

شواهد کانی‌سازی مس پورفیری در منطقه چشمه‌خوری، شمال غرب بیرجند: زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی، ژئوشیمی، سیالات درگیر و ایزوتوپ پایدار

مریم جاویدی مقدم^۱، محمدحسن کریم‌پور^{۱*} و آزاده ملکزاده شفاوردی^۲

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

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

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۰۷، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۱

چکیده

منطقه چشمه‌خوری بخشی از پهنه آتشفشانی-نفوذی در غرب بلوک لوت و شمال غربی شهر بیرجند است. این محدوده شامل برون‌زدهایی از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن بوده که واحدهای نیمه‌عمیق با ترکیب گابرویدوریتی تا گرانودوریتی در آنها نفوذ کرده‌اند. دگرسانی‌های اصلی شامل پروپلیتیک، آرژیلیک، کوارتز-سریسیت-پیریت و سیلیسی است. کانی‌سازی اغلب به صورت رگچه‌ای و پراکنده در زون‌های دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت، آرژیلیک-سیلیسی و پروپلیتیک و پراکنده در زون دگرسانی آرژیلیک دیده می‌شود. تنها کانی سولفیدی اولیه شناسایی شده در منطقه پیریت است. به دلیل تأثیر زیاد فرایندهای هوازدگی بر کانی‌سازی اولیه، کانی‌سازی ثانویه سولفیدی و اکسیدی (کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، همتیت، گوئیت و ژاروسیت) گسترش یافته و در نهایت کلاهدک سنگی ایجاد کرده است. بیشترین بی‌هنجاری‌های مس (۶۵۴ گرم در تن) و سرب (۱۶۲۲ گرم در تن) منطبق بر دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت است. بررسی سیالات درگیر اولیه در بلورهای کوارتز همراه با کانی‌سازی در زون کوارتز-سریسیت-پیریت، آرژیلیک-سیلیسی و کلسیت همراه با کانی‌سازی در زون پروپلیتیک، متوسط دمای همگن شدن به ترتیب ۳۲۱، ۳۰۵ و ۲۶۳ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند. بر پایه ذوب آخرین قطعه یخ سیال نیز متوسط شوری این سه زون به ترتیب ۱۲، ۱۱/۶ و ۷/۹ درصد وزنی نمک طعام است. کاهش دمای همگن شدن و شوری از دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت به سمت پروپلیتیک می‌تواند به دلیل تغییرات فیزیکوشیمیایی در سیال مانند سرد شدن و اختلاط با آب‌های جوی توجیه شود. با توجه به شواهد بافتی جوشش نیز در طی تحول و تکامل سیال مؤثر بوده است. مقدار $\delta^{34}\text{S}$ پیریت بین ۲/۳۵ تا ۲/۴۶ ‰ و مقدار $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$ سیال همزاد با کانی پیریت بین ۱/۲۵ ‰ و ۱/۳۶ ‰ بوده که خاستگاه ماگمایی را برای گوگرد نشان می‌دهد. گسترش زون‌های دگرسانی پروپلیتیک و آرژیلیک در سطح، محدود بودن زون کوارتز-سریسیت-پیریت، نبود دگرسانی پتاسیک، وجود کلاهدک سنگی، بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی، محدوده دما و شوری سیالات درگیر می‌تواند نشانگر بخش بالایی یک سیستم مس پورفیری باشد.

واژه‌های کلیدی: دگرسانی، کانی‌سازی، سیال درگیر، ایزوتوپ گوگرد، چشمه‌خوری، بلوک لوت

مقدمه

روستای خور در فاصله ۸۵ کیلومتری شمال غرب بیرجند در استان خراسان جنوبی واقع شده (شکل ۱-A و C). محدوده چشمه خوری در ۲۶ کیلومتری شمال خور (شکل ۱-B) و در گستره‌ای بین طول‌های جغرافیایی $58^{\circ}20'$ تا $58^{\circ}27'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $33^{\circ}8'$ تا $33^{\circ}15'$ شمالی قرار گرفته است. محدوده چشمه خوری در شرق ایران (شکل ۱-A) و بر اساس آخرین تقسیمات ساختمانی - رسوبی ایران (Aghanabati, 2004)، در شرق خرد قاره ایران مرکزی، در شمال غرب بلوک لوت واقع شده است. بلوک لوت به دلیل فراوانی فعالیت‌های ماگمایی دوران ترشیری میزبان کانسارهای مختلف مرتبط با فعالیت ماگمایی است. فاصله زمانی بین ۳۳ تا ۴۲ میلیون سال قبل (اوسن میانی تا اوایل الیگوسن)، مهم‌ترین پنجره زمانی کانی‌سازی در شرق ایران و بلوک لوت، به‌ویژه محدوده استان خراسان جنوبی است (Karimpour et al., 2012). انواع کانی‌سازی مس - طلای پورفیری، طلای مرتبط با توده‌های نفوذی احیایی، طلای اپی‌ترمال سولفید بالا، اسکارن آهن، رگه‌های Pb-Zn-Sb و IOCG در بلوک لوت شناسایی شده‌اند (Karimpour et al., 2012).

شمال خور به دلیل گسترش سنگ‌های آتشفشانی ترشیری، حضور کانی‌سازی‌های رگه‌ای نوع مس \pm سرب \pm روی (شورک) و مس (شکسته‌سبز) (Javidi Moghaddam et al., 2014)، حوض دغ، مهرخش (Javidi Moghaddam et al., 2013)، رشیدی و غار کفتری، کائولن (چشمه خوری)، وجود حفاری‌های قدیمی و سرباره‌های فراوان، سیستم شکستگی‌ها و نفوذ دایک‌های متعدد (شکسته دیوار) حائز اهمیت است.

از جمله بررسی‌های پیشین در منطقه چشمه خوری می‌توان به بررسی بر روی ژئوشیمی و محیط زمین‌ساخت سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌عمیق (Lotfi, 1982; Tarkian et al., 1983; Salim, 2012; Javidi Moghaddam et al., 2016) و بررسی‌های ساختاری (Kaviani Sadr, 2012) اشاره کرد. همچنین میربلوچ (Mir Baloch, 2012) و یاحسینی (Ya Hosseini, 2012)

(2012) به بررسی‌های کانی‌سازی و دگرسانی به ترتیب در بخش‌های کوچکی در شرق و غرب منطقه چشمه خوری پرداخته‌اند. هدف از این پژوهش، بررسی نحوه رخداد کانی‌سازی در منطقه چشمه خوری بوده که برای رسیدن به آن، مطالعات زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی، ژئوشیمی، سیالات درگیر و ایزوتوپ‌های پایدار در منطقه مورد بررسی صورت گرفت.

روش مطالعه

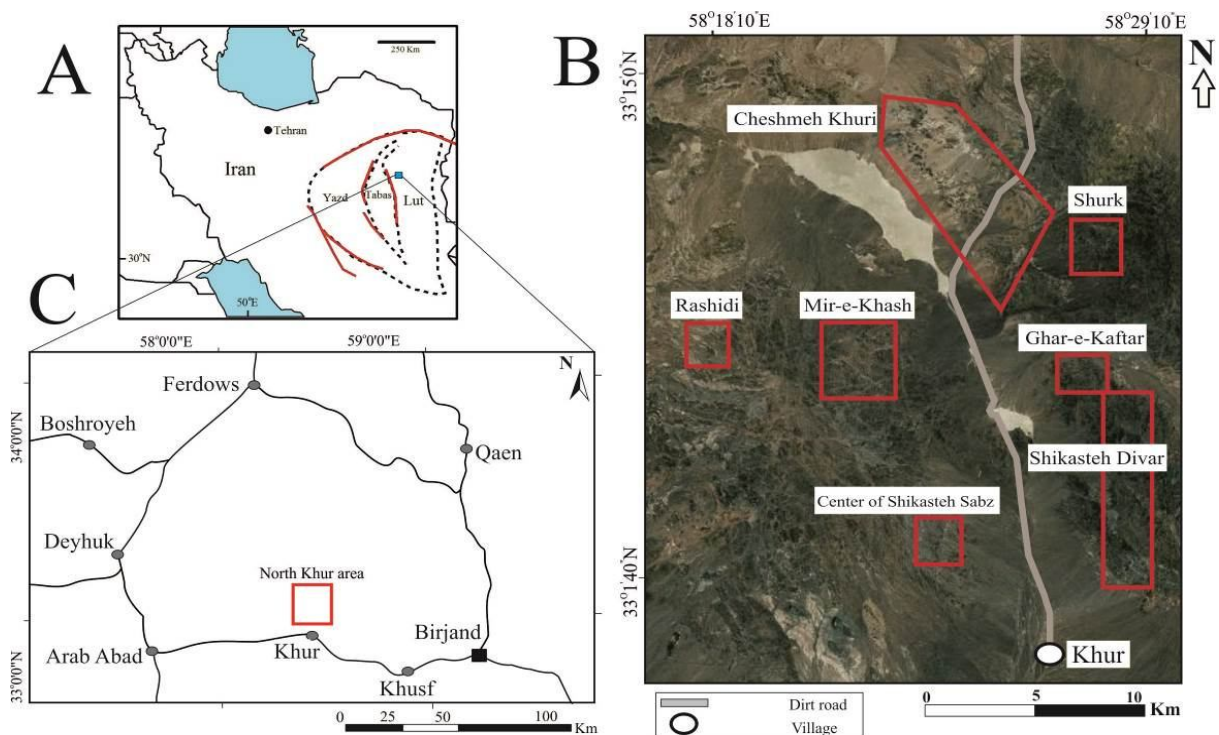
پس از بررسی‌های صحرائی و نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و کانی‌سازی در منطقه، در مجموع ۱۰۰ مقطع نازک، ۷ مقطع نازک صیقلی و ۱۰ بلوک صیقلی به منظور بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی تهیه و مطالعه شد. در نهایت نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی منطقه با مقیاس ۱:۱۵۰۰۰ در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد.

۱۵ نمونه ژئوشیمیایی به روش خرده‌سنگی از محل کانی‌سازی‌ها (سطح و ترانشه‌ها) برداشت شد که همه نمونه‌ها به روش ICP-OES و ۵ نمونه انتخابی از بین این نمونه‌ها به روش fire assay در آزمایشگاه شرکت فراوری مواد معدنی ایران مورد تجزیه قرار گرفت. همچنین تعداد ۵ نمونه از زون دگرسانی آرژیلیک و گوسان برای شناسایی کانی‌های مجهول برداشت شد. این نمونه‌ها به روش XRD در آزمایشگاه شرکت فراوری مواد معدنی ایران مورد تجزیه قرار گرفت. همچنین برای تعیین ترکیب شیمیایی کانی‌ها، از روش آنالیز ریزپردازنده الکترونی در مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران استفاده شد. تعداد نقاط بررسی شده در این روش ۱۲ نقطه است.

تعداد ۳ نمونه کانی کوارتز و ۲ نمونه کلسیت بعد از بررسی‌های دقیق همیافتی (مهم‌ترین کانی باطله و همیافت با کانی‌سازی) برای تهیه مقطع دوبر صیقل انتخاب شد. داماسنجی سیالات درگیر بر روی این ۵ نمونه به وسیله یک دستگاه سردکننده و گرم‌کننده ساخت شرکت لینکام مدل THM600 در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. دقت کار دستگاه در مرحله سرد و گرم کردن C

برای شناخت ماهیت سیال‌های منشأ کانی‌سازی، دو نمونه پیریت برای تجزیه ایزوتوپی گوگرد انتخاب شد و به روش EA-IRMS در آزمایشگاه ایزو آنالیتیکال انگلستان مورد تجزیه قرار گرفت. مبنای استاندارد مورد استفاده برای تعیین نسبت ایزوتوپی گوگرد ($\delta^{34}\text{S}$) در تمامی نمونه‌های ایزوتوپی فاز سولفیدی، ترویلیت شهاب سنگ آهنی کانیون دیابلو آریزوناست.

$\pm 1^\circ$ و محدوده حرارتی دستگاه بین 190°C تا 600°C درجه سانتی‌گراد است. مقدار شوری بر طبق بودنار (Bodnar, 1993) در سیستم $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ و مقدار چگالی سیالات درگیر با استفاده از نرم‌افزار FLINCOR و بر اساس اطلاعات دماسنجی بر طبق براون و لمب (Brown and Lamb, 1989) محاسبه شده است. هیستوگرام‌های مناسب در نرم‌افزار SPSS ترسیم شد.



شکل ۱. A: موقعیت جغرافیایی منطقه چشمه‌خوری در ایران، B: در شمال خور و C: راه‌های دسترسی به آن

Fig. 1. A: Location map of the Cheshmeh Khuri area in Iran, B: in the north Khur area and C: access routes to it

به دلیل رخنمون کم در مقیاس نقشه زمین‌شناسی قرار نگرفت. واحدهای آتشفشانی در بخش بالایی واحدهای آذرآواری قرار گرفته‌اند. بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی سنگ‌های آتشفشانی این منطقه به‌طور کلی شامل ریولیت، داسیت، آندزیت، تراکی آندزیت و آندزیت بازالتی با بافت‌های پورفیری، میکرولیتی و هیالوپورفیری هستند. واحد آندزیتی نسبت به دیگر واحدهای آتشفشانی بیشترین و واحد آندزیت‌بازالتی کمترین گسترش را در منطقه چشمه‌خوری نشان

زمین‌شناسی

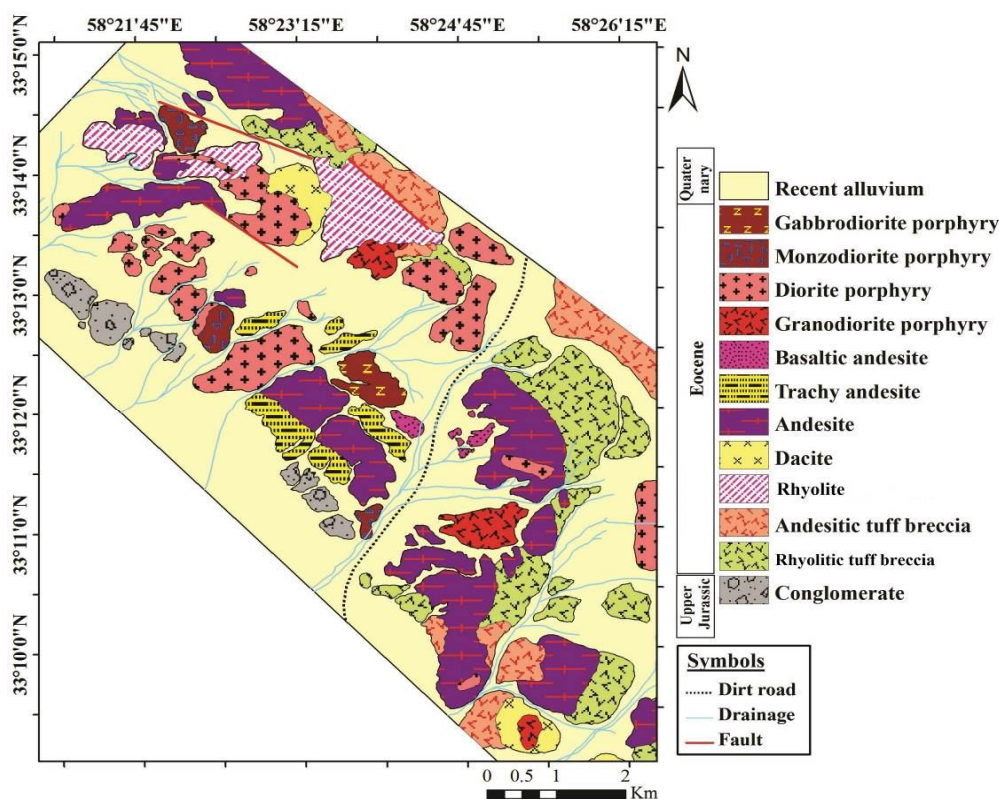
محدوده چشمه‌خوری در شمال غرب بیرجند و در قسمت جنوب شرق نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سارغنج (Lotfi, 1995) قرار دارد. قدیمی‌ترین واحد در منطقه مورد بررسی کنگلومرای ژوراسیک بوده که با گسترش خیلی کم در جنوب غرب منطقه رخنمون دارد (Lotfi, 1995). در منطقه چشمه‌خوری واحدهای آذرآواری توف برش آندزیتی، توف برش ریولیتی و توف داسیتی به‌صورت توالی‌های لایه‌ای قرار گرفته‌اند. توف داسیتی

می‌دهند (شکل ۲).

واحدهای نیمه عمیق با ترکیب گابرو دیوریتی تا گرانودیوریتی در واحدهای آذرآواری منطقه نفوذ کرده‌اند (شکل ۲). واحد گابرو دیوریت پورفیری در جنوب منطقه چشمه خوری رخنمون دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت پورفیری با زمینه دانه درشت است. در بعضی قسمت‌ها بافت گلومروپورفیری نیز دیده می‌شود که حاصل تجمع کلینوپیروکسن‌هاست. فنو کریست‌ها (۴۰ تا ۴۵ درصد) شامل پلاژیو کلاز از نوع لابرادوریت، کلینوپیروکسن و الیوین است. زمینه شامل پلاژیو کلاز و پیروکسن است. واحد دیوریت پورفیری دارای بیشترین گسترش در مقایسه با سایر توده‌های نیمه عمیق در منطقه چشمه خوری است (شکل ۲). بافت سنگ پورفیری بوده و فنو کریست‌های (۴۵ تا ۵۵ درصد) تشکیل دهنده سنگ شامل پلاژیو کلاز از نوع الیگو کلاز - آندزین، آلكالی فلدسپار (ارتو کلاز)، هورنبلند، و کلینوپیروکسن (اوژیت) است. زمینه

سنگ نیز شامل کانی‌های یاد شده است.

مونزودیوریت پورفیری رخنمون کمی در منطقه چشمه خوری دارد (شکل ۲). این واحد دارای بافت پورفیری بوده و فنو کریست‌های (۳۵ تا ۴۰ درصد) آن شامل پلاژیو کلاز از نوع الیگو کلاز - آندزین، آلكالی فلدسپار، هورنبلند و پیروکسن است. در زمینه، بلورهای دانه ریز پلاژیو کلاز و پیروکسن (اوژیت) به همراه مگنتیت دیده می‌شود. گرانودیوریت پورفیری در بخش شرق و جنوب شرق منطقه چشمه خوری به صورت استوک درون واحدهای آذرآواری بیرون زده است (شکل ۲). این واحد دارای بافت پورفیری و گلومروپورفیری با زمینه ریزدانه است. فنو کریست‌ها (۳۵ تا ۴۰ درصد) شامل پلاژیو کلاز (آلیت) و آلكالی فلدسپار (ارتو کلاز)، بیوتیت، کوارتز و هورنبلند هستند. زمینه سنگ نیز حاوی آلكالی فلدسپار، کوارتز، پلاژیو کلاز و بیوتیت است. با توجه به بررسی‌های صحرائی و پتروگرافی توده مرتبط با کانی‌سازی در سطح شناسایی نشد.



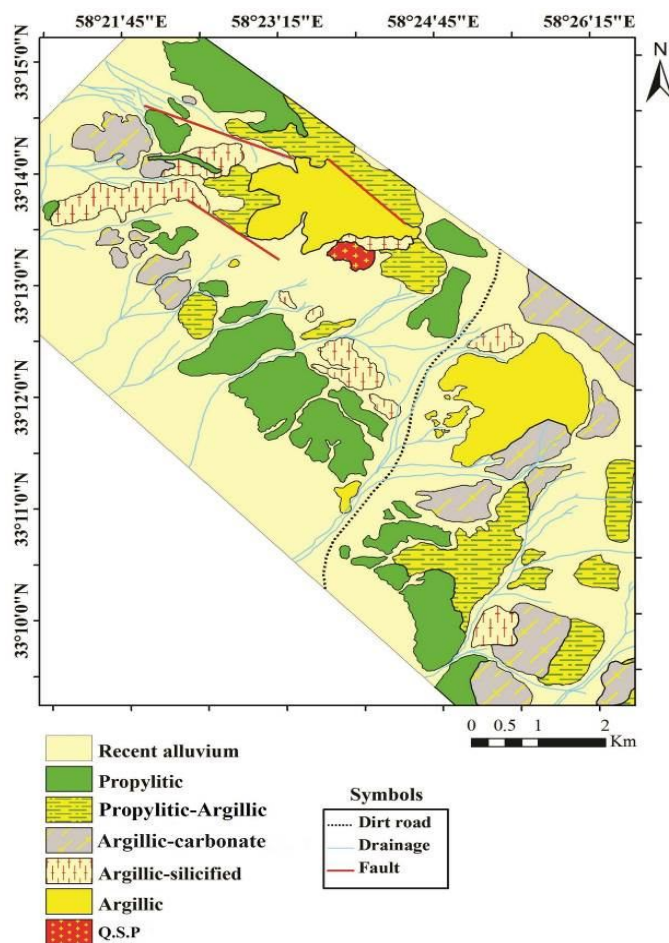
شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه چشمه خوری

Fig. 2. Geological map of Cheshmeh Khuri district

دگرسانی

در این منطقه چهار نوع دگرسانی اصلی در سطح شناسایی شده است که عبارتند از: ۱- پروپلیتیک، ۲- آرژیلیک، ۳- کوارتز-سریسیت-پیریت و ۴- سیلیسی. این چهار نوع دگرسانی بر اساس فراوانی کانی‌های حاصله به ۷ زیر زون تفکیک شده‌اند که عبارتند از: ۱- پروپلیتیک، ۲- پروپلیتیک-آرژیلیک، ۳- آرژیلیک-کربناته، ۴- آرژیلیک-سیلیسی، ۵- آرژیلیک، ۶-

کوارتز-سریسیت-پیریت و ۷- سیلیسی (شکل ۴- A، B، C، D، E و F). این دگرسانی‌ها دارای الگویی با تمرکز نسبی در محدوده کانسار هستند. به این صورت که دگرسانی‌های کوارتز-سریسیت-پیریت و آرژیلیک در مرکز سیستم و دگرسانی پروپلیتیک در اطراف و حاشیه گسترش یافته‌اند (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه دگرسانی منطقه چشمه‌خوری

Fig. 3. Alteration map of Cheshmeh Khuri district

دگرسانی پروپلیتیک

دگرسانی پروپلیتیک در واحدهای آندزیتی و مونزونیت پورفیری در شمال‌غرب منطقه و در واحدهای آندزیت، تراکی

آندزیت و دیوریت پورفیری در جنوب و جنوب‌غرب منطقه مشهود است (شکل ۳). یکی از مهم‌ترین شاخص‌های این دگرسانی، حضور کانی‌های اپیدوت و کلریت بوده که به

پاره‌ای از پلاژیو کلازها به‌طور بخشی و یا کامل به کربنات دگرسان شده‌اند. پرشدگی شکستگی‌ها توسط کلسیت اغلب در این زون قابل مشاهده است (شکل ۵-۳). همچنین رگچه‌های کربناته و دولومیت در این زون قابل شناسایی هستند. سیلیس، ژپس و کلریت از دیگر کانی‌های این زون هستند.

دگرسانی آرژیلیک - سیلیسی

دگرسانی آرژیلیک - سیلیسی واحدهای آندزیت و داسیت در شمال غرب و واحدهای توف برش آندزیتی، تراکی آندزیت، آندزیت‌بازالتی، گابرو دیوریت و دیوریت پورفیری را در مرکز منطقه مورد بررسی تحت تأثیر قراردادده است (شکل ۳). فلدسپارها اغلب به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند (شکل ۴-۲) و در بعضی قسمت‌ها فقط غالب کانی باقی مانده است. زمینه سنگ، سیلیسی شده (۳ تا ۷ درصد) است (شکل ۵-۲). همچنین سیلیس به‌صورت رگچه‌ای و پرکننده حفره‌ها دیده می‌شود. در بعضی قسمت‌های این زون دگرسانی، شدت سیلیسی شدن افزایش یافته و باعث تشکیل آگات (کلسدون) شده است. سریسیت، ژپس، پیریت به همراه کلسیت از دیگر کانی‌های این دگرسانی است. نتایج XRD از این دگرسانی حضور کائولینیت، ایلیت، کوآرتز و آلپیت را نشان می‌دهد.

دگرسانی آرژیلیک

این دگرسانی اغلب در مرکز و شمال غرب منطقه چشمه‌خوری قابل مشاهده است (شکل ۳). این دگرسانی اغلب واحدهای آندزیتی، تراکی آندزیتی، داسیتی، ریولیتی، دیوریت پورفیری و مونزونیت پورفیری را تحت تأثیر قراردادده است. محدوده دگرسانی به‌صورت خاک نرم و به رنگ سفید و گاهی زرد تا قهوه‌ای در نتیجه اکسیداسیون سولفیدها دیده می‌شود (شکل ۴-۲). شدت دگرسانی در این بخش به‌حدی است که سنگ اولیه قابل تشخیص نیست و در مناطق با شدت کمتر تنها قالبی از پلاژیو کلاز دیده می‌شود که به کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که گسترش زون‌های

سنگ‌ها رنگ سبز می‌دهند (شکل ۴-۲). کانی‌های این زون دگرسانی شامل اپیدوت، کلریت، کلسیت و به مقدار کمتر مگنتیت HSJ. پلاژیو کلازها اغلب تبدیل به اپیدوت و کربنات شده‌اند. همچنین اپیدوت به‌صورت رگچه‌ای نیز در زمینه واحدهای سنگی قابل شناسایی است. کانی‌های مافیک (پیروکسن، هورنبلند) اغلب به کلریت (شکل ۵-۲) و به میزان کمتر به اپیدوت تبدیل شده‌اند. مقدار اپیدوت از ۸ تا ۱۰ درصد، کلریت از ۱۵ تا ۲۰ درصد، کربنات از ۵ تا ۷ درصد و مگنتیت از ۲ تا ۳ درصد متغیر است. همچنین در این زون رگچه‌های اکسید آهن شناسایی شد.

دگرسانی پروپلیتیک - آرژیلیک

این دگرسانی واحدهای توف برش آندزیتی و دیوریت پورفیری در بخش شمال غرب و واحدهای آندزیت و توف برش ریولیتی را در جنوب شرق منطقه تحت تأثیر قراردادده است (شکل ۳). کانی‌های این زون دگرسانی شامل اپیدوت، کلریت، کانی‌های رسی، کلسیت و مگنتیت است. پلاژیو کلازها اغلب از مرکز تبدیل به کانی‌های رسی شده‌اند (شکل ۵-۲). پیروکسن‌ها و هورنبلندها اغلب به کلریت و به میزان کمتر به مگنتیت تبدیل شده‌اند. کربنات‌ها اغلب به‌صورت رگچه‌ای و به میزان کمتر به‌صورت پراکنده دیده می‌شوند. مقدار کلریت از ۱۰ تا ۱۵ درصد، اپیدوت از ۵ تا ۷ درصد، کانی‌های رسی از ۸ تا ۱۰ درصد، کربنات از ۵ تا ۷ درصد و مگنتیت کمتر از ۲ درصد متغیر هستند.

دگرسانی آرژیلیک - کربناته

این دگرسانی در واحدهای ریولیت، داسیت و دیوریت پورفیری در شمال غرب و آندزیت، توف برش آندزیتی و دیوریت پورفیری در شمال شرق منطقه شناسایی شد (شکل ۳). در این دگرسانی، کانی‌های رسی در حاشیه و مرکز فلدسپارها جایگزین شده‌اند (شکل ۵-۲). بر اساس بررسی‌های XRD، کانی رسی شناسایی شده در این زون ایلیت است. علاوه بر کانی‌های رسی،

به صورت پراکنده در زمینه دیده می‌شود. رگچه‌های کوارتز-سریسیت-پیریت اغلب به صورت نامنظم و متقاطع دیده می‌شوند که می‌توان آنها را تحت عنوان استوک‌ورک نام برد. همچنین در این زون، منگنز به صورت دندریتی و به میزان کمتر به صورت دانه پراکنده دیده می‌شود. این زون اغلب تحت تأثیر دگرسانی آرزلیک سوپرژن قرار گرفته است.

دگرسانی سیلیسی

در زون سیلیسی، واحدها اغلب سیلیسی شده‌اند. مورفولوژی این زون به دلیل مقاومت بسیار بالای واحدهای سیلیسی شده، اغلب برجسته‌تر از سنگ‌های اطراف خود و ارتفاع‌ساز است. رنگ این واحدها اغلب خاکستری تا سیاه بوده؛ ولی در مواردی نیز به رنگ روشن و سفیدرنگ هستند. سیلیسی شدن بر حسب شدت و شکل آن به چند حالت دیده می‌شود که شامل رگه‌های توده‌ای سیلیسی و کلاهیک سیلیسی است. با توجه به گسترش کم این دگرسانی، در مقیاس نقشه تهیه شده قابل نمایش نبود.

رگه‌های توده‌ای سیلیسی

سیلیس دانه‌ریز سفید-خاکستری روشن به صورت رگه‌های سیلیسی با روند شمال غرب-جنوب شرق هم‌روند با گسل‌های منطقه گسترش دارد که حاوی سولفیدهای ریزدانه پراکنده و رگچه‌ای است و با توجه به توپوگرافی برجسته و دگرسانی آرزلیک در حاشیه خود، مشخص می‌شود. این زون اغلب در بخش بالایی سیستم و همراه با دگرسانی آرزلیک دیده می‌شود (شکل ۴-F).

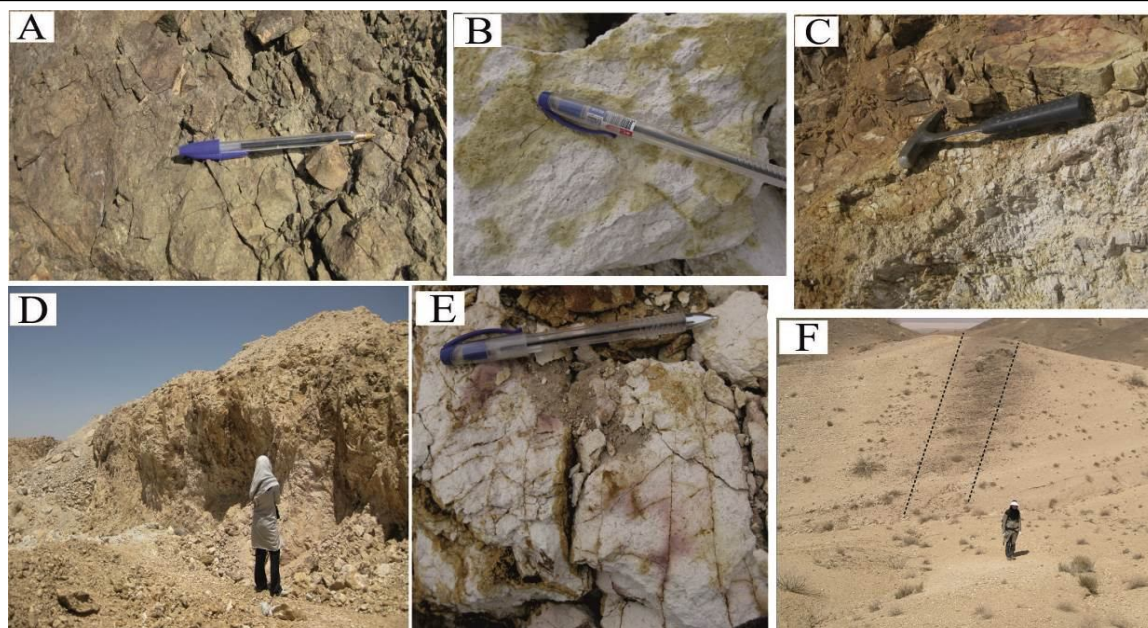
روابط صحرائی و بررسی‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که زون‌های دگرسانی بر اساس تقدم و تأخر عبارتند از: زون کوارتز-سریسیت-پیریت و زون پروپلیتیک، سپس بین زون کوارتز-سریسیت-پیریت و پروپلیتیک، به ترتیب زون‌های آرزلیک، آرزلیک-سیلیسی، سیلیسی، اسیدشویی و گوسان تشکیل شده‌اند که مشابه با کلاهیک سنگی ارائه شده برای سیستم‌های پورفیری شناخته شده است. به اسیدشویی، گوسان و کلاهیک سیلیسی در بخش کانی‌سازی اشاره خواهد شد.

کانولیتی در این منطقه اغلب منطبق بر چندین گسل است (شکل ۴-D). به نظر می‌رسد محلول‌های گرمایی از طریق این گسل‌ها به واحدهای یادشده تزریق شده است که به نوبه خود سبب توسعه زون‌های دگرسانی گسترده در منطقه و به مرور زمان به تشکیل کانولن منجر شده‌اند. در زون آرزلیک ذخیره معدنی تشکیل نمی‌شود؛ ولی در صورت پایین بودن سولفید و اکسیدهای آهن، این زون برای وجود کانولن حائز اهمیت است (Karimpour and Saadat, 2002). کربنات و سیلیس به میزان خیلی کم نیز در این زون دیده می‌شود. بر اساس نتایج XRD کانی‌های شناسایی شده در این زون شامل کانولینیت، ایلیت و کوارتز است. کانی‌های فرعی توپاز، همتیت، ژیپس و مسکویت نیز در بعضی نمونه‌ها شناسایی شدند. در این زون، منگنز اغلب به صورت دندریتی دیده می‌شود. همچنین با توجه به بررسی‌های کانی‌شناسی در محدوده مورد بررسی کانی‌های شاخص دگرسانی آرزلیک پیشرفته مانند آلونیت، پیروفیلیت و دیکیت تشخیص داده نشده است.

دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت

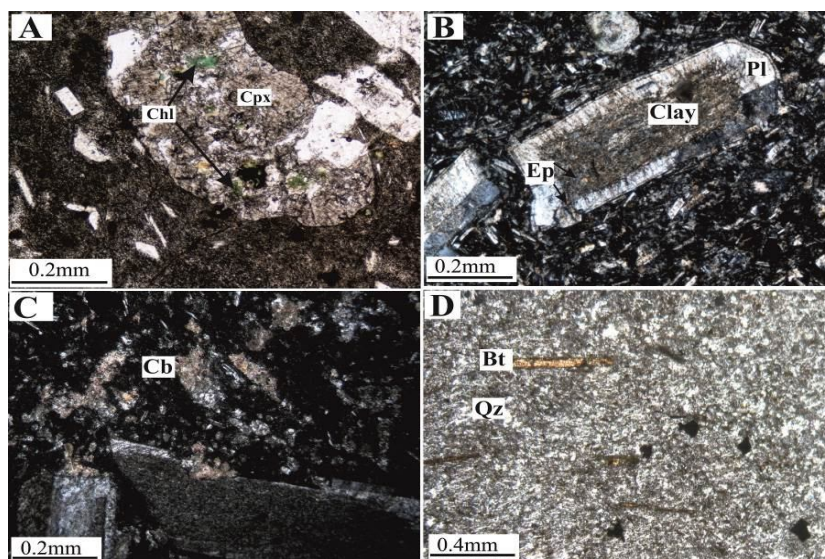
این دگرسانی در محل ترانشه‌ای که در شمال منطقه حفر شده، رخنمون دارد (شکل ۳). دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت مهم‌ترین و اصلی‌ترین دگرسانی گرمایی رخ داده در منطقه چشمه‌خوری است. این دگرسانی با گسترش محدود در سطح، واحد گرانودیوریت پورفیری را تحت تأثیر قرار داده است. سریسیت حاصل دگرسانی فلدسپارها بوده و به صورت بلورهای بسیار ریز تا بلورهای شکل دار ریز مسکویت به همراه کوارتز به صورت اجتماعات ثانویه در متن سنگ دیده می‌شود. همچنین در برخی قسمت‌ها به صورت رگچه‌های سریسیت-کوارتز-پیریت دیده می‌شود.

پیریت مهم‌ترین کانی سولفیدی این زون بوده که به صورت بلورهای نیمه‌شکل دار تا بی‌شکل پراکنده در متن سنگ و یا در رگچه دیده می‌شود. پیریت‌ها در بعضی قسمت‌های ترانشه (به ویژه نزدیک سطح)، تبدیل به اکسیدهای آهن ثانویه شده‌اند (شکل ۴-E). کوارتز اغلب به صورت رگچه‌ای و به میزان کمتر



شکل ۴. A: دگرسانی پروپلیتیک در سطح زمین که ظاهری سبزرنگ به واحد آندزیتی داده است، B: دگرسانی آرژلیک-سیلیسی، C: کائولن در محل ترانشه، D: نمایی از شکل‌گیری کائولن در زون گسلی، E: اکسیداسیون رگچه‌های پیریتی در زون دگرسانی کوارتز-سرسیت-پیریت و F: رگه سیلیسی در شمال منطقه چشمه‌خوری

Fig. 4. A: Propylitic alteration on the surface of the earth giving the green appearance to the Andesite unit, B: argillic-silicified alteration, C: kaolin at the trench, D: the effects of striations related to faults, E: Oxidation of pyrite's veinlets in quartz-sericite-pyrite alteration zone, and F: massive silica vein in north of Cheshmeh Khuri area



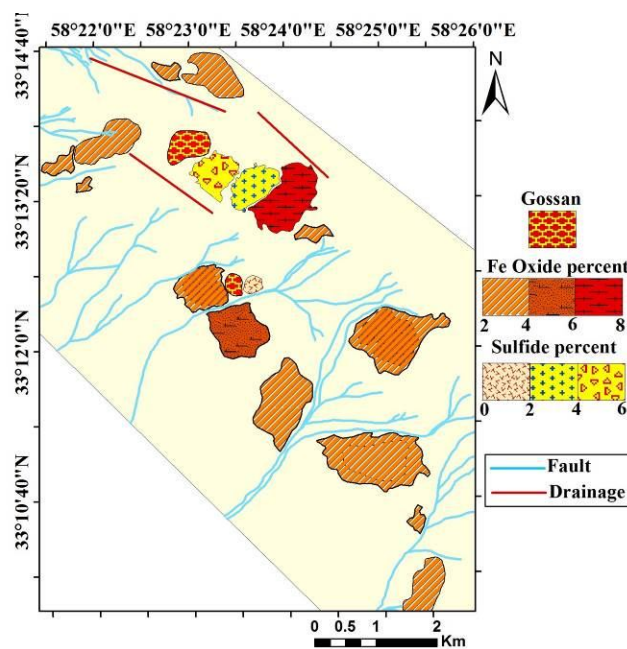
شکل ۵. A: دگرسانی پروپلیتیک در واحد آندزیتی، B: دگرسانی آرژلیک-پروپلیتیک در واحد دیوریت پورفیری، C: دگرسانی آرژلیک-کربناته در واحد آندزیتی و D: دگرسانی آرژلیک-سیلیسی در واحد توف برش آندزیتی در منطقه چشمه‌خوری. Bt: بیوتیت، Cb: کربنات، Qz: کوارتز، Pl: پلاژیوکلاز، Ep: اپیدوت، Chl: کلریت، Cpx: کلینوپیروکسن. علائم اختصاری بر اساس ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010)

Fig. 5. A: Propylitic alteration in andesite unit, B: Argillic-propylitic alteration in diorite porphyry, C: Argillic-carbonate alteration in andesite unit, and D: Argillic-silicified alteration in andesitic tuff breccia in Cheshmeh Khuri area. Bt: biotite, Cb: carbonate, Qz: quartz, Pl: plagioclase, Ep: epidote, Chl: chlorite, Cpx: clinopyroxene. Abbreviations after Whitney and Evans (2010)

کانی‌سازی

با توجه به پیمایش‌های صحرائی و بررسی‌های پتروگرافی و مینرالوگرافی، تمرکز کانی‌سازی در بخش شمال منطقه چشمه‌خوری رخ داده است و در سایر نقاط کانی‌سازی به صورت اکسید آهن ثانویه با درصد کمتر دیده می‌شود (شکل ۶). کانی‌سازی به صورت سولفیدی و اکسیدهای آهن ثانویه حاصل

از هوازدگی سولفیدها) به شکل‌های زیر مشاهده می‌شود: ۱- کانی‌سازی افشان، ۲- کانی‌سازی استوک‌ورک و ۳- کانی‌سازی رگچه‌ای. زون‌های دگرسانی واجد کانی‌سازی، اغلب شامل زون کوارتز- سریسیت- پیریت، زون پروپلیتیک و به میزان کمتر زون آرژلیک- سیلیسی و سیلیسی هستند (شکل ۹).



شکل ۶. نقشه کانی‌سازی منطقه چشمه‌خوری

Fig. 6. Mineralization map of Cheshmeh Khuri district

دانه‌ریز خودشکل کوییک، نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل (در ابعاد ۵۰ میکرون تا ۲ میلی‌متر) بین ۳ تا ۶ درصد مشاهده می‌شود (شکل ۷-A) و اغلب طی فرایندهای هوازدگی در مرکز به گوتیت و در حاشیه به لیمونیت اکسید شده‌اند و به شکل جزیره‌ای و باقی‌مانده در میان اکسیدهای آهن دیده می‌شود.

تراکم رگچه‌ها در زون کوارتز- سریسیت- پیریت به بیش از ۱۵ رگچه مویی در واحد متر مربع می‌رسد. تقریباً تمامی رگچه‌های رخنمون‌یافته در سطح هوازده شده‌اند و به اکسیدهای آهن ثانویه تبدیل شده‌اند. رگچه‌های سولفیدی با هوازدگی کمتر فقط در محل ترانشه قابل مشاهده است. رگچه‌ها را در این زون

کانی‌سازی همراه با زون سریسیت- کوارتز- پیریت: در این زون کانی‌سازی رگچه‌ای اغلب به صورت موازی و گاهی نامنظم و متقاطع دیده می‌شوند که از آن تحت عنوان کانی‌سازی استوک‌ورک یاد شده است. کوارتز در این رگچه‌ها به صورت بی‌شکل و ریزبلور و کلسیت به شکل بلورهای بدون ماکل با حاشیه اکسید آهنی دیده می‌شود.

شدت کانی‌سازی با افزایش تراکم رگچه‌ها و مقدار کانی‌های سولفیدی مشخص می‌شود. در این زون، پیریت معمول‌ترین و اصلی‌ترین کانی سولفیدی اولیه است که به شکل پراکنده و استوک‌ورکی دیده می‌شود. پیریت افشان به صورت بلورهای

رگچه‌هاست.

کانی‌سازی همراه با زون پروپلیتیک: بخش بسیار کوچکی از کانی‌سازی در دگرسانی پروپلیتیک دیده می‌شود. این کانی‌سازی نشان‌دهنده آخرین مراحل فعالیت محلول‌کننده در منطقه است. کانی‌سازی اغلب به صورت پراکنده و به میزان کمتر رگچه‌ای دیده می‌شود. کانی‌سازی پراکنده شامل کمتر از یک درصد پیریت تا اندازه ۵۰ میکرون است. مگنتیت حاصل از تجزیه هورنبلند هم دیده می‌شود؛ ولی این کانی به صورت اولیه در رگچه‌ها مشاهده‌نشده. رگچه‌های اکسید آهن نیز در این زون دیده می‌شوند که نشان‌دهنده اکسیده شدن شدید آنهاست. رگچه‌های اکسید آهن - کلسیت، رگچه‌های پیریت - کربنات - کوارتز (شکل ۷-۱)، رگچه‌های کربنات در این زون شناسایی شد. فراوان‌ترین نوع رگچه‌ها اغلب همراه با کلسیت بوده که در بعضی قسمت‌ها بافت شانه‌ای را ایجاد کرده است.

بررسی بافت، همیافت و ترکیب عناصر فرعی پیریت می‌تواند چگونگی و نحوه تکامل سیستم‌های کانی‌سازی را فراهم کند. ترکیب پیریت و کانی‌های موجود اغلب توسط شرایط فیزیکی و شیمیایی سیالات گرمایی کنترل می‌شود. بنابراین عناصر فرعی پیریت می‌تواند به ترکیب سیال و محیط فلزایی اشاره داشته باشد (Abraitis et al., 2004; Cook et al., 2009; Agangi et al., 2013). پیریت‌های طولدار معمولاً آرسنیک‌دار هستند که به نظر می‌رسد عنصر آرسنیک برای به‌تله‌انداختن طلا در پیریت ضروری است (Barton, 1969). پیریت می‌تواند تغییرات ژئوشیمیایی محلول را ثبت کند و به‌عنوان یک نظارت‌کننده در تکامل محلول عمل کند (Franchini et al., 2015).

از آنجا که کانی‌سازی پیریت به دو صورت پراکنده و رگچه‌ای رخ داده است، بنابراین بررسی‌های ریزپردازنده الکترونی بر روی هر دو نوع پیریت انجام شد (جدول ۱ و شکل ۷-۱ و ۷-۲). از بین میانگین عناصر موجود در پیریت‌های پراکنده، آرسنیک با میانگین ۱/۲ درصد وزنی بیشترین مقدار را در بین عناصر به خود

بر اساس کانی‌شناسی می‌توان به سه نوع تفسیم کرد:

رگچه کوارتز - پیریت: فراوان‌ترین نوع رگچه‌ها در این منطقه است (شکل ۷-۲). تراکم این رگچه‌ها بین ۵ تا بیش از ۱۰ رگچه در واحد متر مربع و حتی گاهی به ۱۵ رگچه هم می‌رسد. ضخامت این رگچه‌ها حدود ۱ میلی‌متر است.

رگچه پیریت: ضخامت این رگچه‌ها از کمتر از ۱ میلی‌متر تا ۱ سانتی‌متر تغییر می‌کند. پیریت‌ها معمولاً شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و ابعادشان به ۱/۱ تا ۰/۲ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۷-۳).

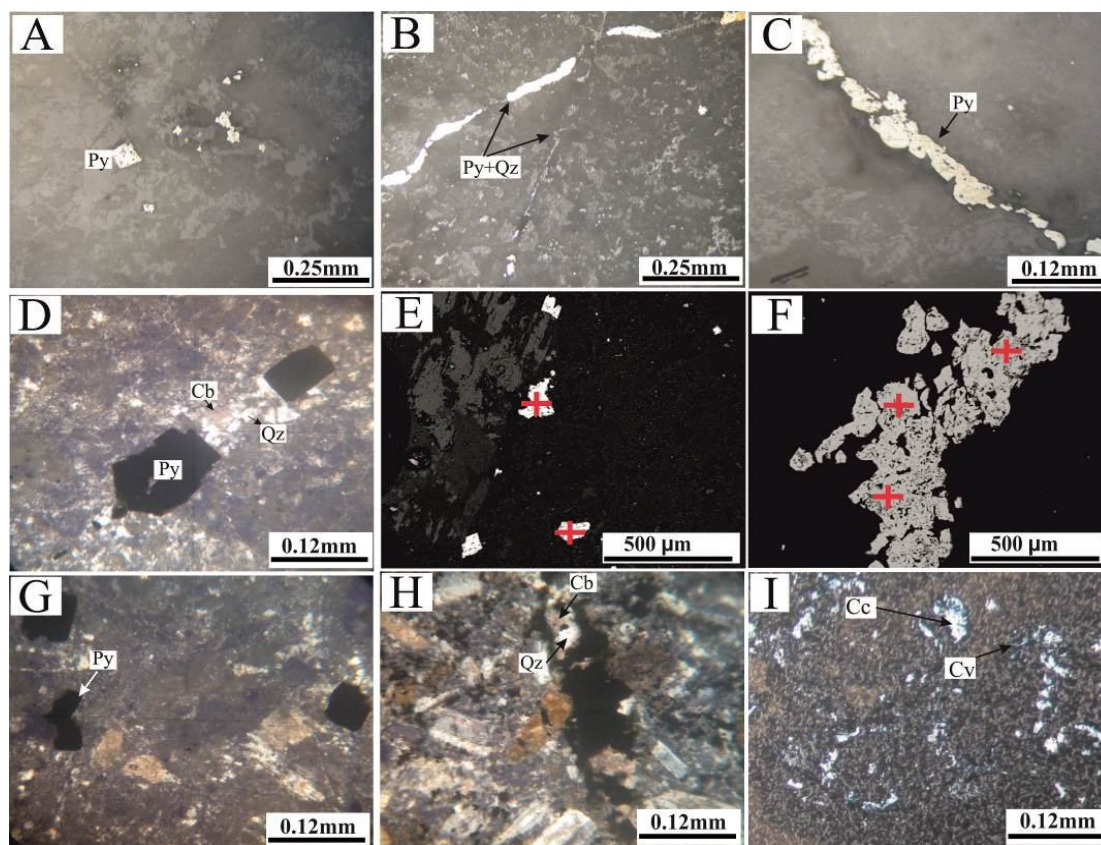
رگچه کربنات - کوارتز - پیریت: این رگچه‌ها با تراکم حدود ۳ رگچه در متر مربع در این زون حضور دارد. ضخامت این رگچه‌ها ۲ تا ۵ میلی‌متر است و در بعضی قسمت‌ها دارای بافت شانه‌ای هستند. کربنات به صورت دانه‌ریز تا متوسط در حاشیه رگچه قرار دارد و در مرکز کوارتز به همراه پیریت حضور دارد (شکل ۷-۴). کانی کالکوپیریت در نمونه‌های بررسی شده از این زون دیده‌نشده و چنانچه حضور نیز داشته است، کاملاً اکسید شده است و وجود کالکوسیت و کوولیت دلالت بر حضور کالکوپیریت داشته است (شکل ۷-۵).

کانی‌سازی همراه با زون آرژیلیک: در زون آرژیلیک کانی‌سازی خاصی مشاهده نمی‌شود و تنها پیریت نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل به مقدار کم (در حدود ۱ تا نهایت ۲ درصد) به شکل پراکنده و در درزه‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۷-۶). این درزه‌ها اغلب شامل لیمونیت، کلسیت و کوارتز است.

کانی‌سازی همراه با زون آرژیلیک - سیلیسی: در این زون کانی‌سازی به صورت رگچه‌ای بوده و کانی‌سازی دانه پراکنده در این زون یافت‌نشده. رگچه‌های کوارتز - اکسید آهن، رگچه‌های کربنات - اکسید آهن - کربنات، رگچه‌های اکسید آهن - کربنات، رگچه‌های سیلیسی و به‌ندرت رگچه‌های کربنات در این زون شناسایی شد. وجود اکسیدهای آهن نشان‌دهنده اکسیده شدن شدید کانی‌های سولفیدی اولیه در این

آرسنیک داشته باشند و این چنین پیریت‌هایی از سایر عناصر فرعی و کمیاب، به‌ویژه Au غنی هستند، به‌نظر می‌رسد پیریت‌های غنی از As در دماهای نسبتاً پایین تشکیل شده باشند و اغلب شکل‌هایی را تشکیل می‌دهند که بیانگر سرعت تشکیل بالای کانی است (Abraitis et al., 2004). بنابراین محتوای کم آرسنیک در پیریت‌های منطقه می‌تواند نشان از نبود طلا در پیریت باشد. همچنین حضور مس، روی و آنتیموان در ترکیب پیریت نشان‌دهنده حضور این عناصر در سیال کانه‌ساز است.

اختصاص داده است و بقیه عناصر به‌ترتیب عبارتند از: بیسموت: (۰/۱۴ wt.%)، مسس (۰/۰۸ wt.%)، روی (۰/۰۵ wt.%)، آنتیموان (۰/۰۴ wt.%) و تلوریوم (۰/۰۱ wt.%) (جدول ۱). میانگین عناصر موجود در پیریت‌های رگچه‌ای شامل آرسنیک ۰/۸ wt.%، مس ۰/۰۴ wt.%، روی ۰/۰۱ wt.% و تلوریوم ۰/۰۱ wt.% هستند (جدول ۱). عناصر مس، روی، آرسنیک و آنتیموان در پیریت‌های پراکنده فراوان‌تر از پیریت‌های رگچه‌ای هستند. پیریت‌های آرسنیک‌دار ممکن است بالای ۱۰ درصد



شکل ۷. A: پیریت پراکنده اغلب به‌صورت نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار، B: رگچه‌های کوارتز-پیریت در زون کوارتز-سرسیت-پیریت، C: رگچه پیریت، D: رگچه‌های کوارتز پیریت-کربنات در زون کوارتز-سرسیت-پیریت، E: تصاویر الکترونی از پیریت به‌صورت پراکنده، F: پیریت به‌صورت رگچه‌ای، G: پیریت پراکنده به‌صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار در زون آرژیلیک، H: رگچه‌های کوارتز-پیریت-کربنات در زون پروپلیتیک و I: کالکوسیت و کوولیت در منطقه چشمه‌خوری. Py: پیریت، Qz: کوارتز، Cb: کربنات، Cc: کالکوسیت و Cv: کوولیت. غلامی اختصاری بر اساس ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010)

Fig. 7. A: Disseminated pyrite as subhedral to euhedral, B: quartz-pyrite veinlets in quartz-sericite-pyrite zone, C: pyrite veinlet, D: quartz-pyrite-carbonate veinlets in quartz-sericite-pyrite zone, E: electronic image of pyrite as disseminated, F: pyrite as veinlet, G: disseminated pyrite as subhedral to euhedral in argillic zone, H: quartz-pyrite-carbonate veinlets in propylitic zone, and I: chalcocite and covellite in Cheshmeh Khuri area. Py: Pyrite, Qz: Quartz, Cb: Carbonate, Cc: Chalcocite, Cv: Covellite. Abbreviations after Whitney and Evans (2010)

جدول ۱. میانگین نتایج آنالیز EPMA برای کانی پیریت در منطقه چشمه‌خوری

Table 1. The average EPMA analysis results for mineral pyrite in the Cheshmeh Khuri area

Mineral	Mineralization	Number	Cu	S	Fe	As	Ag	Zn	Pb	Bi	Te	Sb
Pyrite	Disseminated	5	0.08	53.56	45.7	1.2	-	0.05	-	0.14	0.01	0.04
Pyrite	Veinlet	7	0.04	54.12	45.46	0.8	-	0.01	-	0.17	0.01	-

زون اکسیدان

کانی‌های سولفیدی در معرض هوازدگی شدید و آب‌های جوی قرار گرفته و در اثر اکسیدشدن جای خود را به کانی‌های سولفیدی ثانویه (کالکوسیت و کوولیت)، اکسیدهای آهن ثانویه هماتیت، گوتیت و یا کانی‌های سولفاتمانند ژاروسیت و نیز کانی‌هایی مانند مالاکیت و غیره داده‌اند. رنگ قرمز قهوه‌ای ایجادشده در رگچه‌ها (شکل ۸-۸)، سنگ‌ها و قالب‌هایی از کانی پیریت افشان که به گوتیت تبدیل شده‌اند، همگی بیانگر تشکیل زون اکسیدان در سطح زمین هستند.

در برخی مناطق مربوط به زون اکسیدان کانی ژاروسیت به شکل‌های پرکننده شکستگی و جانشینی در پیریت رگچه‌ای دیده می‌شود (شکل ۸-۸). شکل‌گیری ژاروسیت در ارتباط با اکسیداسیون پیریت‌ها و ایجاد محیطی اسیدی (محیط اسیدی با فوگاسیته اکسیژن بالا (Stoffregen, 1987) و غنی از سولفات) است. علاوه بر این، وجود بافت لیزگانگ^۱ در محل ترانشه‌ها و سطح زمین نیز در ارتباط با اکسیداسیون تشکیل شده است. این بافت به صورت حلقه‌های متحدالمرکز از اکسیدهای آهن به رنگ قرمز و یا قهوه‌ای تشکیل می‌شود (شکل ۸-۸) و نشانه شرایط اکسیداسیون است. در اثر نفوذ مکرر آب‌های سطحی، سبب شسته‌شدن اکسیدهای آهن و ته‌نشست آنها به شکل قشرهای رنگین می‌شود. همچنین به علت حضور زون‌هایی که تحت تأثیر محلول‌های اسیدی مانند دگرسانی اسید-سولفات و زون‌های اسیدشویی قرار گرفته‌اند، در شرایط هوازدگی، کانی‌های ثانویه ژینس (شکل ۸-۸) و گوگرد عنصری (شکل ۸-۸) در این زون تشکیل شده‌اند. در مواردی

که اسیدشویی تحت Eh اکسیدان و pH کاملاً اسیدی منطقه ادامه و گسترش یافته و به تشکیل زون گوسان و کلاهک سیلیسی منجر شده است که به کلاهک سنگی (Sillitoe, 1993; Sillitoe et al., 1998)، در سیستم‌های مس پورفیری معروف است.

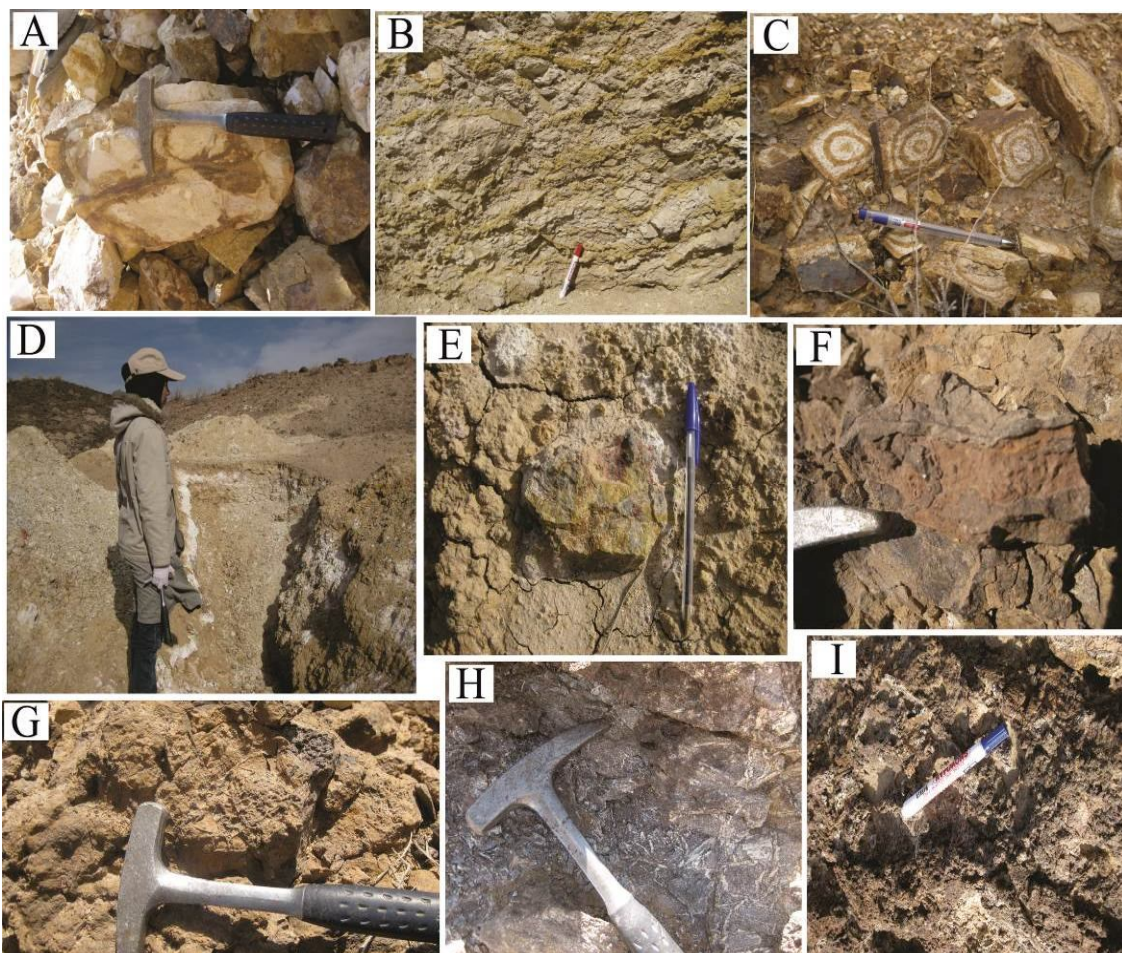
گوسان

زون گوسان در مرتفع‌ترین بخش زون آرژیلیک، زون‌های قرمز تیره تا قهوه‌ای رنگ دیده می‌شود (شکل ۸-۸). گوسان به توده‌ای از برجای‌مانده‌های مواد اکسید آهنی حاصل از اکسیداسیون نهشته‌های سولفیدی آهن‌دار (اغلب پیریت)، انحلال و ته‌نشست کانی‌های ثانویه گفته می‌شود که همراه با تولید اسید سولفوریک و ایجاد زون‌های اسیدشویی فراگیر است. کانی‌شناسی زون گوسان شامل هیدرواکسیدهای آهن آمورف، گوتیت، هماتیت، لیمونیت، ژاروسیت همراه با کانی‌های باطله ژینس، کانی‌های رسی، سیلیس و به مقدار کم کانی‌های کربناته است. بیشترین توزیع اکسیدهای آهن در منطقه منطبق بر کلاهک‌های گوسان (گاه تا ۱۰ درصد) است. در این مناطق به دلیل اکسیداسیون زیاد، رنگ قهوه‌ای تیره در سنگ‌ها ایجادشده و همه کانی‌های سنگ و کانی‌های سولفیدی از بین رفته است و فقط کوارتزهای رگچه‌ای به صورت دیواره سیلیسی سخت، بافت جعبه‌ای را به وجود آورده‌اند (شکل ۸-۸). همچنین باریت در بعضی قسمت‌های زون گوسان مشاهده شد که می‌تواند مربوط به مراحل تأخیری از فعالیت‌های هیدروترمالی در منطقه باشد (شکل ۸-۸).

کلاهک سیلیسی

کلاهک سیلیسی به شکل توده‌های سیلیسی بی‌قاعده^۱ و کلاهک‌های سیلیسی نهان بلور دانه‌ریز خاکستری یا سیاه (و گاه حفره‌دار) در سطح رخنمون دیده می‌شود. سیلیس در این بخش‌ها بیش از ۹۵ درصد است. توده‌های سیلیسی بی‌قاعده به صورت زون‌های باقی‌مانده در ابعاد ۱۰ تا ۲۰ متری پراکنده در

میان زون‌های دگرسانی آرژیلیک مشاهده می‌شود که در اثر انحلال عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم از سنگ‌های سیلیکاته و برجای ماندن سیلیس، رخ می‌دهد. وجود مقداری سولفید در این زون که اکسید شده‌اند (به اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن)، سبب شده است که این زون سیلیسی خاکستری و ظاهری سیاه به خود بگیرد (شکل I-8).



شکل ۸. A: اکسیداسیون رگچه‌های استوک‌ورکی در زون کوارتز-سرسیت-پیریت، B: رگچه‌های استوک‌ورکی پیریت که در اثر اکسیداسیون تبدیل به ژاروسیت و لیمونیت شده‌اند، C: لیزگانگ در محل ترانشه‌ها، D: شکل‌گیری ژپس در سطح و در مجاور زون آرژیلیکی، E: حضور گوگرد آزاد و اکسیدهای آهن در اثر هوازدگی شدید، F: زون گوسان در مرکز منطقه مورد بررسی، G: بافت جعبه‌ای در زون گوسان، H: باریت در زون گوسان و I: در منطقه چشمه‌خوری کلاهک سیلیسی که اغلب شامل هماتیت و گوئیت است.

Fig. 8. A: Oxidation of stockwork veinlets in the quartz-sericite-pyrite zone, B: stockwork veinlets of pyrite, which is converted to jarosite and limonite due to oxidation, C: liesegang banding in trench, D: formation of gypsum at the surface and adjacent to the argillic zone, E: presence of free sulfur and iron oxides due to extreme weathering, F: gossan zone in the center of the study area, G: boxwork texture in gossan zone, H: barite in gossan zone, and I: silicone cap, mainly containing hematite and goethite in Cheshmeh Khuri area.

1. irregular silicified bodies

Stage Minerals	Q.S.P zone	A-Cc zone	A zone	A-Si zone	Si zone	Pp. zone	Oxide zone
Pyrite	—————	—————
Covellite						
Chalcocite						
Malachite							—————
Jarosite							—————
Hematite							—————
Goethite							—————
Limonite						
Quartz	—————					
Sericite	—————					
Illite		—————	—————			
Kaolinite		—————	—————	—————		
Dolomite					
Carbonate	—————				
Gypsum							—————
Chlorite					—————	
Epidote		

شکل ۹. توالی پاراژنتیکی در منطقه چشمه‌خوری. اختصارات: Pp: پروپلیتیک، Cc: کربناته، A: آرژیلیک، Si: سیلیسی، Q.S.P: کوارتز-سریسیت-پیریت

Fig. 9. The paragenetic sequence in Cheshmeh Khuri area. Abbreviations: Pp: Propylitic, Cc: Carbonate, A: Argillic, Si: Silicified, Q.S.P: Quartz.Sericite.Pyrite

ژئوشیمی

نتایج تجزیه ژئوشیمی برخی عناصر مهم از ۱۵ نمونه سنگی برداشت شده از منطقه چشمه‌خوری در جدول ۲ آمده است. همچنین از داده‌های ژئوشیمیایی میربلوچ (Mir Baloch, 2012) و یاحسینی (Ya Hosseini, 2012) برای تفسیر بهتر نتایج استفاده شد. در نمونه‌های خرده‌سنگی آنالیز شده مربوط به کانی‌سازی، میزان فراوانی مس از ۱۲ تا ۶۵۴ گرم در تن متغیر است (شکل ۱۰-۱۰). بیشترین بی‌هنجاری‌های مس در شمال منطقه مربوط به دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت است. کانی‌سازی در این زون به صورت رگچه‌ای و پراکنده دیده می‌شود. همچنین در شمال غرب منطقه بیشترین بی‌هنجاری مس مربوط به واحد آندزیتی با دگرسانی آرژیلیک-سیلیسی و

پروپلیتیک-آرژیلیک و در مرکز منطقه مربوط به واحد دیوریت پورفیری با دگرسانی پروپلیتیک-آرژیلیک و واحد تراکی آندزیتی با دگرسانی آرژیلیک-سیلیسی است (شکل ۱۰-۱۰). در این مناطق کانی‌سازی اغلب به صورت رگچه‌های اکسید آهن و به مقدار کم به صورت سولفیدهای پراکنده است. میزان فراوانی روی از ۱۰ تا ۱۱۳۰ گرم در تن متغیر است. بیشترین بی‌هنجاری روی در شمال منطقه و مربوط به دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت بوده که دارای بالاترین میزان مس نیز است. همچنین مقادیر بالای روی در جنوب شرق منطقه و منطبق بر واحد آندزیت با دگرسانی پروپلیتیک است. بی‌هنجاری‌های روی منطبق بر کانی‌سازی پراکنده در این واحدهاست. میزان فراوانی سرب از ۱۲ تا ۱۶۲۲ گرم در تن متغیر است (شکل

در تن متغیر است. بیشترین بی‌هنجاری آرسنیک در جنوب‌شرق منطقه و مربوط به واحد آندزیت با دگرسانی پروپلیتیک است. بی‌هنجاری‌های آرسنیک منطبق بر کانی‌سازی پراکنده در این واحد است و بقیه عناصر فاقد بی‌هنجاری هستند. بنابراین می‌توان گفت بی‌هنجاری قابل‌ملاحظه در عناصر آرسنیک و آنتیموان در منطقه چشمه‌خوری دیده نمی‌شود. این عناصر به‌عنوان عناصر ردیاب فوق‌کانساری همراه با کانسارهای طلای اپی‌ترمال یافت می‌شوند. بیشترین میزان بی‌هنجاری‌های روی و نقره در نتایج تجزیه ژئوشیمیایی عناصر توسط میربلوچ (Mir Baloch, 2012) شناسایی شد. آنالیز برای طلا به‌روش Fire Assay در تمامی نمونه‌ها، زیر حد تشخیص دستگاه بوده و فقط یک نمونه (CH12) دارای میزان ۶ میلی‌گرم در تن طلاست (جدول ۳).

۱۰-B). بیشترین بی‌هنجاری سرب در شمال منطقه و مربوط به دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت با کانی‌سازی رگچه‌ای و پراکنده است. این واحد دارای بالاترین میزان مس و روی است. همچنین در جنوب‌شرق منطقه و منطبق بر واحد آندزیتی با دگرسانی پروپلیتیک بی‌هنجاری بالایی از سرب قابل مشاهده است.

میزان فراوانی نقره از ۱ تا ۱۵ گرم در تن متغیر است. بیشترین بی‌هنجاری نقره در شمال منطقه و مربوط به دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت بوده که کانی‌سازی در آن به‌صورت پراکنده و رگچه‌ای است. همچنین در مرکز و شمال‌غرب منطقه، در واحد آندزیتی با دگرسانی آرژلیک-سیلیسی مقادیر بالایی از نقره دیده می‌شود. بی‌هنجاری‌های نقره منطبق بر کانی‌سازی پراکنده در این واحدهاست. میزان فراوانی آرسنیک از ۱۴ تا ۳۴۳ گرم

جدول ۲. نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های خرده‌سنگی منطقه چشمه‌خوری (غلظت عناصر در نمونه‌های گزارش شده بر حسب ppm هستند).

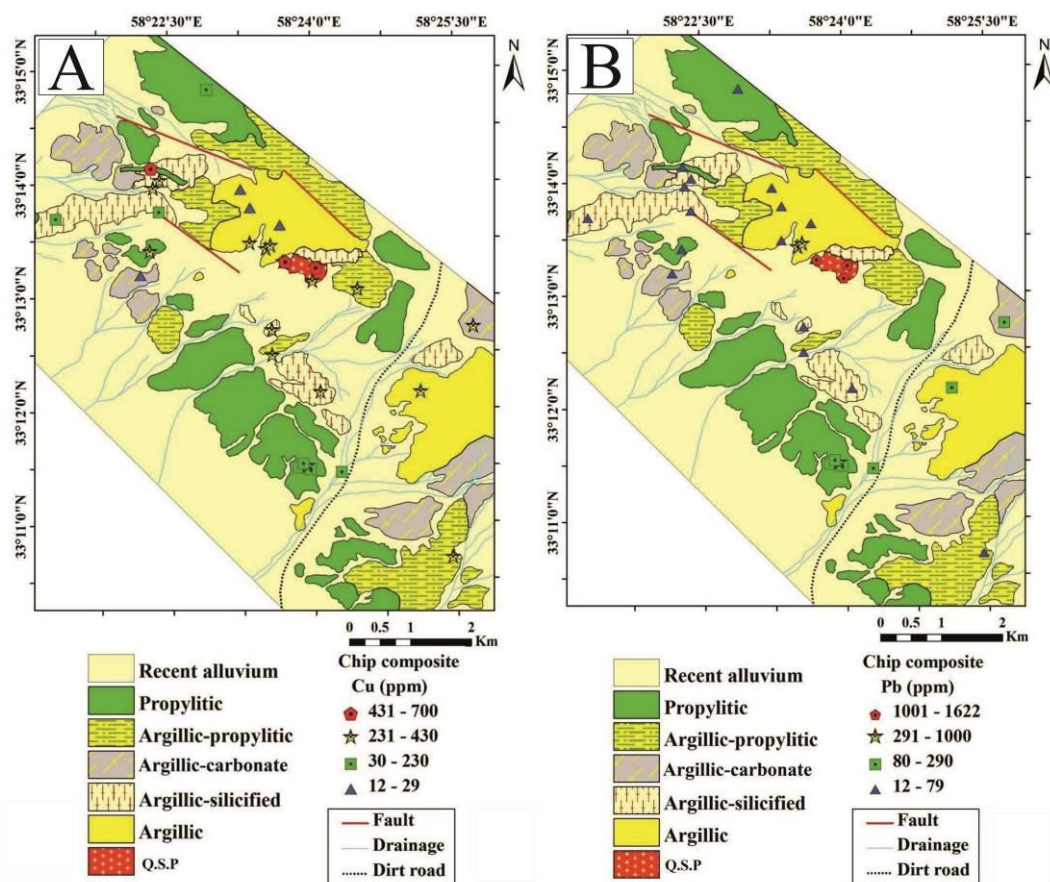
Table 2. Geochemical analyses data of lithochemical samples in Cheshmeh Khuri area (The concentration of the elements in the reported samples is in ppm).

Sample No.	Cu	Pb	Zn	V	Cr	Ce	Mo	As	Ag
CH1	323	21	56	12	17	39	<1	<10	<1
CH3	273	1314	82	37	35	41	3	17	1.3
CH4	430	44	66	<10	21	44	3	<10	<1
CH5	652	1622	48	<10	25	49	5	<10	4.7
CH6	348	201	76	21	46	51	6	<10	<1
CH8	321	230	34	20	16	49	2	<10	<1
CH11	312	672	23	18	49	49	13	14	<1
CH13	353	79	64	<10	15	42	5	<10	<1
CH15	332	19	55	152	63	31	5	<10	<1
CH16	366	17	38	94	83	25	<1	<10	2.4
CH17	346	16	22	23	279	16	2	<10	<1
CH18	330	<10	22	13	120	10	4	<10	<1
CH19	322	18	48	63	72	24	5	<10	<1
CH20	654	44	103	92	124	36	4	<10	<1
CH21	333	13	98	26	97	12	13	343	<1

جدول ۳. نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های از منطقه چشمه‌خوری برای عنصر طلا

Table 3. Fire assay analyses data of Au elements in Cheshmeh Khuri area

sample No.	CH12	CH17	CH19	CH21	Chpy
Au (ppb)	7.0	<5	<5	<5	<5



شکل ۱۰. پراکندگی عناصر A: مس و B: سرب در نمونه‌های خرده سنگی برداشت‌شده از منطقه چشمه‌خوری بر روی نقشه دگرسانی

Fig. 10. A: Dispersion of Cu element and B: Pb element in lithochemical samples of Cheshmeh Khuri area on alteration map

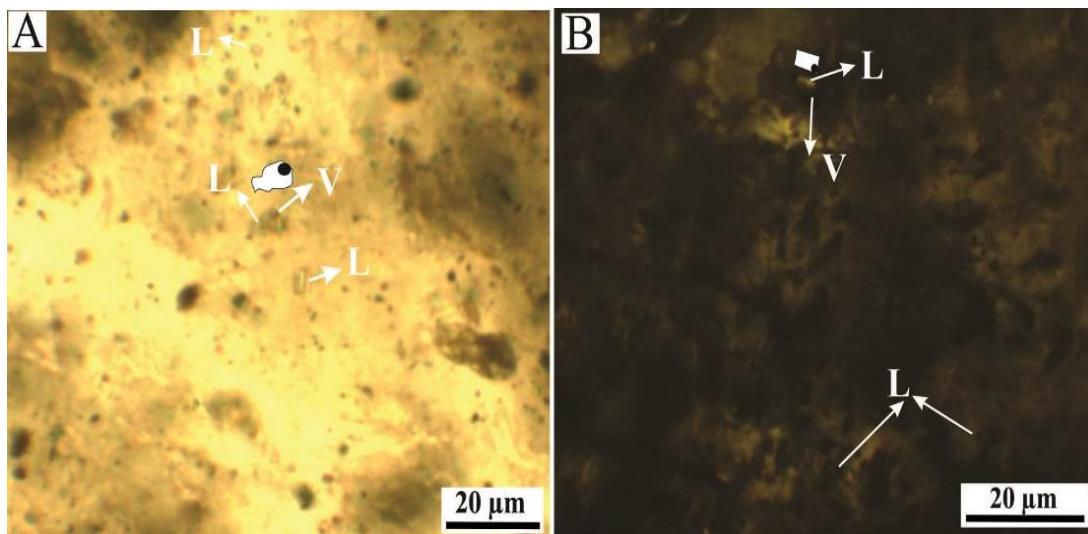
مایع موجود در آنها ۶۰ تا ۸۰ درصد است و همگی به صورت اولیه تشکیل شده‌اند (شکل ۱۱-A و B). از طرفی فاز بخار موجود در این سیالات از لحاظ اندازه متغیر بوده و از لحاظ حجمی ۱۵ تا ۲۰ درصد حجم سیال را اشغال می‌کند. تعداد کمی از سیالات از نوع تک فازی مایع (L) هستند. در این نوع از سیالات درگیر، فاز مایع تمام حجم سیال را در بر می‌گیرد و امکان مشاهده فاز گازی وجود ندارد (شکل ۱۱-A و B). لذا از این نوع از سیالات نمی‌توان برای اندازه‌گیری ترموبارومتری استفاده کرد. در سیالات درگیر غنی از بخار (V)، حباب گاز بیش از ۹۵ درصد از حجم سیال درگیر است و امکان مشاهده فاز مایع وجود ندارد. لذا از این نوع از سیالات نیز نمی‌توان برای اندازه‌گیری ترموبارومتری استفاده کرد. همچنین سیالات درگیر

بررسی سیالات درگیر

از این منطقه ۵ نمونه برای بررسی‌های میکروترمومتری انتخاب شد. در کانی‌سازی منطقه چشمه‌خوری، سیالات درگیر در زون‌های کوارتز - سریسیت - پیریت، آرژلیک - سیلیسی و پروپلیتیک برای بررسی‌های دماسنجی مناسب تشخیص داده شدند و دماسنجی بر روی آنها انجام شد. سیالات درگیر بر اساس پیشنهاد رودر (Roedder, 1984)، شفرد و همکاران (Shepherd et al., 1985) و گلدستین (Goldstein, 2003) شناسایی شدند. در نمونه‌های مورد بررسی سه نوع سیال درگیر به شرح زیر قابل تفکیک است. بیشتر سیالات درگیر شناسایی شده دو فازی و از نوع فازهای مایع و بخار (L+V) هستند و بیشتر حجم این سیالات را مایع تشکیل می‌دهد. به طوری که مقدار فاز

اندازه‌گیری شد. به‌طور کلی دمای همگن‌شدن ۶۷ سیال درگیر و شوری ۵۲ سیال درگیر اندازه‌گیری شد. نتایج میکروترموتری (جدول ۴)، تفاوت‌هایی را در ویژگی‌های سیال مراحل مختلف کانی‌سازی نشان می‌دهد.

ثانویه نیز دیده شد که اغلب در امتداد شکستگی‌های بلور و در اندازه‌هایی از ۲ تا ۵ میکرون قابل شناسایی بودند. اندازه‌گیری گرمایش و سرمایش بر روی سیالات درگیر اولیه دو فازی غنی از مایع در کوارتز انجام شد. در برخی از آنها نیز به‌دلیل نامناسب بودن اندازه برای عملیات سرمایش، فقط دما



شکل ۱۱. تصاویر میکروسکوپی از سیالات درگیر A: سیالات درگیر دو فازی (LV)، تک‌فازی (L) در کوارتز در رگچه کوارتز-پیریت و B: سیالات درگیر دو فازی (LV) و تک‌فازی (L) در کلسیت در رگچه کلسیت-اکسید آهن در منطقه چشمه‌خوری

Fig. 11. The microscopic image of fluid inclusions A: two-phase fluid inclusions (LV), single phase (L) in quartz of quartz-pyrite veinlet, and B: two-phase fluid inclusions (LV) and single phase (L) in calcite of calcite-Fe oxide veinlet in Cheshmeh Khuri area

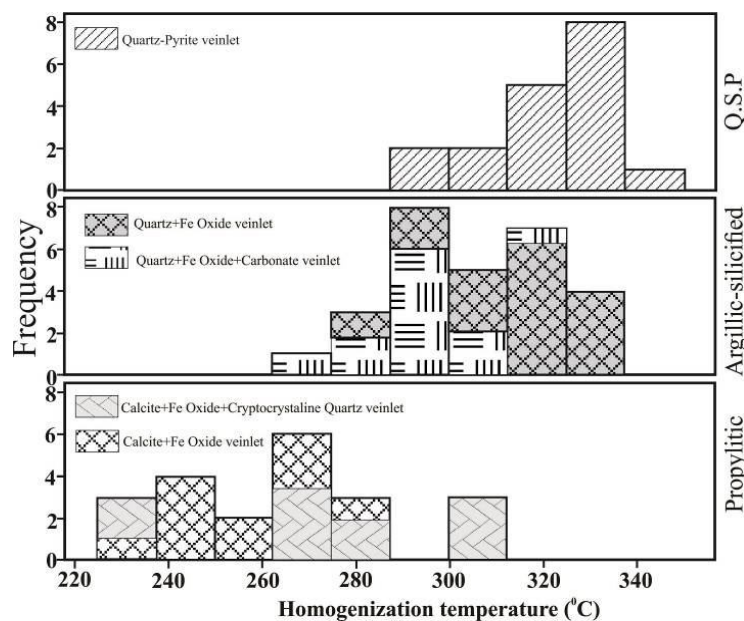
جدول ۴. خلاصه نتایج بررسی‌های سیالات درگیر در منطقه چشمه‌خوری. (LV: سیال دو فازی غنی از مایع، QZ: کوارتز و Cal: کلسیت)

Table 4. Summary of Microthermometric data of primary fluid inclusions of the Cheshmeh Khuri area. (LV = Two-phase liquid-rich, QZ=Quartz, Cal=Calcite)

Sample No.	Mineral	Type Fluid	Fluid Number	Th (°C)	T _{fm} (°C)	T _m (°C)	Salinity Wt.% equiv.)(Density (gr/cm ³)
CH-4	Qz	LV	18	345-289	55.1 -to 57.4-	10.5 -to 9.8-	14.4-10.6	0.85-0.79
CH-5	Qz	LV	15	330-275	55.3 -to 58.3-	7.1 - to 9.2-	13-10.6	0.86-0.79
CH-8	Qz	LV	13	318-276	55 -to 57.8-	5.7 - to 9.3-	13.1-8.7	0.89-0.82
CH-5A	Cal	LV	10	308-238	54.3 -to -57.2	4.1 - to 6.3-	9.5-6.5	0.90-0.79
CH-9A	Cal	LV	11	310-225	54 -to 57.4-	4.6 - to 6.5-	9.5-7.2	0.91-0.78

ذوب یخ (T_{m-ice}) در سیالات این رگه متغیر و بین ۱۰/۵- تا ۹/۸- است (جدول ۴) که بر این اساس شوری سیالات درگیر این رگه از ۱۰/۶ تا ۱۴/۴ درصد وزنی (میانگین ۱۲ درصد وزنی) متغیر است (شکل ۱۳). دامنه حرارتی دمای همگن‌شدن در این رگه ۲۸۹ تا ۳۴۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین دما ۳۲۱ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۱۲).

سیالات درگیر با میزبانی زون دگرسانی کوارتز- سربست- پیریت: از این زون یک مقطع دوبر صیقل و تعداد ۱۸ سیال درگیر (انواع LV) اندازه‌گیری شده است. اندازه سیال‌ها بین ۷ تا ۱۲ میکرومتر و اغلب بی‌شکل تا بیضوی هستند (شکل ۱۱- A). اندازه‌گیری‌های سیالات درگیر بر روی کانی کوارتز موجود در رگچه‌های کوارتز- پیریت انجام شده است. مقدار دمای نهایی



شکل ۱۲. نمودار دمای همگن‌شدن سیالات درگیر برای مراحل مختلف کانی‌سازی در منطقه چشمه‌خوری

Fig. 12. Histogram showing the Homogenization temperature data of primary fluid inclusions for different stages of mineralization in the Cheshmeh Khuri area

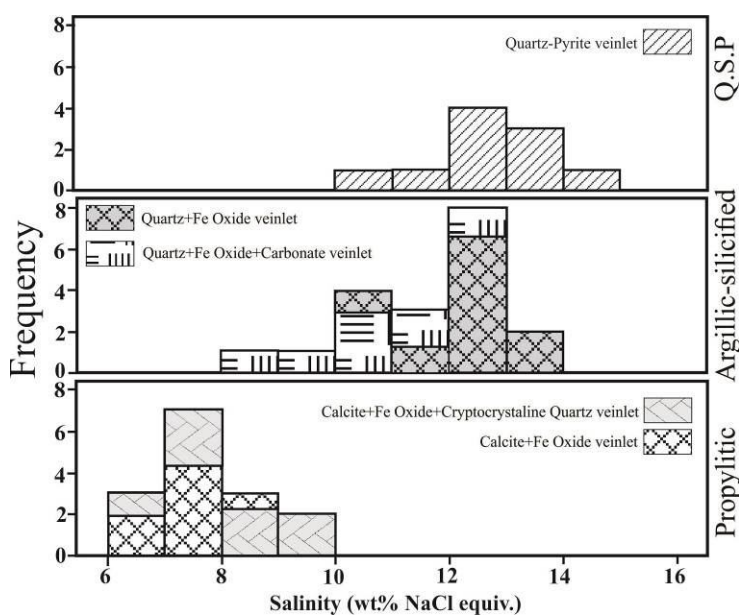
(شکل ۱۳). دامنه حرارتی دمای همگن‌شدن در این رگه ۲۷۵ تا ۳۳۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین دما ۳۰۵ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۱۲).

سیالات درگیر با میزبانی زون دگرسانی پروپلیتیک: بررسی‌های سیالات درگیر بر روی کلسیت در رگچه‌های کلسیت- اکسید آهن و کلسیت- سیلیس- اکسید آهن انجام شد. از این زون ۲ مقطع دوبر صیقل و تعداد ۲۱ سیال درگیر (انواع LV) اندازه‌گیری شده است. مشکل بررسی سیالات در این زون ریزبودن بلورهای کلسیت بود که پیدا کردن سیال مناسب را با مشکل و صرف زمان بیشتر مواجه می‌کرد و دیگر کوچک‌بودن

سیالات درگیر با میزبانی زون دگرسانی آرژلیک- سیلیسی: بررسی‌های سیالات درگیر بر روی کوارتزهای رگچه‌های کوارتز- اکسید آهن و کربنات- کوارتز- اکسید آهن انجام شد. از این زون ۲ مقطع دوبر صیقل و تعداد ۲۸ سیال درگیر (انواع LV) اندازه‌گیری شده است. اندازه سیالات درگیر بین ۵ تا ۱۲ میکرون است. سیالات درگیر اولیه موجود از لحاظ شکل ظاهری اغلب بی‌شکل هستند. مقدار دمای نهایی ذوب یخ (T_{m-ice}) در سیالات این رگه متغیر و بین ۹/۳- تا ۵/۷- است (جدول ۴) که بر این اساس شوری سیالات درگیر این رگه از ۸/۷ تا ۱۳/۱ درصد وزنی (میانگین ۱۱/۶ درصد وزنی) متغیر است

رگه متغیر و بین ۶/۳- تا ۴/۱- است (جدول ۴) که بر این اساس شوری سیالات درگیر این رگه از ۶/۵ تا ۹/۵ درصد وزنی (میانگین ۷/۹ درصد وزنی) متغیر است (شکل ۱۳). دامنه حرارتی دمای همگن‌شدن در این رگه ۲۲۵ تا ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین دما ۲۶۳ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۱۲).

اندازه سیالات بود. این سیالات از لحاظ اندازه متغیر هستند و اندازه آنها بین ۲ تا ۱۰ میکرون است و غالب اندازه‌گیری‌های میکروترمومتری بر روی ابعاد ۵ تا ۱۰ میکرون انجام شده است. سیالات درگیر اولیه موجود از لحاظ شکل ظاهری در اغلب موارد بدون شکل هندسی خاص تا نیمه‌شکل‌دار هستند (شکل B-۱۱). مقدار دمای نهایی ذوب یخ (T_{m-ice}) در سیالات این



شکل ۱۳. نمودار شوری سیالات درگیر اولیه برای مراحل مختلف کانی‌سازی در منطقه چشمه‌خوری

Fig. 13. Histogram showing the Salinity (wt.% NaCl equivalent) data of primary fluid inclusions for different stages of mineralization in the Cheshmeh Khuri area

محلول را محاسبه کرد (Karimpour and Saadat, 2002). دمای تشکیل، برای محاسبه ایزوتوپ گوگرد محلول در منطقه چشمه‌خوری با استفاده از داده‌های سیالات درگیر بوده است و نتایج در جدول ۵ ارائه شده است. در تصحیحات دمایی برای محاسبه گوگرد موجود در سیال کانه‌ساز از فرمول اوهموتو و ری (Ohmoto and Rye, 1979) استفاده شده است. ترکیب ایزوتوپی گوگرد در سیال گرمابی مولد کانی‌سازی در رگچه‌های کوارتز-سریسیت-پیریت به ترتیب ۱/۲۵% و ۱/۳۶% است (جدول ۵). مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ کانی پیریت تقریباً مشابه با مقدار $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$ سیال (با اختلاف ۱/۱ واحد) است.

ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد

مقادیر ایزوتوپی $\delta^{34}\text{S}$ در کانی پیریت همزاد با کوارتز-دماسنجی شده از زون کوارتز-سریسیت-پیریت در منطقه چشمه‌خوری در جدول ۵ آمده است. نمونه‌ها نسبت به استاندارد ایزوتوپی تروپلیت کانیون دیابلو CDT یا فاز سولفیدی تروپلیت شهاب‌سنگ آهنی کانیون دیابلو آریزونا اندازه‌گیری شده است. از آنجا که از روی ایزوتوپ گوگرد ($\delta^{34}\text{S}$) هر کانسار در محلول گرمابی یا ماگمایی می‌توان منشأ آن را مورد بررسی قرار داد؛ لذا باید با استفاده از ایزوتوپ گوگرد اندازه‌گیری شده در کانی و با توجه به دمای تشکیل آن کانی، ایزوتوپ گوگرد در

گرماپی مولد کانی‌سازی (Ohmoto, 1972). عامل آخر متأثر از منشأ گوگرد و دو عامل اول تحت تأثیر شرایط تشکیل کانسار است. تفکیک ایزوتوپی، توزیع ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر بین فازهای کانی‌شناختی متفاوت و یا بین فازهای مختلف یک ترکیب است (Hoefs, 2004). در منطقه مورد بررسی مقادیر $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ برای H_2S در تعادل با پیریت به سبب بالا بودن دمای تشکیل (۳۲۱ درجه سانتی‌گراد) و تقریباً مشابه مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ در کانی پیریت است.

در شرایط فیزیکی‌شیمیایی خاصی ($T > 300^\circ\text{C}$, low pH and Eh) سهم اصلی گوگرد در سیال مولد کانی‌سازی به صورت H_2S در نظر گرفته شده است (Ohmoto and Rye, 1979). در این دما گوگرد غالب در سولفیدها از نظر ایزوتوپی نزدیک به مقدار ایزوتوپ سیال کانه‌دار ($\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$) است. ترکیب ایزوتوپی گوگرد در کانی‌های گرماپی به شدت توسط چند عامل کنترل می‌شود، مانند فوگاسیته اکسیژن ($f(\text{O}_2)$)، مقدار اسیدیته (pH) سیال گرماپی و ترکیب ایزوتوپی گوگرد سیال

جدول ۵. مقادیر ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد در منطقه چشمه‌خوری

Table 5. The stable isotopes' values of sulfur of the Cheshmeh Khuri area

Sample No.	Mineral	mineralization	$\delta^{34}\text{S}_{\text{pyrite}} (\text{‰})$	$T_{\text{mean}} (^\circ\text{C})$	1000 ln α (Ohmoto and Rye, 1976)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{water}} (\text{‰})$
CH40A	Pyrite	Quartz -pyrite veinlet	2.35	321	1.1	1.25
CH40B	Pyrite	Quartz -pyrite veinlet	2.46	321	1.1	1.36

(Prokofiev et al., 2010). همچنین ترسیم داده‌های شوری و دمای همگن شدن در شکل ۱۴، غلبه کمپلکس‌های کلریدی را در کانی‌سازی مرتبط با دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت و کمپلکس‌های کلریدی و به میزان کمتر کمپلکس‌های بی‌سولفیدی را در دگرسانی آرژلیک-سیلیسی و کمپلکس‌های بی‌سولفیدی را در کانی‌سازی مرتبط با دگرسانی پروپلیتیک نشان می‌دهد.

در شکل ۱۵، نمودار دمای هموزنیزه شدن در برابر شوری را برای سیالات درگیر (LV) در سه زون کانی‌سازی (کوارتز-سریسیت-پیریت، آرژلیک-سیلیسی، پروپلیتیک) نشان می‌دهد. کاهش دما و شوری در سیالات درگیر، با روند مخلوط‌شدگی دو سیال دما بالا-شوری بالا با سیال دما پایین-شوری پایین مطابقت دارد. همچنین با توجه به وجود شواهد بافتی از جوشش در زون دگرسانی آرژلیک-سیلیسی و کوارتز-

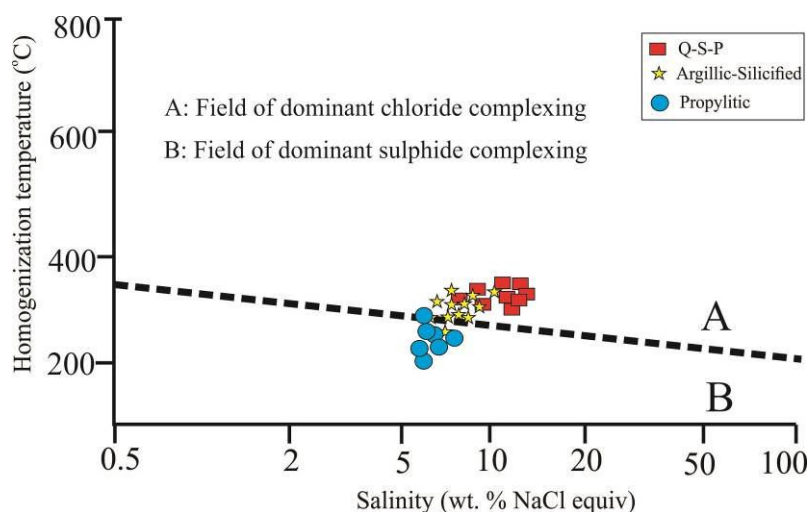
بحث

نوع دگرسانی‌ها (کوارتز-سریسیت-پیریت، آرژلیک، پروپلیتیک) و گسترش وسیع آنها در منطقه چشمه‌خوری مشابه با سیستم‌های پورفیری است. با توجه به نبود رخنمون زون پتاسیک در سطح، می‌توان گفت سطح فرسایش در منطقه بالاست. اسیدشویی تحت Eh اکسیدان و pH کاملاً اسیدی منطقه گسترش یافته و باعث شکل‌گیری زون‌های اسید-سولفات، گوسان و کلاهک سیلیسی شده است که به کلاهک سنگی (Sillitoe, 1993; Sillitoe et al., 1998) در سیستم‌های مس پورفیری معروف است.

در بررسی‌های سیالات درگیر، هیچ کانی‌نوزادی در سیال‌های مرتبط با کانی‌سازی شناسایی نشد؛ ولی با توجه به اینکه نخستین دمای ذوب (T_{fm}) آنها از ۲۰- کمتر است، نمک‌های احتمالی سیال CaCl_2 و $\text{NaCl} \pm \text{MgCl}_2 \pm \text{FeCl}_2$ هستند (Shepherd et al., 1985; Davis et al., 1990; Gokce, 2000;

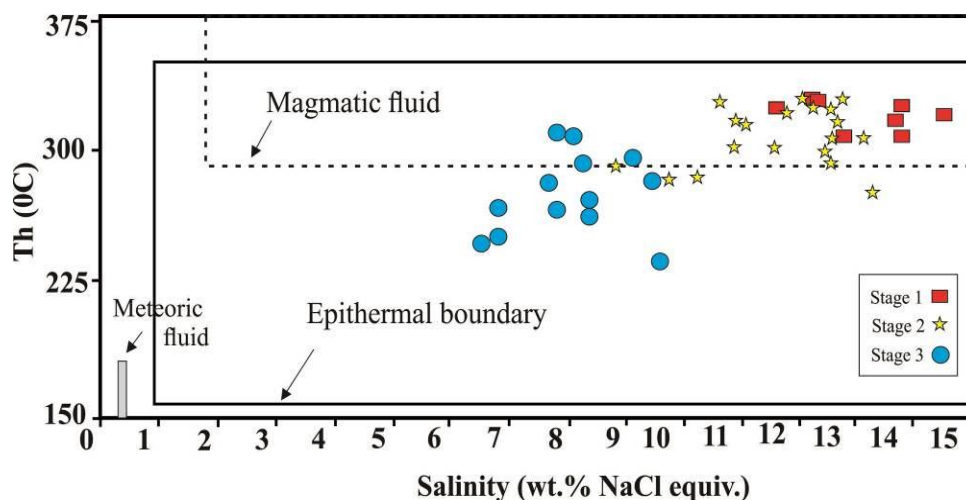
سیستم‌های پورفیری، طیف حرارتی از ۲۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و شوری بین ۰ تا ۷۰ معادل درصد وزنی نمک طعام متغیر است (Wilkinson, 2001).

سریسیت-پیریت (حضور رگه و رگچه‌های کوارتز نهان‌بلورین با بافت قشری)، می‌توان جوشش را نیز به‌عنوان عامل دیگری در شکل‌گیری کانی‌سازی مؤثر دانست. طیف دمایی به‌دست آمده از این مرحله، با سیستم‌های پورفیری قابل مقایسه است. در



شکل ۱۴. نمایش محدوده پایداری کمپلکس‌های مس به‌صورت کلریدی و بی‌سولفیدی در منطقه چشمه‌خوری (Large et al., 1989)

Fig. 14. Display of stability range of copper complexes as chloride and bisulfide in Cheshmeh Khuri area

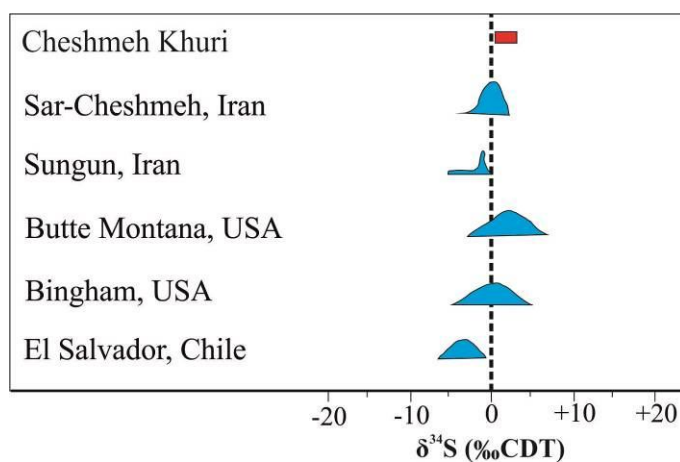


شکل ۱۵. نمودار دمای همگن‌شدن در برابر شوری برای سیالات مختلف کانی‌سازی در منطقه چشمه‌خوری. هم‌روند با فرایند اختلاط/یا جوشش. ترکیب فرضی آب‌های ماگمایی و جوی بر اساس هدنکوئیست و همکاران (Hedenquist et al., 1998)، لاتانزی (Lattanzi, 1991) و نادن و همکاران (Naden et al., 2005) رسم‌شده است.

Fig. 15. Th-salinity diagram showing fluids of different stages of mineralization at the Cheshmeh Khuri area. The trend is consistent with mixing and/or boiling. The hypothetical compositions of magmatic and meteoric waters are plotted according to Hedenquist et al. (1998), Lattanzi (1991) and Naden et al. (2005).

Ohmoto and Rye, 1979;) کانی‌سازی را نشان می‌دهد (Kuzmanov and Ramboz, 2003; Andrew et al., 2008; Chen et al., 2009. ایزوتوپ گوگرد در کانسارهای ماگمایی از ± 3 در نوسان است (Chausson and Lorand, 1990). همچنین مقدار $\delta^{34}\text{S}$ پیریت کانسار چشمه‌خوری با دیگر کانسارهای مس پورفیری مقایسه شده که کاملاً منطبق بر این نوع کانسارهاست (شکل ۱۶).

تعیین منشأ گوگرد به‌تنهایی از روی ایزوتوپ گوگرد غیرممکن و مشکل است؛ ولی محدوده تغییرات گوگرد (۱/۲۵% تا ۱/۳۶% در زون کوارتز-سریسیت-پیریت برای منطقه چشمه‌خوری مشابه کانسارهای مس پورفیری و طلای اپی‌ترمال بوده و منشأ ماگمایی آن را تأیید می‌کند (Ohmoto and Rye, 1979; Lesage, 2011). این مقادیر دارای دامنه باریک و نزدیک به صفر هستند که نقش کنترل ماگمایی در وقایع



شکل ۱۶. مقایسه مقادیر ایزوتوپ گوگرد در کانی‌های سولفیدی در بعضی از کانسارهای پورفیری با کانسار چشمه‌خوری (داده‌های کانسار سرچشمه Ohmoto and Rye, 1979) (Maanijou et al., 2012)، سونگون (Calagari, 2003)، بوت در مونتانا، آمریکا، بینگام در آمریکا و السالوادور در شیلی (Ohmoto and Rye, 1979))

Fig. 16. Comparing the sulfur isotope values in the sulfide minerals porphyry deposits with the Cheshmeh Khuri area (Data of Sar-Cheshmeh (Maanijou et al., 2012), Sungun (Calagari, 2003), Bute in Montana, USA, Bingham, USA and El Salvador, Chile (Ohmoto and Rye, 1979))

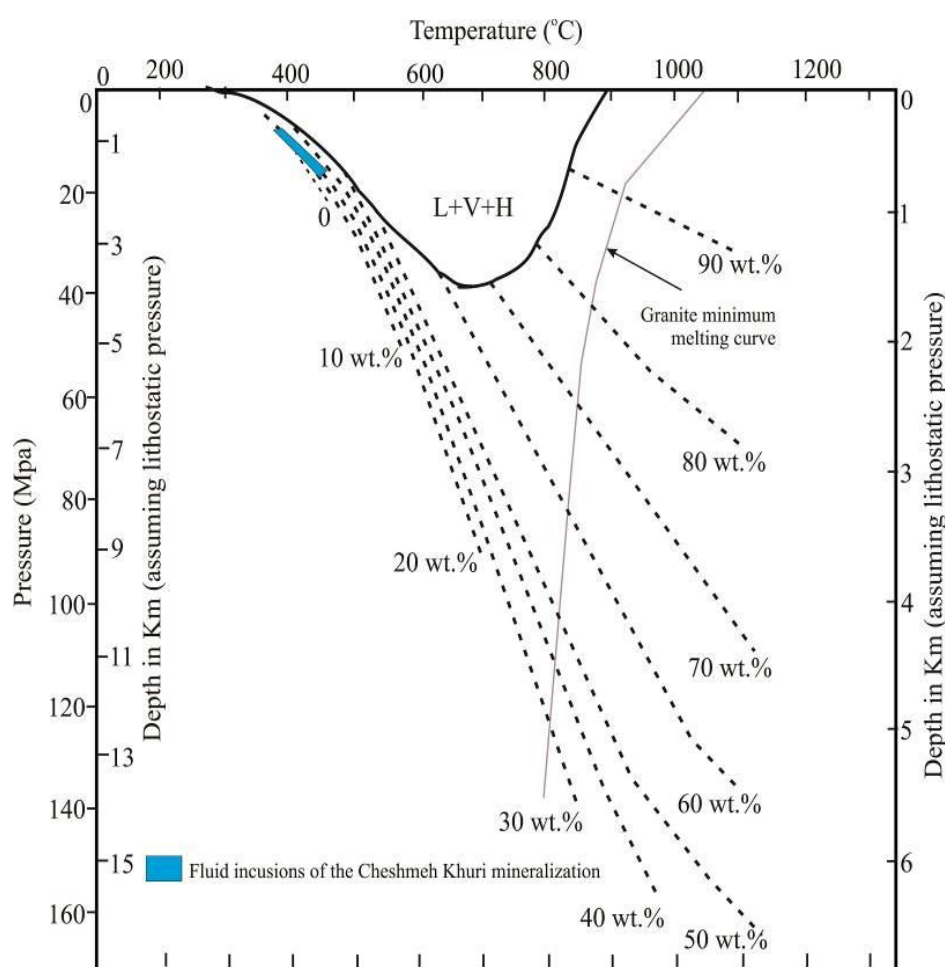
رگه‌های پلی‌متال‌های فلزات پایه می‌توانند در بخش بالایی سیستم‌های پورفیری شکل گیرند (Baumgartner and Fontboté, 2008). بنابراین حضور کانی‌سازی‌های رگه‌ای نوع مس \pm سرب \pm روی (شورک) و مس (شکسته‌سبز، حوض‌دغ، مهرخش، رشیدی و غار کفتری) در محدوده شمال خور می‌تواند شاهدهی بر بخش بالایی یک سیستم پورفیری باشند.

در مقایسه با مناطق آذربایجان و کرمان، توجه کمتری به بررسی بر روی کانسارهای مس پورفیری در بلوک لوت شده است.

بر اساس نمودار فورنیر (Fournier, 1999) و با توجه به دما و شوری، میانگین عمق تشکیل کانی‌سازی حدود ۲۱۰۰ متر است (شکل ۱۷). از آنجا که کانسارهای اپی‌ترمال در عمق کمتر از ۱ کیلومتر تشکیل می‌شوند (Hedenquist, 1987)، در نتیجه عمق تخمینی برای کانی‌سازی بیش از عمق تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال بوده است. از این رو، می‌توان چنین استنباط کرد که کانی‌سازی می‌تواند در ارتباط با یک سیستم پورفیری باشد. از ویژگی‌های کانسارهای رگه‌ای فلزات پایه، شکل‌گیری در تعداد زیاد در محدوده کانسار هستند (Ridley, 2013). این

ترشیاری بلوک لوت بیانگر توانایی بالای بلوک لوت برای تشکیل کانسارهای مس پورفیری است. شناخت هرچه بیشتر این نوع ذخایر از لحاظ نحوه تشکیل و منشأ محلول‌های کانه‌دار و ارتباط آن با توده‌های نفوذی و ساختارهای زمین‌شناسی، گامی مثبت در جهت اکتشاف بهتر این نوع ذخایر در بلوک لوت خواهد بود.

کانی‌سازی در منطقه چشمه‌خوری در دوره متالورژی بلوک لوت (اوسن میانی تا الیگوسن زیرین) (Karimpour et al., 2012) تشکیل شده است. وجود منطقه اکتشافی چشمه‌خوری به همراه کانسارهای مس پورفیری ماهرآباد، خویسک و ده‌سلم، شاه سلطان‌علی و همچو (Malekzadeh Shafaroudi, 2009; Arjmandzadeh and Santos, 2014; Nadermezerji et al., 2017; Etemadi et al., 2018) در مجموعه عظیم



شکل ۱۷. نمودار فشار-دما (برای نمونه‌های منطقه چشمه‌خوری) نشان‌دهنده رابطه فازها در سیستم $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ در فشارهای هیدرواستاتیک و لیتواستاتیک (Fournier, 1999). $L = \text{liquid}$, $V = \text{vapor}$, $H = \text{halite}$. خط چین‌ها کانتورهای ثابت درصد وزنی NaCl محلول در شورابه هستند. خط باریک خاکستری منحنی کمترین ذوب گرانیب را مشخص می‌کند. خط ضخیم مشکی مرز سه فاز، $L+V+H$ را برای سیستم $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$ در محلول ثابت‌شده به‌وسیله آل‌بیت و K -فلدسپار در دماهای مشخص، نشان می‌دهد.

Fig. 17. Pressure-temperature diagram (for samples of Cheshmeh Khuri area) showing phase relationships in the $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ system at lithostatic and hydrostatic pressures (Fournier, 1999). $L = \text{liquid}$, $V = \text{vapor}$, $H = \text{halite}$. Thin dashed lines are contours of constant wt percent NaCl dissolved in brine. Filled gray line indicates granite minimum melting curve. Filled dark line shows the three-phase boundary, $L + V + H$, for the system $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$ with Na/K in solution fixed by equilibration with albite and K -feldspar at the indicated temperatures.

نتیجه‌گیری

دگرسانی‌ها در منطقه چشمه‌خوری دارای الگویی با تمرکز نسبی در محدوده کانسار هستند. به این صورت که دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت و آرژیلیک در مرکز سیستم و دگرسانی پروپلیتیک در اطراف و حاشیه بخش اصلی قرار گرفته است. طرح زون‌بندی دگرسانی‌ها در منطقه مورد بررسی مشابه با سیستم‌های پورفیری است. نتایج دماسنجی نشانگر سه گروه دما بالا در زون‌های کوارتز-سریسیت-پیریت (۲۸۹ تا ۳۴۵ درجه سانتی‌گراد)، دما متوسط در آرژیلیک-سیلیسی (۲۷۴ تا ۳۳۰ درجه سانتی‌گراد) و دما پایین در زون پروپلیتیک (۲۲۵ تا ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد) است. رگچه‌های دما بالا که شوری بالا نیز دارند، اغلب توسط سیالات ماگمایی ایجاد شده‌اند و رگچه‌های دما پایین و شوری کم می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر بیشتر سیالات جوی باشد. مقدار $\delta^{34}\text{S}$ کانی پیریت در زون کوارتز-سریسیت-پیریت دارای گستره محدود و نزدیک به صفر است که مشابه کانسارهای مس پورفیری بوده و نشان‌دهنده خاستگاه

ماگمایی برای گوگرد است. با توجه به شواهد بالا می‌توان کانسار چشمه‌خوری را یک سیستم پورفیری در نظر گرفت و کانی‌سازی‌های رگه‌ای فلزات پایه (شورک، شکسته‌سبز، مهرخش، غارکفتر، حوض‌دغ، رشیدی) می‌توانند مربوط به بخش بالایی این سیستم پورفیری باشند. با توجه به شکل‌گیری کانی‌سازی‌های مس پورفیری (برای مثال مناطق چشمه‌خوری، ماهرآباد و ده‌سلم) در دوره متالوژنی بلوک لوت (ائوسن میانی تا الیگوسن زیرین)، شناخت هرچه بیشتر آنها کمک شایانی برای اکتشاف بهتر این نوع ذخایر در بلوک لوت خواهد کرد.

قدردانی

این پروژه با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد و طبق طرح پژوهشی شماره ۲۲۷۳۱/۳ مورخ ۱۳۹۱/۴/۱۳ انجام شده است. از حمایت مالی سازمان توسعه و نوسازی معدن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) و انجام برخی از آنالیزها در مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران سپاسگزاریم.

References

- Abraitis, P.K., Pattrick, R.A.D. and Vaughan, D.J., 2004. Variations in the compositional, textural and electrical properties of natural pyrite: a review. *International Journal Mineral Processing*, 74(1): 41–59.
- Agangi, A., Hofmann, A. and Wohlgemuth Ueberwasser, C.C., 2013. Pyrite zoning as a record of mineralization in the Ventersdorp Contact Reef, Witwatersrand Basin, South Africa. *Economic Geology*, 108(6): 1243–1272.
- Aghanabati, S.A., 2004. *Geology of Iran*. Geological Survey of Iran, Tehran. 586 pp. (in Persian)
- Andrew, G.S.D., Cook, D. and Gemmel, J.B., 2008. Hydrothermal Breccias and Veins at the Kelian Gold Mine, Kalimantan, Indonesia: Genesis of a Large Epithermal Gold Deposit. *Economic Geology*, 103(4): 717–757.
- Arjmandzadeh, R. and Santos, J.F., 2014. Sr–Nd isotope geochemistry and tectonomagmatic setting of the Dehsalm Cu–Mo porphyry mineralizing intrusives from Lut Block, eastern Iran. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 103(1): 123–140.
- Barton Jr, P.B., 1969. Thermochemical study of the system Fe-As-S. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 33(7): 841–857.
- Baumgartner, R. and Fontboté, L., 2008. Mineral Zoning and Geochemistry of Epithermal Polymetallic Zn-Pb-Ag-Cu-Bi Mineralization at Cerro de Pasco, Peru. *Economic Geology*, 103(3): 493–537.
- 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.
- Calagari, A.A., 2003. Stable isotope (S, O, H and C) studies of the phyllic and potassic–phyllic alteration zones of the porphyry copper deposit at Sungun, East Azarbaijan, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(7): 767–780.
- Chaussidon, M. and Lorand, J.P., 1990. Sulphur isotope composition of oro-genic spinel lherzolite massifs from Ariege (north-eastern Pyrenees, France): an ion microprobe study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54(10): 2835–2846.
- Chen, Y.J., Piranjno, F., Li, N., Guo, D.Sh. and Lai, Y., 2009. Isotope systematics and fluid inclusion studies of the Qiyugou breccia pipe-hosted gold deposit, Qinling Orogen, Henan province, China: Implication for ore genesis. *Ore Geology Reviews*, 35(2): 245–261.
- Cook, N.J., Ciobanu, C.L. and Mao, J., 2009. Textural control on gold distribution in As-free pyrite from the Dongping, Huangtuliang and Hougou gold deposits. North China Craton (Hebei Province, China). *Chemical Geology*, 264(1): 101–121.
- Davis, D.W., Lowenstein, T.K. and Spencer, R.J., 1990. Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in systems NaCl–H₂O, NaCl–KCl–H₂O, NaCl–MgCl₂–H₂O and NaCl–CaCl₂–H₂O. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54(3): 591–601.
- Etemadi, A., Karimpour, M.H. and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2018. Geology, petrography, alteration, mineralization and petrogenesis of intrusive bodies in the Hamech prospect area, Southwest of Birjand. *Journal of Economic Geology*, 10(1): 113–137. (in Persian with English abstract)
- Fournier, R.O., 1999. Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment. *Economic Geology*, 94(8): 1193–1212.
- Franchini, M., McFarlane, C., Maydagán, L., Reich, M., Lentz, D.R., Meinert, L. and Bouhier, V., 2015. Trace metals in pyrite and marcasite from the Agua Rica porphyry-high sulfidation epithermal deposit, Catamarca, Argentina: Textural features and metal zoning at the porphyry to epithermal transition. *Ore Geology Reviews*, 66(1): 366–387.
- Gokce, A., 2000. Ore deposits. Cumhuriyet University Publication, Sivas, 336 pp.
- Goldstein, R.H., 2003. Petrographic Analysis of Fluid Inclusions. In: I. Samson, A. Anderson and D. Marshall (Editors), Fluid inclusions: Analysis and interpretation. Mineralogical Association of Canada, Québec, pp. 9–53.
- Hedenquist, J.W., 1987. Mineralization associated with volcanic related hydrothermal systems in the Circum-Pacific basin. In: M.K. Horn (Editor), Transactions of the Fourth Circum-Pacific. Energy and Mineral Resources Conference. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, pp. 513–524.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. and Reynolds, T.J., 1998. Evolution of an intrusion centered hydrothermal system: Far Southeast–Lepanto porphyry and epithermal Cu–Au deposits, Philippines. *Economic Geology* 93(4): 373–404.
- Hoefs, J., 2004. Stable isotope geochemistry. Springer-Verlog, Berlin, 244 pp.
- Javidi Moghaddam, M., Karimpour, M.H., Ebrahimi Nasrabadi, K., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Heidariane Shahri, M. R. 2015. Petrology and geochemistry of intrusive and sub volcanic rocks of Cheshmeh Khuri, northwest of Birjand. 7th Symposium of Iranian Society of Economic Geology, University of Damghan, Damghan, Iran.
- Javidi Moghaddam, M., Karimpour, M.H., Ebrahimi Nasrabadi, K., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Heidariane Shahri, M.R. 2016. Petrology and geochemistry of volcanic rocks of Cheshmeh Khuri and Shekaste Sabz areas, Khur, northwest of Birjand. *Petrology*, 7(27): 125–146. (in Persian with English abstract)
- Javidi Moghaddam, M., Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Heidariane Shahri, M.R. 2013. Satellite data processing, alteration, mineralization and geochemistry of Mehrkhash area prospect, North West of Birjand. *Journal of Earth Science Researches*, 4(4): 56–69. (in Persian with English abstract)
- Javidi Moghaddam, M., Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Heidariane Shahri, M.R. 2014. Geology, alteration, mineralization and geochemistry of Shekaste Sabz area prospect, North West of Birjand. *Journal of Crystallography and Mineralogy*, 22

- (3): 507–520. (in Persian with English abstract)
- Karimpour, M.H. and Saadat, S., 2002. Applied Economic Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, 535 pp.
- 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)
- Kaviani Sadr, K., 2012. The effect of structural controls on Mineral deposition in Cheshme Khuri area (North West of Birjand). M.Sc. thesis, Birjand University, Birjand, Iran, 162 pp.
- Kouzmanov, K. and Ramboz, C., 2003. Stable isotopic constrains on the origin of epithermal Cu-Au and related porphyry copper mineralizations in the southern Panagyurishte district, Srednogorie zone, Bulgaria. In: D.G. Eliopoulos (Editor), *Mineral Exploration and Sustainable Development*. Millpress, Rotterdam, pp. 1181–1184.
- Large, R.R., Huston, D.M., Goldrick, P. and Tuxton P.A., 1989. Gold distribution and genesis in Australian volcanogenic massive sulfide deposits and their significance for gold transport models. *Economic Geology Monographs*, 6(1): 520–535.
- Lattanzi, P., 1991. Applications of fluid inclusions in the study and exploration of mineral deposits. *European Journal of Mineralogy*, 3 (4): 689–697.
- Lesage, G., 2011. Geochronology, Petrography, Geochemical constrain, and fluid characterization of the Buritica gold deposit. Ph.D. thesis, University of Alberta, Alberta, United State America, 152 pp.
- Lotfi, M., 1982. Geological and geochemical investigations on the volcanogenic Cu, Pb, Zn, Sb ore-mineralization in the Shurab-Gale Chah and northwest of Khur (Lut, east of Iran). Ph.D. thesis, University of Hamburg, Hamburg, Germany.
- Lotfi, M., 1995. Geological map of Sarghanj. Scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Maanijou, M., Mostaghimi, M., Abdollahy Riseh, M. and Sepahi Gerow, A.A., 2012. Systematic sulfur stable isotope and fluid inclusion studies on veinlet groups in the Sarcheshmeh porphyry copper deposit: based on new data. *Journal of Economic Geology*, 4(2): 217–239. (in Persian with English abstract)
- Malekzadeh Shafaroudi, A., 2009. Geology, mineralization, alteration, geochemistry, microthermometry, isotope studies and determining the mineralization source of Khopic and Maherabad exploration areas. Ph.D. thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 550 pp.
- Mir Baloch, A., 2012. Geology, mineralization, geochemistry and processing of satellite images in east of Cheshme Khuri area, Birjand. M.Sc. thesis, Ferdowsi University, Mashhad, Iran, 144 pp.
- Naden, J., Killias, S.P. and Darbyshire, D.P.F., 2005. Active geothermal system with entrained seawater as modern analogs for transitional volcanic-hosted massive sulfide and continental magmato-hydrothermal mineralization: the example of Milos Island, Greece. *Geology*, 33(7): 541–544.
- Nadermezerji, S., Karimpour, M.H. and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2017. Geology, Alteration, Mineralization, Geochemistry and Petrology of intrusive units in the Shah Soltan Ali prospect area (Southwest of Birjand, South Khorasan province). *Journal of Economic Geology*, 9(1): 117–139. (in Persian with English abstract)
- Ohmoto, H., 1972. Systematic of sulfure and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits. *Economic Geology*, 67(5): 551–581.
- Ohmoto, H. and Rye, R.O., 1979. Isotopes of sulfur and carbon: In: H.L. Barnes (Editor), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Wiley Interscience, New York, pp. 509–567.
- Prokofiev, V.Y., Garofalo, P.S., Bortnikov, N.S., Kovalenker, V.A., Zorina, L.D., Grichuk, D.V. and Selektor, S.L., 2010. Fluid inclusion constraints on the genesis of gold in the Darasun district (eastern Transbaikalia), Russia. *Economic Geology*, 105(2): 395–416.
- Ridley, J., 2013. *Ore Deposit Geology*. Cambridge University Pressing, Cambridge, 398 pp.
- Roedder, E., 1984. *Fluid inclusions*. Mineralogical Society of America, United States, 644 pp.

- Salim, L., 2012. Geology, petrology and geochemistry of volcanic and sub volcanic rocks in Cheshme Khuri area (North West of Birjand). M.Sc. thesis, Birjand University, Birjand, Iran, 117 pp.
- Shepherd, T, Rankin, A.H. and Alderton, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow, 239 pp.
- Sillitoe, R.H., 1993. Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and shallow features. Geological Association of Canada, Special Paper, 40(1): 403–417.
- Sillitoe, R.H., Steele, G.B., Thompson, J.F.H. and Lang, J.R., 1998. Advanced argillic lithocaps in the Bolivian tin-silver belt. *Mineralium Deposita*, 33(6): 539–456.
- Stoffregen, R.E., 1987. Genesis of acid-sulfate alteration and Au–Cu–Ag mineralization at Summitville, Colorado. *Economic Geology*, 82 (6): 1575–1591.
- Tarkian, M., Lotfi, M. and Baumann, A., 1983. Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, east Iran. Ministry of mines and metals, Geodynamic project (geotraverse) in Iran, Tehran, Report 51, 26 pp.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55(1): 229–272.
- Ya Hosseini, A., 2012. Geology, mineralization and geochemistry with special reference on industrial applications clay deposits in west of Cheshme Khuri area, Birjand. M.Sc. thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 71 pp.



Evidence of porphyry copper mineralization in the Cheshmeh Khuri area, North West of Birjand: Geology, alteration, mineralization, geochemistry, fluid inclusion and stable isotope

Maryam Javidi Moghaddam¹, Mohammad Hassan Karimpour^{1&2*} and Azadeh Malekzadeh Shafaroudi^{1&2}

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

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

Submitted: Nov. 28, 2017

Accepted: May 01, 2018

Keywords: *Alteration, Mineralization, Fluid Inclusion, Sulfur isotope, Cheshmeh Khuri, Lut Block*

Introduction

The Cheshmeh Khuri area is located in the north of the Lut Block volcanic–plutonic belt, in eastern Iran, about 111 Km northwest of the city of Birjand. Extensive Tertiary magmatic activity in the Lut Block, is spatially and temporally associated with several types of mineralization events (Karimpour et. al., 2012). The episode of Middle Eocene to lower Oligocene (42–33 Ma) was very important in terms of magmatism and mineralization (Karimpour et. al., 2012). The North Khur area includes numerous cases of Cu±Pb±Zn vein-type mineralization, such as the Shikasteh Sabz, Mir-e-Khash, Rashidi, Shurk, Ghar-e-Kaftar, Howz-e-Dagh, as well as kaolin deposit (Cheshmeh Khuri area). We present and discuss alteration, ore petrography, geochemistry, fluid inclusion micro thermometry, and sulfur isotope geochemistry, which help clarify the ore genesis of the Cheshmeh Khuri area.

Materials and methods

The present study involves detailed field work and study of thin and polished sections from the intrusive rocks and ore samples under the optical microscope. Metal concentrations were analyzed at the IMPRC laboratory of Iran using the ICP-OES techniques on fifteen samples. Five samples were analyzed for Fire Assay analysis and four samples for XRD analysis at IMPRC laboratory of Iran. Twelve spot analyses (microanalyses) were

performed on an X-ray Analytical Microscope at IMPRC laboratory.

Doubly polished wafers (150 µm thick) were prepared from five samples taken from surface and trenches. Micro thermometric measurements were carried out using a Linkam THM 600 heating–freezing stage mounted on an Olympus TH4–200 microscope stage at the Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Two pyrite samples from quartz-sulfide veinlet were analyzed for the sulfur isotope compositions after careful hand picking and purification at Iso–Analytical limited, United Kingdom.

Discussion and results

The main alterations consists of propylitic, argillic, quartz-sericite-pyrite and silicified. The mineralization is mainly observed as vein and is disseminated in quartz-sericite-pyrite, argillic-silicified and propylitic alteration zones and is disseminated in the argillic alteration zone. Pyrite is the only primary sulfide mineral in the area. Due to the great influence of weathering processes on the primary ore, secondary sulphide and oxide mineralization (malachite, azurite, chalcocite, covellite, goethite, and hematite) are widely spread and have finally created lithocap (Sillitoe, 1993; Sillitoe et. al., 1998). The maximum anomalies of copper (654 ppm) and lead (1622 ppm) are associated with quartz-sericite-pyrite alteration. Primary fluid inclusions of quartz in

*Corresponding authors Email: karimpur@um.ac.ir

paragenesis with mineralization in quartz-sericite-pyrite zone, argillic-silicified zone and calcite in paragenesis with mineralization in propylitic zone have an average of homogenization temperatures of 321°C, 305 °C and 263 °C, respectively. Based on freezing studies, the average calculated temperature of last melting point of these is equal to 12, 11.6 and 7.9 wt.% NaCl, respectively. Homogenization temperature and salinity of the fluids shows a shifting trend from relatively high in quartz-sericite-pyrite zone to relatively low homogenization temperatures in the propylitic zone, which can be due to physicochemical changes in the fluid such as cooling and mixing with meteoric water (Naden et al. 2005). According to the textural evidence, boiling has also been effective during the evolution of the fluid. The amount of $\delta^{34}\text{S}$ for pyrite has a range between 2.35 to 2.46 and the amount of $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$ equilibrium with pyrite has a range of 1.25 to 1.36 that show a magmatic origin for sulfur (Ohmoto and Rye, 1979; Lesage, 2011). The expansion of propylitic and argillic alteration zones on the surface, the limited quartz-sericite -pyrite zone, the absence of potassic alteration, the existence of lithocap, geochemical anomalies, the range of temperature and salinity of the fluid inclusion can be indicative of the upper part of a porphyry copper system.

References

- 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)
- Lesage, G., 2011. Geochronology, Petrography, Geochemical constrain, and fluid characterization of the Buritica gold deposit. Ph.D. thesis, University of Alberta, Alberta, United State America, 152 pp.
- Naden, J., Killias, S.P. and Darbyshire, D.P.F., 2005. Active geothermal system with entrained seawater as modern analogs for transitional volcanic-hosted massive sulfide and continental magmato-hydrothermal mineralization: the example of Milos Island, Greece. *Geology*, 33(7): 541–544.
- Ohmoto, H. and Rye, R.O., 1979. Isotopes of sulfur and carbon: In: H.L. Barnes (Editor), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Wiley Interscience, New York, pp. 509–567.
- Sillitoe, R.H., 1993. Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and shallow features. *Geological Association of Canada, Special Paper*, 40(1): 403–417.