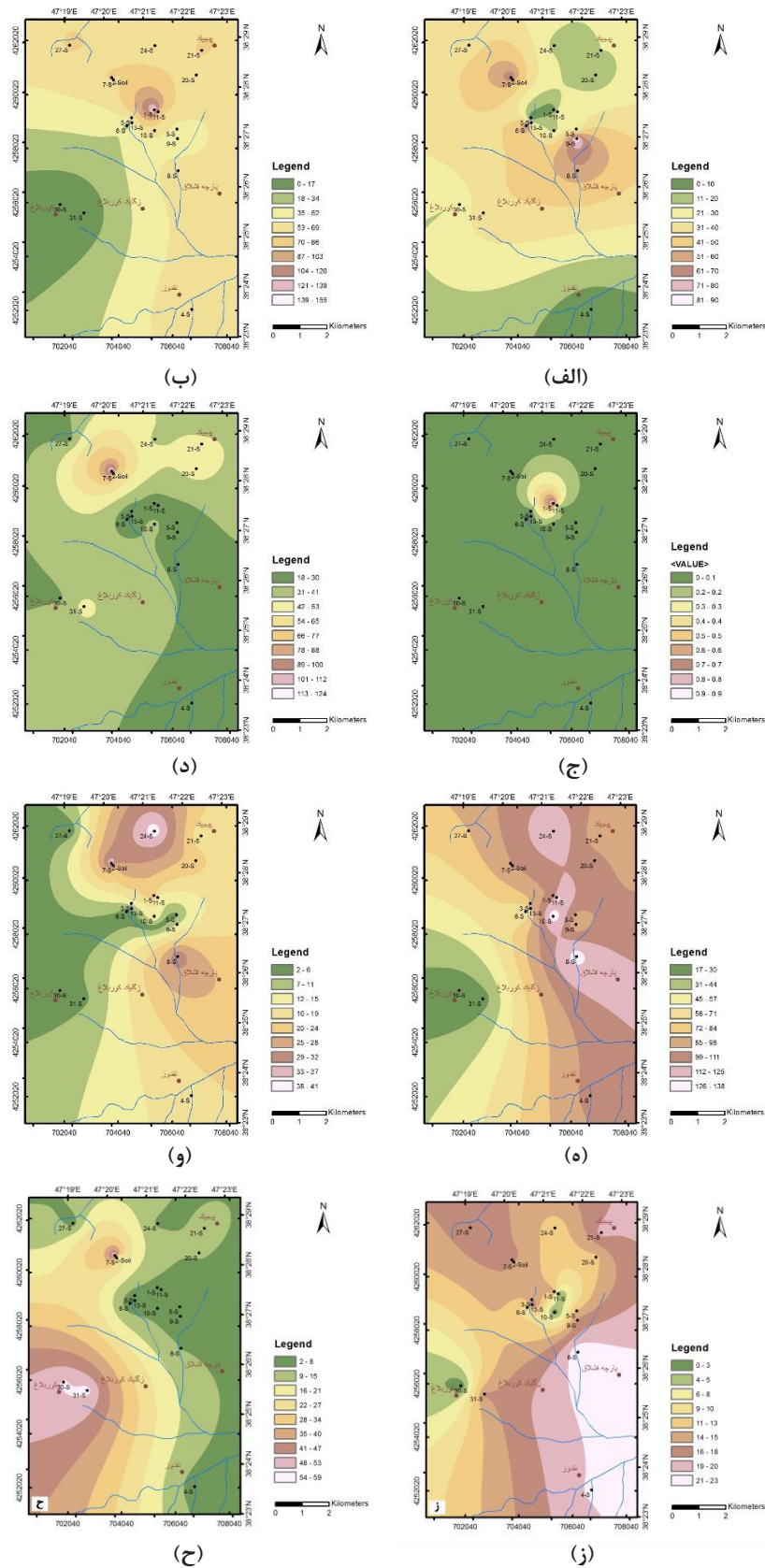
در این مطالعه، نقشه‌های ژئوشیمیایی با استفاده از داده‌های خام مربوط به ۱۸ نمونه رسوبات آبراهه‌ای به صورت طیفی در نرم‌افزار Arc GIS ترسیم گردیده‌اند. نقشه‌های طیفی (Spectral Map) نوعی از نقشه‌های کنتوری است که فضای بین کنتورها به وسیله طیفی از رنگ‌های تعریف شده پوشیده می‌شوند. این نقشه‌های کنتوری (Contour Map)، نمایش اطلاعات پراکنده را به صورت منسجم (Interpolation) و پیوسته با استفاده از کنتور نشان می‌دهند. برای این منظور از روش درون‌یابی استفاده می‌شود که این روش تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای را امکان‌پذیر می‌سازد. برای منطقه مورد مطالعه نیز نقشه‌ها مقدار غلظت عددی واقعی عناصر را در محل نمونه‌ها نشان می‌دهند که با توجه به غلظت عناصر، طیف رنگ صورتی روشن بیشترین غلظت و رنگ سبز تیره کمترین غلظت را نشان می‌دهند.

۴-۴-۱- پراکندگی عنصر طلا

تمرکز عنصر طلا به طور محسوسی در شمال و شرق منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده غنی‌شدگی قابل ملاحظه آن در آبراهه‌هایی است که از رگه‌ها و کپ‌های سیلیسی منطقه عبور کرده‌اند. عمده کپ‌های سیلیسی همراه با کانی‌زایی پیریت‌اند (شکل ۱۶-الف).



شکل ۱۵: تجزیه خوشه‌ای داده‌های خام نرمال شده در رسوبات آبراهه‌ای منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۶: نقشه ژئوشیمیایی پراکندگی عناصر: الف) طلا، ب) مس، ج) نقره، د) آرسنیک، ه) روی، و) سرب، ز) آنتیموان، ح) مولیبدن در منطقه مورد مطالعه

۴-۴-۲- پراکندگی عنصر مس

دیگر آرسنیک به عنوان کانی پاراژنز طلا انطباق خوبی از جهت غنی‌شدگی در شمال منطقه با طلا نشان می‌دهد.

۴-۴-۵- پراکندگی عنصر روی

عنصر روی عموماً به دلیل قابلیت تحرک بسیار بالا، هاله‌های بزرگتری نسبت به عنصر پاراژنز خود، سرب از خود نشان می‌دهد (شکل ۱۶-ه). به دلیل همبستگی زیاد عنصر روی با مس انتظار می‌رود این دو عنصر انطباق خوبی را در منطقه نسبت به یکدیگر نشان دهند که با مقایسه نقشه پراکندگی این دو عنصر به خوبی این مساله تایید می‌شود. ضمن آن که به دلیل تحرک بالا، این عنصر در یک روند شمالی- جنوبی نسبت به محل تمرکز مس در منطقه گسترش داشته است. می‌توان گفت احتمالاً عنصر روی در کانه کالکوپیریت وجود دارد. پراکندگی گسترده عنصر روی در بخش‌های شمالی، جنوبی و شرق منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده غنی‌شدگی قابل ملاحظه این عنصر در آبراهه‌هایی است که از رگه‌ها و کپ‌های سیلیسی منطقه عبور کرده و توده‌های نفوذی آپوفیزها را قطع کرده است.

۴-۴-۶- پراکندگی عنصر سرب

قابلیت تحرک این عنصر عموماً پایین است و در pH خنثی به آسانی به صورت کربنات و یا سولفات مانند کربنات سرب (سروزیت) و یا سولفات سرب (انگلیزیت) رسوب می‌کند. شکل ۱۶-و، ماکزیمم مقدار تمرکز این عنصر در شمال و شرق منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. تطابق تمرکز عناصر سرب و آرسنیک در شمال منطقه، همبستگی قوی سرب و آرسنیک را در منطقه تایید می‌کند.

۴-۴-۷- پراکندگی عنصر آنتیموان

حضور عنصر آنتیموان به طور قابل ملاحظه‌ای در محدوده شمال، جنوب و شرق محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود (شکل ۱۶-ز). آنتیموان به عنوان پاراژنز در کنار عناصر آرسنیک و طلا غنی‌شدگی محسوسی را در آبراهه‌هایی که از رگه‌ها و کپ‌های سیلیسی شمال منطقه مورد مطالعه عبور کرده‌اند، نشان می‌دهند.

۴-۴-۸- پراکندگی عنصر مولیبدن

تمرکز عنصر مولیبدن به طور قابل ملاحظه‌ای در شمال و غرب منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پراکندگی عناصر دیده می‌شود (شکل ۱۶-ح). به طوری که تطابق غنی‌شدگی این

پراکندگی عنصر مس در محدوده مورد مطالعه مربوط به قسمت‌های شمالی و شرقی و بیشترین تمرکز آن محدود به شمال روستای زایلک است (شکل ۱۶-ب) که نشان‌دهنده غنی‌شدگی مس در آبراهه‌هایی است که از رگه‌ها و کپ‌های سیلیسی منطقه (شمال و شمال شرق منطقه) عبور کرده‌اند. کانی‌زایی مس در این رگه‌ها به صورت سولفیدی (کالکوپیریت و بورنیت) است. مقایسه نقشه توزیع انتشار این عنصر و نقشه زمین‌شناسی حاکی از حضور این عنصر مربوط به مناطق گرمایی تجزیه شده، شکستگی‌ها و گسل‌های سنگ‌ها و طبقات بالادست است. از آنجایی که تحرک این عنصر بالا است، فاصله زیادی را از محل تشکیل خود تا فواصل دورتری در امتداد زهکشی منطقه دارد. ساختمان گسلی در محدوده را نیز نباید در ایجاد محیطی مناسب برای تسهیل حرکت سیالات حاوی این عنصر و عناصر همراه نادیده گرفت. با نگاهی به ساختارهای گسلی در محدوده مورد مطالعه می‌توان دریافت که زون‌های گسلی و شکستگی‌های متعلق به این ساختارها نقش بسیار موثری در ته‌نشست عنصر مس داشته‌اند.

۴-۴-۳- پراکندگی عنصر نقره

پراکندگی عنصر نقره در محدوده مورد مطالعه محدود به شمال روستای زایلک و منطبق با بیشترین تمرکز عنصر مس در محدوده مطالعاتی است (شکل ۱۶-ج) که غنی‌شدگی آن در آبراهه‌هایی که از رگه‌ها و کپ‌های سیلیسی شمال منطقه عبور کرده‌اند را نشان می‌دهد. توزیع عیار نقره، همراهی قابل توجهی با توزیع و فراوانی عیار مس دارد. در حقیقت با افزایش مقدار مس، مقدار نقره نیز افزایش می‌یابد که این به دلیل همبستگی مثبت و قوی بین نقره و مس است.

۴-۴-۴- پراکندگی عنصر آرسنیک

حضور آرسنیک به طور قابل ملاحظه‌ای در محدوده شمال، شمال شرق منطقه مطالعاتی دیده می‌شود که به دلیل همبستگی قوی با عنصر مس، پیدایش آن در منطقه کانه‌زایی اصلی دور از انتظار نیست. از آنجایی که تحرک این عنصر نسبت به دیگر عناصر تقریباً بالاست و فاصله نسبتاً زیادی از محل تشکیل خود را طی می‌کند، به نظر می‌رسد که این عنصر از منبع تشکیل خود و تا فواصل دورتری از محدوده تمرکز اصلی مس جابه‌جا شده است (شکل ۱۶-د). از سویی

multifractal and wavelete neural network methods in shahr-e-Babak mining area, Kerman, Iran". Journal of Mining and Environment, 10: 49-73.

[۳] قاید امینی هارونی، م. باقری، ه. اسدی هارونی، ه. مختاری، ا. آیتی، ف.؛ ۱۳۹۳؛ "ارزیابی داده‌های زمین‌شناسی - ژئوشیمی اکتشافی اندیس مس علیشار جهت تعیین الگو و تیپ کانه زایی". نشریه روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، شماره ۷، ص ۶۸-۵۱.

[۴] عباس زاده، س. رحیمی پور، غ. نجم‌الدینی، م.؛ ۱۳۹۲؛ "شناسایی مناطق کانه زایی مس پورفیری با استفاده از تلفیق روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره بر روی داده‌های ژئوشیمیایی آبراهه‌ای در منطقه قلعه‌عسکر، استان کرمان". نشریه روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، شماره ۶، ص ۸۲-۶۹.

[۵] میرانوری، ا. س.، کلاگری، ع. ا.، سیاه‌چشم، ک.، سهرابی، ق.؛ ۱۳۹۸؛ "بررسی زمین‌شناسی پهنه‌های دگرسانی پیرامون رگه‌های سیلیسی‌طلادار زایلک، شرق اهر، استان آذربایجان شرقی". مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲، ص ۳۶۰-۳۴۷.

[۶] حسنی پاک، ع. ا.؛ ۱۳۷۰؛ "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی". انتشارات دانشگاه تهران.

[۷] حسنی پاک، ع. ا.، شرف‌الدین، م.؛ ۱۳۸۴؛ "تحلیل داده‌های اکتشافی". انتشارات دانشگاه تهران.

[8] Harris, C., Stuart Smith, H., and Le Roex, A. (2000). "Oxygen isotope composition of phenocrysts from Tristan da Cunha and Gough Island lavas: Variation with fractional crystallization and evidence for assimilation". Contributions to Mineralogy and Petrology, 138(2): 164-175.

[۹] پایگاه ملی داده‌های علوم زمین؛ ۱۳۹۲؛ "اکتشاف ژئوشیمیایی بافق". آدرس اینترنتی: WWW.ngdir.ir.

[10] Davis, J. C. (2000). "Statistics and data analysis in geology". John Willy and Sons (3rd Edition), pp. 656.

[۱۱] ناصری، ح.، جمالی، م.؛ ۱۳۹۴؛ "نقشه ۱:۲۰۰۰۰ زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه زایلک". شرکت صبا مین.

[۱۲] شهاب‌پور، ج.؛ ۱۳۸۴؛ "زمین‌شناسی اقتصادی". انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[13] Harald, G. D. (2010). "The "chessboard" Classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium". Earth-Science Reviews, 100: 1-420.

[14] Barnes, S. J., Zientek, M., and Severson, M. (1997b). "Ni, Cu, Au and platinum group element contents of sulfides associated with intraplate magmatism: A synthesis". Canadian Journal of Earth Sciences, 34: 337-351.

عنصر با عنصر آرسنیک در آبراهه‌های دو نقطه در شمال و غرب منطقه به خوبی نشانگر همبستگی قوی میان این عناصر است. منشا این عنصر توده‌های کوارتز مونزونیتی است که به صورت آپوفیز در منطقه نفوذ کرده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی نمونه رسوبات آبراهه‌ای و همچنین مشاهدات صحرایی از منطقه نتایج زیر حاصل شد:

- نتایج مربوط به نمودارهای توزیع فراوانی عناصر، Au, Cu, Mo, Zn, Pb کمی چولگی به راست را نشان می‌دهند که این خاصیت مربوط به بالا بودن عیار این عناصر در برخی نمونه‌ها است.

- مطابق با جدول ضریب همبستگی و تجزیه خوشه‌ای عناصر، همبستگی مثبت بین عناصر مولیبدن و آرسنیک و نیز عناصر سرب و روی با سطح اعتماد ۹۹ درصد دیده می‌شود. همچنین یک همبستگی مثبت بین عناصر سرب و آرسنیک و نیز عناصر روی و مس و در نهایت همبستگی معکوس بین عناصر روی و مولیبدن با سطح اعتماد ۹۵ درصد نیز وجود دارد.

- به نظر می‌رسد با نفوذ توده‌های نفوذی به داخل سکناس‌های ولکانیکی، منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر تنش‌های زیادی قرار گرفته که نتایج آن شکستگی‌ها و زون‌های برشی مختلفی است که در منطقه وجود دارد. همچنین عملکرد گسل‌های بزرگ منطقه از نوع فشاری و نفوذ سیال‌های غنی از CO₂ و SiO₂ سبب ایجاد و گسترش زون‌های دگرسانی در منطقه شده است.

- مطابق با نقشه پراکندگی و انتشار عناصر، به نظر می‌رسد که مهم‌ترین ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی مربوط به عناصر مس، سرب، روی، طلا است که این آنومالی‌ها منطبق بر رگه‌ها، کپ‌های سیلیسی و زون‌های دگرسانی است.

۶- مراجع

[1] Fletcher, W., and Wolcott, J. (1991). "Transport of magnetite and gold in Harris Creek British Columbia and implications for exploration". Journal of Geochemical Exploration, 41: 227-253.

[2] Shokouh Saljoughi, B., and Hezarkhani, A. (2019). "Identification of geochemical anomalies associated with Cu mineralization by applying spectrum area