FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume 10, Number 2, Summer, (2025)

Journal Homepage: www.jess.ir
Print ISSN: 2588-6851 Online ISSN: 2645-520X

Evaluating the Results of Geochemical data obtained from the Polymetal Deposit (case study: Kahdalan region, East Azarbaijan province)

Morteza Mamloki[1*]

*1. M.Sc. Department Of Mining Engineering, Islamic Azad University Of Tehran, Tehran, Iran
*Email Address: Morteza_mamlouki@yahoo.com

Article Info

Article Type:
Research Paper

Article History:

Received Date:
2024/07/29
Revised Date:
2024/08/09
Accepted Date:
2024/08/20
Published Date:
2025/07/30

Keywords:
Deposit,
Polymetal,
Geochemical,
Copper,
Geology,
Kahdalan.

ABSTRACT

Accurate evaluation of geochemical data obtained from mineral discoveries is a vital step towards a better understanding of the mineral potential of an area and determining the grade and expansion of the deposit. In this research, a comprehensive review and evaluation of the geochemical data obtained from the discoveries of the polymetal deposit in the Kahdalan area of East Azarbaijan province is discussed. Therefore, Kahdalan polymetal deposit is known as one of the promising mining areas in East Azarbaijan province. Geochemical explorations in this area have been carried out with the aim of identifying mineral potential areas and determining the extent and grade of mineralization. In this research, the results of these discoveries have been comprehensively examined and evaluated. In this research, the geochemical data obtained from soil and rock sampling in the Kahdalan area have been used. After performing the chemical analysis, the data were processed and interpreted using specialized software. Various statistical and geostatistical methods have been used to identify anomalies and draw element distribution maps. Significant geochemical anomalies of polymetallic elements, such as copper and lead, have been identified in the Kahdalan region. The distribution of these elements is directly related to the geological patterns of the region. Polymetallic mineralization is mainly associated with alteration zones and faults. The results of this research indicate the high potential of the Kahdalan area to host polymetal deposits. The identified geochemical anomalies indicate promising areas for additional exploration studies such as drilling and geophysics. Considering the economic importance of polymetal deposits, conducting more comprehensive studies in this area can lead to the discovery of new mineral deposits. Due to the rough topography of Kohdlan region, sampling was done irregularly and from geologically and tectonically prone areas. In order to make the anomaly maps of the elements more accurate and to know their distribution in the mother rock, it is suggested to design a more regular sampling network for lithogeochemical studies.

Cite this article: Morteza Mamloki (2025). Evaluating the Results of Geochemical data obtained from the Polymetal Deposit (case study: Kahdalan region, East Azarbaijan province) , Journal of Environmental Sciences Studies , 10(2) , Pages 10135 – 10146.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Copper deposits and signs of copper in Iran are closely related to magmatic complex younger than the Cretaceous. The general characteristics of these deposits are; A- Most of the copper deposits and mineral features in Iran belong to the Tershiri. B- Copper deposits and mineral signs are very rare in association with Cretaceous and older rocks. C- There is a definite relationship between copper deposits and mineralogical characteristics in Iran and igneous rocks, especially volcanic and semi-deep rocks with Eocene to Miocene age, with intermediate to acidic amalgamation. D- The variety of mineralization and temperature of formation of copper minerals is very wide. E- Mineral formation in the host rocks is veined, compacted, disseminated and scarified (Mohammadi et al., 1389; Khoei et al., 1387). In other words, geochemical exploration of waterway sediments is the recording of secondary auras, which is one of the most important exploration techniques.

Materials and methods

Kahdalan region is located in the south-west of Sarab city in East Azarbaijan province, north-west of Iran. This area is part of the northern part of the Urmia-Dokhtar magmatic zone and is part of the Tarem-Hashjin metallogenic belt. Kahdalan area is part of Ahar or Ahar-Jolfa metallurgical axis, which is different from other regions of Azerbaijan in terms of magmatic activity, mineralization and intensity of alteration. This metallurgical axis is one of the most precious metallurgical areas of Iran and it is comparable to Kerman region from the point of view of magmatic activity. But local changes are seen in the areas where phase C magmatism has been active, and these local changes are generally fertile and different from extensive changes. Geology of the study area: The Karachaman-Turkmenchai range is structurally considered to belong to the Urmia-Dokhtar zone, which is characterized by extensive Paleogene and Neogene volcanic-intrusive activities. The exploratory area of Kohdlan area is located in the middle 1:250000 sheet. Therefore, knowing the existing lithological units in the areas around the deposit helps to know the geology and technical condition of the exploration area. In terms of stratigraphy, the deposits in the area generally belong to the Eocene and later, and there are no rocks older than the Eocene in the investigated area.

Results and discussion

After proper filing, all raw data have been statistically analyzed by SPSS software. First, for each of the variables, their frequency histogram has been drawn. The table of statistical parameters of the studied variables in the region based on raw data is given in the appendices section. In this table, there are 13 statistical parameters including the number of samples used in the analysis, the number of samples not considered, mean, median, mode, standard deviation, skewness, skewness, Min, Max and values such as 25%, 50% and 75%. Abundance is given. where 50% frequency is equivalent to the median. Therefore, a total of 12 parameters are given in the above table for each variable. The abundance histogram of Cu: copper has an abnormal distribution and the maximum abundance is seen in low grades. And two stages of separation can be seen at 2% and 4%. Figure (4). Ag abundance histogram: Silver has a non-normal distribution and the highest abundance of this element corresponds to the lowest grade. Figure (5). The abundance histogram of Zn: Zn has a non-normal distribution and two stages of separation can be seen in the distribution. In this distribution, the highest frequency corresponds to the lowest grade. Figure (6). Pb abundance histogram: Pb has a close to normal distribution. And the grade close to 5ppm has the most abundance. Figure (7).

Conclusion

Considering the importance of this area in terms of mineral potential, detailed analysis of these data can be very useful for future exploration and mining plans. The importance of geochemistry in mineral exploration is because geochemistry studies the distribution of chemical elements in rocks, soils, waters and living organisms. In mineral exploration, geochemical analysis is used to identify areas with elemental anomalies that can indicate the presence of mineralization. Geochemical data provide us with valuable information about the type of mineralization, the size and shape of the deposit, as well as the geological processes involved in the formation of the deposit. Due to the rough topography of Kohdlan region, sampling was done irregularly and from geologically and tectonically prone areas. In order to make the anomaly maps of the elements more accurate and to know their distribution in the mother rock, it is suggested to design a more regular sampling network for lithogeochemical studies.

مجله مطالعات علوم محیط زیست
جلد ۱۰، شماره ۲
Journal Homepage:www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی: 2645-520X

FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

ارزیابی نتایج داده‌های ژئوشیمیایی به دست آمده از کانسار پلی متال (مطالعه موردی: منطقه کهدلان، استان آذربایجان شرقی)

مرتضی مملوکی [۱*]

*۱- کارشناس ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، تهران، ایران
*ایمیل نویسنده مسئول: Morteza_mamlouki@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۵/۰۸
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۵/۱۹
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۵/۳۰
تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۰۵/۰۸

کلید واژه ها:
کانسار،
پلی متال،
ژئوشیمیایی،
مس،
زمین‌شناسی،
کهدلان.

چکیده

ارزیابی دقیق داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از اکتشافات معدنی، گامی حیاتی در جهت درک بهتر پتانسیل معدنی یک منطقه و تعیین عیار و گسترش کانسار است. در این پژوهش، به بررسی و ارزیابی جامع داده‌های ژئوشیمیایی بدست آمده از اکتشافات کانسار پلی متال در منطقه کهدلان استان آذربایجان شرقی پرداخته می‌شود. بنابراین کانسار پلی متال کهدلان به عنوان یکی از مناطق امیدبخش معدنی در استان آذربایجان شرقی شناخته می‌شود. اکتشافات ژئوشیمیایی در این منطقه با هدف شناسایی مناطق پتانسیل‌دار معدنی و تعیین گسترش و عیار کانی‌سازی انجام شده است. در این پژوهش، نتایج حاصل از این اکتشافات به طور جامع مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در این پژوهش از داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از نمونه‌برداری خاک و سنگ در منطقه کهدلان استفاده شده است. پس از انجام آنالیزهای شیمیایی، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی پردازش و تفسیر شده‌اند. روش‌های آماری و زمین‌آماری مختلفی برای شناسایی آنومالی‌ها و ترسیم نقشه‌های پراکندگی عناصر به کار رفته است. آنومالی‌های ژئوشیمیایی قابل توجهی از عناصر پلی متال مانند مس، سرب، در منطقه کهدلان شناسایی شده است. پراکندگی این عناصر با الگوهای زمین‌شناسی منطقه ارتباط مستقیم دارد. کانی‌سازی پلی متال عمدتاً با زون‌های دگرسانی و گسل‌ها مرتبط است. نتایج این پژوهش حاکی از پتانسیل بالای منطقه کهدلان برای میزبانی از کانسارهای پلی متال است. آنومالی‌های ژئوشیمیایی شناسایی شده، مناطق امیدبخشی را برای انجام مطالعات اکتشافی تکمیلی مانند حفاری و ژئوفیزیک مشخص می‌نماید. با توجه به اهمیت اقتصادی کانسارهای پلی متال، انجام مطالعات جامع‌تر در این منطقه می‌تواند منجر به کشف ذخایر جدید معدنی شود. با توجه به این که منطقه کهدلان به دلیل توپوگرافی خشن نمونه برداری به صورت نامنظم و از مناطق مستعد زمین شناسی و تکتونیکی انجام گرفت. به منظور دقیق‌تر شدن نقشه های ناهنجاری عناصر و شناخت توزیع آن در سنگ مادر طراحی شبکه نمونه برداری منظم تر برای مطالعات لیتوژئوشیمیایی پیشنهاد می گردد.

ناشر: انتشارات فن پایا

DOI: 10.22034/jess.2024.470361.2282

۱-مقدمه

کانسارها و نشانه‌های معدنی مس در ایران عمدتاً به مجموعه ماگمایی جوان‌تر از کرتاسه، به ویژه دوره ترشیری، وابسته هستند. این کانسارها معمولاً در ارتباط با سنگ‌های آتشفشانی و نیمه عمیق با سن ائوسن تا میوسن، با ترکیب شیمیایی حدواسط تا اسیدی یافت می‌شوند. وابستگی کانسارهای مس به سنگ‌های کرتاسه و قدیمی‌تر بسیار نادر است. تنوع کانی‌سازی و دمای تشکیل کانی‌های مس در این کانسارها بسیار گسترده بوده و کانی‌سازی به صورت رگه‌ای، فشرده، افشان و اسکارنی در سنگ‌های میزبان رخ داده است. به عبارتی دیگر اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای همان ثبت هاله‌های ثانوی است که یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های اکتشافی می‌باشد. این اکتشافات اغلب یا حتی به طور انحصاری در بررسی‌های مقدماتی اکتشافی در حوضه‌های آبریز تحت شرایط آب و هوایی گوناگون بویژه با بارندگی متوسط مورد استفاده قرار می‌گیرد. امتیازی که روش بررسی رسوبات رودخآن‌های دارد این است که در محیط‌های هوازده بسیاری از کانی‌ها بویژه انواع سولفوری، ناپایدار بوده و در اثر اکسیداسیون و سایر واکنش‌های شیمیایی تجزیه می‌شوند . این امر در پراکندگی هر چه بیش‌تر کانی‌ها و عوامل معرف آن‌ها در محلول‌ها نقش با اهمیتی را ایفا می‌نماید به طوری که گاه حمل و نقل آن‌ها تا مسافت نسبتا دوری در حوضه آبریز ادامه می‌یابد. این انتقال و پراکنش عناصر به قابلیت تحرک و فعالیت آن‌ها در محیط ژئوشیمیایی بستگی دارد. با این حال این روش یک منطق اصل و دائمی است و آن نمونه رسوبات آبراهه‌ای ترکیبی از مواد فرسایش یافته از سنگ‌های بالادست است لذا وجود آنومالی در این رسوبات حاکی از وجود یک منبع پر عیار در قسمت‌های بالادست را دارد. تاکنون مطالعاتی زیادی در رابه با ارزیابی کانسارهای پلی متال در با استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی انجام شده است برای مثال، محمدی و همکاران (۱۳۸۹)، در پژوهشی به بررسی نتایج داده‌های ژئوشیمیایی بر روی نمونه‌های بدست آمده از کانسار پلی‌متال مسکنی در منطقه انارک پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین عناصر اورانیوم، توریم، نیکل، و مس به ترتیب ۲۷۷، ۲۵، ۶۴۲، ۹۱۳۰ است. نسبت Th/U کم‌تر از ۱ و در حدود ۰/۰۹۳ تخمین زده شد، این عدد نشان می‌دهد که میزان بالای اورانیوم در این سنگ‌ها در ارتباط با تفریق ماگمایی نیست. برخلاف نمونه‌های رگه‌ای، همبستگی بین تغییرات اورانیوم، مس و نیکل در نمونه‌های سنگ میزبان وجود ندارد. عرفان و همکاران (۱۳۹۳)، با هدف ویژگی‌های ژئوشیمیایی اندیس پلی متال آفتابرو انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که آنالیز ژئوشیمیایی حاصل از ۱۵۰ نمونه سنگی از ۱۸ ترانشه نشان از مشابهت این تیپ کانی‌سازی با کانی سازی‌های کانسارهای Iron –Oxides Cu-IOCG)Au) در دیگر نقاط جهان دارد. همچنین پس از انجام آمار پایه و محاسبه حد آستانه عناصر به کمک آماره انفصال، آنالیز فاکتوری با یک مدل سه فاکتوری ۷۳ درصدی تغییرپذیری را پوشش داد و نوع کانی سازی IOCG را تایید نمود. نظریان و همکاران (۱۴۰۰)، در پژوهشی به منظور تحلیل سنگ نگاری، ژئوشیمی و جایگاه زمین ساختی سنگ‌های آتشفشانی در معدن پلی متال چومالو در شمال باختر زنجان مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده این بود که در نمودار عناصر بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی، غنی‌شدگی عناصر LILE و تهی‌شدگی عناصر HFSE مشاهده شد که منطبق با ماگماتیسم در زون فرورانش است. همچنین مطالعات ژئوشیمیایی یک ماگما اولیه را برای منشا واحدهای آتشفشانی پیشنهاد کرد که از ذوب بخشی گوشته سنگ کره‌ای متاسوماتیسم شده در ارتباط با کمان فرورانش تشکیل شده و تحت تاثیر تفریق بلوری و آلودگی با مواد پوسته‌ای طی تحولات ماگمایی قرار گرفته است. نوریان رامشه و همکاران (۱۴۰۳) نیز در پژوهشی به بررسی کانی سازی اورانیوم در گرانیتوئیدهای محدوده چاه جوله، ایران مرکزی و راهکارهای زیست محیطی آن پرداختند و به این نتیجه رسیدند استخراج اورانیوم به ویژه در شرایط آب و هوای خشک و زهکشی ضعیف حاکم بر محدوده چاه چوله می تواند پیامدهای زیست محیطی داشته باشد و اقدامات زیست محیطی برای جلوگیری از آلودگی باید انجام شود. کانسار پلی متال کهدلان، به عنوان یکی از ذخایر معدنی مهم در استان آذربایجان شرقی، از نظر اقتصادی و علمی حائز اهمیت است. داده‌های ژئوشیمیایی به دست آمده از این کانسار، حاوی اطلاعات ارزشمند و مفیدی در مورد فرایندهای زمین شناسی، ترکیب کانی‌شناسی، منشا کانی سازی و پتانسیل معدنی منطقه هستند. با این حال، برای استخراج حداکثری اطلاعات از این داده‌ها و تفسیر دقیق آن‌ها نیاز به یک مطالعه جامع و دقیق ژئوشیمیایی است. بنابراین تعیین منشا کانی‌سازی پلی متال در کهدلان به درک بهتر فرایندهای زمین‌شناسی منطقه و امکان پیش بینی مناطق مستعد کانی سازی مشابه کمک می‌کند. از طرفی پتانسیل معدنی منطقه باعث می‌شود تا با برنامه ریزی بهتر برای اکتشاف و استخراج ذخایر معدنی کمک شایانی کند. همچنین ساخت مدل‌های ژئوشیمیایی به پیش بینی پراکنش عناصر در منطقه و ارزیابی بهتر پتانسیل معدنی کمک می‌کند. از دیگر نکات قابل توجهی که می‌توان بدان توجه کرد ارزیابی اثرات زیست محیطی فعالیت‌های معدنی به کاهش اثرات منفی این فعالیت‌ها بر محیط زیست کمک می‌کند. لذا استفاده از نتایج این پژوهش به توسعه پایدار معدنکاری در منطقه کمک می‌کند. بنابراین با توجه به مطالب ذکرشده هدف از این پژوهش ارزیابی نتایج داده‌های ژئوشیمیایی به دست آمده از کانسار پلی متال در منطقه کهدلان می‌باشد.

۲-روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

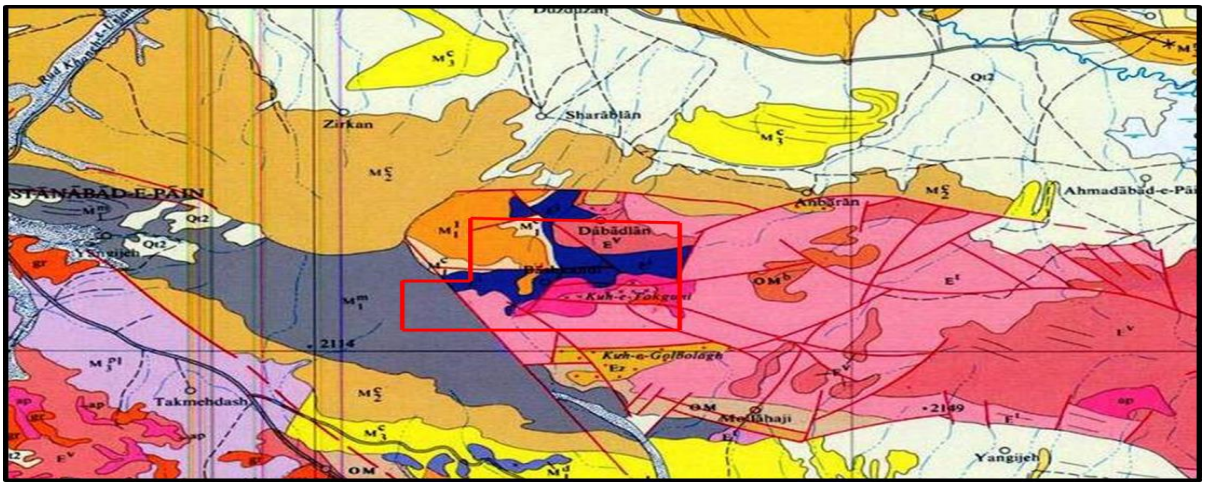
منطقه کهدلان در جنوب باختری شهرستان سراب در استان آذربایجان شرقی، شمال باختری ایران قرار دارد. این منطقه بخش از شمال پهنه ماگمایی ارومیه دختر و در کمربند فلززایی تارم هشجین به شمار می‌رود. محدوده کهدلان بخش از محور فلززایی اهر یا اهر جلفا به شمار می‌رود که از نظر فعالیت ماگمایی، کانه‌زایی و شدت دگرسانی با مناطق دیگر آذربایجان متفاوت است. این محور فلززایی از گرانبهاترین پهنه‌های فلززایی ایران بوده و از دیدگاه فعالیت ماگمایی قابل مقایسه با منطقه کرمان است. محور فلززایی اهر جلفا بعد از کرمان مستعدترین منطقه کانی سازی مس در ایران است. در این محور دگرسانی چشمگیر به صورت یک دگرسانی گسترده یا دگرسانی ناحیه‌ای ناباور است. اما دگرسانی‌های موضعی در محدوده‌هایی که ماگماتیسم فاز C فعال بوده است دیده می‌شوند که این دگرسانی‌های موضعی عموما بارور هستند و با دگرسانی گسترده متفاوتند .

- **روش پژوهش**
- **زمین ریخت شناسی منطقه مورد مطالعه**

محدوده اکتشافی درغرب رشته کوه بزگوش قرار گرفته است. کوه‌های بزگوش با راستای شرقی- غربی به صورت دیوار بلندی در شمال محدوده اکتشافی کشیده شده و دو جلگه سراب در شمال و میانه و بستان آباد در جنوب را از هم جدا می‌کند. این کوهستان از شرق به ارتفاعات چهل نور، کوه‌های کیوی و خلخال و از طرف غرب با واسطه دره شهرچای به دامنه‌های شمال شرق سهند می‌رسد. طول رشته کوه بزگوش ۱۲۰ کیلومتر و پهنای آن ۴۵ کیلومتر است و بلندترین قله آن، ۳۳۰۴ متر ارتفاع دارد. رشته کوه‌های بزگوش سرچشمه بسیاری از رودخانه‌های این شهرستان از جمله گرمی‌چای، شهرچای و قوری‌چای است. از دیدگاه ریخت‌شناسی، می‌توان محدوده مطالعاتی را به دو بخش کوهستانی و کوهپایه‌ای طبقه‌بندی کرد. بخش کوهستانی در شمال قرار دارد که به ارتفاعات بزگوش می‌رسد، در حالی که در جنوب به صورت کوه‌پایه‌ای و تپه ماهوری است و دشت‌های کشاورزی بر روی آن قرار دارد. اختلاف ارتفاع بین بلندترین نقطه محدوده (۲۲۴۰ متراز سطح آب‌های آزاد، در شمال محدوده) تا پست‌ترین نقطه (۱۸۰۰ متر، در جنوب شرق محدوده) به ۴۴۰ متر می‌رسد.

- **زمین شناسی منطقه مورد مطالعه**

گستره قره‌چمن ترکمن‌چای از نظر ساختاری متعلق به زون ارومیه دختر محسوب می‌شود که توسط فعالیت‌های آتشفشانی نفوذی گسترده پالئوژن و نئوژن مشخص می‌گردد. محدوده اکتشافی محدوده کهدلان در برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ میانه قرار دارد. از این رو، شناخت واحد سنگ‌شناسی موجود در مناطق اطراف کانسار کمک شایان توجهی به شناخت زمین‌شناسی و وضعیت تکونیکی محدوده اکتشافی می‌نماید. ازلحاظ چینه شناسی نهشته‌های موجود در منطقه به طور کلی متعلق به ائوسن به بعد بوده و سنگ‌های قدیمی‌تر از ائوسن در محدوده مورد بررسی برونزد ندارند (شکل ۱).



شکل ۱. تصویری بریده شده از نقشه های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ میانه و موقعیت محدوده اکتشافی (شش ضلعی ABCDEF) بر روی آن(بدون مقیاس)

الف- واحدهای ائوسن: قدیمی‌ترین واحد از نظر زمین‌شناسی که در این منطقه دیده می‌شود یک سری از سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی شامل تناوبی از توف و توف برش‌های اسیدی و گدازه‌های آندزیت بازالتی می‌باشد (E^t_1). مرز زیرین این واحد با دقت مشخص نیست، ولی قسمت بالای آن همبری عادی به وسیله یک سری گدازه لاتیتی و آندزیت بازالتی پوشیده می‌شود. در توف‌های اسیدی تا متوسط و گدازه‌های این واحد آثار پراکنده پیریت مشاهده می‌شود. نمونه‌های توف بر روی واحد (E^t_1) به طور عادی گدازه و برش به رنگ بنفش خاکستری (E^{va}_2) قرار می‌گیرد. در درون این واحد میان لایه‌های توفی خاکستری و توف ماسه‌ای قرمز آجری مشاهده می‌شود. در شکستگی‌های این واحد آثار کانی‌سازی و کانی‌هایی مانند پیریت و به مقدار اندک کالکوپیریت دیده می‌شود. در مرز جنوبی منطقه، این گدازه‌ها عموماً به وسیله سنگ‌های نفوذی پس از ائوسن قطع گردیده است. واحد E^{vl}_2 دارای گسترش ناچیز و شامل تناوبی از برش و توف خاکستری بنفش و قرمز با گدازه‌های لایه‌ای شکل نازک ایگنمبریت می‌باشد. در برش‌ها و گدازه‌ها حالت جریانی به خوبی دیده می‌شود و یک ترکیب شیمیایی اسیدی را مشخص می‌سازد. بررسی ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی این واحد معلوم می‌دارد که ترکیب آن‌ها داسیتی است، ولی برخی سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب تراکی آندزیتی نیز حضور دارند. واحد ایگنمریتی (E^l_3) شامل برش و گدازه ایگنمبریت است و از کانی‌های فراوان کوارتز، فلدسپات (نسبتا درشت هستند)، پلاژیوکلاز و کانی‌های تیره مانند اکسید آهن تشکیل شده‌اند. ترکیب ژئوشیمیایی ایگنمبریت‌ها عمدتاً تراکیتی می‌باشد. لاتیت مگاپورفیری تراکی آندزیت با بافت پورفیریتیک (E^v_4) دارای پلاژیوکلازهای بزرگ است. این سنگ‌ها در سطح هوازده هستند و مناطقی که زیر تاثیر سیال‌های گرمابی ناشی از تودههای گرانیتی قرار گرفته‌اند، دگرسان شده و به رنگ سفید، زرد و بنفش در آمده‌اند. کانی‌های حاصل از دگرسانی این واحد عبارتند از: کائولینیت فلدسپات و کوارتز و چند کانی دیگر از گروه سیلیکات‌های ورقه‌ای، برونزد اصلی این واحد در پیرامون مونزونیت گرانیت قره تپه می‌باشد. واحد (E^a_5) که برونزد عمده آن پس از تونل اول جاده تبریز- میانه دیده می‌شود، بیش‌تر بازالتی و آندزیت بازالتی می‌باشد. بافت سنگ پورفیریتیک با زمینه میکرولیتی بوده و به صورت ستون‌های منشوری واحد E^{va}_2 را قطع نموده است. ب- واحدهای اولیگوسن: واحدهایی که به اولیگوسن نسبت داده می‌شود به دو دسته قابل تقسیم هستند. یک سری وابسته به سنگ‌های نفوذی بوده و سری دیگر سنگ‌های اسیدی خروجی با مقدار کمی رسوب‌های توفی و توف ماسه‌ای است که به طور محلی دیده می‌شوند. این واحدها عبارتند از: اولیگوسن با یک سری سنگ‌های توف ماسه‌ای، ماسه‌سنگی با توف‌های سفید رنگ به همراه میان لایه‌های سنگ آهک ماسه‌ای (E^t_o) شروع می شودو با یک دیگرشیبی ملایم (۱۰ درجه اختلاف شیب) زیر کنگلومرای قرمز رنگ پی میوسن قرار می‌گیرد و به لحاظ موقعیت چینه‌شناسی، سن آن را می‌توان ائوسن بالا- اولیگوسن دانست. سنگ‌های خروجی اسیدی و گنبدی شکل پرمایه از کوارتز به رنگ سفید و زرد مایل به قرمز (O^r) که اغلب حالت گدازه و گدازه برشی دارد و قسمت گسترده ای از جنوب محدوده را پوشانده است. ترکیب شیمیایی سنگ بیش‌تر اسیدی بوده و ترکیب کانی‌شناختی آن، کوارتز و فلدسپات است. کانی بیوتیت نیز به مقدار کم در متن سنگ دیده می‌شود. این واحد به خاطر دارابودن سیلیس فراوان و مقاومت در برابر عوامل فرساینده در قسمت‌های بالای ارتفاعات کناره جنوب جاده قره‌چمن قرار گرفته است و به صورت ستون‌های سیلیسی به چشم می‌خورند. در باختر روستای باشکندی به طرف غرب مقداری از این ریولیت‌ها دگرسان شده و کانی‌های ورقه‌ای با رنگ‌های مختلف را به وجود آورده است. ترکیب این سنگ‌ها نیز در حد ریولیتی است، ولی برخی سنگ‌های اسیدی پرمایه از برونزد اصلی این واحد در باختر روستای پیرسلطان و جنوب روستای منکرآبادمی‌باشد. بررسی ژئوشیمیایی این واحد نشان می‌دهد که ترکیب آن در حد ریولیت است. توف‌های سفید رنگ به همراه توف برش (O^t) که در برخی قسمت‌ها دارای لایه‌بندی منظم می‌باشد نیز در این زون دیده می‌شود. این توف‌ها به صورت میان‌لایه در درون ریولیت‌ها بوده و کانی‌های گروه زئولیت عموماً در توف‌های ریولیتی متمرکز می‌باشند. پ- واحدهای اولیگو- میوسن: رسوب‌های اولیگو- میوسن در زون شهرچای- قره‌چمن با یک سری سنگ‌های کنگلومرایی با میان لایه‌های ماسه‌سنگی و به طور محلی مارنی به رنگ قرمز قهوه‌ای (OM^c) شروع می‌شود. همه قطعات آن از سنگ‌های وابسته به ائوسن و اولیگوسن است که به طور پیشرونده و دگرشیب بر روی واحدهای قدیمی‌تر از خود قرار می‌گیرد. اجزای کنگلومرا کاملا گرد شده و ابعاد آن‌ها از چند سانتی متر تا حدود ۴۰ سانتی‌متر می‌رسد. گاه اجزای درشت تر نیز در میان آن‌ها به چشم می‌خورد. دانه‌بندی این کنگلومراها در هم است، چنان که در آن‌ها اجزای بزرگ و کوچک در کنار هم دیده می‌شوند و نشان‌دهنده آن است که این قطعات مسیر طولانی را طی نکرده‌اند. بر روی این واحد، مارن‌های گچ‌دار و ماسه‌سنگ با میان‌لایه‌های عدسی‌شکل سنگ آهکی ($M^{s.m}$) قرار می‌گیرد. تناوبی از کنگلومرا با اجزای بیش‌تر آتشفشانی، توف ماسه‌ای و ماسه‌سنگ با سیمان توفی ($M^{s.v}$) که برونزد اصلی آن در باختر قره‌چمن در پیرامون روستای قزلجه می‌باشد، از دیگر واحدهای اولیگو- میوسن است. میان لایه‌هایی از سنگ آهک نیز در رسوب‌ها به ویژه توف ماسه‌ای وجود دارد. برخی سنگ‌های آتشفشانی در این واحد ترکیب آندزیتی بازالتی دارند. بر روی واحد OM^c و در درون واحدهای $M^{s.v}$ و $M^{s.m}$، لایه‌ها و عدسی های کوچک و پراکنده از سنگ آهک ریفی (M^L) دیده می‌شود. این واحد در برخی موارد بر روی واحد تراکی آندزیتی M^t قرار می‌گیرد. در بعضی مناطق، سنگ‌های

آتشفشانی گدازه ای و گدازه برشی به همراه توف به رنگ سبز خاکستری و مایل به قرمز M^t بر روی واحد OM^c قرار می‌گیرند. نوع سنگ‌ها و توف‌های دربرگیرنده آن‌ها بیش‌تر تراکی آندزیتی است و به علت اینکه هنگام خروج به محیط آبی وارد شده‌اند در اثر انفجار سنگ‌های آتشفشانی به صورت تکه‌ها و بلوک در آمده‌اند. برونزد این واحد در خاور و باختر قره‌چمن و کنار جاده تبریز– میانه به خوبی دیده می‌شود. بررسی برخی از سنگ‌های آتشفشانی این واحد نشان می‌دهد که ترکیب آن‌ها در حد داسیت است.در ادامه سنگ‌های خروجی با ترکیب اسیدی به صورت گدازه و برش (M^{rd}) بیرون ریخته شدند . از نظر سنگ‌شناسی در ردیف سنگ‌های ریوداسیت قرار می‌گیرند. برونزد اصلی این واحد در شمال غرب روستای عباس آباد می‌باشد. بافت جریانی در متن گدازه‌ها به خوبی نمایان می‌باشد. از نقطه نظر ژئوشیمیایی، سنگ‌های آتشفشانی این واحد، ترکیب داسیتی دارند. در همین زمان سنگ‌های ریولیتی و ایگنمبریتی به همراه میان‌لایه‌های توفی (M^{ri}) بر روی واحدهای M^t و $M^{s,v}$ تشکیل شده است. عمده گسترش آن در حوالی گلوجه و کناره‌های جاده قدیمی تبریز– میانه می‌باشد. ترکیب آن‌ها ریولیتی تا داسیتی بوده و برخی سنگ‌ها بسیار سیلیسی هستند.

- **اکتشاف چکشی**

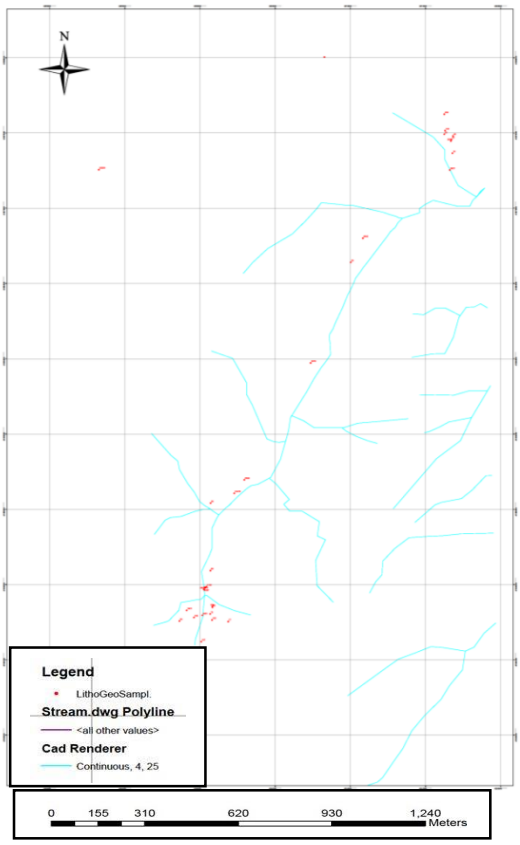
مجموعه اطلاعات و داده‌های حاصله نشان داد که بررسی‌های اکتشافی چکشی ونمونه برداری آبراهه ای در محدوده کهدلان می‌تواند حائز اهمیت باشد و یافتن پتانسیل‌های احتمالی جدید را مقدور سازد و یا حداقل به روشن نمودن ارزش ادامه کارکمک می کنند. لذا باید با انتخاب روش مناسب اکتشاف ژئوشیمیایی که بتواند به صورت دقیق‌تر خصوصیات و موقعیت مناطق کانه‌زایی را تعیین نماید، اقدام نمود. به طور قطع کاربرد روش‌های بررسی هاله‌های ثانویه مانند ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای که در مراحل اکتشاف ناحیه ای کاربرد دارند، بهترین گزینه استفاده از برداشت‌های هاله‌های اولیه است. هاله ژئوشیمیایی اولیه، مناطقی در اطراف نهشته‌های فلزی و یا توده‌های کانساری هستند که در نتیجه ورود و یا توزیع دوباره بعضی از عناصر شیمیایی در خلال فرآیندهای تشکیل کانسار نسبت به آن‌ها غنی یا فقیر شده‌اند. پی‌بردن به مقدار زمینه و مقادیر حداکثر قابل ثبت عناصر مهم کانسارساز منطقه که هدف اصلی این بررسی است و همچنین عناصر ردیاب آن‌ها در لیتولوژی‌های مختلف، از اهداف نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی هستند که در تحلیل پتانسیل کانی‌سازی محدوده مورد بررسی بسیار با اهمیت می‌باشد. وجود یا عدم وجود مقادیر قابل ثبت طلا وسایر کانی‌های فلزی در لیتولوژی‌های مختلف منطقه دارای اهمیت زیادی در تشخیص منشاء و نوع کانه‌سازی احتمالی می‌باشد. برداشت‌های لیتوژئوشیمیایی دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشد. مهم‌ترین مزایای آن عبارتند از: (**الف)** داده‌های حاصل از این روش مستقیماً در ارتباط با هاله‌های اولیه است. **ب)** هندسه و ابعاد سطحی کانه‌سازی و دگرسانی همراه آن در محل نمونه‌برداری مشخص می‌گردد. **پ)** نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی طی مراحل برداشت، آماده‌سازی و نگهداری کم‌ترین آلودگی را متحمل می‌شوند). در مقابل این مزایا، روش یاد شده دارای معایبی نیز می‌باشد که عبارتند از(**الف)** امکان نمونه برداری از محل‌هایی که قبلاً تعیین شده است چندان زیاد نیست. **ب)** تغییرات ژئوشیمیایی در هاله‌های اولیه عموماً ضعیف است به طوری که برای ثبت آنومالی‌های ژئوشیمیایی وابسته به آن‌ها در بیشتر موارد احتیاج به تجهیزات دقیق آزمایشگاهی است. **پ)** این روش در مورد بعضی نهشته‌ها که هاله‌های اولیه کوچکی دارند و یا هرگز هاله‌ای ندارند، کاربردی ندارد. اکتشافات لیتوژئوشیمیایی خود دارای روش‌های متنوعی به جهت طراحی شبکه و سایر جزییات هستند که در ادامه ضمن تشریح دلایل انتخاب روش استفاده شده در این پروژه، نتایج حاصل گزارش می‌گردد).

۳- نتایج

- **طراحی نمونه برداری لیتو ژئوشیمیایی**

پوشش مقداری خاک در محدوده اکتشافی و حضور گسترده واحدهای سنگی حدواسط آندزیتی، بازالتی وتوده نفوذی در محدوده اکتشافی عاملی است تا برداشت شبکه‌ای و منظم نمونه‌های لیتوژئوشیمیائی را غیرمفید و حتی غیرممکن نماید. لذا تصمیم برآن گردید تا با توجه به شناخت از محدوده‌های کانی‌سازی شده در محدوده کهدلان که بصورت عناصر طلا، مس و... به وسعت حدودا ۲۰ هکتار بصورت زون‌های برشی و خرد شده حاوی این نوع کانی‌سازی در منطقه محدود می‌گردد، نمونه‌برداری انتخابی از کلیه عوارض مشکوک به کانی‌سازی مد نظر قرار گیرد. در این راستا در محل کانه‌سازی‌ها، نمونه‌برداری به صورت لب‌پری به تعداد حداقل۲۰ تکه و حداکثر تا ۴۰ تکه برداشت می گردد که در نهایت وزن هر نمونه به ۲ تا ۵ کیلوگرم می رسد. در مجموع ۳۷۰ نمونه طراحی و برداشت گردید که از این تعداد برای فاز اول ۳۵ نمونه برای آنالیز ارسال شده است. در شکل (۲) تصویر گروه در حال نمونه برداری لیتوژئوشیمیایی نشان داده می شود. شکل شماره (۳) موقعیت نمونه‌های برداشته شده را بر روی نقشه ۱:۵۰۰۰ نشان می‌دهد.

شکل ۲. تصویری از گروه در حین نمونه برداری لیتوژئوشیمیایی اطراف آبراهه



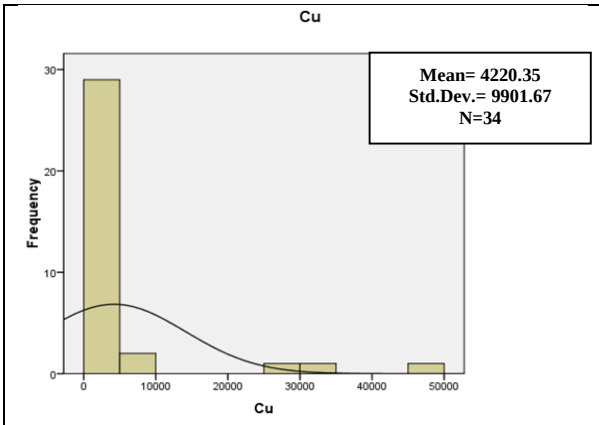
شکل ۳. جانمایی نقاط لیتوژئوشیمیایی محدوده کهدلان

- **پردازش داده ها**

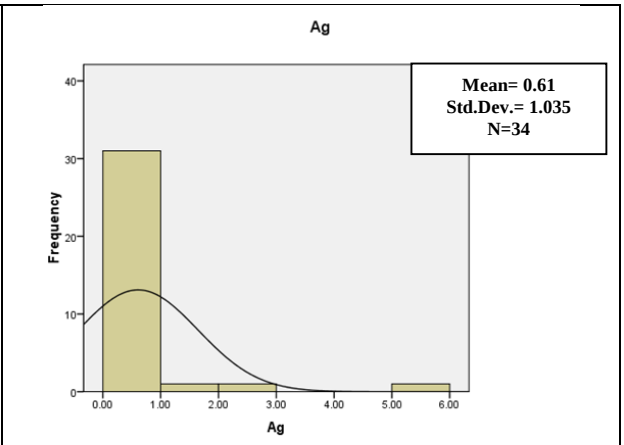
در محدوده اکتشافی کهدلان، تعداد ۳۴ نمونه از رگه و رگچه های اصلی منطقه جهت انجام آنالیز شیمیایی برداشت شدند و سپس به روش ICP مورد آنالیز قرار گرفتند.

- **محاسبات و پردازش های تک متغیره**

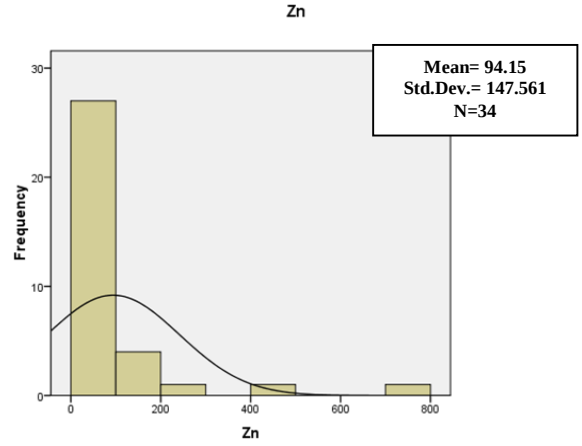
کلیه داده های خام پس از فایل بندی مناسب توسط نرم افزار SPSS مورد بررسی آماری قرار گرفته است. ابتدا برای هر یک از متغیرها هیستوگرام فراوانی آن‌ها ترسیم شده است. جدول پارامترهای آماری متغیرهای مورد بررسی در منطقه بر اساس داده‌های خام در بخش پیوست‌ها آورده شده است. در این جدول ۱۳ پارامتر آماری شامل تعداد نمونه های بکار رفته در تحلیل، تعداد نمونه های در نظر گرفته نشده، میانگین، میانه، مد، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی، Max ، Min و مقادیر نظیر ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ فراوانی آورده شده است. که در آن ۵۰٪ فراوانی معادل میانه می باشد. بنابراین در مجموع ۱۲ پارامتر در جدول فوق برای هر متغیر آورده شده است. هیستوگرام فراوانی Cu: مس دارای توزیع غیر نرمال بوده و حد اکثر فراوانی در عیار های کم دیده می شود. و دو مرحله انفصال در عیار ۲ ٪ و ۴ ٪ قابل مشاهده است. شکل(۴) . هیستوگرام فراوانی Ag: نقره دارای توزیع غیر نرمال می باشد و بیش‌ترین فراوانی این عنصر مربوط به کم‌ترین عیار می باشد. شکل (۵). هیستوگرام فراوانی Zn: روی دارای توزیع غیر نرمال بوده و دو مرحله انفصال در توزیع قابل مشاهده است. در این توزیع نیز بیش‌ترین فراوانی مربوط به کم‌ترین عیار می باشد. شکل (۶). هیستوگرام فراوانی Pb: سرب دارای توزیع نزدیک به نرمال دارد. و عیار نزدیک به ۵ ppm دارای بیش‌ترین فراوانی است. شکل (۷). وجود مقادیر خارج از رده در خصوص سایر عناصر ناشی از تفاوت های سنگ شناسی واحدهای سنگی در منطقه است. بجز مقدار عنصر مس مقدار سایر عناصر در حد معمولی می باشند و مقدار آنومال در بین داده ها دیده نمی شود و بیشتر این عناصر فاقد ارزش اکتشافی هستند، لذا تجزیه و تحلیلی بر روی آن‌ها انجام نشد.در مورد عنصر مس همانطور که مشاهده می کنیم، چولگی مثبت در توزیع این عنصر دیده می شود که در نتیجه وجود مقادیر آنومال در بین داده ها است. بیش‌ترین مقدار مس،ppm ۴۵۵۱۰ مربوط به نمونه ۱۱۶ است که از جنوب غربی محدوده اخذ شده است که بسیار چشمگیر می باشد و بررسی های بیش‌تر را در این محدوده جهت این عنصر می طلبد. لازم به ذکر است که میانه داده هاppm ۲۱۳ است و بدین معنی است که ۵۰ درصد داده ها از این مقدار کم‌تر هستند. ۸۰ درصد داده ها نیز زیر ppm ۴۱۶۰ هستند. میانگین این عنصر در حدودppm ۴۲۲۰ است که عدد نسبتاً مطلوبی است.



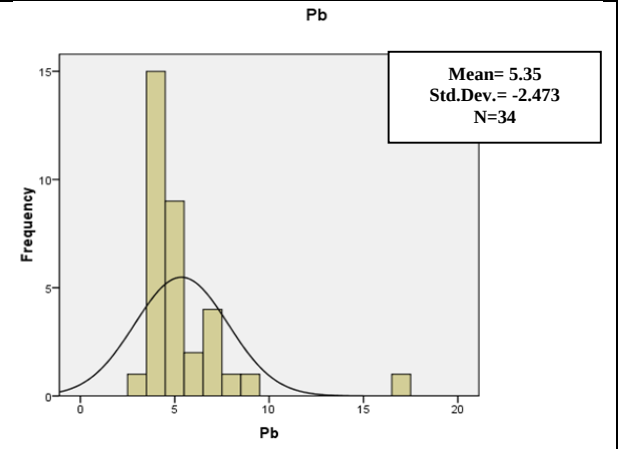
شکل ۴. هیستوگرام فراوانی Cu: این عنصر دارای توزیع غیرنرمال بوده و حداکثر فراوانی در عیارهای کم دیده می‌شود. و در دو مرحله انفصال در عیار ۲ درصد و ۴ درصد قابل مشاهده است.



شکل ۵. هیستوگرام فراوانی Ag: این عنصر دارای توزیع غیر نرمال می‌باشد و بیش‌ترین فراوانی این عنصر مربوط به کم‌ترین عیار می‌باشد.



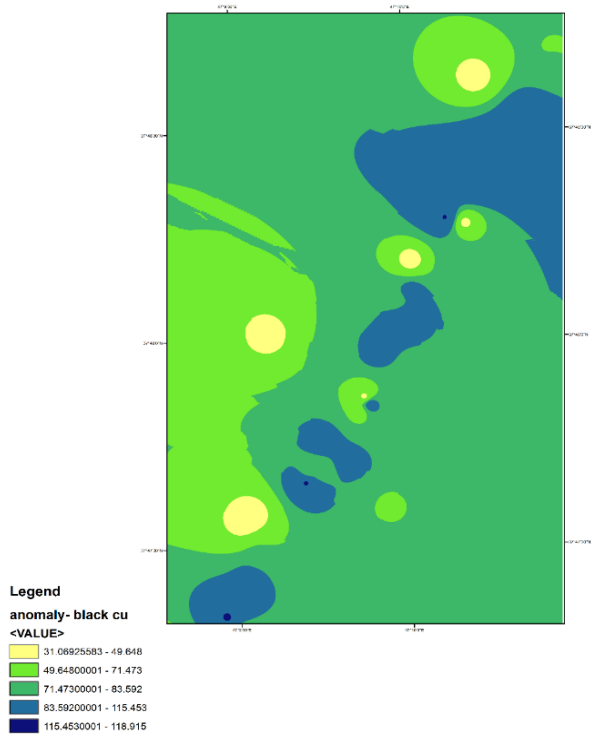
شکل ۶. هیستوگرام فراوانی Zn: این عنصر دارای توزیع غیرنرمال بوده و دو مرحله انفصال در توزیع قابل مشاهده است. در این توزیع نیز بیش‌ترین فراوانی مربوط به کم‌ترین عیار می‌باشد.



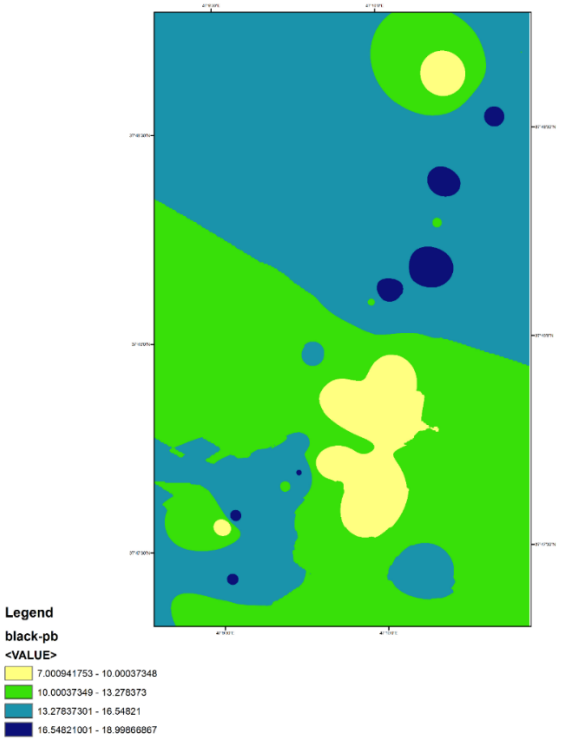
شکل ۷. هیستوگرام فراوانی Pb: این عنصر دارای توزیع نزدیک به نرمال دارد. و عیار نزدیک به ppm دارای بیش‌ترین فراوانی است.

- **محاسبات و پردازش دومتغیره**

در این قسمت ماتریس همبستگی برای عناصری که در کل کانسارهای تیپ پرفیری اعم از مس پرفیری، مس – طلا پرفیری، مس – مولیبدن پرفیری، اسکارن پرفیری و Mo پرفیری کم فلوئور نقش عنصر ردیاب را ایفا می نمایند، بروش اسپیرمن محاسبه شده است. این عناصر عبارتند از: Ag, As, Cu, Mn, Mo, Pb, Sb, Zn. ماتریس همبستگی اسپیرمن مستقل از نوع تابع توزیع است و به همین دلیل روابط زایشی مناسبتری را در مورد پاراژنزهای عنصری در اختیار قرار می دهد. بر اساس ماتریس حاصله می توان به نتایج زیر رسید. بیش‌ترین همبستگی مس با عناصر As و Ag به ترتیب برابر 0.595 و 0.519 که در حد متوسط متمایل به خوب می باشد. همبستگی بین Mo, Cu با روش اسپیرمن ضعیف می باشد (r=0.289) در حالیکه همبستگی در حد متوسط (0.426) بین عنصر Pb و Cu وجود دارد. نقشه ناهنجاری عنصر مس به روش IDW به دست آمده از بررسی‌های لیتوژئوشیمیایی در شکل (۸) و در شکل (۹) نقشه ناهنجاری عنصر سرب به روش IDW به دست آمده از بررسی های لیتوژئوشیمیایی ارائه شده است.

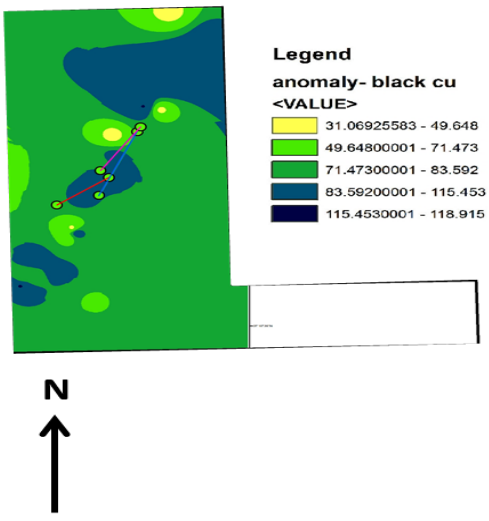


شکل ۸. ناهنجاری عنصر مس



شکل ۹. ناهنجاری عنصر سرب

پس از مطالعات دور سنجی و بررسی‌های زمین شناسی و ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی بهترین محل برای مطالعات ژئوفیزیکی و زدن پروفیل های مطالعاتی ژئوالکتریک انتخاب شد. در شکل (۱۰) محل این پروفیل‌ها به نمایش در می‌آید.



شکل ۱۰. ناهنجاری عنصر مس و موقعیت پروفیل‌های ژئوالکتریکی

۴- نتیجه‌گیری

ارزیابی دقیق داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از اکتشافات معدنی، گامی حیاتی در جهت درک بهتر پتانسیل معدنی یک منطقه و تعیین عیار و گسترش کانسار است. در این پژوهش، به بررسی و ارزیابی جامع داده‌های ژئوشیمیایی بدست آمده از اکتشافات کانسار پلی متال در منطقه کهدلان استان آذربایجان شرقی پرداخته می‌شود. با توجه به اهمیت این منطقه از نظر پتانسیل معدنی، تحلیل دقیق این داده‌ها می‌تواند در جهت برنامه‌ریزی‌های آتی اکتشافی و استخراج معدن بسیار مفید واقع شود. اهمیت ژئوشیمی در اکتشافات معدنی بدان سبب است که ژئوشیمی به مطالعه توزیع عناصر شیمیایی در سنگ‌ها، خاک‌ها، آب‌ها و موجودات زنده می‌پردازد. در اکتشافات معدنی، از آنالیز ژئوشیمیایی برای شناسایی مناطق با آنومالی‌های عنصری استفاده می‌شود که می‌تواند نشانگر وجود کانی‌سازی باشد. داده‌های ژئوشیمیایی به ما اطلاعات ارزشمندی در مورد نوع کانی‌سازی، اندازه و شکل کانسار، و همچنین فرآیندهای زمین‌شناسی موثر در تشکیل کانسار ارائه می‌دهد. با توجه به این که منطقه کهدلان به دلیل توپوگرافی خشن نمونه برداری به صورت نامنظم و از مناطق مستعد زمین شناسی و تکتونیکی انجام گرفت. به منظور دقیق‌تر شدن نقشه های ناهنجاری عناصر و شناخت توزیع آن در سنگ مادر طراحی شبکه نمونه برداری منظم تر برای مطالعات لیتوژئوشیمیایی پیشنهاد می گردد. مراحل ارزیابی داده‌های ژئوشیمیایی می توان به: الف- استفاده از داده‌های دورسنجی با دقت مکانی و طیفی بالاتر: استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با رزولوشن بالاتر، امکان شناسایی دقیق‌تر دگرسانی‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی را فراهم می‌کند. ب- تلفیق داده‌های دورسنجی با سایر داده‌ها: ترکیب داده‌های دورسنجی با داده‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی می‌تواند به بهبود مدل‌های پیش‌بینی کانی‌سازی کمک کند. ج- مطالعات میدانی تکمیلی: انجام مطالعات میدانی در مناطق دارای پتانسیل معدنی بالا، امکان تأیید نتایج حاصل از دورسنجی و جمع‌آوری داده‌های دقیق‌تر را فراهم می‌آورد. د- جمع‌آوری داده‌ها: در این مرحله، کلیه داده‌های ژئوشیمیایی جمع‌آوری و در یک پایگاه داده یکپارچه وارد می‌شوند. این داده‌ها شامل نتایج آنالیز نمونه‌های خاک، سنگ، آب و رسوبات آبراهه‌ای است. ه- کنترل کیفیت داده‌ها: داده‌های جمع‌آوری شده باید به دقت مورد بررسی قرار گیرند تا از صحت و دقت آن‌ها اطمینان حاصل شود. این کار شامل بررسی خطاهای احتمالی در نمونه‌برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها و آنالیز آن‌ها است. پردازش و تفسیر داده‌ها نیز دارای اهمیت هستند بدین سبب که داده‌های ژئوشیمیایی خام نیاز به پردازش دارند تا قابل تفسیر شوند. این پردازش شامل نرمال‌سازی داده‌ها، محاسبه آنومالی‌ها و تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی است. پس از پردازش داده‌ها، نوبت به تفسیر نتایج می‌رسد. در این مرحله، با استفاده از روش‌های آماری و زمین‌شناسی، به دنبال شناسایی الگوهای ژئوشیمیایی و ارتباط آن‌ها با کانی‌سازی هستیم. مدل‌سازی نیز بر اساس نتایج تفسیر، می‌توان مدل‌های سه بعدی از پراکنش عناصر در منطقه تهیه کرد. این مدل‌ها به ما کمک می‌کنند تا به درک بهتری از هندسه و ژئومتری کانسار برسیمپارامترهای مهم در ارزیابی داده‌های ژئوشیمیایی کانسار پلی متال. عناصر شاخص: در کانسارهای پلی متال، عناصری مانند مس، سرب، روی، نقره و طلا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. آنومالی‌های ژئوشیمیایی: شناسایی آنومالی‌های مثبت و منفی عناصر شاخص در نقشه‌های ژئوشیمیایی، می‌تواند نشانگر وجود کانی‌سازی باشد. همبستگی بین عناصر: بررسی همبستگی بین عناصر مختلف می‌تواند به شناسایی ارتباط بین کانی‌ها و تعیین نوع کانی‌سازی کمک کند. توزیع فضایی عناصر: مطالعه توزیع فضایی عناصر در منطقه، می‌تواند به شناسایی مناطق با پتانسیل معدنی بالا کمک کند. تکتونیک منطقه: درک تکتونیک منطقه و ارتباط آن با کانی‌سازی، می‌تواند به تفسیر بهتر داده‌های ژئوشیمیایی کمک کند. ارزیابی دقیق داده‌های ژئوشیمیایی، گامی اساسی در جهت اکتشاف و بهره‌برداری از کانسارهای پلی متال است. با استفاده از روش‌های آماری و زمین‌شناسی، می‌توان به اطلاعات ارزشمندی در مورد پتانسیل معدنی منطقه، نوع کانی‌سازی، اندازه و شکل کانسار دست یافت. نتایج این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آتی اکتشافی و استخراج معدن در منطقه کهدلان مورد استفاده قرار گیرد. از جمله پیشنهادهای دیگری که می‌توان در مطالعات آتی از آن بهره جست به موارد ذیل اشاره نمود: نمونه‌برداری دقیق‌تر: انجام نمونه‌برداری دقیق‌تر در مناطق با آنومالی‌های ژئوشیمیایی قوی، می‌تواند به تأیید وجود کانی‌سازی و تعیین عیار دقیق آن کمک کند. مطالعات زمین‌شناسی تفصیلی: انجام مطالعات زمین‌شناسی تفصیلی در منطقه، می‌تواند به درک بهتر کنترل‌های زمین‌شناسی بر کانی‌سازی کمک کند. تفسیر تلفیقی داده‌ها: ترکیب داده‌های ژئوشیمیایی با سایر داده‌های اکتشافی مانند داده‌های ژئوفیزیکی و داده‌های حفاری، می‌تواند به تفسیر دقیق‌تر نتایج کمک کند. مدل‌سازی عددی: استفاده از مدل‌سازی عددی برای شبیه‌سازی فرآیندهای زمین‌شناسی موثر در تشکیل کانسار، می‌تواند به پیش‌بینی پراکنش کانی‌سازی در عمق کمک کند.

منابع

- Fox, C., et al. 1980. Topographic effects in resistivity and induced-polarization surveys: Geophysics, Vol. 45, P. 75–93.
- Khesin B., Alexeyev, V. 1997. Rapid methods for interpretation of induced polarization anomalies, Journal of applied Geophysics, Vol. 37, P. 117-130.
- Martinho E., Almeida, F. 2006. An experimental study of organic pollutant effect of time domain induced polarization measurements, Journal of applied Geophysics, Vol. 60, P. 27-40.
- Streckeisen, A. 1978. Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melilitic rocks. Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen, Vol. 134, P.1-14.
- Tommaso, D., Rubinstein, N. 2007. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina, Ore Geology Reviews, Vol. 32, P. 275-290.

- Walfir, P., et al. 2005. Use of RADARSAT-1 fine mode and Landsat-5 TM selective principal component analysis for geomorphological mapping in a macrotidal mangrove coast in the Amazon Region. Can. J, Remote Sensing, Vol. 31, P. 214-224.
- Whitney, D., Evans, B. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals, American Mineralogist, Vol. 95, P.185–187.
- آقاجانی، س.، قاسمی سیانی، م.، امامی، م.، لطفی، م، قلی‌زاده، ک. ۱۳۹۳. پتروگرافی، ژئوشیمی، تحولات ماگمایی و موقعیت تکتونوماگمایی سنگ‌های آذرین همراه با کانی‌سازی اپی ترمال نیکوییه غرب قزوین، مجله علوم زمین خوارزمی، جلد ۶، شماره ۱، ص ۱–۲۰.
- بازرگانی گیلانی، ک.، پرچکانی، م.، ۱۳۸۹. ویژگی‌های فلززایی کانسار سرب و روی باریک آب با سنگ میزبان توف اسیدی، رشته کوه‌های طارم، جنوب خاور زنجان، شمال باختر ایران، مجله علوم زمین، سال ۲۰، شماره ۷۸، ص ۹۷–۱۰۴.
- حاج علیلو، ب.، ۱۳۸۵. کانی‌ها و سنگ های صنعتی، انتشارات دانشگاه پیام نور تهران، چاپ ۱، ص ۲۰۷.
- حسین‌زاده، م. ر.، مغفوری، س.، موید، م.، لطفه‌نیا، م.، حاج‌علیلو، ب.، ۱۳۹۴. سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی رگه و رگچه‌ای چند فلزی (مس، سرب، روی) در منطقه لوبین زرده شمال خاور زنجان، مجله علوم زمین، سال ۲۴، شماره ۹۶، ص ۴۱–۵۲.
- قربانی، م.، ۱۳۸۷. زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران، آرین زمین، جلد ۱، ص ۵۲۲.
- کرمی، م.، ابراهیمی، م.، کوهستانی، ح.، ۱۳۹۵. رخداد معدنی آهن لولک اباد، شمال باختر زنجان: کانه‌زایی تیپ آتشفشانی رسوبی دگرگون و دگرشکل‌شده در زون ایران مرکزی، مجله زمین شناسی اقتصادی، جلد ۸، شماره ۱، ص ۹۳–۱۱۵.
- کریم پور، م.، حیدریان شهری، م.، ۱۳۸۷. اکتشاف ذخایر معدنی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ ۲، ص ۶۳۲ .
- لطفی، ر.، یزدی، م.، رسا، ا.، قربانی، م.، ۱۴۰۱. ارزیابی توان کانه زایی مس بر پایه شواهد کانی شناسی و زمین شیمیایی در محدوده کهدلان، آذربایجان شرقی، شمال باختر ایران، مجله پترولوژی، سال ۱۳، شماره ۵۲، صص ۷–۸۶.
- مهرابی، ب.، قاسمی سیانی، م.، ۱۳۹۵. کانی شناسی و زمین شناسی اقتصادی کانسار پلی متال چشمه حافظ، سمنان ایران، مجله زمین شناسی اقتصادی، جلد ۲، شماره ۳، ص ۱–۲۰.
- نظریان، م.، لطفی، م.، گورابجیری‌پور، آ.، قاسمی سیانی، م.، ۱۴۰۰. سنگ‌نگاری، ژئوشیمی، و جایگاه زمین ساختی سنگ‌های آتشفشانی در معدن پلی متال چومالو (شمال باختر زنجان)، مجله علوم زمین، دوره ۳۱، شماره ۳، صص ۶۱–۷۲.
- نوریان رامشه، ز.، یزدی، م.، ساداتی، ن.، ۱۴۰۳. بررسی کانی سازی اورانیوم در گرانیتوئیدهای محدوده چاه جوله، ایران مرکزی و راهکارهای زیست محیطی آن، مجله مطالعات علوم محیط زیست، دوره ۹، شماره ۳، ص ۸۹۲۵–۸۹۳۴.