



The mineralogy, texture and fluid inclusion characteristics of Meideh silicic zone, north Pariz, Kerman copper belt; investigation of genetic relations with porphyry systems

Zeinab Ramezani¹, Saeed Alirezaei^{2*}, Morteza Einali³

¹ M.Sc., Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Associate Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³ Ph.D., Parsolang Engineering Consulting Co., Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 03 January 2020
Revised: 22 June 2021
Accepted: 22 June 2021

Keywords

lithocap
Meideh silicic zone
porphyry copper
fluid inclusion
epithermal
Kerman magmatic belt

*Corresponding author

Saeed Alirezaei
✉ s-alirezaei@sbu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The widespread Cenozoic magmatic assemblages in Iran host a variety of ore deposits including porphyry Cu-Mo-Au, skarn type ores, and epithermal base and precious metals deposits. Silicic zones of variable sizes are common in the Kerman belt in the southern section of the Urumieh-Dokhtar arc, and some might be representing the upper parts of porphyry copper systems known as lithocap. To investigate this potential relation, a silicic zone in Meideh, north Pariz, is studied. The silicic zone lies in an area with several known porphyry copper deposits (PCD) including Sarcheshmeh, Nochun, Seridun, Sarkooh, and Bagh-Khoshk. For comparison, silica ledges and veins in Seridun and a mineralized silica vein system to the east of the Sarcheshmeh mine are also studied.

Materials and methods

The study is based on field studies and investigation of textures and structures, and sampling for mineralogy (microscopic and X-ray diffraction analysis), and fluid inclusions. The XRD analyses were accomplished in the Iranian Mines and Mining Industries Development and Renovation Organization (IMIDRO) and Kansaran Binaloud Co, Tehran. The fluid inclusion studies were performed in the Iranian Mineral Processing Research Center (IMPRC) using a Linkam THMS600 equipped with a Zeiss microscope.

How to cite this article

Ramezani, Z., Alirezaei, S. and Einali, M., 2021. The mineralogy, texture and fluid inclusion characteristics of Meideh silicic zone, north Pariz, Kerman copper belt; investigation of genetic relations with porphyry systems. *Journal of Economic Geology*, 13(4): 667–695. (in Persian with English abstract) <https://dx.doi.org/10.22067/ECONG.2021.51673.84923>



©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

Results

The silicic zone in Meideh is developed in andesitic lava flows and pyroclastic materials, and covers an area of ~ 1 km². Silica occurs in white to grey colors and in massive, brecciated and locally vuggy textures; the grain sizes range between 0.01mm to 1mm. The silica is locally associated by minor sulfides (pyrite and locally chalcopyrite) carbonates, and clay minerals.

The silicic zone grades outward into a silicic-argillic halo and into the host volcanic rocks with propylitic alteration. Chemical analysis of samples from the zone indicated enrichments in Cu, Mo, Ag, As, Bi and Au relative to the average composition of intermediate-mafic volcanic rocks in the Kerman belt. Small outcrops of a quartz-tourmaline rock occur in the southeast of the silicic zone.

In Seridun, silica ledges and veins occur in the periphery and in the upper parts of a porphyry copper deposit developed in Miocene shallow intrusive bodies and older volcanic rocks. In east of Sarcheshmeh, several N-S striking silica veins locally containing pyrite, chalcopyrite, malachite, and Fe-oxides/hydroxides occur in Cenozoic volcanic and intrusive host rocks. In both areas, the silicic zones are products of pervasive silicic alteration, and occur in massive, breccia, and vuggy textures. Vuggy texture is well developed in Seridun. XRD analysis of representative samples from Meideh indicated the occurrence of kaolinite and illite, in addition to quartz. Minerals characteristic of advanced argillic alteration (i.e. alunite, pyrophyllite, diaspore and andalusite) are missing. The minerals, however, were identified in Seridun.

Fluid inclusions in quartz from all three areas are dominated by two-phase liquid-vapor. Homogenization temperature (T_H) varies between 140-263 °C (average: 202 °C) for Meideh, 195-320 °C (average: 247 °C) for Seridun, and 140-264 °C (average: 177 °C) for east of Sarcheshmeh. Salinities vary between 0.18-5.71 (average: 1.62), 1.22-4.18 (average: 2.27), and 0.7-3.39 (average: 1.57) wt.% NaCl eq., respectively. The quartz-tourmaline rock from Meideh is distinguished by the occurrence of liquid-vapor-halite±hematite and liquid-vapor-opaque inclusions, in addition to liquid-vapor inclusions. The T_H and salinity for the liquid-vapor inclusions, homogenizing to liquid, varies, respectively, between 202-269 °C (average: 231 °C) and 3.71-7.16 (average: 5.43) wt.% NaCl eq. The T_H

and salinity for the halite bearing inclusions, homogenized by halite dissolution, varies between 240-480 °C (average: 345 °C) and 33.40-56.90 (average: 42.80) wt.% NaCl eq.

Discussion

The textures, structure, and spatial relations with the host volcanic rocks suggest that the Meideh silicic zone developed as a result of pervasive silicic alteration, rather than open space filling. Textures indicative of open space filling, including crustification and symmetric banding, are absent in Meideh. The silicic ledges in Seridun, and the N-S striking silicic zones in east of Sarcheshmeh, are the products of pervasive silicic alteration of the host volcanic and intrusive rocks.

The XRD analysis of representative samples from Meideh indicated the occurrence of kaolinite and illite, in addition to quartz. Minerals characteristic of advanced argillic alteration (i.e. alunite, pyrophyllite, diaspore and andalusite) are missing. The minerals, however, were identified in Seridun. Fluid inclusions in quartz from the three silicic zones are dominated by two-phase liquid-dominant L-V inclusions. No distinction in salinity can be made between the three zones; Seridun, however, is distinguished by higher homogenization temperature. The local quartz-tourmaline zones in Meideh developed from distinctly higher temperature and salinity fluids (240-480 °C and 33.9-64 wt.% NaCl eq., respectively). A comparison of fluid inclusion data with several epithermal base and precious metals systems in the Urumieh-Dokhtar arc and elsewhere in Iran suggest that no meaningful distinction can be made between barren (i.e. Meideh, at current exposure level) and productive epithermal systems. Our data indicate that the silicic zone in Meideh cannot be considered as a porphyry-related lithocap at current exposure. The quartz-tourmaline rock developed from fluids of higher salinity and temperature suggests a link with magmatic-hydrothermal systems and warrants further investigation.

Acknowledgements

We would like to thank Mr. Afrouz for introducing the area, help with field works, and discussions. We are grateful to Mr. Imani from Parsolang for his help with field works and discussions, and to Ms. Aghajani from Iranian Mineral Processing Research

Center for her invaluable help with the fluid inclusion studies. Dr. Ashrafpour kindly provided us with geological maps and chemical analysis of samples from the Meideh silicic zone. The study was

supported by the Iranian Mines and Mining Industries Development and Renovation Organization (IMIDRO) and a Shahid Beheshti University grant to S.A.



ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافتی و میان‌بارهای سیال در زون سیلیسی میده، شمال پاریز، کمر بند مس کرمان: بررسی ارتباط زایشی با سامانه‌های پورفیری

زینب رضانی^۱، سعید علیرضایی^{۲*}، مرتضی عین‌علی^۳

^۱ کارشناس ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۳ دکتری، شرکت فنی مهندسی پارس اولنگ، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

زون‌های سیلیسی با ابعاد متفاوت در کمر بند ماگمایی کرمان وجود دارد که ممکن است برخی نشان‌دهنده لیتوکپ در سامانه‌های مس پورفیری باشد. برای بررسی این پتانسیل، یک زون سیلیسی در سنگ‌های آندزیتی-بازالتی در منطقه میده در شمال پاریز و برای مقایسه، زون‌های سیلیسی در حاشیه سامانه مس پورفیری سریدون و یک سامانه رگه در شرق سرچشمه بررسی شده است. زون سیلیسی میده بافت‌های توده‌ای، برشی و به طور محلی حفره‌ای دارد و با هاله‌ای از دگرسانی سیلیسی-رسی فراگرفته شده است. رخنمون‌های کوچک و پراکنده کوارتز-تورمالین نیز وجود دارد. هاله سیلیسی-رسی علاوه بر کوارتز حاوی کائولینیت و اپلیت است. زون‌های سیلیسی در سریدون و شرق سرچشمه، بافت غالب توده‌ای و برشی دارند. در سریدون بافت حفره‌ای نیز توسعه یافته است. میان‌بارهای سیال در میده، سریدون و شرق سرچشمه اغلب دوفازی مایع-بخار غنی از مایع است. میانگین دمای همگن شدن به ترتیب ۲۰۲، ۲۴۷ و ۱۷۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین شوری ۱/۶۲، ۲/۲۷ و ۱/۵۷ درصد وزنی معادل نمک طعام است. سنگ کوارتز-تورمالینی حاوی میان‌بارهای چندفازی نیز است. میانگین دمای همگن شدن و شوری برای میان‌بارهای دوفازی به ترتیب ۲۳۱ درجه سانتی‌گراد و ۵/۴۳ درصد وزنی معادل نمک طعام و برای میان‌بارهای حالت دار ۳۸۲ درجه سانتی‌گراد و ۴۷ درصد وزنی معادل نمک طعام است. با توجه به شواهد بافتی و کانی‌شناسی، زون سیلیسی میده در تراز کنونی نمی‌تواند بیانگر لیتوکپ مرتبط با سامانه پورفیری باشد. رخداد کوارتز-تورمالین می‌تواند نشان‌دهنده ارتباط با سامانه‌های ماگمایی باشد؛ اما این رخداد محلی است و نمی‌توان آن را تعمیم داد.

تاریخ دریافت: ۱۳/۱۰/۱۳۹۸
تاریخ بازنگری: ۰۱/۰۴/۱۴۰۰
تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۴/۱۴۰۰

واژه‌های کلیدی

زون سیلیسی میده
اپی‌ترمال
مس پورفیری
میان‌بار سیال
تورمالین
کمر بند ماگمایی کرمان

*نویسنده مسئول

سعید علیرضایی

s-alirezai@sbu.ac.ir ✉

استناد به این مقاله

رضانی، زینب؛ علیرضایی، سعید و عین‌علی، مرتضی، ۱۴۰۰. ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافتی و میان‌بارهای سیال در زون سیلیسی میده، شمال پاریز، کمر بند مس کرمان: بررسی ارتباط زایشی با سامانه‌های پورفیری. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۳(۴): ۶۶۷-۶۹۵. <https://dx.doi.org/10.22067/ECONG.2021.51673.84923>

مقدمه

سامانه‌های مس پورفیری به عنوان حجم بزرگی از سنگ‌های دگرسان‌شده و کانه‌دار تعریف شده‌اند که همبستگی مکانی با استوک‌ها و دایک‌های فلسیک-متوسط پورفیری دارند و ممکن است افزون بر کانی‌سازی نوع پورفیری، حاوی کانی‌سازی فلزهای پایه و گران‌بهای نوع اسکارن و نیز اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا و متوسط باشند (Sillitoe, 2010). جایگاه اصلی این ذخایر، کمان‌های ماگمایی قاره‌ای و اقیانوسی مرتبط با فروانش و برخورد است.

ایران با توجه به گسترش چشمگیر مجموعه‌های ماگمایی سنوزوئیک، توانایی بالایی برای ذخایر مس پورفیری دارد. بیشتر کانسارهای مس پورفیری شناخته‌شده در ایران، در بخش جنوبی کمان ماگمایی ارومیه-دختر موسوم به کمربند مس کرمان و نیز در بخش شمالی آن در شمال غرب ایران قرار دارند (شکل ۱-۱). در ایران و نیز در مقیاس جهانی، بیشتر ذخایر پورفیری که در سطح زمین رخنمون داشته‌اند، شناسایی و اکتشاف شده‌اند و بسیاری هم در دست بهره‌برداری هستند. هدف‌های اکتشافی آینده شامل آن دسته از ذخایری است که هنوز تظاهر آشکاری در سطح ندارند یا پس از ظاهر شدن در سطح توسط نهشته‌های جوان تر پوشیده شده‌اند. در آن دسته از سامانه‌های مس پورفیری که دستخوش فرسایش چندانی نشده‌اند، زون کانسنگ در زیر پوششی از سنگ‌های دگرسان‌شده قرار دارد. بخش روپوش یا رویی کانسارهای مس پورفیری که منطقه‌ای گسترده از دگرسانی آرژیلیک پیشرفته و سیلیس بازمندی است، اغلب با عنوان لیتوکپ شناخته می‌شود. زون‌های سیلیسی که ممکن است برخی از آنها لیتوکپ باشند، در کمربند مس کرمان و نیز در بخش‌های شمالی و میانی کمان ارومیه-دختر (Taghipour and Makizadeh, 2009) وجود دارد؛ اما تاکنون به این زون‌ها و ارتباط احتمالی آنها با کانسارهای مس پورفیری توجه چندانی نشده است.

در این پژوهش، یک زون سیلیسی در منطقه میده در ناحیه پاریز مورد بررسی قرار گرفته است. این محدوده در فاصله نزدیکی از

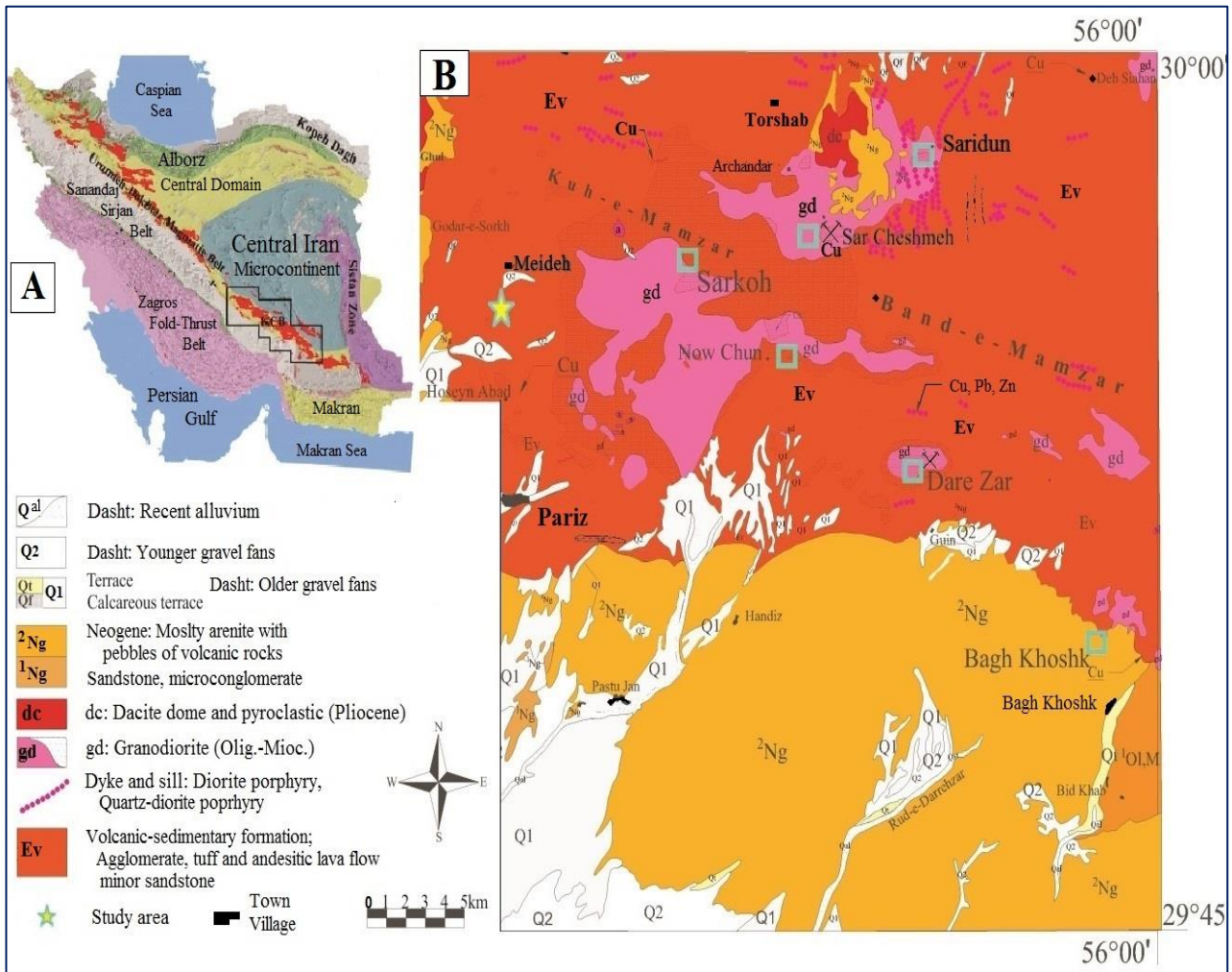
معادن مس سرچشمه و دره‌زار و چند ذخیره مس پورفیری دیگر مانند سریدون، سرکوه، نوچون و باغ خشک واقع شده است (شکل ۱-۱). زون سیلیسی میده با وسعت حدود یک کیلومتر مربع در فاصله ۹ کیلومتری شمال شهرستان پاریز و حدود ۱۳ کیلومتری غرب-جنوب غرب معدن مس سرچشمه قرار دارد. هدف از این پژوهش، شناسایی ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و شرایط تشکیل این زون سیلیسی و ارتباط زایشی احتمالی آن با یک سامانه مس پورفیری است. برای مقایسه و شناخت بهتر، یک سامانه رگه‌ای در شرق سرچشمه و زون‌های سیلیسی مرتبط با سامانه پورفیری سریدون در ۵ کیلومتری شرق-شمال شرق سرچشمه نیز بررسی شده است. کانسار سریدون حاوی زون‌های سیلیسی قابل مقایسه با پشته‌های سیلیسی و دگرسانی آرژیلیک پیشرفته در ترازهای ارتفاعی بالاست که نشان می‌دهد این کانسار چندان دستخوش فرسایش نشده است (Kazemi Mehrnia et al., 2011).

روش پژوهش

روابط صحرایی، ساخت و بافت و کانی‌شناسی زون‌های سیلیسی میده، سریدون و شرق سرچشمه با مشاهدات میدانی و برداشت نمونه‌های معرف بررسی شده است. با توجه به نتایج بررسی‌های میکروسکوپی و میکروسکوپی، نمونه‌هایی از هر سه منطقه برای بررسی میان‌بار سیال و آنالیز پراش پرتو ایکس انتخاب شد. بررسی میان‌بارهای سیال در مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران با استفاده از صفحه گرم- و سرد- شونده ساخت شرکت Linkam مدل THMS600 و میکروسکوپ ZEISS صورت گرفت. تنظیم صفحه در آزمایش‌های گرمایش و سرمایش با استفاده از استانداردهای سزیم نترات با نقطه ذوب ۴۱۴ درجه و دقت ± 0.6 درجه و آن-هگزان^۱ با نقطه ذوب ۹۴/۳- درجه و دقت ± 0.2 درجه سانتی‌گراد انجام شد. آنالیزهای پراش پرتو ایکس در آزمایشگاه کانی‌شناسی سازمان توسعه و فراوری مواد معدنی ایران (ایمیدرو) انجام شد. برای تعیین نوع کانی‌های رسی، سه نمونه

کرده‌اند. در این پژوهش، ۳ نمونه از نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس و ۸ نمونه از نتایج آنالیز شیمیایی زون سیلیسی میده استفاده شده است.

توسط آزمایشگاه کانساران بینالود آنالیز شد. اشرف‌پور و حقیقی (Ashrafpour and Haghighi, 2012) در اکتشاف مقدماتی ناحیه پاریز، منطقه میده را به عنوان یک زون امیدبخش معرفی



شکل ۱. A: نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده ایران با نمایش بخش‌های مختلف آن. کمان ماگمایی سنوزوئیک ارومیه- دختر با رنگ قرمز دیده می‌شود. بخش جنوبی این کمان با عنوان کمربند مس کرمان، میزبان اصلی ذخایر مس پورفیری است (برگرفته از علی‌محمدی و همکاران (Alimohammadi et al., 2015)) و B: نقشه زمین‌شناسی پاریز، بازسازی شده از دیمیتریویچ و همکاران (Dimitrijevic et al., 1973). موقعیت زون سیلیسی میده (نشانه ستاره) سامانه رگه‌ای شرق سرچشمه و چند کانسار مس پورفیری (نشانه مربع) نشان داده شده است.

Fig. 1. A: Simplified geological map of Iran showing various geological divisions. The Cenozoic Urumieh-Dokhtar arc is shown in red. The southern section of the arc, known as Kerman copper belt, is a major host to porphyry copper deposits (after Alimohammadi et al., 2015), and B: The geological map of the Pariz area (redrafted after Dimitrijevic et al., 1973). The location of the Meideh silicic zone (asterisk), the vein systems in east of Sarcheshmeh, and several porphyry copper deposits (square) are indicated.

زایشی با توده‌های نفوذی نوع کوه‌پنج دارند.

زمین‌شناسی ناحیه پاریز - سرچشمه

مناطق مورد بررسی در ناحیه پاریز - سرچشمه در بخش شمالی بر گره زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ پاریز (Dimitrijevic et al., 1973) قرار دارند (شکل ۱). این ناحیه به طور عمده از مجموعه‌های آتشفشانی - رسوبی ائوسن، توده‌های نفوذی الیگوسن - میوسن و سنگ‌های رسوبی و آتشفشان‌زاد نئوژن پوشیده شده است. در ادامه، واحدهای سنگی رخنمون یافته در این ناحیه به طور خلاصه توصیف شده است.

مجموعه آتشفشانی - رسوبی ائوسن

مجموعه آتشفشانی - رسوبی ائوسن (Ev) گسترش زیادی در ناحیه پاریز دارد (شکل ۲-A) و شامل انواع توف، آگلومرا و روانه‌های گدازه همراه با سنگ‌های رسوبی است. بخش شمال شرقی بر گره، شامل آذرآواری‌ها و روانه‌های گدازه مربوط به بخش بالایی این مجموعه است. گدازه‌ها شامل پیروکسن - تراکی آندزیت، پیروکسن - آندزیت و تراکی‌بازالت است که تحت تأثیر دگرسانی پروپیلیتیک، آرژیلیک، سریسیتی و نیز سیلیسی با شدت‌های متفاوت قرار گرفته‌اند. بخش جنوبی بیشتر شامل گدازه‌های آندزیتی است که به قسمت‌های میانی مجموعه ائوسن تعلق دارند. سنگ‌های رسوبی شامل ماسه‌سنگ و به طور فرعی سنگ آهک است (Dimitrijevic et al., 1973).

توده‌های نفوذی

توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی با بافت گرانولار و قابل مقایسه با گرانیتوئیدهای نوع جبال بارز در شمال - شمال شرق بر گره پاریز وجود دارد (شکل ۱-B). توده‌های نفوذی در جنوب کوه ممزار و بند ممزار ترکیبی متغیر از گرانیت تا تونالیت، گرانودیوریت، مونزونیت و دیوریت دارند (Dimitrijevic et al., 1973; Nazarinia et al., 2019). این توده‌های نفوذی و مجموعه‌های

نمونه‌برداری برای آنالیز شیمیایی بیشتر بر نقاطی متمرکز بوده که آثار کانی‌سازی مانند کانی‌های سولفیدی (به طور عمده پیریت) یا فراورده‌های اکسایش آنها مانند اکسید - هیدروکسید آهن یا بافت برشی وجود داشته است. نمونه‌برداری به صورت لب‌پری chip sampling بوده و آنالیزهای شیمیایی با روش ICP-OES در آزمایشگاه کانساران بینالود انجام شده است.

زمین‌شناسی

کمر بند ماگمایی کرمان با مجموعه‌های آتشفشانی، آتشفشانی - رسوبی و توده‌های نفوذی عمیق تا نیمه عمیق با گرایش چیره کالک آلکالن مشخص می‌شود. فعالیت ماگمایی در کمر بند کرمان در کرتاسه بالایی آغاز شده که به ظهور کمپلکس آتشفشانی - رسوبی بحر آسمان منجر شده است (Hosseini et al., 2017). پس از یک دوره نبود فعالیت‌های آذرین در پالئوسن، تکاپوهای دوره‌ای آتشفشانی در ائوسن تا الیگوسن به تشکیل کمپلکس‌های رازک و هزار منجر شده است (Dimitrijevic, 1973; Stöcklin, 1974; Farhoudi, 1978; Hassanzadeh, 1993; Shahabpour, 2005). فعالیت‌های آتشفشانی به طور متناوب تا پلیوسن و کواترنری ادامه داشته که با خروج گدازه‌های بازیک شوشونیتی مشخص می‌شود (Atapour, 2007).

توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی کمر بند ماگمایی کرمان به دو گروه اصلی با نام‌های نوع جبال بارز و نوع کوه‌پنج تفکیک شده‌اند (Dimitrijevic et al., 1973; Shafiei et al., 2009). توده‌های نفوذی نوع جبال بارز، اغلب به صورت مجموعه‌های بزرگ و با بافت گرانولار دیده می‌شوند. زمان جایگزینی و تبلور آنها الیگوسن بالایی - میوسن پیشین است (Chiu et al., 2013; Hosseini et al., 2017). توده‌های نفوذی نوع کوه‌پنج اغلب استوک مانند با دیواره‌های پر شیب و دارای بافت پورفیری هستند. زمان جایگزینی و تبلور این توده‌ها اغلب میوسن میانی - بالایی است (Hassanzadeh, 1993; McInnes et al., 2005). بیشتر ذخایر مس پورفیری شناخته شده در کمر بند کرمان، همبستگی

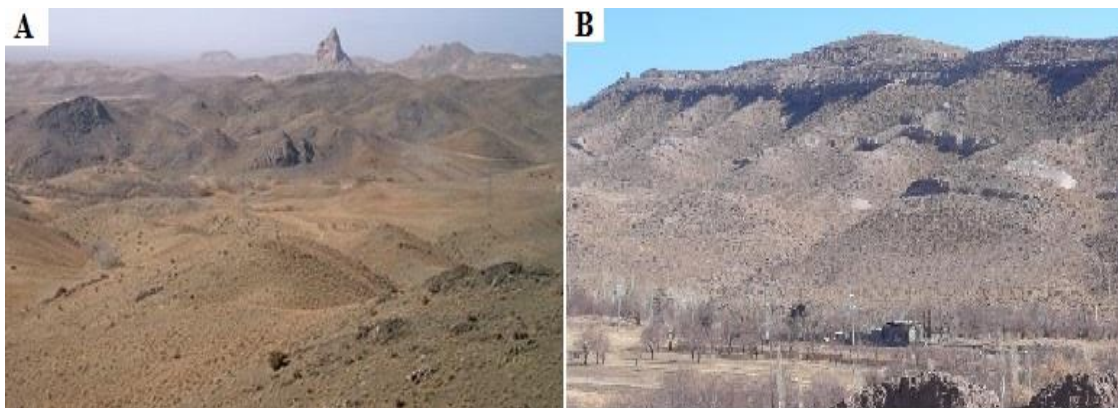
بخش بالایی، کنگلومرا با قلوها و بلوک‌هایی از داسیت است (Dimitrijevic et al., 1973).

واحد آتشفشان‌زاد نئوژن با دو آتشفشان چینه‌ای کوه غول در شمال غرب میده و کوه امیرالمؤمنین در شمال سرچشمه (واحد dc در شکل ۱-B) معرفی می‌شود. هر دو آتشفشان، مخروط آذرآواری دارند که از آگلومراهای چینه‌ای تشکیل شده است. در آتشفشان سرچشمه، بخش مرکزی مخروط نیز حفظ شده که متشکل از برش و ایگنبریت است. هر دو مجموعه آتشفشانی، بیشتر شامل هورنبلند-بیوتیت داسیت، داسیتوئید با فنوکریست‌های کوارتز و فونوآندزیت‌های کریپتومرفیک است (Dimitrijevic et al., 1973). رسوبات کواترنری گسترش زیادی در نیمه جنوبی بر گه پاریز دارند و محدوده‌های وسیعی از کوهپایه‌ها و دشت‌ها را می‌پوشانند.

آتشفشانی ائوسن توسط توده‌های نیمه‌عمیق میوسن با بافت پورفیری و ترکیبی متغیر از گرانودیوریت تا کوارتزیدیوریت و کوارتزمونزونیت قطع شده‌اند. کانی‌سازی مس \pm مولیبدن \pm طلای نوع پورفیری در ناحیه پاریز که با کانسارهای سرچشمه، نوچون، دره‌زار، باغ خشک و سریدون معرفی می‌شود، با همین توده‌های نفوذی میوسن مرتبط است (Shafiei et al., 2009; Einali et al., 2015).

واحدهای رسوبی و آتشفشان‌زاد نئوژن

دو عضو رسوبی که توسط دگرشیبی از هم جدا شده‌اند، در توالی نئوژن شناخته شده است. عضو پایینی، بیشتر از ماسه‌سنگ، مارن و میان‌لایه‌های ژپس و هالیت تشکیل شده است (شکل ۲-B). عضو بالایی شامل رسوبات سست با جورشدگی ضعیف و لایه‌بندی نامنظم است. بخش پایینی این عضو، کنگلومرا و ماسه‌سنگ و



شکل ۲. A: رخنمون گدازه‌ها و مواد آذرآواری با ترکیب متوسط تا مافیک در شمال غرب میده، نگاه به سوی جنوب غرب و B: نمایی از نهشته‌های رسوبی نئوژن در شرق پاریز شامل ماسه سنگ، کنگلومرا و مارن که توسط کنگلومرا پوشیده شده است (دید به سوی جنوب شرق).

Fig. 2. A: A view of the intermediate-mafic lava flows and pyroclastic materials northwest of Meideh; looking southwest, and B: Outcrop of Neogene sediments in east of Pariz consisting of sandstone, conglomerate, and marl covered by conglomerate (looking southeast).

وسعت نزدیک به یک کیلومتر مربع را می‌پوشاند (شکل ۳). بخش‌های سیلیسی فرعی در اطراف زون اصلی وجود دارد. سنگ میزبان زون سیلیسی میده، روانه‌های گدازه آندزیتی و

زمین‌شناسی زون‌های سیلیسی

زون سیلیسی میده به صورت یک توده سیلیس کم‌ویش پیوسته با دو برجستگی در بخش میانی خودنمایی می‌کند و محدوده‌ای با

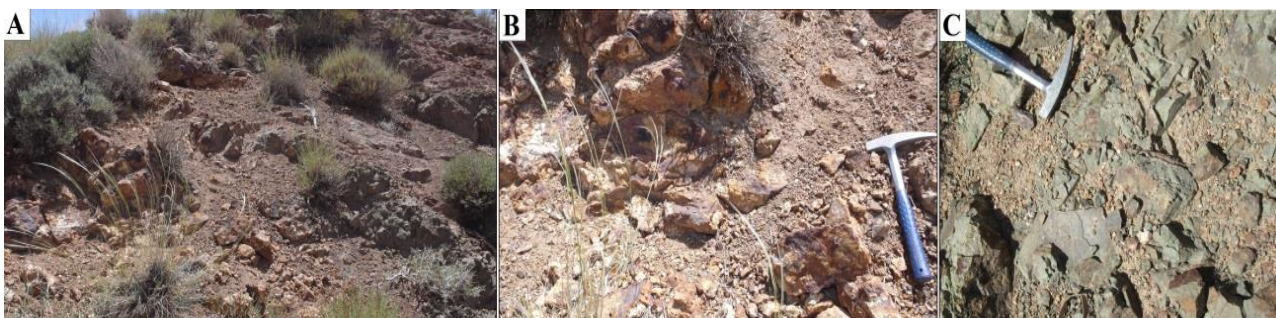
(C). دگرسانی پروپلیتی در میده به طور عمده با کانی‌های کلریت و کمتر از آن کلسیت مشخص می‌شود که به طور بخشی تا کامل جانشین کانی‌های مافیک و پلاژیوکلاز شده‌اند. اندکی اپیدوت نیز به طور محلی وجود دارد (Ramezani, 1995).

آندزیت‌بازالتی و سنگ‌های آذرآواری شامل توف سنگی و توف بلورین سنگی است. این زون توسط هاله‌ای از دگرسانی سیلیسی-رسی با ضخامت متغیری بین ۱ تا ۱۰ متر و آغستگی به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن احاطه شده است که به تدریج به سنگ میزبان آندزیتی با دگرسانی پروپلیتی می‌رسد (شکل ۴-A، B و



شکل ۳. نمای از زون سیلیسی میده (دید به سوی جنوب-جنوب شرق)

Fig. 3. A view of the Meideh silicic zone (looking south-southwest)



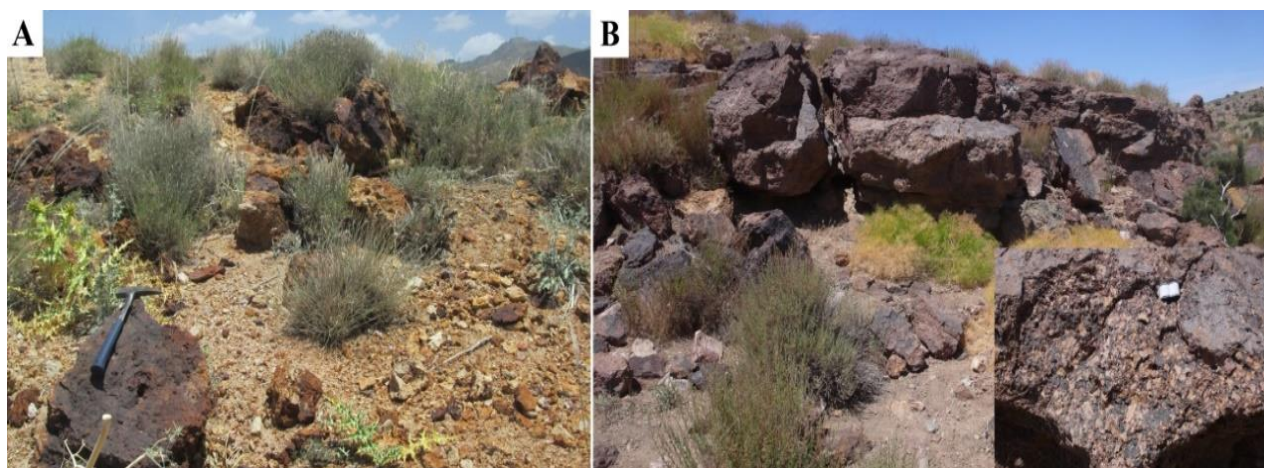
شکل ۴. A: نمای از هاله دگرسانی سیلیسی-رسی در زون سیلیسی میده که به آندزیت میزبان با دگرسانی پروپلیتی می‌رسد، B: نمای نزدیکی از هاله دگرسانی سیلیسی-رسی با اکسید-هیدروکسید آهن و C: نمای نزدیکی از سنگ میزبان آندزیتی با دگرسانی پروپلیتی (به طور عمده کلریتی)

Fig. 4. A: A view of silicic-argillic halo in the Meideh silicic zone grading outward to andesitic host rock with propylitic alteration, B: A closer view of the silicic-argillic halo with Fe-oxides/hydroxides, and C: A closer view of the andesitic host rock with propylitic alteration

سنگ در واقع شامل قطعه‌های واریزه در حد گراول و قلوه است که در نتیجه چرخش آب‌های زیرزمینی غنی از املاح (به ویژه ترکیبات آهن) سیمانی شده است. این برش‌ها گاه بیانگر دهانه چشمه‌ها هستند. این نوع برش در بسیاری جاها در کمربند کرمان، به ویژه در حاشیه سامانه‌های پورفیری که غنی از پیریت هستند یا سنگ‌های میزبان آنها مافیک است، وجود دارد.

به طور محلی اکسید-هیدروکسید آهن به حدی زیاد می‌شود که سنگ چهره گوسن به خود می‌گیرد. این مناطق غنی از اکسید-هیدروکسید آهن از چند متر مربع تا ۵۰ متر مربع وسعت دارند (شکل ۵-۱). در بخش جنوب شرقی زون سیلیسی، چند رخنمون کوچک و پراکنده از کوارتز-تورمالین وجود دارد.

به سوی شمال غرب و در دامنه برجستگی‌های سیلیسی، نوعی برش با سیمان اکسید-هیدروکسید آهن دیده می‌شود (شکل ۵-۲). این



شکل ۵. A: رخنمون گوسن در حاشیه هاله سیلیسی-رسی زون سیلیسی میده و B: رخنمون برش کواترنری در حاشیه شمال غربی زون سیلیسی میده که توسط اکسید-هیدروکسید آهن سیمانی شده است. شکل داخل، نمای نزدیکی از این سنگ است که بافت آن را نشان می‌دهد.

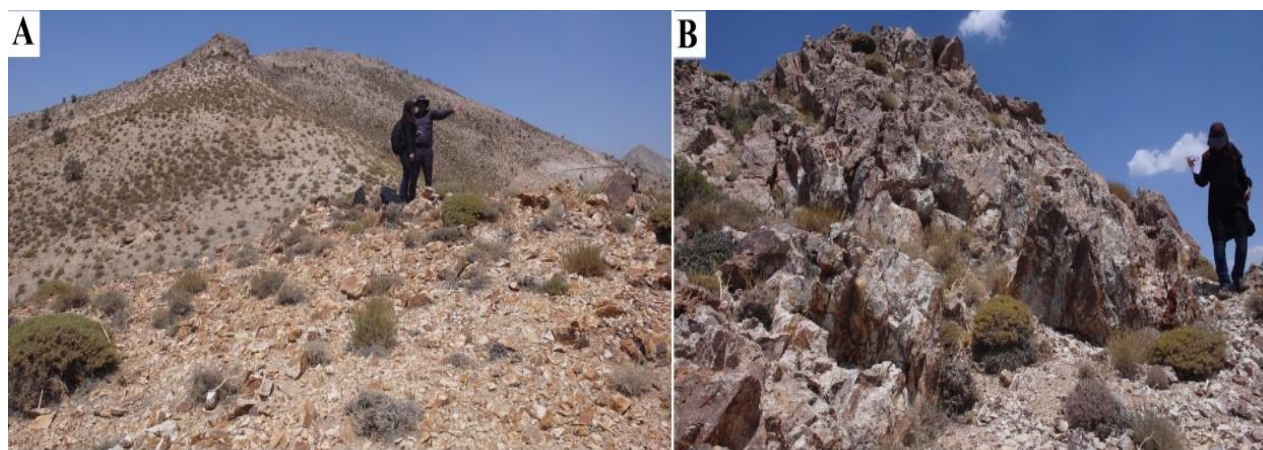
Fig. 5. A: Outcrop of gossan in the silicic-argillic halo in the Meideh silicic zone, and B: Outcrop of the Quaternary breccia consisting of debris of altered volcanic rocks cemented by Fe-oxide/hydroxide in the northwest margin of the Meideh silicic zone. The inset shows a close-up of the breccia.

اکسید-هیدروکسید آهن متداول است و به طور محلی، بخش‌های غنی از این مواد وجود دارد (شکل ۶-۱). وجود پیریت و نیز حضور سودومرف‌های هماتیت در قالب پیریت نشان می‌دهد که اکسید-هیدروکسید آهن در بخش‌های سطحی زون‌های سیلیسی در سریدون، محصول اکسایش پیریت است. زون‌های سیلیسی و سیلیسی-رسی در سریدون با سنگ‌های آتشفشانی با دگرسانی پروپیلیتی احاطه شده‌اند (Kazemi Mehrnia et al., 2011). در بررسی‌های میدانی، بررسی نمونه‌های دستی و بررسی‌های

رگه‌ها و پشته‌های سیلیس با ضخامت متغیر از دو متر تا بیش از پنجاه متر و طول متغیر از ۵۰ متر تا بیش از ۵۰۰ متر در راستای شمالی-جنوبی تا شمال شرقی-جنوب غربی در سریدون وجود دارد (شکل ۶-۲ و ۳). سنگ میزبان، یک توده نفوذی نیمه عمیق توانالیتی تا گرانودیوریتی میوسن با بافت پورفیری است که در سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی ائوسن نفوذ کرده است. توده‌های سیلیس به طور عمده شامل کوارتز ریز-تا متوسط-بلور هستند و به ویژه به سمت حاشیه با کانی‌های رسی همراهی می‌شوند.

میکروسکوپی، کانی سولفاتی مانند ژپس (انیدریت) همراه با اکسید-هیدروکسید آهن مشاهده نشد. احتمال رخداد سوپرژن این کانی‌ها در بخش‌های سیلیسی کم است. رخداد این کانی‌ها در پژوهش‌های قبلی نیز گزارش نشده است (Kazemi Mehrnia et al., 2011). این پژوهشگران به حضور محلی ژاروسیت، همراه با اکسید-هیدروکسید آهن اشاره کرده‌اند. بررسی‌های XRD حضور آلونیت را در سریدون نشان‌داده که در ادامه به آن اشاره شده است.

میکروسکوپی، کانی سولفاتی مانند ژپس (انیدریت) همراه با اکسید-هیدروکسید آهن مشاهده نشد. احتمال رخداد سوپرژن این کانی‌ها در بخش‌های سیلیسی کم است. رخداد این کانی‌ها در پژوهش‌های قبلی نیز گزارش نشده است (Kazemi Mehrnia et al., 2011). این پژوهشگران به حضور محلی ژاروسیت، همراه با اکسید-هیدروکسید آهن اشاره کرده‌اند. بررسی‌های XRD حضور آلونیت را در سریدون نشان‌داده که در ادامه به آن اشاره شده است.



شکل ۶. A: نمایی از توده تونالیت پورفیری سریدون با دگرسانی سیلیسی و سریستی/رسی. اکسید-هیدروکسید آهن در بخش جلویی ناشی از اکسایش پیریت است (دید به سوی شمال) و **B:** نمایی از یک پشته سیلیسی با بافت توده‌ای و برشی که در تونالیت پورفیری سریدون توسعه یافته است.

Fig. 6. A: Outcrop of the Seridun tonalite porphyry with sericitic/argillic and silicic alteration. Fe oxides/hydroxides staining in front are products of oxidation of pyrite, and **B:** Outcrop of a silica ledge with massive and brecciated texture developed in the Seridun porphyritic tonalite.

نمونه‌های دستی قابل تشخیص است. واکنش‌های مربوط به اکسایش و تجزیه کانی‌های سولفیدی و تشکیل کانی‌های اکسیدی در کتاب‌های درسی زمین‌شناسی اقتصادی بحث شده است (Shahabpour, 2015; Guilbert and Park, 2016). با توجه به اینکه اکسایش کالکوپیریت فرایندی برون‌زاد است، تشکیل مالاکیت ارتباط چندانی با فرایندهای دگرسانی درون‌زاد (هیپوژن) ندارد. جایی که کالکوپیریت فراوان است (به ویژه همراه با پیریت)، اکسایش این کانی‌های سولفیدی می‌تواند با ایجاد آب‌های اسیدسولفوریکی، شست‌وشوی مس و دگرسانی رسی سوپرژن همراه باشد. رگه‌های شرق سرچشمه، ساخت لویبایی یا باز و بسته دارند و تغییر ضخامت زیادی به نمایش می‌گذارند. ساخت لویبایی

در شرق معدن سرچشمه و جنوب‌شرق ذخیره مس پورفیری سریدون، چند سامانه رگه‌مانند با روند چیره شمالی-جنوبی و طول بین ۱۰۰ متر تا بیش از ۱۰۰۰ متر و پهنای کمتر از یک متر تا پنج متر وجود دارد (شکل ۱). این رگه‌ها در واقع زون‌های سیلیسی خطی هستند که در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها در سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی ایجاد شده‌اند. سنگ‌های سیلیسی شده به صورت برجسته‌تر نسبت به زمین‌های اطراف دیده می‌شوند (شکل ۷). از نظر کانی‌شناسی، این رگه‌ها به طور عمده شامل کوارتز ریزدانه همراه با مقادیر کمتری کانی‌های رسی، کربنات و کانی‌های سولفیدی به ویژه پیریت هستند. به طور محلی مالاکیت دیده می‌شود که محصول اکسایش کالکوپیریت است. بقایای کالکوپیریت در بعضی

سنگ‌های میزبان نیز می‌تواند سبب تفاوت ضخامت در هاله‌های دگرسانی - کانی‌سازی شود. گسل‌های عرضی به طور محلی سبب جابه‌جایی رگه‌ها شده است.

در ذخایر رگه‌ای متداول است و دلیل اصلی آن بازشدگی متفاوت در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌هایی است که سیال‌ها در آنها چرخش و کانی‌سازی کرده‌اند. پیشرفت متفاوت جبهه‌جانشینی در



شکل ۷. نمای از یک رگه سیلیس حاوی اکسید-هیدروکسید آهن و اندکی مالاکیت در شرق سرچشمه. ساخت لوبیایی در این بخش از رگه قابل تشخیص است. شکل داخل، نمای نزدیکی از رگه را در بخش میانی و پهن آن نشان می‌دهد که به دو طرف جمع می‌شود (دید به سوی شمال‌غرب).

Fig. 7. A silica vein containing abundant Fe oxide/hydroxide and minor malachite in east of Sarcheshmeh. The pinch and swell structure is evident in this part of the vein. The inset shows a close-up of the central and wider part of the vein, pinching on both sides (looking northwest).

درشت‌بلور، بیش از ۹۵ درصد ترکیب کانی‌شناسی را تشکیل می‌دهد. بافت اصلی در زون سیلیسی میده، بافت توده‌ای است (شکل ۸-۸A). این بافت با کوارتز ریز تا درشت‌بلور بی‌وجه تا نیمه‌وجه‌دار و به رنگ‌های خاکستری تیره تا خاکستری روشن و شیری رنگ مشخص می‌شود. شکستگی‌ها و درزه‌های فراوانی در سنگ سیلیسی وجود دارد و بافت برشی نیز پدید آمده است (شکل ۸-۸B). مرز بین کوارتز خاکستری تا روشن و شیری رنگ تدریجی است و توزیع این سه نوع سیلیس از نظم خاصی پیروی نمی‌کند (شکل ۸-۸C، D و E). تفاوت رنگ، ناشی از بافت (دانه‌بندی) متفاوت و تجدید تبلور در اثر واکنش سیلیس با سیال‌های بعدی است. فراوانی میان‌بارهای سیال نیز می‌تواند سبب تیرگی سیلیس شود (Cairncross and Bahmann, 2006; Lambrecht and Diamond, 2014). به طور محلی کوارتز با

کانی‌شناسی و بافت سنگ در زون‌های سیلیسی

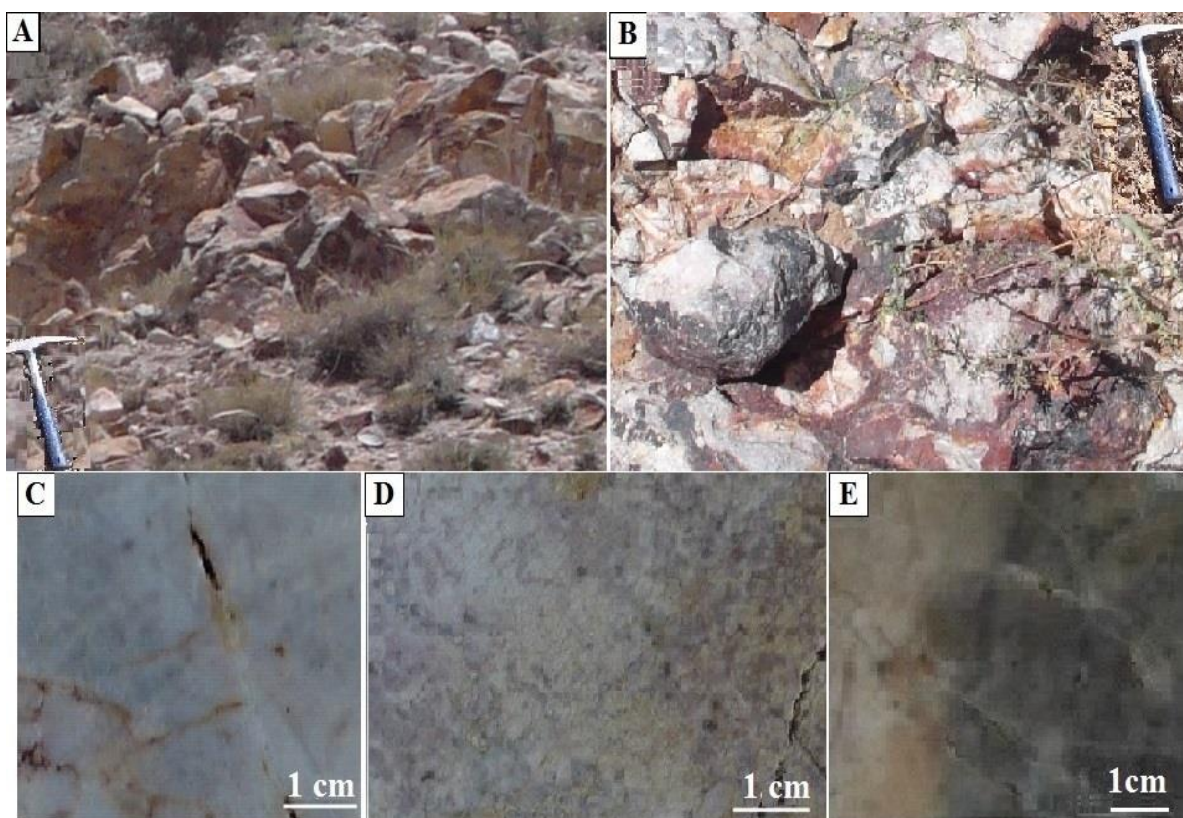
کانی‌شناسی و بافت سنگ در زون‌های سیلیسی میده، سریدون و سرچشمه با بررسی رخنمون‌های طبیعی، نمونه‌های دستی و مقاطع میکروسکوپی مطالعه شده است. در مقیاس ماکروسکوپی، عوارض مختلف در سطوح برش‌خورده نمونه‌ها بررسی و سپس نمونه‌های معرف برای شناسایی ویژگی‌های میکروسکوپی انتخاب شد. در زیر، ویژگی‌های ساختی، بافتی و کانی‌شناسی این سه زون توصیف شده است.

چنان‌که پیش از این توصیف شد، زون سیلیسی میده به صورت توده‌ای کم‌ویش پیوسته سیلیسی در سنگ‌های آتشفشانی توسعه یافته است (شکل ۳). با توجه به همبری زون سیلیسی با سنگ‌های آتشفشانی میزبان و افزایش ضخامت به سمت مرکز، به نظر می‌رسد که این زون ساخت پشته‌ای دارد. کوارتز ریز تا

کالکوپیریت را از این منطقه گزارش کرده‌اند. در شرق-جنوب شرق زون سیلیسی، رخنمون‌های محدودی از سنگ کوارتز-تورمالین با بافت توده‌ای و برشی وجود دارد. پیریت و روتیل به عنوان کانی‌های همراه دیده می‌شود. شکل ۹-A، نمایی از رخنمون و شکل ۹-B، تصویر نمونه دستی برش خورده از این سنگ را نشان می‌دهد. شکل ۹-C و D نشان‌دهنده تصویرهای میکروسکوپی از این سنگ است.

بافت حفره‌ای مشاهده می‌شود. حفره‌های مکعبی نیز وجود دارد که به نظر می‌رسد قالب بلورهای پیریت است که دستخوش اکسایش و تجزیه شده‌اند.

کانی‌های فرعی شامل سریسیت، مگنتیت، روتیل، کربنات و پیریت است. پیریت در بخش‌های سطحی به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن اکسید شده است. به طور محلی لکه‌های مالاکیت وجود دارد که به نظر می‌رسد محصول اکسایش کالکوپیریت است. اشرف پور و همکاران (Ashrafpour and Haghghi, 2012) وجود

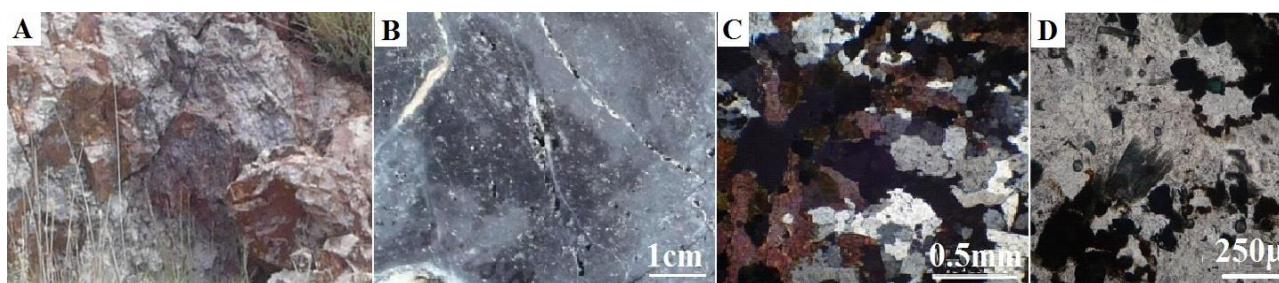


شکل ۸. تصویرهای رخنمون طبیعی و نمونه دستی از زون سیلیسی میده. A و B: رخنمون‌های بافتی همگن و شکسته، به ترتیب نمایی از رخنمون سیلیسی توده‌ای و برشی، C: نمونه دستی از سنگ سیلیسی با بافت توده‌ای در زون سیلیسی میده، D و E: نمونه دستی نشان‌دهنده تنوع رنگ در سنگ‌های سیلیسی است. آغشتگی به اکسید-هیدروکسید آهن در سطح هوازده سنگ و در امتداد درزه‌ها دیده می‌شود.

Fig. 8. Photographs of natural outcrops and hand specimens from the Meide silicic zone. A and B: Outcrops of massive and breccia textures, respectively, C: Hand specimen showing the massive and brecciated texture in the Meideh silicic zone, D and E: Hand specimens showing variations of color in the silicic rocks. Fe-oxide/hydroxide staining occurs on weathered surface and across fractures.

قابل تشخیص است. رگه‌های کوارتز شرق سرچشمه در واقع زون‌های سیلیسی خطی هستند که در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها در سنگ‌های میزبان آتشفشانی توسعه یافته‌اند. این زون‌ها به طور عمده شامل کوارتز همراه با اندکی کانی‌های کربناتی و رسی/سریست هستند. فنوکریست‌ها و زمینه سنگ‌ها به طور فراگیر سیلیسی شده است و فقط قالب فنوکریست‌ها و بقایای بافت پورفیریک اولیه قابل تشخیص است.

زون‌های سیلیسی در سریدون به صورت پشته‌ها و رگه‌های برجسته سیلیس با بافت غالب توده‌ای (شکل ۶-B)، برشی و حفره‌ای (شکل ۱۰-A و B) دیده می‌شوند. این زون‌ها محصول دگرسانی سیلیسی شدید سنگ‌های آذرین محل هستند. بقایای بافت پورفیریک سنگ اولیه که با قالب پلاژیوکلازهای سیلیسی و رسی شده خودنمایی می‌کند، به سمت حاشیه این توده‌ها به خوبی دیده می‌شود (شکل ۱۰-C). با افزایش فاصله از زون‌های سیلیسی، دگرسانی‌های کربناتی، سریستی، رسی، کلریتی و اپیدوتی در سنگ‌های میزبان



شکل ۹. A و B: به ترتیب نمای رخنمون و تصویر نمونه دستی برش خورده از سنگ کوارتز-تورمالینی در زون سیلیسی میده. تورمالین به رنگ خاکستری تیره دیده می‌شود. پهنای تصویر A نزدیک یک متر است. آغشتگی سطحی به اکسید-هیدروکسید آهن وجود دارد، C: تصویر میکروسکوپی از این سنگ که همراهی کوارتز (خاکستری روشن) و تورمالین (قهوه‌ای) را نشان می‌دهد (نور نفوذی XPL) و D: هم‌رشدی کوارتز (خاکستری روشن) و بلورهای شعاعی تورمالین (سبزنگ)، (نور نفوذی PPL)

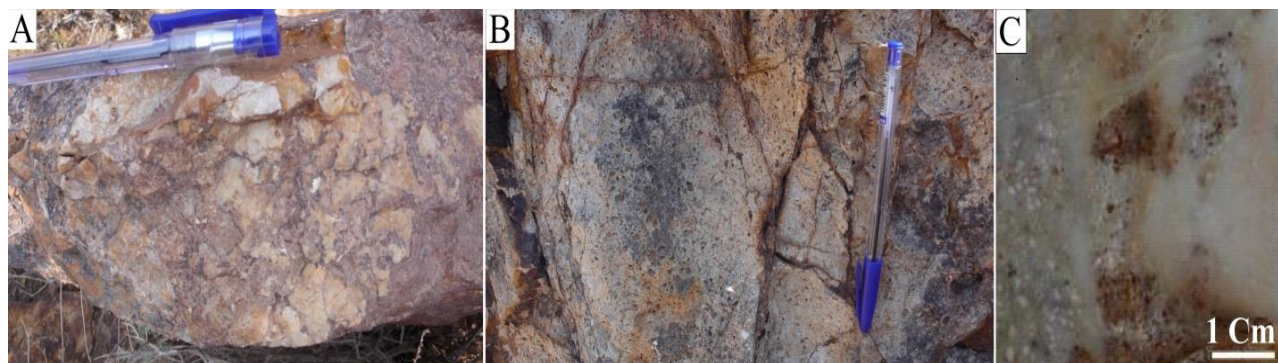
Fig. 9. A and B: A view of the outcrop and cut surface of a hand specimen, respectively, from the quartz (light grey) - tourmaline (dark grey) rock in the Meideh silicic zone. The width of the picture in A is ~1 m. Fe-oxide/hydroxide staining can be distinguished, C: Microphotograph of the rock showing the coexistence of quartz (light grey) and tourmaline (brown); transmitting light, XPL, and D: Microphotograph showing the intergrowth of quartz and radial tourmaline crystals (green); transmitting light; PPL.

نمونه مربوط به زون سیلیسی شرق سرچشمه از نظر کانی‌شناسی قابل مقایسه با زون سیلیسی میده است (جدول ۱). کاظمی مهرنیا و همکاران (Kazemi Mehrnia et al., 2011) با بررسی‌های کانی‌شناسی و آنالیز XRD نمونه‌های فراوان از پشته‌های سیلیسی سریدون، مجموعه کانیایی آلونیت (ناتروآلونیت)، پیروفیلیت، دیکیت، دیاسپور، کراندوم، آدولاریا، کائولینیت و ایلیت را گزارش کرده‌اند که رخداد دگرسانی آرژلیک پیشرفته را پیشنهاد

آنالیز پراش پرتو ایکس

نتایج آنالیز XRD نمونه زون سیلیسی میده، نشان‌دهنده حضور کانی‌های مسکویت، ایلیت، آاناتاز، کلریت، گوتیت و ژاروسیت است. پیروفیلیت از کانی‌های شاخص دگرسانی آرژلیک پیشرفته، تنها در نمونه NP-5 گزارش شده است. کائولینیت نیز به صورت فرعی در یک نمونه وجود دارد. آنالیز XRD نمونه کوارتز-تورمالینی میده، تورمالین را از نوع دراویت نشان می‌دهد.

می‌کند. کانی‌های فرعی شامل ژاروسیت، گوتیت و هماتیت در پیریت است. در این پژوهش تنها یک نمونه از سریدون آنالیز شد بیشتر نمونه‌ها وجود دارد که به طور عمده محصول اکسایش که حضور آلونیت را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. A: بافت برشی در تخته سنگی از یک پشته سیلیسی در سریدون که شامل قطعه‌های سنگ به شدت سیلیسی است که توسط سیلیس نسل دوم سیمانی شده است، B: بافت حفره‌ای در رخنمونی از یک پشته سیلیسی در سریدون و C: تصویر نمونه دستی برش خورده نمونه‌ای از حاشیه یک پشته سیلیسی در سریدون. قالب فیوکریست‌های پلاژیوکلاز سیلیسی شده و بافت پورفیریک سنگ اولیه قابل تشخیص است.

Fig. 10. A: Breccia texture in a boulder from a silica ledge in Seridun consisting of fragments of silicified rock cemented by a second generation of silica, B: Vuggy texture visible in an outcrop of a silica ledge in Seridun, and C: Photomicrograph of a sample from the margin of a silica ledge in Seridun. Silicified plagioclase casts and the porphyritic texture of the original rock can be distinguished

جدول ۱. نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس XRD نمونه‌های معرف از زون‌های سیلیسی میده، سریدون و شرق سرچشمه

Table 1. XRD Analysis of representative samples from Meideh, Seridun and east of Sarcheshmeh silicic zone

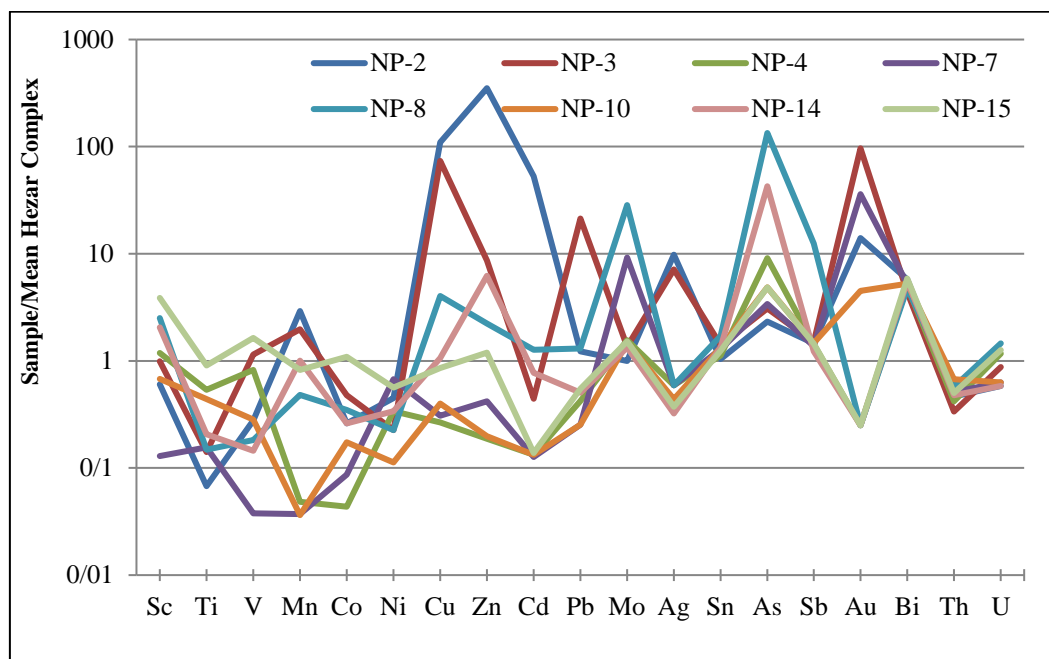
Sample code	Minerals	Silicic zone
NP-5*	Quartz, Pyrophyllite, Muscovite, Illite, Anatase	Meideh
NP-6*	Quartz, Illite	Meideh
NP-13*	Quartz, Muscovite, Illite, Jarosite, Anatase	Meideh
N.PZ.03	Quartz (low), Tourmaline (Dravite)	Meideh
N.PZ.15	Quartz, Muscovite, Goethite	Meideh
N.PZ.17	Quartz, Muscovite, Jarosite, Illite	Meideh
N.PZ.20	Chlorite, Mica, illite	Meideh
PZ.005	Mica, illite, Kaolinite	Meideh
SAC-E-03	Quartz, Muscovite, Jarosite (syn), Illite	E. Sarcheshmeh
Se.13	Quartz, Albite, Calc, Muscov, Orthoclase, Alunite, Illite	Seridun

*Ashrafpour and Haghghi, 2012

شیمی زون سیلیسی میده

توزیع عناصر کانسنگ‌ساز در زون سیلیسی میده که نسبت به میانگین ترکیب سنگ‌های آتشفشانی کمپلکس هزار بهنجار شده است (شکل ۱۱)، نشان‌دهنده تهی‌شدگی آشکار نسبت به فلزهای اسکاندیوم، وانادیوم، منگنز، کبالت و نیکل است. این فلزها در سنگ‌های آتشفشانی به طور عمده در سیلیکات‌های مافیک حمل

می‌شوند. سیلیسی شدن شدید در میده با تجزیه و نابودی کانی‌های سیلیکاتی و تهی‌شدگی بسیاری از عناصر همراه بوده است. غنی‌شدگی نسبی مس، روی، مولیبدن، نقره، طلا، آرسنیک و بیسموت در برخی نمونه‌ها دیده می‌شود. غنی‌شدگی به ویژه برای طلا، آرسنیک و بیسموت چشمگیر است و در بیشتر نمونه‌ها رخ داده است.



شکل ۱۱. فراوانی برخی عناصر کانسنگ‌ساز و عناصر ردیاب در نمونه‌هایی از زون سیلیسی میده، بهنجار شده نسبت به میانگین ترکیب سنگ‌های آتشفشانی کمپلکس هزار در کمربند کرمان (داده‌های شیمیایی میده از اشرف‌پور و حقیقی (Ashrafpour and Haghghi, 2012)، داده‌های کمپلکس هزار از نوری‌زاده و همکاران (Noorizadeh et al., 2018))

Fig. 11. The abundances of certain ore and pathfinder elements in samples from Meideh silicic zone, normalized to average composition of volcanic rocks from Oligocene Hezar complex, Kerman belt (The Meideh chemical data are from Ashrafpour and Haghghi (2012); the Hezar complex data from Noorizadeh et al. (2018))

میان‌بار سیال

برای بررسی میان‌بارهای سیال، پنج نمونه از زون سیلیسی میده، یک نمونه از سریدون و یک نمونه از شرق سرچشمه انتخاب و مقاطع دوبر صیقل با ضخامت ۱۰۰ میکرون تهیه شد. دو نمونه از میده، بدون میان‌بارهای بزرگ‌تر از ۴ میکرون برای اندازه‌گیری

بود. تعداد ۴۲ اندازه‌گیری روی سه نمونه میده و ۳۳ اندازه‌گیری روی دو نمونه سریدون و شرق سرچشمه انجام شد که از این میان، برای ۲۳ میان‌بار از نمونه‌های میده و ۲۹ میان‌بار از نمونه‌های سریدون و شرق سرچشمه، دمای همگن‌شدن، نقطه اوتکتیک و شوری به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲. داده‌های میان‌بار سیال برای زون‌های سیلیسی میده، سریدون و شرق سرچشمه

Table 2. Fluid inclusion data for Meideh, Seridun and east of Sarcheshmeh silicic zones

Sample code	Series	Size (µm)	Type	T_e (°C)	T_{mice} (°C)	T_m Halite	wt.% NaCl	T_{Hv-1} (°C)	
PZ-.04	1	7	L+V	-26 to -31 °C	-4		6.45	204	
	2	17	L+V		-4.5		7.16	224	
	8	8	L+V		-4.2		6.74	225	
	4	9	L+V		-2.6		4.34	245	
	5	6	L+V		-2.2		3.71	237	
	6	9	L+V		-2.5		4.18	230	
	7	9	L+V+S?		-5		7.86	215	
	3	6	L+V+S?		-4.2		6.74	225	
	9	12	L+V						230
	10	6	L+V						238
	11	7	L+V					245	
	12	8	L+V					229	
	13	7	L+V+S?					224	
	14	7	L+V+S?	nd	nd			205	
	15	9	L+V+S?					202	
	16	7	L+V					209	
	17	7	L+V					269	
	18	6	L+V					202	
	19	6	L+V					250	
	20	9	L+V+Ha+S (Hemat.?)			530	64	190	
	21	6	L+V+Ha			240	33.39	190	
	22	7	L+V+Ha			272	35.25	170	
	23	10	L+V+Ha			389	45.51	203	
	24	10	L+V+Ha			480	56.93	383	
N.PZ 002	1	6	L+V	-21 to -30 °C	-0.3		0.53	184	
	2	4	L+V		-2		3.39	145	
	3	7	L+V		-2.5		4.18	165	
	4	8	L+V		-0.1		0.18	170	
	5	5	L+V		-0.3		0.53	176	
	6	5	L+V		-0.3		0.53	220	
	7	8	L+V		-0.3		0.53	170	
	8	5	L+V		-0.3		0.53	170	
	9	5	L+V		-0.3		0.53	195	
	10	7	L+V		-3.5		5.71	155	
	11	5	L+V	-0.6		1.05	185		
	12	5	L+V	-3		4.96	202		
	13	4	L+V	-1.5		2.57	193		
	14	4	L+V					185	
	15	6	L+V	nd	nd			140	
	16	4	L+V					150	
N.PZ.15	1	4	L+V		-0.2		0.35	224	
	2	5	L+V		-0.2		0.35	263	

ادامه جدول ۲. داده‌های میان‌بار سیال برای زون‌های سیلیسی میده، سریدون و شرق سرچشمه

Table 2 (Continued). Fluid inclusion data for Meideh, Seridun and east of Sarcheshmeh silicic zones

Sample code	Series	Size (μm)	Type	T_e (°C)	$T_{m\text{ ice}}$ (°C)	T_m Halite	wt.% NaCl	T_{HV-1} (°C)
SAC-E-02	1	10	L+V	-21 to -30 °C	-0.4		0.7	165
	2	12	L+V		-1.4		2.41	170
	3	6	L+V		-1		1.74	167
	4	5	L+V		-0.6		1.05	185
	5	5	L+V		-0.5		0.88	169
	6	8	L+V		-0.6		1.05	175
	7	7	L+V		-0.5		0.88	170
	8	10	L+V		-2		3.39	178
	9	15	L+V		-0.8		1.39	167
	10	7	L+V		-0.8		1.39	170
	11	17	L+V		-0.8		1.39	161
	12	9	L+V		-1		1.74	175
	13	18	L+V		-0.8		1.39	175
	14	6	L+V		-1		1.74	160
	15	15	L+V		-0.9		1.57	237
	16	12	L+V		-0.8		1.39	140
	17	10	L+V		-1		1.74	169
	18	9	L+V		-1		1.74	168
	19	9	L+V		-0.6		1.05	159
	20	6	L+V		-0.6		1.05	170
	21	7	L+V		-0.8		1.39	264
	22	7	L+V		-2		3.39	160
	23	20	L+V		-1		1.74	209
Se-05	1	8	L+V	nd	nd			250
	2	8	L+V					200
	3	5	L+V					320
	4	6	L+V					300
	5	12	L+V		-0.7	1.22	203	
	6	10	L+V		-1	1.74	203	
	7	12	L+V		-1.1	1.9	195	
	8	10	L+V		-2.5	4.18	305	
	9	15	L+V		-2	3.39	293	
	10	5	L+V		-0.7	1.22	202	

nd: not detected; T_m Halite: melting temperature for halite; T_e : Eutectic temperature; T_m Ice: Ice melting temper

پتروگرافی میان‌بارهای سیال

(Kerkhof and Hein, 2001). در نمونه‌های مربوط به هر سه زون

سیلیسی، میان‌بارها به شکل‌های کروی، بیضوی، کشیده یا میله‌ای و نامنظم وجود داشت (شکل ۱۲). در نمونه تورمالینی میده، شکل

میان‌بارهای سیال را می‌توان بر اساس اندازه، شکل، رنگ، ضریب شکست و فازهای موجود در دمای اتاق توصیف کرد (Van den

+ فاز جامد (LVS). فاز جامد، هماتیت یا فاز کانی ناشناخته بود. B3 (۳): میان‌بارهای چهار فازی متشکل از مایع آبگین + حباب بخار + هالیت + فاز جامد (LVHaS). این نوع میان‌بار در مقایسه با نوع B2 بسیار کمتر بود.

میان‌بارهای سه فازی و چهار فازی به شکل‌های چند وجهی منظم (شکل بلوری منفی)، نامنظم و کشیده مشاهده می‌شد. هالیت از مورفولوژی و فاز جامد هماتیت از رنگ قرمز تیره آن شناسایی شد. فاز کانی دیگری به همراه فاز نمک در چند میان‌بار مشاهده شد. این فاز تا بیشینه دمای مورد استفاده (نزدیک به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد) همگن نشد. در میان‌بارهای حاوی هالیت، ذوب هالیت بالاتر از دمای ناپدید شدن حباب بخار رخ داد. شوری سیال در این میان‌بارها بر اساس معادله محاسبه شوری سیال فراشباع از هالیت به هنگام به دام افتادن محاسبه شده است (Lecumberri-Sanchez et al., 2012). میان‌بارهای چند فازی تنها در نمونه N.PZ.04 که شامل کوارتز-تورمالین است، مشاهده شد. میان‌بارهای نوع C غنی از بخار هستند.

میکروترمومتری میان‌بارهای سیال

برای دو نمونه Pz-002 و N-Pz.15 از زون سیلیسی میده، دمای همگن شدن و شوری برای میان‌بارهای نوع A که به فاز مایع همگن شدند، به ترتیب بین ۱۴۰ تا ۲۶۳ (میانگین ۱۷۵/۳۰) درجه سانتی‌گراد و ۰/۱۸ تا ۵/۷۱ (میانگین ۱/۹۴) درصد وزنی معادل نمک طعام به دست آمد. میان‌بارهای نوع C اغلب بسیار کوچک (کوچک‌تر از ۵ میکرون) بودند. اندازه‌گیری میکروترمومتری روی آنها انجام نشد. در نمونه کوارتز-تورمالین، N.Pz.04، هر سه نوع میان‌بار A، B و C تشخیص داده شد. دمای همگن شدن برای میان‌بارهای نوع A، ۲۰۲ تا ۲۶۹ (میانگین ۲۳۱) درجه سانتی‌گراد و شوری سیال، ۳/۷۱ تا ۶/۵ (میانگین ۵/۴۳) درصد وزنی معادل نمک طعام به دست آمد. تعداد ۱۰ اندازه‌گیری بر روی میان‌بارهای نوع B انجام شد (جدول ۳).

بلور نگاتیو نیز مشاهده شد. ابعاد میان‌بارها از کمتر از ۴ میکرون تا ۲۰ میکرون بود. میان‌بارهای بزرگ‌تر از ۱۰ میکرون بیشتر در نمونه تورمالینی میده وجود داشت. اندازه‌گیری روی میان‌بارهای بزرگ‌تر از ۴ میکرون انجام شد. میان‌بارهای اولیه و ثانویه، برابر با توصیف رودر (Roedder, 1984) شناسایی شد و اندازه‌گیری تنها روی میان‌بارهای اولیه انجام شد. میان‌بارهای ثانویه، اغلب بسیار ریز (کوچک‌تر از ۵ میکرون) بودند (شکل ۱۲-B). در پتروگرافی میان‌بارهای سیال به پدیده باریک‌شدگی توجه و از داماسنجی این نوع میان‌بارها صرف‌نظر شد. میان‌بارهای سیال بر اساس فازهای موجود و نسبت فازها دسته‌بندی شدند. در نمونه‌های مورد بررسی، دانه‌های کوارتز اغلب بی‌وجه (انهدرال)، نامنظم و ریزدانه هستند. از سوی دیگر، رخداد تجدید تبلور در مقیاس‌های مختلف نیز به پیچیدگی تشخیص میان‌بارها و دسته‌بندی آنها بر اساس اجتماع یا همبندی می‌افزاید.

بر اساس فازهای موجود در دمای اتاق، سه نوع میان‌بار سیال مشاهده شد:

A: میان‌بار دو فازی غنی از مایع، متشکل از مایع آبگین (L) + حباب بخار (V) (شکل ۱۲-A و B). این نوع میان‌بار در همه نمونه‌ها شناخته شد.

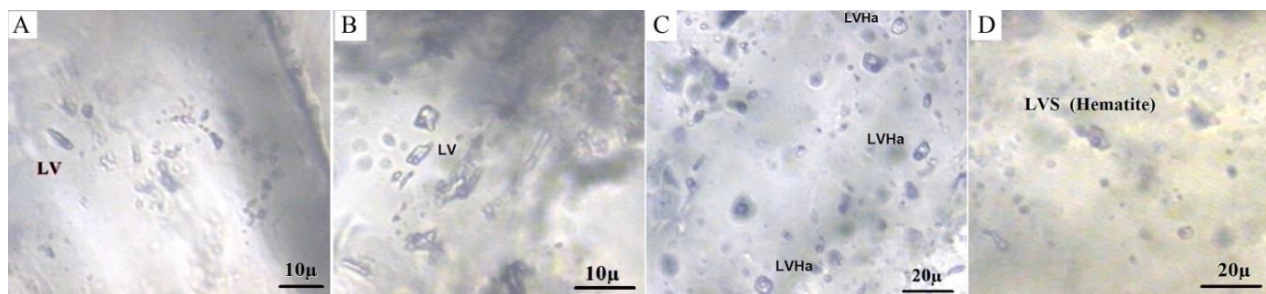
B: میان‌بار چند فازی متشکل از مایع آبگین + حباب بخار \pm هالیت \pm فاز جامد (LVHaS) (شکل ۱۲-C و D). این نوع میان‌بارها فقط در نمونه کوارتز-تورمالینی میده دیده شد.

C: میان‌بارهای غنی از بخار.

در میان‌بارهای نوع A حباب بخار بین ۲۰ تا ۳۰ درصد حجم میان‌بار را فراگرفته است. این میان‌بارها بیشترین فراوانی را داشتند و به شکل‌های نامنظم، کروی، بیضوی و کشیده دیده می‌شدند. در این نوع میان‌بارها، با افزایش دما همگن شدن به فاز مایع رخ می‌داد. میان‌بارهای نوع B در دمای اتاق به سه گروه تقسیم می‌شوند:

(۱) B1: میان‌بارهای سه فازی متشکل از مایع آبگین + حباب بخار + هالیت (LVHa).

(۲) B2: میان‌بارهای سه فازی متشکل از مایع آبگین + حباب بخار



شکل ۱۲. A و B: میان‌بارهای سیال دوفازی حاوی مایع آبگین (L) و حباب بخار (V)، به ترتیب در نمونه Se.05 از سریدون و نمونه SAC-E-02 از شرق سرچشمه، C و D: میان‌بارهای سه‌فازی در نمونه N.PZ.04 از زون سیلیسی میده، به ترتیب شامل LVHa (مایع آبگین + حباب بخار + هالیت) و LVS (مایع آبگین + حباب بخار + فاز جامد)

Fig. 12. A and B: Two-phase, liquid (L) + vapor (V) fluid inclusions in the samples SAC-E-02 from east of Sarcheshmeh and Se.05 from Seridun, respectively, C and D: Polyphase fluid inclusions in the sample N.PZ.04 from Meideh silicic zone consisting of LVHa (liquid+vapor+halite) and LVS (liquid+vapor+solid) inclusions, respectively

جدول ۳. خلاصه داده‌های میکروترموتری برای زون‌های سیلیسی میده (N.PZ.15، NPZ.04، PZ.002)، سریدون (Se-05) و شرق سرچشمه (SAC-E-02)

Table 3. Summary of microthermometric data for Meideh (PZ.002, NPZ.15, NPZ.04), east of Sarcheshmeh (SAC-E-02) and Seridun (Se-05) silicic zones

Sample code (Inclusion type)	Phases present (n)	Homog. T. °C Range (mean)	Salin., wt.% NaCl eq. Range (mean)	Eutectic T. (°C)
PZ.002 (A)	L+V (16)	140-220 (175)	0.18-5.71 (1.94)	-21 to -30
N.PZ.15 (A)	L+V (2)	224-263 (243)	0.35	nd
N.PZ.04 (A)	L+V (14)	202-269 (231)	3.71-7.16 (5.43)	-26 to -31
N.PZ.04 (B1)	L+V+Ha (4)	240-480 (345)	6.7-7.9 (7.3)	-26 to -31°
N.PZ.04 (B2)	L+V+S (5)	202-225 (214.2)	33.4-56.9 (42.77)	—
N.PZ.04 (B3)	L+V+Ha+S (1)	530	64	—
SAC-E-02 (A)	L+V (23)	140-264 (177)	0.7-3.39 (1.57)	-21 to -30
Se-05 (A)	Seridun (10)	195-320 (247)	1.22-4.18 (2.28)	nd

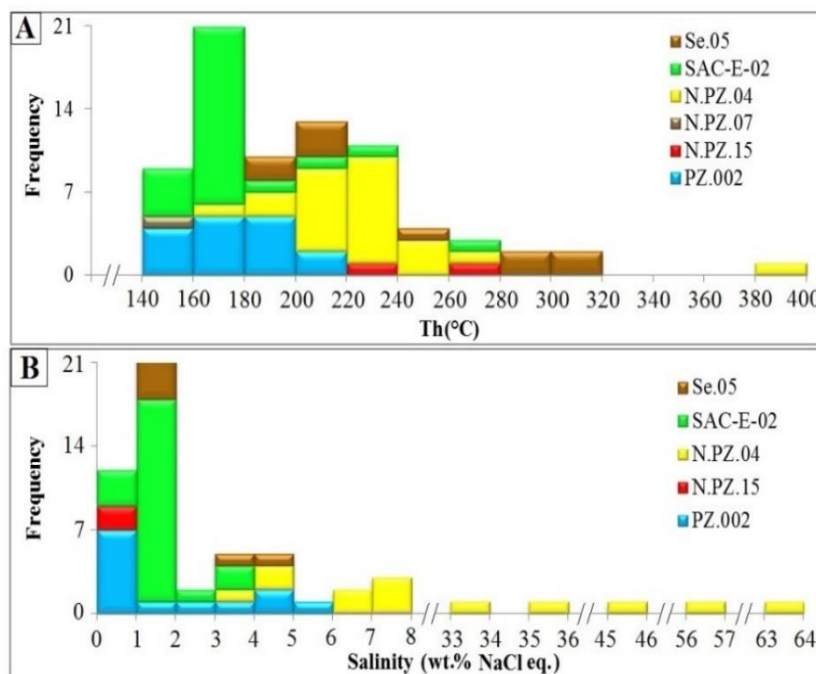
L: liquid; V: vapor; Ha: halite; S: solid phase (unknown); nd= not detected; (n): number of analyses

همگن شدن (بر اساس ناپدیدشدن بخار) بین ۲۰۲ تا ۲۲۵ (میانگین ۲۱۴) درجه سانتی‌گراد به دست آمد. شوری سیال برای دو میان‌بار اندازه‌گیری شد که ۶/۷۴ و ۷/۸۶ درصد وزنی معادل نمک طعام است. برای تنها میان‌بار اندازه‌گیری شده نوع B3، دمای

برای میان‌بارهای نوع B1، دمای همگن شدن نهایی بین ۲۴۰ تا ۴۸۰ (میانگین ۳۴۵) درجه سانتی‌گراد و شوری (بر اساس دمای ذوب هالیت) بین ۳۳/۴۰ تا ۵۶/۹۰ (میانگین ۴۲/۸۰) درصد وزنی معادل نمک طعام محاسبه شد. برای میان‌بارهای نوع B2، دمای

سیال با استفاده از نرم‌افزار HokieFlincs_H2O-NaCl (Steele-MacInnis et al., 2011) و معادله لکومبری سانچز و همکاران (Lecumberri-Sanchez et al., 2012) به دست آمده است که هماهنگی خوبی با هم دارند. شکل ۱۳-B، نمودار هیستوگرام شوری برای نمونه‌های مختلف را نشان می‌دهد. شوری مایع اشباع از حالت در یک دمای خاص، تابع فشار است. با توجه به قانون تعادل فازها، چنانچه فاز بخار وجود نداشته باشد، شوری سیال نامعلوم است. از این رو، روش معمول محاسبه شوری بر اساس ذوب‌هالت درست نیست؛ زیرا حالت در شرایط نبود فاز بخار حل شده است. بیشتر معادله‌هایی که شوری را با دمای انحلال‌هالت پیوند می‌دهند، فقط برای شرایط اشباع از بخار درست هستند (Lecumberri-Sanchez et al., 2012). دمای اوتکتیک برای میان‌بارهای نوع A بین ۲۱- تا ۳۱- به دست آمد (جدول ۲) که نشان می‌دهد مقداری کاتیون دوظرفیتی (کلسیم، منیزیم) نیز در سیال حمل شده است.

همگن شدن و شوری (بر اساس ذوب‌هالت) به ترتیب ۵۳۰ درجه سانتی‌گراد و ۶۴ درصد وزنی معادل نمک طعام به دست آمد. دمای همگن شدن برای میان‌بارهای سیال نوع A در نمونه سریدون، ۱۹۵ تا ۳۲۰ (میانگین ۲۴۷) درجه سانتی‌گراد و شوری سیال بین ۱/۲۲ تا ۴/۱۸ (میانگین ۲/۲۸) درصد وزنی معادل نمک طعام به دست آمد. برای نمونه شرق سرچشمه، دمای همگن شدن بین ۱۴۰ تا ۲۶۴ (میانگین ۱۷۷) درجه سانتی‌گراد و شوری بین ۱/۱ تا ۳/۳۹ (میانگین ۱/۵۷) درصد وزنی معادل نمک طعام به دست آمد. با توجه به هیستوگرام دمای همگن شدن (شکل ۱۳-A)، بیشتر داده‌های سریدون در بازه دمای ۲۰۰ تا ۳۲۰ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۲۴۷ درجه سانتی‌گراد) و بیشتر داده‌های شرق سرچشمه در بازه ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۱۷۶ درجه سانتی‌گراد) قرار می‌گیرد. شوری میان‌بارهای دو فازی، با استفاده از معادله‌ی بودنار (Bodnar, 1993) محاسبه شده است. برای میان‌بارهای حاوی حالت که با ذوب‌هالت همگن شدند، شوری



شکل ۱۳. A و B: به ترتیب هیستوگرام دمای همگن شدن و شوری برای نمونه‌های زون‌های سیلیسی میده، سریدون و شرق سرچشمه

Fig. 13. A and B: Histograms for homogenization temperature and salinity, respectively, for samples from Meideh, Seridun and east of Sarcheshmeh silicic zones

بحث

ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافتی و ساختی

ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافتی و ساختی و ارتباط با سنگ‌های میزبان نشان می‌دهد که زون سیلیسی میده در شمال پاریز محصول دگرسانی سیلیسی پیشرفته سنگ‌های میزبان آتشفشانی است. بافت‌های شاخص در این زون سیلیسی شامل توده‌ای و برشی است؛ به طور محلی بافت حفره‌ای نیز دیده می‌شود. بافت‌های ناشی از پرکردن فضاهای خالی مانند نواربندی و شان‌های فقط به طور محلی در بخش‌های برشی توسعه یافته است. زون سیلیسی به سمت حاشیه به دگرسانی‌های سیلیسی-رسی، رسی و پروپیلیتی می‌رسد.

نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس، نمونه‌های معرف از این زون سیلیسی، همراهی کانی‌های مسکویت، ایلیت، آناز، کلریت، گوتیت و ژاروسیت را نشان می‌دهد که به نظر می‌رسد دو کانی آخر محصول اکسایش پیریت است. آلونیت از کانی‌های شاخص دگرسانی آرژیلیک پیشرفته، در مقاطع میکروسکوپی و در آنالیز پراش پرتو ایکس شناسایی نشد. پیروفیلیت و کائولینیت به عنوان فازهای کانی فرعی تنها در یک نمونه شناخته شد. با توجه به این مجموعه کانی و بافت‌ها، زون سیلیسی میده نشان‌دهنده دگرسانی آرژیلیک پیشرفته نیست.

زون‌های سیلیسی پشته‌ای و رگه‌مانند در سریدون که به سمت حاشیه خود به زون‌های سیلیسی-رسی می‌رسند، با بافت‌های توده‌ای، برشی و حفره‌ای مشخص می‌شوند و محصول دگرسانی سیلیسی فراگیر سنگ‌های آذرین محل هستند. به طور محلی اکسید/هیدروکسید آهن فراوان است و آثار کانی‌سازی مس با رخنمون‌های محدود و پراکنده مالاکیت و اندکی آزوریت دیده می‌شود. بررسی‌های کانی‌شناسی و آنالیز XRD نمونه‌های معرف از زون‌های سیلیسی در سریدون، نشان‌دهنده یک مجموعه کانی‌شناسی شاخص دگرسانی آرژیلیک پیشرفته است (Kazemi Mehria et al., 2011). این پژوهشگران اشاره می‌کنند که دگرسانی آرژیلیک پیشرفته در سریدون، در ترازهای ارتفاعی بالا

دیده می‌شود و به صورت پوششی پیوسته وجود ندارد. نتیجه آنالیز تنها نمونه از سریدون در این پژوهش، حضور آلونیت را نشان می‌دهد؛ اما با توجه به وجود کلسیت در همین نمونه، نمی‌توان در مورد ماهیت آن به آسانی قضاوت کرد. رخداد آلونیت سوپرژن، به ویژه جاهایی که پیریت فراوان است، پدیده‌ای شناخته شده است (Ohmoto and Goldhaber, 1997). در مورد سریدون به نتایج پژوهش کاظمی مهرنیا و همکاران (Kazemi Mehria et al., 2011) استناد می‌شود که نمونه‌های فراوانی را آنالیز کرده‌اند. زون‌های سیلیسی رگه‌مانند در شرق سرچشمه با بافت‌های توده‌ای، برشی و به طور محلی نواری، همراه با کانی‌سازی پراکنده مس مشخص می‌شوند و بیشتر محصول جاننشینی سنگ‌های آذرین میزبان هستند تا پرکردن فضاهای خالی.

دگرسانی پروپیلیتی در اطراف هر سه زون سیلیسی میده، سریدون و شرق سرچشمه مشاهده می‌شود. این دگرسانی که با حضور کانی‌های کلریت، کربنات (به ویژه کلسیت) و به طور محلی اپیدوت مشخص می‌شود، گسترش زیادی در ناحیه پاریز دارد. در زون سیلیسی میده می‌توان مشاهده کرد که به سمت حاشیه، دگرسانی پروپیلیتی در سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی تحت تأثیر دگرسانی‌های رسی و سیلیسی قرار گرفته است که نشانگر رخداد دگرسانی پروپیلیتی پیش از دو دگرسانی دیگر است. دگرسانی پروپیلیتی از دگرسانی‌های متداول در مجموعه‌های آتشفشانی-نفوذی است (Taylor, 1997; Hedenquist et al., 2000; Bove et al., 2004). بووی و همکاران (Bove et al., 2004) دگرسانی گسترده پروپیلیتی در ناحیه انیماس رپور، سن خوان کانتی، کلرادو را به عنوان دگرسانی زمینه یا ناحیه‌ای معرفی می‌کنند و بر نقش آب‌های جوی در این دگرسانی تأکید دارند. این دگرسانی توسط سیال‌هایی با pH متوسط تا بالا با منشأ جوی رخ داده است. اخیاپی و همکاران (Akhiaei et al., 2015) دگرسانی گسترده پروپیلیتی را به عنوان دگرسانی زمینه در بخش میانی کمربند آتشفشانی-نفوذی ترود-چاه شیرین در شمال ایران مرکزی به تصویر کشیده‌اند.

میان‌بارهای سیال

نمونه‌های معرف از زون‌های سیلیسی میده، سریدون و شرق سرچشمه با چیرگی میان‌بارهای سیال دو فازی مایع آبگین-بخار با چیرگی مایع مشخص می‌شوند. میان‌بارهای دو فازی مایع آبگین-بخار با چیرگی بخار اندازه و فراوانی کمتری دارند. با توجه به محیط زمین‌شناسی، ویژگی‌های بافتی-کانی‌شناسی و دمای همگن شدن و داده‌های میان‌بار سیال، هر سه زون را می‌توان در گروه سامانه‌های اپی‌ترمال در نظر گرفت. نمونه‌های کوارتز-تورمالین در زون سیلیسی میده، علاوه بر میان‌بارهای دو فازی حاوی میان‌بارهای چند فازی مایع آبگین-بخار-هالیت-فاز جامد فلزی نیز هستند که با دمای همگن شدن و شوری بسیار بالاتری مشخص می‌شوند.

در بررسی‌های میکروترموتری در سامانه‌های اپی‌ترمال، توجه به این واقعیت مهم است که در بیشتر این سامانه‌ها شواهد تجدید تبلور از سیلیس آمورف و ریزبلور (کالسدونی، اپال و کوارتز ریزبلور) به کوارتز درشت‌بلورتر وجود دارد که ناشی از واکنش سیلیس نسل‌های پیشین با سیال‌های بعدی است؛ از این‌رو میان‌بارهای سیال در این سامانه‌ها الزاماً بیانگر همان سیالی نیست که کانسنگ را تشکیل داده است (Bodnar et al., 1985; Naden et al., 2003; Bodnar et al., 2014; Moncada et al., 2012). بسیاری از میان‌بارهای سیالی که از سامانه‌های اپی‌ترمال گزارش شده‌اند، ثانوی هستند؛ با این حال، با توجه به فرایند طولانی و پیچیده کانی‌سازی تصور می‌شود که این میان‌بارها همچنان می‌توانند به نوعی بیانگر شرایط سیال در زمان کانی‌سازی باشند (Bodnar et al., 2014).

فاز جامد مات در میان‌بارهای سیال نمونه کوارتز-تورمالین در زون سیلیسی میده تا دمای نزدیک به ۶۰۰ درجه به طور کامل ذوب‌نشده که این می‌تواند ناشی از نشر یا پخش باشد که ممکن است از طریق مرز دانه‌ها و نواقص بلوری یا شبکه‌ای رخ دهد. این پدیده در مورد عناصر با شعاع یونی یا مولکولی کوچک مانند H_2 و He مؤثر است و احتمال رخداد آن در کانی‌هایی با ساختار

شبکه‌ای باز و قابلیت پخش یونی بالا مانند کوارتز زیاد است (Wilkinson, 2001). پدیده پخش می‌تواند به خروج بعضی از اجزای سیال و تغییر در ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی آن منجر شود. با توجه به شوری و دمای نسبتاً بالای سیال، احتمال انتقال یون‌های فلزی و تشکیل فازهای کانی با سرد شدن سیال وجود داشته است (Bodnar et al., 2014). از این‌رو، به نظر می‌رسد رخداد نشر پاسخی مناسب برای عدم ذوب فاز جامد مات است.

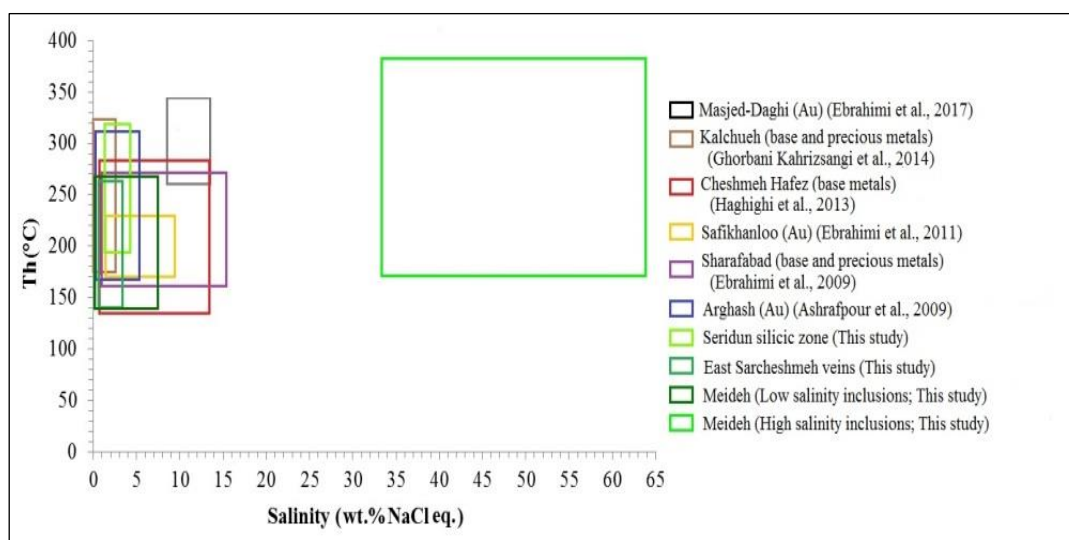
دمای همگن شدن و شوری سیال در نمونه‌های معرف از زون‌های سیلیسی میده، سریدون و شرق سرچشمه و نیز چند ذخیره اپی‌ترمال در شکل ۱۴ نشان‌داده شده است. دمای همگن شدن برای نمونه معرف از سریدون، در مقایسه با زون‌های سیلیسی شرق سرچشمه و میده، به طور واضحی بالاتر است؛ اگرچه شوری سیال به نسبت پایین و قابل مقایسه با دو زون دیگر است (صرف نظر از انباشت‌های کوچک و پراکنده کوارتز-تورمالین در میده). با توجه به رخداد دگرسانی آرژیلیک پیشرفته، دمای همگنی به نسبت بالا و شوری پایین سیال در سریدون، می‌توان سیال را حاصل از چگالش بخارهای اسیدی دانست که ضمن رخداد مکرر جوشش و تفکیک سیال در ترازهای پایین‌تر آزاد شده است. در این حالت، امکان آمیختگی بخارهای داغ اسیدی با آب جوی (زیرزمینی) و اسیدی شدن این آب نیز وجود دارد. این پدیده پاسخ‌گوی دگرسانی آرژیلیک پیشرفته گسترده در سریدون است (Kazemi, 2010; Mehrnia, 2010).

رخداد جوشش در زون سیلیسی میده، با همراهی میان‌بارهای غنی از مایع و غنی از بخار و نیز بافت برشی تأیید می‌شود. جدایش یا تفکیک فاز سیال آب‌گونه به دو فاز مایع و بخار که ضمن جوشش رخ می‌دهد، می‌تواند سبب افزایش شوری در فاز مایع نسبت به سیال اولیه (پیش از جوشش) شود؛ زیرا فاز بخار اغلب فقیر از نمک‌های محلول است (Wilkinson, 2001; Bodnar et al., 2014). دامنه نسبتاً وسیع شوری سیال در نمونه‌های میده (۰/۳۵ تا ۵/۷۱ درصد وزنی معادل نمک طعام) را می‌توان به نسبت‌های

آتشفشانی سنوزوئیک ایران (شکل ۱۴) و جاهای دیگر (Wilkinson, 2001; Bodnar et al., 2014) هم‌پوشانی دارد. شوری بالاتر سیال در ذخایری مانند چشمه‌حافظ و شرف‌آباد می‌تواند هماهنگ با محتوای فلز پایه نسبتاً بالا در این ذخایر در مقایسه با ذخایر زگلیک، صفی خانلو و کالچوه باشد. ذخیره مسجدداغی یک سامانه اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا و هم‌بسته با یک سامانه مس-طلای پورفیری است (Ebrahimi et al., 2017).

متفاوت بخار به مایع نسبت‌داد. علاوه بر جوشش، هم‌آمیزی سیال نیز می‌تواند سبب شوری متغیر سیال شود. رخداد این دو پدیده، در سامانه‌های اپی‌ترمال که در عمق کمی از سطح زمین پدید می‌آیند، متداول است (Hedenquist and Taran, 2013; Bodnar et al., 2014).

دامنه دما و شوری سیال در زون‌های سیلیسی مورد بررسی، به استثنای نمونه کوارتز-تورمالین میده، تا حد زیادی با محدوده‌های دما-شوری در ذخایر اپی‌ترمال شناخته‌شده در سنگ‌های



شکل ۱۴. نمایش محدوده دمای همگن شدن و شوری برای زون‌های سیلیسی میده، شرق سرچشمه و سریدون. داده‌های میان‌بار سیال چند ذخیره اپی‌ترمال از ایران برای مقایسه نشان داده شده است.

Fig. 14. Plots of homogenization temperature and salinity for Meideh, east of Sarcheshmeh, and Seridun silicic zones. Data from several epithermal systems from Iran are shown for comparison.

پروپیلیتییک و آرژیلیک برخی از کانسارهای مس پورفیری گزارش شده است (Ayuso et al., 2010; Bakshieev et al., 2012). تورمالین در ذخایر مس پورفیری به سری oxydravite-povondraite تعلق دارد (Bakshieev et al., 2012). در سنگ کوارتز-تورمالینی زون سیلیسی میده، روتیل نیز وجود دارد. رخداد این کانی در ذخایر گرمایی نشان‌دهنده فوگاسیته اکسیژن نسبتاً بالاست (Sun et al., 2015).

میان‌بارهای سیال در نمونه‌های کوارتز-تورمالین زون سیلیسی میده از نظر فازها، دمای همگن شدن و شوری متفاوت از سایر نمونه‌ها هستند. حضور تورمالین در این زون سیلیسی و شوری نسبتاً بالای سیال که با وجود کانی‌هالیت به عنوان فاز جامد در میان‌بارهای سیال مشخص می‌شود، می‌تواند بیانگر مشارکت یک سیال گرمایی ماگمایی در تشکیل زون‌های کوچک و پراکنده کوارتز-تورمالین باشد. تورمالین از زون‌های دگرسانی فلیک،

نتیجه‌گیری

مقایسه مناطق مورد بررسی با لیتوکپ‌های مرتبط با سامانه‌های پورفیری نشان‌دهنده برخی شباهت‌ها و تفاوت‌هاست. لیتوکپ‌های همراه با سامانه‌های پورفیری با دگرسانی آرژلیک پیشرفته مشخص می‌شوند (Chang et al., 2011; Hedenquist and Taran 2013). این نوع دگرسانی فقط در سریدون رخ داده است که همراهی نزدیکی با یک سامانه مس پورفیری دارد. زون سیلیسی میده ساخت پشته‌ای دارد. در میده، سیلیس بازمانده که با بافت حفره‌ای مشخص می‌شود و گسترش زیادی در لیتوکپ‌ها دارد، دیده نمی‌شود. بافت غالب در زون سیلیسی میده، توده‌ای و برشی است. به نظر می‌رسد که شکستگی‌ها و گسل‌ها به عنوان مجراهای صعود سیال عمل کرده‌اند؛ به این صورت که سیال تا تراز بالا آمده، سپس به طور جانبی در سنگ میزبان آندزیتی پخش شده است. زون سیلیسی میده مانند بسیاری از زون‌های سیلیسی مشابه، محصول ورود سیال‌های اشباع از سیلیس به آب‌های زیرزمینی است. سیلیس مورد نیاز می‌تواند از شست‌وشوی سیلیس در زون‌های دگرسانی اسید-سولفات فراهم شده باشد (Corbett, 2009; Sillitoe, 2015). در تراز رخنمون کنونی چنین دگرسانی دیده نمی‌شود. شست‌وشوی اسیدی ممکن است در ترازهای پایین‌تر رخ داده باشد.

زون سیلیسی میده، در تراز رخنمون کنونی خود، بیانگر یک لیتوکپ مرتبط با سامانه پورفیری نیست؛ اما رخداد محلی کوارتز-تورمالین که از سیال‌هایی با دما و شوری بالا تشکیل شده است، می‌تواند نشان‌دهنده مشارکت یک مؤلفه سیال ماگمایی باشد و این اهمیت زون سیلیسی را به عنوان راهنمای یک زون بارور در عمق

افزایش می‌دهد. ممکن است با افزایش عمق شواهد بیشتری از مشارکت این سیال را شاهد باشیم. با توجه به فازهای مختلف ماگماتیزم در ناحیه پاریز و بالابودن گرادیان حرارتی برای دوره طولانی، رخداد زون‌های محلی با ویژگی‌های سیال متفاوت، مانند آنچه که با رخداد کوارتز-تورمالین در میده معرفی می‌شود، دور از انتظار نیست.

غنی‌شدگی مس، طلا و همین‌طور آرسنیک و بیسموت که ردیاب طلا هستند (شکل ۱۱)، اهمیت اکتشافی این زون را افزایش می‌دهد. روش‌های اکتشاف ژئوفیزیکی برای آگاهی از گسترش قائم این زون، شناسایی ساختارهای تغذیه‌کننده و مناطق سولفیدی احتمالی که ممکن است حاوی کانی‌سازی رگه‌ای باشند و سپس حفاری (در صورت امیدبخش بودن نتایج) اطلاعات بیشتری در اختیار خواهد گذاشت.

قدردانی

از مهندس افروز که محدوده را برای مطالعه پیشنهاد کردند و امکان بازدید اولیه را فراهم ساختند، از مهندس ایمانی از شرکت پارس اولنگ که سامانه رگه‌ای شرق سرچشمه را معرفی کردند و راهنمای بازدید صحرائی بودند، از مهندس آفاجانی از مرکز تحقیقات و کاربرد مواد معدنی که با دقت و شکیبایی، میان‌بارهای سیال را مطالعه کردند و از دکتر اشرف‌پور که داده‌های اکتشافی ناحیه پاریز را در اختیار گذاشتند، قدردانی می‌شود.

این پژوهش با حمایت مالی سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران و اعتبار پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی انجام شده است.

References

- Akhiaei, M., Kharqani, M., Rahimi, M. and Sereshki, F., 2015. Hydrothermal alteration zones in Torud-Chahshirin belt, using various processing techniques of Aster images. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 24(94): 107–116. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.43263>
- Alimohammadi, M., Alirezaei, S. and Kontak, D.J., 2015. Application of ASTER data for exploration of porphyry copper deposits: A case study of Daraloo–Sarmeshk area, southern part of the Kerman copper belt, Iran. *Ore Geology Reviews*, 70(4): 290–304. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.04.010>
- Ashrafpour, E., Alirezaei S. and Ansdell, K.M., 2009. Ore geology and fluid inclusion studies of Arghash gold prospect, southwest Neishabour, NE Iran. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 71(18): 129–136. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22071/gsj.2010.57001>
- Ashrafpour, E. and Haghighi, E., 2012. Report on the geology and mineralization in north Pariz prospecting area, Sirjan, Kerman province. Pariz steel co., Kerman, 85 pp.
- Atapour, H., 2007. Geochemical evolution and metallogeny of potassic igneous rocks in Dehaj-Sardoieh, Kerman Province, with emphasis on specific elements. Unpublished Ph.D. Thesis, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran, 280 pp. (in Persian with English abstract)
- Ayuso, R.A., Barton, M.D., Blakely, R.J., Bodnar, R.J., Dilles, J.H., Gray, Floyd, Graybeal, F.T., Mars, J.C., McPhee, D.K., Seal, R.R., Taylor, R.D. and Vikre, P.G., 2010. In: D.A. John (Editor) *Porphyry copper deposit model: Chapter B in mineral deposit models for resource assessment: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–B*, Denver, 169 pp. <https://doi.org/10.3133/sir20105070B>
- Bakshiev, I.A., Prokof'ev, V.Y., Zarskiy, G.P., Chitalin, A.F., Yapaskurt, V., Nikolaev, Y.N., Tikhomirov, P.L., Nagornaya, E.V., Rogacheva, L.I., Gorelikova, N.V. and Kononov, O.V., 2012. Tourmaline as prospecting guide for the porphyry-style deposits. *European Journal of Mineralogy*, 24(6): 957–979. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2012/0024-2241>
- Bodnar, R.J., 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O–NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57(3): 683–684. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(93\)90378-A](https://doi.org/10.1016/0016-7037(93)90378-A)
- Bodnar, R.J., Lecumberri-Sanchez P., Moncada, D. and Steele-MacInnis M., 2014. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. In: H.D. Holland and K.K. Turekian (Editors), *Treatise on Geochemistry*. Oxford: Elsevier, pp. 119–142. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01105-0>
- Bodnar, R.J., Reynolds, T.J. and Kuehn C.A., 1985. Fluid-inclusion systematics in epithermal systems. In: B.R. Berger and P.M. Bethke (Editors), *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems. Reviews in Economic Geology*, pp. 73–97. <https://doi.org/10.5382/Rev.02.05>
- Bove, D.J., Mast, M.A., Dalton, J.B., Wright, W.G. and Yager, D.B., 2004. Major Styles of Mineralization and Hydrothermal Alteration and Related Solid- and Aqueous-Phase Geochemical Signatures. In: S.E. Church, P. von Guerard and S.E. Finger (Editors), *Integrated Investigations of Environmental Effects of Historical Mining in the Animas River Watershed, San Juan County, Colorado*. U.S. Geological Survey, Professional Paper 1651, pp. 165–230. Retrieved June 05, 2021 from https://pubs.usgs.gov/pp/1651/downloads/Vol1_combinedChapters/vol1_chapE3.pdf
- Cairncross, B. and Bahmann U., 2006. Minerals from the Goboboseb Mountains: Brandberg Region, Namibia. *Rocks & Minerals*, 81(6): 442–457. <https://doi.org/10.3200/RMIN.81.6.442-457>
- Chang, Z., Hedenquist, J.W., White, N.C., Cooke, D.R., Roach, M., Deyell, C.L., Garcia, J., Jr., Gemmill, J.B., McKnight, S. and Cuison, L., 2011. Exploration tools for linked porphyry and epithermal deposits: Example from the Mankayan intrusion-centered Cu-Au district, Luzon, Philippines. *Economic Geology*, 106(8): 1365–1398. <https://doi.org/10.2113/econgeo.106.8.1365>
- Chiu, H.-Y., Chung, S.L., Zarinkoub, M.H., Mohammadi, S.S., Khatib, M.M. and Iizuka, Y., 2013. Zircon U–Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neotethyan

- subduction and Zagros orogeny. *Lithos*, 162–63: 70–87.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.01.006>
- Corbett, G.J., 2009. Anatomy of porphyry-related Au-Cu-Ag-Mo mineralised systems: Some exploration implications. In: K. Camuti and D. Young (Editors) Northern Queensland Exploration and Mining 2009 and North Queensland Seismic and MT Workshop Extended Abstracts. Australian Institute of Geoscientists (AIG) Bulletin 49, pp. 33–46. Retrieved Jan. 12, 2021 from
<https://www.aig.org.au/publication-shop/digital-aig-bulletin-no-49-northern-queensland-exploration-mining-2009/>
- Dimitrijevic, M.D., 1973. Geology of the Kerman region. Geological Survey of Iran, Tehran, Report Yu/52, 334 pp.
- Dimitrijevic, M.D., Dimitrijevic, M.N., Djordjevic, M. and Voluvic, D., 1973. Geological map of Pariz, No. 7149, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Ebrahimi, S., Alirezaei S. and Pan, Y., 2011. Geological setting, alteration, and fluid inclusion characteristics of Zaglic and Safikhanloo epithermal gold prospects, NW Iran. In: A.N., Sial, J.S., Bettencourt, C.P. De Campos and V.P. Ferreira (Editors), Granite-Related Ore Deposits. Geological Society, London, pp. 133–147.
<https://doi.org/10.1144/SP350.8>
- Ebrahimi, S., Alirezaei, S., Pan, Y. and Mohammadi, B., 2017. Geology, mineralogy and ore fluid characteristics of the Masjed Daghi gold bearing veins system, NW Iran. *Journal of Economic Geology*, 9(2): 561–586. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/ECONG.V9I2.51493>
- Ebrahimi, S., Pan, Y., Alirezaei, S. and Mehrparto, M., 2009. Mineralogy and fluid inclusion studies of Sharafabad epithermal gold deposit, northwest Iran. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 71(18): 149–154. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22071/gsj.2010.57004>
- Einali, M., Alirezaei, S., Bakker, R.J. and Mohammadzadeh, Z., 2015. Laser Raman Microspectroscopy of fluid inclusions and evolution of ore fluids in Baghkhoshk porphyry copper system, southern Urumieh- Dokhtar magmatic belt. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 97(25): 21–36. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22071/gsj.2015.41349>
- Farhoudi, G., 1978. A comparison of Zagros geology to island arcs. *The Journal of Geology*, 86(3): 323–334.
<https://doi.org/10.1086/649694>
- Ghorbani Kahrizsangi, M., Alirezaei, S. and Asadi Harooni, H., 2014. Physicochemical characteristics, sulfur isotope ratio, and source of ore fluids in Kalchueh Cu-Au deposit, Central Iran. *Researches in Earth Sciences*, 18(2): 75–96. (in Persian with English abstract) Retrieved Oct. 12, 2020 from
http://esrj.sbu.ac.ir/article_95295.html
- Guilbert, J.M. and Park, C.F. (Translated by Alirezaei S.), 2016. *The Geology of Ore Deposits*, Amirkabir Publisher, Tehran, 983 pp.
- Haghighi, E., Alirezaei, S. and Ashrafpour, E., 2013. Mineralization, alteration, and ore fluid characteristics in the Cheshmeh Hafez base and precious metals deposits, Torud-Chahshirin belt, North-Central Iran. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 88(22): 99–110. (in Persian with English abstract)
<http://dx.doi.org/10.22071/gsj.2013.53682>
- Hassanzadeh, J., 1993. Metallogenic and tectono-magmatic events in the SE Sector of the Cenozoic active continental margin of Iran (Shahr-e-Babak area, Kerman province). Unpublished Ph.D. Thesis, University of California, Los Angeles, U.S.A, 204 pp.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. and Gozales-Urien, E., 2000. Exploration for epithermal gold deposits. In: S.G. Hagemann and P.E. Brown (Editors), *Reviews in Economic Geology*. Society of Economic Geologists, Special Publication 13, Littleton, pp. 245–277.
<https://doi.org/10.5382/Rev.13.07>
- Hedenquist, J.W. and Taran, Y., 2013. Modeling the formation of advanced argillic lithocaps: volcanic vapor condensation above porphyry intrusions. *Economic Geology*, 108(7): 1523–1540.
<https://doi.org/10.2113/econgeo.108.7.1523>
- Hosseini, M.R., Hassanzadeh, J., Alirezaei, S., Sun, W. and Li, C.Y., 2017. Age revision of the Neotethyan arc migration into the southeast Urumieh-Dokhtar belt of Iran: Geochemistry and U–Pb zircon geochronology. *Lithos*, 284–285(1): 296–309.

- <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.03.012>
- Kazemi Mehrnia, A., 2010. Characteristics of the leached cap and evolution of the supergene-enriched blanket in the NW Kerman belt porphyry Cu-Mo deposits. Unpublished Ph.D. thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 310 pp. (in Persian with English abstract)
- Kazemi Mehrnia, A., Rasa, A., Alirezaei, S., Asadi Haroni, H. and Karami, J., 2011. Alteration mapping in Seridun porphyry copper deposit using infrared spectrometry (PIMA), ASTER satellite images and XRD. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 79(20): 3–12. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22071/gsj.2018.54987>
- Lambrecht, G. and Diamond, L.W., 2014. Morphological ripening of fluid inclusions and coupled zone-refining in quartz crystals revealed by cathodoluminescence imaging: Implications for CL-petrography, fluid inclusion analysis and trace-element geothermometry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 141(15): 381–406.
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.06.036>
- Lecumberri-Sanchez, P., Steele-MacInnis, M. and Bodnar, R.J., 2012. A numerical model to estimate trapping conditions of fluid inclusions that homogenize by halite disappearance. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 92(1): 14–22.
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.05.044>
- McInnes, I.A., Evans, N.J., Fu, F.Q. and Garwin, S., 2005. Application of thermochronology to hydrothermal ore deposits. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 58(1): 467–498.
<https://doi.org/10.2138/rmg.2005.58.18>
- Moncada, D., Mutchler, S., Nieto, A., Reynolds, T.J., Rimstidt, J.D. and Bodnar, R.J., 2012. Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag–Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 114: 20–35.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.12.001>
- Naden, J., Kiliyas, S.P., Leng, M.J., Cheliotis, I. and Shepherd, T.J., 2003. Do fluid inclusions preserve $\delta^{18}\text{O}$ values of hydrothermal fluids in epithermal systems over geological time? Evidence from paleo- and modern geothermal systems, Milos Island, Aegean Sea. *Chemical Geology*, 197(1–4): 143–159.
[https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00289-9)
- Nazarinia, A., Mortazavi M., Arvin, M. and Poosti, M., 2019. Thermobarometry of Mamzar granitoid body and its tectonomagmatic implication. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 27(1): 122–134. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.29252/ijcm.27.1.123>
- Noorizadeh, M., Moradian, A., Ahmadipour, H., Ghassemi, M.R. and Santos, J.F., 2018. Petrology, geochemistry and tectonomagmatic evolution of Hezar igneous complex (Rayen-South of Kerman-Iran): the first description of an arc remnant of the Neotethyan subduction zone. *Journal of Sciences Islamic Republic of Iran*, 29(4): 341–359.
<https://doi.org/10.22059/jsciences.2018.67446>
- Ohmoto, H. and Goldhaber, M.B., 1997. Sulfur and Carbon Isotopes. In: H.L. Barnes (Editor), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, John Wiley and Sons, New York, pp. 517–611.
- Ramezani, Z., 1995. The Meideh silicic zone in Meideh area, north Pariz, Kerman: Mineralogy and conditions of formation. Unpublished M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 203 pp. (in Persian with English abstract)
- Roedder, E., 1984. Fluid Inclusions. *Reviews in Mineralogy*, vol. 12, Mineralogical Society of America, 646 pp.
- Shafiei, B., Haschke, M. and Shahabpour, J., 2009. Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran. *Mineralium Deposita*, 44(3): 265–283.
<https://doi.org/10.1007/S00126-008-0216-0>
- Shahabpour, J., 2005. Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24(4): 405–417.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2003.11.007>
- Shahabpour, J., 2015. *Economic Geology*. Shahid Bahonar University Press, Kerman, Iran, 548 pp. (in Persian)
- Sillitoe, R.H., 2010. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105(1): 3–41.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3>
- Sillitoe, R.H., 2015. Epithermal paleosurfaces. *Mineralium Deposita*, 50(7): 767–793.
<https://doi.org/10.1007/s00126-015-0614-z>
- Steele-MacInnis, M., Bodnar, R.J. and Nadan, J., 2011. Numerical model to determine the composition of H₂O–NaCl–CaCl₂ fluid inclusions

- based on microthermometric and microanalytical data, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75(1): 21–40.
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2010.10.002>
- Stöcklin, J., 1974. Possible ancient continental margins in Iran, In: C.A. Burk and C.L. Drake (Editors), *The Geology of Continental Margins*. Springer, Berlin, pp. 837–887.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-01141-6_64
- Sun, W., Huang, R.F., Li, H., Hu, Y., Zhang, C., Sun, S., Zhang, L., Ding, X., Li, C., Zartman, R.E. and Ling, M., 2015. Porphyry deposits and oxidized magmas. *Ore Geology Reviews*, 65(1): 97–131.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.09.004>
- Taghipour, B. and Makizadeh, M.A., 2009. The origin of hydrothermal alterations using stable isotopes in Takestan area (Lower Tarom). *Journal of Economic Geology*, 1(1): 101–115. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/ECONG.V1I1.3683>
- Taylor, H.P., 1997. Oxygen and Hydrogen Isotope Relationships in Hydrothermal Mineral Deposits. In: H.L. Barnes (Editor), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. John Wiley & Sons, New York, NY, pp. 229–302.
- Van den Kerkhof, A.M. and Hein, U.F., 2001. Fluid inclusion petrography. *Lithos*, 55(1–4): 27–47.
[https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00037-2)
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55(1–4): 229–272.
[https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00047-5](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00047-5)