

Original Research Paper

Copper mineralization pattern based on mineralogy, alteration, geochemistry of intrusive rocks and fluid inclusion in the south of Mamouniyeh, middle part of Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Iran

Mohammad Goudarzi¹, Hassan Zamanian^{*1,2}, and Urs Klötzli³¹Department of Geology, Faculty of Science, Lorestan University, Khorramabad, Iran²School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran³Department of Lithospheric Research, Faculty of Earth Sciences, Geography and Astronomy, University of Vienna, Vienna, Austria

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2023 November 12

Accepted: 2024 May 29

Available online: 2024 September 22

Keywords:

Epithermal

Geochemistry

Fluid inclusion

Mineralization

Mamouniyeh

Urumieh-Dokhtar

ABSTRACT

The study area is located in the central part of Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc and south of Mamouniyeh, Iran. Oligocene-Miocene intrusive rocks have combined domain of gabbro, diorite and monzonite with calc-alkaline nature which have characteristic features of continental margin subduction zones. Extensive siliceous, propylitic-chlorite, sericitic, argillic, carbonate and tourmalinization alteration be seen which mineralization has occurred mainly in siliceous zones in the sulfide-oxide veins form. Chalcopyrite, pyrite, bornite, magnetite, Specularite and Ti-oxides are main minerals of the hypogene stage and chalcocite, covellite, azurite, malachite, chrysocolla, tenorite, hematite, goethite and limonite related to supergene-oxidation stage. The study of 138 fluid inclusions in ore-bearing silica veins shows homogenization temperature from 80-345°C, salinity 0.88 to 11.40 wt% NaCl and formation depth between roughly 1 km and 500 m compared to the water table and the hydrostatic pressure is 10 MPa. Evidences such as fluid inclusions with different liquid-vapor ratios, accompanying vapor-rich fluid inclusions, quartzes with comb-cokade texture, fine-grained muscovite and illite indicate gentle boiling of fluids which together with other evidences such as the and partial mixing of fluids and the instability of sulphide complexes have caused the deposition of copper minerals related to the low sulphidation epithermal mineralization system in the Mamouniyeh.

1. Introduction

The study area is located in the south of Mamouniyeh and is a part of the Zaviyeh 1:100000 geological map (Amidi et al., 2004) which is located in the middle part of Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc


(UDMA). The Cenozoic volcanic units in the middle part of the UDMA around Saveh host several Cu-Au-Ag-Fe deposits, such as North Narbaghi (Heidari et al., 2022), Narbaghi (Fazli et al., 2019),


* Corresponding author: Hassan Zamanian; E-mail: zamanian.h@lu.ac.ir

Citation:

Goudarzi, M., Zamanian, H., and Klötzli, U., 2024. Copper mineralization pattern based on mineralogy, alteration, geochemistry of intrusive rocks and fluid inclusion in the south of Mamouniyeh, middle part of Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Iran. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 34(3), 133, 35-62. <https://doi.org/10.22071/gsj.2024.424348.2122>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071//gsj.2024.424348.2122

 dor: 20.1001.1.10237429.1403.34.3.3.1



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Rangerz (Zamanian et al., 2021), Zarandiyeh (Yousfi and Alipourasl, 2019) and Koh Peng (Rajabpour et al., 2017, 2018). General studies in the middle part of the UDMA show the importance of mantle metasomatism in the formation of intrusive rocks. Based on U-Pb dating, this magmatic complex crystallized in the upper Eocene (Nouri et al., 2018). Although there are many signs of old mining, mineral indices and Cu-Au-Ag deposits that are temporally and spatially related to Eocene magmatism in this area, but compared to other areas such as Arasbaran and Kerman belts, it has received less attention from researchers. In this research, based on the evidence of field geology and petrography, structure and texture, mineralogy and paragenesis, geochemistry and fluid inclusions, the controlling factors of mineralization and the occurrence pattern and type of C mineralization in the south of Mamouniyeh have been investigated and compared with other epithermal deposits known in UDMA and the world. This research can be used to improve the exploration criteria of this type of deposit in the central part of UDMA and other similar places.

2. Research methodology

The investigations included the preparation of a 1:20000 geological map and the collection of 40 lithological samples from intrusive rocks from surface outcrops and drilled boreholes, that after studying their petrography, 13 samples with the lowest amount alteration were subjected to whole rock chemical analysis by ICP-MS and XRF methods. Also, 40 polished section samples were made for mineralogy and textural study from different mineralized parts in the area. The study of fluid inclusions was also carried out on 14 two-side polished sections and 138 points on quartz congeners with mineralization by Linkam equipment (THMS 600 freezing-heating stage, TP temperature control system and LNP freezing control system) and ZEISS, Axioplan2 microscope. Micro thermometry was performed on primary fluids in quartz by the Linkam THMSG 600 device, which is capable of measuring the temperature range of -196°C to +600°C. Eventually, by combining data and results, the genesis and pattern of copper mineralization in the area were investigated.

3. Results and Discussions

3.1. Lithology and petrography of plutonic rocks

The main rock outcrop units in the area based on 1:20000 geological map from south of Mamouniyeh include a series of intrusive and volcanic rocks with acidic to basic composition including andesite tuff, pyroxene andesite-andesite porphyry, dacite-rhyodacite tuff, acid lava, andesite basalt and diabase, gabbro-diorite and gabbro, monzonite, granodiorite and monzodiorite. Volcanic and pyroclastic rock units are related to the Eocene, and the intrusive units are probably related to Oligocene to Miocene magmatism (Amidi et al., 2004). The host mineralization rock units are andesite porphyry, monzonite, granodiorite and gabbro. The pyroxene andesite-andesite porphyry unit is located in the center of the range with a northwest-southeast trend, and based on microscopic studies, it has a porphyritic texture with a trachytic background, and plagioclase phenocrysts and microphenocrysts are placed in

a dense background of oriented feldspar microliths. Plagioclases with simple and fluctuating zoning and sieve texture along the polysynthetic macules and different zones have been saursoritized and converted to carbonate, and also the margins of some crystals have become albite. The main outcrop area of the gabbro-gabbro diorite unit is in the northeastern part of the 1:20000 map of area which microscopic studies show granular, hetero-granular, hyp-idiomorphic, microgranular porphyritic, cryptocrystalline, porphyritic-microcrystalline porphyritic and porphyritic textures are. Plagioclase, orthoclase, hornblende and pyroxene in different sizes are the main constituents of the rock. Secondary and alteration minerals include tourmaline (schorl), epidote, clay mineral, apatite, zircon, carbonate, iron oxide and hydroxide, and chlorite. The outcrops of monzonite, granodiorite, monzo-diorite in the center, west and northeast of study area include parts of the main elevations. In microscopic studies the main textures are granular, porphyritic cryptocrystalline, porphyritic microcrystalline, porphyritic microgranular. The main minerals observed include plagioclase, feldspar, clinopyroxene, hornblende, quartz, minor minerals are apatite and small amounts of zircon, clay minerals, chlorite, epidote, biotite, carbonate, and iron oxides.

3.2. Geochemistry of plutonic rocks

The SiO_2 values of the samples range from 49.7 to 69.9 weight-%. Based on the Zr/Y versus Th/Yb and the AFM relations, the magmatic series is calc-alkaline. Based on the molar ratio A/CNK versus A/NK, the intrusive rocks are meta-aluminous and peraluminous, which are mainly found in relation to subduction zone. The negative slope in the spider plots indicates the enrichment of LILE elements relative to HFSE elements. Depletion of HREEs is one of the characteristics of calc-alkaline magmas. The strongly positive Pb and positive K anomaly in the spider diagram of the study area is the result of contamination of the magma that formed these rocks with crustal materials. According to the geotectonic diagrams, most samples are classified as volcanic arc granitoids, which shows that the intrusive rocks of the area were affected by subduction processes and the influence of active continental margins. It seems that the rocks of related to the magmatism caused by the subduction of the Neo-Tethys oceanic crust under the central Iranian plate and the subduction process has been associated with the release of water and volatile substances from the subducting lithosphere and eventually, magma resulting from partial melting of the mantle wedge is contaminated with crustal material.

3.3. Hydrothermal alteration

Based on field evidence, microscopic and X-ray diffraction studies, extensive alteration as silicification, propylite-chlorite, sericite, argillic, carbonate and tourmalinization in different scales is evident. Propylitic alteration is found to large degrees in the quartz monzonite - monzo-diorite unit as replacement of chlorite, epidote by hydrothermal processes in plagioclase, potassium feldspar and mafic minerals. In some cases, sericitization in different intensities caused the disintegration of the texture of the rocks. Coarse crystals of plagioclase, hornblende and biotite have

been altered to sericite, carbonate and quartz, and pyrite is found in small and scattered form along this alteration. Silicic alteration be seen in the silica veins with variable thickness forming quartz with joint and fracture-filling texture as well as disseminate in the rock texture which mineralization mainly along this sulfide-oxide siliceous veins-veinlet containing chalcopyrite and pyrite and breccia veins containing sulfides. Influenced by hydrothermal magmatic fluids, acidic vapors resulting from boiling and mixing with meteoric water, argillic alteration has covered a substantial part of the outcrops in the area. Quartz, kaolinite, montmorillonite, iron oxide-hydroxides, jarosite, smectite, muscovite and goethite are products of this alteration, especially in the eastern part of the area in volcanic rock units. Carbonation in the form of calcite veins sometimes associated with pyrite-chalcopyrite and amorphous to regularly among quartz crystals. Albitization is mainly in the northeast of area under the influence of addition of sodium through hydrothermal and magmatic fluids in the form of replacement of feldspar with albite and in some cases muscovitization of biotites. Under the influence of hypogene processes iron oxides and hydroxides form minerals such as hematite, and under the influence of supergene processes, they create limonite and goethite. Tourmalinization under the influence of fluid with relatively high temperature containing boron with radial, regularly forms observed in the gabbro unit in the form of schorl.

3.4. Mineralization

The main manifestation of mineralization is in sulfide -oxide-silica veins and veins containing chalcopyrite and pyrite and breccia veins containing sulfide -oxide. Primary ore minerals include chalcopyrite, pyrite, bornite, Specularite, and secondary ore minerals include chalcocite, covellite, azurite, malachite, chrysocolla, goethite, and limonite. Chalcopyrite is the main copper ore. It is found in amorphous and scattered crystals form in the rock texture and vein-veinlet, mainly along with bornite, and is often replacement into chalcocite and covellite in the margins. Vein mineralization includes quartz-chalcopyrite, quartz-pyrite-chalcopyrite-Specularite and quartz-chalcopyrite-pyrite-secondary minerals (chalcocite, covellite, azurite, malachite, chrysocolla) assemblages. Based on the field study and microscopic evidence, we can identify two main mineralization stages and 4 sub-stages: During a hypogene stage oxide and sulfide phases are deposited. Sulfide minerals of the hypogene stage are pyrite, chalcopyrite and bornite, and oxide minerals include Specularite, titanomagnetite and magnetite. In the subsequent supergene stage chalcocite, covellite, and digenite formed in small quantities at the margins of primary sulfide s. In the next stage, malachite, azurite, chrysocolla, tenorite, cuprite, neotocite and iron hydroxides minerals have crystallized under the oxidizing conditions.

3.5. Fluid inclusions

The study of 138 fluid inclusions in quartz associated with ores minerals shows that fluids in association with mineralization have dimensions from a few microns to more than 20 microns and rarely up to 15 microns. The division of primary inclusions in quartz,

according to genetic and textural classification (Roedder, 1984) and modified by (Van den Kherkof and Hein, 2001), shows 5 different types phases:

- mono phase inclusions consisting of vapor
- mono phase inclusions consisting of liquid
- two-phase liquid + vapor inclusions and rich in liquid
- two-phase liquid + vapor inclusions and rich in vapor
- three phase inclusions with liquid + vapor + solid.

To determine the salinity the formula by (Bodnary and Vityk, 1994) ($\text{weight\%} = 0.00 + 1.78 \theta - 0.0442 \theta^2 + 0.000557 \theta^3$) was used. Quartzs with pyrite + chalcopyrite, chalcopyrite and chalcopyrite + spicularite \pm pyrite \pm chalcocite mineralization type shows similar density values from 0.8 to 1 g/cm³. Also, this diagram shows the density of 0.79 g/cm³ to 1 g/cm³ for liquid-rich fluid (L+V) and the density of 0.385 g/cm³ to 0.395 g/cm³ for vapor-rich fluid (V+ L). To determine the depth and pressure, based on (Fournier, 1999) diagram was used, which shows that this process probably occurred at a depth of about 700 meters below the water table and hydrostatic pressure of about 16 MPa. The graph of salinity against homogenization temperature shows the influence of sulfide complexes in the transfer of ore-forming elements in the area.

4. Conclusion

The abundant presence of liquid-rich two-phase fluids and mono-phase liquid and vapor fluids indicate that boiling process occurred during the formation and growth of minerals (Carman, 1994; Yilmaz et al., 2010). The presence of comb and cokade textures of quartz indicate gentle boiling (Shimizu et al., 2014). The processes of boiling, isothermal mixing and surface dilution of fluids are important factors in instability of chloride and sulfide complexes, which lead to the simultaneous deposition of Fe, Cu and then deposition of sulfide phases in the final stages of mineralization which are caused by a sudden decrease in pressure in the fractures (Tale Fazel et al., 2011). The proximity of multiphase fluids with vapor-rich indicates that fluids are trapped at the boiling point, that is, in the state where the vapor is in equilibrium with the liquid. As a result of this boiling part of the Cu in the fluids were deposited as chalcopyrite (Afshooni et al., 2013). Worldwide the depth epithermal deposits vary from 50 to 1500 meters below the level of underground water under hydrostatic pressure (Simmons et al., 2005; Christie et al., 2007; Pirajno, 2009) and we used (Fournier, 1999) and it shows this process probably occurred at a depth of about 700 meters below the paleo-water table level and 10 MPa hydrostatic pressure. In the study area, boiling, mixing of magmatic fluids with meteoric fluids and cooling process caused copper Mineralization by oxide and sulfide complexes that this mixing process has reduced the temperature and salinity in the system. Eventually, all available evidence and data such as geological and tectonic setting, mineralogy and hydrothermal alteration, ores and waste, texture of veins and minerals, geochemical evidence and fluid inclusions and comparison with other epithermal deposits in Iran and the world indicate a low sulfidation epithermal mineralization system which many cases have been identified in UDMA. However, we need other data such as O-H-S isotopic data for clarification.

الگوی کانی‌زایی مس بر اساس داده‌های کانی‌شناسی، دگرسانی، زمین‌شیمی و میانبارهای سیال در جنوب مامونیه، بخش میانی کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر، ایران

محمد گودرزی^۱، حسن زمانیان^{۲*} و اورس کلوتزلی^۳^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران^۲ دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران^۳ گروه تحقیقات لیتوسفر، دانشکده علوم زمین، جغرافیا و نجوم، دانشگاه وین، وین، اتریش

چکیده

منطقه مطالعاتی در بخش میانی کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر و جنوب شهر مامونیه قرار دارد. توده‌های نفوذی الیگومیوسن منطقه با ترکیب کابرو، دیوریت، گرانودیوریت و مونزونیت با ماهیت کالک‌آلکان، دارای ویژگی‌های شاخص مناطق فرورانش حاشیه قاره همچون غنی‌شدگی از عناصر HFSE و تهی‌شدگی از عناصر LILE هستند. دگرسانی‌های گسترده سیلیسی، پروپلیتی-کلریتی، سیریتی، آرژیلیک، کربناتی و تورمالینی در مقیاس‌های مختلفی در منطقه دیده می‌شوند که کانی‌سازی عمدتاً در پهنه‌های (زون‌های) سیلیسی به صورت رگه-رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی-اکسیدی روی داده است. کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، مگنتیت، اسپیکولاریت و اکسیدهای تیتانیم کانه‌های اصلی مرحله درون‌زاد و کانه‌های مرحله برون‌زاد-اکسیداسیون شامل کالکوسیت، کولیت، آزوریت، مالاکیت، کریزوکولا، تنوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت هستند. مطالعه ۱۳۸ میانبار سیال دوفازی غنی از مایع و غنی از گاز در کوارتزهای همزاد با کانی‌سازی نشان‌دهنده دمای همگن شدگی ۱۱۴-۲۹۰°C، شوری سیالات wt% NaCl ۰/۸-۱۱/۵۲، ژرفایی بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر زیر سطح ایستابی و فشار هیدرواستاتیک حدود ۱۰ مگاپاسکال است. شواهدی مانند میانبارهای با نسبت‌های متفاوت مایع-گاز، همراهی میانبارهای سیال غنی از گاز، کوارتزهای با بافت شانه‌ای-کوکاد، حضور مسکویت ریزدانه و ایلیت نشان‌دهنده جوشش ملایم سیالات است که در کنار فرایندهایی چون اختلاط و رقیق‌شدگی جزئی سیالات و ناپایداری کمپلکس‌های سولفیدی موجب نهشته شدن کانی‌های مس مرتبط با سیستم کانی‌سازی ایپی‌ترمال نوع سولفیداسیون پایین در منطقه شده است.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

ایپی‌ترمال

زمین‌شیمی

میانبارهای سیال

کانی‌زایی

مامونیه

ارومیه-دختر

۱- پیش‌نوشتار

IOCG مانند کوه دم (Tale Fazel et al., 2015) است که این ذخایر فلزی از نظر زمانی و مکانی با فعالیت ماگمایی ائوسن مرتبط هستند (Yushin and Romanko, 1981). ماگمای مادر منطقه ساوه بر اساس مطالعات نوری و همکاران (Nouri et al., 2018)، بر اثر ذوب بخشی کم عمق گوشته سنگ کره‌ای متاسوماتیسم شده در اثر گسترش مرتبط با فشارزدایی در فشار کم به وجود آمده است. واحدهای آتشفشانی سنوزوییک در بخش میانی UDMA در اطراف ساوه میزبان چندین ذخیره مس مانند مانند شمال نارباغی (حیدری و صفوی، ۱۴۰۲)، نارباغی (فضلی و همکاران، ۱۳۹۸)، رنگرز (Zamanian et al., 2021)، زرنديه (یوسفی و علیپور اصل، ۱۴۰۱) و کوه‌پنگ (Rajabpour et al., 2017, 2018) هستند. هر چند نشانه‌های فراوانی از معدن‌کاری‌های

منطقه مطالعاتی در جنوب مامونیه، شمال‌خاور ساوه و کیلومتر ۸۵ اتوبان تهران ساوه است که بخشی از نقشه‌های زمین‌شناسی و ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه (عمیدی و همکاران، ۱۳۶۳) و بخشی از برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ زاویه (عمیدی و همکاران، ۱۳۸۴) است که در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه- دختر را قرار می‌گیرد (شکل ۱). UDMA یکی از مهم‌ترین کمر بندهای فلز زایی (متالوژنیک) (Au-Cu-Fe-Pb-Zn) در ایران است و میزبان ذخایر معدنی متعددی همچون مس ± طلا ± مولیبدن پورفیری مانند سرچشمه و میدوک (Porter, 1998; Shafei and Shahabpour, 2008)، ایپی‌ترمال Au ± Cu مانند آغدره، چاه‌زرد و کوه‌پنگ (Daliran, 2008; Kouhestani et al., 2012; Rajabpour et al., 2018) اسکارن مانند انجرد و مزرعه (Mollai et al., 2009) و

* نویسنده مسئول: حسن زمانیان؛ E-mail: zamanian.h@lu.ac.ir

ماخذ نگاری:

گودرزی، م.، زمانیان، ح. و کلوتزلی، ا.، ۱۴۰۳، الگوی کانی‌زایی مس بر اساس داده‌های کانی‌شناسی، دگرسانی، زمین‌شیمی و میانبارهای سیال در جنوب مامونیه، بخش میانی کمر بند ماگمایی ارومیه-دختر، ایران. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۴(۳)، ۱۳۳-۳۵. <https://doi.org/10.22071/gsj.2024.424348.2122>

doi: 10.22071/gsj.2024.424348.2122



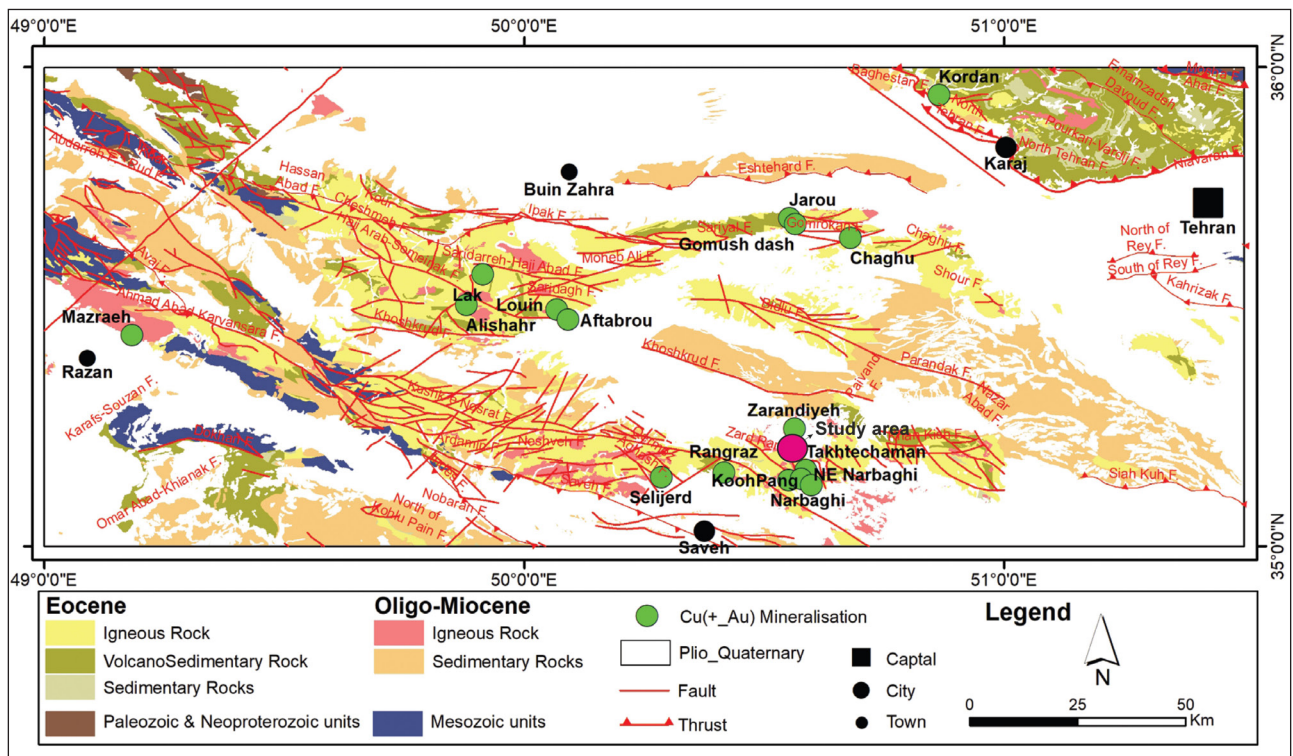
doi: 20.1001.1.10237429.1403.34.3.3.1

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.

This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

الگوی پیدایش و تیپ کانی‌سازی مس در منطقه جنوب مامونیه در بخش میانی کمربند ارومیه دختر مورد بحث قرار گیرد و افزون بر این، ویژگی‌های کانی‌سازی منطقه مطالعاتی بر اساس شواهد موجود با سایر ذخایر اپی‌ترمال شناخته شده در UDMA و جهان مقایسه شوند. این پژوهش می‌تواند جهت بهبود معیارهای اکتشافی این تیپ کانسار در بخش مرکزی UDMA و دیگر نقاط مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

قدیمی، اندیس‌های معدنی و کانسارهای مس-طلا-نقره که در ارتباط زمانی و مکانی با ماگماتیسم اتوس هستند در این ناحیه وجود دارند اما نسبت به نواحی مانند کمربند ارسباران و کرمان کمتر مورد توجه پژوهشگران بوده است. در این پژوهش تلاش شده است بر اساس شواهد زمین‌شناسی صحرایی و سنگ‌شناسی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی و پاراژنز، زمین‌شیمی و میانبارهای سیال، عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی و



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در بخش میانی کمربند ماگمایی ارومیه دختر (برگرفته از حیدری و همکاران، ۱۴۰۱).

Figure 1. The location of the study area in the middle part of the Urmia Dokhtar magmatic arc, (After Heydari et al., 2022).

۲- روش پژوهش

دانشگاه تربیت مدرس انجام گردید (جدول ۲). تجهیزات از قبل توسط استانداردهای غیر آلی Merk کالیبره شده‌اند. خطای کالیبراسیون برای داده‌ها تا $0.2^{\circ}C \pm$ برای مرحله سرمایش و با استفاده از ان-همگرا (با نقطه ذوب $94/3^{\circ}C$ - درجه سانتی‌گراد) و $0.6^{\circ}C \pm$ برای مرحله گرمایش و با استفاده از نیترات سزیم (با نقطه ذوب $414^{\circ}C$ - درجه سانتی‌گراد) است. دستگاه قادر به اندازه‌گیری محدوده دمایی $196^{\circ}C$ تا $600^{\circ}C$ است. جهت تعیین شوری، از معادله ارائه شده توسط بودناری و ویتیک (Bodnary and Vityk, 1994) استفاده گردید. در نهایت، با تلفیق داده‌های موجود به بررسی ژئ و الگوی کانی‌زایی مس در منطقه پرداخته شد.

۳- داده‌ها و اطلاعات

۳-۱- سنگ‌شناسی و سنگ‌نگاری

واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ جنوب مامونیه (شکل ۲) شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های نفوذی و تناوبی از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب اسیدی تا بازیک شامل آندزیت توف (EP_3)، پیروکسن آندزیت-آندزیت پورفیری (EP^{pm} -Ep)، توف داسیتی-ریوداسیتی (d)، گدازه اسیدی (a)، آندزیت

به منظور بررسی فرایندهای مؤثر در تشکیل و تکوین توده‌های نفوذی گرانیتویدی و کانی‌سازی مس مرتبط با این واحدها در منطقه جنوب مامونیه همزمان با بررسی‌های صحرایی و تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ از منطقه اقدام به نمونه‌برداری از رخنمون‌های سطحی و گمانه‌های حفر شده در محدوده مطالعاتی گردید. تعداد ۴۰ نمونه سنگ‌شناختی از توده‌های نفوذی منطقه برداشت و سپس مقاطع نازک تهیه و با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان به مطالعه سنگ‌نگاری (پتروگرافی) آن‌ها پرداخته شد. از میان نمونه‌های فوق، ۱۳ نمونه با کمترین میزان دگرسانی برای تجزیه و تحلیل عناصر اصلی به روش طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) و برای اندازه‌گیری عناصر خاکی کمیاب و فرعی در آزمایشگاه زرآما تهران مورد آنالیز قرار گرفتند (جدول ۱). همچنین تعداد ۴۰ نمونه مقطع صیقلی به جهت مطالعه کانه‌نگاری و بافتی از بخش‌های مختلف کانه‌دار در منطقه برداشت گردید. مطالعه میانبارهای سیال بر روی ۱۰ مقطع نازک دوبر صیقل تهیه شده از کوارترهای همزاد با کانه‌های اصلی با ضخامت حدود $100-80 \mu m$ به تعداد ۱۱۳ میانبار و با استفاده از تجهیزات Linkam (THMS 600 freezing - heating stage, TP temperature control system and LNP freezing control system) و میکروسکوپ ZEISS, Axioplan2, imaging

تبدیل شده‌اند و همچنین حاشیه بعضی از بلورها به صورت آلیتی شده‌اند. در فضای خالی حاصل از خوردگی بلورها، در بعضی موارد کلریت جایگزین شده است. کانی‌های فرومیزین اصلی این نمونه، بلورهای پیروکسن می‌باشد که به صورت فنوکریست، میکروفنوکریست و میکروکریستال در زمینه دیده می‌شود (شکل ۳-۴ و E, D).

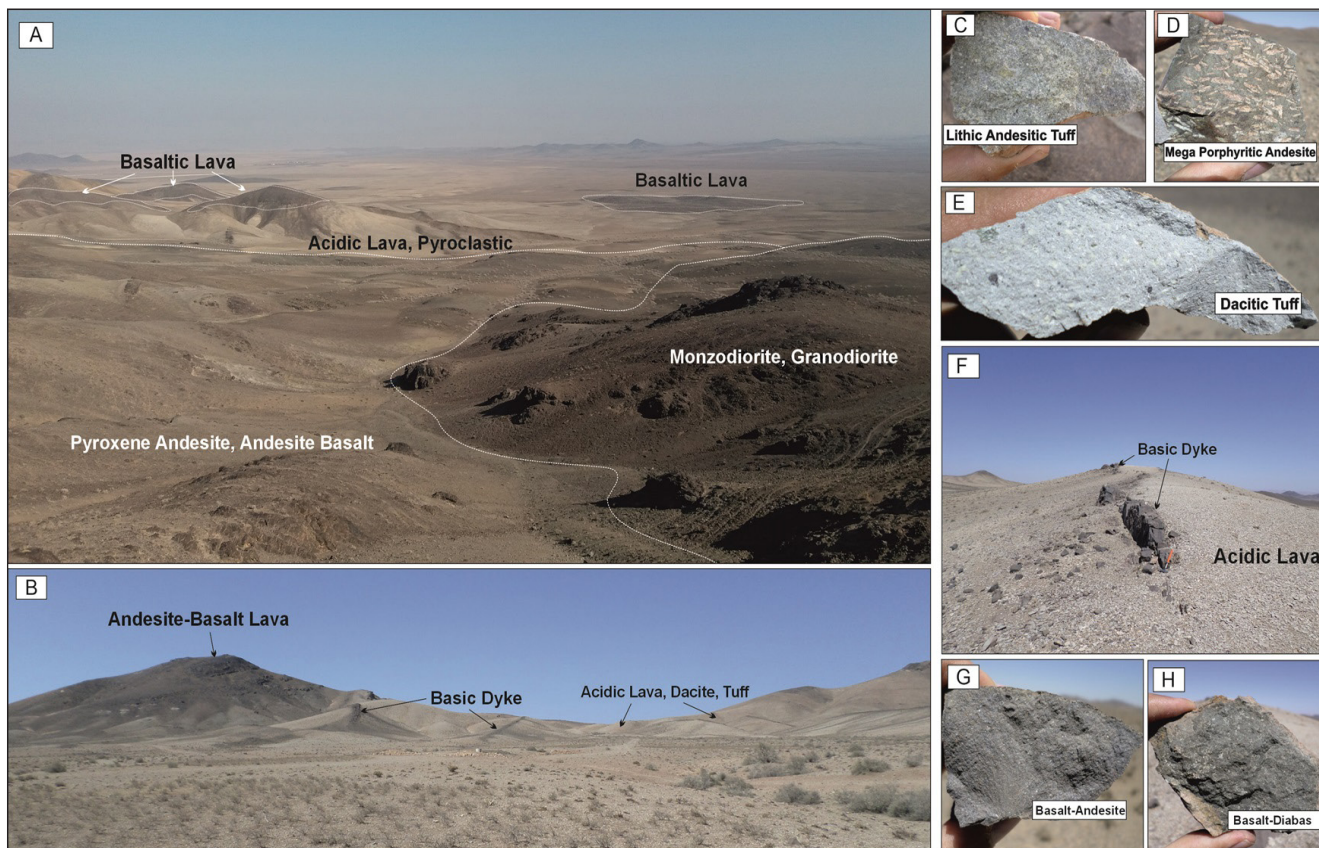
– واحد توف داسیتی-ریوداسیتی (d)

واحد لیتیک کریستال توف داسیتی-ریوداسیتی بر اساس مطالعات میکروسکوپی دارای بافت کلاستیک بوده و قطعات سنگی، میکروفنوکریست‌ها و فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و بیوتیت در زمینه‌ای از میکروکریستال و کریپتوکریستال‌های کوارتز و فلدسپار و اپک قرار گرفته‌اند. قطعات سنگی با اندازه و ترکیب متفاوت در آن دیده می‌شود که ترکیب بیشتر آن‌ها حدواسط است و بافت رایج نیز پورفیریتیک و پیروکلاستیک می‌باشد. میکروکریستال‌های فلدسپار بی‌شکل در زمینه و میکروفنوکریست کوارتز به مقدار اندک وجود دارد و کوارتز و فلدسپار به صورت کریپتوکریستالین و میکروکریستالین در زمینه نیز دیده می‌شوند. همچنین بیوتیت به صورت فنوکریست، میکروفنوکریست و ریزبلور در بعضی نمونه‌ها مشاهده می‌گردد (شکل ۳-۴ و E, F, G).

میکروفنوکریست در زمینه‌ای از شیشه، ذرات اپک و میکروولیت‌های فلدسپار قرار دارند مشاهده می‌گردد. برخی از قطعات هیالین و جریانی بوده و ترکیب آن‌ها از حد واسط تا بازیک تغییر می‌کند. در امتداد شکستگی‌های موجود در بعضی از بلورهای پلاژیوکلاز، اکسید آهن جایگزین شده است. بلورهای پیروکسن و هورنبلند نیمه‌شکل دار و شکل دار در نمونه به صورت میکروفنوکریست دیده می‌شود و شیشه زمینه کلریتی شده است (شکل ۳-۴ و A, B, C).

– واحد پیروکسن آندزیت-آندزیت پورفیری (Ep^{an}- Ep)

این واحد سنگی با روند شمال‌باختر- جنوب‌خاور در مرکز محدوده قرار گرفته و بازه ترکیبی آن شامل آندزیت‌های پیروکلاستیک، پیروکسن آندزیت تا آندزیت بازالت با میان‌لایه‌های تراکیت و آندزیت بازالت تا آندزیت مگاپورفیری است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی دارای بافت پورفیریتیک با زمینه تراکیتی بوده و فنوکریست‌ها و میکروفنوکریست‌های پلاژیوکلاز در زمینه متراکمی از میکروولیت‌های جهت‌دار فلدسپار و مقدار جزئی شیشه بین میکروولیت‌ها و ذرات اپک قرار گرفته‌اند. پلاژیوکلازها به فرم‌های تخته‌ای و تیغه‌ای و بعضاً به صورت شکسته در بعضی نمونه‌ها با منطقه‌بندی‌های ساده و نوسانی و بافت غربالی در امتداد ماکل‌های پلی‌سینتتیک و پهنه‌های مختلف سوسوریتی شده و به کربنات



شکل ۳- A) نمایی کلی از منطقه مطالعاتی و رخنمون‌های واحدهای سنگی مختلف (دید به سمت شمال‌باختر). B) نمایی از رخنمون گدازه آندزیت بازالتی، گدازه‌های اسیدی و دایک‌های بازالتی (دید به سمت شمال). C) نمای نزدیک از واحد لیتیک آندزیت توف. D) نمای نزدیک از واحد آندزیت مگاپورفیری. E) نمای نزدیک از واحد داسیتی. F) نفوذ دایک‌های بازالتی در واحدهای اسیدی. G) نمای نزدیک از واحد بازالت-آندزیتی. H) نمای نزدیک از واحد بازالت-دایاباز.

Figure 3- A) A general view of the study area and different outcrops rock units (view to the northeast). B) A view of basaltic andesite lava outcrops, acid lavas and basaltic dykes (view to the north). C) A close view of lithic andesite tuff unit. D) A close view of mega porphyritic andesite. E) A close view of dacitic unit. F) Influx of basaltic dykes in acidic units. G) A close view of basalt-andesite unit. H) A close view of basalt-diabas unit.

— واحد گدازه اسیدی (a)

صحرایی این واحد سنگی در مشاهدات صحرایی تیره بوده و رنگ نمونه دستی آن سیاه می‌باشد. در مقطع میکروسکوپی دارای بافت پورفیریتیک با زمینه هیالین و اینترگرانولار-اینترسرتال بوده و بلورهای شکل دار منشوری پلاژیوکلاز کانی اصلی تشکیل دهنده نمونه است. بلورهای پیروکسن، فنوکریست‌ها، میکروفنو کریست و شیشه کلریتی شده در بخش‌هایی از نمونه‌ها دیده می‌شوند. میکروولیت‌های فلدسپار تا حدی حالت جریان‌ی نشان می‌دهند و بلورهای پلاژیوکلاز به صورت فنوکریست، میکروفنو کریست و میکروولیت و کانی‌های فرومنیزین به صورت میکروفنو کریست و میکروولیت مشاهده می‌شوند (شکل ۳- G و ۴- J, K).

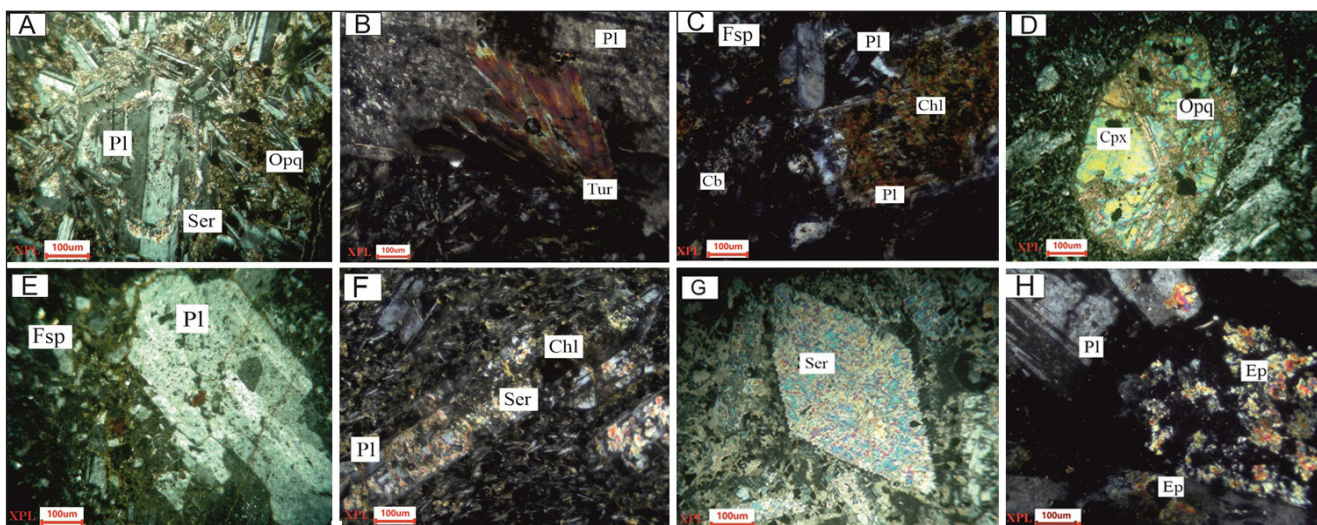
— واحد بازالت-دیاباز (mb)

واحد بازالت تا بازالت آندزیت در باختر و شمال‌باختر محدوده رخنمون دارد و در نمونه دستی خاکستری تیره تا سیاه و دارای بافت پورفیریتیک با زمینه میکروکریستالین می‌باشد، فنوکریست و میکروفنو کریست‌های شکل دار و نیمه‌شکل دار پلاژیوکلاز، اولیون و پیروکسن در زمینه آن با تبلور مجدد از میکروکریستال و کریپتوکریستال‌های فلدسپار قرار گرفته‌اند. بلورهای پلاژیوکلاز نسبتاً سالم هستند یا دگرسانی کمی را تحمل کرده‌اند. کانی‌های فرومنیزین شامل پیروکسن و اولیون هستند که از دگرسانی بعضی از آن‌ها ترمولیت-اکتینولیت شکل گرفته است (شکل ۳- H و ۴- L).

بیشترین حجم رخنمون این واحد سنگی در نیمه خاوری محدوده مشاهده می‌شود و متشکل از گدازه و توف اسیدی به همراه دایک‌های ساب‌ولکان می‌باشد. همبری این واحد سنگی با واحدهای سنگی دیگر، هم به صورت عادی و هم به صورت گسله می‌باشد. نمود صحرایی این واحد سنگی در مشاهدات صحرایی، روشن بوده و ریخت‌شناسی آن تپه ماهوری و متشکل از آگلومرا، گدازه‌های لیتیک و توف اسیدی، تراکیت-تراکی آندزیت به همراه دایک‌های ساب‌ولکان می‌باشد. در مقاطع میکروسکوپی قطعات سنگی و دانه‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپات و اپیک اجزای اصلی تشکیل دهنده سنگ هستند که در زمینه شیشه‌ای سرشار از اپیک قرار دارند. بخش‌هایی از زمینه کلریتی شده است. بافت قطعات سنگی اغلب هیالومیکروولیت پورفیریتیک و هیالوپورفیریتیک و کریپتوکریستالین پورفیریتیک، پیروکلاستیک و میکروگرانولار می‌باشد و زمینه بعضی از قطعات سنگی اپاسیتی شده است (شکل ۳- F و ۴- H, I).

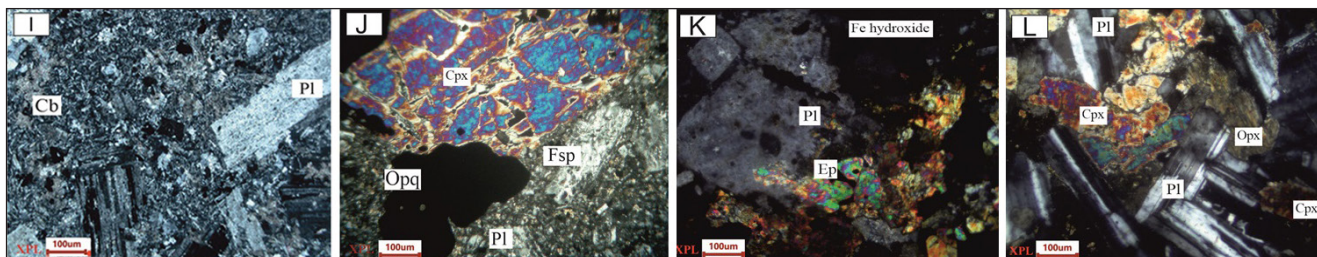
— واحد آندزیت بازالت و دیاباز (b)

عمده رخنمون این واحد سنگی در جنوب و خاور محدوده است و رخنمون‌های محدود دیگری نیز در جنوب و شمال منطقه مطالعاتی از آن دیده می‌شود و متشکل از گدازه‌های آندزیت بازالت به همراه دایک‌های ساب‌ولکان می‌باشد. نمود



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های آتشفشانی منطقه. A) میکروفنو کریستال و بلورهای پلاژیوکلاز سریسیته شده با بافت پورفیریک در نمونه آندزیتی. B) میکرو کریستال‌های تورمالین با آگرگات شعاعی و بافت میکروولیتی پورفیری در نمونه آندزیتی. C) اورالیتی و کلریتی شدن کانی‌های فرومنیزین به همراه پلاژیوکلاز و کربنات در واحد آندزیتی. D) بلورهای نیمه شکل دار و دگرسان شده کلتوپیروکسن با بافت پورفیری و میکروکریستال کدر (اپیک) در روی آن در نمونه آندزیت بازالتی. E) بلورهای پلاژیوکلاز با بافت غربالی، آلکالی فلدسپات و قطعات سنگی آتشفشانی (ولکانیکی) در نمونه لیتیک توف آندزیتی. F) میکروفنو کریستال و بلورهای پلاژیوکلاز منشوری و تابولار سریسیته شده با بافت پورفیریک و زمینه میکروولیتی در نمونه داسیتی. G) سریسیته شدن بلورهای پلاژیوکلاز در امتداد ماکل‌های پلی‌سنتییک در نمونه ریوداسیتی. H) درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در نمونه تراکیتی که خوردگی نشان می‌دهند و به اپیدوت دگرسان شده‌اند.

Figure 4. Microscopic images of volcanic rocks in the area. A) Microphenocryst and sericitized plagioclase crystals with porphyritic texture in andesite sample. B) Tourmaline microcrystals with radial aggregate and porphyry microlithic texture in andesite. C) Uralitization and chloritization of ferromagnesite with plagioclase and carbonate minerals in andesite unit. D) Hemimorphous clinopyroxene crystals with altered porphyry texture and opaque microcrystals on it in basaltic andesite. E) Plagioclase crystals with andesine sieve texture, alkali feldspar and volcanic rock fragments in andesite lithic tuff. F) Sericitization of plagioclase crystals along polysynthetic macules in rhyodacite. G) Coarse plagioclase crystals in the trachyte sample show corrosion and altered to epidote.



ادامه شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های آتشفشانی منطقه. I) نمونه تراکی آندزیت با بافت پورفیری با زمینه میکرو کریستالین. J) درشت بلور کلینوپروکسن و ریزبلورهای آلکالی فلدسپات آرژیلیکی شده و پلاژیوکلاز در آندزیت بازالت. K) پلاژیوکلاز اپیدوتی شده در زمینه ریزبلور در آندزیت بازالتی. L) بلورهای نیمه شکل دار و دگرسان شده کلینوپروکسن و ارتوپروکسن به همراه کریستال‌های پلاژیوکلاز در نمونه بازالتی. (علائم اختصاری کانیه‌ها: Pl: پلاژیوکلاز، Am: آمفیبول، Ep: اپیدوت، Cb: کربنات، Ser: سریسیت، Cpx: ارتوپروکسن، کلینوپروکسن، Fsp: فلدسپار، Tur: تورمالین، Chl: کلریت، Op: کانیه‌های کدر (علائم اختصاری برگرفته از کرتز (Kretz, 1983)).

Continued from Figure 4. Microscopic images of volcanic rocks in the area. I) Trachyte andesite sample with porphyry texture with microcrystalline background. J) Coarse clinopyroxene crystals and microcrystals of argillic alkali feldspar and plagioclase in basaltic andesite. K) Epidotized plagioclase in microcrystalline matrix in andesite basalt. L) Hemimorphous and altered clinopyroxene and orthopyroxene crystals along with plagioclase crystals in the basalt. (Pl: Plagioclase, Am: Amphibole, Ep: epidote, Cb: Carbonate, Ser: Sericite, Cpx: Orthopyroxene, Cpx: Clinopyroxene, Fsp: Feldspar, Tur: Tourmaline, Chl: Chlorite, Opq: Opacue minerals), Abbreviations from (Kretz, 1983).

آلکالی در نمونه‌ها از ۴/۷ تا ۶/۶۷ درصد وزنی تغییر می‌کند. مقدار LOI نمونه‌ها نیز از ۱ تا ۳/۴ درصد وزنی اندازه گیری شده است.

برای نام‌گذاری سنگ‌های نفوذی منطقه جنوب مامونیه به جهت کاهش تاثیر دگرسانی از نمودار کاتیونی دولارش و همکاران (De la Roche et al., 1980) استفاده شد و بر این اساس ترکیب شیمیایی سنگ‌های درونی منطقه در محدوده گابرو، گابرو دیوریت، دیوریت، مونزونیت، مونزودیوریت، کوارتز مونزونیت قرار می‌گیرند (شکل ۷-۱). همچنین بر اساس نمودار SiO_2 در برابر Na_2O+K_2O (Middlemost, 1994)، ترکیب سنگ‌های نفوذی منطقه در محدوده دیوریت، گابرو دیوریت، مونزونیت و مونزودیوریت قرار می‌گیرد (شکل ۷-۲). سری ماگمایی و ماهیت سنگ‌های نفوذی بر اساس نمودار Zr در برابر Y (Ross and Bedard, 2009) (شکل ۷-۳) در محدوده کالک آلکان و براساس نسبت مولی $Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O$ در نمودار A/CNK در برابر A/NK (Shand, 1943) (شکل ۷-۴)، توده‌های نفوذی منطقه از نوع متآلومینوس هستند. گرانیتوئیدهای متآلومینوس و پراآلومینوس در جایگاه‌های زمین‌ساختی مختلفی حضور دارند و عمدتاً در رابطه با محیط‌های فرورانش (Collins and Richards, 2008)، مرزهای فرورانشی (Cai et al., 2011)، یا شروع فرورانش (Chen et al., 2014) و یا برخورد قاره‌ای (برخورد همزمان یا پس از برخوردی) (Finger et al., 1997; Sylvester, 1998) هستند.

۳-۲-۱- بررسی نمودارهای عنکبوتی

شیب منفی در نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) نشان دهنده غنی‌شدگی عناصر LILE نسبت به عناصر HFSE است که تهنی‌شدگی ماگمای سازنده سنگ‌های منطقه از عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) مانند Ti و Yb و غنی‌شدگی عناصر لیئوفیل بزرگ یون (LILE) به ویژه Cs و Ba را نشان می‌دهد (شکل ۸-۱). شکل‌گیری سنگ‌ها در مناطق فرورانش عاملی است که سبب غنی‌شدگی LREE ها می‌شود (Winter, 2001). تهنی‌شدگی HREE ها از ویژگی‌های ماگماهای کالک آلکان است (Tatsumi, 1989). تهنی‌شدگی از عناصری مانند Ti و Nb می‌تواند گویای منشأ گرفتن ماگمای به‌وجود

۳-۱-۲- سنگ‌های نفوذی واحد گابرو-گابرو دیوریت

رخنمون عمده این واحد در بخش شمال‌خاوری گستره نقشه ۱:۲۰۰۰۰ منطقه است که ترکیب آن شامل گابرو، گابرو دیوریت و دیوریت گابرو می‌باشد در مطالعات میکروسکوپی نمونه‌ها بافت‌های گرانولار، هتروگرانولار، هیپایدیومورفیک، میکروگرانولار پورفیریتیک، کریپتوکریستالین، پورفیریتیک- میکرو کریستالین پورفیریتیک و پورفیری مشاهده می‌گردد. بلورهای پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، هورنبلند و پیروکسن در اندازه‌های متفاوت اجزای اصلی تشکیل‌دهنده سنگ می‌باشد و اغلب نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار هستند. عمده کانیه‌های ثانویه و دگرسانی شامل تورمالین (شورلیت)، اپیدوت، کانیه رسی، آپاتیت، زیرکن، کربنات، اکسید و هیدروکسید آهن و کلریت هستند (شکل ۵-۱). (A-F-۵).

۳-۱-۳- واحد مونزونیت، گرانودیوریت، مونزودیوریت

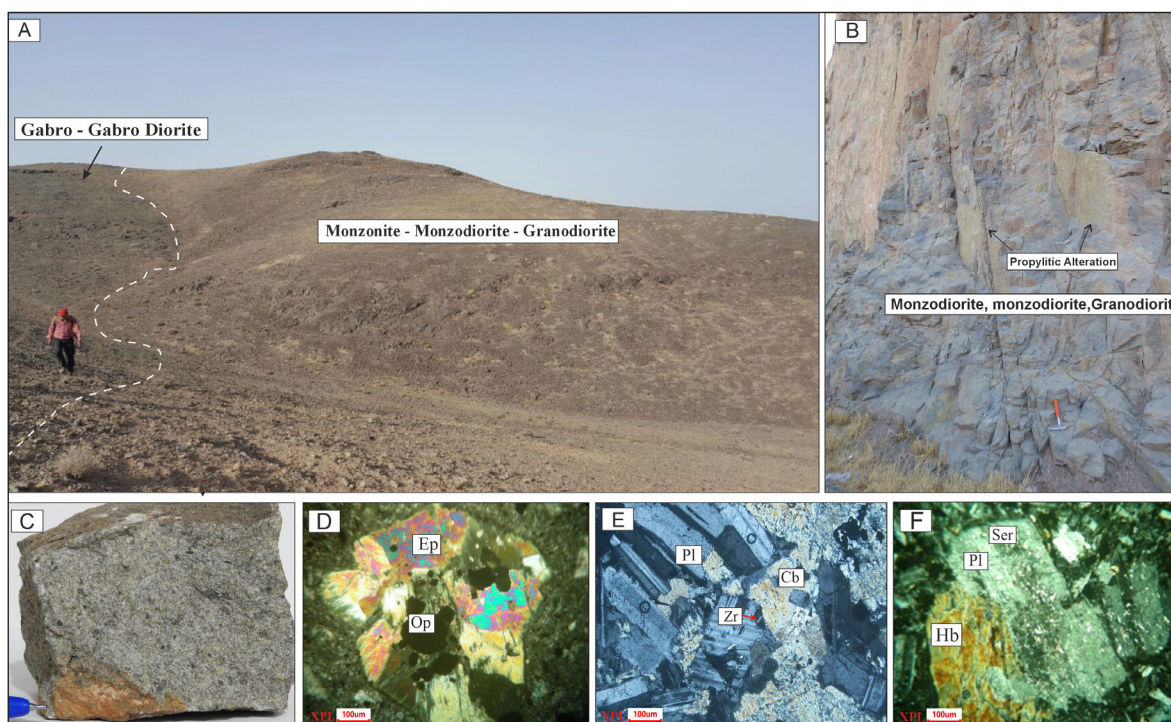
رخنمون‌های این واحد سنگی در مرکز و باختر و همچنین شمال‌خاوری محدوده مطالعاتی بخشی از ارتفاعات اصلی منطقه را شامل می‌شود در مطالعات میکروسکوپی بافت‌های اصلی شامل گرانولار، کریپتوکریستالین پورفیریتیک، میکرو کریستالین پورفیریتیک، میکروگرانولار پورفیریتیک هستند. عمده کانیه‌های اصلی مشاهده شده شامل پلاژیوکلاز، فلدسپارتاسیم، کلینوپروکسن، هورنبلند، کوارتز، کانیه‌های فرعی آپاتیت و زیرکن به مقدار کم، کانیه‌های رسی، کلریت، اپیدوت، بیوتیت، کربنات، اکسیدهای آهن و کانیه‌های کدر هستند (شکل ۶-۱). (A-G-۶).

۳-۲-۲- زمین‌شیمی و پتروژنز توده‌های نفوذی

جهت بررسی رفتار زمین‌شیمیایی توده‌های نفوذی در منطقه مطالعاتی و طبقه‌بندی، تعیین سری ماگمایی، موقعیت زمین‌ساختی و بررسی تحولات ماگمایی ۱۳ نمونه از سنگ‌های کمتر دگرسان شده از رخنمون‌های سطحی و مغزه‌های حفاری جهت انجام آنالیز شیمیایی انتخاب گردید و برای اکسیدهای اصلی، عناصر کمیاب و عناصر نادرخاکی مورد تجزیه و مطالعه قرار گرفت (جدول ۱). مقادیر SiO_2 از ۵۱/۱ تا ۶۰/۱ درصد و مقدار Al_2O_3 از ۱۴/۲ تا ۱۷/۷ درصد وزنی متغیر است. مجموع عناصر

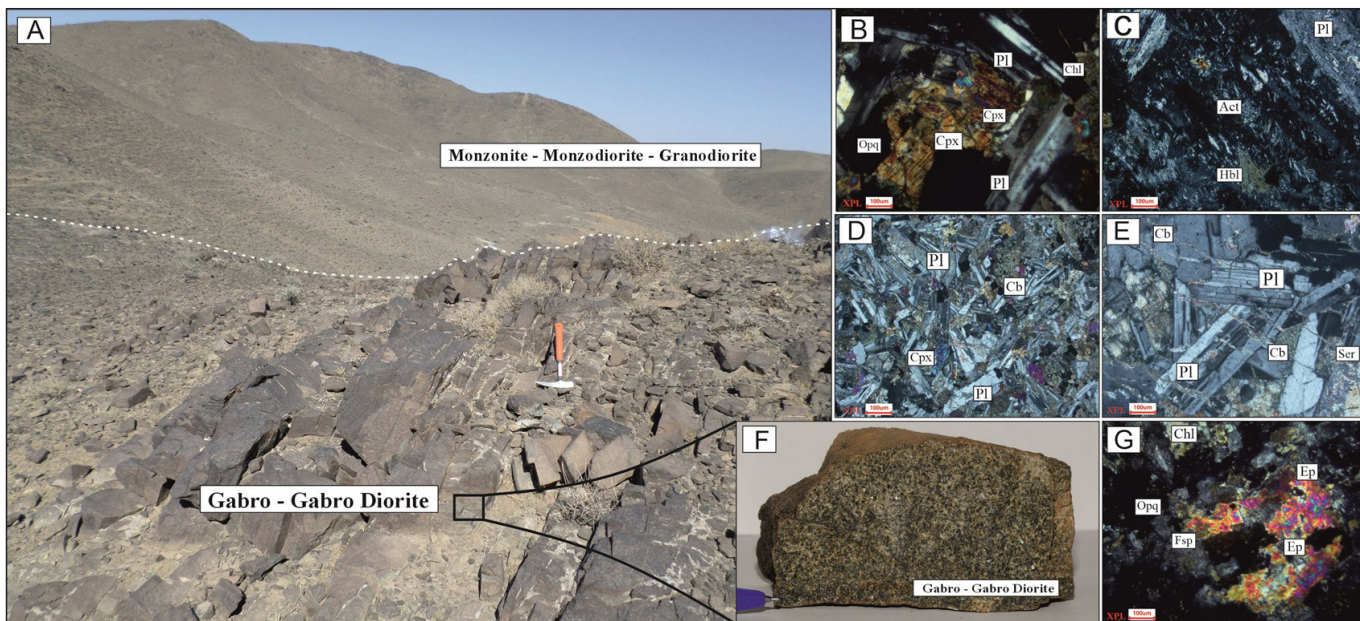
که بی‌هنجاری به‌شدت مثبت Pb در نمودار عنکبوتی منطقه جنوب مامونیه حاصل آرایش ماگمای سازنده این سنگ‌ها با مواد پوسته‌ای است (Kamber et al., 2002; Srivastava and Singh, 2004). تهی‌شدگی از عناصر Ta، P، Ti، Nb نشانه‌هایی از ماگماتیسم فرورانش است که در سنگ‌های پهنه ماگمایی ارومیه دختر دیده می‌شود (Shafiei et al., 2009). به باور پیرس و پیت (Pearce and Peate, 1995) و کپلر (Keppler, 1996) سیالات غنی از کلر عامل اصلی تهی‌شدگی ماگماهای کمان‌ها از عناصر با شدت میدان بالا و غنی‌شدگی آن‌ها از عناصر لیتوفیل بزرگ یون هستند Machado (et al., 2005; Yang and Li, 2008). حضور گارنت یا تفریق هورنبلند در منشأ نیز موثر هستند و می‌توان گفت غلظت عناصر LILE ممکن است تابعی از رفتار فاز سیال باشد (Green, 2006)، در حالی که غلظت عناصر HFSE توسط شیمی منشأ و فرایندهای بلور-مذاب که در هنگام تکوین سنگ رخ می‌دهد کنترل می‌شود (Rollinson, 1993). ناهنجاری منفی فسفر در نمونه‌ها نیز می‌تواند در نتیجه جدا شدن آپاتیت از ماگما باشد (Wu et al., 2003). بر اساس (Fitton et al., 1988; MacDonald et al., 2000) مقدار بالاتر از ۲۸ در نسبت Ba/Nb و مقادیر بالاتر از ۴۵۰ در نسبت Ba/Ta بیانگر محیط حاشیه قاره‌ای فعال یا ماگمای کمان قاره‌ای است و این مقادیر برای سنگ‌های منطقه مطالعاتی به ترتیب با میانگین ۳۱ و ۴۷۷ گویای یک محیط حاشیه قاره‌ای فعال است.

آورنده این سنگ‌ها از یک گوشته سست کره‌ای متاسوماتیسم شده در بالای پهنه فرورانش باشد. نمودار بهنجار شده عناصر کمیاب نسبت به کندریت (شکل ۸-۸)، بی‌هنجاری ضعیف Eu و یک الگوی REE لیستری شکل نشان می‌دهد و LREEs نسبت به HREEs غنی‌شدگی نشان می‌دهند. بی‌هنجاری ضعیف در Eu می‌تواند به دلیل عملکرد فرایند تفریق کانی پلاژیوکلاز (Wilson, 1989; Rollinson, 1993) و یا منشأ گرفتن ماگمای والد از یک گوشته پلاژیوکلازدار باشد (Wilson, 1989). می‌توان گفت که نبود بی‌هنجاری شاخص منفی در Eu در سنگ‌های غیردگرسان منطقه، گویای مقدار بالای آب یا فوگاسیته اکسیژن می‌باشد (Frey et al., 1978; Richards et al., 2012). اگر بی‌هنجاری Eu با بی‌هنجاری Sr همراه باشد، جدایش بلوری پلاژیوکلاز رخ داده است (Wilson, 1989). بنابراین با توجه به بی‌هنجاری منفی Sr و Eu در سنگ‌های منطقه می‌توان گفت که پلاژیوکلاز فازپایدار در خاستگاه و یا فاز مهم در هنگام جدایش بلورین و یا هنگام تغییر فوگاسیته اکسیژن بوده است (Rollinson, 1993; Wade et al., 2005). تهی‌شدگی از عناصر با میدان پایداری بالا از ویژگی‌های شاخص ماگماهای مناطق فرورانش است (Geng et al., 2009) و می‌تواند نشان دهنده مشارکت پوسته در فرایندهای ماگمایی باشد همانگونه (Dostal et al., 2001; Nagudi et al., 2003; Shang et al., 2004)



شکل ۵- A) نمای کلی از رخنمون واحد مونزودیتی-گرانودیوریتی (دید به سمت شمال‌خاور). B) نمای نزدیکی از واحد مونزودیتی-گرانودیوریتی. C) نمونه دستی از واحد گرانودیوریتی. D) دگرسانی اپیدوتی در واحد مونزودیتی، F) بافت افیتیک و دگرسانی کربناتی با ادخال‌هایی از کانی زیرکن در نمونه گرانودیوریتی. G) سریستی شدن پلاژیوکلاز به همراه هورنبلند در نمونه مونزودیتی. علائم اختصاری کانی‌ها: Pl: پلاژیوکلاز، Ep: اپیدوت، Cb: کربنات، Ser: سریست، Hb: هورنبلند، Zr: زیرکن، Op: کانی‌های اپیک. (علائم اختصاری برگرفته از کرتز-1983).

Figure 5- A) A general view of monzodiorite-granodiorite rock units (view to the northwest). B) A close view of monzonite-granodiorite. C) A close view of granodiorite unit. Mineral abbreviations. D) Epidote alteration in monzonitic unit. E) Aphytic texture and carbonate alteration with zircon inclusions in granodiorite. F) Sericitization of plagioclase with hornblende in monzodiorite. Abbreviations from Kretz (1983): Pl: plagioclase, Ep: epidote, Cb: carbonate, Ser: sericite, Hb: hornblende, Zr: zircon, Op: opaque minerals.

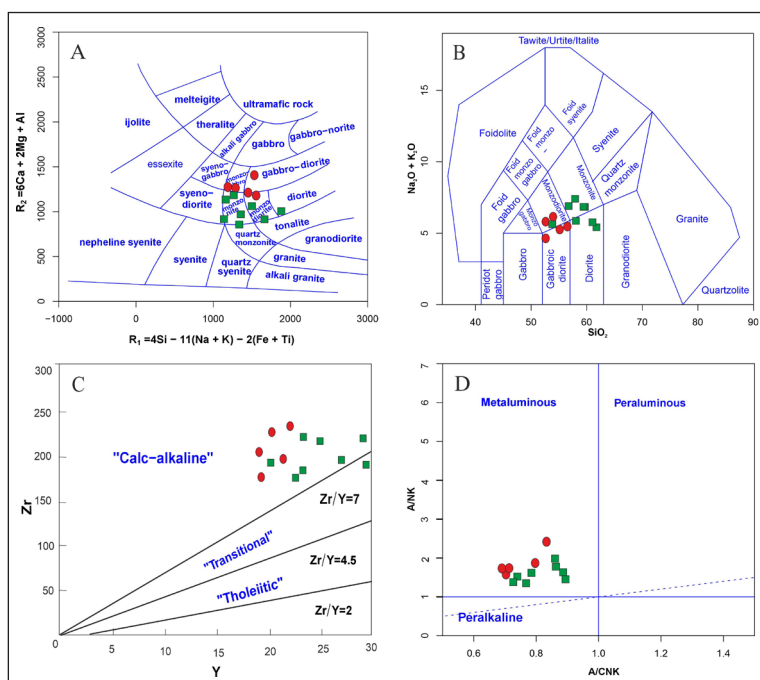


شکل ۶- A) نمای کلی از رخنمون‌های توده‌های نفوذی محدوده (دید به سمت جنوب باختر). B) درشت بلور کلینوپروکسن و پلاژیوکلاز با ماکل پلی سنتتیک به همراه کانی‌های فرومنزین کلریتی شده. C) میکروکریستال‌های هورنبلند دگرسان شده با بافت آنتی راپاکیوی که سبب ایجاد اکتینولیت‌های ریز و سوزنی شده است. D) درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز به همراه بلورهای کوچکی از کلینوپروکسن در بین آن‌ها که بعضی از کانی‌ها توسط کربنات جایگزین شده‌اند. E) بافت اینترسرتال و سریسیته شدن بلورهای پلاژیوکلاز در امتداد ماکل‌های پلی سنتتیک و پرشدگی شکستگی‌ها با کربنات در نمونه گابرو دیوریت. F) نمونه دستی از واحد گابرو-دیوریت. G) ریزبلورهای آلکالی فلدسپات آرژیلیکی شده و بلورهای پلاژیوکلاز با دگرسانی اپیدوتی. (علائم اختصاری کانی‌ها: Pl: پلاژیوکلاز، Ep: اپیدوت، Cb: کربنات، Ser: سریسیت، Cpx: کلینوپروکسن، Fsp: فلدسپار، Chl: کلریت، Op: کانی‌های اپیک، Act: اکتینولیت، Hbl: هورنبلند). علائم اختصاری برگرفته از کرتز (Kretz, 1983).

Figure 6-A) A general view of the plutonic outcrops (view to the southwest). B) Coarse crystal of clinopyroxene and plagioclase with polysynthetic twinning and chloritized ferromagnesian minerals. C) Altered hornblende microcrystals with antirapakivi texture that caused the creation of fine and needle-like actinolites. D) Coarse plagioclase crystals with inclusions of small clinopyroxene crystals where some minerals have been replaced by carbonate. E) Intersertal texture and sericitization of plagioclase crystals along polysynthetic twinning and fracture filling with carbonate in gabbro diorite. F) A close view of gabbro diorite. G) Argillized alkali feldspar microcrystals and plagioclase crystals with epidote alteration. Mineral abbreviations (Kretz, 1983): Pl: plagioclase, Ep: epidote, Cb: carbonate, Ser: sericite, Cpx: clinopyroxene, Fsp: feldspar, Chl: chlorite, Op: opa minerals, Act: actinolite, Hbl: hornblende.

شکل ۷- رده‌بندی شیمیایی و تعیین ماهیت سنگ‌های نفوذی جنوب مامونییه. A) نمودار کاتیون‌های دولاروش و همکاران (De la Roche et al., 1980). B) نمودار SiO_2 در برابر Na_2O+K_2O (Middlemost, 1994). C) نمودار Zr/Y در برابر Th/Yb (Ross and Bedard, 2009). D) نمودار A/CNK (نسبت مولی $Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O$) (Shand, 1943).

Figure 7. Chemical classification and determining the nature for intrusive rocks in south of Mamuniyeh. A) Geochemical classification of studied rocks in the multi cationic R1-R2 diagram (De La Roche et al., 1980); B) SiO_2 vs. Na_2O+K_2O (Middlemost, 1994); C) Zr vs. Y plot (after Ross and Bedard, 2009); D) Plot of A/NK [molar ratio $Al_2O_3/(Na_2O + K_2O)$] vs. A/CNK [molar ratio $Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O)$] for studied rocks (from Shand, 1943).



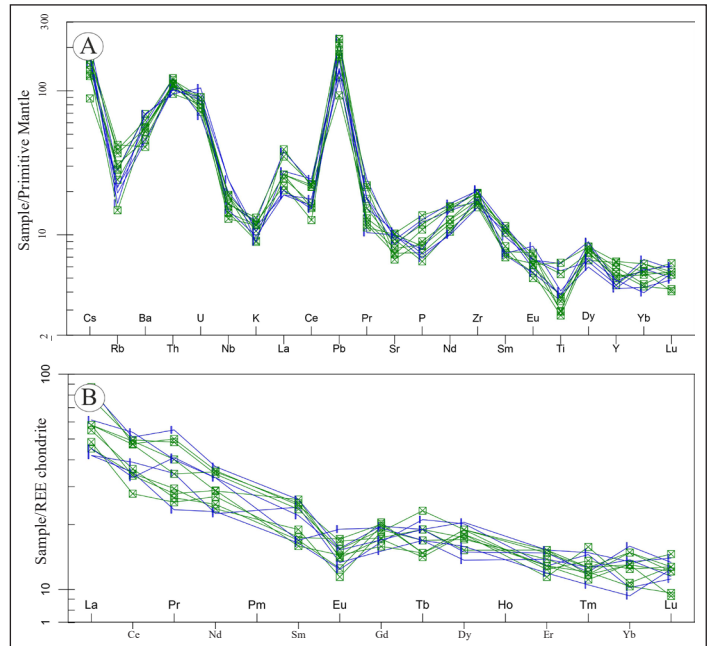
جدول ۱- نتایج آنالیز زمین شیمیایی سنگ کل سنگ‌های نفوذی منطقه مطالعاتی (عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی، عناصر فرعی و نادرخاکی بر حسب گرم در تن).

Table 1. The results of Whole rock geochemical composition of the plutonic rocks from the study area (major elements in wt. %, trace and rare earth elements in ppm).

Sample No	MNG-3	MNG-4	MNG-8	MNG-10	MNG-11	MNG-15	MNG-16	MNG-18	MNG-24	MNG-25	MNG-29	MNG-30	MNG-35
SiO ₂	56.51	58.3	53.1	52.2	60.1	56.4	52.71	53.86	56.2	56.9	58.6	51.1	58.3
Al ₂ O ₃	16.41	15.28	16.37	17.5	14.24	14.83	17.14	15.1	16.1	14.94	15.1	17.7	14.3
CaO	5.38	3.61	7.6	6.3	5.2	6.83	6.81	6.97	6.11	4.64	4.3	7.7	5.1
Fe ₂ O ₃	9.9	9.5	9.8	10.1	9.2	10.21	10.35	10.16	9.1	10.36	8.3	10.7	9.1
K ₂ O	0.67	0.8	0.46	0.5	0.67	0.74	0.69	0.5	0.6	0.65	0.3	0.6	0.8
MgO	2.63	3.1	2.63	3.2	2.95	3.28	3.8	3.1	3.1	2.6	3.1	3.3	3
MnO	0.18	0.21	0.24	0.19	0.26	0.21	0.3	0.27	0.1	0.16	0.23	0.34	0.3
Na ₂ O	5.17	5.87	5.64	5.1	4.88	4.94	5.1	4.88	6.18	6.32	5.43	4.1	5.87
P ₂ O ₅	0.19	0.18	0.24	0.77	0.3	0.45	0.3	0.6	0.3	0.2	0.5	0.3	0.36
TiO ₂	0.59	0.91	0.74	1.1	0.8	0.94	0.95	0.9	0.94	0.89	0.96	1.2	0.9
LOI	2.14	1.96	2.57	2.44	1	1.1	1.7	3.4	1.23	1.98	2.63	2.53	1.7
Total	99.77	99.72	99.39	99.4	99.6	99.93	99.85	99.74	99.96	99.64	99.45	99.57	99.73
As	15.7	10.1	7.1	11.7	9.1	11.8	4.2	11.4	13.2	13.5	10.4	6.1	11.7
Ba	482	364	412	382	285	311	324	475	321	394	436	483	384
Be	1.2	1.3	1.1	1.7	1.3	1.3	0.9	1.3	1.2	1	1.4	1.1	1.2
Ce	27.9	29.3	28.3	38.4	39.5	41.2	31.5	43.4	22.5	27.3	40	26.8	38.1
Co	12.7	9.2	24.3	16.9	16.5	12.8	25.4	24.1	15.2	13.5	16.3	20.3	14.7
Cr	39	25	19	58	29	14	34	18	42.0	39.0	45.0	36.0	26.0
Cs	1.03	0.7	1.2	1.4	1.4	1.3	1.4	1.7	1	1.2	1.3	1.4	1.1
Dy	6.1	5.6	6.5	4.9	5.8	4.8	4.4	6.6	6.1	5.8	5.5	5.1	6.1
Er	3.2	2.7	2.7	3.2	2.4	3.1	2.9	3.2	2.6	2.7	2.9	2.5	3.1
Eu	0.84	0.92	0.91	1.23	1.03	1.14	0.98	1.12	1.26	1.06	1.13	1.4	1.04
Gd	4.8	5.1	4.3	4.5	4.44	5.1	3.9	4.4	5.2	4.1	4.9	5	5.3
Hf	2.4	2.2	3.1	2.5	2.8	3.1	3.5	5.1	3.8	4.6	2.4	3.4	4.1
La	14	17	13	27	18	26	13	19	15	18	24	14	18
Lu	0.41	0.47	0.36	0.39	0.41	0.43	0.37	0.45	0.41	0.31	0.3	0.4	0.39
Nb	13.22	10.2	14.1	13.2	10.1	11.8	10.6	17.3	11.8	9.2	11.6	17.2	13.5
Nd	14.2	14.9	13.8	21.4	17.2	22.3	13.5	19.8	16.2	17.3	20.6	19.8	21.1
Ni	11	3	3.1	2	7	10	13	11	8	6	7	9	12
P	621	713	654	1297	856	1209	697	1163	793	811	1032	752	1120
Pb	15.3	8.8	16.4	12.8	16.3	10.2	8.6	11.6	13.5	12.3	16.2	9.8	6.6
Pr	3.59	3.25	2.86	6.1	4.9	6.72	4.22	4.89	3.1	3.4	5.9	5	4.2
Rb	17.9	15.3	13.5	23.4	26.8	12.4	13.7	17.8	19.6	18.3	24.8	10.5	9.4
S	123	45	64	745	128	73	63	56	183	189	310	62	53
Sc	19.4	10.1	29.4	30.1	18.5	28.8	29.3	31.3	26.1	21.9	22.7	26.4	23.8
Sm	3.7	3.3	3.2	4.8	5.1	5.1	4.7	4.3	3.4	3.1	4.6	3.3	4.9
Sn	0.7	0.8	1.1	0.9	1.3	1.1	0.9	0.8	0.9	1.2	0.8	1.2	1.2
Sr	196	157	210.4	215.5	142	194	223	179.4	212.4	169.5	154.2	205.8	184.3
Ta	1.01	0.8	0.8	0.82	0.55	0.64	0.65	1.03	0.71	0.86	0.94	1	0.8
Tb	1.1	0.9	1	0.9	0.67	0.9	0.8	0.9	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7
Th	8.1	9.4	10.3	9.6	10.1	8.8	9	8.6	9.2	9.5	10.4	8.1	9.2
Tm	0.38	0.36	0.47	0.41	0.51	0.39	0.41	0.48	0.44	0.39	0.38	0.34	0.41
U	1.7	1.5	1.4	1.8	1.9	1.8	2	1.9	1.6	1.7	1.6	2.2	1.9
V	143	79	198	173	136	311	289	293	158	172	186	273	231
Y	20.3	22.7	19.2	29.2	27.1	20.4	19.4	21.7	23.4	25.1	23.4	22.1	29.7
Yb	3.1	2.74	2.13	2.72	2.85	3.32	2.87	2.81	2.6	2.16	2.72	1.95	3.1
Zn	21.1	10.9	68.9	69	84.6	73	74	64.2	41.1	49.2	56.4	65.2	75.4
Zr	192	174	203	217	194	227	174	196	182	215	219	232	187

شکل ۸- A) نمودار چندعنصری بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) و B) نمودار بهنجار شده عناصر نادر خاکی نسبت به کندریت (Boynton, 1984) در جنوب مامونیه.

Figure 8-A) Primitive mantle-normalized trace-element spider diagram for intrusive rocks of Mamuniyeh samples. Normalizing values are from Sun and McDonough (1989). B) Chondrite-normalized REE patterns of the Mamuniyeh samples, with chondrite values are from Boynton (1984).



بخشی از گوه گوشته، به مواد پوسته آلوده شده است. این الگو با نتایج مشاهده شده در سرتاسر کمان ماگمایی ارومیه-دختر (UDMA) مطابقت دارد.

۳-۳- دگرسانی

دگرسانی فراگیر در منطقه بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی و پراش اشعه ایکس (XRD) به صورت سیلیسی شدن، پروپلیتی-کلریتی، سریستی، آرژلیک و کربناتی در مقیاس‌های مختلفی رخ داده است. دگرسانی پروپلیتیک در مقیاس وسیعی در واحدهای کوارتز مونزونیت-مونزودیوریتی به صورت جایگزینی کلریت، اپیدوت تحت اثر فرایندهای گرمایی و هوازدگی در کانی‌های پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم و کانی‌های مافیک دیده می‌شود (شکل ۱۰-A) همچنین کلریتی شدن شدید در مواردی با جایگزینی کلریت در پلاژیوکلاز مشاهده می‌شود که کانی‌سازی پراکنده پیریت نیز همراه آن به چشم می‌خورد (شکل ۱۰-A). تحت تاثیر دگرسانی پروپلیتیک در واحدهای گرانودیوریتی، آمفیبول به کلریت تبدیل گردیده است. دگرسانی سریستی در شدت‌های مختلف در مواردی موجب تلاشی بافت سنگ‌ها شده است. درشت بلورهای پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت به سریسیت و کوارتز دگرسان شده‌اند و پیریت به صورت جزئی و پراکنده و افشان همراه این دگرسانی دیده می‌شود. سریستی شدن در حجم کم به صورت جایگزینی فلدسپار پتاسیم با سریسیت در امتداد سطوح رخ و با تبلور اولیه یک هسته آنورتیتی در پلاژیوکلاز سازگار است که در هنگام سرد شدن ناپایدار شده و در نهایت به سریسیت و کربنات به صورت گرمایی دگرسان می‌شوند (Wall et al., 1987).

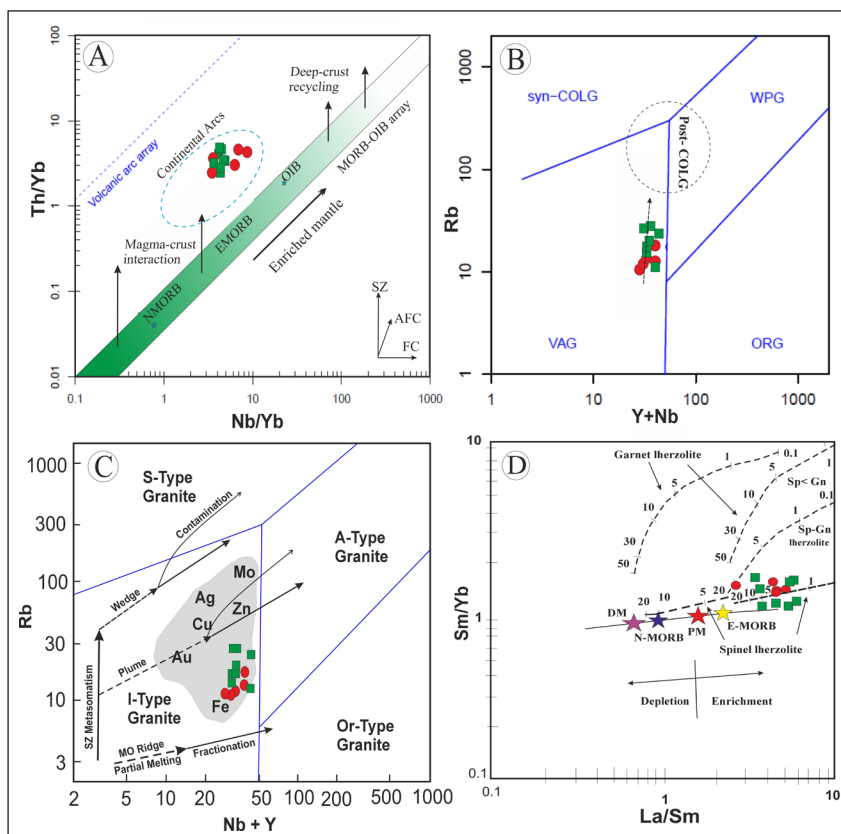
دگرسانی سیلیسی قابل توجهی در واحدهای سنگی منطقه به ویژه در آندزیت‌های میزبان دگرسانی به صورت رگه-رگچه‌های سیلیسی با ستبرای میلی‌متری تا چندده سانتی‌متری از نوع کوارتز با بافت برشی، کلوفرم، قشری و شکافه پرکن و همچنین افشان در زمینه سنگ دیده می‌شود که کانی‌سازی در منطقه به طور عمده همراه این رگه و رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی-اکسیدی حاوی کالکوپیریت و پیریت و رگه‌های برشی حاوی سولفیدها است (شکل ۱۰-B, D). وجود برش‌های گرمایی (Andre'-Mayer et al., 2002) و بافت‌هایی مانند نواری کوارتزی، کلوفرم و قشری (Simmons et al., 2005) می‌تواند رخداد پدیده جوشش را در منطقه را نشان دهد.

۳-۲- محیط و جایگاه زمین‌ساختی

بر اساس نمودار Nb/Yb در برابر Th/Yb (Pearce, 2008)، توده‌های نفوذی منطقه در ارتباط با حاشیه‌های فعال قاره‌ای طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۹-A). تعیین جایگاه زمین‌ساختی با استفاده از نمودار Y+Nb در برابر Rb (Pearce et al., 1984) (شکل ۹-B) نشان‌دهنده محیط‌های کمانی بالغ است و می‌تواند گویای نقش مهم یک محیط پس از برخورد در جایگزین شدن توده‌های کانساری در این منطقه و کمان ماگمایی ارومیه-دختر باشد (Richards et al., 2012; Asadi, 2018). ذخایر مس، طلا، سرب، روی و آهن به طور معمول در همراهی با توده‌های نفوذی نوع I تفریق یافته نشده یافت می‌شوند (شکل ۹-C). این عناصر در طی تفریق ماگماهای سیلیسی تهی می‌گردند. افزون بر این، افزایش آلودگی پوسته قاره‌ای سبب رقیق شدن غلظت ماگمای این عناصر نیز می‌شود. در نتیجه، بیشترین احتمال توسعه کانسنگ با ماگماهای کمتر تفریق یافته و با آلودگی کمتر با پوسته قاره‌ای است. (Christiansen and Keith, 1996). ظاهراً مس توسط فرایندهای تبلور جزئی، تهی می‌شود. در طول عبور و حضور ماگماها در پوسته ناحیه فرورانش، اغلب با تزریق ماگمای تازه از گوشته مخلوط می‌شوند. این فرایند از طریق تبلور (کریستالیزاسیون) جزئی مانع از تکامل آن‌ها می‌شود و مقادیر بالایی از عناصر سازگار مانند مس را حفظ می‌کند که برای تشکیل ذخایر معدنی مناسب است. برعکس، این امر شانس تجمع عناصر ناسازگار مانند مولیبدن را که معمولاً در انواع مختلف ذخایر معدنی یافت می‌شود را کاهش می‌دهد (Christiansen and Keith, 1996). برای تعیین ترکیب کانی‌شناسی ماگمای منشا و درجه ذوب بخشی، از نسبت Sm/Yb در برابر La/Sm استفاده شد (شکل ۹-D) (Shaw, 1970)، به نظر می‌رسد که ماگمای والد از گوشته متاسوماتیزه شده با درجه ذوب بخشی تا ۱۰ درصد از اسپینل لرزولیت منشا گرفته است. نسبت Zr/Y بیشتر از ۳ ویژگی کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای است، در حالی که نسبت Zr/Y کمتر از ۳ برای کمان‌های اقیانوسی است (Pearce and Norry, 1979). سنگ‌های منطقه مامونیه عمدتاً دارای نسبت Zr/Y بیشتر از ۳ هستند که نشان می‌دهد محیط زمین‌ساختی ماگما در این ناحیه شبیه به یک کمان آتشفشانی قاره‌ای است. به نظر می‌رسد فرورانش پوسته اقیانوسی تیسس جوان در زیر صفحه ایران مرکزی با انتشار آب از سنگ کره (لیتوسفر) فرورانش همراه بوده است. در نتیجه، ماگما، ناشی از ذوب

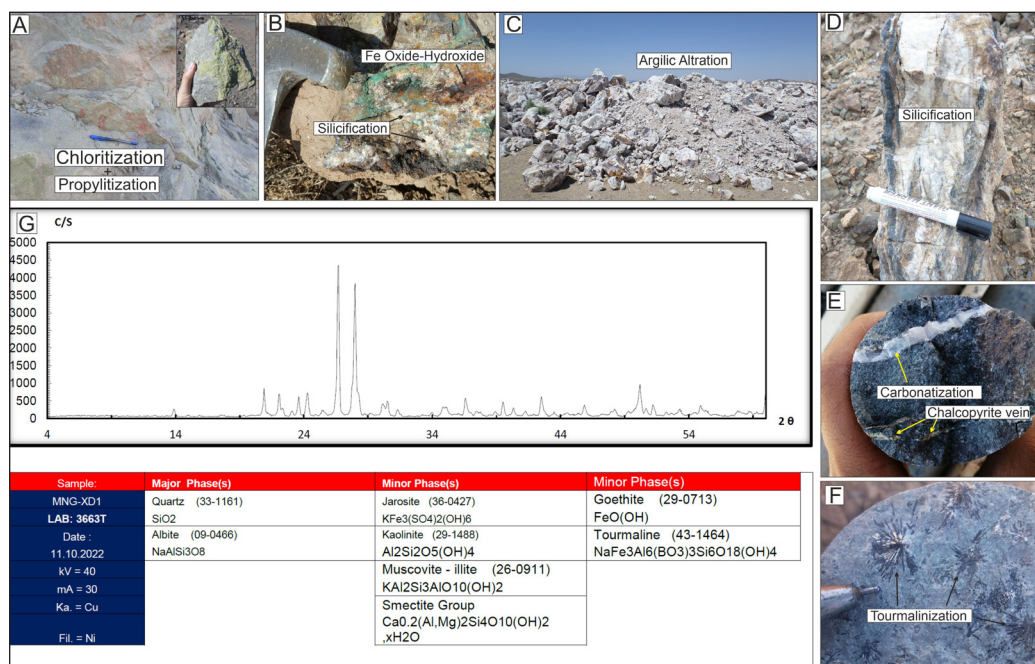
سیال با دمای به نسبت بالا حاوی عنصر بور با اشکال شعاعی، خودشکل و نیمه شکل دار در واحد گابرو به صورت بلورهای شورلیت مشاهده می شود (شکل ۱۰-F). آلیتی شدن نیز به طور عمده در شمال خاوری منطقه تحت تاثیر اضافه شدن سدیم از طریق سیالات گرمابی و ماگمایی به صورت جانشینی فلدسپار با آلیت مشخص است (شکل ۱۰-G). هوازدگی و واکنش های اکسیداسیون در بخش های سطحی، رخداد گسترده ای از اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن نظیر جاروسیت، لیمونیت، گوتیت و هماتیت را به دنبال داشته است که در آنالیزهای XRD نیز مشخص گردیده است (شکل ۱۰-G).

تحت تاثیر سیالات گرمابی و ماگمایی، بخارات اسیدی حاصل از جوشش و آب های جوی دگرسانی آرژلیک گستره وسیعی از رخنمون های منطقه را دربر گرفته است و کانیه های کوارتز، کانولینیت، مونتموریلونیت، جاروسیت، اسمکتیت، مسکوویت و گوتیت از محصولات این دگرسانی به ویژه در بخش خاوری منطقه در واحدهای سنگی ریولیت-داسیتی هستند (شکل ۱۰-C). با توجه به عدم حضور آلونیت، این نوع دگرسانی آرژلیک از نوع آرژلیک متوسط است. کرنباتی شدن در منطقه به صورت رگچه های کلسیتی گاه همراه با پیریت-کالکوپیریت و بی شکل تا شکل دار در بین بلورهای کوارتز دیده می شود (شکل ۱۰-E). تورمالینی شدن با گسترش کم تحت نفوذ



شکل ۹- تعیین خاستگاه زمین ساختمانی سنگ های نفوذی منطقه جنوب مامونیه. A) تعیین محیط زمین ساختمانی منطقه با استفاده از نمودار Th/Yb در برابر Nb/Yb (Pearce, 2008). B) نمودار Rb در برابر $Y+Nb$ در برابر $Y+Nb$ (Pearce et al., 1984). C) نمودار Rb در برابر $Nb+Y$ در ارتباط با انواع کانیه سازی و تأثیر فرایندهای مختلف و ترکیبات منشا بر روند عناصر کمیاب (Christiansen and Keith, 1996). D) نمودار Sm/Yb در برابر La/Sm (Shaw, 1970).

Figure 9. Determine the tectonic origin and source of the magma in the Mamuniyeh. A) Th/Yb vs. Nb/Yb diagram (Pearce, 2008); B) A plot of $Y+Nb$ (ppm) vs Rb (ppm) diagram (Pearce et al., 1984) with volcanic arc granite (VAG - I-type), syncollisional granite (syn-COLG - S-type), and within plate granite (WPG - A-type); C) diagram show trace element compositions of granites associated with various types of mineralization and the effect of various processes and source compositions on trace element trends (modified after Christiansen and Keith, 1996). D) La/Sm vs. Sm/Yb (Shaw, 1970). See Fig. 11 for symbols.



شکل ۱۰- تصاویری از دگرسانی‌های مشاهده شده در منطقه جنوب مامونیه. (A) دگرسانی آرژیلیک گسترده در خاور و شمال‌خاور محدوده. (B) دگرسانی پروپلیتی و کلریتی شدید در واحد مونزودیوریت. (C) سیلیسی شدن واحد آندزیت همراه با کانی‌های مس. (D) رگه سیلیسی همراه با کانی‌سازی اولیژیست. (E) آنالیز XRD از پهنه دگرسان که نشان‌دهنده کانی‌های کوارتز، آلپیت، ژاروسیت، کائولینیت، مسکویت، اسمکتیت، گوئیت و تورمالین است. (F) تورمالینی شدن در واحد گابرویدیوریت. (G) کربناتی شدن به شکل رگه‌ای در واحد گرانودیوریت که همراه با کانی‌سازی کالکوپیریت دیده می‌شود.

Figure 10. Photographs of alteration types recorded in the southern mamoniye area. A) Extensive argillic alteration in the east and northeast of area. B) Strong propylitic and chloritic alteration in the monzodiorite unit. C) Silicification in andesite with Cu minerals. D) Silica vein with oligist mineralization. e) XRD analysis of alteration zone showing quartz, albite, jarosite, kaolinite, muscovite, smectite, goethite and tourmaline minerals. F) Tourmalinization in gabbrodiorite. G) Veins form carbonatization in granodiorite, which can be seen with chalcopyrite mineralization.

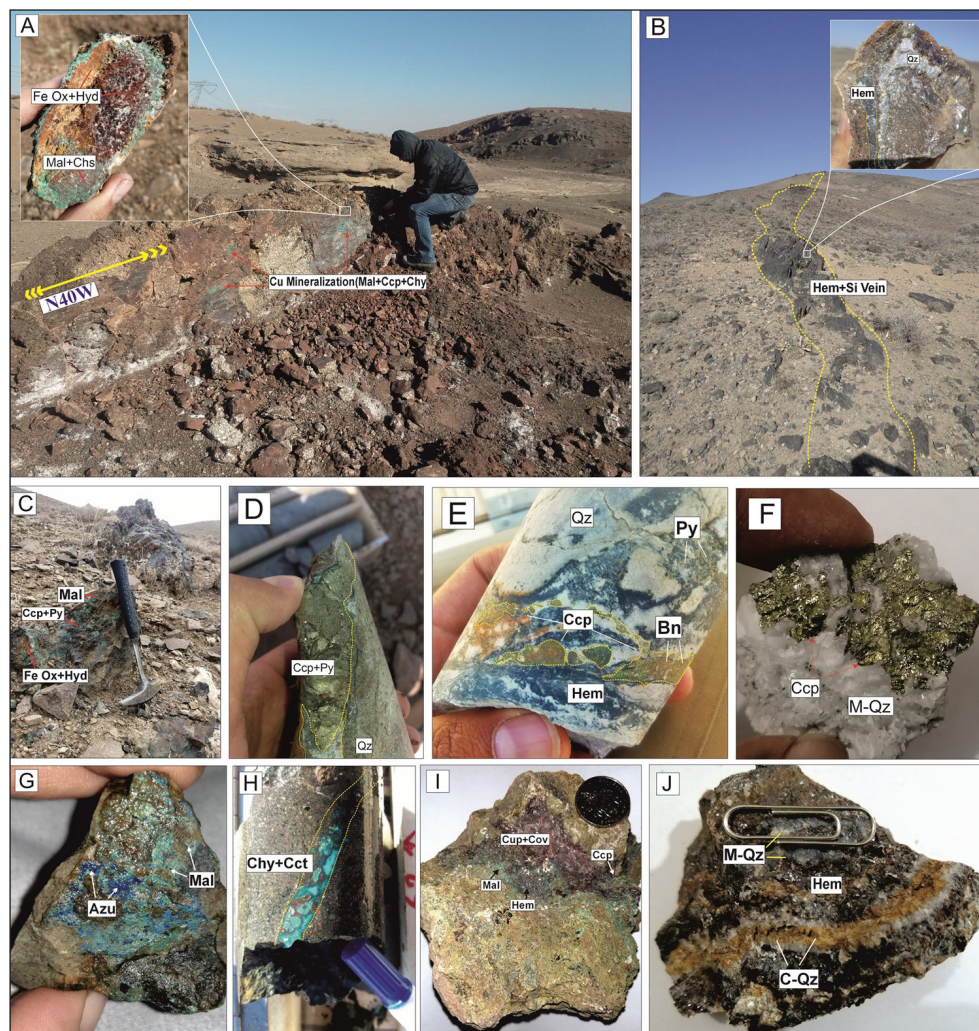
در میزبان کالکوپیریت دیده می‌شوند که توسط سیال‌های گرمایی در مراحل بعدی جایگزین شده‌اند (شکل‌های ۱۲-A, B). کالکوپیریت اصلی‌ترین کانه مس در منطقه است که به صورت بلورهای بی‌شکل و پراکنده در متن سنگ و رگه-رگچه عمدتاً به همراه بورنیت دیده می‌شود و بیشتر در حاشیه به کالکوسیت و کوولیت تبدیل شده است (شکل‌های ۱۲-C, D, E). تقریباً در تمام گستره منطقه رگه‌های سیلیسی با سترهای متغیر حاوی بلورهای تیغه‌ای اسپیکولاریت شکل‌دار و نیمه شکل‌دار دیده می‌شوند (شکل‌های ۱۱-B و ۱۲-F, G). کانی‌سازی رگه‌ای شامل کوارتز - کالکوپیریت، کوارتز-پیریت-کالکوپیریت-اسپیکولاریت-هماتیت و کوارتز-کالکوپیریت-کلسیت-کانی‌های ثانویه (کالکوسیت، کوولیت، آزوریت، ملاکیت، کریزوکولا) هستند. کانی‌های سولفیدی تحت تاثیر فرایندهای برونزاد و هوازدگی تشکیل کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن مانند گوئیت، هماتیت و لیمونیت را داده‌اند. بافت‌های گل کلمی و نواری در این هیدروکسیدهای آهن نشانگر تشکیل آن‌ها در محیط‌های سطحی است (شکل ۱۲-H). بر اساس بررسی روابط صحرائی و مقاطع میکروسکوپی مراحل کانی‌سازی به این شرح قابل توضیح هستند (شکل ۱۳): مرحله هیپوژن (درون‌زاد) که در آن کانی‌ها به صورت دو فازهای اکسیدی و سولفیدی روی داده‌اند. کانی‌های سولفیدی مرحله هیپوژن شامل پیریت، کالکوپیریت و بورنیت هستند و با توجه به اینکه عموماً کالکوپیریت و گاه بورنیت

۳-۴- کانه‌زایی

کانی‌سازی در منطقه جنوب مامونیه در ۷ پهنه اصلی در سنگ میزبان آندزیتی، کوارتزومونزویت و گابرو رخ داده است که عمدتاً با روندهای N25E، N35W، N40W، N38W، N50W مشاهده می‌شوند و تا حدودی با روند گسل‌های محدوده مطابقت دارند (شکل ۱۱-A). بازه طولی پهنه‌های کانی‌سازی از چند ده متر تا یک کیلومتر و عیار مس از ۰/۱ تا ۵ درصد محتوا مس متغیر است (شکل‌های ۱۱-B, C). بیشترین نمود کانی‌سازی در منطقه جنوب مامونیه به شکل رگه و رگچه‌های سیلیسی حاوی کانی‌های سولفیدی و اکسیدی شامل کالکوپیریت، پیریت، بورنیت و اسپیکولاریت و مقادیر اندکی مگنتیت-تیتانومگنتیت (شکل‌های ۱۱-D, E, F) و کانه‌های ثانویه و اکسیدی شامل کالکوسیت، کوپریت، کوولیت، آزوریت، ملاکیت، کریزوکولا، توریت، گوئیت و لیمونیت هستند (شکل‌های ۱۱-G, H, I, J). فراوان‌ترین کانی سولفیدی منطقه پیریت است که بر اساس شواهد صحرائی و مطالعه بافتی در قالب دو نسل مشاهده می‌شود. پیریت‌های فرامبوئیدال و نیمه‌خودشکل نسل اول که فراوان‌ترین کانی سولفیدی در منطقه هستند و به صورت ریزدانه در متن سنگ میزبان به صورت افشان به همراه مقادیر کمتری کالکوپیریت حضور دارند و گاه با حفظ شکل بلوری به هماتیت و گوئیت تبدیل شده‌اند. نسل دوم پیریت‌ها به صورت شکافه پرکن، رگه-رگچه‌ای (داربستی) و گاه به صورت میانبار

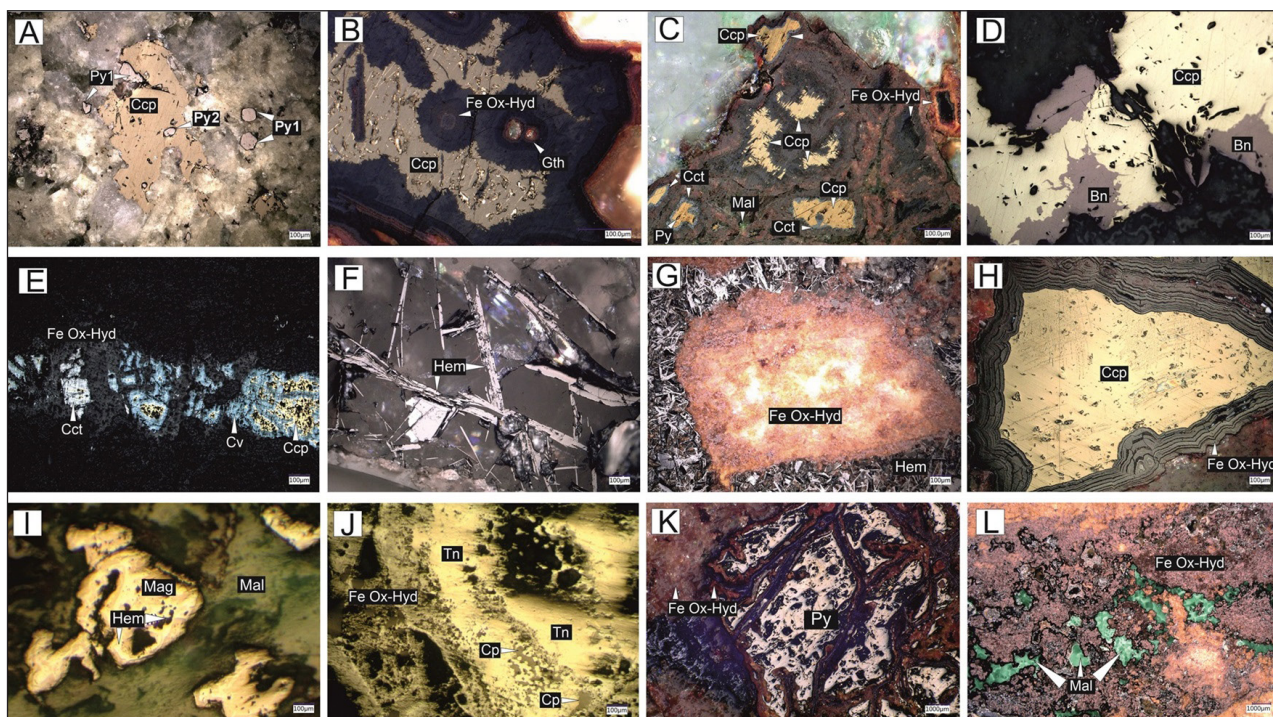
برون‌زاد بر کالکوپیریت و بورنیت به صورت حواشی کم ضخامت در پیرامون آن‌ها تشکیل شده است (شکل‌های ۱۲-C,E). بافت‌های اصلی کانی‌ها در این مرحله شامل رگه-رگچه‌ای، جانیشینی، باقیمانده (Residual)، اسکلتی، نواری و گلی (کوکاد) و گل کلمی (کلوفرم) هستند (شکل‌های ۱۲-H,I,J,K,L). در مرحله بعدی تحت تاثیر اکسیداسیون، رخداد گسترده کانی‌های مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، تنوریت، کوپریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت مشاهده می‌گردند. در نتیجه اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی مانند کالکوپیریت، در حاشیه آن‌ها کوپریت و تنوریت جانشین شده‌اند و گاه باقی مانده‌های دانه‌ای از کالکوپیریت در زمینه‌ای از این کانی‌ها دیده می‌شوند (شکل ۱۲-J). همچنین در اثر اکسیداسیون پیریت در سطح، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تشکیل گردیده‌اند که وجود بافت‌هایی مانند جعبه‌ای در آن‌ها از ویژگی‌های مناطق اکسیداسیون است (شکل ۱۲-K). مراحل کانی‌سازی و توالی پاراژنی کانی‌ها و بافت‌ها در منطقه جنوب مامونیه در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

بلورهای پیریت را در بر گرفته‌اند، پیریت فاز قدیمی تری نسبت به دو کانی یاد شده است. کالکوپیریت نیز به‌عنوان فراوان‌ترین کانه مس بر اساس روابط بافتی پیش از بورنیت پدید آمده است (شکل‌های ۱۲-A,D). کانی‌های اکسیدی این مرحله شامل اسپیکیولاریت، تیتانومگنتیت و مگنتیت هستند که هماتیت به شکل اسپیکیولاریت به صورت بلورهای تیغه‌ای و ورقه‌ای در کل گستره مطالعاتی مشاهده می‌شوند (شکل‌های ۱۲-F,G). مگنتیت و تیتانومگنتیت به صورت بلورهای شکل‌دار و نیمه شکل‌دار به مقدار محدود و پراکنده در زمینه و گاه در همراهی با پیریت دیده می‌شوند (شکل ۱۲-I). بافت‌های اصلی کانی‌ها در این مرحله شامل رگه-رگچه‌ای، انتشاری، شکافه پرکن، کلوفرم، جعبه‌ای و برشی هستند. در مرحله غنی‌سازی ثانویه مهم‌ترین کانی‌های تشکیل شده کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت و مس طبیعی به مقدار بسیار کم در حاشیه‌های سولفیدهای اولیه با ضخامت کم به وجود آمده‌اند. کالکوسیت کانی چیره این مرحله از کانی‌سازی است و تحت تاثیر فرایندهای



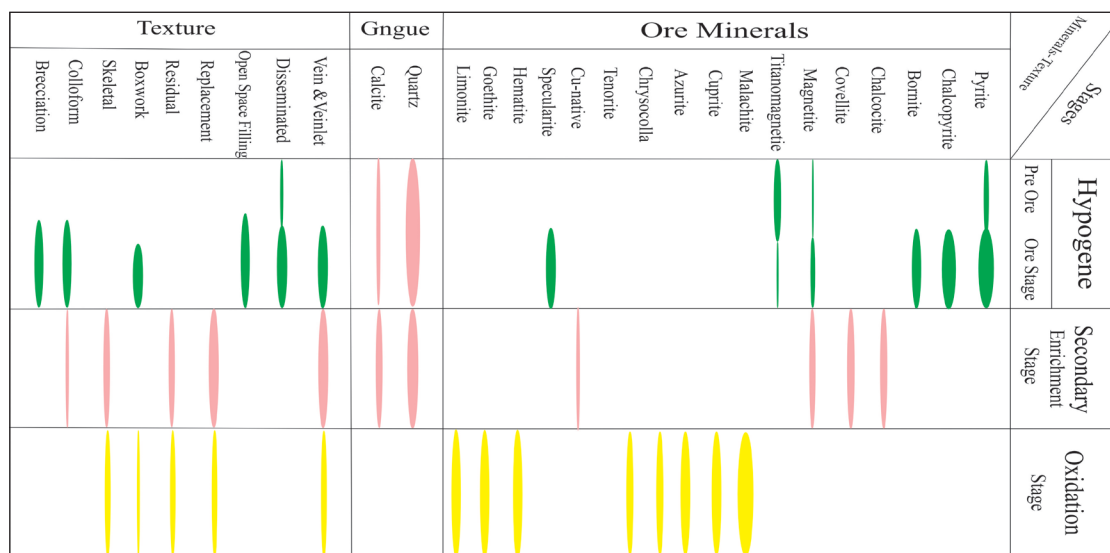
شکل ۱۱- تصاویر صحرایی از کانی‌سازی در منطقه جنوب مامونیه. A) کانی‌سازی کالکوسیت و مالاکیت به همراه اکسید-هیدروکسیدهای آهن در سطح گسل با روند N40W (B) نمای از رخنمون رگه سیلیسی-هماتیت-اسپیکیولاریتی. C) رخنمون رگه سیلیسی به همراه کانی‌سازی کالکوپیریت، پیریت، مالاکیت و اکسید-هیدروکسیدهای آهن. D) رگه پیریت-کالکوپیریت-کوارتز در واحد مونزودیوریتی. E) رگه کوارتز-پیریت-کالکوپیریت-بورنیت-اسپیکیولاریت در مغزه حاصل از حفاری. F) کانی‌سازی کالکوپیریت به همراه رگه کوارتز میکروکریستالین. G) کانی‌سازی مالاکیت و آزوریت به صورت شکافه پرکن در درزه‌های واحد آندزیتی. H) کانی‌سازی کریزوکولا-کالکوسیت به صورت رگه‌ای در مغزه‌های حاصل از حفاری. I) تشکیل مالاکیت، کوپریت و کوولیت در اثر فرایندهای سوپرژن بر کالکوپیریت. J) اسپیکیولاریت و لیمونیت در همراهی با کوارتز بافت کوکاد و میکروکریستالین.

Figure 11. Photographs of mineralization in the study area. A) Chalcocite and malachite Mineralization along with iron oxide-hydroxides on the fault surface with N40W trend. B) A view of the silica specular hematite vein outcrop. C) Silica vein outcrop with chalcopyrite, pyrite, malachite, and iron oxide-hydroxides mineralization. D) Pyrite-chalcopyrite-quartz vein in monzodiorite. E) Quartz-pyrite-chalcopyrite-bornite-specular vein in drill core. F) Chalcopyrite mineralization with microcrystalline quartz veins. G) Malachite and azurite mineralization as fissure filling in the joints of andesite. H) Chrysocolla-chalcoite vein in drill cores. I) Formation of malachite, cuprite and covellite due to supergene processes on chalcopyrite. J) Specularite and limonite with Cokade texture and microcrystalline quartz.



شکل ۱۲- تصاویر میکروسکوپی از کانی‌سازی‌ها و بافت‌ها در منطقه جنوب مامونیه. (A) پیریت‌های نسل اول به صورت پراکنده و پیریت‌های نسل دوم در زمینه کالکوپیریت. (B) تشکیل هماتیت و گوتیت در اثر اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی. (C) کالکوپیریت که در حاشیه به نوارهای باریک کالکوسیت آبی (دیژنیت) تبدیل شده و محصولات دگرسانی سوپرژن شامل، مالاکیت و اکسید-هیدروکسیدهای آهن در درزه و شکاف و حفرات. (D) بورنیت در حاشیه کالکوپیریت. (E) جانشینی کالکوپیریت به وسیله کوولیت و کالکوسیت در کانی‌سازی رگه‌ای. (F) بلورهای تیغه‌ای شکل و فشرده هماتیت اسپیکولاریت با بافت جعبه‌ای. (G) کانی‌سازی اکسید-هیدروکسید آهن به همراه هماتیت اسپیکولاریت با بافت شعاعی در حاشیه آن. (H) کالکوپیریت به همراه گوتیت با بافت نوار و گل کلمی در حاشیه آن. (I) بلورهای مگنتیت به صورت خودشکل و مارتیتی شده که در اثر دگرسانی توسط هماتیت در حال جانشینی است. (J) تنوریت که به صورت جزیره‌ای و جانشینی در کوپریت به شکل باقی مانده دیده می‌شود. (K) اکسیداسیون پیریت با بافت اسکلتی و تشکیل هیدروکسیدهای آهن بافت‌های جعبه‌ای (L) جانشینی کامل کانی‌های سولفیدی توسط کانی‌های پهنه برونزاد. نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010). Ccp: کالکوپیریت، Hem: هماتیت، Cct: کالکوسیت، Mal: مالاکیت، Az: آزوریت، Py: پیریت، Bn: بورنیت، Cv: کوولیت، Tn: تنوریت، Cp: کوپریت، Mag: مگنتیت، Gth: گوتیت، Fe Ox-Hyd: اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن.

Figure 12. Microscopic Photographs of mineralizations and textures in study area. A) First generation of disseminated pyrites and second generation of pyrites in chalcopyrite matrix. B) Formation of hematite and goethite due to the oxidation of sulphide minerals. C) Chalcopyrite, which has been transformed into narrow bands of blue chalcocite (digenite) on its edge and supergene alteration products including malachite and iron oxide-hydroxides in joint and fissure. D) Bornite on the rim of chalcopyrite. E) Substitution of chalcopyrite by covellite and chalcocite in vein-type mineralization. F) Blade crystals of specular hematite with boxwork texture. G) Iron oxide-hydroxide mineralization along with radial specular hematite on its edge. H) Chalcopyrite and goethite with rhythmic and botryoidal textures on its edge. I) Framboidal martitized magnetite crystals which are being replaced by hematite due to alteration. J) Tenorite, which seen as islandy in cuprite and in the form of substitute and residual textures. K) Oxidation of pyrite with skeletal texture and formation of iron hydroxides with boxwork texture. L) Complete replacement of sulphide minerals by supergene zone minerals. Mineral abbreviations (Whitney and Evans, 2010): Ccp: chalcopyrite, Hem: Hematite, Cct: chalcocite, Mal: malachite, Az: azurite, Py: pyrite, Bn: bornite, Cv: covellite, Tn: tenorite, Cp: cuprite, Mag: Magnetite, Gth: goethite, Fe Ox-Hyd: iron oxides and hydroxides.



شکل ۱۳- مراحل کانی‌سازی و توالی پاراژنزی کانی‌ها در منطقه جنوب مامونیه.

Figure 13. Mineralization stages and mineral paragenesis in the south mamoniye area.

۳-۵- میانبرهای سیال

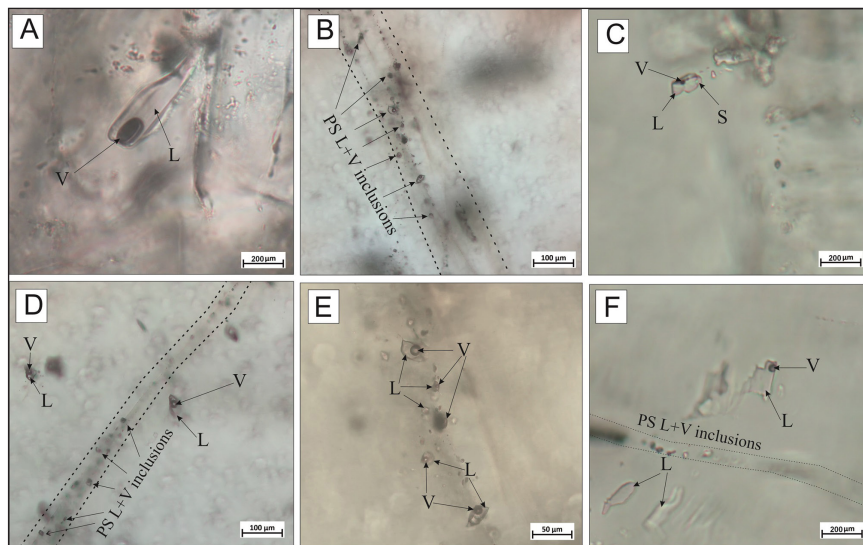
کانی‌زایی در منطقه باشد (Simmons et al., 2000). ۵) میانبرهای سیال سه فازی شامل بخار+مایع+جامد (V+L+S) که فراوانی این نوع میانبار سیال بسیار کم است. در مطالعه حاضر میانبرهای دو فازی غنی از مایع (L+V) همراه با تعداد کمتری میانبار دوفازی غنی از گاز (V+L) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تصاویری از انواع میانبارهای مشاهده شده در منطقه در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

۳-۵-۱- مطالعات ریزدماسنجی

ریزدماسنجی مجموعاً بر روی ۱۳۸ میانبار سیال اولیه، شامل ۱۱۹ میانبار دو فازی غنی از مایع (L+V) و ۱۹ میانبار دوفازی غنی از بخار (V+L) اولیه و بدون دم‌بریدگی انجام گرفت. خلاصه نتایج مطالعات بر اساس نوع فاز و نوع کانی‌سازی در جدول ۲ ارائه گردیده است. شکل ۱۵- A دمای ذوب آخرین قطعه یخ را نشان می‌دهد. محدوده دمای ذوب آخرین بلور یخ برای میانبرهای نوع (L+V) بین ۰/۵- تا ۸/۱- درجه سانتی‌گراد با فراوانی در محدوده ۲- تا ۳- درجه سانتی‌گراد و برای میانبرهای نوع (V+L) بین ۰/۱- تا ۸- درجه سانتی‌گراد با فراوانی در محدوده ۱- تا ۲- درجه سانتی‌گراد تعیین گردید.

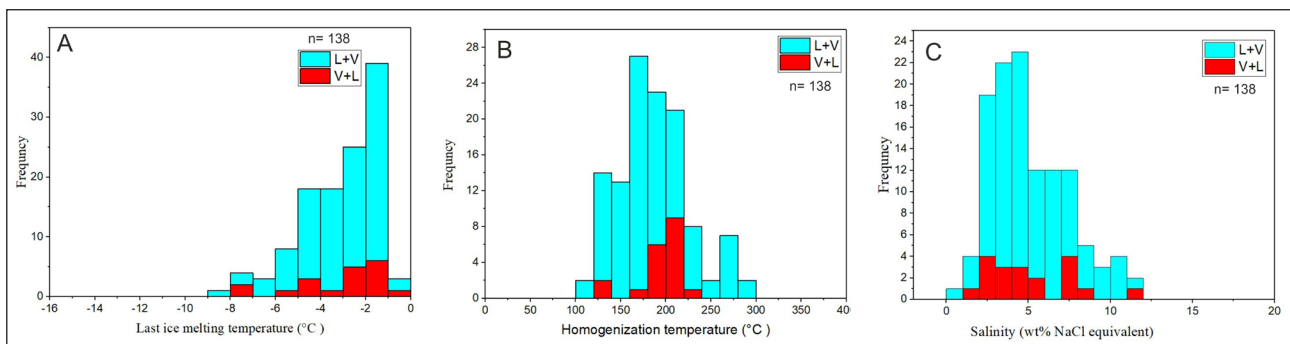
دمای همگن‌شدگی برای میانبرهای نوع (L+V) بین ۱۱۴ تا ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد با فراوانی در محدوده ۱۸۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و برای میانبرهای نوع (V+L) بین ۱۲۳ تا ۲۳۹ درجه سانتی‌گراد با فراوانی در محدوده ۱۸۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید (شکل ۱۵- B). بر مبنای آخرین دمای ذوب یخ (Tm)، میزان شوری از معادله بودناری و ویتیک (Bodnary and Vityk, 1994) برای میانبرها محاسبه گردید و بر این اساس میزان شوری برای میانبرهای نوع (L+V) ۱۱/۷ تا ۲۰/۸ درصد وزنی نمک طعام می‌باشد که در محدوده ۲ تا ۵ تا بیشترین فراوانی را دارد. میزان شوری برای میانبرهای نوع (V+L) ۱۱/۷ تا ۱۱/۴ درصد وزنی نمک طعام می‌باشد که در محدوده ۳ و ۷ بیشترین فراوانی را دارد (شکل ۱۵- C). در میانبرهای کوارتز همراه با پیریت+کالکوپیریت میانگین دمای همگن شدن ۱۸۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین میزان شوری برابر با ۴/۹ درصد، در میانبرهای کوارتز همراه با کالکوپیریت میانگین دمای همگن شدن برابر با ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد و میزان شوری برابر با ۴/۵ درصد و در میانبرهای کوارتز همراه با کالکوپیریت+اسپیکیولاریت±پیریت±کالکوسیت میانگین دمای همگن شدن برابر با ۱۹۵ درجه سانتی‌گراد و میزان شوری برابر با ۵/۵۹ درصد محاسبه گردید (جدول ۲).

مطالعه میانبرهای سیال بر روی ۱۴ مقطع نازک دو بر صیقل تهیه شده از بخش‌های واجد کانی‌سازی بر روی ۱۳۸ میانبار انجام گردید. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد، که میانبرهای سیال منطقه مطالعاتی جنوب مامونیه ابعادی از چند میکرون تا بیش از ۲۰ میکرون و به ندرت تا ۱۵ میکرون دارند و اندازه بیشتر آن‌ها کوچک‌تر از ۱۰ میکرون است. اشکال مشاهده شده در میانبرهای سیال منطقه به صورت نامنظم، بیضوی، کروی، چند وجهی، کشیده و شکل منفی بلور می‌باشند. بر اساس تقسیم‌بندی ژنتیکی و نسبت بافتی رودر (Roedder, 1984) هر سه گروه میانبرهای سیال (اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب) در نمونه‌های مطالعاتی مشاهده می‌گردد. میانبرهای اولیه توسط شواهدی مانند قرارگیری در پهنه‌های رشد بلور، توزیع تصادفی در سه بعد، مجزا بودن از میانبرهای سیال مجاور و اندازه قابل توجه نسبت به کانی میزبان، مشخص گردیدند. میانبرهای ثانویه که بیشتر در ترک‌ها و شکستگی‌های کوچک داخل بلورها گسترش یافته‌اند، به صورت تک‌ردیفی و چند ردیفی در کنار هم مشخص‌اند و میانبرهای سیال ثانویه کاذب به صورت ردیف‌هایی وابسته به میانبرهای سیال اولیه می‌باشند و بر خلاف میانبرهای ثانویه از ترک‌ها و شکستگی‌های موجود در کانی کوارتز عبور نمی‌کنند. جهت تقسیم‌بندی میانبرهای سیال اولیه موجود نیز از تقسیم‌بندی ژنری و بافت رودر (Roedder, 1984) که به وسیله وندن‌خرکف و هین (Van den Kherkof and Hein, 2001) مورد تجدید نظر قرار گرفته است، استفاده گردید و بر این اساس تعداد فازهای میانبرهای سیال در محدوده به ۵ نوع قابل تقسیم است (شکل ۱۲): ۱) میانبرهای تک‌فاز غنی از گاز که برای انجام آزمایش ریزدماسنجی مناسب نیستند. ۲) میانبرهای تک‌فاز غنی از مایع که معمولاً ناشی از فرایند دم‌بریده شدن هستند و برای انجام آزمایش ریزدماسنجی مناسب نمی‌باشد. ۳) میانبرهای سیال دوفازی غنی از مایع شامل مایع+بخار (L+V) که به فاز مایع همگن می‌شوند. این نوع میانبار، فراوان‌ترین میانبرهایی هستند که در منطقه دیده می‌شوند که در آن‌ها، بخش اعظم حجم میانبرها را فاز آبگون تشکیل داده و حجم حباب‌های گاز نسبت به فاز مایع کمتر است. پرشدگی این نوع میانبرها حدود ۷۰ تا ۹۵٪ است، درجه پرشدگی بالا نشان دهنده تشکیل آن‌ها در حرارت‌های کم است. ۴) میانبرهای سیال دوفازی غنی از بخار شامل بخار+مایع (V+L) که به فاز گازی همگن می‌شوند. همگن‌شدگی در این نوع از میانبرها با تشکیل بخار همراه است. حضور میانبرهای سیال نوع اول و سوم همراه میانبرهای سیال نوع چهارم می‌تواند نشان دهند وقوع پدیده جوشش هنگام



شکل ۱۴- تصاویری از میانبراهای سیال. (A) میانبراهای اولیه دو فازی غنی از مایع (B) میانبراهای ثانویه دو فازی غنی از مایع. (C) میانبراهای اولیه سه فازی غنی از مایع. (D) میانبراهای ثانویه دو فازی غنی از مایع به همراه میانبراهای اولیه دو فازی. (E) میانبراهای اولیه غنی از بخار و غنی از مایع. (F) همراهی میانبراهای ثانویه و تک فازی مایع و دو فازی غنی از سیال.

Figure 14. Fluid inclusion photomicrographs. A) Primary two-phase liquid-rich ($L > V$). B) pseudo-secondary liquid-rich type inclusions. C) Liquid rich three phase inclusion. D) pseudo-secondary liquid-rich type inclusions with Primary two-phase liquid-rich. E) Primary two phase liquid-rich ($L \geq V$). F) Mono-phase vapor inclusion with Primary two-phase liquid-rich ($L > V$) and pseudo-secondary liquid-rich type inclusions.



شکل ۱۵- (A) هیستوگرام دمای ذوب آخرین بلور یخ در میانبراهای سیال. (B) هیستوگرام دمای همگن شدگی در میانبراهای سیال. (C) هیستوگرام میزان شوری در میانبراهای سیال منطقه.

Figure 15-A) Histogram of melting temperature of the last ice crystal in fluid inclusion. B) Histogram of homogenization temperature in fluid inclusion. C) Histogram of the salinity in fluid inclusion.

جدول ۲- خلاصه مطالعات ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال بر اساس نوع فازها و تفکیک نوع کانی‌سازی در منطقه جنوب مامونیه.

Table 2. Summary of microthermometric data of fluid inclusion based on inclusions type and mineralization type from south of mamoniych area.

Sample No	Mineralization type	Mineral	Inclusion type	Number of inclusion	Tmice (°C)	Th (°C)	Avg.	Salinity (wt% NaCl equiv.)	Avg.
s10	Qtz+Ccp+Py	Quartz	L+V	6	(-1.3 to -4.9)	156-221	186.3	2.45-7.85	4.84
			V+L	2		186-218	202	2.24-7.80	5.3
s6	Qtz+Ccp+Spec±Py	Quartz	L+V	5	(-1.1 to -8.0)	126-212	169.8	2.10-7.80	4.62
			V+L	1		201	201	2.9	2.9
s17	Qtz+Ccp	Quartz	L+V	11	(-1.2 to -7.1)	160-270	200.8	1.90-7.80	4.45
			V+L	1		219	219	2.07	2.07
s13-1	Qtz+Ccp+Py	Quartz	L+V	17	(-1.3 to -6.0)	116-210	169.4	3.38-9.09	5.3
			V+L	3		198-216	204.6	2.24-7.80	4.31
bh16	Qtz+Ccp	Quartz	L+V	7	(-1.3 to -5.1)	128-215	171.4	2.24-7.93	5.71
s19	Qtz+Ccp	Quartz	L+V	9	(-1.7 to -5.0)	153-218	187.8	2.10-10.43	4.96
			V+L	2		212-182	197	5.15-8.45	6.8
s18	Qtz+Ccp+Spec±Py	Quartz	L+V	7	(-1.2 to -3.2)	163-232	197.7	2.92-8.50	5.26
			V+L	1		195	195	7.3	7.3
s11	Qtz+Ccp	Quartz	L+V	5	(-0.5 to -4.3)	126-212	169.8	2.10-7.80	4.62
			V+L	1		201	201	2.9	2.9
bh1	Qtz+Ccp+Py	Quartz	L+V	4	(-2.9 to -7.3)	212-280	257.5	4.82-10.87	8.1
			V+L						
s13	Qtz+Ccp+Spec±Py±Chal	Quartz	L+V	11	(-1.2 to -8.1)	142-290	228.6	2.07-11.69	7.39
			V+L	2		186-239	212.5	8.13-11.68	9.9
bh2	Qtz+Ccp+Py	Quartz	L+V	7	(-1.0 to -3.2)	120-180	152.4	2.08-5.29	3.31
			V+L	2		123-138	130.5	1.74-4.69	3.21
s12	Qtz+Ccp+Spec±Py	Quartz	L+V	10	(-1.3 to -5.0)	135-217	178.2	2.24-7.80	4.13
			V+L	3		198-219	210.3	3.06-5.24	4.31
s14	Qtz+Ccp+Spec±Py	Quartz	L+V	7	(-1.3 to -4.2)	132-198	173.5	2.24-6.70	4.85
			V+L	1		163	163	4.48	4.48
s15	Qtz+Ccp+Spec±Py	Quartz	L+V	9	(-1.1 to -5.0)	160-229	195	1.90-7.39	4.15
			V+L	1		218	218	7.8	7.8

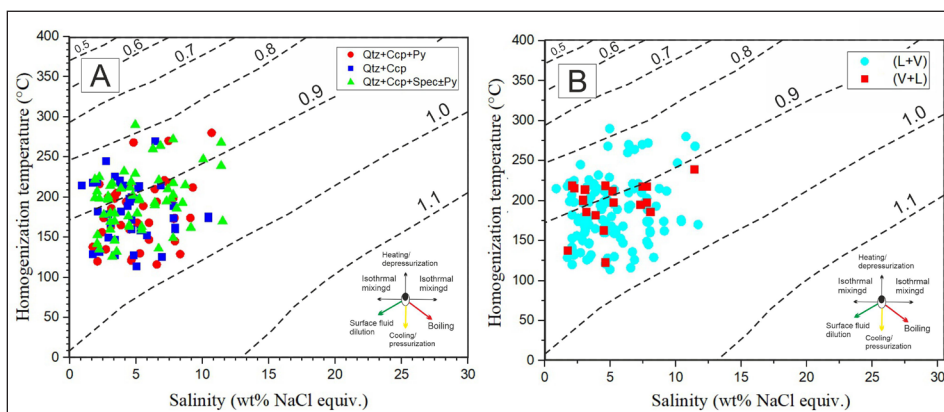
۳-۵-۲- چگالی، ژرفا، فشار و ماهیت سیالات کانسنگ ساز

ولیتواستاتیک به ترتیب معادل عمقی بین ۱ کیلومتر تا ۵۰۰ متر است. ژرفای تشکیل ذخایر اپی‌ترمال از ۵۰ تا ۱۵۰۰ متر زیر سطح ایستایی تحت فشار هیدرواستاتیک متغیر است که در مامونیه تقریباً مشابه سایر سیستم‌های اپی‌ترمال در جهان است (Simmons et al., 2005; Pirajno, 2009). نمودار شوری در برابر دمای همگن شدن (Pirajno, 2009) نشان‌دهنده تاثیر کمپلکس‌های سولفیدی در انتقال عناصر کانسار ساز در منطقه هستند (شکل ۱۷-B). برای تشخیص چگونگی تمرکز مواد معدنی درک ماهیت سیالات کانسنگ‌ساز ضروری است. با استفاده از نمودار دوتایی کسلر (Beane, 1983) میزان شوری به دمای همگن شدگی، می‌توان بدون استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار منشا سیال‌های گرمابی و سهم هر کدام را مشخص کرد. همان‌گونه که در شکل ۱۸-A مشاهده می‌شود، میان‌بارهای سیال منطقه در گستره سیالات گرمابی با ویژگی اپی‌ترمال که تا حدودی تحت تاثیر اختلاط با سیالات جوی با شوری و دمای پایین قرار گرفته‌اند، طبقه‌بندی می‌گردند. به جهت

با استفاده از شوری میان‌بارهای سیال و دمای همگن شدن (Zhang and Frantz, 1987) می‌توان چگالی سیال را با تقریب نسبتاً خوبی با استفاده از خطوط تراز چگالی که در نمودار شوری-دمای همگن شدن قرار دارند، محاسبه نمود (شکل ۱۶). در میان‌بارهای کوارتز همراه با پیریت + کالکوپیریت، همراه با کالکوپیریت و همراه با کالکوپیریت + اسپیکولاریت ± پیریت ± کالکوسیت، چگالی مقادیر تقریباً مشابهی از ۰/۸ تا ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب را نشان می‌دهد (شکل ۱۶-A). همچنین نمودار یاد شده، نشان‌دهنده چگالی ۰/۷۹ g/cm³ تا ۱ g/cm³ برای میان‌بارهای دوفازی غنی از مایع (L+V) و چگالی ۰/۸۵ g/cm³ تا ۰/۹۵ g/cm³ برای میان‌بارهای دوفازی غنی از گاز (V+L) است (شکل ۱۶-B). برای تعیین ژرفا و فشار احتمالی، از نمودار فورنیر (Fournier, 1999) استفاده شد (شکل ۱۷-A) و نشان می‌دهد که فشار کانسار مامونیه کمتر از ۱۰ مگاپاسکال بوده است که با فرض فشار هیدرواستاتیک

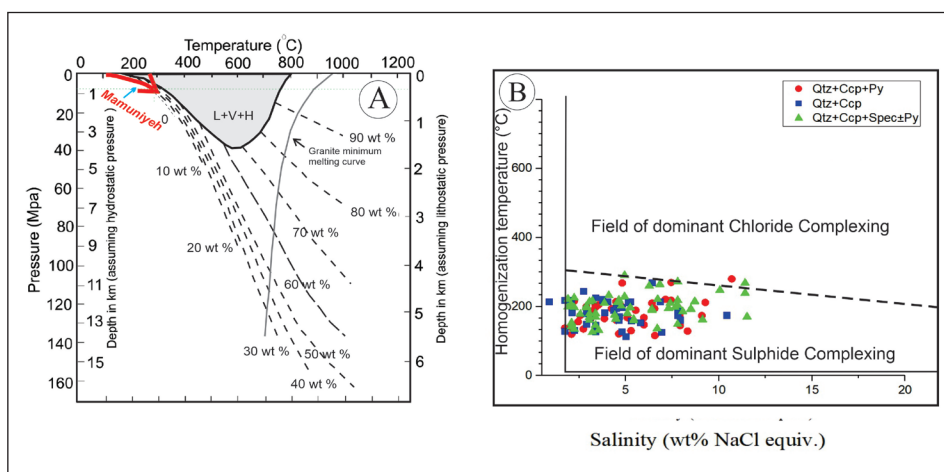
کانی‌سازی مس در منطقه جنوب مامونیه با گستره کانی‌سازی نوع اپی‌ترمال کاملاً منطبق است (شکل ۱۸-ب).

تعیین نوع کانی‌سازی در منطقه از نمودار تعیین نوع کانسار با استفاده از شوری و دمای همگن شدن ویلکینسون (Wilkinson, 2001) استفاده شد و بر این اساس



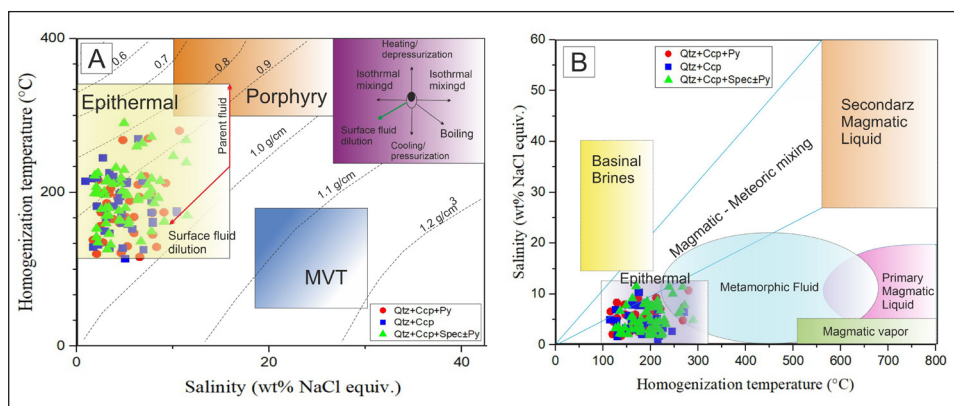
شکل ۱۶- نمودار تعیین چگالی میانبرهای سیال بر اساس زانگ و فرانتز (Zhang and Frantz., 1987). A) تعیین چگالی بر اساس نوع کانی‌سازی. B) تفکیک چگالی بر اساس نوع فازها. Qtz: کوارتز، S: اسپیکولاریت، Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت.

Figure 16. Diagram for determining the density of fluid inclusion based on (Zhang and Frantz., 1987). A) Determining the density based on mineralization type. B) determining the density based on phases type. Qtz, quartz; S Hem, specular hematite; Ccp, chalcopyrite; Py, Pyrite.



شکل ۱۷- A) تخمین ژرفا و فشار برای میانبرهای سیال بر اساس فورنیر (Fournier, 1999). B) نمودار تعیین کمپلکس مؤثر در حمل عناصر کانسارساز در منطقه (Pirajno, 2009). Qtz: کوارتز، S: اسپیکولاریت، Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت.

Figure 17-A) Estimation of depth and pressure for fluid based on (Fournier, 1999). B) Determination of the complex effective in transporting ore-forming elements in the area based on (Pirajno, 2009). Qtz, quartz; S Hem, specular hematite; Ccp, chalcopyrite; Py, Pyrite.



شکل ۱۸- (A) نمودار پراکنندگی شوری در برابر دمای همگن شدگی میانبراهای سیال در کانی کوارتز جهت شناسایی منشاسیالات کانساراز (Beane, 1983). (B) نمودار پراکنندگی شوری در برابر دمای همگن شدگی میانبراهای سیال در کانی کوارتز با تطبیق محدوده‌های عادی میانبراهای سیال در ذخایر اپی‌ترمال، پورفیری و MVT نوع MVT (Wilkinson, 2001). Qtz: کوارتز، S: اسپیکولاریت، Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت.

Figure 18-A) Homogenization temperature versus salinity diagram for fluid inclusions in the study area to identify the origin of mineralizing fluids (Beane, 1983). B) Homogenization temperature (Th) versus salinity for fluid inclusions contained in quartz from South of Mamoniye area. Typical ranges of fluid inclusions from porphyry, epithermal and MVT deposit types (Wilkinson, 2001). Qtz, quartz; S Hem, specular hematite; Ccp, chalcopyrite; Py, Pyrite.

۴- بحث

سیلیسی کانه‌دار نشان دهنده دمای همگن شدگی برای میانبراهای نوع (L+V) بین ۱۱۴ تا ۲۹۰ و برای میانبراهای نوع (V+L) بین ۱۲۳ تا ۲۳۹ درجه سانتی‌گراد است که بر اساس نظر آریباس و همکاران (Arribas et al., 1995) مشخص کننده جریان سیالات گرمایی در سطوح عمیق سامانه‌های گرمایی (هیدروترمال) هستند. در میانبراهای کوارتز همراه با پیریت+کالکوپیریت میانگین دمای همگن شدن ۱۸۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین میزان شوری برابر با ۴/۹ درصد، در میانبراهای کوارتز همراه با کالکوپیریت میانگین دمای همگن شدن برابر با ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد و میزان شوری برابر با ۴/۵ درصد و در میانبراهای کوارتز همراه با کالکوپیریت+اسپیکولاریت± پیریت ± کالکوسیت میانگین دمای همگن شدن برابر با ۱۹۵ درجه سانتی‌گراد و میزان شوری برابر با ۵/۵۹ درصد محاسبه گردید. چگالی همراه با پیریت+کالکوپیریت، همراه با کالکوپیریت و همراه با کالکوپیریت+اسپیکولاریت± پیریت ± کالکوسیت مقادیر تقریباً مشابهی از ۱/۸ تا ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب را نشان می‌دهد (شکل ۱۴- A). نمودار تعیین ژرفا و فشار (Fournier, 1999) نشان می‌دهد که این فرایند احتمالاً در ژرفایی حدود ۷۰۰ متر زیر سطح ایستایی و فشار هیدرواستاتیکی حدود ۱۰ MPa رخ داده است. ژرفای تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال از ۵۰ تا ۱۵۰۰ متر زیر سطح آب‌های زیر زمینی تحت فشار هیدرواستاتیک تغییر می‌نماید (Simmons et al., 2005; Christie et al., 2007; Pirajno, 2009). در محیط‌های ساب‌ولکانیک، آب‌های جوی (در دمای ۳۷۰ < درجه سانتی‌گراد) در فشارهای هیدرواستاتیکی در سنگ‌های خردشده قرار دارند در حالی که سیالات خارج شده از ماگما (در دمای بیش از ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) فشارهای لیئوستاتیک را تجربه می‌کنند (Fournier, 1999). لیگاندهای موثر در حمل فلزات در منطقه بر اساس نمودار پیراژنو (Pirajno, 2009) در ارتباط با کمپلکس سولفیدی و تا حدودی کلریدی بوده است و نشان‌دهنده نقش آتیون‌های HS^- و SO_4^{2-} در حمل کانه‌های مس و عناصر همراه بوده است. نبود بلورهای دختر مانند هالیت و سیلیت بیانگر وجود محلول‌های

کانی‌سازی در جنوب مامونیه، به‌طور عمده با توده‌های نفوذی گرانودیوریتی، مونوزونیزیت و گابرو دیوریت با کالک آلکالن و از نوع متآلو مینوس مرتبط با پهنه فرورانش در ارتباط است که درون واحدهای آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده‌اند. غنی‌شدگی ماگمای سازنده از عناصر LILE نسبت به عناصر HFSE و تهی‌شدگی از عناصری مانند Nb و Ti, P, Ta, Pb و مثبت K حاصل آرایش ماگمای سازنده این سنگ‌ها از گه‌گه‌ها از گه‌گه‌ها سست کره‌ای متاسوماتیسم شده در بالای پهنه فرورانش است. بی‌هنجاری به شدت مثبت Pb و مثبت K حاصل آرایش ماگمای سازنده این سنگ‌ها با مواد پوسته‌ای است و مقادیر بالاتر از ۲۸ در نسبت Ba/Nb و مقادیر بالاتر از ۴۵۰ در نسبت Ba/Ta بیانگر یک محیط حاشیه قاره‌ای فعال است.

دگرسانی فراگیر در منطقه بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی و پراش اشعه ایکس (XRD) به‌صورت سیلیسی شدن، پروپلیتی-کلریتی، سریسیتی، آرژلیک حدواسط، کربناتی و تورمالینی در مقیاس‌های مختلفی دیده می‌شود. نمود اصلی کانی‌سازی در منطقه به شکل رگه و رگچه‌های سیلیسی سولفیدی حاوی کالکوپیریت و پیریت و رگه‌های برشی حاوی سولفید-اکسید در سنگ میزبان کانه‌زایی، واحدهای آندزیت، توف، مونوزودیوریت و دیوریت است. کانه‌های اولیه شامل کالکوپیریت، پیریت، بورنیت و اسپیکولاریت و کانه‌های ثانویه شامل کالکوسیت، کولویت، آزوریت، مالاکیت، کربزوکولا، گوئیت و لیمونیت هستند که در مراحل درون‌زاد، غنی‌سازی ثانویه و اکسیداسیون ته‌نشست شده‌اند. کانی‌های باطله شناخته شده در این کانسار شامل کوارتز، کلسیت، کائولینیت، ایلیت و تورمالین هستند. با توجه به حضور این کانی‌ها در محدوده، ارتباط کانی‌سازی با کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین محتمل است (Yilmaz et al., 2007). بافت‌های اصلی کانی‌ها در مراحل کانی‌سازی شامل رگه-رگچه‌ای، انشاری، شکافه پرکن، جعبه‌ای و برشی، جانشین، باقیمانده، اسکلتی، نواری، نواری و گلی (کوکاد) و گل کلمی (کلوفر) هستند. مطالعه میانبراهای سیال در ۱۳۸ میانبار از کانی کوارتز رگه‌های

می‌تواند به‌صورت کالکوپیریت نهشته شود (Afshooni et al., 2013). جوشش و آمیختگی سیالات عوامل مهم در فوق اشباع شدن سیالات و تشکیل شرایط لازم در ته‌نشست کانه‌ها در سنگ‌های میزبان می‌شوند (Wilkinson, 2001؛ زارعی و همکاران، ۱۳۹۵). بر اساس نمودار دوتایی کسلر (Beane, 1983) میانبرهای سیال منطقه در گستره سیالات اپی‌ترمال و تا حدودی در محدوده اختلاط سیالات جوی و ماگمایی با شوری و دمای پایین قرار می‌گیرند. مقادیر زیاد هماتیت در این منطقه در نتیجه تجزیه سولفیدها و مگنتیت‌های اولیه به دلیل افزایش گریندگی اکسیژن در محیط و نیز ایجاد دگرسانی شاخص اپیدوتیتی و کلریتی همراه با کانه‌زایی در اثر آب پوشی و دیگر نهادی یون H^+ ، نشان‌دهنده عملکرد چرخش آب‌های سرد جوی در پهنه‌های خرد شده ناشی از صعود ماگما و آمیختگی این سیال‌ها با سیالاتی با خاستگاه ماگمایی اپی‌ترمال و تایید کننده نتایج بررسی میانبرهای سیال در این مورد است. همپوشانی و نزدیکی آشکاری میان محدوده دما و شوری کانیزایی در منطقه جنوب مامونیه با کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون پایین وجود دارد. در جدول ۳ مشخصات کلی کانیزایی در منطقه جنوب مامونیه با تعدادی از کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین ایران و جهان مقایسه شده است.

گرمایی فقیر از کمپلکس‌های کلریدی و دارای شوری پایین است (مهوری و همکاران، ۱۳۸۸). فرایندهای جوشش، آمیختگی و رقیق‌شدگی سطحی سیالات از عوامل مهم در ناپایداری همیافت‌های کلریدی و سولفیدی است که همزمانی نهشت آهن و مس و سپس تشکیل فازهای سولفیدی در مراحل پایانی کانیزایی را به همراه دارد که در اثر کاهش ناگهانی فشار در شکستگی‌های منطقه ایجاد شده‌اند (طالع فاضل، ۱۳۹۰). حضور میانبرهای سیال با نسبت‌های متفاوتی از مایع و گاز و همزیستی میانبرهای سیال غنی از گاز و همچنین همیافتی میانبرهای سیال تک فاز مایع با میانبرهای سیال تک فاز گاز رخداد پدیده جوشش را در منطقه تایید می‌کند (Van den Kerkhof and Hein, 2001; Carman, 1994; Yilmaz et al., 2010; Moncada et al., 2012). همچنین شواهدی مانند کوارتزهای با بافت شانه‌ای و کوکاد، حضور مسکوویت ریزدانه (سرپیت) و ایلیت در نزدیکی رگه‌ها نشان دهنده جوشش ملایم (gently boiling) هستند (Shimizu, 2014; Goudarzi et al., 2024b). همجواری میانبرهای سیال چندفازه با میانبرهای سیال غنی از بخار، نشان دهنده حبس شدن سیالات در نقطه جوشش است، یعنی در حالتی که بخار با مایع به حالت تعادل بوده است. در نتیجه این جوشش، قسمتی از مس موجود در محلول

جدول ۳- مقایسه برخی ویژگی‌های کانیزایی در منطقه جنوب مامونیه با کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین ایران و دنیا.

Table 4. Comparison of some features of mineralization in the south of Mamoniye area with low sulfidation epithermal deposits from Iran and the world.

Deposits	Location	Classification	Tectonic setting	Genetically related igneous rock	Typical host rocks	Metal signature	Deposit style	hypogene ore minerals	Gangue mineral	Alteration	Fluid characteristics	References
South of Mamoniye	South of Mamoniye, Iran	Low sulfidation	Magmatic arc related to subduction (UDMA)	Quartz monzodiorite, Granodiorite, Gabbro	Andesitic tuff and andesite, rhyolite, and rhyodacite	Cu	Veins or veinlets, crustiform, colloform, disseminations, residual, skeletal, cokede	Pyrite, chalcopyrite, bornite, specular hematite and magnetite	Quartz, calcite, illite, tourmaline	Silicification, sericitization, propylitic, and chloritization, kaolinitization	114–290 °C, 0.88–11.52 wt % NaCl equiv	This study
Rangraz	N Saveh, Iran	Low sulfidation	Magmatic arc related to subduction (UDMA)	Quartz monzodiorite intrusive rocks	Andesitic tuff and andesite, rhyolite, and rhyodacite	Cu	Veins or veinlets, colloform, disseminations	Pyrite, chalcopyrite, bornite, specular hematite and magnetite	Quartz, calcite, barite	Silicification, propylitic, and chloritization, kaolinitization	134–338 °C, 3.55–16.89 wt % NaCl equiv	Zamanian et al., 2021
Narbaghi	Northest Saveh, Iran	Intermediate sulfidation	Magmatic arc related to subduction (UDMA)	Calc-alkaline diorite to monzodiorite	Andesitic tuff, Andesite, monzodiorite, diorite	Cu-Ag	Vein, veinlet	Chalcopyrite, pyrite, bornite, sphalerite, tennantite, tetrahedrite	Quartz, calcite	Phyllic, argilic, propylitic, tourmalinisation	184–385 °C, 12.5–28 wt% NaCl equiv	Fazli et al., 2019; Fazli, 2015
Kuh-Pang	Northest Saveh, Iran	High sulfidation	Magmatic arc related to subduction (UDMA)	High-K calcalkaline shoshonitic series	Andesitic, rhyodacite	Cu	Vein, breccia	Pyrite, arsenopyrite, allosite, chalcopyrite, chalcocite, digenite, carollite, bornite	Quartz, sericite, calcite, clay minerals	Silicic, carbonate, argilic and advanced argilic, sericitic, propylitic	148–372 °C, 1.1–12.5 wt% NaCl equiv	Rajabpour et al., 2017, 2018
Kalchoyeh	SW Naein, Iran	Low sulfidation	Magmatic arc related to subduction (UDMA)	Diorite rocks	Pyroxene andesite, trachyandesite, lithic tuff	Cu-Au	Vein, veinlet	Pyrite, chalcopyrite, galena, magnetite	Quartz, calcite, barite	Silicification, propylitic	175–324 °C, 0.1–9.1 wt% NaCl equiv	Mehvari et al., 2010; Sameti, 2020
Govin	Kerman province, SE Iran	Low sulfidation	Magmatic arc related to subduction (UDMA)	Quartzmonzonite, grano-diorite, diorite and quartz-diorite stocks	Andesite, trachyandesite and basaltic andesite lava and tuff, and lesser subvolcanic dikes and stocks	Cu-Au	Vein, stockwork and rare dissemination and replacement	Chalcopyrite, pyrite, bornite, galena, sphalerite	Quartz, calcite, barite	Propylitization, phyllic, and argilic associated with silicification	146–366 °C, 2.47–15.96 wt % NaCl equiv	Alipour-Asli, 2019
Milin Kamak	Western Srednogie, Bulgaria	Intermediate sulfidation	High-K calcalkaline arc	Diorite porphyry stocks and porphyritic basalt dykes	Trachybasalts, andesitic	Au-Ag-Cu	Open-space veins, stockwork, Dissemination	Galena, sphalerite, tetrahedrite, tennantite, chalcopyrite, chalcocite, bornite, covellite, Native gold,	Quartz, Calcite, dolomite, Rhodochrosite, barite	Propylitic, sericite, argilic, and advanced argilic	238–345 °C, 3.7–6.6 wt% NaCl equiv	Sabeva et al., 2017

ادامه جدول ۳- مقایسه برخی ویژگی‌های کانی‌سازی در منطقه جنوب مامونیه با کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین ایران و دنیا.

Continued from Table 4. Comparison of some features of mineralization in the south of Mamoniye area with low sulfidation epithermal deposits from Iran and the world.

Deposits	Location	Classification	Tectonic setting	Genetically related igneous rock	Typical host rocks	Metal signature	Deposit style	hypogene ore minerals	Gangue mineral	Alteration	Fluid characteristics	References
Cibaliung	Western Java, Indonesia	Low sulfidation	Extensional structures and bimodal volcanism at magmatic arc	Diorite intrusion & rhyolite plugs	Basaltic andesite rocks and tuff	Au-Ag	Veins showing colloform-crustiform textures	Electrum, naumannite, Ag-Se-Te sulfide minerals, chalcocopyrite, pyrite, sphalerite and galena	Adularia, quartz, clay minerals	Cristobalite-smectite-kaolinite zone (zone I), smectite-quartz-kaolinite zone (zone II), mixed layer clay zone (zone III), and kaolinite-dickite-nacrite zone (zone A)	170-220 °C, <1 wt% NaCl equiv	Harijoko et al., 2007
Lago Fontana	SW Argentina	Low sulfidation	Cretaceous calc-alkaline magmatism	hypabyssal intrusions	Andesite, basaltic andesite rocks, tuff and sand stone	Au-Ag-Cu	Vein, veinlet	Chalcopyrite, pyrite, galena, hematite, chalcocite, native Au-Ag	Quartz, calcite	Adularia-sericite, propylitic, argillic	180-325 °C, 1.7-4.2 wt% NaCl equiv	Lanfranchini et al., 2013
Yueyang	SE China	Low sulfidation	Monzogranite, granite batholite	Neoproterozoic basement and Cretaceous volcanic rocks	Granitic batholith	Ag-Au-Cu	stratoid, lens, vein, veinlet	Chalcopyrite, pyrite, galena, bornite, chalcocite, native Au-Ag	Quartz, calcite, apatite	Adularia-sericite, carbonate	184-379 °C, 0.4-7.6 wt% NaCl equiv	Zhong et al., 2017

۵- نتیجه گیری

در شرایط اکسید کننده متبلور شده‌اند. عدم حضور کانی‌سازی فلزات گرانبها می‌تواند گویای فرایندهای فرسایشی قوی در بخش بالایی کانی‌سازی و یا محتوای کم فلزات گرانبها در سیالات منشا باشد. مطالعات میانبارهای سیال نشان می‌دهد که ناپایداری کمپلکس‌های سولفیدی و کلریدی که به نهشته شدن همزمان آهن و مس و تولید فازهای سولفیدی در آخرین مراحل کانی‌سازی می‌انجامد، به طور قابل توجهی تحت تاثیر پدیده جوشش، اختلاط و رقیق‌سازی سیالات قرار گرفته است. کانی‌سازی مس در منطقه مامونیه بر اساس شواهد زمین‌شناسی صحرائی و جایگاه زمین‌ساختی، کانی‌شناسی و دگرسانی گرمایی، کانه و باطله، بافت رگه‌ها و کانی‌ها، شواهد زمین‌شیمیایی و میانبارهای سیال دارای شواهد فراوانی از کانی‌سازی اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین عاری از فلزات گرانبها است و به به‌عنوان نمونه‌ای کلیدی از این نوع کانی‌سازی در بخش مرکزی کمربند ماگمایی ارومیه- دختر معرفی می‌شود.

این پژوهش بخشی از پایان‌نامه دکتری زمین‌شناسی اقتصادی گروه زمین‌شناسی دانشگاه لرستان می‌باشد. بدین وسیله از همه کسانی که در انجام این طرح با ما همکاری داشتند، قدردانی می‌نمایم. از شرکت نوید فرایند البرز به‌خاطر همکاری و در اختیار گزاردن داده‌های اکتشافی و حفاری سپاسگزار می‌شود. همچنین از داوران گرامی به جهت بررسی دقیق و ارائه نظرات ارزنده و از سردبیر محترم و هیئت تحریریه نشریه علوم زمین سپاسگزار می‌شود.

کانی‌سازی مس اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین در منطقه مامونیه واقع در بخش مرکزی کمان ماگمایی ارومیه دختر از نظر زمانی و مکانی در ارتباط با توده‌های نفوذی الیگومیوسن و سنگ‌های آتشفشانی اتوسن است که به‌طور عمده توسط گسل‌های با روند NW-SE کنترل می‌شود. ویژگی‌های ژئوشیمیایی، مانند غنی‌شدگی LILEs نسبت به HFSEs، بی‌هنجاری‌های منفی Nb و Ti همراه با بی‌هنجاری‌های مثبت قوی Pb، اهمیت ماگماتیسیم کالک‌آلکالین مرتبط با منطقه فرورانش را همراه با آلودگی مواد پوسته‌ای در طول صعود ماگمای والد و جایگیری توده‌های نفوذی نیمه ژرف نشان می‌دهد. نقش سیالات آزاد شده از صفحه فرورانش بر ترکیب ماگمای کالک‌آلکالین تأثیر گذاشته است. کانی‌سازی مس به‌طور عمده به‌صورت رگه/رگچه‌ای و همراه با مجموعه‌های کانیایی و دگرسانی محیط گرمایی، مانند سیلیسی، آرژیلیک، پروپلیتی و سریستی همراه است. مراحل کانی‌سازی هیپوژن و سوپرژن شامل دو مرحله کانی‌سازی اصلی است که شامل چهار مرحله فرعی است: در مرحله هیپوژن (مرحله پیش از کانی‌سازی و کانی‌سازی) فازهای سولفیدی و اکسیدی عمدتاً پیریت، کالکوپیریت، بورنیت همراه با اسپیکولار هماتیت و مگنتیت-تیتانومگنتیت نهشته شده‌اند. در مرحله سوپرژن بعدی، کالکوسیت، کوولیت، مگنتیت و مس طبیعی به مقدار اندک در حاشیه سولفیدهای اولیه نهشته شده‌اند و در مرحله نهایی (اکسیداسیون) مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، تنوریت، کوپریت، نئوتوسیت و هیدروکسیدهای آهن

کتابنگاری

- حیدری، س.م.، صفوی، س.، ۱۴۰۲، زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار مس (طلا- نقره) اپی‌ترمال شمال خاور نارباغی (ساوه)، نشریه زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۱۳، شماره ۴۷، صفحه ۱-۲۵. <https://doi.org/10.22055/aag.2022.38941.2256>.
- حیدری، س.م.، صفوی، س.، اکبرپور، ا.، حسن‌لو، ع.، محقق، ب.، ۱۴۰۱، جایگاه زمین‌شناسی، ساختاری و کانه‌زایی ذخایر گرمایی- ماگمایی مس (± طلا) ناحیه ساوه- رزن، نشریه علوم زمین، دوره ۳۲، شماره ۲، صفحه ۸۹-۱۰۴. <https://doi.org/10.22071/gsj.2021.276571.1894>.
- زارعی سهامیه، ر.، زمانیان، ح.، پازوکی، ا.، بارانی، ن.، زال، ف.، ۱۳۹۵، بررسی شیمی کانی و دامسنجی در اسکارن سرویان (استان مرکزی، شهرستان دلجان)، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، جلد ۲۴ شماره ۳ صفحات ۴۴۸-۴۳۵. <http://ijcm.ir/article-1-77-fa.html>.
- صامتی، م.، ۱۳۹۸، بررسی سیالات گرمایی کانه ساز در کانسار مس - طلای کالجویه، جنوب غرب نائین، جهت تعیین شرایط تشکیل کانسار: شواهد ایزوتروپی، میکروترموتری و زمین‌شناسی، پایان نامه دکتری، گروه زمین‌شناسی دانشگاه لرستان.

طالع فاضل، ا.، مهراپی، ب.، خاکزاد، ا. و کیانپور، ر.، ۱۳۹۰، مراحل و شرایط کانیزایی سازی اسکارن آهن درودی بر اساس شواهد کانیزایی و میانبرهای سیال، منطقه سنگان (خراسان رضوی)، فصلنامه علمی علوم زمین، ۲۱(۸۲)، ص. ۱۳۹-۱۵۰. <https://doi.org/10.22071/gsj.2011.54450>.

عمیدی، س. م.، شهرابی، م. و نوایی، م.، ۱۳۸۴، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

عمیدی، س. م.، نوگل سادات، آ. آ.، هوشمند زاده، ع.، بهروزی، م.، لطفی، ن.، ناظر، خ.، مهدوی، م.، کایا، س.، دهلوی، ب. و مارتین-ژانتین، ب.، ۱۳۶۳، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

فضلی، ن.، ۱۳۹۴، زمین شناسی، کانیزایی، ژئوشیمی و ژئز کانسار اپی ترمال نارباغی شمالی، شمال شرق ساوه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس. ۲۰۱ ص.

فضلی، ن.، قادری، م.، لنتز، د.، لی، ح.، ۱۳۹۸، زمین شناسی، دگرسانی، کانیزایی و ژئوشیمی کانسار اپی ترمال نقره-مس نارباغی شمالی، شمال خاور ساوه، فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۱۲، صفحه ۱۳ تا ۲۰. <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.97142.1246>.

گودرزی، م.، زمانیان، ح.، کلوترلی، اورس.، ۱۴۰۳، زمین شناسی، سنگ شناسی و جایگاه تکنونوماگمایی گدازه‌های آتشفشانی ائوسن در جنوب مامونیه، کمان ماگمایی ارومیه-دختر، استان مرکزی، ایران، نشریه پترولوژی، دوره ۱۵، شماره ۱. doi: 10.22108/ijp.2024.139861.1315

مهوری، ر.، شمسی پور دهکردی، ر.، باقری، هاشم.، نقره نیان، موسی.، مکی زاده، محمد علی.، ۱۳۸۸، مطالعات کانیزایی و سیالات درگیر در کانسار مس-طلا کالجویه، شرق اصفهان. زمین شناسی اقتصادی، (۱): ۴۷-۵۵. <https://doi.org/10.22067/econg.v1i1.3680>.

نوید فرایند البرز، ۱۳۹۶، نقشه زمین شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه اکتشافی مامونیه (منتشر نشده)، شماره مجوز: ۱۰۲/۱۹۲۳۳، تهران، ایران.

یوسفی، س.، علیپور اصل، م.، ۱۴۰۱، کانیزایی مس رگه‌ای در منطقه زرنده با تکیه بر مطالعات کانیزایی، ژئوشیمی و میانبرهای سیال، ساوه، استان مرکزی، مجله علوم زمین، شماره ۱۱۱، صفحه ۲۰۳ تا ۲۱۴. <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.82635.1090>.

References

- Afshooni, S.Z., Mirnejad, H., Esmaceli, D., and Asadi, H.H., 2013. Mineral chemistry of hydrothermal biotite from the Kahang porphyry copper deposit (NE Isfahan), Central Province of Iran. *Ore Geology Reviews*, 54(1): 214–232. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.04.004>.
- Alipour-Asll, M., 2019. Geochemistry, fluid inclusions and sulfur isotopes of the Govin epithermal Cu–Au mineralization, Kerman province, SE Iran. *J. Geochem. Expl.* 196, 156–172. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.09.011>.
- Amidi, S. M., Nogal Sadat, A. A., Houshmanzadeh, A., Behrouzi, M., Lotfi, N., Nazer, K., Mahdavi, M., Kaya, S., Dehlavi, P., and Martin-Jantin, B., 1363, 1:250,000 geological map of Saveh, Geological and Mineral Exploration Organization of the country. (In Persian).
- Amidi, S.M., Shahrabi, M., and Navai, I., 2004. Geological map of Zaviyeh. *Geol. Surv. Iran NO. 6160*. (In Persian).
- André-Mayer, A.-S., Leroy, J., Bailly, L., Chauvet, A., Marcoux, E., Grancea, L., Llosa, F., and Rosas, J., 2002. Boiling and vertical mineralization zoning: a case study from the Apacheta low-sulfidation epithermal gold-silver deposit, south Peru. *Mineralium Deposita*, 37, 452 - 464. <http://dx.doi.org/10.1007/s00126-001-0247-2>.
- Arribas, A., Jr., Cunningham, O., Rytuba, J., Rye, O., Kelly, W., Podwysocki, W., Mckee, E., and Tosdal, R., 1995. Geology, geochronology, fluid inclusions, and isotope geochemistry of Rodalquilar Au alunite deposit, Spain. *Economic Geology* 90: 795-822. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.90.4.795>.
- Asadi, S., 2018. Triggers for the generation of post-collisional porphyry Cu systems in the Kerman magmatic copper belt, Iran: New constraints from elemental and isotopic (Sr- Nd-Hf-O) data. *Gondwana Research*, 64(12): 97–121. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2018.06.008>.
- Barnes, S. J., Acterberg, E., Makovicky, E., and Li, C., 2001. Proton probe results for partitioning of platinum group elements between mono-sulphide solid solution and sulphide liquid. *South African Journal of Geology*, 104: 337-351. <http://dx.doi.org/10.2113/gssajg.104.4.275>.
- Beane, R. E., 1983. The Magmatic–Meteoric Transition, Geothermal Resources Council, Special Report, 13: 245–253.
- Bodnary, R.H., and Vityk, M.O., 1994. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusion, in De Vivo, B., Frezootti, M.L., Eds., Fluid inclusion in minerals: Methods and applications: International mineralogical association, short course of the working group, Inclusions in minerals, 117-130.
- Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements, Meteorite studies. In: Henderson, P. (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry. Developments in Geochemistry. Elsevier, Amsterdam, pp. 115–152.
- Cai, K.D., Sun, M., Yuan, C., Zhao, G.C., Xiao, W.J., Long, X.P., and Wu, F.Y., 2011. Geochronology, petrogenesis and tectonic significance of peraluminous granites from the Chinese Altai, NW China. *Lithos*, 127(1–2): 261–281. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.09.001>.
- Carman, G.D., 1994. Genesis of the Ladolam gold deposit, Lihir Island, Papua New Guinea. Unpublished Ph.D. Thesis, Department of Earth Sciences, Monash University, Australia, 226 p.
- Chen, Y.X., Song, S.G., Niu, Y.L., and Wei, C.J., 2014. Melting of continental crust during subduction initiation: a case study from the Chaidanuo peraluminous granite in the North Qilian suture zone. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 132(5): 311–336. <https://dxdoi.org/10.1016/j.gca.2014.02.011>.
- Christiansen, E.H., and Keith, J.D., 1996. Trace element systematics in silicic magmas: A metallogenic perspective: Geological Association of Canada Short Course Notes Volume 12, Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: 24-26 May 1996, Winnipeg, Manitoba Canada, p. 115-151.
- Christie, A.B., Simpson, M.P., Brathwaite, R.L., Mauk, J.L., and Simmons, S.F., 2007. Epithermal Au-Ag and related deposits of the Hauraki goldfield, Coromandel volcanic zone, New Zealand: *Econ. Geol.* 102, 785–816. <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.102.5.785>.
- Collins, W. J., and Richards, S. W., 2008. Geodynamic significance of S-type granites in circum-Pacific orogens. *Geology*, 36(7): 559-562. <http://dx.doi.org/10.1130/G24658A.1>.
- Daliran, F., 2008. The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran 11 hydrothermal alteration and mineralization. *Miner. Depos.* 43, 383–404. <http://dx.doi.org/10.1007/s00126-007-0167-x>.

- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P., and Marchal, M., 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analysis- its relationship with current nomenclature, *Chem Geol.* Vol.29, pp.183-210. [http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541\(80\)90020-0](http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541(80)90020-0).
- Dostal, J., Church, B. N., Reynolds, P. H., and Hopkinson, L., 2001. Eocene volcanism in the Buck Creek basin, central British Columbia (Canada): transition from arc to extensional volcanic. *J. Volcano. Geothermal. Res.*, 107: 149-170. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-0273\(00\)00261-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00261-4).
- Fazli, N., 2015. *Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of North Narbaghi epithermal deposit, northeast of Saveh, master's thesis, Tarbiat Modares University. 201 p. (In Persian)*.
- Fazli, N., Ghaderi, M., Lentz, D., Li, J. 2019. *Geology, alteration, mineralization and geochemistry of the North Narbaghi epithermal Ag-Cu deposit, northeast Saveh. Scientific Quarterly Journal of Geosciences; 28(112): 13-22. doi: 10.22071/gsj.2018.97142.1246. (In Persian)*.
- Finger, F., Roberts, M.P., Haunschmid, B., Schermaier, A., and Steyrer, H.P., 1997. Variscan granitoids of central Europe: their typology, potential sources and tectonothermal relations. *Mineralogy and Petrology*, 61(2): 67–96. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01172478>.
- Fitton, J.G., James, D., Kempton, P.D., Ormerod, D.S., and Leeman, W.P., 1988. The role of lithospheric mantle in the generation of late Cenozoic basic magmas in the western United States. *Journal of Petrology, Special_Volume (1): 331-349. https://doi.org/10.1093/petrology/Special_Volume.1.331*.
- Fournier, R.O., 1999. Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment. *Econ. Geol.* 94, 1193–1212.
- Frey, F.A., Chappell, B.W., and Roy, S.D., 1978. Fractionation of rare-earth elements in the Tuolumne Intrusive Series, Sierra Nevada batholith, California: *Geology*, v. 6, p. 239–242. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1978\)6%3C239:FOREIT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1978)6%3C239:FOREIT%3E2.0.CO;2).
- Geng, H., Sun, M., Yuan, C., Xiao, W., Xian, W., Zhao, G., Zhang, L., Wong, K., and Wu, F., 2009. Geochemical, Sr–Nd and zircon U–Pb–Hf isotopic studies of Late Carboniferous magmatism in the West Junggar, Xinjiang: implications for ridge subduction? *Chemical Geology*, 266(3): 364-389. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.07.001>.
- Goudarzi, M., Zamanian, H., and Klötzli, U., 2024a. *Geochemistry, petrography and tectono-magmatic setting of Eocene volcanic lavas in the south of Mamouniyeh, Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Markazi Province, Iran. Petrological Journal. (In Persian). https://doi.org/10.22108/ijp.2024.139861.1315*.
- Goudarzi, M., Zamanian, H., Klötzli, U., and Ullah, M. 2024b. Evidence of boiling in ore-forming process based on quartz textures and fluid inclusions studies, a case study in Mamouniyeh Cu deposit, Iran, EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, EGU24-8552, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-8552>, 2024.
- Green, L. N., 2006. Influence of slab thermal structure on basalt source regions and melting conditions: REE and HFSE constraints from the Garibaldi volcanic belt, northern Cascadia subduction system. *Lithos*, V 87, Issues 1–2, March 2006, Pages 23-49. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2005.05.003>.
- Harijoko, A., Ohbuchi, Y., Motomura, Y., Imai, A., and Watanabe, K., 2007. Characteristics of the Cibaliung gold deposit: miocene low-sulfidation type epithermal gold deposit in western Java, Indonesia. *Resour. Geol.* 57 (2), 114–123. <https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2007.00011.x>.
- Heidari, S. M., Safavy, S. 2023. *Geology and mineralization of the NE Narbaghi epithermal Cu (Au-Ag) deposit (Saveh). Adv. Appl. Geol, Vol. 13(1): 1-25. (In Persian). doi:10.22055/aag.2022.38941.2256*.
- Heidari, S. M., Safavy, S., Akbarpour, A., Hassanlou, A., Mohaghegh, B. 2022. *Geology, structure and mineralization of Cu (± Au) hydrothermal-magmatic deposits of Saveh-Razan region. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 32(2): 89-104. (In Persian). doi:10.22071/gsj.2021.276571.1894*.
- Kamber, B. S., Ewart, A., Collerson, K. D., Bruce, M. C., and McDonald, G. D., 2002. Fluid-Mobile Trace Element Constraints on the Role of Slab Melting and Implications for Archean Crustal Growth Models. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 144: 38-56. <https://doi.org/10.1007/s00410-002-0374-5>.
- Keppler, H., 1996. Constraints from partitioning experiments on the composition of subduction-zone fluids. *Nature* 380, 237–240. <https://doi.org/10.1038/380237a0>.
- Kouhestani, H., Ghaderi, M., Zaw, K., Meffre, S., and Emami, M.H., 2012. Geological setting and timing of the Chah Zard breccia-hosted epithermal gold–silver deposit in the Tethyan belt of Iran. *Miner. Depos.* 47, 425–440.
- Kretz, R., 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American mineralogist*, 68(1-2), 277-279. <http://dx.doi.org/10.1007/s00126-011-0382-3>.
- Lanfranchini, M. E., Etcheverry, R. O., Barrio, R. E., and Hernandez, C. R., 2013. Precious metal-bearing epithermal deposits in western Patagonia (NE Lago Fontana region), Argentina, *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 43, Pages 86-100. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2013.01.005>.
- MacDonald, R., Hawkesworth, C.J., and Heath, E., 2000. The Lesser Antilles volcanic chain: a study in arc magmatism. *Earth-Science Reviews*, 49(1–4): 1–76. . [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00069-0](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00069-0).
- Machado, A., Lima, E. F., Chemale, Jr. F., Morata, D., Oteiza, O., Almeida, D. P. M., Figueiredo, A.M.G., Alexandre, F. M., and Urrutia, J.L., 2005. Geochemistry constraints of Mesozoic–Cenozoic calc-alkaline magmatism in the South Shetland arc, Antarctica, *Journal of South American Earth Sciences* No.18. PP: 407–425. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.11.011>.
- Mehvari, R., Shamsipour, R., Bagheri, H., Noghreyan, M., and Mackizadeh M.A., 2010. *Mineralogical and fluid inclusion studies in the Kalchueh copper- gold deposit, East of Isfahan. Journal of Economic Geology, 1(1): 47–55. (in Persian with English abstract). https://doi.*

- org/10.22067/econg.v1i1.3680.*
- Middlemost, E. A. K., 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system, *Earth Science Reviews* 37: 215–224. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9).
- Mollai, H., Sharma, A., and Pe-Piper, G., 2009. Copper mineralization around the Ahar batholith, north of Ahar (NW Iran): Evidence for fluid evolution and the origin of the skarn ore deposit. *Ore Geol. Rev.* 35, 401–414. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2009.02.005>.
- Moncada, D., Mutchler, S., Nieto, A., Reynolds, T.J., Rimstidt, J.D., and Bodnar, R.J., 2012. Mineral textures and fluid inclusions petrography of the epithermal Ag-Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration: *J. Geochem Explor.* 114, 20–35. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.12.001>.
- Nagudi, N. O., Koberl, C. H., and Kurat, G., 2003. Petrography and geochemistry of the Sing granite, Uganda, and implication for its origin. *Journal of African Earth Sciences*, 35: 51-59. [http://dx.doi.org/10.1016/S0899-5362\(03\)00014-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0899-5362(03)00014-9).
- Navid Farayand Alborz company, 2017. *1:20000 geological map of Mamuniyeh exploration area (Not published), exploration licence No: 102/19288. Tehran, Iran. (In Persian).*
- Nouri, N., Azizi, H., Stern, R., Asahara, Y., Khodaparast, S., Madanipour, S., and Yamamoto, K., 2018. Zircon U-Pb dating, geochemistry and evolution of the Late Eocene Saveh magmatic complex, central Iran: Partial melts of sub-continental lithospheric mantle and magmatic differentiation. *Lithos* 314–315: 274–292. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.06.013>.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W., and Tindle, A. G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25: 956-983. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>.
- Pearce, J.A., 2008. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos* 100, 14–48. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.06.016>.
- Pearce, J.A., and Norry, M.J. 1979. Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb Variations in Intrusive Rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69, 33-47. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00375192>.
- Pearce, J.A., and Peate, D.W., 1995. Tectonic Implications of the Composition of Volcanic Arc Magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23, 251-285. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.23.050195.001343>.
- Pirajno, F., 2009. *Hydrothermal processes and mineral systems*, Springer, New York, p. 1273.
- Porter, M., 1998. An overview of the world's porphyry and other hydrothermal copper and gold deposits and their distribution. In: Porter M (ed) *Porphyry and hydrothermal copper and gold deposits: a global perspective*. Perth, 5 Conf Proc. Glenside, South Australia, Aus. Min. Found, pp 3–17.
- Rajabpour, S., Behzadi, M., Jiang, S.Y., Rasa, I., Lehmann, B., and Ma, Y., 2017. Sulfide chemistry and sulfur isotope characteristics of the Cenozoic volcanic-hosted Kuh- Pang copper deposit, Saveh county, northwestern Central Iran. *Ore Geol. Rev.* 86, 563–583. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.03.001>.
- Rajabpour, Sh., Jiang, S.Y., Lehmann, B., Abedini, A., and Gregory, D.D., 2018. Fluid inclusion and O-H-C isotopic,9 constraints on the origin and evolution of ore-forming fluids of the Cenozoic volcanic-hosted Kuh-Pang copper deposit, Central Iran. *Ore Geol. Rev.* 94, 277–289. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.02.003>.
- Rezaei Kahkhaei, M., Esmaili, D., and Francisco, C.G., 2014. Geochemical and isotopic (Nd and Sr) constraints on elucidating the origin of intrusions from northwest Saveh, Central Iran. *Geopersia* 4(1): 103 123. <https://doi.org/10.22059/jgeope.2014.51195>.
- Richards, J.P., Spell, T., Rameh, E., Raziq, A., and Fletcher, T., 2012. High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu ± Mo ± Au potential; examples from the Tethyan arcs of central and eastern Iran and western Pakistan. *Econ. Geol.* 107, 295–332. <https://doi.org/10.2113/econgeo.107.2.295>.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions as tools in mineral exploration. *Economic Geology*, (72) 503-525.
- Rollinson, H.R., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Scientific and Technical, England, Landon, 352 pp.
- Ross, PS., and Bedard, LP., 2009. Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. *Can J Earth Sci* 46: 823-839. <http://dx.doi.org/10.1139/E09-054>.
- Sabeva, R., Mladenova, V., and Mogessie, A., 2017. Ore petrology, hydrothermal alteration, fluid inclusions, and sulfur stable isotopes of the Milin Kamak intermediate sulfidation epithermal Au–Ag deposit in Western Srednogie, Bulgaria. *Ore Geol. Rev.* 88, 400–415. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.05.013>.
- Sameti, M., 2020. *Ore Bearing Hydrothermal Evolution at Kalchuyeh Cu–Au deposit, SW Naeen to Characterize ore Formation Conditions; Isotope, Microthermometry and Geochemical Evidence (In Persian with English abstract). Unpublished PhD Thesis. University of Lorestan.*
- Shafiei, B., and Shahabpour, J., 2008. Gold distribution in porphyry copper deposits of Kerman region, Southeastern Iran. *J. Sci I. R. Iran.* 19, 247–260.
- Shafiei, B., Haschke, M., and Shahabpour, J., 2009. Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran. *Mineral. Deposita* 44, 265–283. <http://dx.doi.org/10.1007/s00126-008-0216-0>.
- Shand, S. J., 1943. *Eruptive rocks. Their genesis, composition, classification and their relation to deptsits*. Thomas Murby and Company, London.
- Shang, G. K., Satir, M., Sieble, W., Nasifa, E. N., Taubuld, H., Liegeoise, J. P., and Tchoua, F. M., 2004. TTG magmatism in the Congo craton; a view from major and trace element geochemistry, Rb-Sr and Sm-Nd systematics: Case of the Sangmelima region, Ntem complex, southern

- Cameroon. *Journal of African Earth Sciences*, 40 (1-2): 61-79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2004.07.005>.
- Shaw D. M., 1970. Trace element fractionation during anatexis, *Geochim, Cosmochim, Acta* 34, 237-243.
- Shimizu, T., 2014. reinterpretation of quartz textures in terms of hydrothermal fluid evolution at the koryu au-ag deposit, *Econ. Geol.* 109, 2051–2065. <http://dx.doi.org/10.2113/econgeo.109.7.2051>.
- Simmons, S.F., Simpson, M.P., and Mauk, J., 2000. The mineral products of boiling in the golden cross epithermal deposit. *New Zealand Minerals and Mining Conference Proceedings*, 209-216.
- Simmons, S.F., White, N.C., and John, D.A., 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. In: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, J.R., Richards, J.P. (Eds.), *Econ. Geol.* 100th Ann. Vol., pp. 485–522. <https://doi.org/10.5382/AV100.16>.
- Srivastava, R. K., and Singh, R. K., 2004. Trace element geochemistry and genesis of Precambrian sub-alkaline mafic dikes from the central Indian craton evidence for mantle metasomatism. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 373-389. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(03\)00150-0](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(03)00150-0).
- Sun, S., S., and McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in Ocean Basins* (Eds. Saunders, A. D. and Norry, M. J.) Special Publications 42(1): 313–345. Geological Society, London. <http://dx.doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>.
- Sylvester, P. J., 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites. *Lithos* 45: 29–44. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(70\)90009-8](https://doi.org/10.1016/0016-7037(70)90009-8).
- Tale Fazel, E., Mehrabi, B., and Tabbakh Shabani, A.A., 2015. Kuh-e Dom Fe–Cu–Au prospect, Anarak Metallogenic Complex, Central Iran: a geological, mineralogical and fluid inclusion study. *Miner. Petrol.* 109, 115–141. <http://dx.doi.org/10.1007/s00710-014-0354-2>.
- Tale Fazel, E., Mehrabi, B., Khakzad, A., and Kianpour, R., 2011. Stages and Mineralization Conditions of Dardvey Iron Skarn Based on Mineralogy and Fluid Inclusion Evidences, *Sangan Area (Khorasan Razavi). Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 21(82): 139-150. <https://doi.org/10.22071/gsj.2011.54450>. (In Persian).
- Tatsumi, Y., 1989. Migration of fluid phases and genesis of basalt magmas in subduction zones. *Journal of Geophysical Research*, 94(B4): 4697-4707. <https://doi.org/10.1029/JB094iB04p04697>.
- Van den Kerkhof, A.M., and Hein, U.F., 2001. Fluid inclusion petrography. *Lithos* 55, 27–4.
- Wade, J.A., Plank, T., Stern, R.J., Tollstrup, D.L., Gill, J.B., O'Leary, J.C., Eiler, J.M., Moore, R.B., Woodhead, J.D., Trusdell, F., Fischer, T.P., and Hilton, D.R., 2005. The May 2003 eruption of Anatahan volcano, Mariana Islands: Geochemical evolution of a silicic island-arc volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 146, 139-170. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2004.11.035>.
- Wall, V.L., Clemens, J.D., and Clarke, D.B., 1987. Models for granitoid evolution and source composition, *Geology*. V. 6, 731-749.
- Whitney, D.L., and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals, *American Mineralogist*, 95(1), 185-187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposit. *Lithos* 55, 229–72.
- Wilson, M. (Ed.), 1989. *Igneous petrogenesis*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Winter, J. D., 2001. *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice-Hall Inc, p. 796.
- Wu, F.Y., Jahn, B.M., Wilde, S.A., Lo, C.H., Yui, T.F., Lin, Q., Ge, W.C., and Sun, D.Y., 2003. Highly fractionated I-type granites in NE China (I): geochronology and petrogenesis. *Lithos* 66 (3–4), 241–27. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(02\)00222-0](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(02)00222-0).
- Yang, W. and Li, Sh., 2008. Geochronology and geochemistry of the Mesozoic volcanic rocks in Liaoning: Implications for lithospheric thinning of the North China Craton. *Lithos* 102: 88-117. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.09.018>.
- Yilmaz, H., Oyman, T., Arehart, G. B., Colakoglu, A. R., and Billor, Z., 2007. Low sulfidation type Au-Ag mineralization at Bergama, Izmir, Turkey. *Ore Geology Reviews* 32: 81- 124. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.10.007>.
- Yilmaz, H., Oyman, T., Nuran Sonmez, F., Arehart, G., and Zeki, B., 2010. Intermediate sulfidation epithermal gold-base metal deposits in Tertiary subaerial volcanic rocks, Sahinli/Tespil Dere (Lapseki/Western Turkey), *Ore Geol. Rev.* 37, 236–258. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2010.04.001>.
- Yousefi, S., and Alipourasl, M., 2019. Vein-type copper mineralization in the Zarandieh area based on mineralogy, geochemistry and fluid inclusions studies, *Saveh, Markazi province. Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 28 (111): 203-214. (In Persian). doi:10.22071/gsj.2018.82635.1090.
- Yushin, A., and Romanko, E., 1981. Isotope-geochemical characteristics of mineral deposits of Anarak area (Central 15 Iran). V/O Technoexport, rep. No. 16, Moscow, 78 p.
- Zamanian, H., Dolatshahi, S., Yang, X., Karimzadeh, S.A.M., Meshkani, S.A., 2021, Geochemical, fluid inclusion and O-H-S isotope constraints on the origin of the Rangraz copper deposit, Central Iran. *Ore Geology Reviews*, Volume 128, January 2021, 103877. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103877>.
- Zareie, R., Zamanian, H., Pazouki, A., Barani, N., and Zaal, F., 2016. "Mineral chemistry and temperature condition investigations of the Sarvian Iron ore deposit (Markazi province, Delijan city)", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 3(2016) 435-448. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.29252/ijcm.26.1.229>.
- Zhang, Y.G., and Frantz, J. D., 1987. Determination of the homogenisation temperatures and densities of superficial fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluids inclusions. *Chemical Geology* 64, 335-345. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90012-X](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90012-X).
- Zhong, j., Chen, y. j., Qi, j. p., Chen, j., Dai, m. c., and Li, j., 2017, Geology, fluid inclusion and stable isotope study of the Yueyang Ag-Au-Cu deposit, Zijinshan orefield, Fujian Province, China, *Ore Geology Reviews* 86, 254-270. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.02.023>.