

بررسی میان‌بارهای سیال در رگه‌های کانی‌سازی مس، کانی‌سازی فلوریت-باریت، زون دگرسانی و بررسی شرایط رخداد کانی‌سازی در شمال غرب گناباد، استان خراسان رضوی

صدیقه زیرجانی‌زاده^{1*}، محمدحسن کریم‌پور²، سمیه سمیعی¹ و اعظم انتظاری هر سینی⁴

(1) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران

(2) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(3) گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(4) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

دریافت مقاله: 1396/12/02، پذیرش: 1398/10/18

چکیده

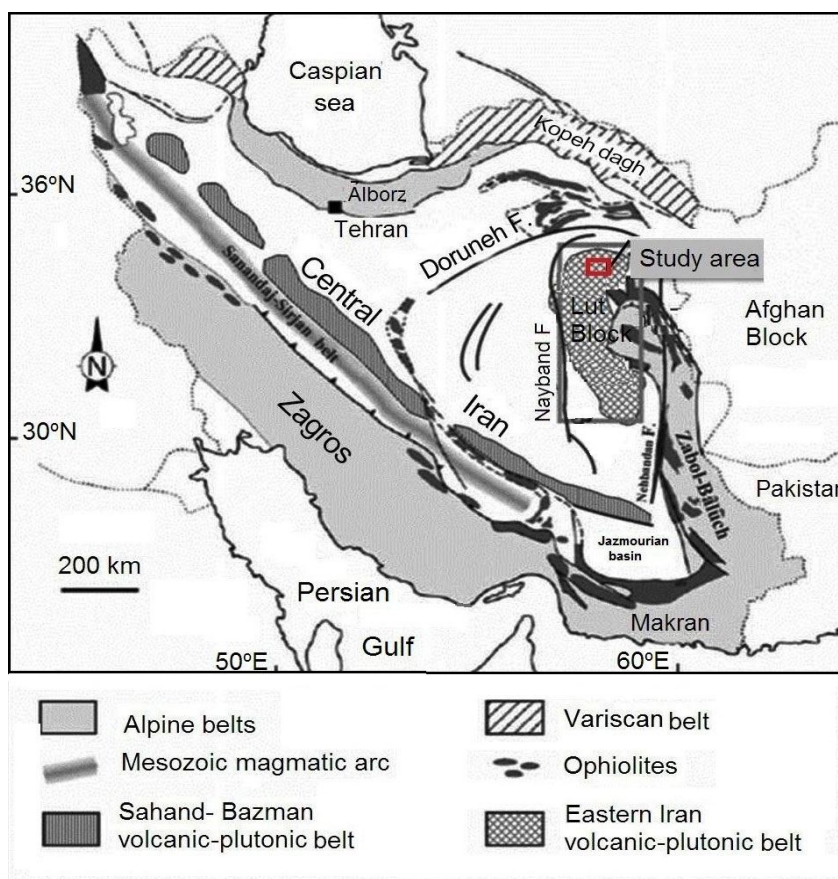
منطقه مورد بررسی در استان خراسان رضوی، شمال غرب گناباد و از نظر ساختاری جزو بلوک لوت محسوب می‌شود. واحدهای سنگی در منطقه شامل سنگ‌های دگرگونی، سنگ‌های آتشفشانی، دایک‌ها و توده‌های نیمه‌عمیق با ترکیب اسیدی-حدواسط و سنگ‌های رسوبی است. زون‌های دگرسانی شناسایی شده شامل سیلیسی، پروپیلیتیک، آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته است. بررسی میان‌بارهای سیال در دو منطقه حاوی کانی‌سازی رگه‌ای مس (کلاته‌نو) و رگه‌های فلوریت-باریت-گالن (جنوب شرقی منطقه مورد بررسی) و دو زون دگرسانی کوارتز-سرسیت-پیریت و آرژیلیک (به ترتیب در محدوده خاک رس کلاته‌نو و کائولن باغ‌سیاه و رخ سفید) انجام شد. دماسنجی در محدوده کانی‌سازی مس کلاته‌نو بر روی کانی کوارتز انجام شد. بر اساس تغییرات دمای همگن شدن و شوری، میان‌بارهای سیال در منطقه مس کلاته‌نو به دو گروه اصلی تفکیک شد. گروه اول شامل میان‌بارهای سیال با دمای همگن شدن 260 تا 300 درجه سانتی‌گراد و میزان شوری بین 1/5 تا 3/23 درصد وزنی معادل نمک طعام است. گروه دوم میان‌بارهای سیال با دمای همگن شدن 193 تا 240 درجه سانتی‌گراد، شوری بین 4/1 تا 5/86 درصد وزنی معادل است. بررسی‌های میان‌بارهای سیال در محدوده کانی‌سازی فلوریت (با بررسی دماسنجی بر روی کانی فلوریت و باریت)، دارای دمای همگن شدن بین 186 تا 326 درجه سانتی‌گراد و شوری کمتر از 7 درصد وزنی نمک طعام است. با بررسی میان‌بارهای سیال بر روی کانی کوارتز در زون دگرسانی کوارتز-سرسیت-پیریت، دو گروه سیال در شکل‌گیری زون دگرسانی شناسایی شدند که شامل سیال با دمای همگنی بین 289 تا 354 درجه سانتی‌گراد، شوری 10/86 تا 10/98 درصد وزنی نمک طعام و سیال با دمای همگن شدن بین 266 تا 337 درجه سانتی‌گراد، شوری 11/7 تا 13/07 درصد وزنی نمک طعام است. زون آرژیلیک دمای همگن شدن بین 186 تا 326 درجه سانتی‌گراد دارد. طیف حرارتی به‌دست آمده از این کانی‌سازی‌ها مشابه سیستم‌های اپی‌ترمال است.

واژه‌های کلیدی: میان‌بارهای سیال، کانی‌سازی، دگرسانی، شمال غرب گناباد، بلوک لوت

مقدمه

مطالعات میان‌بارهای سیال می‌تواند ابزاری مهم برای شناخت شرایط فیزیکوشیمیایی سیال گرمابی مسئول دگرسانی و کانه‌زایی باشد. ویژگی‌های فیزیکی و ترکیب سیالات گرمابی که از بررسی سنگ‌نگاری و ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال به دست می‌آید، شامل دما، فشار (یا عمق)، چگالی و ترکیب محلول‌های اصلی هستند (John et al., 2010). محدوده مورد

بررسی در شمال‌غرب شهرستان گناباد، شمال جاده گناباد-بجستان و در فاصله مختصاتی بین $58^{\circ} 30'$ تا $58^{\circ} 40'$ طول‌های شرقی و $34^{\circ} 25'$ تا $34^{\circ} 30'$ عرض‌های شمالی قرار می‌گیرد. محدوده مورد بررسی از نظر تقسیمات ساختمانی در شمال بلوک لوت واقع شده است (Berberian, 1981; Alavi, 1991) (شکل 1).



شکل 1. موقعیت جغرافیایی منطقه شمال‌غرب گناباد در نقشه زمین‌ساختی ایران (Berberian, 1981; Alavi, 1991)

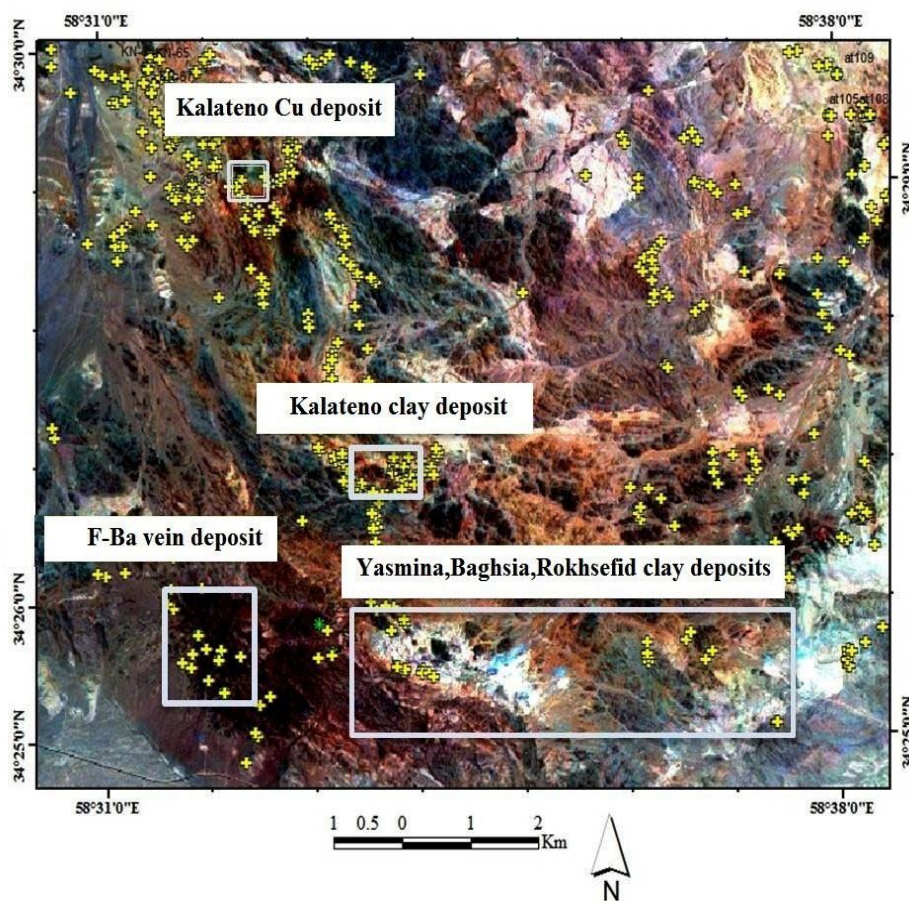
Fig. 1. Location map of the northwest of Gonabad in the tectonic map of Iran (Berberian, 1981 and Alavi, 1991)

شیخ‌آباد) و کانی‌سازی رگه‌ای مس-سرب و روی است (Karimpour et al., 2007; Malekzadeh Shafaroudi, 2009; Moradi et al., 2011; Arjmandzadeh et al., 2011; Karimpour et al., 2011; Karimpour et al., 2012; Richards et al., 2012; Malekzadeh

بلوک لوت مهم‌ترین ایالت فلززایی در شرق ایران است که شامل تنوعی از کانی‌سازی‌های مس (معدن مس-سرب-روی - نقره قلعه‌زری بیرجند) و مس-طلای پورفیری (محدوده اکتشافی شادان و ماهرآباد)، طلای اپی‌ترمال (محدوده اکتشافی هیرد و

شمال غرب گناباد منطقه‌ای غنی از لحاظ خاک رس کائولینیتی است. در این پژوهش، ضمن بررسی زمین‌شناسی، دگرسانی و کان‌سازی، ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال، تعیین ویژگی‌های سیال یا سیالات گرمابی کانه‌دار و شرایط فیزیکوشیمیایی نهشت کان‌ها در رگه‌های حاوی کان‌سازی مس، فلوریت-باریت و همچنین زون‌های دگرسانی آرژلیک و کوارتز-سریسیت-پیریت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

Shafaroudi et al., 2013; Najafi et al., 2014; Malekzadeh Shafaroudi et al., 2015; Samiee and Zirjanizadeh, 2019; Samiee et al., 2020). شمال غرب گناباد، رخنمون قابل توجهی از فعالیت‌های آتشفشانی ترشیری با ترکیب کلی حدواسط به‌همراه نهشته‌های آذرآواری مشاهده می‌شود. حضور کان‌سازی‌های رگه‌ای نوع سرب-روی (در محدوده کان‌سازی فلورین جویمند) در نتیجه نفوذ دایک‌های متعدد، مس (کلاته نو) و کئولن (رخ سفید، باغ‌سیاه، یاسمینا و کلاته‌نو) در این منطقه حائز اهمیت است (شکل 2).



شکل 2. موقعیت مناطق مورد بررسی بر روی تصویر پردازش شده لندست 7 در شمال غرب گناباد
Fig. 2. Location of study areas on processed landsat7 image in the northwest of Gonbad

شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک است. این مجموعه تحت‌تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای اواسط ژوراسیک، در حد رخساره شیست

زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی
 قدیمی‌ترین واحد که در منطقه شمال غرب گناباد رخنمون دارد،

سبز قرار گرفته و موجب تشکیل اسلیت و کوارتزیت شده است. سنگ‌های آتشفشانی بخش بزرگی از زمین‌شناسی محدوده را به خود اختصاص داده‌اند و ترکیب بیشتر آنها آندزیت، تراکی آندزیت، ریولیت، داسیت، ریوداسیت، توف سنگی و انواع توف با ترکیب اسیدی تا بازیک است. این سنگ‌ها با شدت‌های مختلف دگرسان شده‌اند (شکل‌های 3 و 4). توده‌های نیمه‌عمیق طیفی از مونزوگرنایت پورفیری تا دیوریت پورفیری (56 تا 58 میلیون سال (Zirjanizadeh, 2015)) را شامل می‌شود و به صورت استوک و دایک رخنمون دارند (شکل‌های 4 و 5). گسل‌های اصلی در منطقه از نوع امتدادلغز است. سنگ‌نگاری واحدهای آتشفشانی به شرح زیر است:

بلور، توف سنگی - بلورین: بررسی توف‌ها نشان می‌دهد که ترکیب آنها در جنوب منطقه ریولیتی-ریوداسیتی بوده و قسمت عمده آنها توف بلورین است. ترکیب توف‌ها در مرکز به سمت شمال ناحیه آندزیتی است (شکل 4). در قسمت شمال‌شرقی منطقه، توف سنگی-بلورین نیز دیده می‌شود. قطعات سنگ یا بلور کربناتی و آرژیلیکی شده و در زمینه کاملاً سیلیسی-آرژیلیکی قرار دارند. قطعات سنگی (با ابعاد حداکثر 4mm)، 20 درصد سنگ را تشکیل می‌دهند.

آندزیت-تراکی آندزیت: بافت این واحدها پورفیری، گلومروپورفیری و میکروولیت پورفیری است. درشت‌بلورها شامل پلاژیوکلاز تا 25 درصد (به ابعاد 0/1mm)، هورنبلند با حاشیه اکسید آهنی شده 5 درصد (به ابعاد 0/6mm) و آلکالی فلدسپات سرسیتی شده، سانیدین، تا 1 درصد، دیده می‌شود (شکل 3-A و B). زمینه شامل میکروولیت‌های پلاژیوکلاز 30 تا 35 درصد و کانی‌های کدر 10 تا 15 درصد است. کربنات کلسیم هم داخل پلاژیوکلاز و هم در زمینه تا 25 درصد دیده می‌شود. کلریت به صورت پراکنده کمتر از 3 درصد دیده می‌شود.

تراکیت: ویژگی این واحد، وجود بافت تراکیتی آن است (شکل 3-C). میکروولیت‌های پلاژیوکلاز نوع سانیدین تا 90 درصد سنگ را شامل می‌شوند. هورنبلند با حاشیه سوخته که

قالب آنها توسط کربنات کلسیم پر شده بین 3 تا 5 درصد (به ابعاد 0/3mm) دیده می‌شود؛ ضمن اینکه کوارتز کمتر از 1 درصد قابل مشاهده است. در این توده کربنات کلسیم به صورت رگچه‌های بسیار ظریف (به ابعاد کمتر از 0/1mm) و در زمینه تا 2 درصد دیده می‌شود.

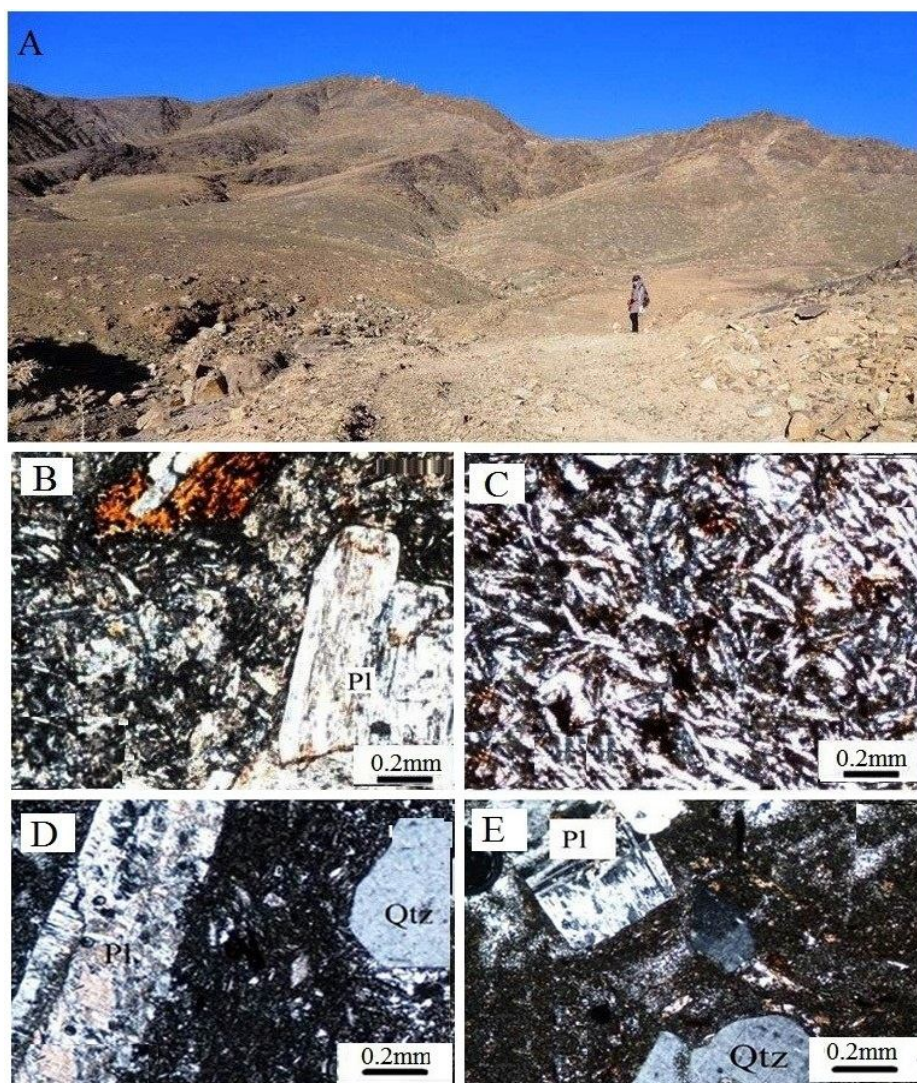
ریولیت-ریوداسیت: بافت غالب ریولیت‌ها، پورفیری و همچنین بافت غربالی اطراف بعضی از بلورهای کوارتز و فلدسپات است (شکل 3-D و E). درشت‌بلورهای موجود شامل 2 کوارتز خلیجی 3 تا 5 درصد (0/0-4/2mm) آلکالی فلدسپات نوع سانیدین 15 تا 20 درصد (0/2-1mm)، پلاژیوکلاز 10 درصد (0/2-1/2mm) است. همچنین بیوتیت که اکسید آهنی شده و کانی‌های کدر نیز به صورت درشت‌بلور حضور دارند. در ریولیت‌های شرق و شمال‌غرب منطقه تا 30 درصد کانی‌های اوپیک (پیریت) دیده می‌شود. زمینه در این سنگ‌ها دانه‌ریز و در برخی قسمت‌ها به شدت سیلیسی شده است. بافت گلومروپورفیری بافت اصلی ریوداسیت‌های منطقه مورد بررسی است. درشت‌بلورها شامل بلورهای کوارتز 2 تا 3 درصد (در ابعاد 0/1-0/5mm)، پلاژیوکلاز 7 تا 10 درصد (در ابعاد 0/2-0/8mm)، بیوتیت 1 درصد و هورنبلند 5 درصد است. قسمت عمده سانیدین آلتزه شده و تا 15 درصد به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند.

کانی‌سازی

در منطقه مورد بررسی کانی‌سازی به شکل‌های رگه‌ای، رگچه‌ای و پراکنده (شکل 3-A، B و C) دیده می‌شود. کانی‌سازی رگه‌ای-رگچه‌ای در بخش‌های جنوب‌غرب و شمال‌غرب منطقه مورد بررسی دیده می‌شود. کانه‌زایی نوع رگه‌ای جنوب‌غرب منطقه، شامل رگه‌های فلوریت-باریت و باریت-گالن در سنگ میزبان دگرگون‌شده سازند شمشک است (شکل 6-A). راستای این رگه‌ها شمالی-جنوبی و شمال‌شرق-جنوب‌غرب، با شیب 85 درجه تا قائم و ضخامت رگه‌ها از کمتر از یک متر تا یک و نیم متر متغیر است.

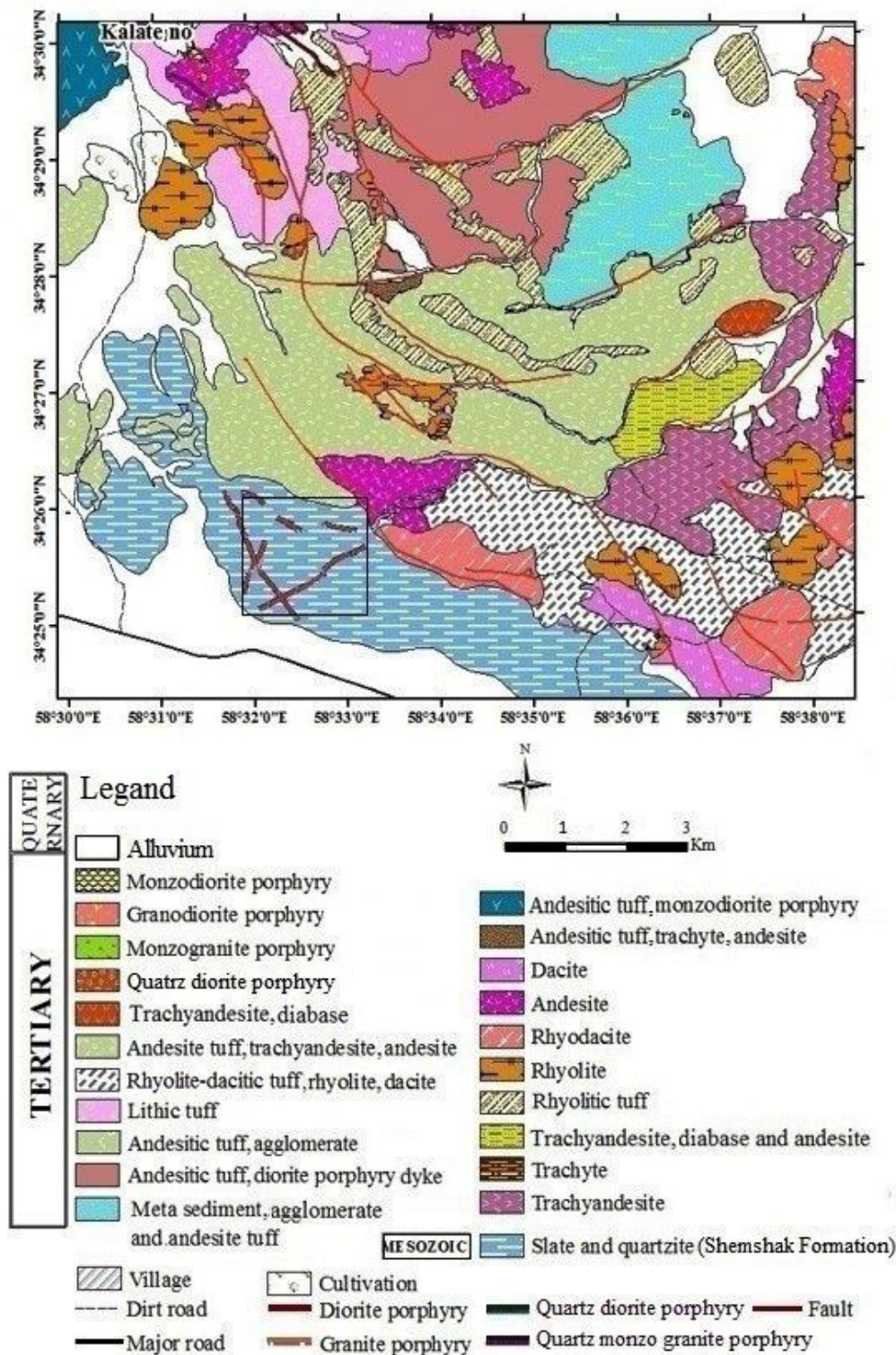
مس (کریزوکولا) در این رگه‌ها دیده می‌شوند. با توجه به شواهد صحرایی و بررسی‌های آزمایشگاهی، توالی پاراژنتیک فلوریت در شکل 7 نشان‌داده شده است.

کانی‌های سولفیدی که در سطح دیده می‌شوند، شامل گالن و به مقدار خیلی کم از کالکوپیریت تشکیل شده است. کان‌های ثانویه در حجم کمتر شامل کربنات مس (مالاکیت) و سیلیکات



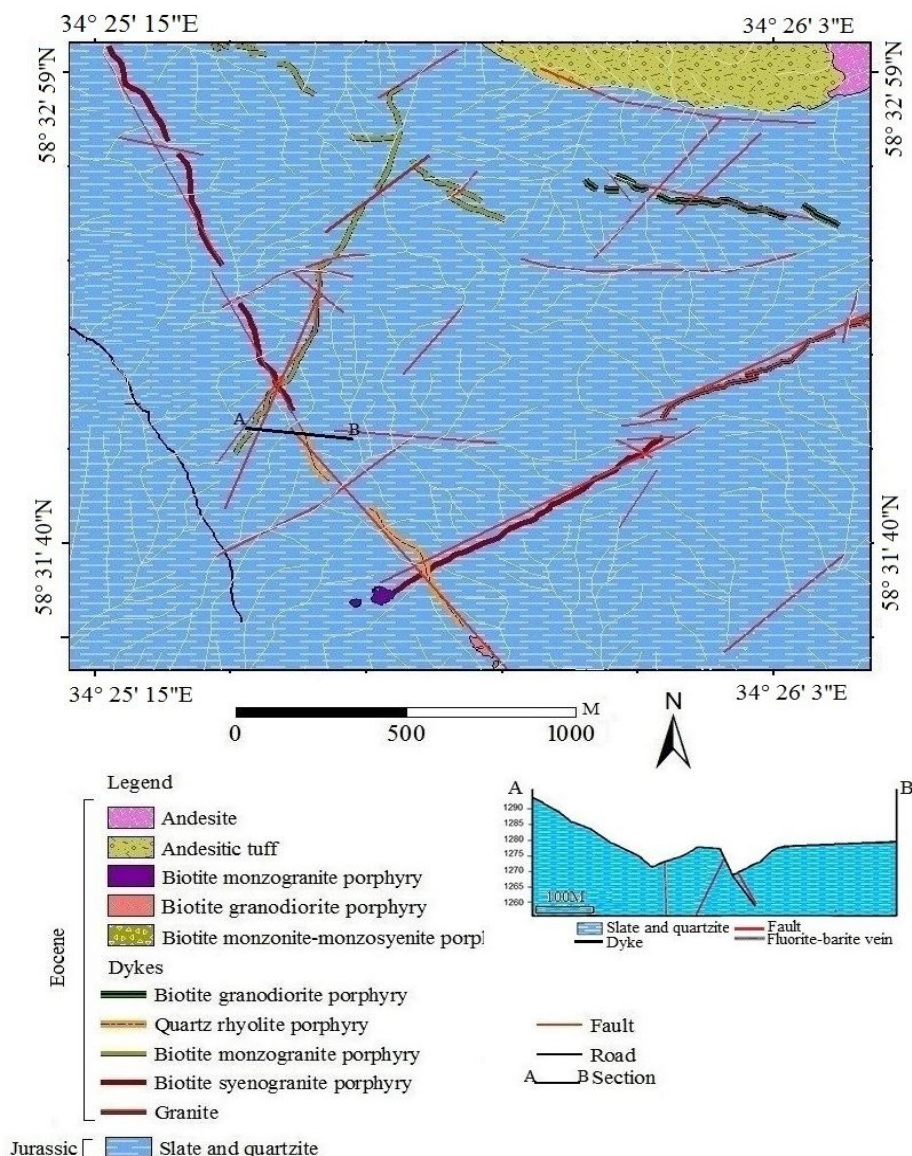
شکل 3. A: نمایی از رخنمون واحد آندزیتی در شمال غرب گناباد، دید به سمت شمال شرق. تصاویر پتروگرافی از واحدهای آتشفشانی، B: درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و بیوتیت در زمینه واحد آندزیت، C: بلورهای سانیدین و بافت تراکیتی در واحد تراکیت، D: بلورهای کوارتز و فلدسپات در واحد ریولیتی و E: درشت‌بلورهای کوارتز و پلاژیوکلاز و بافت گلوبروپورفیری در ریوداسیت. تمامی تصاویر در XPL، علائم اختصاری کان‌ها از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Pl: پلاژیوکلاز، Qtz: کوارتز).

Fig. 3. A: View of andesitic unit outcrops in the northwest of Gonabad, look toward northeast. Petrographic images from extrusive exposed, B: Coarse grains of biotite and plagioclase within groundmass of andesite unit, C: Sanidine crystals and trachytic texture in trachyte, D: Quartz and feldspar crystals in rhyolite, and E: Crystals of quartz and plagioclase, and glomerophytic texture in rhyodacite. All pictures in XPL, Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Pl: Plagioclase, Qtz: Quartz).



شکل 4. نقشه زمین‌شناسی شمال‌غرب گناباد (مستطیل موقعیت محدوده کانی‌سازی فلوریت را نشان می‌دهد)

Fig. 4. Geological map of the northwest of Gonabad (The rectangle shows the position of the fluorite mineralization)



شکل 5. نقشه زمین‌شناسی محدوده کانی‌زایی فلوریت جویمند در شمال غرب گناباد

Fig. 5. Geological map of the Jumand fluorite mine in the northwest of Gonabad

می‌توان به رگه‌های کوارتز + کربنات‌های مس-هماتیت-اکسیدهای آهن، رگه-رگچه‌های کوارتز-پیریت-گوتیت (شکل 8-A و B)، رگه-رگچه‌های کوارتز+اکسید آهن و رگه‌های کوارتز بدون کانی‌سازی اشاره کرد. بخش بیشتر کانی‌های سولفیدی در سطح اکسید شده‌اند و در برخی بخش‌ها تا 20 درصد اکسید آهن ثانویه دیده می‌شود (شکل 6-6).

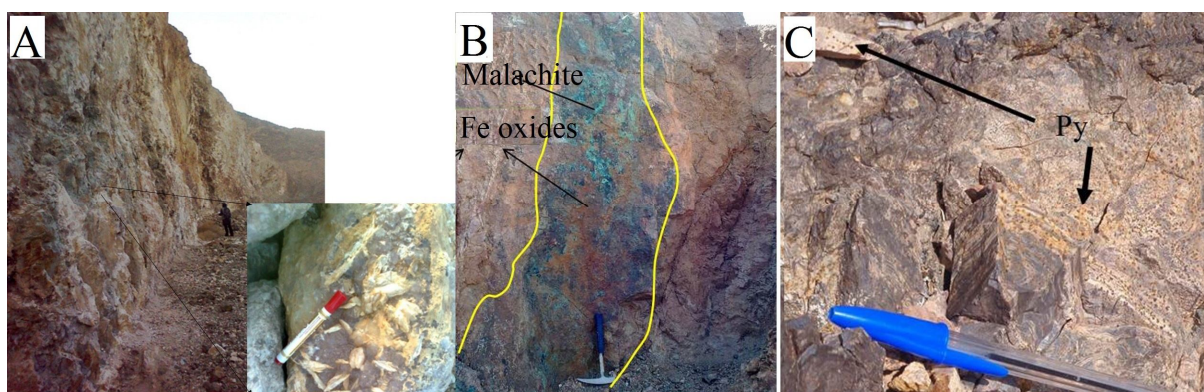
در شمال غرب منطقه مورد بررسی (مس کلاته‌نو)، کانی‌سازی مس و پیریت مرتبط با توده‌های نیمه عمیق به صورت رگه-رگچه رخ داده است. کانی‌سازی مس درون واحد آذرآواری به صورت رگه‌ای با راستای شمال غرب-جنوب شرق و با گسترش 200 متری دیده می‌شود. ضخامت رگه اصلی به بیش از 40 سانتی متر می‌رسد (شکل 6-B). از مهم‌ترین رگه و رگچه‌ها

ریولیت و توف بلورین ریولیتی رخ داده است. در این واحدها، غالب‌های پیریت به‌خوبی در نمونه‌های دستی قابل مشاهده است (شکل 6-C). پیریت در سطح به اکسیدهای آهن تبدیل شده است.

بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی و شواهد صحرایی توالی همیافت در رگه حاوی کانی‌سازی مس کلاته‌نو در شکل 9 ترسیم شده است.

(B). بنا بر شواهد صحرایی، دگرسانی سیلیسی، به‌صورت رگه‌ای و پراکنده، و پروپیلیتیک عمده‌ترین دگرسانی اطراف رگه‌هاست.

کانی‌سازی پراکنده در شمال غرب منطقه گسترش یافته است. کانی‌زایی پیریت، به‌صورت افشان، در متن سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری، در قسمت عمده‌ای از محدوده اکتشافی مس کلاته‌نو دیده می‌شود. کانی‌سازی پراکنده در واحدهای



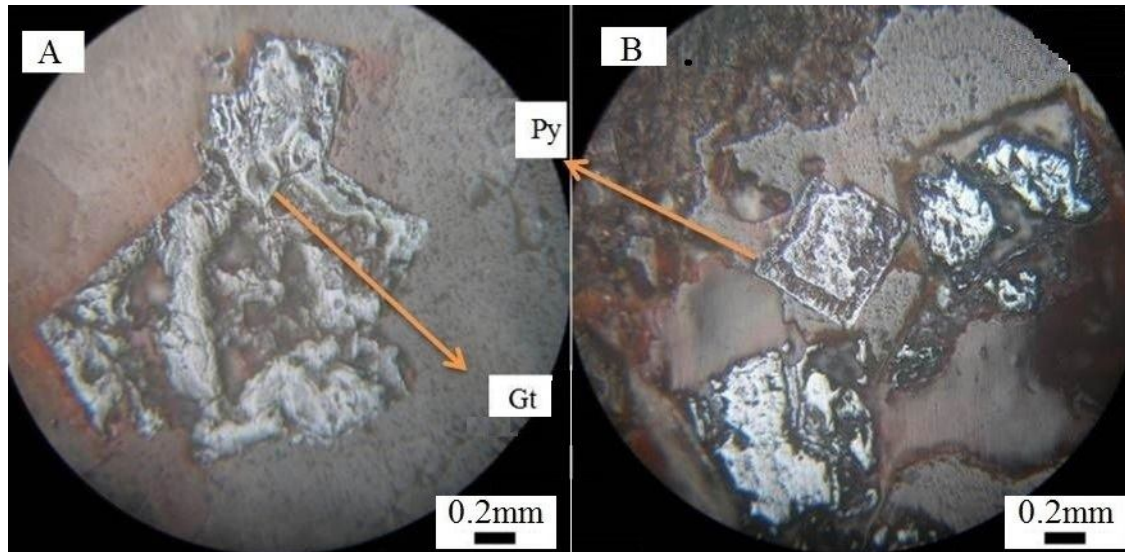
شکل 6. A: رگه حاوی فلوریت-باریت، B: رگه حاوی کانی‌سازی مس و اکسیدهای آهن و C: کانی‌سازی پیریت پراکنده در واحد ریولیتی در شمال غرب گناباد. علامت اختصاری کانی از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (pyrite: Py).

Fig. 6. A: Vein contains fluorite – barite; B: Vein contains copper mineralization and iron oxides; C: Dissiminated mineralization of pyrite in rhyolite unite in the northwest of Gonabad. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Py: pyrite)

Minerals	Mineralization		Weathering
	Early	Late	
Quartz	[Horizontal bar]		
Barite	[Horizontal bar]		
Flourite	[Horizontal bar]		
Calcite	[Horizontal bar]		
Pyrite	[Horizontal bar]		
Chalcopryrite	[Horizontal bar]		
Galena	[Horizontal bar]		
Chalcosite			[Horizontal bar]
Covellite			[Horizontal bar]
Clay minerals			[Horizontal bar]
Fe and Mn oxides			[Horizontal bar]
Malachite			[Horizontal bar]
Chrysocolla			[Horizontal bar]
Zn- carbonates and sulfates			[Horizontal bar]

شکل 7. توالی پاراژنتیک کانی‌سازی در کانسار فلوریت جویمند، شمال غرب گناباد

Fig. 7. Paragenetic sequence of mineralization at Jumand fluorite ore deposit in the northeast Gonabad



شکل 8. A: کانی‌سازی پیریت در رگه کوارتز+پیریت+گویتیت و B: تبدیل پیریت به گویتیت در منطقه شمال غرب گناباد. علائم اختصاری کانی از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Py: پیریت; Gt: گویتیت).

Fig. 8. A: Pyrite mineralization at quartz + pyrite + goethite vein and B: pyrite altered to goethite in the northwest of Gonabad. Abbreviations are after Whitney and Evans (2010) (Gt: goethite; Py: pyrite).

Minerals	Mineralization	Weathering
Quartz	●	
Pyrite	●	
Fe and Mn oxides		●
Malachite		●

شکل 9. توالی پاراژنتیک کانی‌سازی در رگه کانی‌سازی مس کلاته‌نو در شمال غرب گناباد

Fig. 9. Paragenetic sequence of mineralization at Copper vein in Kalateno deposit in the northwest of Gonabad

دگرسانی آرژیلیک

این دگرسانی در مرکز و شمال و اغلب در جنوب منطقه مورد بررسی قابل مشاهده است و اغلب واحدهای داسیتی، ریولیتی و ریوداسیتی و توف‌ها را تحت تأثیر قرار داده است (شکل 11). بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که گسل‌ها در گسترش این زون نقش داشته‌اند. بر اساس بررسی‌های ایزوتوپ اکسیژن، دگرسانی آرژیلیک تحت تأثیر محلول‌های ماگمایی تشکیل شده

دگرسانی

در این منطقه چهار نوع دگرسانی اصلی در سطح شناسایی شده است که عبارتند از: 1- پروپلیتیک، 2- آرژیلیک، 3- کوارتز-سریسیت-پیریت و 4- سیلیسی. این چهار نوع دگرسانی بر اساس فراوانی کانی‌های حاصله به چند زیر زون تفکیک شده‌اند (شکل 10 و 11).

آرژیلیک) دیده می‌شود.

دگرسانی پروپلیتیک

دگرسانی پروپلیتیک، با شدت‌های متفاوت، واحدهای آندزیتی و آذرآواری را تحت‌تأثیر قراردادده و در صحرا به رنگ سبز مشهود است. کانی‌های اصلی این زون شامل کلریت، اپیدوت، کلسیت، کوارتز (شکل C-10) و مقادیری سربیسیت است. کلریت به حالت جانشینی در کانی‌های مافیک (اغلب هورنبلند و بیوتیت)، به صورت پراکنده در متن دیده می‌شود. کانی‌های مافیک از 20 تا بیش از 80 درصد به کلریت، کلسیت و اپیدوت تبدیل شده‌اند. در مناطق با شدت دگرسانی پروپلیتیک شدیدتر، اپیدوت به صورت رگه، رگچه و درشت‌بلور دیده می‌شود (شکل D-10).

روش مطالعه

بررسی‌های سنگ‌نگاری و ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال پس از انجام بررسی‌های کانی‌شناسی و تعیین موقعیت کانی‌ها در توالی پاراژنتیک کانسارها انجام شد. برای این منظور، تعداد 10 مقطع دوبرصیقل با ضخامت 150 تا 200 میکرون از کانی‌های فلوریت، کوارتز و باریت تهیه شد. طی این بررسی‌ها، حدود 126 میان‌بار (36 میان‌بار سیال در کانی باریت (رگه‌های فلوریت-باریت (کانی‌سازی فلزی)، 44 میان‌بار سیال در کانی کوارتز (رگه‌های کوارتز همراه با کانی‌سازی مس)، 22 میان‌بار سیال در کانی فلوریت (رگه‌های فلوریت-باریت-کانی‌سازی فلزی) و 24 میان‌بار سیال در کانی کوارتز (زون‌های دگرسانی) مورد آزمایش ریزدماسنجی قرار گرفت. بررسی میان‌بارهای سیال با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان نور عبوری المپیوس و سامانه سرمایش-گرمایش لینکام مدل THM600 با کنترل‌کننده حرارتی TMS94 و سردکننده LNP، با استفاده از استاندارد (Roedder, 1984, 1992) در گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. گستره تغییرات دمایی در این دستگاه بین 190- تا 600+ درجه سانتی‌گراد است و دستگاه توسط میان‌بارهای سنتز شده در دماهای 56/6- درجه سانتی‌گراد، صفر

است که منشأ این محلول‌ها دایک‌های گرانیتی رخنمون‌یافته درون سازند شمشک است (Zirjanizadeh, 2015). این دگرسانی‌ها در زیر کلاهک سیلیسی رخ داده و بنابراین با ظاهری خشن و تیره قابل‌شناسایی است؛ مگر در محل برداشت کائولن که باعث پدیداری آن در سطح زمین شده است و محدوده دگرسانی به صورت خاک نرم و به رنگ سفید و گاهی زرد در نتیجه اکسیداسیون سولفیدها دیده می‌شود. در مناطق با شدت کمتر تنها قالبی از پلاژیوکلاز و فلدسپارهای پتاسیم دیده می‌شود که به کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند (شکل A-10).

دگرسانی کوارتز-سربیسیت-پیریت

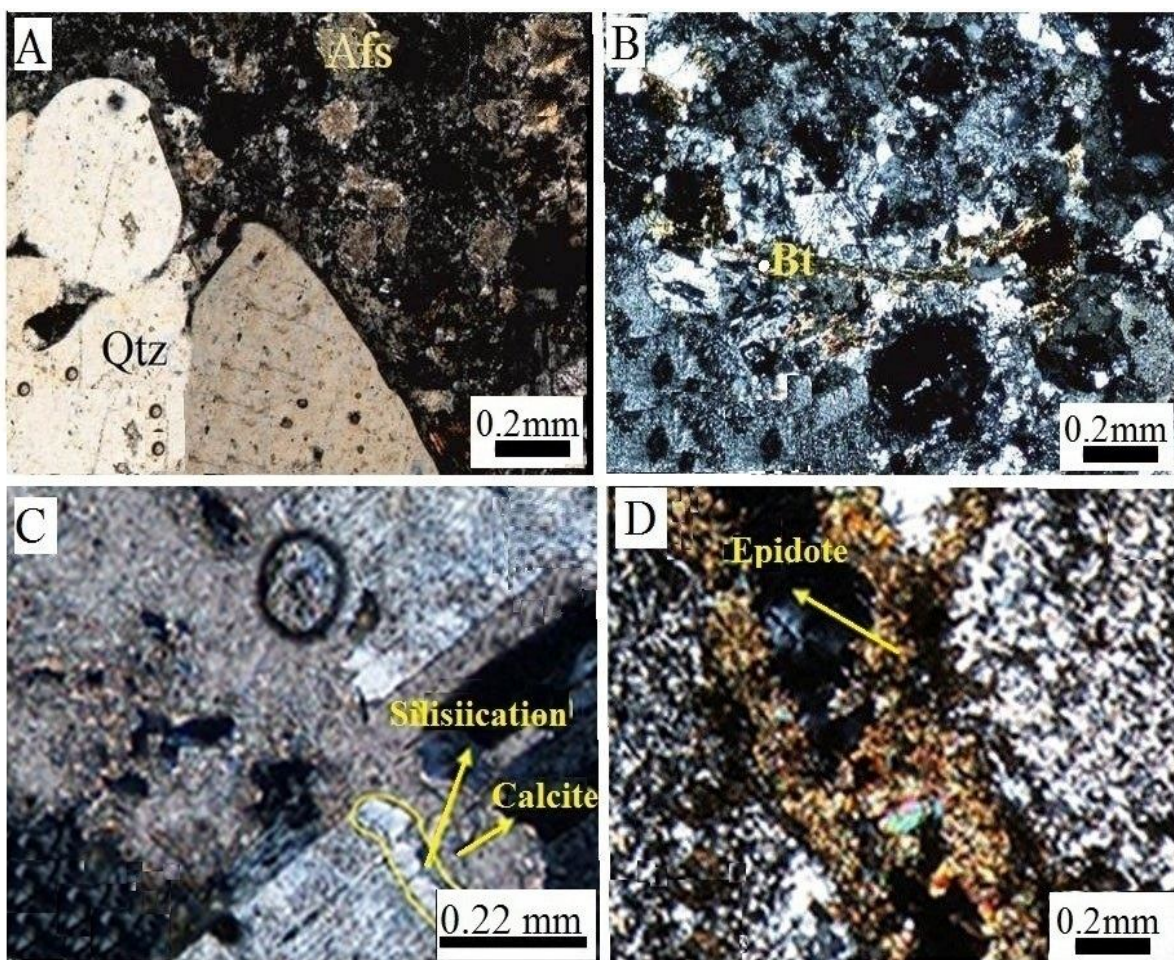
زون کوارتز-سربیسیت-پیریت، با رخنمون کوچکی در مرکز محدوده (حدود 200 متر) و به رنگ سفید تا سبز کم‌رنگ و گاهی قهوه‌ای (به علت اکسید شدن کانی‌های سولفیدی و اکسیدی) مشخص می‌شود. این دگرسانی واحد مونوزودیوریت-پورفیری را تحت‌تأثیر خود قراردادده است. این زون در سطح توسط آرژیلیک سوپرژن پوشیده می‌شود و از عمق 7 تا 8 متری به بعد نمایان می‌شود. کانی‌های شاخص این زون کوارتز، سربیسیت و پیریت و کانی‌های رسی است. کوارتز، مهم‌ترین کانی این دگرسانی، در متن سنگ و همچنین به صورت رگچه مشاهده می‌شود و مقدار آن بین 20 تا 30 درصد است. فلدسپات‌های پتاسیم و پلاژیوکلازها به سربیسیت و کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند (شکل B-10).

دگرسانی سیلیسی

حضور سیلیس به صورت اپال، ژاسپروئید و همچنین بلوری تقریباً تمام منطقه را پوشش می‌دهد؛ ولی شدت آن در جنوب منطقه مورد بررسی بیشتر است. این زون، واحدهای سنگی توف، داسیت، ریوداسیت، دایک‌های اسیدی، توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق و همچنین واحدهای آتشفشانی اسیدی-حدواسط (واحد ریولیتی شمال غرب منطقه) را تحت‌تأثیر قراردادده است. سیلیسی شدن بر حسب شدت و شکل آن به حالت رگه‌ای، پراکنده در زمینه و کلاهک سیلیسی (بخش بالایی دگرسانی

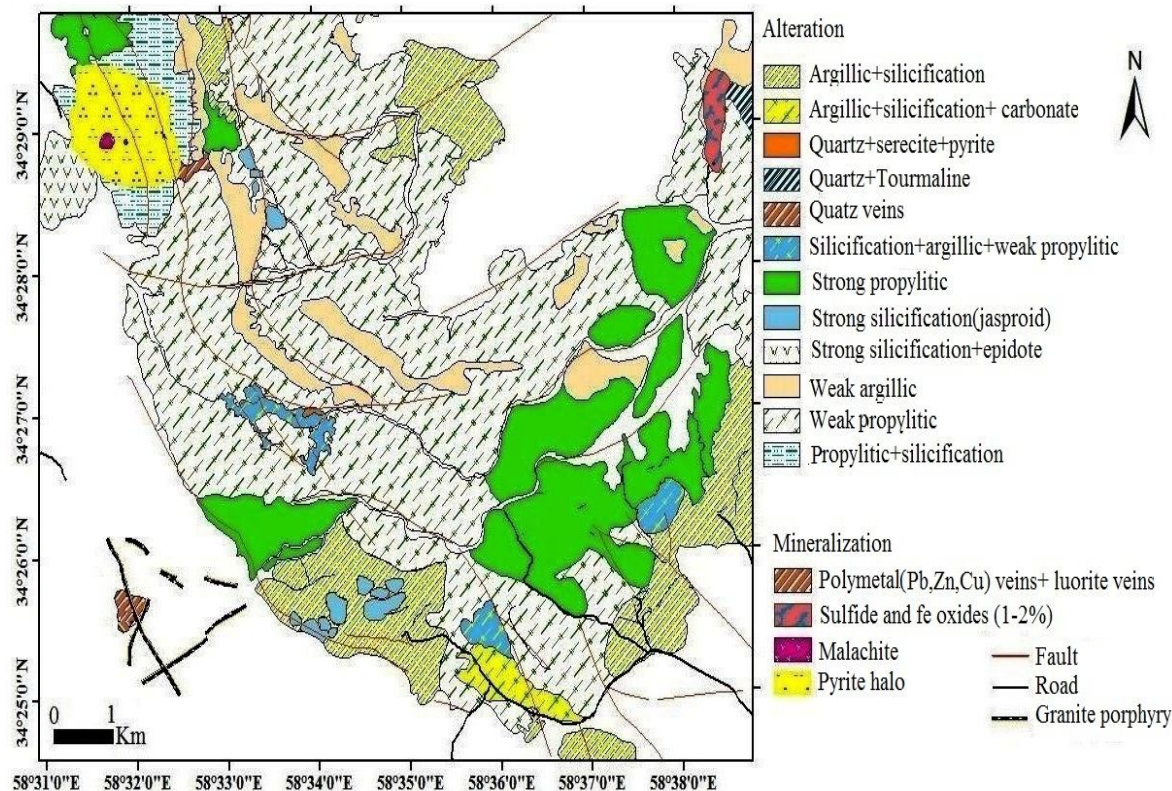
سانتی‌گراد در دقیقه متغیر بود. شوری سیالات به دام افتاده در میان‌بارهای سیال بر اساس دمای نهایی ذوب یخ (Tm-ice) و معادله بودنار (Bodanar, 1993) محاسبه شد. محاسبه چگالی با استفاده از نرم‌افزار فلینکور (Brown and Lamb, 1989) انجام شد.

درجه سانتی‌گراد و $+374/1$ درجه سانتی‌گراد کالیبره شد. دقت اندازه‌گیری طی عملیات سرمایش در حدود $\pm 0/2$ درجه سانتی‌گراد و طی عملیات گرمایش حدود ± 2 درجه سانتی‌گراد و ± 4 درجه سانتی‌گراد در بالای 350 درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. سرعت عملیات سرمایش بین 2 تا 3 درجه سانتی‌گراد در دقیقه و سرعت عملیات گرمایش بین 5 تا 8 درجه



شکل 10. A: دگرسانی آرژیلیک، تبدیل آلکالی‌فلدسپارها به کانی‌های رسی در واحد گرانیت، B: دگرسانی کوارتز-سرسیت-پیریت در واحد مونزودیوریت پورفیری، C: شکسته شدن بلور پلاژیوکلاز و پر شدن با کلسیت و کوارتز و D: رگچه اپیدوت در واحد تراکیت در شمال غرب گناباد. تمام تصاویر در نور (XPL). علائم اختصاری از ویتنی و ایوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است: Afs: آلکالی‌فلدسپار، Bt: بیوتیت.

Fig. 10. A: Alkali feldspar altered to clays in granite unite, B: quartz-sericite- pyrite alteration in monzodiorite porphyry, C: plagioclase crystals were broken and filled by calcite and quartz, and D: Epidote vein in trachyte unite in the northwest of Gonabad. All pictures were taken under XPL light Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Qtz: quartz, Afs: alkali feldspar, Bt: biotite).



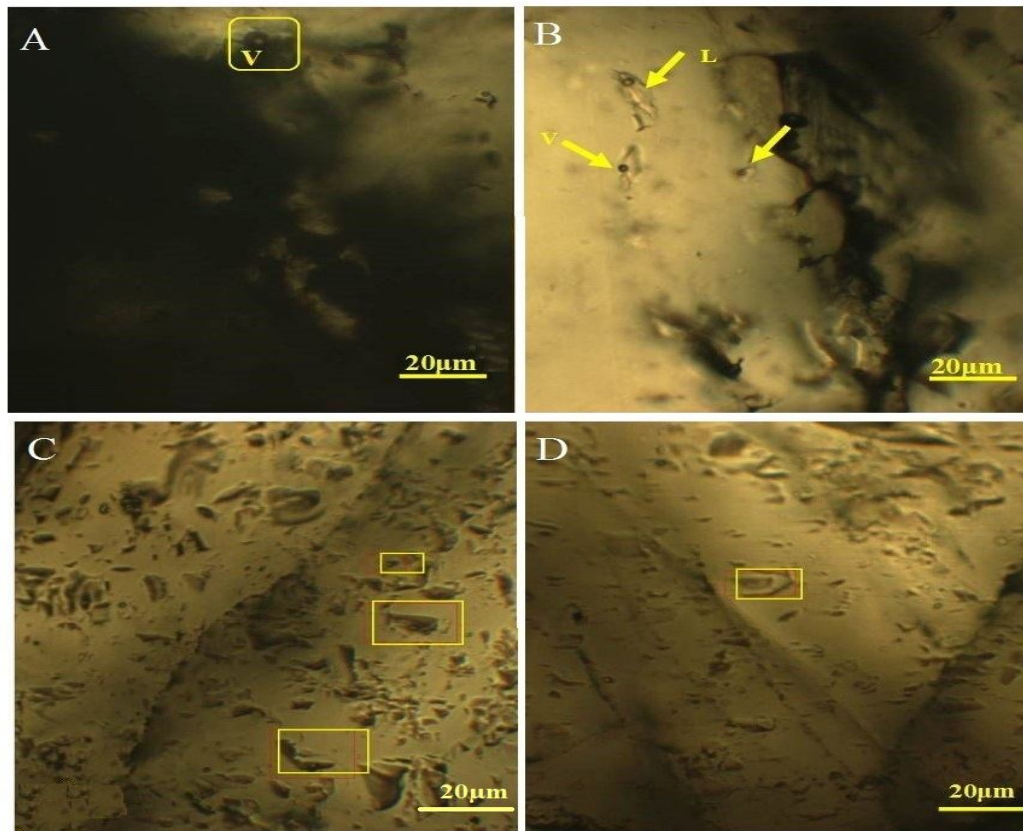
شکل 11. نقشه دگرسانی و کانی‌سازی شمال غرب گناباد

Fig. 11. Alteration and mineralization map of the northwest of Gonabad

ثانویه از میان‌بارهای سیال اولیه اندازه کوچک‌تری دارند. میان‌بارهای سیال ثانویه به صورت فازهای L+V و تک‌فازهای V و همچنین میان‌بارهای سیال اولیه به صورت فازهای L+V و تک‌فاز غنی از V دیده می‌شود (شکل A-12، B، C و D). میان‌بارهای سیال نوع L+V فراوانی بیشتری نسبت به سایر میان‌بارهای سیال دارند. شکل میان‌بارهای سیال از بیضوی تا کشیده و نامنظم در تغییر هستند. بزرگ‌ترین میان‌بارهای سیال، به صورت فازهای L+V بوده و حداکثر طول آنها به 10 میکرومتر می‌رسد (شکل B-12)؛ اما بیشترین اندازه آنها بین 4 تا 7 میکرومتر است. اندازه قطر حباب گاز 3 تا 4 میکرومتر است. به دلیل کوچک و ریزبودن میان‌بارهای سیال، شوری سیال در گیر به تعداد کمتر و محدودتری اندازه‌گیری شد.

سنگ‌نگاری میان‌بارهای سیال

بررسی میان‌بارهای سیال در منطقه شمال غرب گناباد، با بررسی میان‌بارهای سیال بر روی 10 نمونه و در کانی‌های فلوریت، باریت و کوارتز صورت گرفت. این نمونه‌ها از رگه‌های فلوریت-باریت-کانی‌سازی فلزی، رگه‌های کوارتز همراه با کانی‌سازی مس و دگرسانی آرژلیک برداشت شدند. در این بررسی‌ها نوع سیال درگیر، فاز غالب، شکل، طول، عرض و قطر آنها اندازه‌گیری شد. طبق معیارهای رودر (Roedder, 1984) و ون دن کرخوف و هین (Van den Kerkhof and Hein, 2001)، از لحاظ ژئیکیمی میان‌بارها به سه شکل اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب مشاهده شدند که برای اطمینان از صحت داده‌ها، اندازه‌گیری‌ها بر روی میان‌بارهای اولیه انجام شد. میان‌بارهای سیال



شکل 12. تصاویر پتروگرافی میان‌بارهای سیال اولیه در منطقه شمال غرب گناباد، A و B: میان‌بارهای سیال اولیه غنی از مایع (L+V) در کانی فلوریت، C: میان‌بارهای سیال غنی از مایع (L+V) در کانی کوارتز (زون دگرسانی کوارتز-سرسیسیت-پیریت و D: میان‌بارهای سیال اولیه غنی از مایع در کانی باریت

Fig. 12. Petrographic photomicrographs of the primary fluid inclusions in the northwest of Gonabad area, A and B: liquid-rich (L+V type) primary fluid inclusion in fluorite, C: liquid-rich (L+V type) fluid inclusions in quartz (quartz-sericite-pyrite alteration), and D: liquid-rich (L+V type) fluid inclusions in barite

سنگ‌نگاری میان‌بارهای سیال اولیه به شکل‌های بیضوی و بی‌شکل با اندازه متوسط 8 تا 12 میکرون بوده و شامل انواع مایع + بخار (L+V) و فاز مایع (L) هستند (شکل A-12 و B). اندازه اغلب میان‌بارهای سیال نوع L کمتر از 5 میکرون است. سیالات ثانویه نیز در ابعاد کمتر از 5 میکرون حضور دارند.

دمای همگن شدن میان‌بارهای سیال در کانی فلوریت بین 184 تا 360 درجه سانتی‌گراد به دست آمد. چگالی متوسط بین 0/68 تا 0/92 گرم بر سانتی‌متر مکعب که دمای آخرین قطعه یخ ثبت شده¹ به طور متوسط بین 2/9- تا 4/3- درجه سانتی‌گراد،

بررسی‌های ریزدماسنجی

بررسی میان‌بارهای سیال در منطقه اکتشافی، در سه بخش کانی‌سازی فلوریت، زون‌های دگرسانی و محدوده کانی‌سازی مس (کلاته‌نو) انجام شد (جدول 1).

میان‌بارهای سیال در حریم کانی‌سازی فلوریت-باریت-

کانی‌سازی فلزی

اندازه‌گیری دما و شوری میان‌بارهای سیال در این منطقه بر روی کانی‌های فلوریت، باریت و کوارتز انجام شد. از لحاظ

محاسبه شده معادل 1/6 تا 9/2 درصد وزنی نمک طعام است (شکل A-13). دمای همگن شدن میان‌بارهای سیال در کانی باریت (نمونه bigtrench: کانی‌های همیافت با باریت در این نمونه شامل کالکوپیریت، کالکوسیت و کولیت است) بین 184 تا 328 درجه سانتی‌گراد به دست آمد (شکل A-13). چگالی متوسط 0/7 تا 0/9 گرم بر سانتی‌متر مکعب که دمای آخرین قطعه یخ ثبت شده به طور متوسط بین 2/4- تا 4/2- درجه سانتی‌گراد به دست آمد. بر این اساس میزان شوری محاسبه شده معادل 0/7 تا 0/9 درصد وزنی نمک طعام است (شکل A-14).

به دست آمد. بر این اساس میزان شوری محاسبه شده بر اساس براون و لمب (Brown and Lamb, 1989) معادل 0 تا 3/2 درصد وزنی نمک طعام است (شکل A-12 و A-13). دمای همگن شدن میان‌بارهای سیال در کانی کوارتز (نمونه Geo30): کانی‌های همیافت با کوارتز در این نمونه شامل گالن اکسیدهای آهن و مالاکیت است) بین 245 تا 300 درجه سانتی‌گراد به دست آمد. چگالی متوسط 0/8 گرم بر سانتی‌متر مکعب که دمای آخرین قطعه یخ ثبت شده به طور متوسط بین 0/9- تا 6/2- درجه سانتی‌گراد به دست آمد. بر این اساس میزان شوری

جدول 1. نتایج بررسی‌های میکروترمومتری میان‌بارهای سیال اولیه در منطقه شمال غرب گناباد

Table 1. Result of micro-thermometric measurements of primary fluid inclusions in the northwest of Gonabad

Sample	P(bar)	NaCl (wt.% equiv.)	TM	TFM	Homogenization temperature (C°)	Dominant phase	Fluid type	Density (g/cm ³)
Geo31	13 to 32	3.9 to 5.9	-3.2 to -2.3	-55 to -57	193 to 240	L	L+V	0.9
Geo30	36 to 81	1.6 to 9.2	-6.2 to 0.9	-55 to -57	245 to 300	L	L+V	0.8
Geo31	26 to 97	2.2 to 3.2	1.3 to 1.9	-55 to -57	228 to 363	L	L+V	0.6 to 0.9
GeoF2	140 to 180	5.1 to 6.9	-4.3 to -1.3	-54 to -57	340 to 360	L	L+V	0.7
big Trench	11 to 49	4 to 6.9	-4.2 to -2.4	-48 to -56	184 to 328	L	L+V	0.7 to 0.9
F4	18 to 84	0 to 3.2	-1.9 to 0.0	-53 to -56	209 to 309	L	L+V	0.7 to 0.9
SFPY	47 to 118	11 to 13	-9.2 to -7.3	-55 to -57	266 to 354	L	L+V	0.7 to 0.9
S17	47 to 161	6.7 to 11	-7.6 to -5.2	-55 to -57	203 to 336	L	L+V	0.7 to 0.9
K1					186 to 326	L	L+V	

بررسی میان‌بار سیال بر روی رگه‌های کوارتز و کوارتز-پیریت-مالاکیت بررسی شد. بر اساس تغییرات دما-شوری، دو نوع

میان‌بارهای سیال در حریم کانی‌سازی مس کلاته‌نو در این محدوده از منطقه مورد بررسی، تغییرات دما-شوری با

را دارند (شکل C-13 و C-14). این شواهد نشان می‌دهد که حداقل دو نوع سیال و در صورت دقیق‌تر شدن، سه نوع سیال هیدروترمالی در شکل‌گیری زون آرژیلیک در این ناحیه نقش داشته است. این مسئله توسط کلاهدک سیلیسی برشی شده نیز تأیید می‌شود. تغییرات شوری به علت ریزبودن سیال‌ها قابل اندازه‌گیری نیست.

میان‌بارهای سیال در منطقه خاک ص‌نعتی کلاته‌نو (زون دگرسانی کوارتز - سرسیت-پیریت)

بررسی میان‌بارهای سیال بر روی زون دگرسانی کوارتز-سرسیت-پیریت و کانی‌سازی سولفید-کوارتز در محدوده معدنی خاک صنعتی کلاته‌نو صورت گرفت. میان‌بارهای سیال مشاهده شده، شامل فاز مایع + بخار (L+V) هستند و فاز جامد مستقل مشاهده نشد. بیشتر میان‌بارهای سیال دو فاز غنی از مایع هستند. بررسی میان‌بارهای سیال این ناحیه نشان می‌دهد که در این ناحیه نیز دو نوع سیال گرمابی نقش داشته‌اند. گروه اول، میان‌بارهای سیال دو فاز (غنی از مایع) با دمای همگن شدن بین 289 تا 354 درجه سانتی‌گراد، شوری 10/86 تا 10/98 درصد وزنی نمک طعام و میانگین عمق تقریبی 600 متر هستند. گروه دوم، میان‌بارهای سیال با دمای همگن شدن بین 266 تا 337 درجه سانتی‌گراد، شوری 11/7 تا 13/07 درصد وزنی نمک طعام (شکل C-13 و C-14) و میانگین عمق تقریبی 600 متر هستند.

رابطه میان‌بار سیال با نوع کانی‌سازی

بر اساس زیرجانی‌زاده (Zirjanizadeh, 2015) بررسی‌های ایزوتوپ پایدار بر روی رگه‌های باریت-فلوریت-کانی‌سازی فلزی، عناصر کانه‌ساز از دایک‌های گرانیتی غنی از فلوئور که در داخل سازند شمشک نفوذ کرده است، تأمین شده است. لذا انتظار می‌رود، شکل‌گیری کانسارهای هیدروترمال صورت گیرد؛ در حالی که محدوده دمایی اندازه‌گیری شده کمتر از حدی است که نشان‌دهنده منشأ ماگمایی باشد. اما بررسی سیالات درگیر نشان داد که فرایند اختلاط با آب‌های سطحی در تشکیل این کانی‌سازی دخالت داشته‌اند

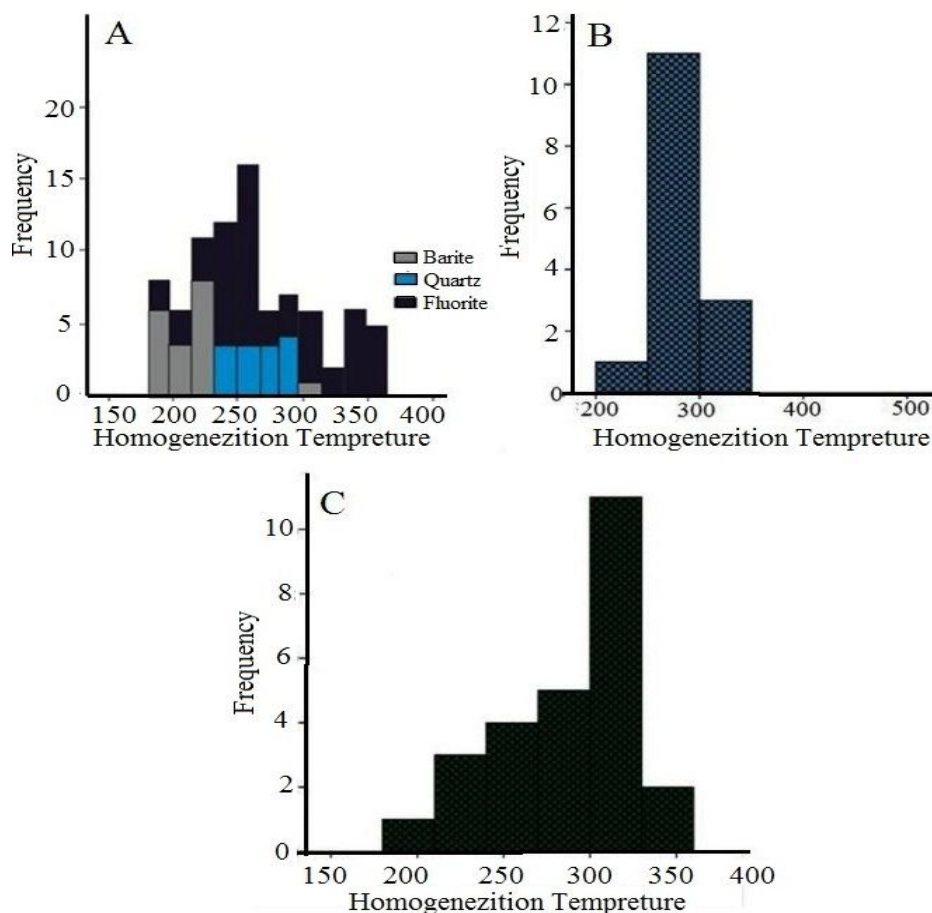
سیال کانی‌ساز شناسایی شد که شامل گروه اول: میان‌بارهای سیال با دمای همگن شدن 260 تا 300 درجه سانتی‌گراد (شکل B-13)، چگالی بین 0/61 تا 0/85 گرم بر سانتی‌متر مکعب که دمای آخرین قطعه یخ ثبت شده به طور متوسط بین 0/9- تا 7/2- درجه سانتی‌گراد به دست آمد. میزان شوری محاسبه شده بر اساس بین 1/5 تا 3/23 درصد وزنی معادل NaCl است. گروه دوم: میان‌بارهای سیال با دمای همگن شدن 193 تا 240 درجه سانتی‌گراد، و چگالی بین 0/76 تا 0/91 گرم بر سانتی‌متر مکعب است که دمای آخرین قطعه یخ ثبت شده به طور متوسط بین 2/3- تا 3/6- درجه سانتی‌گراد به دست آمد و میزان شوری محاسبه شده بین 4/1 تا 5/86 درصد وزنی معادل نمک طعام است (شکل B-14). با استفاده از نمودار (Hass, 1971) و دمای به دست آمده از نتایج دماسنجی، عمق به دام افتادن سیال برای گروه اول میانگین 400 تا 1000 متر و برای سیالات گروه دوم میانگین 200 تا 400 متر به دست آمد.

محدوده زون آرژیلیک (میان‌بارهای سیال در محدوده کائولن رخ سفید-باغ‌سیاه)

میان‌بارهای سیال مشاهده شده بر اساس معیارهای ارائه شده توسط رودر (Roeder, 1984) و گلدستین و رینولد (Goldstein and Reynolds, 1994)، شامل انواع مایع + بخار (L+V) هستند. بیشتر میان‌بارهای سیال دوفازی غنی از مایع هستند. بررسی‌ها بر روی میان‌بارهای سیال اولیه (P) با اندازه حداکثر 5 تا 6 میکرون انجام شد. نمودار هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن میان‌بارهای سیال در منطقه مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار Spss ترسیم شد (شکل C-10). بر اساس بررسی‌های میکروترموتری، دو گروه میان‌بارهای سیال دو فاز (L+V) شناسایی شد که به طور کلی دارای دمای همگن شدن (T_H) بین 186 تا 326 سانتی‌گراد هستند. گروه اول، تغییرات دمای همگن شدن بین 186 تا 256 درجه سانتی‌گراد و عمق تشکیل حدود 250 متر را نشان می‌دهند و گروه دوم، دمای همگن شدن بین 275 تا 326 درجه سانتی‌گراد و عمق تشکیل حدود 500 متر

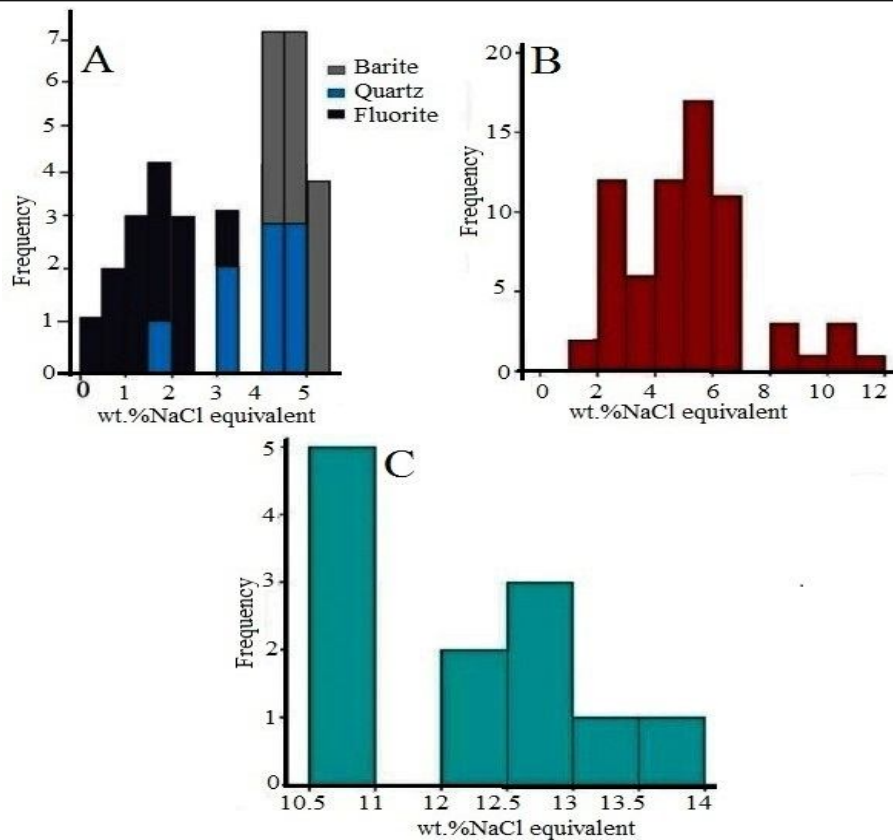
همگن شدن و شوری متفاوت در این منطقه روندهای فیزیکی اختلاط را نشان می‌دهند (شکل A-15 و B). تغییرات شوری در حقیقت به وسیله اختلاط سیال کنترل می‌شود. بنابراین اندازه‌گیری شوری برای تخمین حضور دو سیال و اختلاط بین آنها خیلی مهم است. چگالی میان‌بارهای سیال در منطقه مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار FLINCOR (Brown and Lamb, 1989)، 0/61 تا 0/936 گرم بر سانتی‌متر مکعب محاسبه شد که بیشترین فراوانی در محدوده 0/74 و 0/76 گرم بر سانتی‌متر مکعب است.

(شکل A-15 و B) و لذا بررسی‌های دماسنجی محدوده دمایی کانسارهای اپی‌ترمال را نشان می‌دهد. در منطقه حاوی کانی‌سازی مس (کلاته‌نو)، کانی‌سازی به شکل‌های رگه‌ای، رگچه‌ای و پراکنده دیده می‌شود. کانی‌سازی مس درون توف‌ها به صورت رگه‌ای و با گسترش 200 متری دیده می‌شود. ضخامت رگه اصلی به بیش از 1 متر می‌رسد. بیشترین میزان کانی‌سازی پراکنده در واحدهای ریولیت و توف بلورین ریولیتی دیده می‌شود. بر اساس نمودار دما-شوری و مقایسه آن با نمودار شکل A-15 مشاهده می‌شود که دو نوع سیال گرمابی با دمای



شکل 13. نمودار هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن میان‌بارهای سیال در منطقه شمال غرب گناباد. A: محدوده کانی‌سازی فلوریت، B: کانسار مس کلاته‌نو و C: محدوده دگرسانی آرژیلیک و کوارتز-سرسیت-پیریت (B و C: دماسنجی بر روی کانی کوارتز انجام شده است).

Fig. 13. Histograms showing frequency distribution of homogenization temperature (Th) in the northwest of Gonabad A: fluorite mineralization area, B: Kalatehno copper deposit, and C: Quartz-sericite-pyrite alteration area (B and C: Microthermometric has done on quartz mineral).



شکل 14. هیستوگرام فراوانی کلی شوری سیال‌های درگیر منطقه شمال غرب گناباد. A: محدوده کانی‌سازی فلوریت، B: محدوده کانی‌سازی مس کلاته‌نو و C: محدوده دگرسانی آرژیلیک و کوارتز-سرسیسیت-پیریت. (B و C: داماسنجی بر روی کانی کوارتز انجام شده است).

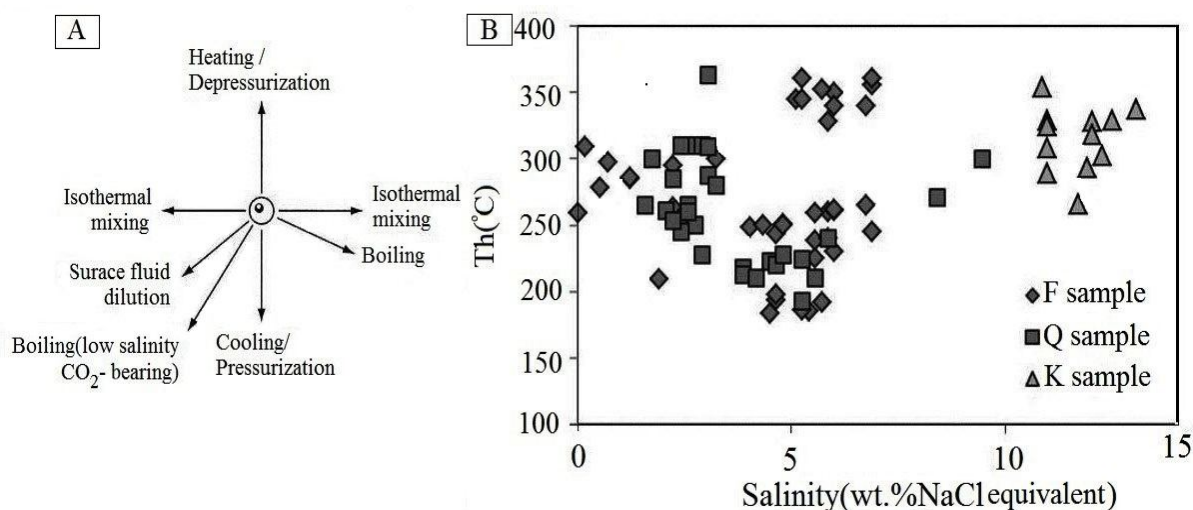
Fig. 14. Histograms showing frequency distribution of salinity (wt.% NaCl equiv.) for fluid inclusions in the northwest of Gonabad. A: Flourite mineralization, B: Kalatehno copper deposit, and C: Quartz-sericite-pyrite alteration area (B and C: Microthermometric has done on quartz mineral).

توجه به دمای همگن شدن و شوری از یکدیگر تفکیک شده‌اند (Wilkinson, 2001). در میان‌بارهای سیال در کانسارهای مس پورفیری، سیالات با دما و شوری بالا (طیف حرارتی از 200 تا 700 درجه سانتی‌گراد و شوری 0 تا 70 درصد وزنی NaCl) منشأ نزدیک به سیستم پورفیری را در نظر می‌گیرند که معمولاً شوری بالا، با حرکت سیالات به سمت بالا و دور شدن از سیستم پورفیری و نزدیکی به سیستم اپی‌ترمال به 1 تا 5 درصد نمک طعام کاهش می‌یابد. طیف حرارتی به دست آمده با اپی‌ترمال قابل مقایسه است. تغییرات شوری میان‌بارهای سیال می‌تواند در نتیجه اختلاط، به تله افتادن میان‌بارهای سیال در

برای تخمین عمق به تله افتادن سیال درگیر در زمان جوشش می‌توان از نمودار عمق-دمای همگن شدن-شوری سیالات درگیر (Haas, 1971) استفاده کرد. بر این اساس عمق کانی‌سازی حدود 200 تا 800 متر است (شکل 16). بر اساس نمودار دمای هم‌وزن‌شدن در برابر شوری (شکل 17)، کانی‌سازی در محدوده اپی‌ترمال قرار می‌گیرد. از ویژگی‌های سیستم‌های اپی‌ترمال آن است که دمای هم‌وزن‌شدن آنها بسیار نزدیک به دمای به دام افتادن‌شان است و از آنجا که فشار آنها در حین به دام افتادن بسیار پایین است، نیازی به تصحیح ندارد (Wilkinson, 2001). در شکل 17، کانسارهای مختلف با

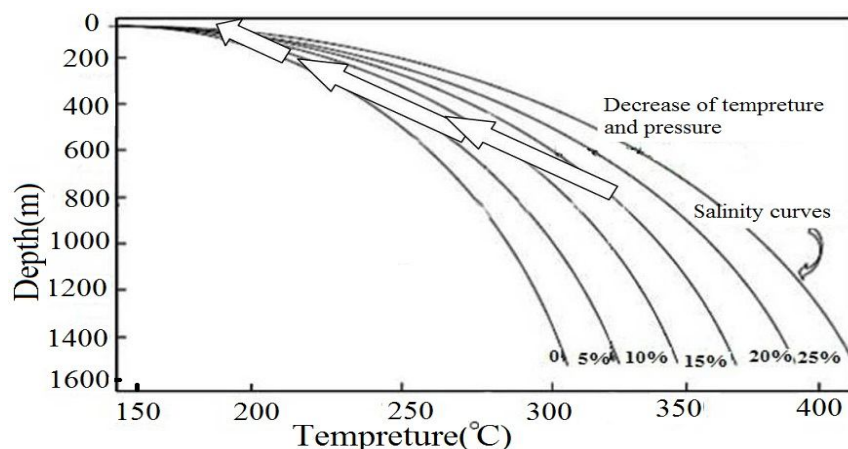
گالن، شوری کمتر از 7 درصد و دمای همگن‌شدن بین 164 تا 295 درجه سانتی‌گراد دارد که مشابه کانی‌سازی فلوریت نوع اپی‌ترمال است.

مراحل مختلف کانه‌زایی و یا به‌واسطه حذف انتخابی آب بعد از به‌دام افتادن توسط سازوکار تفریق باشد (Hall et al., 1974; Shepherd et al., 1985; Frantz et al., 1992; Hall et al., 1996). نمونه‌ها از نهشته‌های حاوی فلوریت -



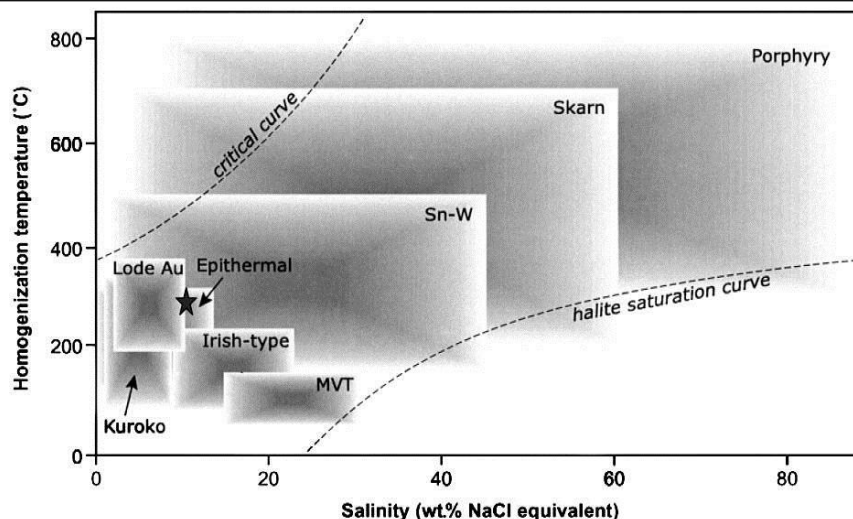
شکل 15. A: نمودار شماتیک نشان‌دهنده روند دمای همگن‌سازی سیالات در برابر شوری در طی فرایندهای مختلف تکامل سیالات (Wilkinson, 2001), B: دمای همگن‌شدن سیالات در برابر شوری در نمونه‌های مورد بررسی در شمال‌غرب گناباد. (K sample: دگرسانی آرژیلیک و کوارتز-سرسیت-پیریت, Q sample: کانی‌سازی مس کلاته‌نو, F sample: کانی‌سازی فلوریت)

Fig. 15. A: Schematic diagram showing the trend of fluids homogenization temperature versus salinity during various processes of fluids evolution (Wilkinson, 2001), and B: Homogenization temperature -salinity plot for fluid inclusions in studied samples from the northwest of Gonabad. (K sample: Argillic and quartz-sercite-pyrite alteration, Q sample: Kalateno copper mineralization, F sample: Fluorite mineralization)



شکل 16. روند تغییرات درجه حرارت و تخمین حداقل عمق تشکیل میان‌بارهای سیال در شمال‌غرب گناباد (Haas, 1971)

Fig. 16. The variations trend in temperature and the estimated minimum depth of the fluid inclusions formation in the northwest of Gonabad (Haas, 1971)



شکل 17. تصویر موقعیت شوری و درجه حرارت همگن‌شدن میان‌بارهای سیال مورد بررسی در شمال‌غرب گناباد (نماد ستاره) در نمودار دمای همگن‌شدن شوری کانسارهای مختلف (Wilkinson, 2001)

Fig. 17. Th-salinity plot for fluid inclusions (star symbol) in the northwest of Gonabad in the chart of homogenization temperature –salinity for the variety of deposits (Wilkinson, 2001)

جدا شده و به سمت بالا حرکت می‌کند. آب‌های جوی در امتداد درز و شکستگی‌ها و گسل‌ها به عمق راه پیدا کرده است و با محلول ماگمایی مخلوط می‌شوند و فرایند همرفتی - مخلوط‌شدگی سیال ایجاد می‌شود و سرانجام بر اثر عواملی چون کاهش دما و تغییرات pH و غیره کانی‌سازی در فضای مناسب مانند گسل‌ها شکل گرفته است. حضور کانسارهای اپی‌ترمال در منطقه در کنار سایر شواهد مثل وجود توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق، دگرسانی بسیار گسترده آرژیلیک، پروپیلیتیک و غیره می‌تواند با ذخایر بزرگ‌تری در عمق (ذخایر پورفیری)، در ارتباط باشند.

نتیجه‌گیری

محدوده مورد بررسی تحت‌تأثیر محلول‌های هیدروترمالی دگرسان‌شده است که نشان از ارتباط آن با کانه‌زایی در منطقه مورد بررسی دارد. بر اساس بررسی دما و شوری سیالات در گیر، در زون‌های کانی‌سازی و دگرسانی منطقه مورد بررسی، حداقل دو نوع سیال هیدروترمال با دمای هموژن‌شدن و شوری متفاوت در آن ناحیه نقش داشته است. در کانسارهای اپی‌ترمال شکل گرفته، دما، شوری کم سیالات در گیر و کنترل ساختاری در زون‌های کانی‌سازی مشابه سیستم‌های اپی‌ترمال است، عناصر فلزی از ماگمای مادر توسط محلول‌های ماگمایی

References

Alavi, M., 1991. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of American Bulletin, 103(8): 983–992.
Arjmandzadeh, R., Karimpour, M.H., Mazaheri,

S.A., Santos, J.F., Medina, J.M. and Homam, S.M., 2011. Sr–Nd isotope geochemistry and petrogenesis of the Chah-Shaljami granitoids (Lut block, eastern Iran). Journal of Asian Earth Sciences, 41(3): 283–296.

Berberian, M., 1981. Towards a paleogeography

- and tectonic evaluation of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18(2): 210–265.
- 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.
- Brown, P.E. and Lamb W.M., 1989. P-V-T properties of fluids in the system H₂O+CO₂+NaCl: New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53(6): 1209–1221.
- Frantz, J.D., Popp, R.K. and Hoering, T.C., 1992. The compositional limits of fluid immiscibility in the system H₂O–NaCl–CO₂ as determined with the use of synthetic fluid inclusions in conjunction with mass spectrometry. *Chemical Geology*, 98(2–3): 237–255.
- Goldstein, R.H. and Reynolds, T.J., 1994. Systematics of fluid inclusions in diagenetic materials. Society for Sedimentary Geology, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Short Course 31, Tulsa, Oklahoma, 199 pp.
- Haas, J.L., 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Economic Geology*, 66(6): 940–946.
- Hall, W.E., Friedman, I. and Nash, J.T., 1974. Fluid inclusion and light stable isotope study of the Climax molybdenum deposits, Colorado. *Economic Geology*, 69(6): 884–901.
- Hall, G.E.M., Vaive J.E., Beer R. and Hoashi M., 1996. Phase selective leaches for use in exploration geochemistry. In: G.F. Bonham-Carter, A.G. Galley and G.E.M. Hall (Editors), EXTECH I: a multidisciplinary approach to massive sulphide research in the Rusty Lake-Snow Lake greenstone belts, Manitoba, Geological Survey of Canada, Bulletin, 426, pp. 169–200.
- John, D.A., Ayuso, R.A., Barton, M.D., Blakely, J.M., Bodnar, J.R., Dilles, H.J., Gray, F., Graybeal, T.F., Mars, C.J., McPhee, K.D., Seal, R.S., Taylor, D.R. and Vikre G.P., 2010. Porphyry copper deposit model. In: D.A. John (Editor), Rolla, MO: U.S. Geological Survey, Scientific Investigation Report 2010–5070–B, 186 pp.
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroodi, A., Mazaheri, S.A. and Heydariyan, M.R., 2007. Magmatism and different mineralization of Cu-Sn-W in Lut Block. 15th Congress of Crystallography and Mineralogy of Iran, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Stern, C.R. and Farmer, L., 2012. Petrogenesis of Granitoids, U–Pb zircon geochronology, Sr–Nd isotopic characteristic, and important occurrence of Tertiary mineralization within the Lut Block, eastern Iran. *Journal of Economic Geology*, 4(1): 1–27. (in Persian with English abstract)
- Karimpour, M.H., Stern C.R., Farmer, L., Saadat, S. and Malekezadeh Shafaroodi, A., 2011. Review of age, Rb–Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran, *Geopersia*, 1(1): 19–36.
- Malekzadeh Shafaroudi, A., 2009. Geology, mineralization, alteration, geochemistry, Microthermometry, radioisotope and Petrogenesis of intrusive rocks copper-gold porphyry Maherabad and Khopik. Ph.D. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 535 pp. (in Persian with English abstract)
- Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M.H. and Golmohammadi, A., 2013. Zircon U–Pb geochronology and petrology of intrusive rocks in the C-North and Baghak districts, Sangan iron mine, NE Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64(5): 256–271.
- Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M.H. and Stern, C.R., 2015. The Khopik porphyry copper prospect, Lut Block, Eastern Iran: Geology, alteration and mineralization, fluid inclusion, and oxygen isotope studies. *Ore Geology Reviews*, 65(2): 522–544.
- Moradi M., Karimpour M.H. and Salati A., 2011. Geology and geochemistry of intrusive rocks of eastern Najm Abad (Gonabad). *Journal of Advanced Applied Geology*, 1(1): 1–10. (in Persian with English abstract)
- Najafi, A., Karimpour, M.H., Ghaderi, M., Stern, Ch. and Farmer, L., 2014. U–Pb zircon geochronology, Rb–Sr and Sm–Nd isotope geochemistry, and petrogenesis of granitoid rocks at Kaje prospecting area, northwest Ferdows: Evidence for upper Cretaceous magmatism in Lut block. *Journal of Economic*

- Geology, 6(4): 107–135. (in Persian with English abstract)
- Richards, J.P., Spell, T., Rameh, E., Razique, A. and Fletcher, T., 2012. High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu \pm Mo \pm Au potential: examples from the tethyan arcs of central and eastern Iran and western Pakistan. *Economic Geology*, 107(22): 295–332.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. In: P.A. Ribbe (Editor), *Reviews in Mineralogy*. Mineralogical Society of America, Virginia, 646 pp.
- Roedder, E., 1992. Fluid inclusion evidence for immiscibility in magmatic differentiation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56(1):5–20.
- Samiee S., Ghaderi M. and Zirjanizadeh S., 2020. Geochemistry, Fluid Inclusion and Sulfur Isotopes Studies of Hydrothermal Breccia Gold Mineralization in the Khunik Area, Khorasan Jonoubi Province (Iran). *Journal of Economic Geology*, 11(3): 473–495. (in Persian with English abstract)
- Samiee S. and Zirjanizadeh S., 2019. Geology, mineralogy and geochemistry of Koodakan 2 prospecting area, South of Birjand, East of Lut Block. *Journal of Economic Geology*, 11(2): 339–355. (in Persian with English abstract)
- Shepherd, T.J., Rankin A.H. and Alderton, D.H.M., 1985. *A practical guide to fluid inclusion*, Blackie & Sons, Glasgow, 239 pp.
- Zirjanizadeh, S., 2015. *Mineralogy, Geochemistry and Petrogenesis of igneous rocks northeast Gonabad*, Ph.D. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 259 pp. (in Persian with English abstract)
- Wilkinson, J. J., 2001., Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, *Lithos*, 55(1–4): 229–272.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187.
- Van den Kerkhof, A.M. and Hein, U.F., 2001. Fluid inclusion petrography. *Lithos*, 55(1–4): 27–47.



The study of fluid inclusions and genesis of mineralization in the northwest of Gonabad, the Southern Khorasan Razavi province

Sedigheh Zirjanizadeh^{1*}, Mohammad Hassan Karimpour^{2&3}, Somayeh Samiee¹ and Azam Entezari Hersini⁴

1) Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Gonabad, Gonabad, Iran

2) Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3) Research Center for Ore Deposit of Eastern Iran, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4) Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran

Submitted: Feb. 21, 2018

Accepted: Jan. 08, 2020

Keywords: Fluid inclusion, mineralization, alteration, North West Gonabad, the Lut Block

Introduction

The study area is located in the Khorasan Razavi Province, NW of Gonabad between 58° 33" - 58° 38" to the east and 25° 34" - 25° 38" to the north. Geotectonically, the area is located in the northern part of the Lut Block. The Lut Block is the main metallogenic province in the east of Iran (Karimpour et al., 2012). There is a significant outcrop of Tertiary intermediate volcanic and pyroclastic rocks in the northwest of Gonabad. This region is rich in clay (kaolin) mineralization. The source of these kaolin deposits (argillic alteration) is related to a granitic dyke that intruded into the Shemshak Formation.

Geology

According to studies most of the rocks in this region are volcanic rocks which mainly consist of trachyte, andesite, trachyandesite, dacite, rhyodacite, pyroclastics rocks of agglomerate and tuff and some subvolcanic masses and dykes of acidic to intermediate compositions. Sedimentary rocks in the study area are slightly metamorphosed. The oldest metamorphic rock is exposed in the south-east of the study area which consists of Jurassic slates and quartzite. At this area green schist facies have led to the formation of slate and quartzite. The intrusive bodies, composition are monzogranite porphyry to diorite

porphyry. The main fault zones which make specific types of structure are strike-slip.

Alteration and mineralization

The volcanic and subvolcanic rocks have been affected by hydrothermal fluids via the phenomenon which has caused alteration in the rocks. The alteration zones are propylitic, silicification, argillic, and quartz-sericite-pyrite. The silicification has occurred with higher intensity in the northern and central parts of the investigated area. Propylitic alteration has spread all over the area with higher intensity in the northwest and southern parts of the study area. The clay mineral deposits (argillic zones) have been mined. The mineralogical compositions of this clay deposits are quartz, kaolinite, dickite, montmorillonite and hematite.

Materials and Methods

Ten doubly polished wafers (0.3mm thick) of fluorite, barite and quartz crystals were prepared for fluid inclusion studies, and examined petrographically. They were studied using standard techniques (Roedder, 1984, 1992) and Linkam THM 600 heating-freezing stage (from -190 to 600 °C) mounted on an Olympus TH4-200 microscope stage at the Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

*Corresponding author Email: s.zirjanizadeh@gonabad.ac.ir

The accuracy is estimated to be ± 0.2 °C on freezing, ± 2 °C below 350 °C and about ± 4 above 350 °C on heating. The salinity of the fluids trapped in fluid inclusions is calculated based on the temperature of final ice melting (T_m) and the equation of Bodnar (1993). Densities are calculated using the Flincor software according to microthermometric data (Brown and Lamb, 1989).

Discussion

Microthermometric investigations were conducted on 126 fluid inclusions in two types of liquid-rich (L+V) fluids in silicified cap of Rokhsfid and Baghsia kaolin mines. Homogenization experiments revealed a temperature range of 186–326 °C for the studied inclusion. Salinity variations could not be determined because of the small amount of fluids. The homogenization temperature and depth of formation from the first type of inclusions are 186–256 °C and 250 meters, respectively. The second type of inclusions have T_h between 275 to 326 °C and are 500 meter in depth. Microthermometric study of fluid inclusions on quartz-sericite-pyrite and sulfide-silicified mineralization in Kalatehno indicates that two types of hydrothermal fluids were important in the formation of mineralization. These two types are involved. First, T_h between 289–354 °C, salinity range from 10.86 to 10.98 wt.% NaCl equivalent, and the average depth of about 600 meters. Second, T_h between 266–377 °C, salinity ranges from 11.7 to 13.07 wt.% NaCl equivalent, and average depth of about 600 meters. Microthermometric study of the fluid inclusions in fluorite veins were conducted on fluorite, barite and quartz minerals. The results obtained from the fluorites indicate T_h between 184–360 °C, and Salinity ranges from 0 to 3.2 wt.% NaCl equivalent. Fluid inclusion studies consisting of quartz veins and quartz-sulfide-copper carbonate in Kalatehno copper mineralization involve two types of fluids with homogenization temperatures and salinity range from 260–300 °C and 1.5–3.23

wt.% NaCl equivalent and 193–240 °C and 4.1–5.86 wt.% NaCl equivalent.

Conclusion

Fluid inclusion studies on fluorite samples have shown a temperature homogenizations (T_h) between 186–326 °C. These studies indicate the average formation temperature of 280 °C for argillic alteration. Fluid inclusion studies on Kalateno Cu mineralization show two types of mineralization fluids with the temperatures of 193 to 240 and 260 to 300 °C with salinity between 1.5–3.23 wt. % 4.1–5.86 wt.% NaCl equivalent, respectively. The temperature ranges obtained are similar to those of epithermal systems.

References

- 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.
- Brown, P.E. and Lamb W.M., 1989. P-V-T properties of fluids in the system H₂O+CO₂+NaCl: New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53(6): 1209–1221.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. In: P.A. Ribbe (Editor), *Reviews in Mineralogy*. Mineralogical Society of America, Virginia, 646 pp.
- Roedder, E., 1992. Fluid inclusion evidence for immiscibility in magmatic differentiation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56(1):5–20.
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Stern, C.R. and Farmer, L., 2012. Petrogenesis of Granitoids, U–Pb zircon geochronology, Sr–Nd isotopic characteristic, and important occurrence of Tertiary mineralization within the Lut Block, eastern Iran. *Journal of Economic Geology*, 4(1): 1–27. (in Persian with English abstract)