



Comparison of Exploration lithochemical Models Based on Zoning Index in Songun and Darhazar Porphyry Copper Deposits

GholamReza Rahimpour ^{1*}, Fereshteh Hassanzadeh ², Amir Habibnia ³

¹ Assistant Professor, Faculty of Mining Engineering, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

² Ph.D, Iranian Society of Mining Engineering, Tehran, Iran

³ Ph.D, Faculty of Mining Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2024/10/11 Accepted: 2025/04/06

ABSTRACT

Sungun and Darrehzar porphyry copper deposits are in the Sanandaj Sirjan metamorphic zone. Lithochemical models and Cu/Mo and Pb.Zn/Cu. Mo zonality indexes showed that the shape of Sungun porphyry stock is vertical with direct zonation, and Darrehzar porphyry stock has a low slope with reverse zonality and radially centripetal. Numerical maps of copper and molybdenum grades are mainly in the central parts of the lithochemical field in Darrehzar and Sungun deposits, and numerical maps of lead and zinc grades occupy most of the marginal areas of these fields. Based on the iso grade maps, the (Pb.Zn)/(Cu.Mo) zonality index can separate the central parts of the area from the peripheral regions very well, and on the other hand, the role of the regional faults and porphyry stock erosion in Darrehzar and Sungun deposit was shown clearly. In the Sungun copper-molybdenum porphyry deposit, the Cu/Mo zonality index changed from 60 in the supra-ore haloes to 20 in sub-ore haloes. This index is expected to reach 3 5 at 1100-1200 meters. This index shows a decreasing trend in the Darrehzar porphyry copper deposit with a depth from 154 to 29. The maximum depth of ore-bearing mineralization was estimated at 2200 meters in this deposit.

Keywords

Porphyry copper deposits, zonality index, lithochemical haloes, Sungun, Darrehzar, Iran.

* Corresponding author and correspondent



1- INTRODUCTION

Geochemical exploration is one of the most essential methods in the exploration of metallic and non-metallic deposits, and the study of supra sub ore halos and zonality index in deposits are the most valuable methods in exploration. Sungun and Darrehzar porphyry copper deposits are located in the Sanandaj Sirjan metamorphic zone. This study aims to investigate the exploratory lithochemical models of indicator elements and Cu/Mo Pb*Zn/Cu*Mo zonality indexes in Sungun and Darrehzar deposits. Also, by drawing the geochemical patterns of different indicator elements, the final depth of the ore body is determined. Surface and deep sampling was done to study the lithochemical halos in Sungun and Darrehzar Porphyry copper deposits. In the Sungun deposit, the surface sampling grid was 20 x 100 meters, and 9000 powder samples were taken from 45 exploratory boreholes along the depth. In the Darrehzar porphyry copper deposit, the surface sampling grid was 133 x 133 meters, deep sampling was done from 68 boreholes along the depth line, and 18 boreholes were used to determine the zonality indexes.

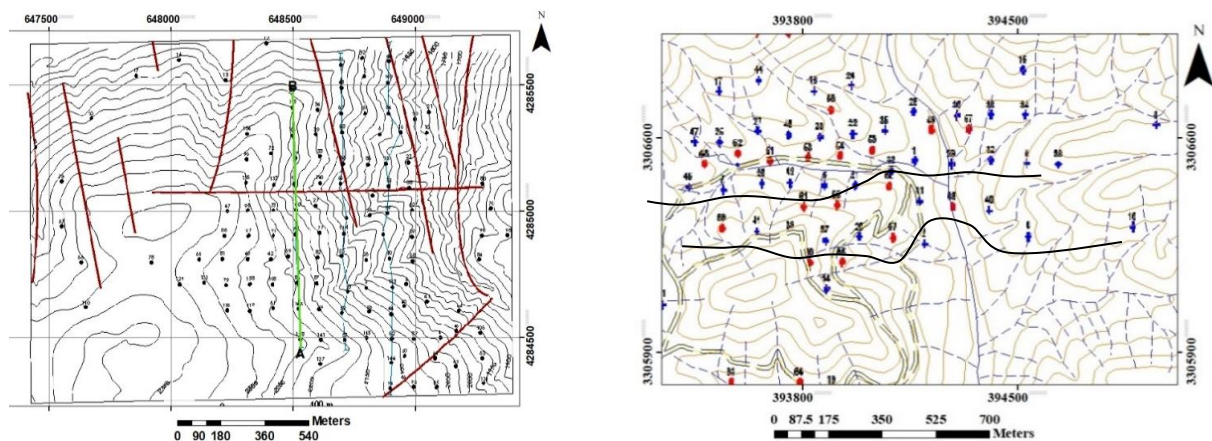


Fig 1) The location of exploratory drilling boreholes in 1) Darrehzar porphyry copper deposit and b) Sungun porphyry copper deposit

2- RESULT

Based on the results of surface sampling data in the study area, after removing the background effect and determining the threshold limit of each element, the isograde map of Cu, Mo, Pb, Zn, Au, and Ag elements, and Zonality indices were drawn in Surfer software.

The Cu and Mo iso grade maps of the Darrehzar ore field (Fig 2a and 2b) show that the part of the ore, which is located northwest of the east-west fault, had the most upward movement and has been eroded. The Zn isograde maps (Fig 2c) show dual behavior. It shows depletion in the porphyry stock and enrichment around the Darrehzar stock. The Pb isograde maps (Fig 2d) show fewer changes due to the concentration of lithochemical halos of this element in the areas around the porphyry stock. The Cu, Mo, Zn, and Pb iso grade maps in the Sungun porphyry stock show that this stock continues under the sediments on the western part and shows the blind anomaly, and it probably advanced to the east of the Sungun-Chai River (fig 3 a d).

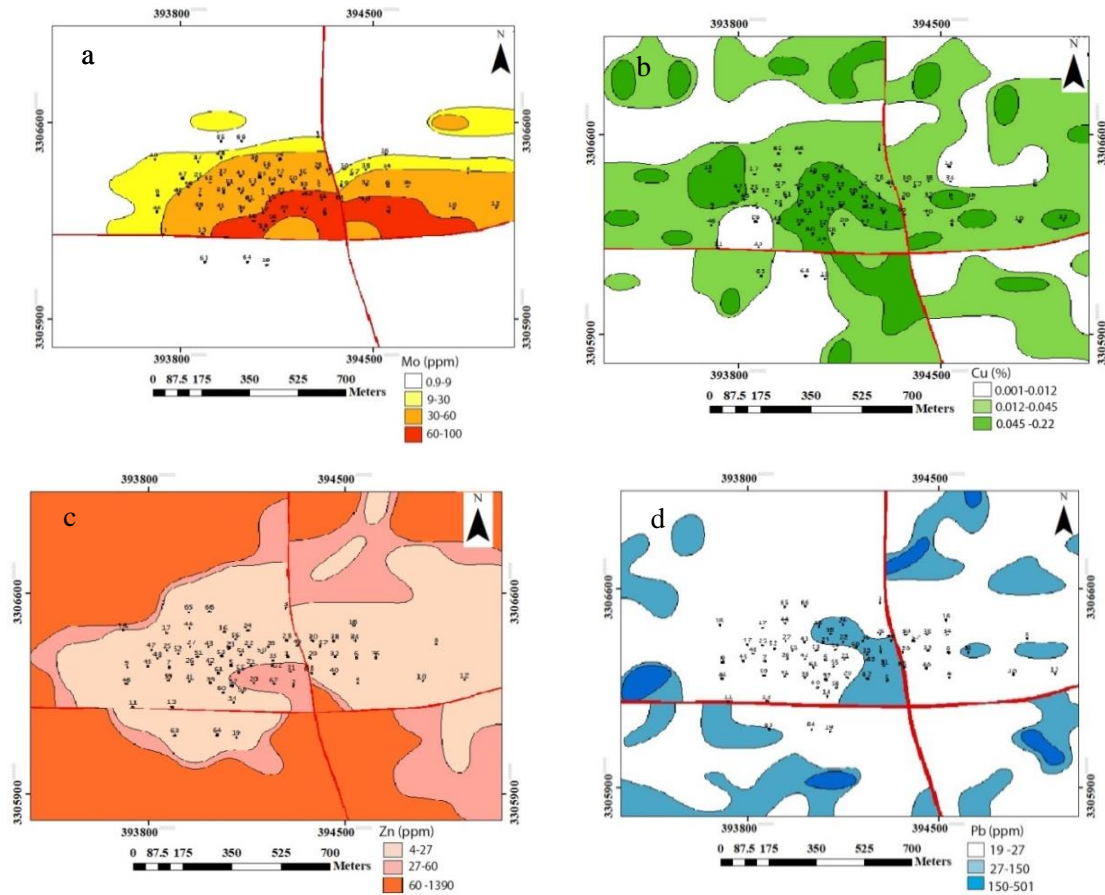


Fig 2) Mineral field, single element halos, zonation index, and the location of exploratory boreholes in Darrehzar Cu-Mo porphyry deposit. a) Mo b) Cu c) Zn d) Pb

Cu/Mo and $(Pb \cdot Zn)/(Cu \cdot Mo)$ zonation index were used to estimate the mineralization depth and erosion level in porphyry copper deposits. In this research, the Cu/Mo zonation index value changed from 60 in the supra haloes to 20 in sub haloes in the Sungun Cu Mo porphyry deposit. As a result, for this index to reach the value of 3 to 5, the depth of mineralization will continue until 1100-1200 meters.

In the Darrehzar porphyry copper deposit, this index changes from 154 at a depth of 2,475 meters to 29 at a depth of 2,225 meters, and mineralization is expected to continue until a depth of 2,200 meters (Fig 4). The sequence of lithogeochemical zonation in the Sungun deposit is as follows:

Upward: (Sr, Mo) – (Ba) – Bi – (Cu, Ag) – W – Co – Ni – Zn – Pb – Ba – B.

The sequence of lithogeochemical zonation in the Darrehzar deposit is as follows:

Upward: Zn-Pb-Cu-Ni-Mo

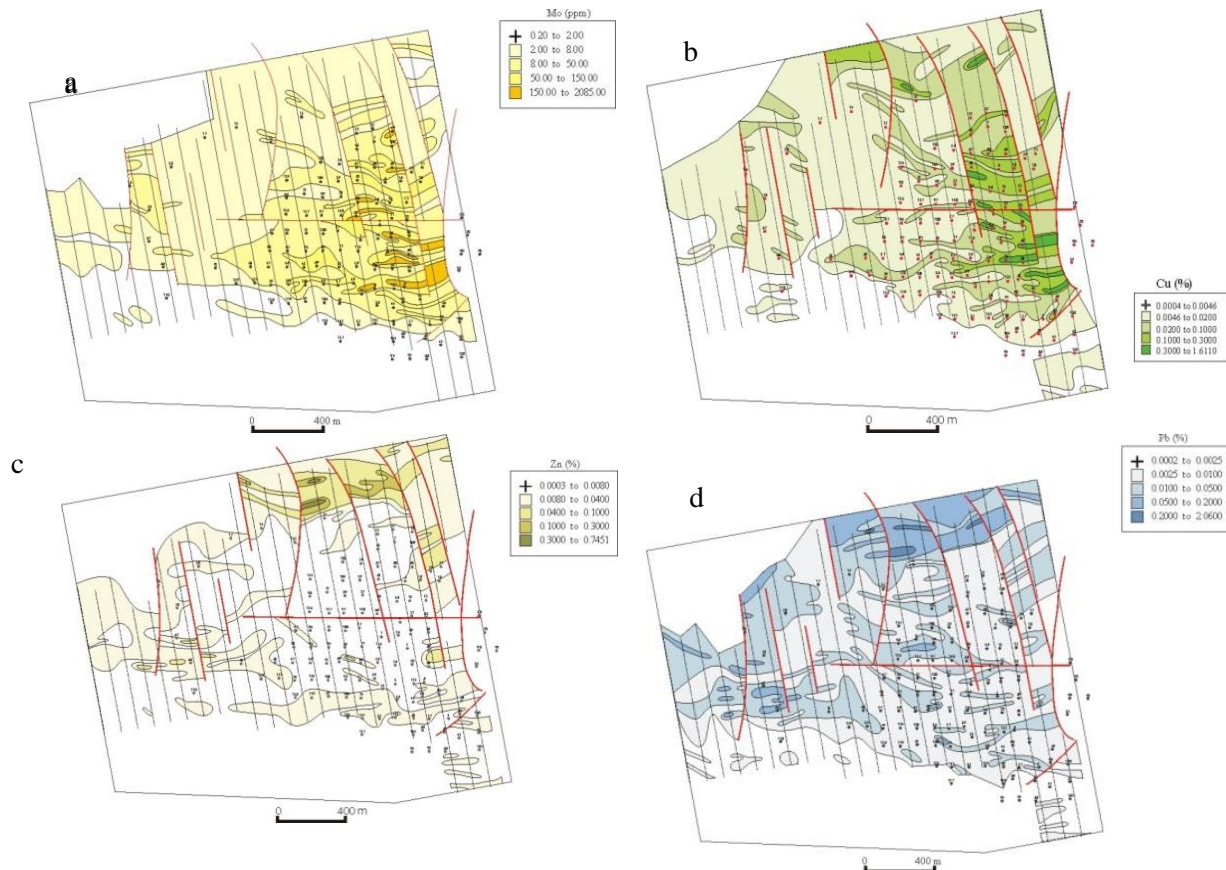


Fig 3) Mineral field, single element halos, and zonation index map on the surface of Sungun Cu-Mo porphyry deposit. a) Mo b) Cu c) Zn d) Pb

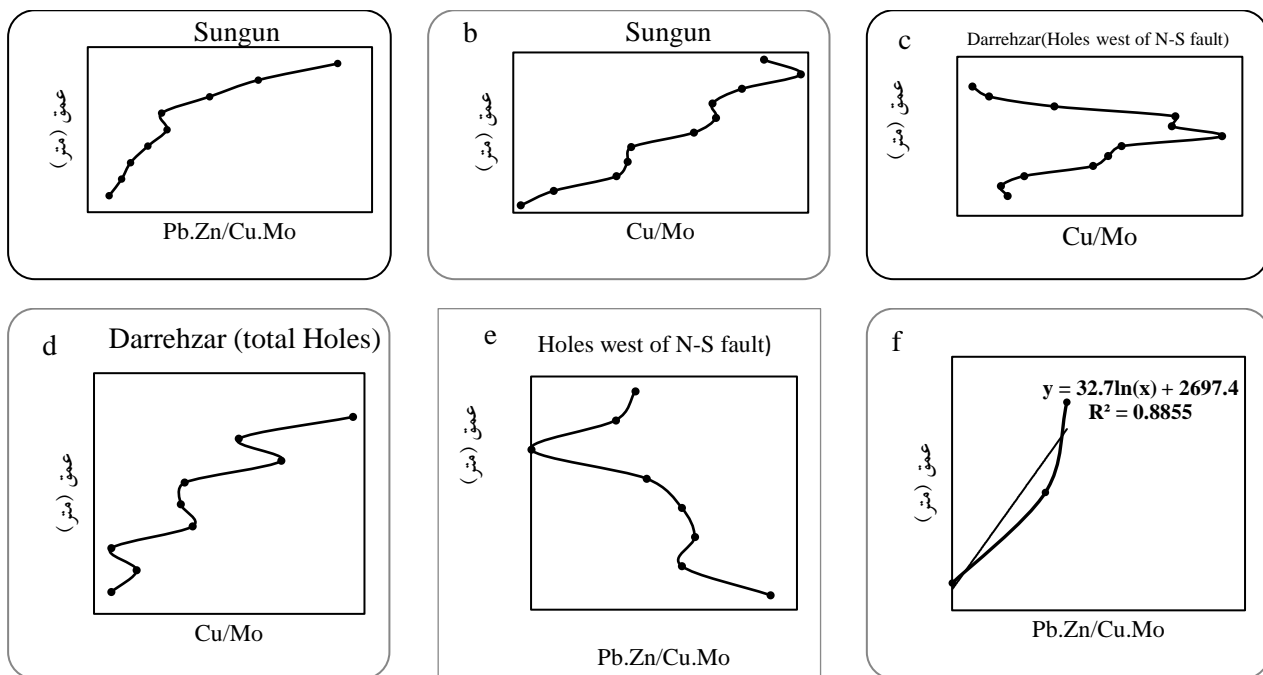


Fig 4) Figure 8) The zonation index versus depth a) Pb.Zn/Cu.Mo versus depth in Sungun deposit b) Cu/Mo versus depth in Sungun deposit c and d) Cu/Mo versus depth in Darrehzar deposit e) Pb.Zn/Cu.Mo versus depth in Darrehzar deposit

3- CONCLUSION

The Cu/Mo and (Pb*Zn)/(Cu*Mo) zonation index have a decreased behavior versus the depth. In Darrehzar porphyry stock, using the Pb.Zn/Cu. Mo zonation index, the amount of erosion of the porphyry stock on the western sides of the north-south fault was determined to be about 70 meters. The east-west section of the porphyry stock of Cu Mo Darrehzar and the north-south section of the porphyry stock of Sungun show that the porphyry stock of Darrehzar is a low slope type, while the porphyry stock of Sungun is a vertical type (fig 5).

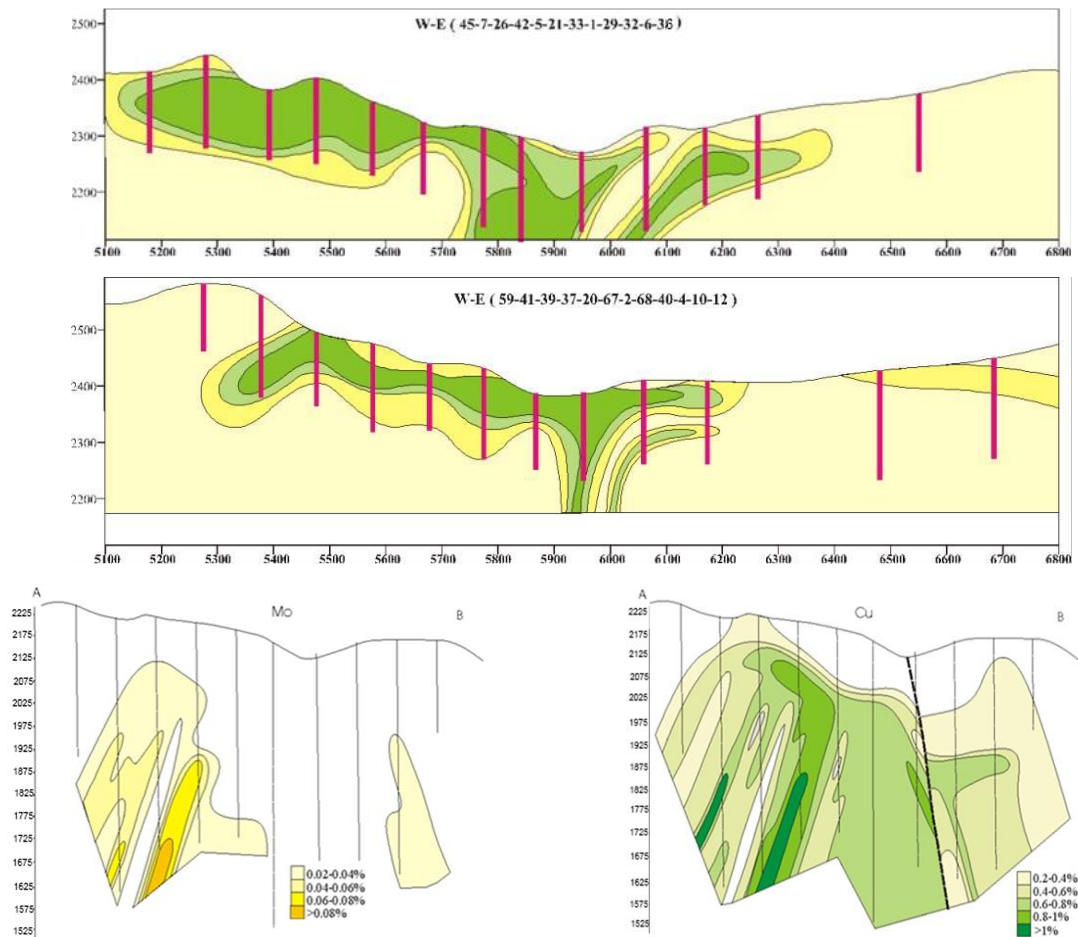


Fig 5 a and b) Two east-west cross-sections of copper iso grad map in Darrehzar stock, which clearly shows the low slope of the stock c and d) North-south Cu Mo cross-section versus depth in vertical Sungun stock. (The location of the profile is shown in Fig 1)

REFERENCES

1. Abbaszadeh, M.; Hezarkhani, A.; Soltani-Mohammadi, S.; 2013; "An SVM-based machine learning method for the separation of alteration zones in Sungun porphyry copper deposit", *Geochemistry*, 73(4), 545-554
2. Asadi, S.; Moore, F.; Zarasvandi, A.; 2014; "Discriminating productive and barren porphyry copper deposits in the southeastern part of the central Iranian volcano-plutonic belt, Kerman region, Iran", a review. *Earth-Science Reviews*, 138, pp.25-46.
3. Atapour, H.; 2017; "The exploration significance of Ag/Au, Au/Cu, Cu/Mo, (Ag× Au)/ (Cu× Mo) ratios, supra-ore and sub-ore halos and fluid inclusions in porphyry deposits", a review. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 28(2), pp.133-146.
4. Aliyari, F.; Afzal, P.; Lotfi, M.; Shokri, S.; Feizi, H.; 2020; "Delineation of geochemical haloes using the developed zonality index model by multivariate and fractal analysis in the Cu–Mo porphyry deposits", *Applied Geochemistry*, 121, p.104694.
5. Alizadeh Sevari, B.; Hezarkhani, A.; 2014; "Hydrothermal evolution of Darrehzar porphyry copper deposit, Iran: evidence from fluid inclusions", *Arabian Journal of Geosciences*, 7, pp.1463-1477.
6. Daneshvar Saein, L.; Afzal, P.; Shahbazi, S.; Sadeghi, B.; 2022; "Application of an improved zonality index model integrated with multivariate fractal analysis: epithermal gold deposits", *Geopersia*, 12(2), pp.379-394.
7. Derakhshani, R.; Abdolzadeh, M.; 2009; "Geochemistry, mineralization and alteration zones of Darrehzar porphyry copper deposit, Kerman, Iran", *Journal of Applied Sciences*, 9(9), pp.1628-1646.
8. Grigoryan, S.V.; 1974; "Primary geochemical halos in prospecting and exploration of hydrothermal deposits", *International Geology Review*, 16(1), pp.12-25.
9. Harraz, H.Z.; 1995; "Primary geochemical haloes, El Sid gold mine, eastern Desert, Egypt", *Journal of African Earth Sciences*, 101, pp.1-18.
10. Harraz, H.Z.; Hamdy, M.M.; 2015; "Zonation of primary haloes of Atud auriferous quartz vein deposit, Central Eastern Desert of Egypt: A potential exploration model targeting for hidden mesothermal gold deposits", *Journal of African Earth Sciences*, 101, pp.1-18.
11. Heidari, S.M.; Afzal, P.; Ghaderi, M.; Sadeghi, B.; 2021; "Detection of mineralization stages using zonality and multifractal modeling based on geological and geochemical data in the Au-(Cu) intrusion-related Gouzal-Bolagh deposit, NW Iran", *Ore Geology Reviews*, 139, p.104561.
12. Hezarkhani, A.; 2006; "Petrology of the intrusive rocks within the Sungun porphyry copper deposit, Azerbaijan, Iran", *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(3), 326-340.
13. Hronsky, J.M.A.; Groves, D.I.; 2008; "Science of targeting: Definition, strategies, targeting and performance measurement. Aust", *J. Earth Sci.*, 55, 3–12.
14. Kamali, A.; Moayyed, M.; Amel, N.; Hosainzadeh, M. R.; 2017; "Mineral chemistry and geochemistry of lamprophyric dykes in the Sungun Cu-Mo porphyry deposit (Varzaghan-Northwestern Iran), *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 26(102), 73-90.
15. Kudriatsef, D.I.; 2014; "REE exploration Institute, Moscow, Instruction of lithogeochemical exploration methods for Cu_Mo porphyry deposits", in Russian language.
16. Murakami, H.; Seo, J.H.; Heinrich, C.A.; 2010; "The relation between Cu/Au ratio and formation depth of porphyry-style Cu–Au±Mo deposits", *Mineralium Deposita*, 45, pp.11-21.
17. Nurmi, P.A., 1985; "Lithogeochemistry in exploration for Proterozoic porphyry-type molybdenum and copper deposits, southern Finland", *Journal of Geochemical Exploration*, 23(2), pp.163-191.
18. Ovchinnikov, L.N. and Grigorian, S.V., 1970. "Regularities in the Composition and Structure of Primary Geochemical Haloes of Sulfide Deposits". In *Nauchnye Osnovy Geokhimicheskikh Metodov Poiskov Glubokozalezgayushchikh Rudnykh Mestorozhdeniy*, Part I (pp. 3-36). Irkutsk: II Session of SPGM.
19. Parsapoor, A.; Khalili, M.; Maghami, M.; 2017; "Discrimination between mineralized and unmineralized alteration zones using primary geochemical haloes in the Darreh-Zar porphyry copper deposit in Kerman, southeastern Iran", *Journal of African Earth Sciences*, 132, 109-126.
20. Rose, W.R.; Hawkes, H.E.; Webb, J.S.; 1979; "Geochemistry in Mineral Exploration", Academic Press.

21. Grigoryan, S.V.; 1974; "Primary geochemical halos in prospecting and exploration of hydrothermal deposits", *International Geology Review*, 16(1), pp.12-25.
22. Safari Sinegani, S.; Ziaii, M.; Ghoorchi, M., Sadeghi, M.; 2018; "Application of concentration gradient coefficients in mining geochemistry: A comparison of copper mineralization in Iran and Canada", *Journal of Mining and Environment*, 9(1), 277-292.
23. Salehian, M.; Ghaderi, M.; 2010; "Alteration and mineralization at Daralu Porphyry Copper Deposit, South of Kerman, Southeast Iran", In *The 1st International Applied Geological Congress Department of Geology, Islamic Azad University, Mashad Branch, Iran*.
24. Soltani, F.; Afzal, P.; Asghari, O.; 2013; "Sequential Gaussian simulation in the Sungun Cu porphyry deposit and comparing the stationary reproduction with ordinary kriging", *Universal Journal of Geoscience*, 1(2), pp.106-113.
25. Solovov, A. P.; 1966; "parameters of the primary halo of an endogenous deposits an sssr", *Geologiya Rudnykh Mestorozh.*, no. 3.
26. Talesh Hosseini, S.; Asghari, O.; Torabi, S. A.; Abedi, M.; 2020; "An optimum selection of simulated geological models by multi-point geostatistics and multi-criteria decision-making approaches; a case study in Sungun porphyry Cu deposit", *Iran. Journal of Mining and Environment*, 11(2), 481-503.
27. Timkin, T.; Abedini, M.; Ziaii, M.; Ghasemi, M.R.; 2022; "Geochemical and hydrothermal alteration patterns of the abrisham-rud porphyry copper district, semnan province", *Iran. Minerals*, 12(1), p.103.
28. Urqueta, E.; Kyser, T.K.; Clark, A.H.; Stanley, C.R.; Oates, C.J.; 2009; "Lithochemistry of the Collahuasi porphyry Cu-Mo and epithermal Cu-Ag (-Au) cluster, northern Chile: Pearce element ratio vectors to ore", *Geochemistry*, 9(1), p.9.
29. Yongqing, C.; Jingning, H.; Zhen, L.; 2008; "Geochemical characteristics and zonation of primary halos of Pulang porphyry copper deposit, Northwestern Yunnan Province, Southwestern China", *Journal of China University of Geosciences*, 19(4), pp.371-377.
30. Ziaii, M.; Carranza, E.J.M.; Ziaei, M.; 2011; "Application of geochemical zonality coefficients in mineral prospectivity mapping", *Computers & geosciences*, 37(12), pp.1935-1945.
31. Zuo, R.; Wang, J.; Chen, G.; Yang, M.; 2015; "Identification of weak anomalies: A multifractal perspective", *J. Geochem. Explor.* 2015, 148, 12-24.



مقاله پژوهشی

مقایسه مدل‌های اکتشافی لیتوزئوشیمیایی بر اساس زون‌بندی در کانسارهای مس پورفیری
سونگون و دره‌زار

غلامرضا رحیمی‌پور^{۱*}، فرشته حسن‌زاده^۲، امیر حبیب‌نیا^۳

^۱ استادیار، دانشکده فنی و مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران rahimipour@uk.ac.ir

^۲ فارغ التحصیل دکتری معدن، دانشکده فنی و مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران Fereshte.hasanzaadeh@gmail.com

^۳ فارغ التحصیل دکتری معدن، دانشکده فنی و مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران habibnia@eng.uk.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۰ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۷

چکیده

کانسارهای مس پورفیری سونگون و دره‌زار در زون دگرگونی سنندج سیرجان واقع شده است. مدل‌های لیتوزئوشیمیایی و شاخص‌های زونالیت Cu/Mo و Pb.Zn/Cu.Mo نشان داد که شکل کانسار سونگون از نوع پرشیب با زونالیت مستقیم و کانسار دره‌زار به شکل کم شیب با زونالیت معکوس و به صورت شعاعی مرکزگرا است. نقشه‌های عددی هم عیار مس و مولیبدن بیشتر به بخش‌های مرکزی میدان لیتوزئوشیمیایی در کانسارهای دره‌زار و سونگون و نقشه‌های عددی هم عیار سرب و روی بیشتر مناطق حاشیه‌ای این میدان‌ها را اشغال کرده‌اند. بر اساس نقشه‌های هم عیار رسم شده، شاخص زونالینه (Pb.Zn)/(Cu.Mo) با ظرافت و دقت بالاتری بخش‌های مرکزی را از مناطق حاشیه‌ای جدا کرده است و از طرف دیگر نقش عملکرد گسل‌های منطقه در ارتباط با سطح فرسایش بخش‌های مختلف استوک پورفیری دره‌زار و سونگون را به وضوح نشان می‌دهد. در کانسار مس-مولیبدن پورفیری سونگون شاخص زونالیت Cu/Mo از ۶۰ در بخش‌های خارجی و فوقانی کانسار تا ۲۰ در عمیق‌ترین بخش‌های حفاری شده تغییر می‌کند. برای رسیدن این شاخص به مقادیر ۳ تا ۵ در افق‌های پایین‌تر، انتظار می‌رود کانی‌زایی مولیبدن مس تا ارتفاع مطلق ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ متری ادامه داشته باشد. در کانسار مس پورفیری دره‌زار نمودار تغییرات این شاخص با عمق نشان‌دهنده کاهش مقدار این شاخص از ۱۵۴ تا ۲۹ بوده است و با توجه به روند تغییرات این شاخص، پایین‌ترین عمق قابل پیش‌بینی از جهت وجود کانی‌زایی اقتصادی مس پورفیری، ارتفاع مطلق ۲۲۰۰ متر است.

کلمات کلیدی:

کانسار مس پورفیری، شاخص زونالیت، هاله‌های لیتوزئوشیمیایی، سونگون، دره‌زار



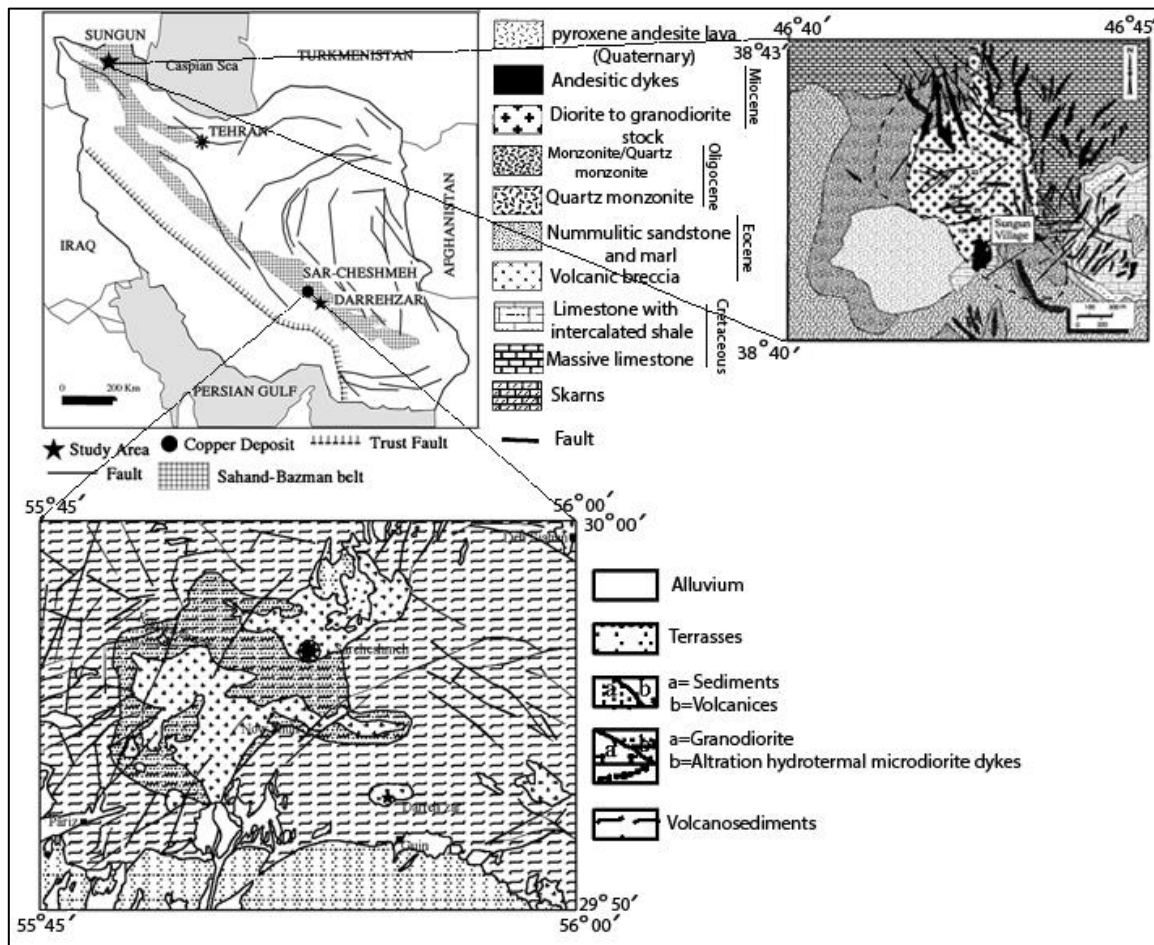
۱- مقدمه

و بررسی شاخص‌های زونالیت‌ها در دو کانسار پرشیب سونگون و کم‌شیب دره‌زار و بررسی اهمیت اکتشافی هاله‌های اولیه در تشخیص کانسارهای کور در منطقه است. همچنین با رسم الگوهای ژئوشیمیایی عناصر مختلف، عمق نهایی توده‌ها تعیین می‌شود. پیش‌تر در این مناطق مطالعات زیادی در زمینه پتروگرافی، ژئوشیمی و دگرسانی، سن‌سنجی و وضعیت هاله‌های اولیه و ثانوی توسط محققان انجام شده است [۴، ۱۵، ۱۷، ۲۲، ۲۵، ۲۸].

۱-۱ زمین‌شناسی کانسارهای مس پورفیری سونگون و دره‌زار

کانسارهای مس پورفیری دره‌زار و سونگون در کمربند ارومیه دختر و به ترتیب در استان کرمان و شمال شرق سیرجان و در استان آذربایجان شرقی و در شمال شهر ورزقان قرار گرفته‌اند. این کانسارها منطبق بر نوارهای ولکانو پلوتونیک ترشیری‌اند و داخل کمربند تتیس قرار دارند. اغلب رخنمون‌های موجود در منطقه مس پورفیری دره‌زار سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن با جنس گدازه‌های بازالت آندزیتی تا آندزیتی بوده که به شدت چین خورده و توده‌های نفوذی با ترکیب کوارتز مونزونیت با سن الیگومیوسن درون آن‌ها تزریق شده‌اند. این تزریق‌ها عموماً در راستای گسل‌های مهمی بوده که بر اساس جنس توده و ابعاد آن، دگرسانی‌های گرمایی با ابعاد متفاوت را ایجاد کرده است. دایک‌های دیوریتی تا گرانودیوریتی نیز در زمان بعد از کانی‌سازی در منطقه نفوذ کرده‌اند و توده پورفیری دره‌زار و سنگ میزبان آن را قطع کرده است [۸، ۱۰، ۲۲]. در منطقه مس پورفیری سونگون گدازه‌های کالک آلکالن و سنگ‌های توفی با ضخامت بیش از ۱۵۰۰ متر مورد هجوم دایک‌های آندزیتی کالک آلکالن قرار گرفته‌اند. توده‌های نفوذی دیوریتی، گرانودیوریتی و مونزودیوریت‌ها در چندین فاز در سنگ میزبان خود نفوذ کرده‌اند. اصلی‌ترین استوک پورفیری تولیدکننده نهشته مس پورفیری سونگون در سه فاز مونزوگرانیت گرانودیوریت، دیوریت مونزودیوریت و آندزیت داسیت است که استوک گرانودیوریتی (گرانودیوریتی و گرانیتی) با سن میوسن بالایی مهم‌ترین استوک پورفیری تشکیل‌دهنده مس پورفیری است که در سنگ میزبان بازالتی تا آندزیتی و همچنین در کربنات‌های کرتاسه جای گرفته‌اند [۱۵، ۲۵، ۲۹].

اکتشافات ژئوشیمیایی یکی از مهم‌ترین روش‌ها در کشف انواع کانسارهای فلزی و غیرفلزی است که در این میان بررسی هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه و نسبت‌های زونالیت‌ها از کارآمدترین روش‌هاست [۱۱، ۱۲، ۱۳، ۲۰، ۲۲، ۲۸، ۳۱، ۳۲]. مطالعات بسیاری در زمینه کاربرد هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه که دارای طیف گسترده‌ای از عناصرند، انجام گرفته است و از آن جهت تشخیص موقعیت توده معدنی و تخمین وسعت آن و همچنین اکتشاف کانسارهای پنهان استفاده می‌شود. همچنین عناصر موجود در هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه در بسیاری از کانسارها نقش ردیاب را دارند و از آن‌ها در اکتشافات مقدماتی و نیمه‌تفضیلی استفاده می‌شود [۱۶، ۳۴]. مطالعات زیادی در مورد هاله‌های لیتوژئوشیمیایی کانسارهای مس پورفیری و نسبت‌های زونالیت‌ها در سراسر دنیا انجام شده است [۵، ۶، ۷، ۱۱، ۱۹، ۲۰، ۲۶، ۳۱، ۳۲، ۳۳]. در ایران نیز بررسی‌های ژئوشیمیایی روی کانسارهای مس و مس مولیبدن پورفیری زیادی انجام گرفته است. برای مثال علی یاری و همکاران (۲۰۲۰)، با استفاده از روش آنالیز فراکتالی سعی در پیدا کردن شاخص زونالیت‌ها گسترده در کانسارهای مس پورفیری کرده و با استفاده از آن ناهنجاری‌های مرتبط با توده‌های معدنی و نمونه‌های سنگی دارای کانی‌سازی را مشخص کرده است [۷]. حیدری و همکاران (۲۰۲۱)، با استفاده از شاخص زونالیت‌ها و مدل‌سازی چند فراکتالی داده‌های ژئوشیمیایی سطحی در نهشته طلا مس گوزل بلاغ در شمال غرب ایران به شناسایی مراحل مختلف کانی‌زایی طلا مس ایجاد شده با توده نفوذی پرداخته‌اند [۱۴]. دانشور و همکاران (۲۰۲۲) نیز از همین روش برای به کارگیری شاخص زونالیت‌ها گسترده در شناسایی نهشته‌های معدنی طلای اپی‌ترمال در بردسکن بهره گرفته‌اند. آن‌ها با استفاده از شاخص‌های گسترده و مدل‌سازی فراکتال دریافتند که مناطق امیدبخش اصلی در ارتباط با مناطق سیلیسی شده در اثر دگرسانی و در تقاطع با گسل‌ها است [۹]. در ناحیه ابریشم‌رود سمنان، تیمکین و همکاران از شاخص‌های زونالیت‌ها برای جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی و محاسبه سطح فرسایش برای نهشته‌های مس پورفیری در مقیاس ناحیه‌ای بهره گرفته‌اند [۲۹]. کانسار مس پورفیری سونگون و دره‌زار در زون سه‌سهند بزمان به ترتیب در شمال غرب و در مرکز ایران واقع شده‌اند. هدف از این مطالعه مقایسه مدل‌های لیتوژئوشیمیایی

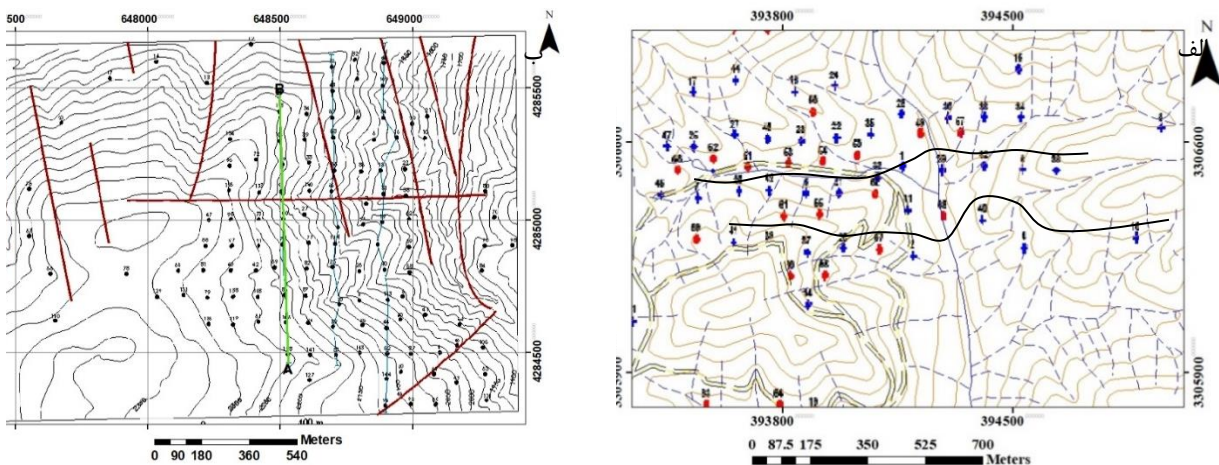


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین شناسی، الف کانسار مس پورفیری دره زار، ب کانسار مس پورفیری سونگون [۱۰، ۲۷]

۲- مواد و روش انجام کار

عمق و ۱۸ گمانه (نقاط قرمز رنگ) برای بررسی شاخص‌های زونالیته برای افق‌های ۲۵ متری، به صورت لپری انجام شده و پس از آسیا کردن و پودر کردن نمونه‌ها به اندازه کمتر از ۲۰۰ مش، در آزمایشگاه شرکت صنایع ملی مس سرچشمه تجزیه شدند. در این آزمایشگاه اکسید عناصر اصلی و عناصر Zn, Pb, Cu, Mo و Ni با استفاده از روش XRF آنالیز شدند. شکل چهار مقطع نمونه برداری در کانسار سونگون و چاه‌های نمونه برداری در کانسار دره زار را با رنگ قرمز نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده مربوط به افق ۲۵۰۰ تا ۲۲۵۰ متری و افق ۲۱۷۵ تا ۱۶۷۵ متری به ترتیب در کانسار مس پورفیری دره زار و کانسار مس پورفیری سونگون است. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌ها در دو کانسار، نقشه پراکندگی عناصر در سطح و در افق‌های مختلف کانسار و نمودار شاخص زونالیته Cu/Mo و $Pb \times Zn / Cu \times Mo$ رسم و در نهایت شکل و عمق کانسارها با یکدیگر مقایسه شد.

برای مطالعه رفتار هاله‌های لیتوژئوشیمیایی در کانسار مس پورفیری سونگون و دره زار نمونه برداری سطحی و عمقی انجام گرفت. در کانسار سونگون، نمونه برداری سطحی از شبکه ۲۰×۱۰۰ متر و تعداد ۹۰۰۰ نمونه پودری از ۴۵ گمانه‌های اکتشافی به دست آمده در سه مقطع شمالی- جنوبی و یک مقطع شرقی غربی با فواصل ۲ و ۵ متری در راستای عمق برداشت شد و پس از مخلوط شدن، یک نمونه معرف برای هر ۵۰ متر عمق در گمانه‌ها بدست آمد. نمونه‌ها با استفاده از روش اسپکترومتر نشری نیمه کمی در آزمایشگاه آکادمی علوم روسیه مورد تجزیه ۳۴ عنصری قرار گرفتند. در کانسار مس پورفیری دره زار ۳۳۳ نمونه سنگی در یک شبکه ۱۳۳×۱۳۳ متری با مساحت حدود ۶ کیلومتر مربع انجام شد که موقعیت نمونه‌های یاد شده دقیقاً بر سطح فوقانی کانسار دره زار منطبق است و نمونه برداری عمقی از ۶۸ گمانه در راستای



شکل ۲- موقعیت گمانه های اکتشافی حفاری، الف در کانسار مس پورفیبری دره زار، ب در کانسار مس پورفیبری سونگون

جدول ۱- مشخصات آماری توصیفی داده های سطحی لیتوژئوشیمیایی میدان معدنی دره زار و سونگون

| | عنصر | کمینه | بیشینه | متوسط | انحراف معیار | چولگی | کشیدگی |
|----------------|---------------------|--------|--------|-------|--------------|-------|--------|
| کانسار دره زار | مس (۳۳۳)(درصد) | ۰٫۰۰۰۹ | ۰٫۲۲ | ۰٫۰۲۲ | ۰٫۰۲۶ | ۲٫۸۴ | ۱۲٫۳۲ |
| | مولیبدن (۳۳۳)(ppm) | ۹ | ۱۰۰ | ۱۴ | ۰٫۰۰۱۵ | ۳٫۵۵ | ۱۲٫۶۴ |
| | روی (۳۳۳)(ppm) | ۴ | ۱۳۹۰ | ۸۱٫۰۴ | ۱۲۳٫۳۹ | ۵٫۸۵ | ۴۸٫۲۵ |
| | سرب (۳۳۳)(ppm) | ۱۹ | ۵۰۰ | ۳۸٫۴ | ۵۸٫۲۹ | ۴٫۸۵ | ۲۷٫۵۷ |
| کانسار سونگون | مس (۱۴۴۵)(درصد) | ۰٫۰۰۰۴ | ۵٫۰۱ | ۰٫۰۳۷ | ۰٫۱۶ | ۲۳٫۶۰ | ۷۱۵٫۰۹ |
| | مولیبدن (۱۴۴۵)(ppm) | ۰٫۲ | ۲۰۸۴ | ۲۰٫۶۷ | ۷۰٫۶۱ | ۱۸٫۶۷ | ۵۱۰٫۵۷ |
| | روی (۱۴۴۵)(ppm) | ۳ | ۷۴۵۰ | ۱۵۷ | ۰٫۰۳۷ | ۱۱٫۱۱ | ۱۷۶٫۴۴ |
| | سرب (۱۴۴۵)(ppm) | ۲ | ۲۰۶۰۰ | ۲۱۰ | ۰٫۰۷۱ | ۱۸٫۵۹ | ۴۸۰٫۴۶ |

۳- بحث و نتایج

ژئوشیمیایی محلی، مقادیر حد آستانه عناصر تعیین شد. برای بررسی دقیق نحوه پراکندگی هاله های لیتوژئوشیمیایی عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی در کانسار مس پورفیبری دره زار و سونگون از نقشه های هم عیار آن ها استفاده شد. پارامترهای آماری هر یک از این عناصر در جدول ۱ آورده شده است. این عناصر برای کانی زایی مس پورفیبری به عنوان معرف بوده و در اکتشافات ژئوشیمیایی کانسارهای مس پورفیبری کاربرد فراوانی در تشخیص و مرزبندی حدود استوکورک پورفیبری، تعیین سطح فرسایش و بررسی های منطقه بندی ژئوشیمیایی دارند [۱۱، ۲۳]. با بررسی الگوی پراکندگی عناصر در کانسار مس مولیبدن پورفیبری دره زار و شناخت گسل های منطقه، دو گسل عمود بر هم در جهت های شمالی جنوبی و شرقی غربی

بر اساس نتایج داده های نمونه برداری سطحی در کانسارهای مورد مطالعه، بعد از حذف اثر زمینه ای و تعیین حد آستانه عناصر در هر یک از مناطق مورد مطالعه، نقشه پراکندگی هم عیار عناصر مس، مولیبدن، سرب، روی، طلا و نقره و شاخص های زونالیتیه رسم شد. حد آستانه بر اساس تغییرات دامنه های سنگی در میدان معدنی سونگون و دره زار و حذف اثر زمینه ای با مراجعه به کلارک عناصر در سنگ شناسی غالب و مقایسه آن با داده های حاشیه ای و به دور از نمونه های ناهنجار مشهود انجام گرفت. سپس نمودارهای فراکتال عیار مساحت مورد بررسی قرار گرفت و با مقایسه آن با مقدار زمینه

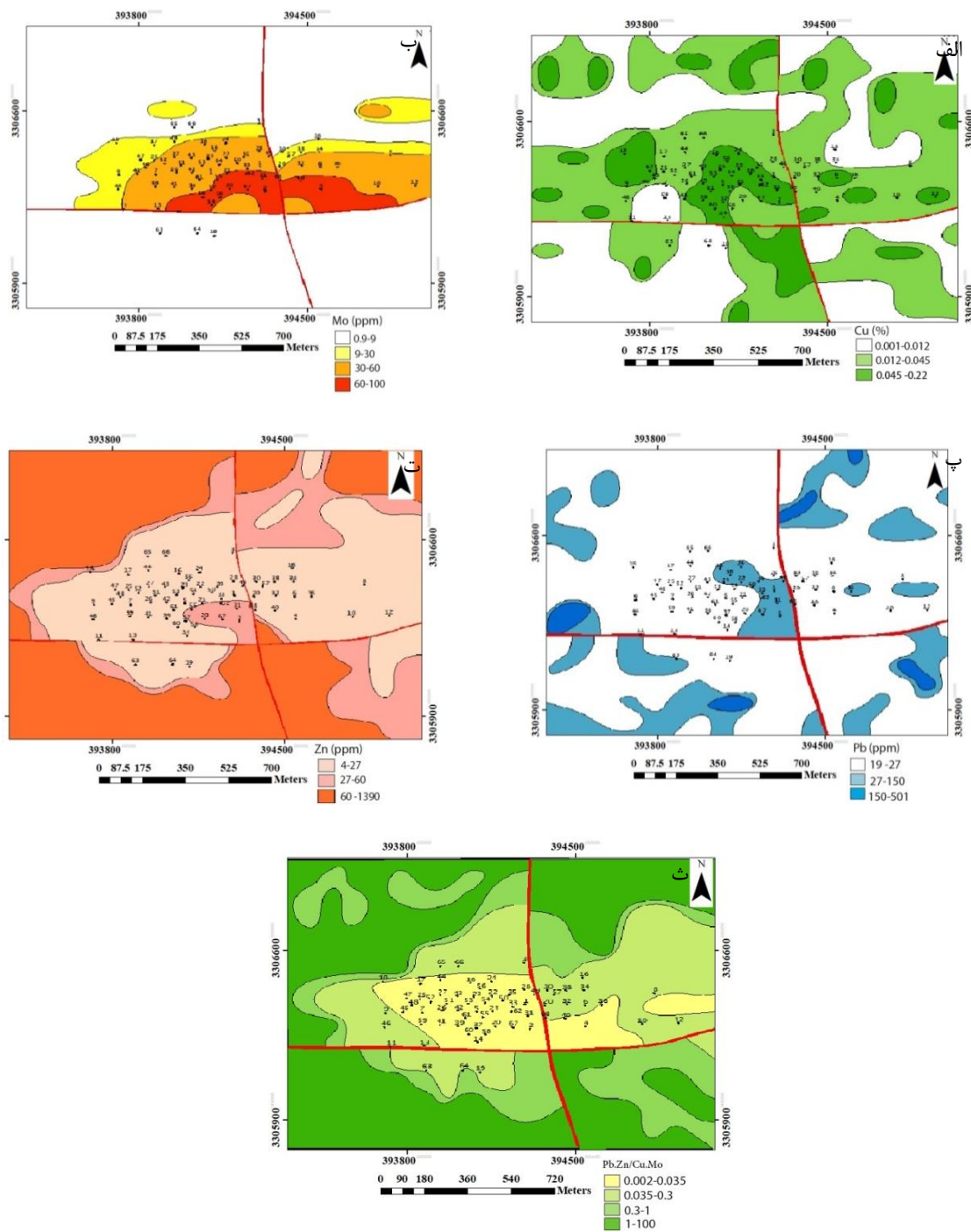
مس، مولیبدن، سرب و روی، شکل استوک پورفیری سونگون در راستای شرقی غربی را نشان می‌دهد که این استوک در سمت غرب به زیر رسوبات رفته و توده معدنی کور را نشان می‌دهد و احتمالاً در بخش شرقی و به سمت آبراهه سونگون جای پیشروی کرده است که داده‌های این قسمت در اختیار نیست. این نتایج با داده‌های عمقی (شکل ۵) و نقشه‌های رسم شده آن تایید می‌شود. در این کانسار نیز شبیه کانسار دره‌زار، بیشترین تجمع مس و مولیبدن در بخش شرقی و در بالای توده معدنی و بیشترین عیار روی در بخش خارجی توده معدنی تجمع پیدا کرده است.

بر اساس نتایج داده‌های عمقی توده معدنی (عیارهای بالای ۰٫۶ درصد مس) سونگون از افق ۱۹۷۵ متر به صورت یک سیلندر به هم پیوسته شرقی غربی شروع می‌شود و تا افق ۱۷۷۵ متر شکل سیلندری خویش را حفظ می‌کند از افق ۱۷۷۵ متر به پایین تر توده معدنی سیلندری مس ناپدید شده و به صورت لنزهایی در کل استوک پراکنده می‌شود اما برای مولیبدن مقادیر با عیار بالا، از افق ۱۷۷۵ متر به پایین شروع می‌شود (شکل ۵).

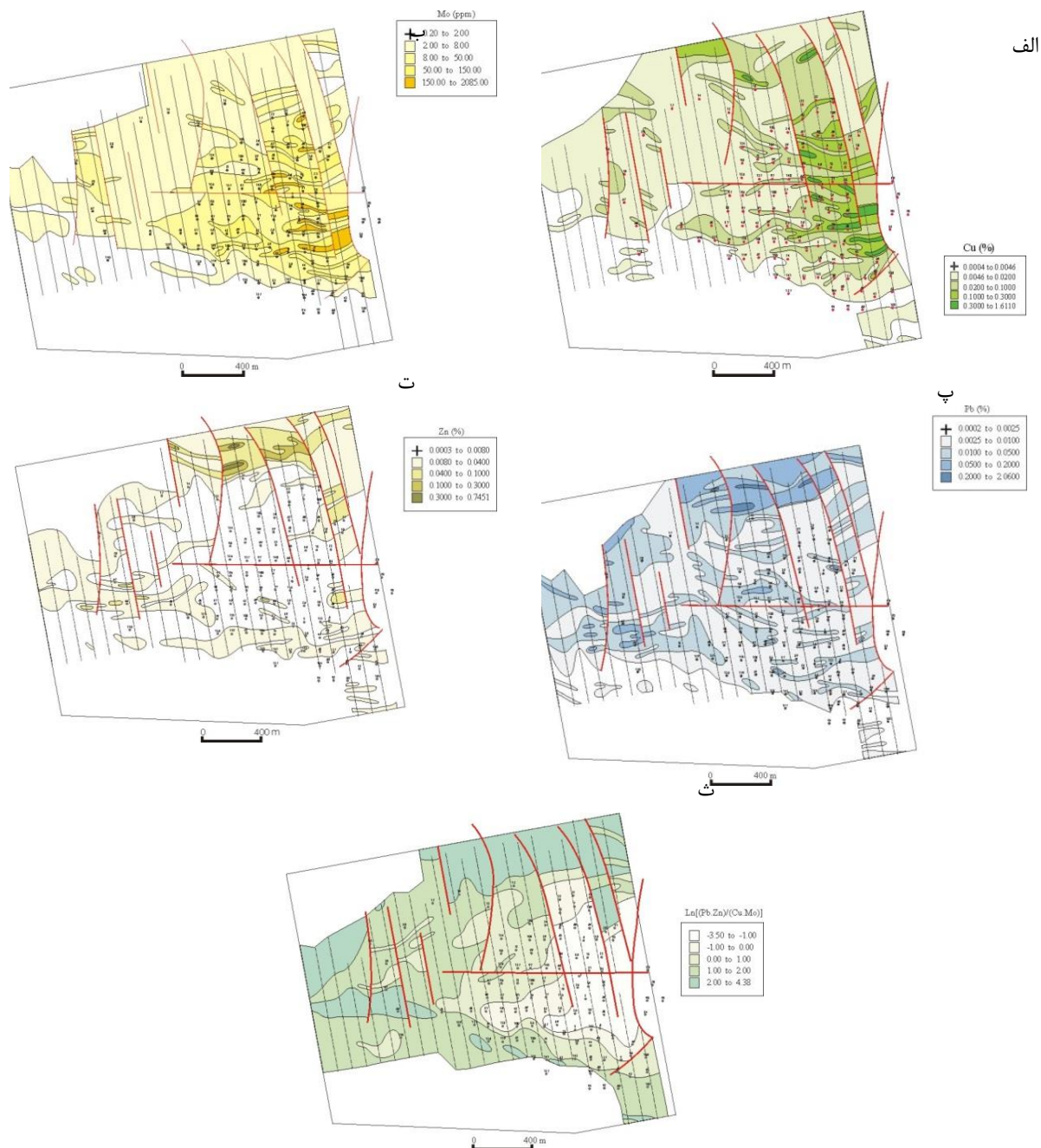
بر اساس داده‌های عیاری مس در کانسار دره‌زار دو مقطع شرقی غربی از استوک مس-مولیبدن پورفیری رسم شد (شکل ۶). در این مقاطع نیز استوک پورفیری دره‌زار از نوع کم شیب است که این مساله نقش مهمی در نمودار شاخص‌های زونالیته در نحوه تغییرات این شاخص‌ها با عمق ایفا می‌کند. همچنین در یک مقطع قائم شمالی-جنوبی نمایی از استوک سونگون بر اساس داده‌های عیاری مس و مولیبدن نشان داده شده است (شکل ۷). همان‌گونه که در این مقطع مشخص می‌شود، استوک پورفیری سونگون یک استوک قائم بوده و در آن مولیبدن نسبت به مس در عمق بیشتری قرار گرفته است.

به سادگی در منطقه مشخص و امتداد آن‌ها رسم شد به طوری که هر دو از مرکز استوک پورفیری گذشته و آن را به چهار قسمت تقسیم می‌کند. در امتداد این دو گسل شرقی غربی و شمالی جنوبی بلوک‌های مختلف حرکات و جابه‌جایی‌های قائم و افقی داشته‌اند که قابل تشخیص‌اند. نقشه هم عیار مس و مولیبدن (شکل ۳ الف و ب) نشان می‌دهد که احتمالاً بخشی از توده که در شمال غرب گسل شرقی غربی قرار گرفته، بیشترین حرکت به سمت بالا را داشته است و سطح فرسایش این بخش از توده در واقع مربوط به مناطق عمیق‌تر است. در نقشه هم عیار سرب (شکل ۳ پ) این جزئیات با شدت کمتری قابل تشخیص است که علت آن تمرکز هاله‌های لیتوژئوشیمیایی این عنصر در مناطق حاشیه‌ای به صورت کمربندی در اطراف استوک‌ورک پورفیری است. نقشه هم عیار پراکندگی عنصر روی رفتار دوگانه‌ای را نشان می‌دهد. روی در محدوده استوک پورفیری تهی‌شدگی و در حاشیه استوک (تجمع و رسوب روی از نواحی داخلی استوک) غنی‌شدگی نشان می‌دهد (شکل ۳ ت). همچنین نقشه هم‌عیار مقادیر شاخص زونالیته $Pb.Zn/Cu.Mo$ (شکل ۳ ث) نشان می‌دهد که کمترین مقادیر این شاخص (۰٫۳۵ تا ۰٫۰۲) که با رنگ زرد دیده می‌شود، به مرکز استوک دره‌زار و در غرب گسل شمالی جنوبی و شمال گسل شرقی غربی محدود شده که نشان‌دهنده بالآمدگی بیشتر قسمت شمال غربی استوک پورفیری دره‌زار تحت تاثیر عملکرد گسل‌های مزبور است. بخش شمال شرقی استوک سطح فرسایش کمتری را نشان می‌دهد و مناطق زرد رنگ گسترش کمتری را نسبت به بخش شمال غربی دارند. بخش‌های جنوبی گسل شرقی-غربی، سطوح فرسایش کمتری را نشان می‌دهند و مربوط به مناطق بالاتر از استوک پورفیری دره‌زارند و استوک پورفیری در عمق بیشتری قرار گرفته است.

در منطقه معدنی سونگون نیز وضعیت توده معدنی بر اساس نتایج حاصل از نمونه‌برداری سطحی، بررسی رفتار تک‌متغیره و شاخص منطقه‌بندی جهانی $(Pb \times Zn) / (Cu \times Mo)$ و حضور تعدادی گسل تشخیص داده شده در این میدان معدنی به نقشه در آمد (شکل ۴ الف تا ث). نقشه‌های هم عیار



شکل ۳- نقشه پراکندگی عناصر مختلف و شاخص زونالیته در سطح کانسار مس مولیبدن پورفیری دره زار. الف) مس، ب) مولیبدن، پ) سرب
ت) روی، ث) $(Pb \times Zn) / (Cu \times Mo)$



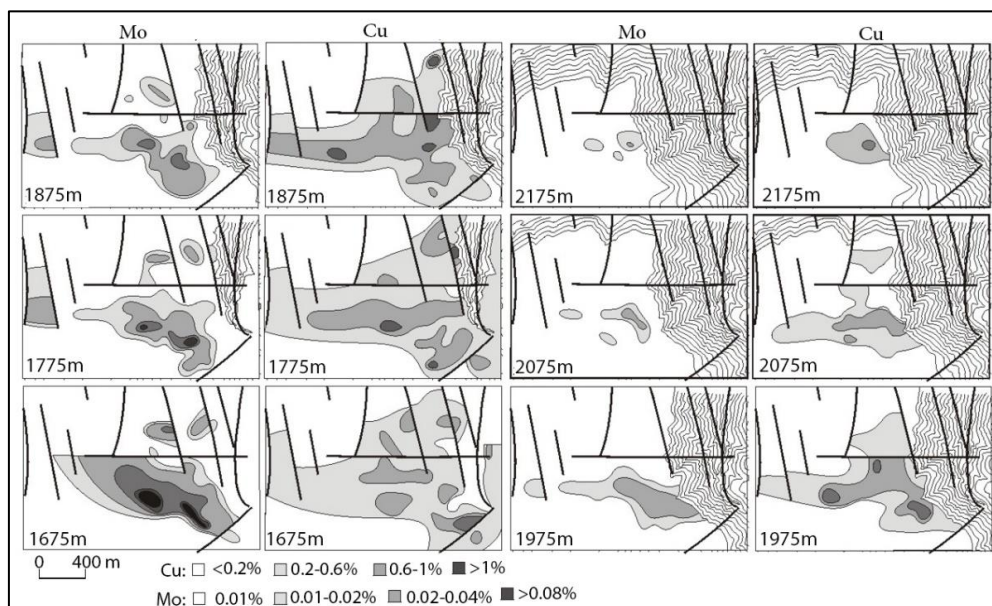
شکل ۴- نقشه پراکندگی عناصر مختلف و شاخص زونالیته در سطح کانسار مس مولیبدن پورفیری سونگون. (الف) مس، (ب) مولیبدن، (پ) سرب، (ت) روی، (ث) $(Pb \times Zn) / (Cu \times Mo)$

شد. شاخص زونالیته Cu/Mo تقریباً در تمامی کانسارهای مس پورفیری، مقادیر بین ۱۰۰ تا ۱ را نشان می‌دهد [۱۸]. در محدوده مرزهای داخلی کانسارهای مس پورفیری و یا به عبارت دیگر در مقیاس توده معدنی، مقادیر این شاخص از ۵۰ تا ۱۰۰ در مناطق سطحی و حاشیه‌ای شروع شده و به مقادیر ۳ تا ۱۰ در عمیق‌ترین و داخلی‌ترین بخش‌های کانسار کاهش

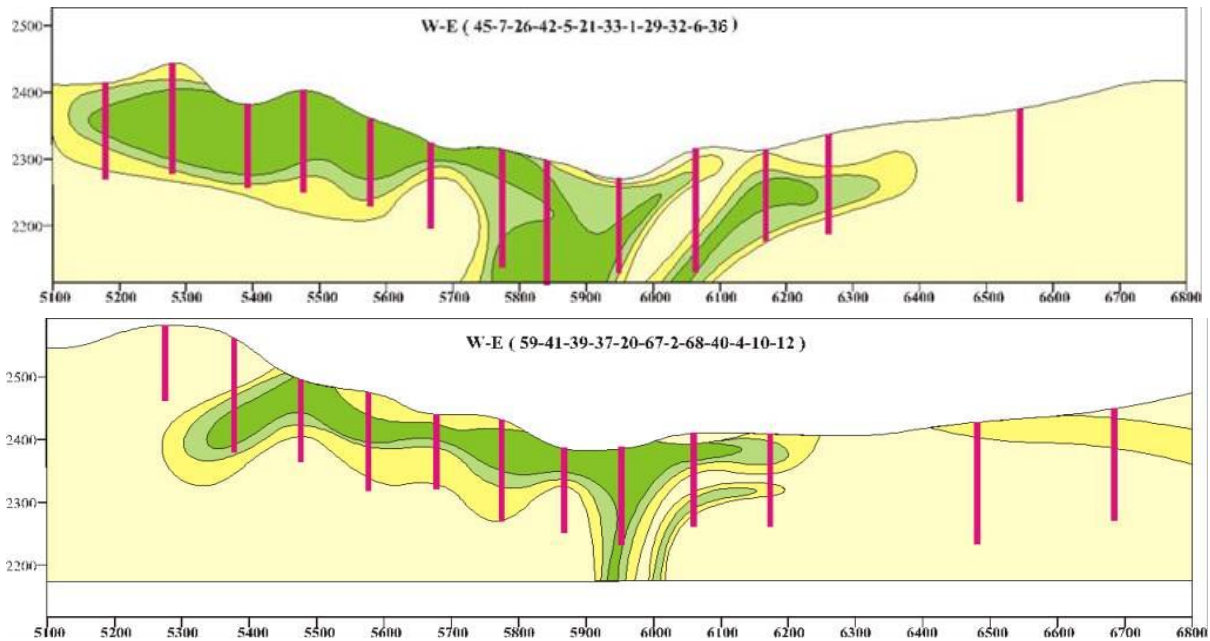
یکی از معیارهای مهم و جهانی در تخمین عمق کانی‌زایی در کانسارهای مس پورفیری و همچنین تعیین سطح فرسایش و عمق کانسار، شاخص‌های زونالیته Cu/Mo و $(Pb \times Zn) / (Cu \times Mo)$ است. با توجه به فراهم بودن مقادیر مس و مولیبدن در گمانه‌های اکتشافی در کانسار دره‌زار و سونگون، بررسی نحوه تغییرات این شاخص‌ها در راستای عمق میسر

دره‌زار شکل مضرسی داشته ولی به صورت کلی روند کاهشی نسبت به عمق را نشان می‌دهد (شکل ۸ پ). ابتدا تصور شد که این حالت به دلیل وجود چند فاز کانی‌زایی مستقل در طول زمان به صورت متوالی و یا به علت کانی‌زایی ضعیف و پراکنده در کانسارهای کوچک تا متوسط و یا به دلیل حرکات قائم در دو طرف گسل مرکزی شمالی- جنوبی رخ داده باشد. در ادامه با حذف داده‌های شرقی گسل شمالی- جنوبی و محاسبه شاخص Cu/Mo تنها برای گمانه‌های بخش غربی مشخص شد که دلیل رفتار مضرسی، جابه‌جایی استوک پورفیری در دو سمت گسل شمال جنوبی بوده است که بعد از رسم شاخص Cu/Mo، کم شیب بودن کانسار با زونالیت‌ها شعاعی مرکزگرا را به خوبی تایید می‌کند. به هر حال نمودار تغییرات این شاخص با عمق در کانسار دره‌زار بیانگر این مطلب است که با توجه به روند و شیب تغییرات این شاخص، پایین‌ترین عمق قابل پیش‌بینی از جهت وجود کانی‌زایی اقتصادی مس پورفیری، تا ارتفاع مطلق ۲۲۰۰ متر است (شکل ۸ ت). در کانسار دره‌زار، با استفاده از نمودار شاخص Pb.Zn/Cu.Mo (شکل ۸ ث) می‌توان میزان فرسایش نسبی در بخش غربی گسل شمالی جنوبی بدست آورد. با توجه به رابطه رگرسیون بدست آمده برای شاخص زونالیت‌ها، اختلاف سطح فرسایش نسبی برای طرف غرب گسل شمالی - جنوبی حدود ۷۰ متر بدست می‌آید.

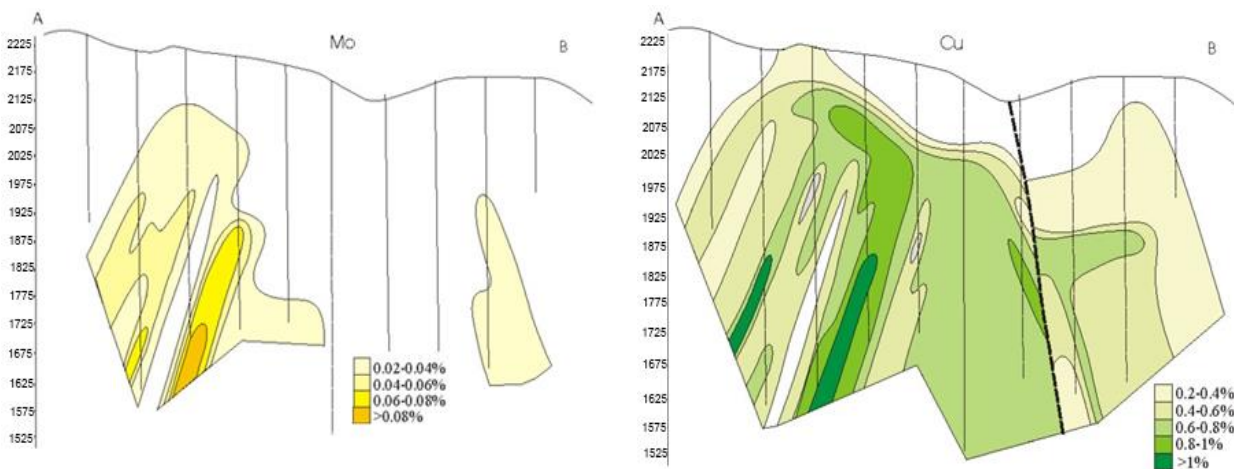
می‌یابد [۱۸]. در محدوده کانسار مس مولیبدن پورفیری کاجاران در ارمنستان مقادیر این شاخص از مقدار ۱۰۰ تا ۱۰ در عمیق‌ترین بخش‌ها [۳۳] و در کانسار مس پورفیری در آلو این شاخص از ۹۸ در سطح تا مقدار ۳۰ با افزایش عمق تغییر نشان می‌دهد [۲]. در کانسار مس مولیبدن پورفیری سرچشمه مقادیر شاخص Cu/Mo از مقدار ۶۶ در بالاترین افق (۲۷۵۰) تا مقدار ۳۰ در افق ۱۰۵۰ کاهش می‌یابد [۱]. در این تحقیق، در کانسار مس- مولیبدن پورفیری سونگون مقدار این شاخص از ۶۰ در بخش‌های خارجی و فوقانی کانسار تا ۲۰ در عمیق‌ترین بخش‌های حفاری شده و قابل دسترسی تغییر می‌کند (شکل ۸ الف). با توجه به پیر شیب بودن کانسار سونگون، نمودار تغییرات این شاخص نسبت به عمق، نقش بسیار مهمی در تخمین و پیش‌بینی ادامه‌یابی استوک سونگون در عمق‌های حفاری نشده دارد. بر اساس خط برآزش داده شده بر این شاخص، برای رسیدن به مقادیر بین ۳ تا ۵، می‌توان انتظار کانی‌زایی مولیبدن مس تا ارتفاع مطلق ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ متری را البته با تکیه بیشتر بر کانی‌زایی مولیبدن داشت. در کانسار مس پورفیری دره‌زار، نمودار تغییرات این شاخص نسبت به عمق، نشان‌دهنده کاهش مقدار این شاخص از ۱۵۴ در افق ۲۴۷۵ متر تا ۲۹ در افق ۲۲۲۵ متری است. بر خلاف آنچه که برای کانسار سونگون مشاهده شد، تغییرات شاخص Cu/Mo با افزایش عمق در کانسار مس پورفیری



شکل ۵- نقشه پراکندگی عناصر مس و مولیبدن در ارتفاع‌های مختلف کانسار مس پورفیری سونگون که نشان‌دهنده کشیدگی کانسار به سمت غرب است.



شکل ۶- دو مقطع شرقی غربی تغییرات عیاری عنصر مس در استوک دره زار که به وضوح کم شیب بودن استوک را نشان می دهد (موقعیت مقاطع در شکل ۲-الف نشان داده شده است).



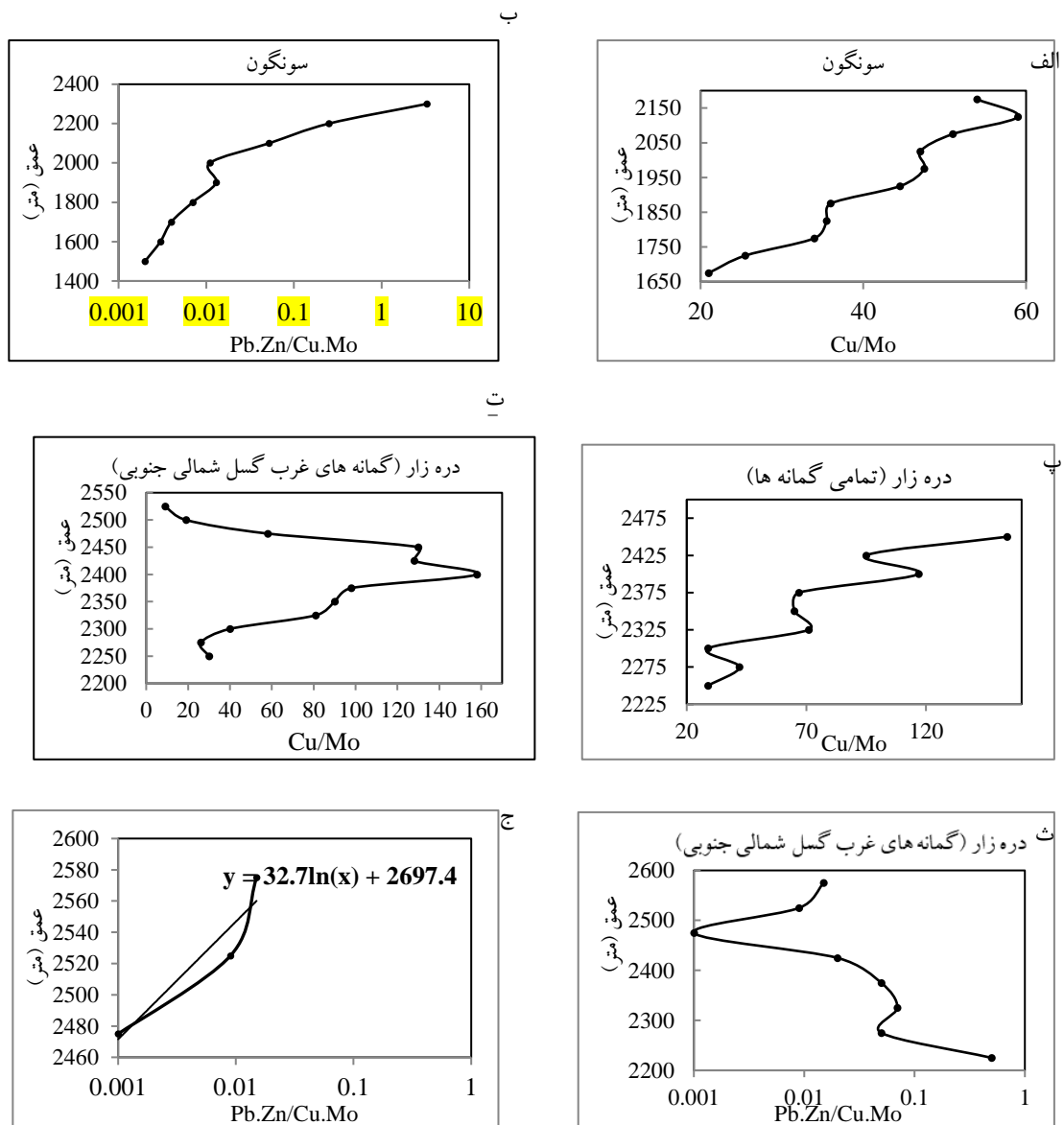
شکل ۷- نیمرخ عیاری شمالی - جنوبی از مس و مولیبدن در راستای عمق در استوک قائم سونگون. (محل نیمرخ در شکل ۲ ب نشان داده شده است).

لیتوزئوشیمیایی در کانسار سونگون از سطح به عمق مطابق ردیف زیر است (راست به چپ)

Upward: (Sr,Mo) – (Ba) – Bi – (Cu,Ag) – W – Co – Ni – Zn – Pb – Ba – B.

در ردیف بالا عناصر بور، باریم، سرب و روی بالاترین افقها و عناصر نقره، استرنسیم، مولیبدن، باریم و بیسموت پایین ترین افقها را به خود اختصاص داده اند.

یکی از مسایل مهم در بررسی زونالیته کانسارهای مس - مولیبدن پورفیری بررسی ردیف زونالیته کانسارهای با زونالیته مستقیم و مقایسه آن با ردیف زونالیته کانسارهای با زونالیته معکوس است. در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از برنامه زونالیته (ZONAL) ردیف زونالیته برای کانسار سونگون تعیین شد. این برنامه بر اساس مراکز ثقل هندسی نمودارهای نسبت زوج عناصر اقدام به تعیین جایگاه عناصر در ردیف زونالیته لیتوزئوشیمیایی می کند. ردیف زونالیته



شکل ۸- نمودار تغییرات شاخص‌های زونالیته نسبت به عمق، الف) Cu/Mo در استوک پورفیری سونگون، ب) $Pb.Zn/Cu.Mo$ در استوک پورفیری سونگون، پ و ت) Cu/Mo در استوک پورفیری دره زار، ث) $Pb.Zn/Cu.Mo$ در استوک پورفیری دره زار، ج) نمودار تخمین سطح فرسایش در استوک دره زار

با زونالیته مستقیم مطابقت نشان می‌دهد. در کانسار دره زار ردیف زونالیته از عمق به سطح به صورت زیر است. (از چپ به راست)

Upward: Zn-Pb-Cu-Ni-Mo

در این ردیف به دلیل کم شیب بودن استوک پورفیری دره زار، عناصر درجه حرارت پایینی مانند روی و سرب در پایین‌ترین و عمیق‌ترین افق‌ها و مولیبدن به عنوان یک عنصر درجه حرارت بالا در بالاترین افق‌ها قرار می‌گیرند و زونالیته

در انطباق با مدل جهانی کانسارهای مس مولیبدن پورفیری [۱۸] عنصر مولیبدن عمیق‌تر و پایین‌تر از مس قرار گرفته است. عناصر کبالت و نیکل در انطباق با مدل جهانی زونالیته کانسارهای مس-مولیبدن پورفیری با زونالیته مستقیم، بالاتر و حاشیه‌ای‌تر از مس و مولیبدن قرار گرفته و مرزهای بالایی و حاشیه‌ای استوک پورفیری با کانی‌زایی اقتصادی را مشخص می‌کنند (کمر بند پیریتی عناصر سیدروفیل). بطور کلی ردیف زونالیته در کانسار سونگون بطور کامل با ردیف زونالیته کلی کانسارهای مس مولیبدن پورفیری

دهنده کاهش مقدار این شاخص از ۱۵۴ تا ۲۹ است. بر خلاف آنچه که برای کانسار سونگون مشاهده شد، تغییرات شاخص Cu/Mo با افزایش عمق در کانسار مس پورفیری دره زار شکل مضرسی داشته است ولی به صورت کلی روند کاهش نسبی به عمق را نشان می‌دهد. نمودار تغییرات این شاخص با عمق در کانسار دره زار بیانگر این مطلب است که با توجه به روند تغییرات این شاخص، پایین‌ترین عمق قابل پیش‌بینی از جهت وجود کانی‌زایی اقتصادی مس پورفیری، تا ارتفاع مطلق ۲۲۰۰ متر است. بررسی الگوی پراکندگی عناصر در کانسار مس مولیبدن پورفیری دره زار نشان داد که در امتداد این دو گسل شرقی غربی و شمالی جنوبی بلوک‌های مختلف حرکات و جابه‌جایی‌های قائم و افقی داشته‌اند. در کانسار دره زار با استفاده از نمودار شاخص Pb.Zn/Cu.Mo می‌توان میزان فرسایش نسبی در بخش غربی گسل شمالی جنوبی را بدست آورد. با توجه به رابطه رگرسیون بدست آمده برای شاخص زونالیت، اختلاف سطح فرسایش نسبی برای دو طرف گسل شمالی - جنوبی حدود ۷۰ متر بدست می‌آید.

ردیف زونالیت لیتوژئوشیمیایی در کانسار سونگون از سطح به عمق مطابق ردیف زیر است (راست به چپ)

Upward: (Sr,Mo) (Ba) Bi (Cu,Ag) W Co Ni Zn Pb Ba B.

در ردیف بالا عناصر بور، باریم، سرب و روی بالاترین افق‌ها و عناصر نقره، استرنسیم، مولیبدن، باریم و بیسموت پایین‌ترین افق‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. در کانسار دره زار ردیف زونالیت از عمق به سطح به صورت زیر است. (از چپ به راست)

Upward: Zn-Pb-Cu-Ni-Mo

در این ردیف به دلیل کم شیب بودن استوک پورفیری دره زار، عناصر درجه حرارت پایینی مانند روی و سرب در پایین‌ترین و عمیق‌ترین افق‌ها و مولیبدن به عنوان یک عنصر درجه حرارت بالا در بالاترین افق‌ها قرار می‌گیرند و زونالیت معکوس را به نمایش می‌گذارد. با استفاده از ردیف‌های زونالیت بدست آمده در سونگون و دره زار می‌توان شاخص‌های زونالیت درجه اول، درجه دوم و درجه سوم که بطور پیوسته با عمق کاهش‌دهنده را در این دو کانسار تعیین کرد و مقادیر کمی آن‌ها را در مناطق همجوار برای ارزیابی کانی‌زایی پنهان مورد استفاده قرار داد.

معکوس را به نمایش می‌گذارد. بطور کلی ردیف زونالیت در کانسارهای مس - مولیبدن پورفیری با زونالیت معکوس به صورت زیر است [۳].

Upward: Ag-Zn-Cu-Mo

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی سطحی در میدان‌های معدنی مس پورفیری دره زار و سونگون نقشه‌های هم‌عیار مس و مولیبدن بیشتر به بخش‌های مرکزی میدان لیتوژئوشیمیایی و نقشه‌های هم‌عیار سرب و روی بیشتر مناطق حاشیه‌ای این میدان‌ها را اشغال کرده‌اند. از طرف دیگر نقشه‌های هم‌مقدار شاخص زونالینه (Pb.Zn)/(Cu.Mo) با ظرافت و دقت بالاتری بخش‌های مرکزی را از مناطق حاشیه‌ای جدا کرده و از طرف دیگر عملکرد گسل‌ها را در ارتباط با سطح فرسایش بخش‌های مختلف استوک پورفیری دره زار و سونگون به نمایش می‌گذارد. در مورد داده‌های چند عنصری سطحی میدان لیتوژئوشیمیایی سونگون، نقشه‌های هم‌عیار عناصر اصلی و معرف و همچنین نقشه‌های هم‌مقدار شاخص زونالینه (Pb.Zn)/(Cu.Mo)، شکل استوک پورفیری سونگون را به صورت کشیده و در راستای شرقی غربی نشان می‌دهد که در سمت غرب به زیر رسوبات رفته و توده معدنی کور را نشان می‌دهد و احتمالاً در بخش شرقی و به سمت آبراهه سونگون چای نیز گسترده شده است که داده‌های این قسمت در اختیار نیست.

با توجه به مقاطع شرقی غربی رسم شده از استوک مس مولیبدن پورفیری دره زار و سونگون، استوک پورفیری دره زار از نوع کم شیب است در حالی که استوک پورفیری سونگون از نوع قائم است و در آن مولیبدن عمیق‌تر از مس قرار گرفته است. این مساله چنان که از نمودارهای شاخص‌های زونالیت بر می‌آید نقش مهمی در نحوه تغییرات این شاخص‌ها با عمق ایفا می‌کند. در کانسار مس - مولیبدن پورفیری سونگون، شاخص زونالیت Cu/Mo از ۶۰ در بخش‌های خارجی و فوقانی کانسار تا ۲۰ در عمیق‌ترین بخش‌های حفاری شده و قابل دسترسی تغییر می‌کند. رگرسیون این شاخص برای رسیدن به مقدار ۳ تا ۵ در افق‌های پایین‌تر می‌توان انتظار کانی‌زایی مولیبدن مس را تا ارتفاع مطلق ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ متری البته با تکیه بیشتر بر کانی‌زایی مولیبدن داشت. در کانسار مس پورفیری دره زار نمودار تغییرات این شاخص با عمق نشان-

منابع

- zonality index model integrated with multivariate fractal analysis: epithermal gold deposits”, *Geopersia*, 12(2), pp.379-394.
- [10] Derakhshani, R.; Abdolzadeh, M.; 2009; “Geochemistry, mineralization and alteration zones of Darrehzar porphyry copper deposit, Kerman, Iran”, *Journal of Applied Sciences*, 9(9), pp.1628-1646.
- [11] Grigoryan, S.V.; 1974; “Primary geochemical halos in prospecting and exploration of hydrothermal deposits”, *International Geology Review*, 16(1), pp.12-25.
- [12] Harraz, H.Z.; 1995; “Primary geochemical haloes, El Sid gold mine, eastern Desert, Egypt”, *Journal of African Earth Sciences*, 20(1), pp.61-71.
- [13] Harraz, H.Z.; Hamdy, M.M.; 2015; “Zonation of primary haloes of Atud auriferous quartz vein deposit, Central Eastern Desert of Egypt: A potential exploration model targeting for hidden mesothermal gold deposits”, *Journal of African Earth Sciences*, 101, pp.1-18.
- [14] Heidari, S.M.; Afzal, P.; Ghaderi, M.; Sadeghi, B.; 2021; “Detection of mineralization stages using zonality and multifractal modeling based on geological and geochemical data in the Au-(Cu) intrusion-related Gouzal-Bolagh deposit, NW Iran”, *Ore Geology Reviews*, 139, p.104561.
- [15] Hezarkhani, A.; 2006; “Petrology of the intrusive rocks within the Sungun porphyry copper deposit, Azerbaijan, Iran”, *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(3), 326-340.
- [16] Hronsky, J.M.A.; Groves, D.I.; 2008; “Science of targeting: Definition, strategies, targeting and performance measurement. Aust”, *J. Earth Sci.*, 55, 3-12.
- [17] Kamali, A.; Moayyed, M.; Amel, N.; Hosainzadeh, M. R.; 2017; “Mineral chemistry and geochemistry of lamprophyric dykes in the Sungun Cu-Mo porphyry deposit (Varzaghan-Northwestern Iran), *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 26(102), 73-90.
- [18] Kudriatsef, D.I.; 2014; “REE exploration Institute, Moscow, Instruction of lithochemical exploration methods for Cu_Mo porphyry deposits”, in Russian
- [1] بیگ‌مرادی، ه.؛ رحیمی‌پور، غ. ر.؛ شهریاری، ه.؛ اسفندیار پور، ا.؛ بنی‌اسدی شهربابکی، ع.؛ ۱۴۰۲؛ «بررسی تغییرات عیار مس و مولیبدن و شاخص زونالیت‌ه Cu/Mo در استوک پورفیری، معدن مس سرچشمه و پروفیل شماره ۲۶۰۰، چهارمین کنفرانس ملی داده کاوی در علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک، دانشکده مهندسی علوم زمین.
- [۲] حسن‌زاده، ف.؛ شمس‌الدینی، م.؛ رحیمی‌پور، غ. ر.؛ ۱۴۰۰؛ «مقایسه شاخص‌های منطقه‌بندی در تعیین موقعیت توده معدنی مس پورفیری درآلو، جنوب استان کرمان»، دوره ۱۶، شماره ۵۲، ۵۱ تا ۶۲.
- [۳] حسینی‌پاک، ع.ا.؛ ۱۳۹۴؛ «اصول اکتشافات ژئوشیمیایی»، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۵ ص.
- [4] Abbaszadeh, M.; Hezarkhani, A.; Soltani-Mohammadi, S.; 2013; “An SVM-based machine learning method for the separation of alteration zones in Sungun porphyry copper deposit”, *Geochemistry*, 73(4), 545-554
- [5] Asadi, S.; Moore, F.; Zarasvandi, A.; 2014; “Discriminating productive and barren porphyry copper deposits in the southeastern part of the central Iranian volcano-plutonic belt, Kerman region, Iran”, a review. *Earth-Science Reviews*, 138, pp.25-46.
- [6] Atapour, H.; 2017; “The exploration significance of Ag/Au, Au/Cu, Cu/Mo, (Ag× Au)/(Cu× Mo) ratios, supra-ore and sub-ore halos and fluid inclusions in porphyry deposits”, a review. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 28(2), pp.133-146.
- [7] Aliyari, F.; Afzal, P.; Lotfi, M.; Shokri, S.; Feizi, H.; 2020; “Delineation of geochemical haloes using the developed zonality index model by multivariate and fractal analysis in the Cu-Mo porphyry deposits”, *Applied Geochemistry*, 121, p.104694.
- [8] Alizadeh Sevari, B.; Hezarkhani, A.; 2014; “Hydrothermal evolution of Darrehzar porphyry copper deposit, Iran: evidence from fluid inclusions”, *Arabian Journal of Geosciences*, 7, pp.1463-1477.
- [9] Daneshvar Saein, L.; Afzal, P.; Shahbazi, S.; Sadeghi, B.; 2022; “Application of an improved

Geology, Islamic Azad University, Mashad Branch, Iran.

[27] Soltani, F.; Afzal, P.; Asghari, O.; 2013; "Sequential Gaussian simulation in the Sungun Cu porphyry deposit and comparing the stationary reproduction with ordinary kriging", *Universal Journal of Geoscience*, 1(2), pp.106-113.

[28] Solovov, A. P.; 1966; "parameters of the primary halo of an endogenous deposits an sssr", *Geologiya Rudnykh Mestorozh.*, no. 3.

[29] Talesh Hosseini, S.; Asghari, O.; Torabi, S. A.; Abedi, M.; 2020; "An optimum selection of simulated geological models by multi-point geostatistics and multi-criteria decision-making approaches; a case study in Sungun porphyry Cu deposit", *Iran. Journal of Mining and Environment*, 11(2), 481-503.

[30] Timkin, T.; Abedini, M.; Ziaii, M.; Ghasemi, M.R.; 2022; "Geochemical and hydrothermal alteration patterns of the abrisham-rud porphyry copper district, semnan province", *Iran. Minerals*, 12(1), p.103.

[31] Urqueta, E.; Kyser, T.K.; Clark, A.H.; Stanley, C.R.; Oates, C.J.; 2009; "Lithochemistry of the Collahuasi porphyry Cu-Mo and epithermal Cu-Ag (-Au) cluster, northern Chile: Pearce element ratio vectors to ore", *Geochemistry*, 9(1), p.9.

[32] Yongqing, C.; Jingning, H.; Zhen, L.; 2008; "Geochemical characteristics and zonation of primary halos of Pulang porphyry copper deposit, Northwestern Yunnan Province, Southwestern China", *Journal of China University of Geosciences*, 19(4), pp.371-377.

[33] Ziaii, M.; Carranza, E.J.M.; Ziaei, M.; 2011; "Application of geochemical zonality coefficients in mineral prospectivity mapping", *Computers & geosciences*, 37(12), pp.1935-1945.

[34] Zuo, R.; Wang, J.; Chen, G.; Yang, M.; 2015; "Identification of weak anomalies: A multifractal perspective", *J. Geochem. Explor.* 2015, 148, 12-24.

language.

[19] Murakami, H.; Seo, J.H.; Heinrich, C.A.; 2010; "The relation between Cu/Au ratio and formation depth of porphyry-style Cu-Au±Mo deposits", *Mineralium Deposita*, 45, pp.11-21.

[20] Nurmi, P.A., 1985; "Lithochemistry in exploration for Proterozoic porphyry-type molybdenum and copper deposits, southern Finland", *Journal of Geochemical Exploration*, 23(2), pp.163-191.

[21] Ovchinnikov, L.N. and Grigorian, S.V., 1970. "Regularities in the Composition and Structure of Primary Geochemical Haloes of Sulfide Deposits". In *Nauchnye Osnovy Geokhimicheskikh Metodov Poiskov Glubokozalegayushchikh Rudnykh Mestorozhdeniy*, Part I (pp. 3-36). Irkutsk: II Session of SPGM.

[22] Parsapoor, A.; Khalili, M.; Maghami, M.; 2017; "Discrimination between mineralized and unmineralized alteration zones using primary geochemical haloes in the Darreh-Zar porphyry copper deposit in Kerman, southeastern Iran", *Journal of African Earth Sciences*, 132, 109-126.

[23] Rose, W.R.; Hawkes, H.E.; Webb, J.S.; 1979; "Geochemistry in Mineral Exploration", Academic Press.

[24] Grigoryan, S.V.; 1974; "Primary geochemical halos in prospecting and exploration of hydrothermal deposits", *International Geology Review*, 16(1), pp.12-25.

[25] Safari Sinegani, S.; Ziaii, M.; Ghoorchi, M., Sadeghi, M.; 2018; "Application of concentration gradient coefficients in mining geochemistry: A comparison of copper mineralization in Iran and Canada", *Journal of Mining and Environment*, 9(1), 277-292.

[26] Salehian, M.; Ghaderi, M.; 2010; "Alteration and mineralization at Daralu Porphyry Copper Deposit, South of Kerman, Southeast Iran", In *The 1st International Applied Geological Congress Department of*