



## مقاله پژوهشی

## زمین‌شناسی، کانی‌زایی و ژئوشیمی طلا در ناحیه گدارسرخ، منطقه معدنی موته، پهنه سندج - سیرجان

منیره سخدری<sup>1</sup>، مهرداد بهزادی<sup>1\*</sup>، محمد یزدی<sup>1</sup>، نعمت‌الله رشیدنژاد عمران<sup>2</sup> و مرتضی صادقی نایینی<sup>3</sup>

(1) گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(2) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(3) شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران، تهران، ایران

دریافت مقاله: 1398/11/18، پذیرش: 1399/05/14

### چکیده

محدوده گدارسرخ، در پهنه سندج-سیرجان، 20 کیلومتری جنوب غربی منطقه معدنی موته واقع شده است. قدیمی‌ترین رخنمون واحدهای سنگی، کمپلکس شیست سبز با درجه دگرگونی متوسط تا پایین است که سن آن به پالئوزوئیک نسبت داده شده است و شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی دگرگون‌شده، واحد کربناته پرمین که به صورت تدریجی یا ناپیوستگی هم‌شیب و گاه گسله بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته است و در نهایت رخنمون واحدهای شیل و ماسه ژوراسیک است. دایک‌های بازیک و فلسیک درون واحدهای سنگی نفوذ کرده‌اند. توالی‌های سنگی در مراحل مختلف دگرشکلی، نظم اولیه خود را از دست داده است و ساختارهای جدیدی را نشان می‌دهند. دگرشکلی به صورت پهنه‌های برشی شکل‌پذیر-شکنا تا شکنا در محدوده مشاهده می‌شود. کانی‌سازی در شکستگی‌ها و گسل‌ها رخ داده و به صورت ساختاری کنترل شده است. بیشترین تمرکز طلا همراه با کانی‌های اکسید-هیدرواکسید آهن در امتداد گسل‌هایی با روند N45W رخ داده است. کانی‌شناسی ساده و به‌طور عمده شامل پیریت و به صورت محلی کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت، گالن، اسفالریت و کانی‌های ثانویه آهن است. دگرسانی‌های موجود سریستی، کربناتی، کلریتی، سولفیدی، سیلیسی و آرژیلیکی است. بالاترین مقدار طلا در نمونه‌های برداشت شده، به روش لیتوژئوشیمیایی 9/9 ppm و میانگین طلا 0/3 ppm است. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، طلا به صورت آزاد همراه کانی‌های ثانویه آهن مشاهده می‌شود و همچنین نتایج تجزیه مایکروپروپ الکترونی نشان‌دهنده حضور طلا در شبکه کانی‌های سولفیدی است. بر اساس بررسی‌های انجام شده، عوامل کنترل‌کننده کانی‌زایی در پهنه‌های شکل‌پذیر-شکنا، ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌زایی محدوده گدارسرخ، بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع کوه‌زایی دارد.

**واژه‌های کلیدی:** کانه‌زایی طلا، ژئوشیمی، پهنه شکل‌پذیر-شکنا، گدارسرخ، موته، سندج-سیرجان

## مقدمه

کانسارهای طلا که هنگام فرایند کوه‌زایی تشکیل می‌شوند، گسترش وسیعی در فانروزوئیک دارند (Bierlein and Grows, 2000; Goldfarb et al., 2001). این گونه کانسارها که با عنوان کانسارهای کوه‌زایی شناخته می‌شوند (Groves et al., 1998)، نوع اقتصادی و با اهمیت از کانی‌زایی طلا در کمرندهای دگرگون‌شده هستند (Groves et al., 2003). از مهم‌ترین این کانسارها، می‌توان به کانسارهای طلای کمر بند Victoria در استرالیا (Ramsay et al., 1998; Ryan and Bierlein et al., 2001) و Meguma در کانادا (Smith, 1998) اشاره کرد. همچنین در ایران، در توالی فانروزوئیک پهنه سندج-سیرجان، کانی‌زایی طلا در منطقه موته از نوع کوه‌زایی (Rashidnejad-Omran et al., 2001; Kouhestani et al., 2006; Abdollahi et al., 2009; Nourian-Ramsheh, 2015) معرفی شده است. پهنه سندج-سیرجان به طول 2000 کیلومتر و پهنای 150 تا 200 کیلومتر در حوادث کوه‌زاد زاگرس و فروورانش نئوتتیس در غرب ایران ایجاد شده است (Rashidnejad-Omran et al., 2001; Kouhestani et al., 2014). این پهنه ماگمایی-دگرگونی از نظر زمین‌ساختی، یک اولاکوژئوسکلینال یا کافت نافرجام است (Sabzehi, 1996) که در زمان تریاس بالایی تا کرتاسه بالایی و با فروورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر صفحه ایران تحت تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای قرار گرفته است و باعث ایجاد توالی‌های دگرگونی شیب‌سبز تا آمفیبولیت در واحدهای آتشفشانی-رسوبی به سن پالئوزوئیک تا مزوزوئیک شده است (Rashidnejad-Omran, 2001; Mohajjel et al., 2003; Aliyari et al., 2012; Kouhestani et al., 2014). منطقه موته که در این پهنه واقع شده است، از سنگ‌های به شدت دگرشکل شده، تشکیل شده است. فراوانی شیب‌سبز، آمفیبولیت و همچنین چندین مرحله دگرشکلی که گاهی با دگرگونی و توده‌های متعدد آذرین همراه است، از ویژگی‌های زمین‌شناسی این منطقه است (Mohajjel et al., 2003). منطقه موته شامل چندین معدن فعال، شامل چاه خاتون، سنجده، دره اشکی، چاه

باغ و مناطق مستعد دیگری است. تیل و همکاران (1968)، Thiele et al. (1968)، کانی‌زایی طلا در منطقه موته را در ارتباط با نفوذ توده‌های گرانیتی با سن پرکامبرین، موریتز و همکاران (Moritz et al., 2006)، کانی‌زایی طلا را در ارتباط با توده‌های نفوذی و کوهستانی و همکاران (Kouhestani et al., 2014)، عبداللهی و همکاران (Abdollahi et al., 2009) و رشیدنژاد-عمران (Rashidnejad-Omran, 2001) نیز ذخایر طلا را از نوع کوه‌زایی معرفی کرده‌اند. در محدوده گذارسرخ توالی‌های سنگی در مراحل مختلف دگرشکلی، نظم اولیه خود را از دست داده‌اند. دگرشکلی به صورت پهنه‌های برشی شکل پذیر-شکنا تا شکنا مشاهده می‌شود که قابل مقایسه با کانسارهای کوه‌زایی در منطقه است. شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران در سال 1395، در این منطقه فعالیت‌های اکتشافی انجام داده است. در این پژوهش، برای نخستین بار ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، پترولوژی و ژئوشیمی برای بررسی نحوه تشکیل و مدل‌سازی کانی‌زایی طلا در محدوده اکتشافی گذارسرخ مورد بررسی قرار گرفت.

## روش مطالعه

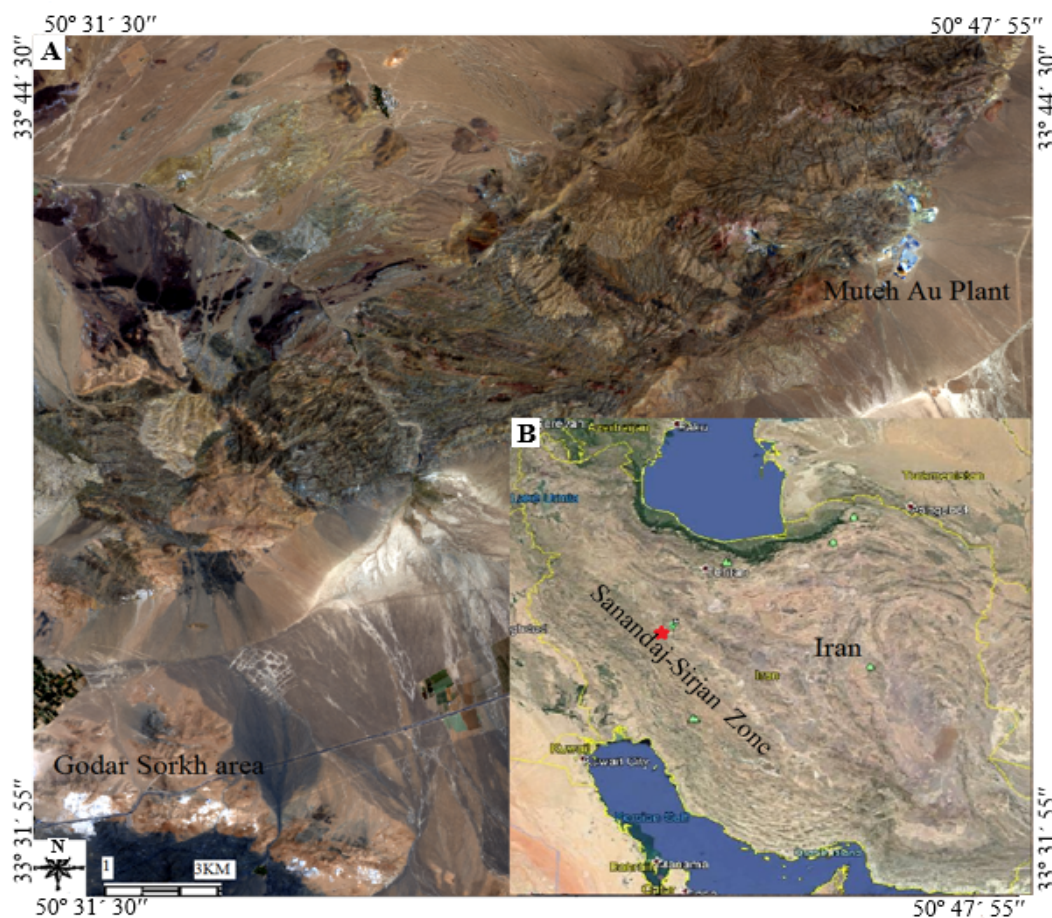
بعد از مشاهدات میدانی، نمونه‌برداری از سنگ‌های میزبان در رخنمون‌های سطحی و مغزه‌های حفاری، برای بررسی‌های آزمایشگاهی در بخش‌های مختلف در محدوده گذارسرخ انجام شد. سپس 27 نمونه مناسب برای تهیه مقاطع نازک، 47 نمونه صیقلی و 10 نمونه نازک-صیقلی انتخاب شد. بعد از تهیه مقاطع، بررسی پتروگرافی و مینرالوگرافی مقاطع با استفاده از میکروسکوپ نوری در دانشگاه شهید بهشتی انجام شد. 21 نمونه برای آنالیز طلا به روش Fire Assay، 21 نمونه برای آنالیز عناصر کمیاب و نادر خاکی با دستگاه ICP-MS و 10 نمونه برای آنالیز XRD به مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران ارسال شد (جدول 1). آنالیز اکسید عناصر اصلی 9 نمونه توسط دستگاه XRF در آزمایشگاه کانسارن بینالود انجام شد. با توجه به بررسی‌های پتروگرافی و نتایج آنالیزهای شیمیایی، تجزیه

بر اساس مشاهدات صحرایی و نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد بررسی (شکل 2)، قدیمی‌ترین رخنمون مشاهده شده در محدوده، کمپلکس دگرگونی شیست سبز است. رشید نژاد-عمران و همکاران (Rashidnejad-Omran et al., 2001) سن این کمپلکس را دونین و حتی قدیمی‌تر می‌دانند که میزبان کانی‌زایی طلا در منطقه موته است. در محدوده گدارسرخ، کمپلکس شیست سبز شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی دگرگون و دگرشکل شده با امتداد عمومی شمال‌غرب-جنوب‌شرق است.

مایکروپروپ بر روی 7 نمونه مقطع دوبرصیقلی برای تعیین مقدار طلا و تأیید ماهیت کانی‌ها و دیگر عناصر در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی انجام شد.

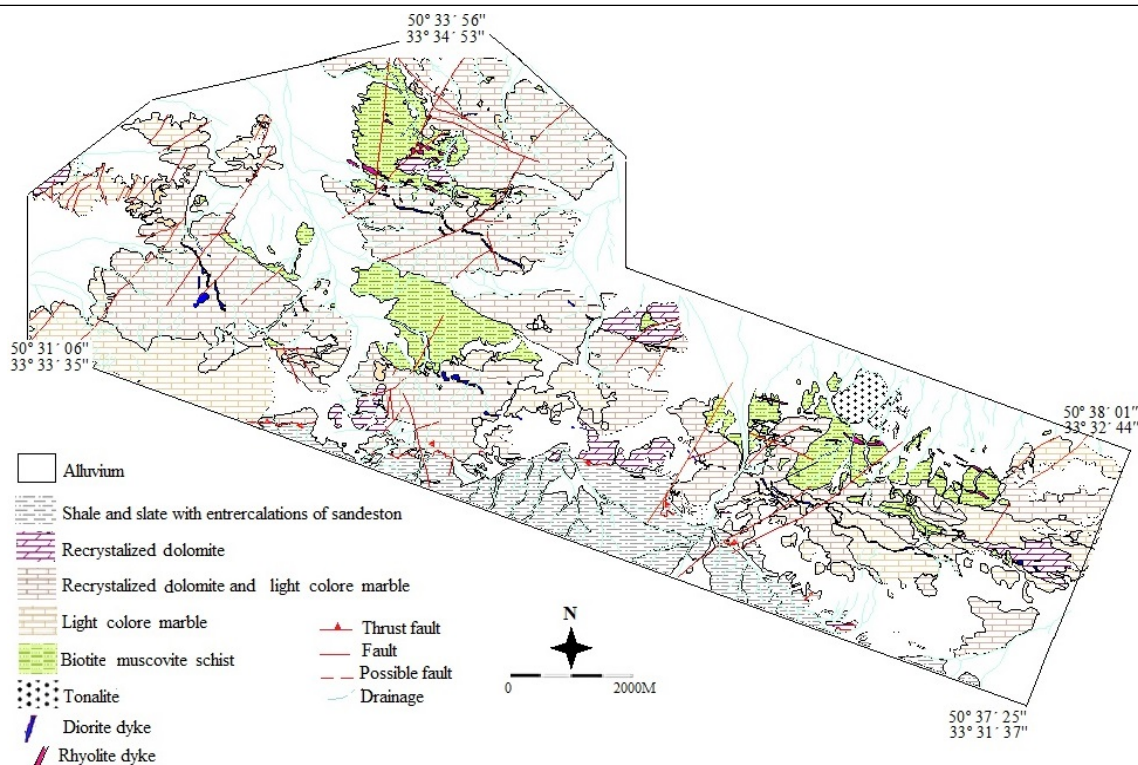
### زمین‌شناسی

محدوده گدارسرخ در 20 کیلومتری جنوب‌غربی منطقه طلاخیز موته بین مختصات جغرافیایی  $50^{\circ} 31'$  تا  $50^{\circ} 38'$  طول شرقی و  $33^{\circ} 31'$  تا  $33^{\circ} 35'$  عرض شمالی، در برگه 1:250000 گلیپایگان (شکل A-1) و در مرکز زون سنندج-سیرجان (شکل B-1) واقع شده است.



**شکل 1. A:** موقعیت محدوده گدارسرخ در 20 کیلومتری جنوب -غرب محدوده معدنی موته و **B:** موقعیت محدوده اکتشافی گدارسرخ (به شکل ستاره قرمز) در پهنه سنندج - سیرجان

**Fig. 1. A:** Location of Godar sorkh area in 20 km southwest of Muteh, and **B:** Location of Godar Sorkh exploration area (red star) in Sanandaj-Sirjan zone



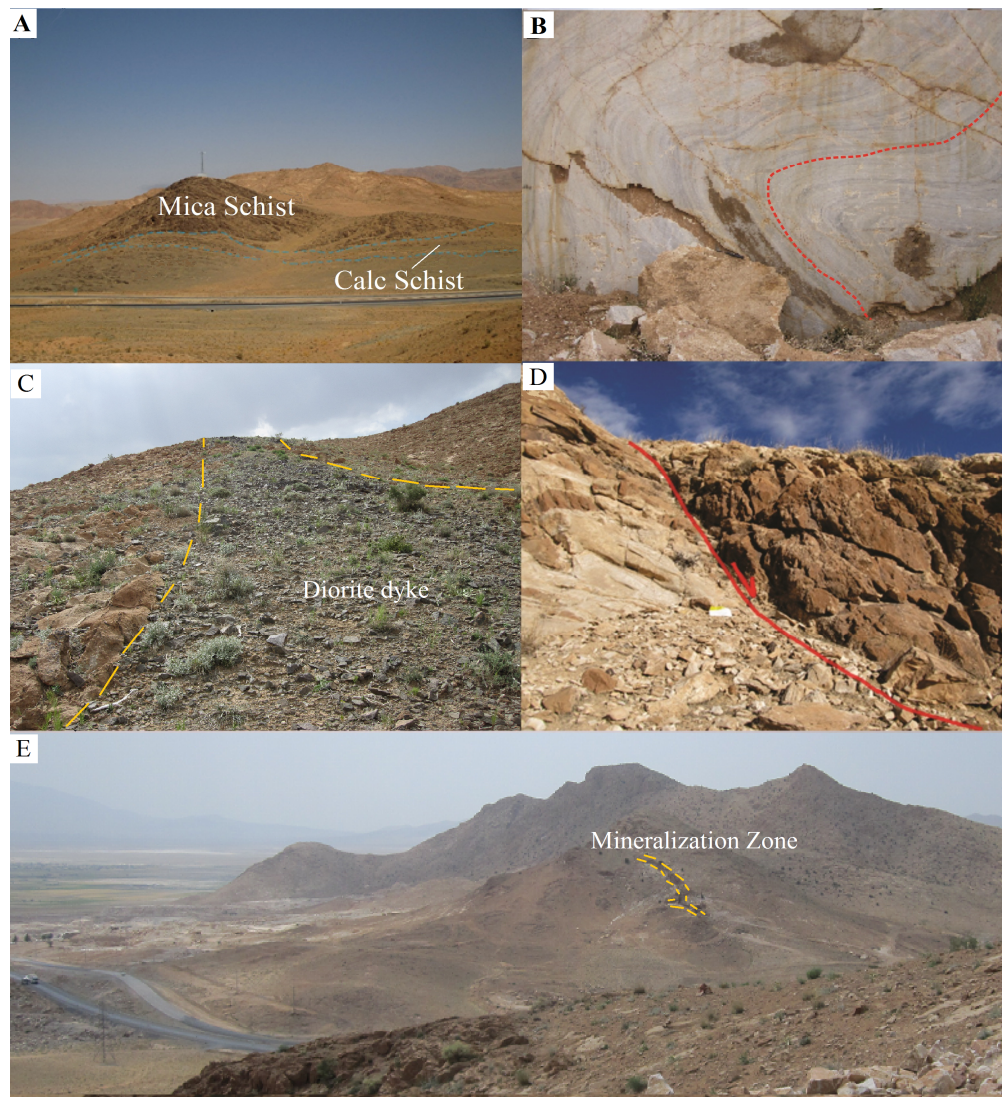
شکل 2. نقشه زمین‌شناسی گدارسرخ، برگرفته از گزارش اکتشاف محدوده گلبایگان، با تغییرات از شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران (Iran Minerals Production Company, 2016)

Fig. 2. Geological Map of Godar Sorkh area, taken from Golpayegan area exploration report modified after (Iran minerals production company, 2016)

کرده‌اند. محدوده مورد بررسی دچار چین خوردگی طاق‌دیس گونه‌ای است که سطح محوری آن شمال‌غربی-جنوب‌شرقی است و در برخی نقاط در اثر عملکرد گسل‌ها، گسیخته شده است. بر روی پال‌های این ساختار ریز چین‌هایی در مقیاس‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی دیده می‌شود (شکل 3-B). توده‌های نفوذی (شکل 3-C) با گسل‌هایی با روند شمال‌غرب-جنوب شرق کنترل می‌شوند. عملکرد گسل‌های محدوده باعث بهم‌ریختگی در کل منطقه شده است (شکل 3-D). دگرشکلی به صورت پهنه‌های برشی شکل‌پذیر تا شکنا مشاهده می‌شود. کانی‌سازی در شکستگی‌ها و گسل‌ها رخ داده است. بیشترین تمرکز طلا در رگه-رگچه‌ها همراه با کانی‌های ثانویه آهن در امتداد گسل‌های با روند N45W رخ داده است (شکل 3-E).

واحدهای سنگی در این کمپلکس (شکل 3-A) شامل تناوبی از میکاشیست، کالک‌شیست، کوارتزیت، شیست سیاه کربن‌دار است و پس از آن واحد کربناته پرمین به صورت تدریجی یا ناپیوستگی هم‌شیب و گاه گسله بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته است و واحدهای شیل و ماسه‌سنگ ژوراسیک در جنوب‌غرب محدوده رخنمون دارند. در محدوده گدارسرخ واحدهای نفوذی دیوریتی و متاریولیتی بیشتر به صورت دایک و با روند شمال‌غربی-جنوب شرقی درون توالی‌های سنگی تزریق شده‌اند و به شدت خرد شده، تکتونیزه و گاه آلتزه هستند. در توده‌های نفوذی کانی‌زایی دیده نمی‌شود. واحدهای سنگی در طی چندین مرحله به شدت دچار دگرریختی و تغییر شکل شده و نظم و ترتیب اولیه خود را از دست داده‌اند و در نتیجه ساختارهای متنوعی را در یک پهنه شکل‌پذیر-شکنا ایجاد





**شکل 3.** A: رخنمون واحدهای میکاشیستی و کالک‌شیستی، B: چین‌خوردگی در واحد آهک متبلور پرمین، C: دایک دیوریتی سبز رنگ تزریق شده درون واحد کربناته پرمین، D: گسل نرمال درون واحد کربناته پرمین و E: زون کانی‌زایی در محدوده گدارسرخ

**Fig. 3.** A: Outcrop of mica schist and calc schist units, B: Folded in the Permian crystallized limestone, C: Diorite dyke intruded in Permian carbonate units, D: Normal fault in the Permian carbonate, and E: Mineralization zone in the the Godar Sorkh area

### دگرسانی

دگرگونی کانی‌های کلریت، آمفیبول، کوارتز، فلدسپات، بیوتیت، آلپیت، اپیدوت، اکسیدهای آهن و همچنین کلسیت، دولومیت و گاهی آنکرایت دیده می‌شوند. محصولات دگرسانی گرمایی می‌توانند نشان‌دهنده تحول سیال، مسیر مهاجرت آن و نیز منشأ سیال گرمایی باشند (Ashrafpure, 2008). بر مبنای

در نمونه‌های برداشت شده از واحدهای سنگی موجود در منطقه، عمده کانی‌های تشکیل شده در سنگ‌های آذرین شامل کوارتز، فلدسپارهای آلکالن، پلاژیوکلاز، کوارتز، هورنبلند، پیروکسن، بیوتیت، کلریت و مقدار کمی آپاتیت است. در سنگ‌های

کانه‌دار هستند. سولفیدها در اثر هوازدگی به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن (لیمونیت، هماتیت، گوتیت) تبدیل شده‌اند (شکل F-4) که با رنگ سرخ، قهوه‌ای و زرد به راحتی در صحرا قابل تشخیص است.

### کانی‌زایی

کانی‌زایی مشاهده شده در مقاطع میکروسکوپی شامل پیریت، گوتیت، هماتیت، لیمونیت و به صورت محلی کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت، گالن، اسفالریت است. همچنین کانی‌های کوارتز، کانی‌های رسی، کربنات‌ها و فلدسپارها از کانی‌های همراه این مجموعه به‌شمار می‌آیند. پیریت، کانی سولفیدی غالب در محدوده گذار سرخ است که شامل دو نسل است.

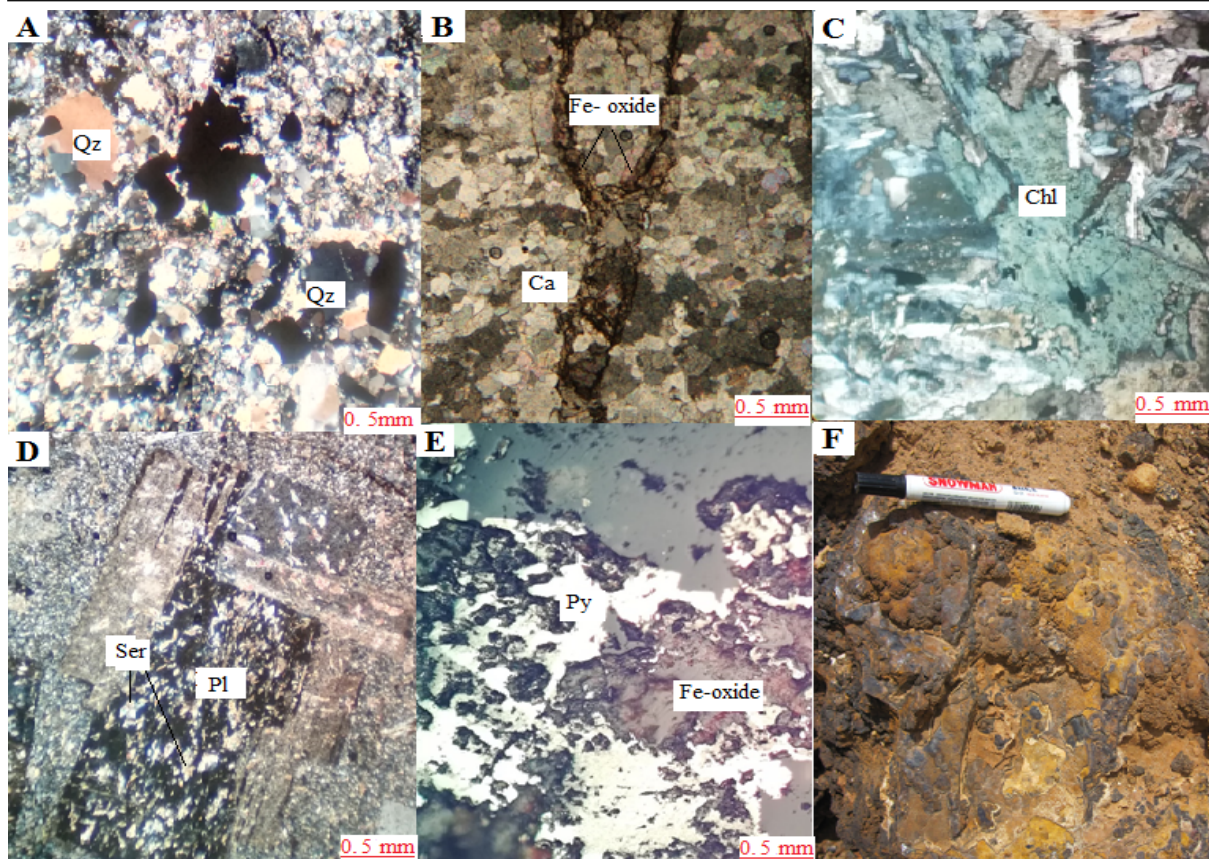
نسل اول، متوسط تا درشت‌دانه، شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار است و اغلب جهت‌یافته و بر برگ‌وارگی منطبق هستند. این نسل از پیریت‌ها در نتیجه فعالیت‌های اولیه گرمایی ایجاد شده‌اند و معمولاً در سطح خود دارای درزو شکاف هستند. این پیریت‌ها اغلب در حال تبدیل به هماتیت و گوتیت هستند؛ ولی شکل بلوری خود را حفظ کرده‌اند (شکل A-5).

نسل دوم، به صورت سالم با بافت پراکنده و پرکننده فضای خالی که رگه‌ها و رگچه‌ها را پر کرده و به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و ریزدانه دیده می‌شوند. این پیریت‌ها توسط سیال‌های گرمایی در مراحل بعدی جایگزین شده‌اند (شکل 5-B). ذرات طلای آزاد همراه با هماتیت و گوتیت که در اثر تغییر شکل و هوازدگی پیریت، تشکیل شده است نیز دیده می‌شوند (شکل 5-C).

بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی سنگ‌ها نشان‌دهنده سه نسل کوارتز است. کوارتز نسل اول، به صورت بلورهای درشت پورفیر و کلاست در زمینه سنگ که پیش از دگرشکلی به وجود آمده‌اند، دیده می‌شود. کوارتزهای نسل دوم، مربوط به مرحله اول گرمایی هستند و شامل رگه‌های کوارتز با اندازه بلورهای متوسط و حاوی سولفید هستند و کوارتزهای نسل سوم که نسل‌های قبل را قطع می‌کنند (شکل 5-D).

بررسی‌های صحرایی، میکروسکوپی و آنالیز پرتو ایکس (جدول 3)، دگرسانی‌های ایجاد شده شامل سریست، کربناتی، سیلیسی، کلریتی و کائولینیتی است که با گسترش پهنه‌های برشی و شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در منطقه همخوانی دارد و همچنین کانی‌های ثانویه آهن که در نتیجه اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی به وجود آمده‌اند، به فراوانی دیده می‌شوند. دگرسانی گرمایی سبب گسترش کانی‌های ثانویه مثل کلسیت، دولومیت، سریست، کلریت و کانی‌های رسی شده است (شکل 4). دگرسانی سیلیسی به شکل کانی‌زایی کوارتز در زمینه سنگ و به صورت رگه - رگچه‌ای دیده می‌شود (شکل A-4). کربناتی‌شدن، دگرسانی غالب در محدوده است که بیشتر به صورت کلسیت، دولومیت دیده می‌شوند و رگه‌های اکسید و هیدرواکسیدهای آهن نیز همراه آنها دیده می‌شود (شکل B-4). در برخی از نمونه‌ها کانی‌های مافیک مانند آمفیبول‌ها و گاهی پروکسن در حال تبدیل به کلریت و اکسیدها آهن هستند که در شست‌های سبز و دایک‌های دیوریتی متداول است (شکل C-4). دگرسانی سریستی با حضور کانی‌های کوارتز ریزبلور، سریست، پیریت و کانی‌های فرعی آلیت و کلریت مشخص می‌شود (Asgharzadeh et al., 2017). اغلب فلدسپارها و پلازیوکلازها در حال تبدیل به سریست و گاهی کانی‌های رسی و کربنات‌ها هستند (شکل D-4). کانی‌های سولفیدی اغلب به شکل پیریت دیده می‌شود (شکل E-4) که در اثر اکسیداسیون و هوازدگی به کانی‌های اکسید و هیدرواکسید آهن مانند گوتیت، لیمونیت و هماتیت تبدیل شده‌اند (شکل F-4). دگرسانی با گسترش پهنه‌های برشی، شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در منطقه همخوانی دارد. کانی‌های سولفیدی اغلب با دگرسانی سیلیسی همراه است. در بخش‌های کانه‌دار، الگوی زون‌بندی دگرسانی، مشابه اغلب کمرنده‌های دگرگونی طلا دار مشاهده می‌شود (Goldfarb et al., 2005; Groves et al., 2003). در این زون‌بندی، دگرسانی‌های سیلیسی و سولفیدی، بیشترین گسترش را در بخش‌های داخلی زون‌های دگرسانی داشته و منطبق بر زون‌های





**شکل 4.** مقاطع نازک و صیقلی در شکل A تا E نشان‌دهنده کانی‌های متداول دگرسانی در نور XPL در محدوده گدارسرخ هستند. A: دگرسانی سیلیسی در زمینه سنگ، B: دگرسانی کربناتی به صورت کلسیت و دولومیت، C: تبدیل کانی‌های مافیک مانند آمفیبول‌ها و گاهی پیروکسن به کلریت، D: پدید آمدن سریسیت در پلاژیوکلاز، E: پیریت که در حال تبدیل شدن به اکسید آهن است و F: زون کانی‌زایی همراه با اکسید و هیدرواکسید های آهن در محدوده گدارسرخ. علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Qz: کوارتز، Ca: کلسیم، Chl: کلریت، Pl: پلاژیوکلاز، Ser: سریسیت، Py: پیریت).

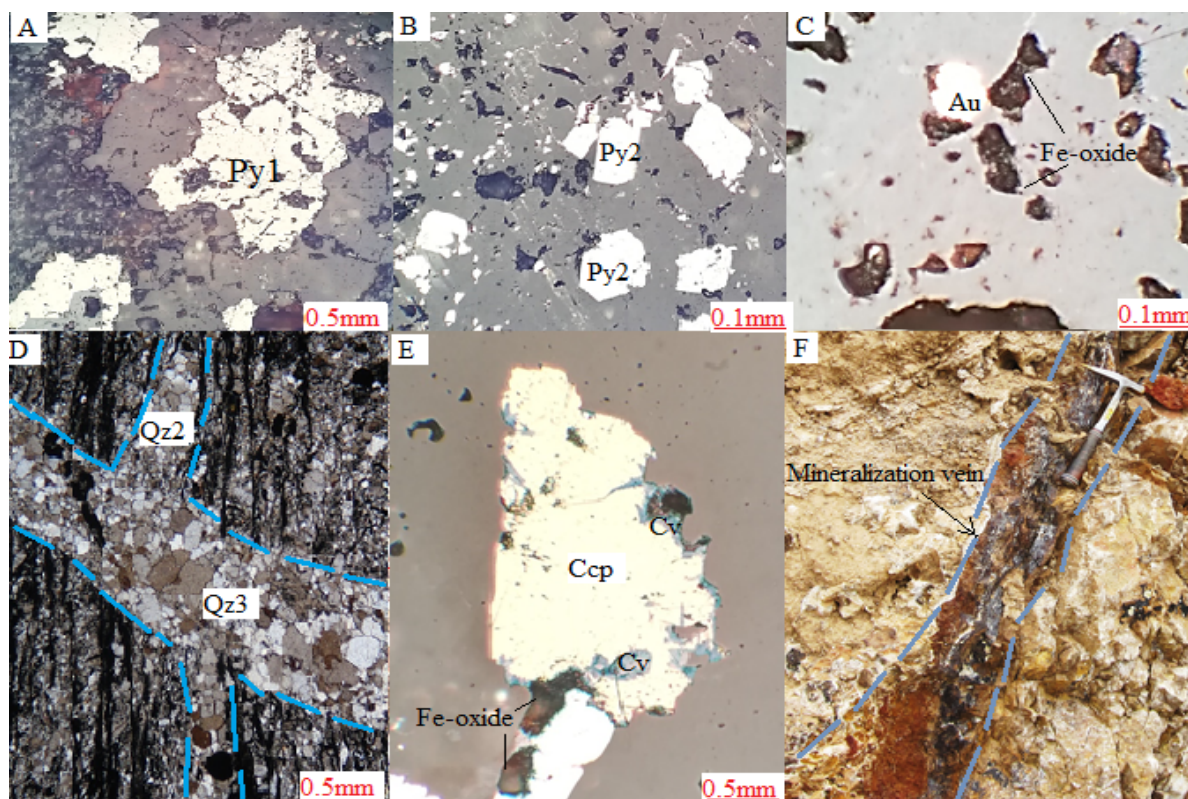
**Fig. 4.** Thin section and polish section (A-E) shows the common altered minerals in XPL in the Godar Sorkh area. A: Silicification alteration in the background, B: Carbonate alteration (calcite and dolomite), C: Conversion of mafic minerals such as amphiboles and sometimes pyroxene to chlorite, D: Sericite occurs as fine-grained in plagioclase, E: Conversion of pyrite to Fe-Oxide, and F: Mineralization zone associated with Fe-oxides and hydroxides in the Godar Sorkh area. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Qz: Quartz, Ca: Calcite, Chl: Chlorit, Pl: Plagioclase, Ser: Sericite, Py: Pyrite).

گسل‌هایی نرمال با روند N45W دیده می‌شود. در محدوده مورد بررسی، کانی‌سازی طلا به صورت آزاد و درگیر در شبکه سولفیدها رخ داده است. زون‌های کانه‌دار با روند شمال‌غربی - جنوب‌شرقی درون واحد آهک مرمری پرمین همراه با کانی‌های

کالکوپیریت به مقدار کم همراه با پیریت و به صورت محلی و پراکنده مشاهده می‌شوند که در برخی قسمت‌ها از حاشیه به کولیت تبدیل شده‌اند (شکل E-5). عمده زون‌های دگرسانی و کانی‌زایی در محدوده اکتشافی گدارسرخ در امتداد

مجرایی برای صعود محلول‌های کانهدار در محدوده اکتشافی عمل کرده‌اند. در محدوده گدارسرخ، عمده تمرکز طلا همراه با کانی‌های ثانویه آهن (گوتیت، هماتیت و لیمونیت) به شکل رگه - رگچه‌ای که در اثر هوازدگی پیریت به وجود آمده‌اند، دیده می‌شوند. ضخامت رگه‌ها تقریباً 2 متر و ضخامت رگچه‌ها 2 تا 20 سانتی‌متر است. رنگ این رگه‌ها قهوه‌ای تیره و گاه زرد لیمونیتی و هماتیتی است (شکل 5-F).

ثانویه آهن برون‌زد دارند. این رگه‌ها در شکستگی‌های کششی منطقه به صورت یک زون رگه - رگچه‌ای تشکیل شده‌اند و با ساختارهای زمین‌ساختی کنترل شده‌اند. کشش ناحیه‌ای ایجاد شده در طی یک رخداد کوه‌زایی و فرایند عقب‌راندگی بخش فروزانده، نقشی بسیار مهم در تولید یک جریان حرارتی با مقیاس بزرگ دارد که باعث تمرکز حجم گسترده‌ای از سیالات هیدروترمال در فضا‌های ساختاری ناشی از این کشش می‌شوند (Goldfarb et al., 2005). در واقع این گسل‌ها مانند



**شکل 5.** A: پیریت نسل اول در سنگ‌های دگرگونی در محدوده گدارسرخ، B: پیریت نسل دوم در شیست سبز، C: طلای خالص همراه با کانی‌های اکسید و هیدرواکسید آهن (گوتیت، هماتیت)، D: رگه کوارتز نسل دوم و کوارتز نسل سوم که شیستوزیته را قطع کرده است (XPL)، E: کالکوپیریت که به کوولیت تبدیل شده است و F: زون کانی‌زایی همراه با اکسید و هیدرواکسید آهن در محدوده گدارسرخ. علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Py: پیریت، Au: طلا، Qz: کوارتز، Ccp: کالکوپیریت، Cv: کوولیت).

**Fig. 5.** A: First generation pyrite in the metamorphic rocks in Godar sorkh area, B: Second generation pyrite in greenschist, C: Native gold associated with Fe-oxide-hydroxide mineral (Goethite, Hematite), D: Second generation of quartz vein and Third generation of quartz veins that cut schistosity (XPL), E: Chalcopyrite that has converted to covellite, and F: Mineralization zone associated with Fe oxide-hydroxide in the Godar Sorkh area. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Py: Pyrite, Au: Gold, Qz: Quartz, Ccp: Chalcopyrite, Cv: Covellite).



### بررسی‌های میکروپروب

در بررسی‌های EPMA، برای تأیید ماهیت کانی‌ها و تعیین مقدار طلا و دیگر عناصر، ابتدا نمونه‌ها با کربن پوشش داده شد و سپس به وسیله دستگاه مایکروپروب مدل CAMECA X 100 با شرایط 20 کیلو الکترون‌ولت<sup>1</sup> و 20 نانوآمپر<sup>2</sup> و با پرتو به قطر 1 تا 5 میکرون مورد بررسی قرار گرفت. در محدوده گدارسرخ، طلای آزاد در اندازه‌های 15 تا 30 میکرومتر در بررسی‌های میکروسکوپی همراه با کانی‌های اکسید-هیدراکسید آهن مشاهده می‌شود (شکل A-6 و B).

بررسی‌های EPMA بر روی کانی‌های سولفیدی و ذرات طلای آزاد انجام شد. مقدار طلا در آنالیز میکروسکوپ الکترونی در کانی پیریت در سنگ‌های دگرگونی به میزان 0/13 wt.% (شکل C-6) و در کانی کالکوپیریت 0/08 wt.% تشخیص داده شد (شکل D-6). همچنین سولفید نقره، مس، گالن، قلع و عناصر نادر خاکی (شکل F-6 و E) نیز شناسایی شد. مقادیر حد حساسیت برای تمامی عناصر 500 گرم در تن است (جدول 1 و شکل 6).

جدول 1. آنالیز الکترون مایکروپروب کانی‌های سولفیدی مختلف و ذرات طلای آزاد در محدوده گدارسرخ

Table 1. Electron microscope analysis of Sulfide minerals and native gold in the Godar Sorkh area

| Grade%       | Fe    | Cu    | S     | Ti   | As   | Ag   | Sb   | Te   | Hg   | Au   | Se   | Zr   | Bi   | Total |
|--------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Native gold  | 0.36  | 0.12  | 0.05  | 0.04 | 0    | 7.48 | 0    | 0    | 0    | 89.8 | 0.01 | 0    | 0.28 | 98.29 |
| Native gold  | 2.25  | 0.06  | 0     | 0    | 0    | 2.04 | 0    | 0.65 | 0    | 95.2 | 0    | 0    | 0.44 | 100.8 |
| Native gold  | 1.37  | 0.05  | 0.02  | 0.05 | 0    | 0.21 | 0    | 0.06 | 0    | 94.7 | 0.01 | 0    | 0.46 | 97.07 |
| Native gold  | 1.48  | 0.01  | 0     | 0.03 | 0    | 0.19 | 0.03 | 0.03 | 0    | 95.6 | 0    | 0.03 | 0.53 | 98.11 |
| Pyrite       | 46.09 | 0.13  | 52.19 | 0    | 0.03 | 0.01 | 0    | 0.03 | 0.25 | 0.13 | 0    | 0    | 0.2  | 99.24 |
| Chalcopyrite | 3.63  | 63.63 | 32.5  | 0    | 0    | 0    | 0.87 | 0    | 0    | 0.08 | 0.04 | 0    | 0    | 100.7 |

### توالی پاراژنتیکی

بر اساس مشاهده روابط صحرایی، بررسی نمونه‌های دستی، بررسی‌های میکروسکوپی نوری و میکروسکوپ الکترونی، می‌توان بیان کرد که کانه‌زایی طلا در محدوده گدارسرخ، دگرگونی ناحیه‌ای و دگرشکلی واحدهای آتشفشانی - رسوبی منطقه را تحت تأثیر قرار داده است و باعث تشکیل کانی‌هایی مانند کوارتز، فلدسپات، کلریت، اپیدوت، کلسیت و کانی‌های

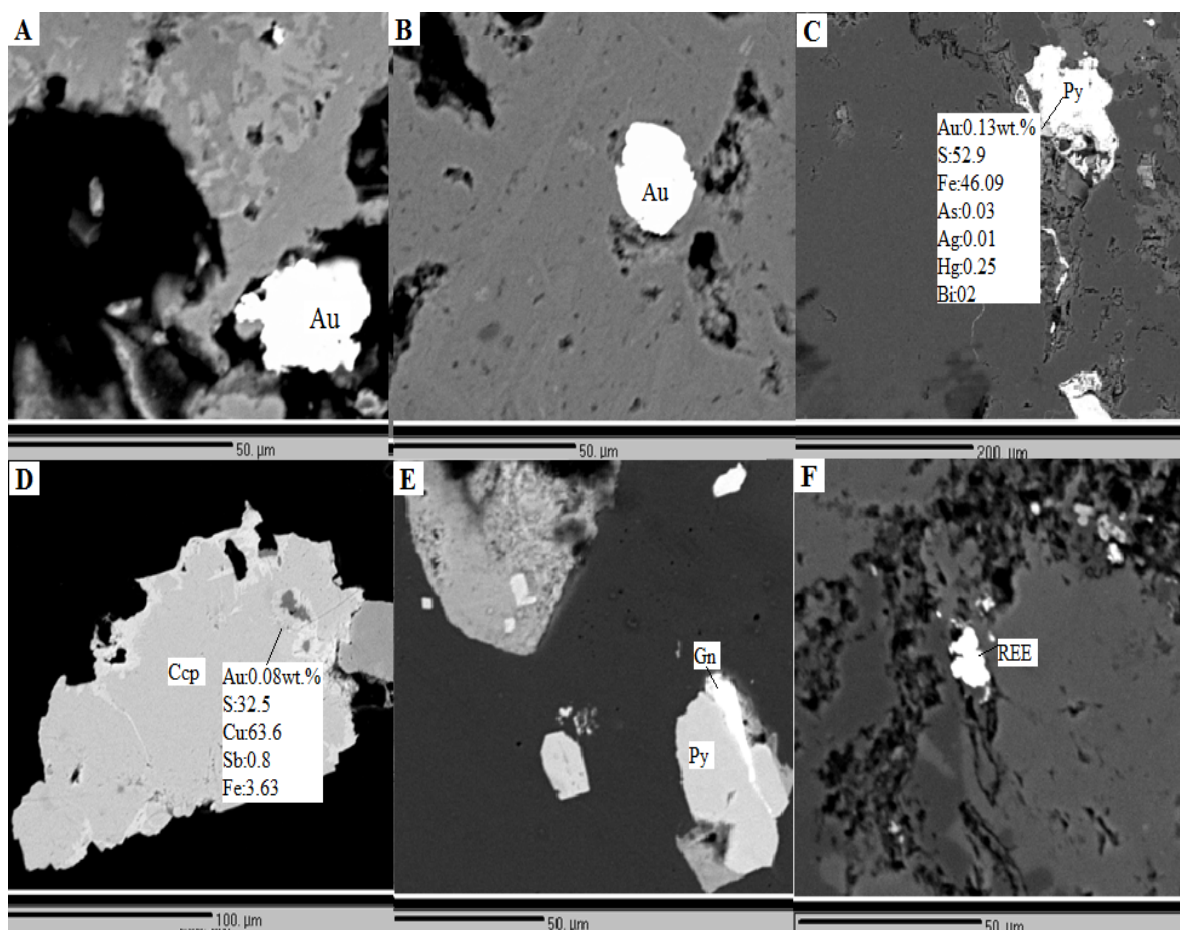
میکائی شده است و در نتیجه آزادسازی سیالات هیدروترمال باعث رخداد سیلیسی شدن و تشکیل کوارتز نسل دوم، سرسیتی شدن، کلریتی شدن و سولفیدی شدن به صورت تشکیل پیریت‌های درشت‌بلور نسل اول، به همراه طلا در مقادیر کم و درگیر در شبکه پیریت و پیریت آرسنیک‌دار بوده است (شکل 7). در مرحله بعدی، بالاآمدگی ناحیه‌ای، کشش‌های محلی، توسعه دگرشکلی شکنا و تزریق سیالات هیدروترمال در

1. Kilo electron volt

2. Nano ampere

کوارتزهای مراحل قبل را قطع کرده است (شکل 7). پس از آن در نتیجه هوازدگی و فرسایش، سولفیدها به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن تبدیل شده است که باعث آزادسازی طلا از شبکه پیریت شده است.

زون‌های گسلی سبب تشکیل رگه-رگچه‌های کوارتز-سولفید طلا دار در زون‌های گسلی شده است. کانی‌های تشکیل شده در این مرحله، شامل پیریت نسل دوم و پیریت آرسنیک‌دار ریزبلور، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، گالن و اسفالریت به همراه طلاست. در این مرحله کوارتزهای نسل سوم تشکیل شده که



**شکل 6.** تصاویر میکروسکوپ الکترونی (BSE) در کانی‌های موجود در نمونه‌ها، A و B: طلای آزاد، C: کانی پیریت که نشان‌دهنده مقدار 0/13wt.% طلاست، D: کانی کالکوپیریت که نشان‌دهنده 0/08 wt.% طلاست، E: رشد گالن در شکستگی‌های پیریت و F: عناصر نادر خاکی در زمینه فلدسپار در محدوده گذار سرخ. علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) (Au: gold, Py: Pyrite, Ccp: Chalcopyrite, REE: Rare earth element, Gn: Galena).

**Fig. 6.** Electron microscope (BSE) images are available in the samples. A and B: Native gold, C: Pyrite involved 0.13wt.% Au, D: Chalcopyrite involved 0.08wt.% Au, E: Galen has grown in fracture of pyrite, and F: REE in the feldspar mineral in the Godar Sorkh area. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Au: gold, Py: Pyrite, Ccp: Chalcopyrite, REE: Rare earth element, Gn: Galena).

| Minerals Stages     |              |          | Pre-deformation | Hydrothermal |          | Supergenesis |
|---------------------|--------------|----------|-----------------|--------------|----------|--------------|
|                     |              |          |                 | Stage I      | Stage II |              |
| Ore minerals        | Pyrite       | Type I   |                 |              |          |              |
|                     |              | Type II  |                 |              |          |              |
|                     | Chalcopyrite |          |                 |              |          |              |
|                     | Galena       |          |                 |              |          |              |
|                     | Sphalerite   |          |                 |              |          |              |
|                     | Gold         |          |                 |              |          |              |
|                     | Covellite    |          |                 |              |          |              |
|                     | Fe- oxide    |          |                 |              |          |              |
| Alteration minerals | Feldspar     |          |                 |              |          |              |
|                     | Carbonate    |          |                 |              |          |              |
|                     | Quartz       | Type I   |                 |              |          |              |
|                     |              | Type II  |                 |              |          |              |
|                     |              | Type III |                 |              |          |              |
|                     | Chlorite     |          |                 |              |          |              |
|                     | Sericite     |          |                 |              |          |              |
| Kaolinite           |              |          |                 |              |          |              |

شکل 7. توالی پاراژنتیک کانی‌های مشاهده شده در محدوده گدارسرخ

Fig. 7. Paragenetic sequence of observed minerals in the Godar Sorkh area

## ژئوشیمی

هدف ژئوشیمی اکتشافی، دستیابی به تمرکز غیرعادی عناصری است که به کانی‌سازی وابسته‌اند. توزیع آماری عناصر اصلی در طبیعت عادی است. در شرایطی که سنگ‌ها تحت تأثیر دگرسانی و کانی‌زایی قرار بگیرند، این توزیع از حالت نرمال خارج شده و به شکل غیرعادی در می‌آید (Adams, 1985; Roohbakhsh et al., 2018). در تجزیه نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی و بررسی نتایج آنالیز Fire assay، بالاترین مقدار طلا 9/9 ppm در پهنه کانه‌دار و میانگین طلا در مجموع 0/3 ppm است (جدول 2) که بیشترین مقدار آن بر زون‌های کانه زایی رگه- رگچه‌ای منطبق است. توده‌های نفوذی در مجاورت واحدهای آتشفشانی- رسوبی نفوذ کرده‌اند که آثار کانی‌سازی در آنها مشاهده نمی‌شود و احتمالاً فقط نقش منبع حرارتی را در تمرکز عناصر داشته‌اند. در راستای بررسی‌های لیتوژئوشیمیایی انجام‌شده، نمونه‌ها از قسمت‌های کانی‌سازی شده و دگرسان‌شده در واحدهای سنگی برداشت شد. برای تعیین

روابط همبستگی عناصر از روش رگرسیون خطی استفاده شده است. در این راستا، نمودار پراکندگی عناصر ترسیم شد که در نتایج به‌دست آمده (شکل 8)، طلا با عناصر آرسنیک، بیسموت، نقره و آنتیموان دارای همبستگی است.

## ژئوشیمی اکسید عناصر اصلی

نتایج آنالیز اکسیدهای اصلی<sup>1</sup> در توده‌های نفوذی محدوده مورد مطالعه، بررسی شد (جدول 4). مقادیر  $\text{SiO}_2$  از 42/38 تا 74/72 متغیر است. نمونه‌های توده‌های نفوذی در این پژوهش (رنگ نارنجی) و در پژوهش‌های قبلی (رنگ آبی) (Mousazade, 2016) در نمودار اکسیدپتاسیم در برابر اکسید سیلیس (Peccerillo and Taylor, 1976) در منطقه کالک‌آلکان (شکل 9-A) و در نمودار ACNK در برابر  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$  (شکل 9-B) (Pearce et al., 1984) قرار گرفت.

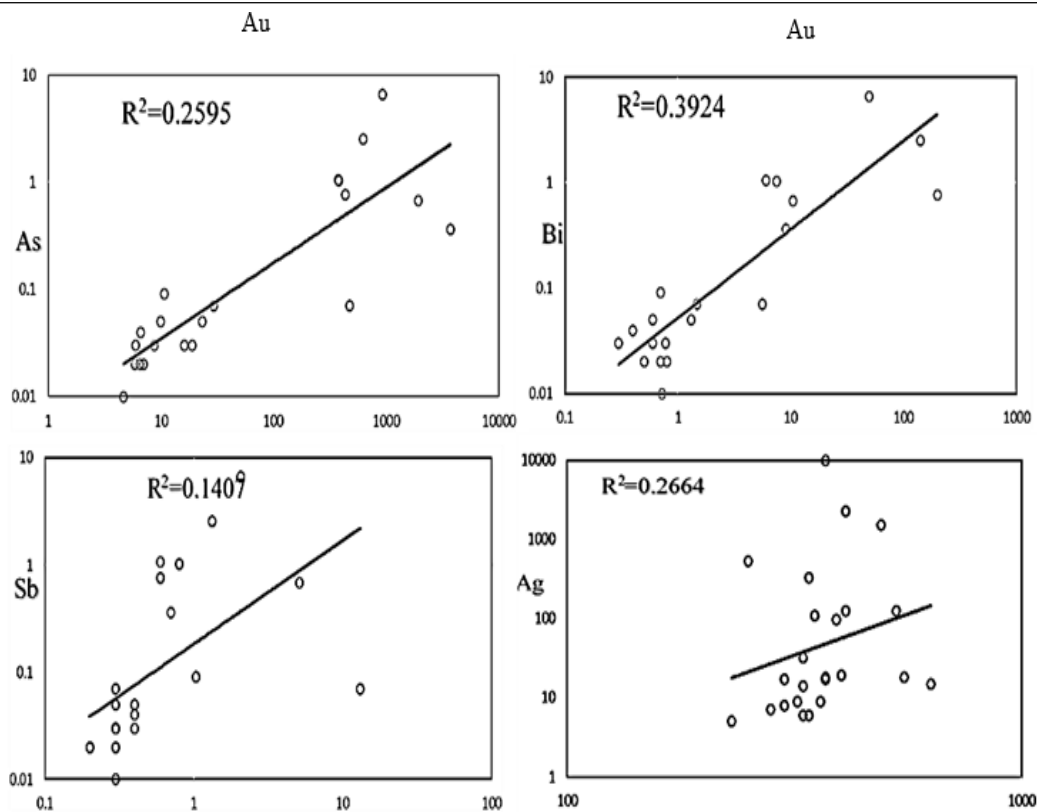
1. X-Ray Diffraction



**جدول 2.** نتایج آنالیز Fire Assay و XRD برای طلا در زون‌های کانی‌زایی و سنگ‌های میزبان در محدوده گدارسرخ

**Table 2.** Results of Fire Assay and XRD analysis in mineralization zones and host rocks of the Godar Sorkh

| X      | Y       | METHOD- CO | Au(ppm) | XRD                                                 |
|--------|---------|------------|---------|-----------------------------------------------------|
| 462145 | 3712575 | GM_1       | 0.05    |                                                     |
| 458606 | 3712813 | GM_2       | 1.03    |                                                     |
| 459302 | 3713672 | GM_3       | 0.02    |                                                     |
| 459119 | 3714495 | GM_4       | 0.01    |                                                     |
| 458834 | 3714154 | GM_5       | 0.03    | Quartz, Dolomite, Albite low, Chabazite             |
| 458601 | 3712812 | GM_6       | 2.53    |                                                     |
| 459119 | 3714495 | GM_7       | 0.03    | Quartz, Albite low, Clinocllore, Dickite, Muscovite |
| 458593 | 3712828 | GM_8       | 0.02    |                                                     |
| 458813 | 3713055 | GM_9       | 0.04    |                                                     |
| 459266 | 3712447 | GM_10      | 0.02    |                                                     |
| 459119 | 3714495 | GM_11      | 0.05    |                                                     |
| 458588 | 3712810 | GM_12      | 0.68    | Goethite, Quartz, Calcite, Hematite                 |
| 460469 | 3713711 | GM_13      | 0.03    |                                                     |
| 458834 | 3714154 | GM_14      | 0.09    |                                                     |
| 458601 | 3712812 | GM_15      | 6.6     | Goethite, Calcite, Gypsum                           |
| 458589 | 3712811 | GM_16      | 0.36    | Goethite, Dolomite, Calcite, Quartz                 |
| 458594 | 3712822 | GM_17      | 0.76    |                                                     |
| 459272 | 3712383 | GM_18      | 0.07    | Calcite, Goethite                                   |
| 458592 | 3712807 | GM_19      | 1.06    | Goethite, Calcite, Quartz, Goethite                 |
| 461684 | 3713139 | GM_20      | 0.07    | Dolomite, Calcite, Quartz, Goethite                 |
| 461491 | 3713232 | GM_21      | 0.03    | Calcite, Dolomite,                                  |
| 459286 | 3714402 | GM_22      | 0.1     |                                                     |
| 458597 | 3712823 | GM_23      | 2.8     | Calcite, Goethite                                   |
| 458581 | 3712824 | GM_24      | 3.3     |                                                     |
| 459286 | 3714402 | GM_25      | 0.01    |                                                     |
| 458525 | 3712840 | GM_26      | 5.9     |                                                     |
| 459709 | 3712190 | GM_27      | 0.05    |                                                     |
| 459259 | 3712422 | GM_28      | 7.5     |                                                     |
| 459275 | 3712391 | GM_29      | 0.06    |                                                     |
| 459230 | 3712439 | GM_30      | 1.8     |                                                     |



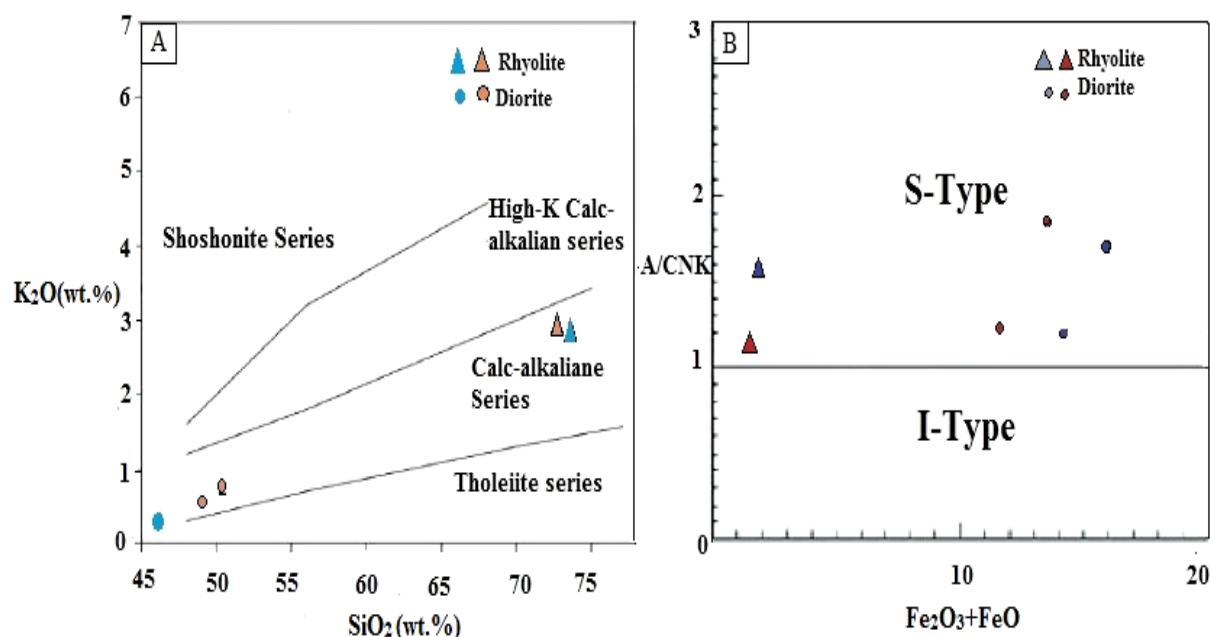
شکل 8. نمودار همبستگی عناصر مختلف در برابر طلا در محدوده گدارسرخ

Fig. 8. Correlations diagram of elements vs gold in the Godar Sorkh area

جدول 3. نتایج ژئوشیمیایی اکسیدهای اصلی در توده‌های نفوذی بر حسب درصد وزنی در محدوده گدارسرخ

Table 3. Major geochemical results based on weight percentage for the intrusive rocks in the Godar Sorkh area

| Sample | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO <sub>t</sub> | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | MgO  | TiO <sub>2</sub> | MnO   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | LOI   | Total  |
|--------|------------------|--------------------------------|------------------|------|-------------------|------------------|------|------------------|-------|-------------------------------|-------|--------|
| GM-5   | 72.38            | 15.75                          | 1.19             | 1.13 | 3.7               | 2.5              | 0.64 | 0.24             | 0.029 | 0.044                         | 2     | 99.603 |
| GM-16  | 51.4             | 19.88                          | 6.76             | 6.41 | 3.14              | 0.84             | 5.4  | 1.7              | 0.13  | 0.312                         | 3.88  | 99.852 |
| GM-19  | 50.05            | 18.22                          | 8.17             | 6.62 | 3.28              | 0.43             | 4.72 | 1.863            | 0.149 | 0.335                         | 5.68  | 99.517 |
| 93-D4  | 74.72            | 13.88                          | 1.03             | 1.01 | 5.84              | 2.25             | 0    | 0                | 0     | 0                             | 1.27  | 100    |
| 94-D12 | 46.35            | 18.29                          | 9.16             | 9.29 | 5.58              | 0.29             | 6.13 | 1.17             | 0     | 0.5                           | 3.1   | 99.86  |
| 93-D2  | 42.38            | 16.92                          | 8.62             | 6.92 | 5.19              | 0.43             | 6.67 | 1.24             | 0     | 0.49                          | 11.14 | 100    |



شکل 9. A: نمودار پراکندگی نمونه‌های توده‌های نفوذی  $K_2O$  wt.% در برابر  $SiO_2$  wt.% (Peccerillo and Taylor, 1976) و B: داده‌های ژئوشیمیایی در نمودار A/CNK در برابر  $Fe_2O_3+FeO$  برای توده‌های نفوذی محدوده گدارسرخ (Pearce et al., 1984).

**Fig. 9.** A: Variation diagram of  $K_2O$  vs.  $SiO_2$  for intrusive rocks data (Peccerillo and Taylor, 1976), and B: Variation diagram of A/CNK vs  $Fe_2O_3+FeO$  for intrusive rocks of Godar Sorkh area (Pearce et al., 1984).

غنی‌شدگی در عناصر نادر خاکی است (جدول 4). غنی‌شدگی در عناصر نادر خاکی سبک از نشانه‌های ماگمای مرتبط با پهنه فرورانش حاشیه قاره است (Pearce, 1983; Wilson, 1989; Rollinson, 1993).

### مدل کانی‌سازی

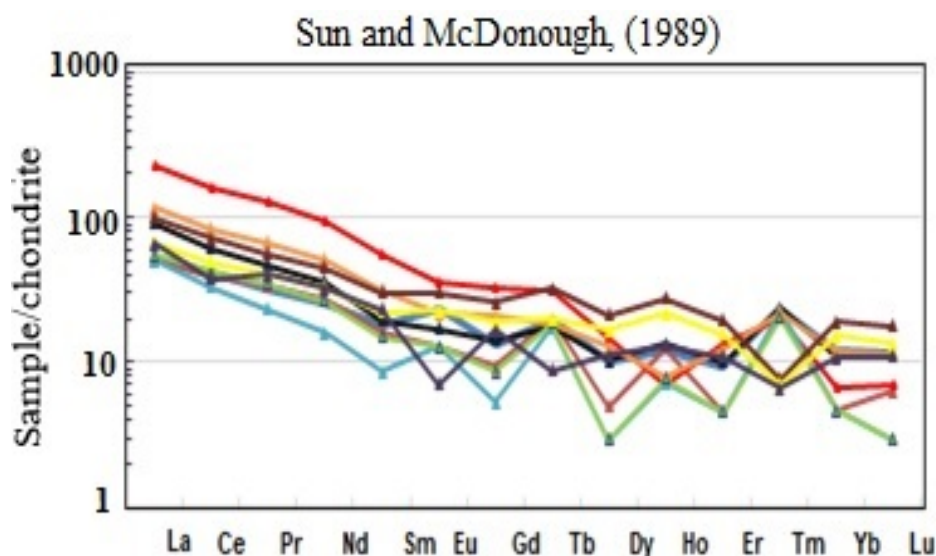
کانی‌زایی در محدوده را با توجه به عوامل کنترل‌کننده کانی‌زایی و ویژگی‌های محدوده اکتشافی گدارسرخ، وجود دگرشکلی و دگرگونی ناحیه‌ای، وجود گسل‌های نرمال کنترل‌کننده کانی‌زایی در پهنه‌های شکل‌پذیر - شکنا تا شکنا، بافت کانی‌زایی رگه - رگچه‌ای، می‌توان به این شکل بیان کرد که در این مرحله ابتدا مواد مذاب آتشفشانی به صورت گدازه و اجزای تخریبی مانند کوارتز، فلدسپات و کانی‌های رسی وارد حوضه شده و توالی‌های آتشفشانی-رسوبی منطقه در مقیاس

### ژئوشیمی عناصر نادر خاکی و کمیاب

عناصر نادر خاکی، عناصر جزئی با کمترین انحلال‌پذیری محسوب می‌شوند که هنگام دگرگونی درجه پایین و دگرسانی گرمایی نسبتاً نامتحرک هستند؛ ولی اگر نسبت سیال به سنگ بسیار بالا باشد، کاملاً بی‌تحرک نیستند (Rollinson, 1993). نتایج بررسی رفتار ژئوشیمیایی و تغییرات عناصر نادر خاکی در جدول 4 آمده است. در نمودار نرمالیزه‌شده نسبت به کندریت در توده‌های نفوذی و سنگ‌های دگرگونی، عناصر نادر خاکی سبک غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل 10) و بی‌هنجاری Eu دیده نمی‌شود. در توده‌های نفوذی مجموع REE از 58 تا 147/5 و در سنگ‌های دگرگونی مجموع REE از 52/1 تا 246/5 متغیر است (جدول 4). نسبت عناصر نادر خاکی سبک به عناصر نادر سنگین در نسبت  $(La/Yb)_N$  بین 4/2 تا 33/7 و در  $(La/Lu)_N$  بین 4/5 تا 32/4 متغیر است که نشان‌دهنده

پیریت صورت می‌گیرد. این کانسارها دارای کنترل‌کننده‌های ساختاری قوی شامل گسل‌ها یا پهنه‌های برشی، چین‌ها و نیز زون‌های نامقاوم بین واحدهای لیتولوژیکی مختلف با ویژگی‌های ژئولوژیکی متفاوت هستند (Goldfarb et al., 2005). در کانسارهای کوه‌زایی، ساختارهای گسلی اصلی در مقیاس ناحیه‌ای به طول چند صد کیلومتر از نظر انتقال سیالات کانه‌دار و ساختارهای محلی، از نظر تمرکز سیالات و کانی‌زایی طلا دارای اهمیت زیادی هستند (Robert et al., 1995). در نهایت بالاآمدگی، هوازدگی و فرسایش پس از آن باعث تبدیل سولفیدهای فلزی به اکسید-هیدرواکسید آهن و آزادسازی طلا از شبکه پیریت شده است. نتایج ژئوشیمیایی به‌دست آمده از بررسی زون‌های دگرسانی و کانی‌زایی، نشان‌دهنده همراهی و همیافت عناصر Rb، Zn، Ag، S، W، As، Cu، Pb و Sb با کانی‌زایی طلا و مقدار  $Au > Ag$  است. بنابراین محدوده اکتشافی گدارسرخ قابل‌مقایسه با کانسارهای نوع کوه‌زایی است. در جدول 5، ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار طلای گدارسرخ با کانسارهای کوه‌زایی مقایسه شده است.

ناحیه‌ای در محیطی ریفتی در زمان دونین یا قبل از آن در منطقه تشکیل شده است. پس از آن هم‌زمان با فروانش پوسته اقیانوسی نئوتیس و ایجاد سیستم فشارشی در پهنه سندج-سیرجان در زمان تریاس بالایی تا کرتاسه بالایی، واحدهای آتشفشانی-رسوبی تحت تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای و دگرشکلی (شکل‌پذیر) ناشی از آن، در حد رخساره شیست سبز قرار گرفته است که باعث خروج مواد فرار، توسعه برگ‌وارگی، چین‌خوردگی و به‌هم ریختگی واحدهای سنگی و همچنین باعث حرکت سیالات غنی از  $H_2O$  و  $CO_2$  به سمت بالا شده است که در مسیر خود طلا را از واحدهای آتشفشانی-رسوبی مسیر شسته و به شکل کمپلکس بی‌سولفیدی مهاجرت و سپس ته‌نشست داده است. کانسارهای طلای کوه‌زایی از نظر جایگاه زمین‌ساختی، اغلب در حواشی هم‌گرا در مراحل نهایی دگرگونی-دگرشکلی تشکیل می‌شوند (Groves et al., 2003) که با ایجاد زمین‌ساخت کششی، توسعه دگرشکلی شکنا، ایجاد شکستگی‌ها و گسل‌های نرمال سیالات دگرگونی، به درون ساختارهای شکنا از قبیل گسل‌ها و شکستگی‌ها وارد شده و ته‌نشینی طلا همراه با



شکل 10. نمودار عنکبوتی REE نرمالیزه شده نسبت به کندریت (Sun and McDonough, 1989) در توده‌های نفوذی و سنگ‌های دگرگونی محدوده اکتشافی گدارسرخ

Fig. 10. Normalized REE spider diagram to chondrite (Sun and McDonough, 1989) in intrusive rocks and metamorphic rocks of Godar Sorkh area



جدول 4. مقادیر عناصر نادر خاکی (ppm) و عناصر کمیاب (ppm) در محدوده گدارسرخ

Table 4. REE (ppm) and trace element (ppm) data in Godar Sorkh area

| Element  | GM-4  | GM-6  | GM-27 | GM-10  | GM-11 | GM-13 | Gm-18 | Gm-5  | GM-16 | GM-19 |
|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| La       | 12.52 | 12.04 | 21.68 | 54.42  | 11.81 | 27.74 | 13.10 | 4.43  | 23.44 | 15.93 |
| Ce       | 25.66 | 24.23 | 37.65 | 100.09 | 20.03 | 50.61 | 25.60 | 24.16 | 44.26 | 29.87 |
| Pr       | 3.10  | 3.18  | 4.44  | 11.95  | 2.23  | 6.37  | 3.26  | 4.16  | 5.31  | 3.85  |
| Nd       | 12.14 | 12.61 | 16.73 | 44.05  | 7.39  | 24.20 | 12.40 | 15.48 | 21.23 | 15.50 |
| Sm       | 2.75  | 2.50  | 3.01  | 8.37   | 1.31  | 4.81  | 2.27  | 1.82  | 4.64  | 3.42  |
| Eu       | 1.37  | 0.75  | 1.00  | 2.10   | 0.75  | 1.25  | 0.75  | 0.45  | 1.77  | 1.31  |
| Gd       | 2.68  | 1.92  | 2.92  | 6.71   | 1.09  | 4.29  | 1.76  | 1.09  | 5.29  | 3.95  |
| Tb       | 0.75  | 0.75  | 0.67  | 1.18   | 0.65  | 0.70  | 0.69  | 0.16  | 1.21  | 0.75  |
| Dy       | 2.60  | 1.26  | 2.61  | 3.71   | 0.75  | 3.26  | 0.75  | 0.93  | 5.42  | 4.25  |
| Ho       | 0.70  | 0.71  | 0.76  | 0.68   | 0.62  | 0.80  | 0.44  | 0.7   | 1.57  | 1.22  |
| Er       | 1.54  | 0.75  | 1.65  | 2.22   | 0.78  | 2.01  | 0.75  | 0.24  | 3.23  | 2.61  |
| Tm       | 0.18  | 0.19  | 0.16  | 0.20   | 0.19  | 0.18  | 0.61  | 0.18  | 0.23  | 0.21  |
| Yb       | 1.98  | 0.74  | 1.76  | 1.09   | 0.77  | 1.94  | 0.75  | 0.7   | 3.08  | 2.47  |
| Lu       | 0.30  | 0.16  | 0.29  | 0.18   | 0.08  | 0.29  | 0.08  | 0.07  | 0.45  | 0.34  |
| Y        | 9.86  | 3.87  | 14.38 | 9.57   | 3.7   | 13.74 | 14.4  | 3.41  | 26.4  | 18.44 |
| Sr       | 121.7 | 48.84 | 101.7 | 60.39  | 26.03 | 76.05 | 56.19 | 268.6 | 368.7 | 257.3 |
| Rb       | 43.3  | 53.96 | 63.67 | 60.43  | 3.78  | 45.43 | 90.77 | 184.6 | 23.11 | 19.44 |
| Ba       | 27.22 | 941.4 | 316.6 | 596.8  | 0.7   | 186.7 | 1190  | 430.9 | 106   | 21.67 |
| Th       | 4.72  | 3     | 2.51  | 3.63   | 1.74  | 4.45  | 2.68  | 2.86  | 1.54  | 0.75  |
| Ta       | 0.25  | 0.23  | 0.22  | 0.25   | 0.21  | 0.23  | 0.22  | 0.32  | 0.3   | 0.35  |
| Nb       | 13.33 | 13.89 | 4.23  | 10.14  | 1.5   | 10.64 | 11.88 | 4.47  | 16.57 | 16.62 |
| Ce       | 25.66 | 24.23 | 37.65 | 100.1  | 20.03 | 50.61 | 25.64 | 24.16 | 44.26 | 29.87 |
| Zr       | 27.41 | 45.57 | 19.97 | 27.45  | 8.39  | 23.57 | 36.83 | 27.16 | 22.03 | 24.31 |
| Hf       | 2.55  | 3.26  | 1.55  | 1.88   | 0.76  | 1.68  | 2.59  | 2.94  | 1.73  | 1.67  |
| ΣREE     | 78.1  | 65.7  | 109.7 | 246.5  | 52.1  | 142.2 | 77.6  | 58.0  | 147.5 | 104.1 |
| LREE     | 56.2  | 54.6  | 83.5  | 218.9  | 42.8  | 113.7 | 56.6  | 50.1  | 98.9  | 68.6  |
| HREE     | 22.0  | 11.1  | 26.2  | 27.6   | 9.4   | 28.5  | 21.0  | 28.5  | 48.7  | 35.6  |
| (La/Yb)N | 4.3   | 10.8  | 8.3   | 33.7   | 10.6  | 9.7   | 11.8  | 4.2   | 5.2   | 4.4   |
| (La/Lu)N | 4.5   | 8.1   | 8.0   | 32.4   | 16.9  | 10.3  | 18.7  | 6.8   | 5.5   | 5.0   |
| Eu/Eu*   | 1.5   | 1.0   | 1.0   | 0.9    | 1.7   | 0.8   | 1.1   | 1.0   | 1.1   | 1.1   |

N: normalized values, Eu/Eu\*: Europium anomaly:  $(Eu_N/\sqrt{[(Sm_N)(Gm_N)]})$

**جدول 5. مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی طلای گدارسرخ با کانسارهای نوع کوه‌زایی****Table 5. Comparison of geological and mineralization characteristics of Godar Sorkh with orogenic gold deposits**

| Characteristic                          | Orogenic gold deposit                                                                                                                                                                                                                               | Godar sorkh deposit                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tectonic setting</b>                 | Increasing orogenic environments caused by convergence and subduction of the oceanic crust and eventually plate-continental margin collision                                                                                                        | Subduction of the Neo-Tethys oceanic crust beneath the plate of the Iranian continental plat                                                                   |
| <b>Structural Position</b>              | metamorphic belts and deformation of the continental margin                                                                                                                                                                                         | the central of metamorphic belt of Sanandaj-Sirjan                                                                                                             |
| <b>The age range</b>                    | Middle Archean to Tertiary                                                                                                                                                                                                                          | Paleozoic                                                                                                                                                      |
| <b>Host rock</b>                        | Different, but in the Phanerozoic deposits in the volcanic-sedimentary sequences are more widespread                                                                                                                                                | Deformed schist with, intercalations of sediment layer                                                                                                         |
| <b>Degree of host rock metamorphism</b> | regional metamorphism with green schist facies to lower amphibolite                                                                                                                                                                                 | Regional metamorphism with degree of green schist facies                                                                                                       |
| <b>Relation to intrusive mass</b>       | they are associated with intrusive masses. But don't observed the genetic relationship. the intrusive masses play the role of thermal source                                                                                                        | Evidence suggests that don't have any genetic relationship. But they play the role of thermal gradient in the transfer and concentration of ore fluids         |
| <b>Mineralization controle</b>          | Strong structural controller such as faults and folds in the ductile- brittle zone                                                                                                                                                                  | Fault and folds in shear zones                                                                                                                                 |
| <b>Alteration</b>                       | sericitization, carbonization, Albitization, tourmalinization, chloritization, argilization, silicification and sulphidization                                                                                                                      | mainly sericitization, carbonization, chloritization, argilization, silicification and sulphidization                                                          |
| <b>Type of mineralization</b>           | the ductile- brittle one                                                                                                                                                                                                                            | Replacement of iron rich vein in metamorphosed and deformed unite                                                                                              |
| <b>Mineralization time</b>              | Evidence indicates later mineralization to coincide with the peak of metamorphism.                                                                                                                                                                  | Concurrent and late tectonic stages associated with Green schist facies                                                                                        |
| <b>Mineralization</b>                   | Au, Ag                                                                                                                                                                                                                                              | Au                                                                                                                                                             |
| <b>Fabric and texture</b>               | showing mylonitic fabric, cataclastic and ductile- brittle zone                                                                                                                                                                                     | Microscopic studies showing mylonitic and cataclastic fabric, shear zone in fracture section                                                                   |
| <b>Para genesis</b>                     | Stage One: Quartz, Albite Iron- magnesium Carbonate, Chlorite, sericite, Pyrite (Gold), Quartz, Arsenic-Pyrite, Sphalerite, pyrrhotite, chalcopyrite, tourmaline, Tetrahydrite, stibnite, sheltie<br>Stage Two: Gold, Galen, Sphalerite, Tellurides | Stage One: Quartz, Albite, Iron – magnesium Carbonate, Chlorite, sericite, Pyrite (Gold), Quartz, Stage Two: Pyrite (Gold), Arsenic-Pyrite, Galen, Sphalerite, |
| <b>Metals</b>                           | Au, Ag, Bi ,Sn, W, Mo, As, Cu, Pb, Zn<br>Au>Ag average=5                                                                                                                                                                                            | Au, Cu, Ag, Bi, Sn, As, Zn Mo, Pb<br>Au>Ag                                                                                                                     |
| <b>Reference</b>                        | Groves and Santosh, 2016, Goldfarb and Groves, 2015, Goldfarb et al., 2005, Groves et al.,2003, Robert et al.,1995                                                                                                                                  | this study                                                                                                                                                     |

## نتیجه‌گیری

بررسی‌های کانی‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی در محدوده گدارسرخ بیانگر آن است که فرایندهای گرمابی در محدوده گدارسرخ با تشکیل کوارتز، دولومیت، کلسیت، پیریت، کالکوپیریت، کوولیت، گالن، ژپس و کانی‌های ثانویه آهن که در اثر اکسیدشدن و هوازدگی به وجود آمده‌اند، همراه است. با در نظر گرفتن پژوهش‌های انجام‌شده می‌توان نتیجه گرفت که طلا توسط سیالات گرمابی به صورت همگام با کوارتز و پیریت به شکل رگه-رگچه‌ای در محدوده اکتشافی ته‌نشین شده است. کانی متداول سولفیدی اغلب پیریت است. دگرسانی‌های مشاهده شده شامل سریسیتی، کربناتی، سیلیسی، سولفیدی، کلریتی و کائولینی است که گسترش آنها با پهنه‌های برشی، شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در منطقه همخوانی دارد. طلا با عناصر آرسنیک، بیسموت، نقره و آنتیموان همبستگی مثبت دارد. توده‌های نفوذی نقش منبع حرارتی داشته و آثار کانی‌زایی در آنها دیده نمی‌شود. این توده‌ها در واحدهای سنگی با روند شمال غرب-جنوب شرق نفوذ کرده‌اند. حضور کانی‌سازی در زون‌های شکل‌پذیر-شکنا و شکستگی‌ها نشان‌دهنده کنترل ساختمانی در کانی‌سازی موجود در منطقه است. با توجه به بررسی‌های ژئوشیمیایی انجام‌شده، بالاترین مقدار طلا 9/9 ppm

و میانگین طلا در مجموع نمونه‌های برداشت‌شده 0/3 ppm است. طلا به صورت خالص در مقاطع میکروسکوپی همراه با اکسید و هیدرواکسید آهن مشاهده شد. عناصر Ag, Zn, Rb, S, W, As, Cu, Pb و Sb با کانی‌زایی طلا در زون‌های دگرسانی همراه هستند و مقدار  $Au > Ag$  است. بر اساس ویژگی‌های اصلی زمین‌شناسی و کانی‌سازی از جمله قرارگیری در پهنه دگرگونی-ماگمایی سنندج-سیرجان، جایگاه زمین‌ساختی، ماهیت و نقش کنترل‌کننده‌های ساختاری، سنگ‌شناسی، نوع دگرسانی، ساخت، بافت و همیافت کانی‌شناسی و قرارگیری در محدوده گرانیوتید نوع S، می‌توان نتیجه گرفت که کانسار طلای گدارسرخ بیشترین شباهت را با کانسارهای طلای کوه‌زایی دارد.

## قدردانی

این پژوهش با همکاری دانشگاه شهید بهشتی و شرکت تهیه و تولید مواد معنی ایران انجام‌شد. از مدیران، کارشناسان و همکاران مختلفی که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند و همچنین از حمایت‌های صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوری‌های کشور قدردانی می‌کنیم

## References

- Abdollahi, M.J., Karimpour, M.H., Kheradmand, A. and Zarasvandi, A.R., 2009. Stable isotopes (O, H, and S) in the Muteh gold deposit, Golpaygan area, Iran. *Natural Resources Research*, 18(2): 137–151. <https://doi.org/10.1007/s11053-009-9103-3>
- Adams, S.S., 1985. Using Geological Information to Develop Exploration Strategies for Epithermal Deposits. *Reviews in Economic Geology*, 2(1): 273–298. <https://doi.org/10.5382/Rev.02.12>

- Aliyari, F., Rastad, E. and Mohajjel, M., 2012. Gold Deposits in the Sanandaj-Sirjan Zone: Orogenic Gold Deposits or Intrusion-Related Gold Systems. *Resource Geology*, 62(3): 296–315. <https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2012.00196.x>
- Asgharzadeh, A.H., Mehrabi, B. and Tale Fazel., E., 2017. Mineralogy, occurrence of mineralization and temperature-pressure conditions of the Agh-Daragh polymetallic deposit in the Ahar-Arasbaran metallogenic area. *Journal of Economic Geology*, 9(1): 1–

23. (in Persian with English abstract)  
<https://doi.org/10.22067/ECONG.V9I1.44244>  
Ashrafpure, A., 2008. Geochemical Characteristics, Mineralogy and Alteration of Argash Gold area. Ph.D. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. 278 pp. (in Persian)
- Bierlein, F.P. and Crowe, D., 2000. Phanerozoic orogenic lode gold deposits. In: S.G. Hagemann and P.E. Brown (Editors), Reviews in Economic Geology (Gold in 2000). Society of Economic Geologists, Littleton, pp.103–139. <https://doi.org/10.5382/Rev.13.03>
- Bierlein, F.P., Hughes, M., Dunphy, J., McKnight, S., Reynolds, P. and Waldron, H., 2001. Tectonic and economic implications of trace element,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and Sm–Nd data from mafic dykes associated with orogenic gold mineralisation in central Victoria, Australia. *Lithos*, 58(1–2): 1–31. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(01\)00050-0](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(01)00050-0)
- Goldfarb, R.J., Groves, D.I. and Gardoll, S., 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Reviews*, 18(1–2): 1–75. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(01\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(01)00016-6)
- Goldfarb, R., Baker, T., Dubé, B., Groves, D.I., Hart, C.J. and Gosselin, P., 2005. Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. 100th Anniversary volume. Society of Economic Geologists, Littleton, Colorado, USA, pp. 407–450. <https://doi.org/10.5382/AV100.14>
- Goldfarb, R.J. and Groves, D.I. 2015. Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos*, 233: 2–26. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.07.011>
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., Robert, F., 1998. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*. 13(1–5): 7–27. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00012-7)
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Robert, F. and Hart, C.J.R., 2003. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research and exploration significance. *Economic Geology*, 98(1): 1–29. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.1.1>
- Groves, D.I. and Santosh, M., 2016. The giant Jiaodong gold province: the key to a unified model for orogenic gold deposits? *Geoscience Frontiers*, 7(3): 409–417. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.08.002>
- Iran Minerals Production Company, 2016. Golpayegan area Exploration Report. Iran Minerals Production Company (IMPASCO), Tehran, 80 pp.
- Kouhestani, H., Rastad, E., Rashidnejad-Omran, N. and Mohajjel, M., 2006. Gold Mineralization in Chah-Bagh Ductile-Brittle Shear Zones, Muteh Mining District, Sanandaj-Sirjan Zone. *Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES*, 60(15): 142–165. (in Persian) <http://dx.doi.org/10.22071/gsj.2009.57851>
- Kouhestani, H., Rashidnejad-Omran, N., Rastad, E., Mohajjel, M., Goldfarb, R.J. and Ghaderi, M., 2014. Orogenic gold mineralization at the Chah Bagh deposit, Muteh gold district, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 91: 89–106. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2014.04.027>
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L. and Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(4): 397–412. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(02\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00035-4)
- Moritz, R., Ghazban, F. and Singer, B.S., 2006. Eocene gold ore formation at Muteh, Sanandaj-Sirjan tectonic zone, Western Iran: A result of late-stage extension and exhumation of metamorphic basement rocks within the Zagros Orogen. *Economic Geology*. 101(8): 1497–1524. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.101.8.1497>
- Mousazade, R., 2016. Mineralogy, Geochemistry and Formation of iron-gold index Varzaneh, southwest of Muteh. M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran 215 pp. (in Persian)
- Nourian-Ramsheh, Z., 2015. Mineralogy, Geochemistry and genesis of Senjedeh ore Deposit in Muteh Area. Ph.D. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. 220 pp. (in Persian)



- Pearce, J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: C.J. Hawkesworth and M.J. Norry (Editors), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva, Nantwich, pp. 230–249. Retrieved October 12, 2018 from <http://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/8626>
- Pearce, J.A., Haris, N.B.W. and Tindle, A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4): 956–983. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(1): 63–81. <https://doi.org/10.1007/BF00384745>
- Ramsay, W.R.H., Bierlein, F.P., Arne, D.C. and Van den Berg, A.H.M., 1998. Turbidite-hosted gold deposits of central Victoria, Australia: their regional setting, mineralizing style, and some genetic constraints. *Ore Geology Reviews* 13(1–5): 131–151. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00016-4](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00016-4)
- Rashidnejad-Omran N., 2001. Petrology and geochemistry of metavolcanosedimentary and plutonic rocks of Muteh region (South Delidjan) with special view to genesis of gold mineralization, Ph.D. Thesis. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 436 pp. (in Persian)
- Rashidnejad-Omran, N., Emami, M.H., Sabzehei, M., Pique, A., Rastad, F., Behhon, H. and Juteau, t., 2001. Metamorphic and Magmatic event of the Muteh Gold Mine (Northeast Golpayegan). *Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES*, 11(43–44):88–99. (in Persian) Retrieved November 22, 2018 from <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=30925>
- Roohbakhsh, P., Karimpour, M.H. and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2018. Geology, mineralization, geochemistry and petrology of intrusive rocks in the Au-Cu deposit of Koh Zar, Damghan. *Journal of Economic Geology*, 10(1): 1–23. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/ECONG.V10I1.64316>
- Rollinson, H.R., 1993. *Using Geochemical Data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Science and Technical, Routledge, 352 pp. <https://doi.org/10.1180/minmag.1994.058.392.25>
- Robert, F., Boullier, A.M. and Firdaus, K., 1995. Gold-quartz veins in metamorphic terranes and their bearing on the role of fluids in faulting. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B7): 12861–12879. <https://doi.org/10.1029/95JB00190>
- Ryan, R.J. and Smith, P.K. 1998. A review of the mesothermal gold deposits of the Meguma Group, Nova Scotia, Canada. *Ore Geology Reviews*, 13(1–5): 153–183. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00017-6](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00017-6)
- Sabzehi, M., 1996. *An Introduction to the General Geological Characteristics of the Sanandaj - Sirjan Zone Metamorphic Complexes*. Geological Survey of Iran, Tehran, 217 pp.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1): 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Thiele, O., Alavi, M., Assefi, R., Hushmandzadeh, A., Seyed-Emami, K. and Zahedi, M., 1968. Golpaygan quadrangle map. Scale 1:250000 with explanatory text. Geological Survey of Iran.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*. Chapman and Hall, London, 446 pp. Retrieved August 3, 2018 from <https://www.springer.com/gp/book/9780412533105>

**COPYRIGHTS**

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

**How to cite this article**

Sakhdari, M., Behzadi, M., Yazdi, M., Rachidnejad-Omran, N. and Sadeghi Naeini, M., 2021. Geology, Mineralization and Geochemistry of Au in the Godar Sorkh area, Muteh region, Sanandaj-Sirjan zone. *Journal of Economic Geology*, 13(2): 245–265. (in Persian with English abstract) <https://dx.doi.org/10.22067/econg.v13i2.85427>



## Geology, Mineralization and Geochemistry of Au in the Godar Sorkh area, Muteh region, Sanandaj-Sirjan zone

Monire Sakhdari<sup>1</sup>, Mehrdad Behzadi<sup>1\*</sup>, Mohammad Yazdi<sup>1</sup>, Nematollah Rachidnejad-Omran<sup>2</sup> and Morteza Sadeghi Naeini<sup>3</sup>

1) Mineral Geology and Hydrogeology Department, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2) Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3) Iran Minerals Production and Supply Company, Tehran, Iran

Submitted: Feb. 07, 2020

Accepted: Aug. 04, 2020

**Keywords:** Gold mineralization, Geochemistry, Ductile-brittle, Godar Sorkh, Muteh, Sanandaj-Sirjan

### Introduction

Gold deposits formed during mountain-building processes in Phanerozoic terranes that formed in metamorphic environment have a great dispensation in the world (Goldfarb et al., 2001). They constitute an economically important type of gold mineralization called orogenic gold deposits (Groves et al., 2003). The Sanandaj-Sirjan zone is one of the most important areas for orogenic gold exploration and it hosts several orogenic gold deposits (Aliyari et al., 2012). This zone is characterized by regionally metamorphosed and deformed Paleozoic and Mesozoic sedimentary, volcanic and volcanoclastic rocks under green schist and amphibolite facies conditions. (Rashidnejad-Omran, 2001; Abdollahi et al., 2009; Kouhestani et al., 2014). The Godar Sorkh area is located in the central part of the Sanandaj-Sirjan zone, 20 km southwest of the Muteh region. The rocks sequence of the Godar Sorkh area comprise of the volcano-sedimentary rocks of the greenschist complex with Paleozoic age rock units intruded by basic and felsic dikes. These country rocks are affected by a NW-SE-trending shear zone and are highly deformed. Rock units illustrate ductile-brittle to brittle shear zones and had been under poly-phase metamorphism. In other words, Godar Sorkh has the most similarity with orogenic gold.

### Methods

In this study after field observations, rock samples were collected from mineralized and altered zones that included 26 thin sections, 47 polished sections and 10 polished thin sections which were prepared for petrography, mineralization and alteration studies, 10 samples were prepared for XRD analyses, 21 samples were analyzed for Au content by the Fire Assay method and 21 samples were analyzed by the ICP-MS method for REE and trace element amounts in the Iran Minerals Research and Processing Center, and 9 samples were selected for XRF analyses in the Kansaran Binaloud laboratory. According to the petrographic studies and the results of chemical analysis 7 polished double sections were selected to determine the amount of gold and other elements by electron-microprobe analysis.

### Discussion and Results

The rocks sequence of the Godar Sorkh area comprise of greenschists complexes including limestone, dolomitic, marbles, micaschists, black schist, greenschist, intercalations of quartzite, calc schist, phyllites and slate, metamorphosed under greenschist facies grade. These units are considered to belong to the Paleozoic age. Rock units have been intruded by basic and felsic dikes. Rock assemblages are characterized by several phases of deformation and generation of various

\*Corresponding author Email: m\_behzadi@sbu.ac.ir

fabrics and structures. Gold mineralization occurs in ductile and brittle shear zones, along N45W trending and controlled by structures. The main alterations are sericitization, carbonization, chloritization, silicification and sulphidization. Ore-mineralogical paragenesis mainly includes pyrite and locally chalcopyrite, arsenopyrite, covellite, sphalerite, galena and Fe Oxide-Hydroxide secondary minerals such as goethite, hematite and limonite. The results show that the maximum grade of gold in the mineralization zone has been reported to be 9.9 ppm and the average value of gold in the area is about 0.3 ppm. The microscopic studies show native gold minerals in the range of 15 to 30 micrometers. Also, electron-microprobe analysis indicates Au in the lattice of sulfide minerals. Based on geochemical studies, rocks have characteristics peraluminous range and the granodiorite intrusion belongs to S type granitoids. LREE are enriched. Controlling parameters for mineral concentration in Godar Sorkh area are shear zone. Therefore, regarding the development of Paleozoic metavolcanic-sedimentary sequences and the formation of multistage extensional structures including the normal faults, and fractures, texture and structure investigation, mineral paragenesis, alteration and geochemistry, gold mineralization in the Godar Sorkh area can be classified as orogenic gold mineralization.

#### Acknowledgement

This study has been supported by the Shahid Beheshti University of Tehran, Iran. The authors would like to thank IMPASCO Company for help and cooperation in the completion of this research study. We also thank the support of the Iran National Science Foundation (INSF).

#### References

- Abdollahi, M.J., Karimpour, M.H., Kheradmand, A. and Zarasvandi, A.R., 2009. Stable isotopes (O, H, and S) in the Muteh gold deposit, Golpaygan area, Iran. *Natural Resources Research*, 18(2): 137–151. <https://doi.org/10.1007/s11053-009-9103-3>
- Aliyari, F., Rastad, E. and Mohajjel, M., 2012. Gold Deposits in the Sanandaj–Sirjan Zone: Orogenic Gold Deposits or Intrusion-Related Gold Systems. *Resource Geology*, 62(3): 296–315. <https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2012.00196.x>
- Goldfarb, R.J., Groves, D.I. and Gardoll, S., 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Reviews*, 18(1–2): 1–75. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(01\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(01)00016-6)
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Robert, F. and Hart, C.J.R., 2003. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research and exploration significance. *Economic Geology*, 98(1): 1–29. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.1.1>
- Kouhestani, H., Rashidnejad-Omran, N., Rastad, E., Mohajjel, M., Goldfarb, R.J. and Ghaderi, M., 2014. Orogenic gold mineralization at the Chah Bagh deposit, Muteh gold district, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 91: 89–106. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2014.04.027>
- Rashidnejad-Omran N., 2001. Petrology and geochemistry of metavolcanosedimentary and plutonic rocks of Muteh region (South Delidjan) with special view to genesis of gold mineralization, Ph.D. Thesis. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 436 pp. (in Persian)