

بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی کانسار پلی‌متال آق‌زیارت، شمال ارومیه، شمال غرب پهنه سنندج - سیرجان

فرهنگ علی‌یاری*

گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۰۴، پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۰

چکیده

کانسار پلی‌متال آق‌زیارت در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال ارومیه، شمال‌غرب پهنه سنندج - سیرجان قرار دارد. واحدهای سنگی میزبان کانه‌زایی شامل توالی‌های آتشفشانی - رسوبی دگرگون‌شده با ترکیب گرانیت‌گنایس، آمفیبولیت، شیسیت و پیروکسنیت به سن نئوپروتروزوئیک تا پالئوزوئیک زیرین است. این واحدها به دلیل تزریق توده‌های نفوذی با ترکیب سینیت، گرانیت و دایک‌های آپلیتی متعلق به کرتاسه، تحت تأثیر دگرسانی گرمابی و کانی‌سازی طلا (مس ± مولیبدن) قرار گرفته‌اند. دگرسانی‌های گرمابی غالب شامل دگرسانی‌های آرژیلیک، سیلیسی و سولفیدی است. کانسنگ‌ها دارای ژئومتری رگه‌ای و رگچه‌ای با بافت‌های جانشینی، دانه‌پراکنده و شکاف پرکن هستند. کانی‌شناسی کانسنگ شامل طلا، آزاد، پیریت، کالکوپیریت، مولیبدنیت، مگنتیت، گالن، اسفالریت همراه با کانی‌های ثانویه و سوپرژن کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت و گوتیت است. همچنین، نتایج بررسی‌های انجام‌شده به روش تجزیه ریزکاوا الکترونی^۱ در ۵۰ نقطه از کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و مولیبدنیت نشان‌دهنده محتوای بالای گوگرد، مولیبدن، آهن و طلا (به ترتیب شامل میانگین ۴۱/۲۶، ۵۲/۳۳، ۲۳/۰۳ و ۰/۰۴ wt.%) و مقدار پایین عناصر سرب، تنگستن، مس، روی و آرسنیک (به ترتیب شامل میانگین ۱/۱۲، ۰/۴۶، ۰/۱۹، ۰/۰۸ و ۰/۰۳ wt.%) است. بررسی‌های لیتوژئوشیمیایی انجام‌شده، نشان‌دهنده همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن مثبت و قوی بین عناصر Ni، Co، Cu، As، Pb و به‌ویژه Mo است. علاوه بر این، محاسبات ژئوشیمیایی انجام‌شده به روش تحلیل عاملی نشان می‌دهد که عناصر Ni، Mo، Cu، As، Au و Co در عامل اول، عنصر Cu در عامل دوم و عنصر Zn در عامل سوم قرار می‌گیرند. بررسی شبه‌مقاطع بارپذیری القائی و مقاومت ویژه ظاهری پروفیل‌های ژئوفیزیکی، بیانگر گسترش عمقی ناهنجاری‌ها به سمت جنوب محدوده با الگوی زون‌بندی قائم همانند بیشتر زون‌های دگرسانی است. تلفیق نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های زمین‌شناسی که بیانگر عملکرد ماگماتیسیم نسبتاً گسترده مرتبط با ساختارهای گسلی کشتی متعدد است، با اکتشافات ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی به شناسایی دو منطقه عمده پتانسیل‌دار در بخش‌های شمالی و جنوبی محدوده منجر شده است.

واژه‌های کلیدی: تجزیه ریزکاوا الکترونی، ضرایب همبستگی، تحلیل عاملی، *IP/RS*، آق‌زیارت، پهنه سنندج - سیرجان، ایران

1. Electron Probe Micro Analysis (EPMA)

مقدمه

کانسار پلی متال آق زیارت در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال شهرستان ارومیه، شمال غرب پهنه ساختاری سنندج- سیرجان قرار دارد (شکل ۱-۱). واحدهای آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده و توده های نفوذی همراه در کانسار آق زیارت متشکل از پی سنگ دگرگونی پر کامبرین پسین- کامبرین زیرین، اردو سین و دونین- پرمین است که ویژگی های فلات قاره گندوانایی از خود نشان می دهند (Aghanabati, 2005). بررسی های متعددی بر روی ترکیب شیمیایی، ژئوشیمی، پترولوژی و پتروژنز توده های نفوذی منطقه قوشچی، شمال ارومیه انجام شده است (Jahangiri, 1993; Behnia, 1996; Asadpour, 2001; Advay, 2010; Azimi, 2011; Shahabi, 2013; Sarjoughian and Kananian, 2015). همچنین، گزارش عملیات اکتشافات زمین شناسی و لیتوژئوشیمیایی کانسار آق زیارت در مقیاس ۱/۱۰۰۰ ارائه شده است (Ghadirzadeh and Ravaghi, 2012). علاوه بر این، بررسی های اکتشافی زمین شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی کانسار آق زیارت برای ارزیابی کانی سازی ها انجام شده (Akbari Tazeh kand et al., 2014; Bigdeli and Imamalipour, 2016)؛ اما تاکنون پژوهشی در خصوص توانایی کانی سازی توده های نفوذی و توالی های آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده منطقه، انجام نشده است. در این پژوهش، ویژگی های زمین شناسی، کانی شناسی کانسنگ و باطله، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی کانسار آق زیارت مورد بررسی قرار گرفته است.

روش مطالعه

در این پژوهش، سعی شده است که با انجام بررسی های زمین شناسی، کانی شناسی به روش مطالعات میکروسکوپ نوری، مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱، آنالیزهای الکترون مایکروپروپ، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی، زون های دگرسانی

گرمابی و کانی سازی پلی متال مورد بررسی دقیق تر قرار گیرد و شبکه بهینه حفاری گمانه های اکتشافی طراحی شود. پس از تکمیل و تصحیح نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰، تعداد ۷۰ نمونه از بخش های مختلف واحدهای سنگ میزبان دگرگونی، توده های نفوذی و دایک های آپلیتی و نیز زون های دگرسانی و کانی سازی متعدد برداشت شد. بررسی های پتروگرافی و کانه نگاری بر روی تعداد ۱۵ مقطع نازک، ۲۰ مقطع صیقلی، ۱۰ مقطع نازک- صیقلی و پراش پرتو ایکس^۱ به تعداد ۱۱ نمونه انجام شد و بافت و ساخت و نیز روابط پاراژنتیک کانی ها و کانه ها مورد بررسی قرار گرفته است. تعداد ۶ نمونه به روش XRF و نیز تعداد ۱۳ نمونه به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی در آزمایشگاه کانساران بینالود مورد تجزیه و بررسی قرار گرفته است. تجزیه ریز کاو الکترونی نیز برای بررسی ترکیب شیمیایی کانی ها و کانه های مختلف از جمله کانی های سولفیدی و سیلیکات ها و نیز تعیین فراوانی عناصر کانساری، با استفاده از دستگاه SX100 بر روی تعداد ۶ نمونه و در مجموع ۲۳ نقطه در مرکز تحقیقات مواد معدنی ایران انجام شده است. شرایط تجزیه دستگاهی شامل ولتاژ ۲۰ Kev و جریان ۲۰۱ nA با قطر پرتو الکترونی بین ۲ تا ۵ میکرون است. حد آشکار سازی دستگاه ریز کاو الکترونی ۵۰۰ گرم در تن و دقت داده ها ± 4 درصد است. بررسی های ژئوشیمیایی با استفاده از نمونه برداری و تجزیه تعداد ۷۰ نمونه بر روی سنگ کل به روش ICP-MS در آزمایشگاه زر آزما انجام شده است. روش آماده سازی نمونه ها به صورت انحلال اسیدی کامل (چهار اسید) بوده و حد آشکار سازی دستگاه ۱ گرم در تن است. طی اکتشافات ژئوفیزیکی نیز تعداد ۱۰ پروفیل با روند شرقی- غربی نیز طراحی و به روش بارپذیری القائی- مقاومت ویژه ظاهری با استفاده از آرایش برداشت های الکترونی دوقطبی- دوقطبی انجام شده است (Zarean, 2012). داده های ژئوفیزیکی به دست آمده در نرم افزارهای Surfer و Res2dinv به صورت شبه مقاطع بارپذیری القائی- مقاومت ویژه ظاهری ترسیم شده و مورد

1. Scanning Electron Microscope (SEM)

2. XRD

پردازش و تفسیر قرار گرفته است.

بحث

زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی بین طول‌های جغرافیایی $30^{\circ} 58' 44''$ تا $38^{\circ} 00' 00''$ و عرض‌های جغرافیایی $40^{\circ} 07' 38''$ تا $41^{\circ} 08' 38''$ در شمال‌غرب ایران در استان آذربایجان غربی قرار گرفته است. این منطقه از دیدگاه ساختاری-رسوبی ایران (Aghanabati, 2005)، بخشی از پهنه سندج-سیرجان شمالی و بخشی از زیرپهنه خوی-مهاباد (Stocklin and Nabavi, 1973) است (شکل ۱-۱). در این منطقه انواع سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی دگرگون‌شده و در گستره‌ای بسیار گسترده رخمون دارند و نفوذ توده‌های آذرین، دگرگونی مجاورتی سنگ‌های درون‌گیر را باعث شده است. سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای با ترکیب گرانیت گنایس، آمفیبولیت، شیسست و مرمر در منطقه رخمون دارند. بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، بسیاری از واحدهای سنگی منطقه مورد بررسی، متعلق به پالئوزوئیک زیرین و بالایی هستند که توده‌های نفوذی با ترکیب گابرو تا گرانیت با سن پالئوزوئیک بالایی به درون آنها تزریق شده‌اند (Haghipour and Aghanabati, 1989; Khodabandeh and Amini Fazl, 1993; Advay, 2010). مجموعه این واحدها، طی رخدادهای زمین‌ساختی بعدی در زون‌های برشی^۱، میونیته شده‌اند (شکل ۱-۲).

با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه‌شده، واحدهای دگرگونی رخمون‌یافته در محدوده مورد بررسی شامل واحد آمفیبولیت خاکستری رنگ، واحد گرانیت-گنایس، واحد میکروگرانیتی، واحد آپلیتی و واحد پیروکسنیت متعلق به پالئوزوئیک است که پس از پرمین، تحت تأثیر تزریق توده‌های سینیتی قرار گرفته‌اند (شکل ۱-۲) (Kavosh Kani Mohajer Company, 2012). این واحدها به ترتیب سنی عبارتند از:

(الف) آمفیبولیت: این واحد در برگیرنده آمفیبولیت همراه با مقادیر کم شیسست و گنایس است که با رنگ رخمون

خاکستری گسترش زیادی از خود نشان می‌دهد (شکل ۲-۱). واحد آمفیبولیت در اثر عملکرد گسل‌ها به شدت خردشده و تکتونیزه است؛ به گونه‌ای که در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها، می‌توان رگه‌های کلسیتی، سیلیسی و اپیدوتی را مشاهده کرد. از مشخصات بارز این واحد می‌توان، به نفوذ توده‌های سینیتی با ابعاد مختلف اشاره کرد که به صورت سیل، دایک و استوک مشاهده می‌شوند. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، این واحد شامل کانی‌های هورنبلند، پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت، پیریت، کلریت و اپیدوت با فابریک پورفیروبلاستیک است که با ابعاد کمتر از ۲ تا ۳ میلی‌متر در متن دانه‌ریز سنگ پراکنده شده‌اند (شکل ۳-۱) (Whitney and Evans, 2010).

(ب) گرانیت-گنایس: این واحد متشکل از گرانیت گنایسی خاکستری تیره‌رنگ با بافت پورفیری است که در برخی رخمون‌ها دارای توده‌هایی از پیروکسنیت و آمفیبولیت با مرز گسلی است. همچنین، رخمون‌هایی از توده نفوذی سینیت تا سینیت آلکان در داخل واحد گرانیت گنایسی مشاهده می‌شود (شکل ۲-۲). بررسی‌های میکروسکوپی انجام‌شده، نشان می‌دهد که واحد یادشده دارای کانی‌های کوارتز، فلدسپات آلکان، پلاژیوکلاز و بیوتیت با فابریک شیستی تا نواری و به مقدار اندک گرانولار است. بلورهای کوارتز به صورت بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌شکل دار و قطر ۳ میلی‌متر، فلدسپات آلکان و پلاژیوکلاز به صورت بلورهای شکل دار تا نیمه‌شکل دار با اندازه ۲ تا ۳ میلی‌متر و بلورهای بیوتیت که اندکی کلریتی شده‌اند، نیز به صورت بی‌شکل با اندازه متوسط کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر مشاهده می‌شوند (شکل ۳-۲).

(ج) پیروکسنیت: یکی از قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی منطقه که به صورت رخمون‌های نسبتاً کوچکی در میان سایر واحدها قرار گرفته است (شکل ۲-۳)، واحد پیروکسنیت با رنگ رخمون خاکستری تیره تا تیره‌رنگ است. این واحد تحت تأثیر عملکرد سیالات گرمایی حاصل از رگه‌های پگماتیستی و سیلیسی دچار دگرسانی سرپانتینی و کلریتی سبزنگ نیز شده

اندازه متوسط کمتر از ۲ میلی‌متر به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار به‌طور پراکنده در متن سنگ رشد کرده‌اند (شکل ۳-D). بلورهای مسکویت با قطر متوسط کمتر از ۲ میلی‌متر به صورت بلورهای شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار در متن دانه‌ریز سنگ مشاهده می‌شوند. بلورهای بیوتیت دانه‌ریز با ابعاد متوسط کوچک‌تر از ۱ میلی‌متر به صورت بی‌شکل در فضای بین بلورهای درشت کوارتز و پلاژیوکلاز و همروند با برگ‌وارگی سنگ مشاهده می‌شوند (شکل ۳-D).

ز) دایک‌های آپلیتی: این واحد متشکل از دایک‌های آپلیتی تا میکروگرانیت‌هایی با رنگ رخمون کرم تا خاکستری (شکل ۲-E) و بافت شکری تا دانه‌ریز است که بیشترین گسترش را در مرکز و شمال‌شرق محدوده از خود نشان می‌دهد. بر اساس مشاهدات صحرایی، واحد یادشده همراه با میکروگرانیت‌ها و آمفیبولیت‌ها یکی دیگر از واحدهای میزبان کانه‌زایی مس- (طلا-مولیبدن) است؛ به‌گونه‌ای که رگه‌های سیلیسی-سولفیدی متعددی در این واحدها، توسعه یافته و عملیات اکتشاف شامل حفر ترانشه و گمانه اکتشافی در این واحد حفاری شده است (شکل ۲). بررسی‌های پتروگرافی انجام شده نیز نشان‌دهنده حضور کانی‌های عمده کوارتز، فلدسپات آلکالن و پلاژیوکلاز (آلیت تا الیگوکلاز) و مقادیر کم مسکویت و بیوتیت به صورت اغلب بی‌شکل با بافت میکروگرانولار تا ساروجی است (شکل ۳-E).

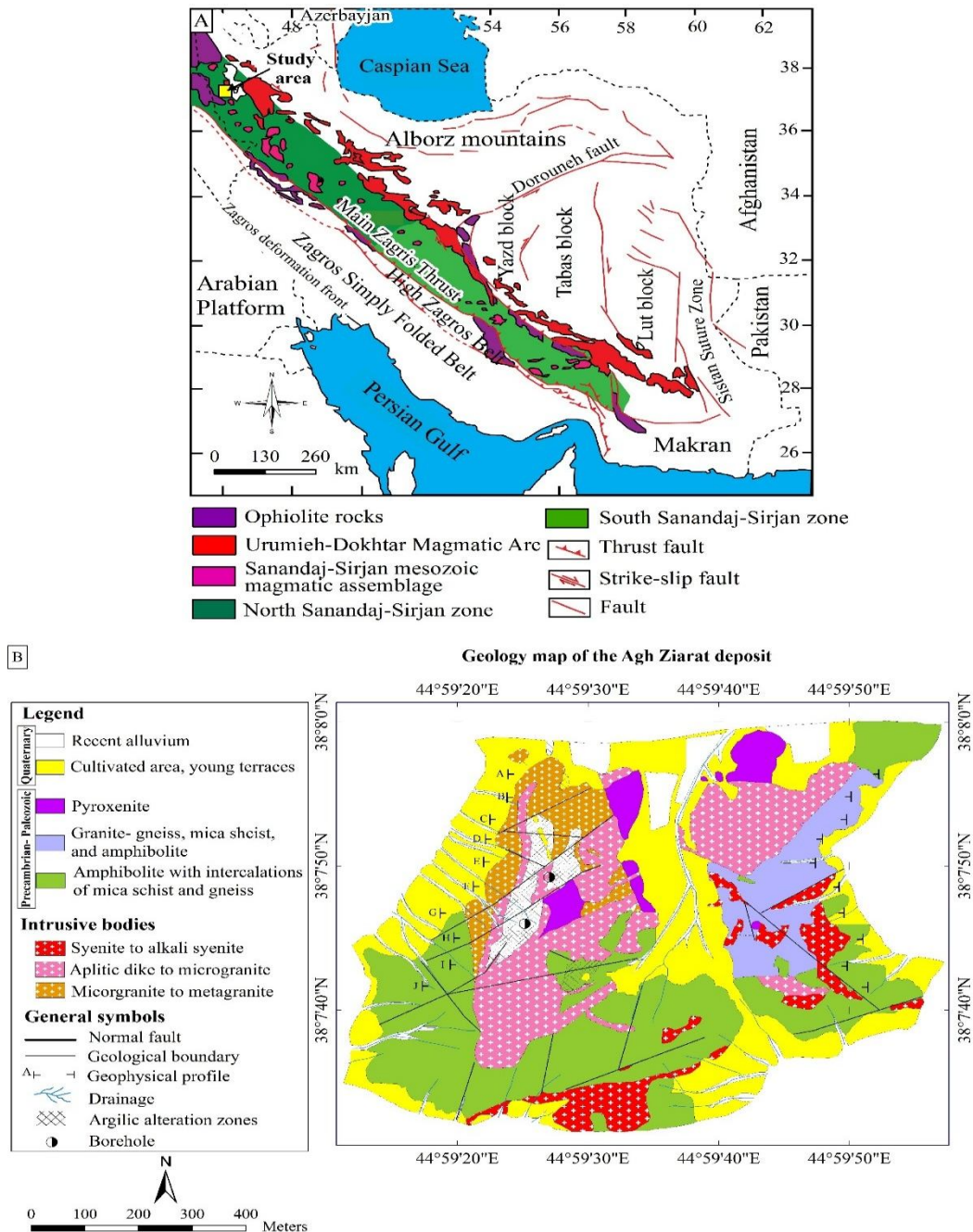
د) توده نفوذی سینیتی: این توده نفوذی جوان‌ترین واحد زمین‌شناسی رخمون‌یافته در منطقه است که از توده‌های کوچک و بزرگ سینیت-سینیت‌آلکالن تشکیل شده است. واحد یادشده با مورفولوژی خشن و توده‌ای و رنگ رخمون کرم تا سفیدرنگ به صورت استوک، دایک و سیل به‌درون واحدهای آمفیبولیت و گنیس منطقه نفوذ کرده و حتی دایک‌های آپلیتی را نیز قطع کرده است (شکل ۲-F). در برخی رخمون‌ها، رگه‌های سیلیسی متعددی، توده نفوذی سینیتی را قطع کرده‌اند. بررسی‌های میکروسکوپی انجام شده، نشان‌دهنده حضور کانی‌های ارتوز، میکروکلین، پلاژیوکلاز و کوارتز و

است. بررسی‌های پتروگرافی انجام شده بر روی نمونه‌های برداشت شده از واحد پیروکسنیت نشان می‌دهد که کانی‌های اساسی سازنده آن شامل پلاژیوکلاز، اولیوین، کلینوپیروکسن و بیوتیت با بافت‌های گرانولار و غربالی است. اولیوین به صورت بلورهای منفرد با اندازه متوسط ۱ تا ۳ میلی‌متر در میان بلورهای درشت پلاژیوکلاز دیده می‌شود (شکل ۳-C). این بلورها در برخی نقاط، تحت تأثیر دگرسانی هیدروترمال و نیز هوازدگی سطحی سرپانتینی شده است و در همبری با بلورهای پلاژیوکلاز دارای هاله واکنشی قهقرایی بوده و به آمفیبول تبدیل شده‌اند (شکل ۳-C). کلینوپیروکسن و بیوتیت به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل دانه‌درشت تا دانه‌ریز با ابعاد ۲ تا ۵ میلی‌متر، متن سنگ را تشکیل می‌دهند. این بلورها در بیشتر نقاط، تحت تأثیر فرایند دگرسانی گرمایی به کلریت تبدیل شده‌اند. بلورهای پلاژیوکلاز نیز به صورت بلورهای درشت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار با ابعاد ۳ تا ۵ میلی‌متر در سنگ دیده می‌شوند. بلورهای پلاژیوکلاز نیز در بیشتر نقاط از حواشی بلوری و در طول رخ‌ها و شکستگی‌ها به سرسیت تبدیل شده‌اند.

ر) میکروگرانیت: واحد میکروگرانیت دگرگون شده که به همراه آپلیت‌ها و آمفیبولیت‌ها یکی از مهم‌ترین واحدهای میزبان کانه‌زایی مس- (طلا-مولیبدن) است (شکل ۲-D)، شامل زبانه‌هایی از واحدهای آپلیتی و تعدادی رگه پگماتیتی میکادار و رگه‌های سیلیسی-سولفیدی است. بر اساس بررسی‌های پتروگرافی، کانی‌های اساسی تشکیل‌دهنده سنگ اغلب متشکل از کوارتز، میکروکلین، آلیت، بیوتیت و مسکویت با بافت میکروگرانولار تا ساروجی است. بلورهای کوارتز دارای بیشترین فراوانی بوده و با اندازه متوسط ۲ میلی‌متر به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و بافت ساروجی در میان بلورهای دانه‌ریز تر دیده می‌شوند (شکل ۳-D). میکروکلین نیز با اندازه میانگین ۳ میلی‌متر به صورت بلورهای شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار در سنگ قابل مشاهده است. پلاژیوکلاز با ترکیب کلی آلیت تا الیگوکلاز (نوارهای باریک ماکل پلی‌سنتیک) با

عمده کانی‌های سازنده سنگ را به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۳-F).

به‌طور فرعی کانی‌های مافیک با اندازه متوسط ۳ تا ۲۰ میلی‌متر و بافت گرانولار است (شکل ۳-F). بلورهای فلدسپات آلکان با فراوانی زیاد و اغلب با اندازه‌های بزرگ‌تر از ۵ میلی‌متر بخش



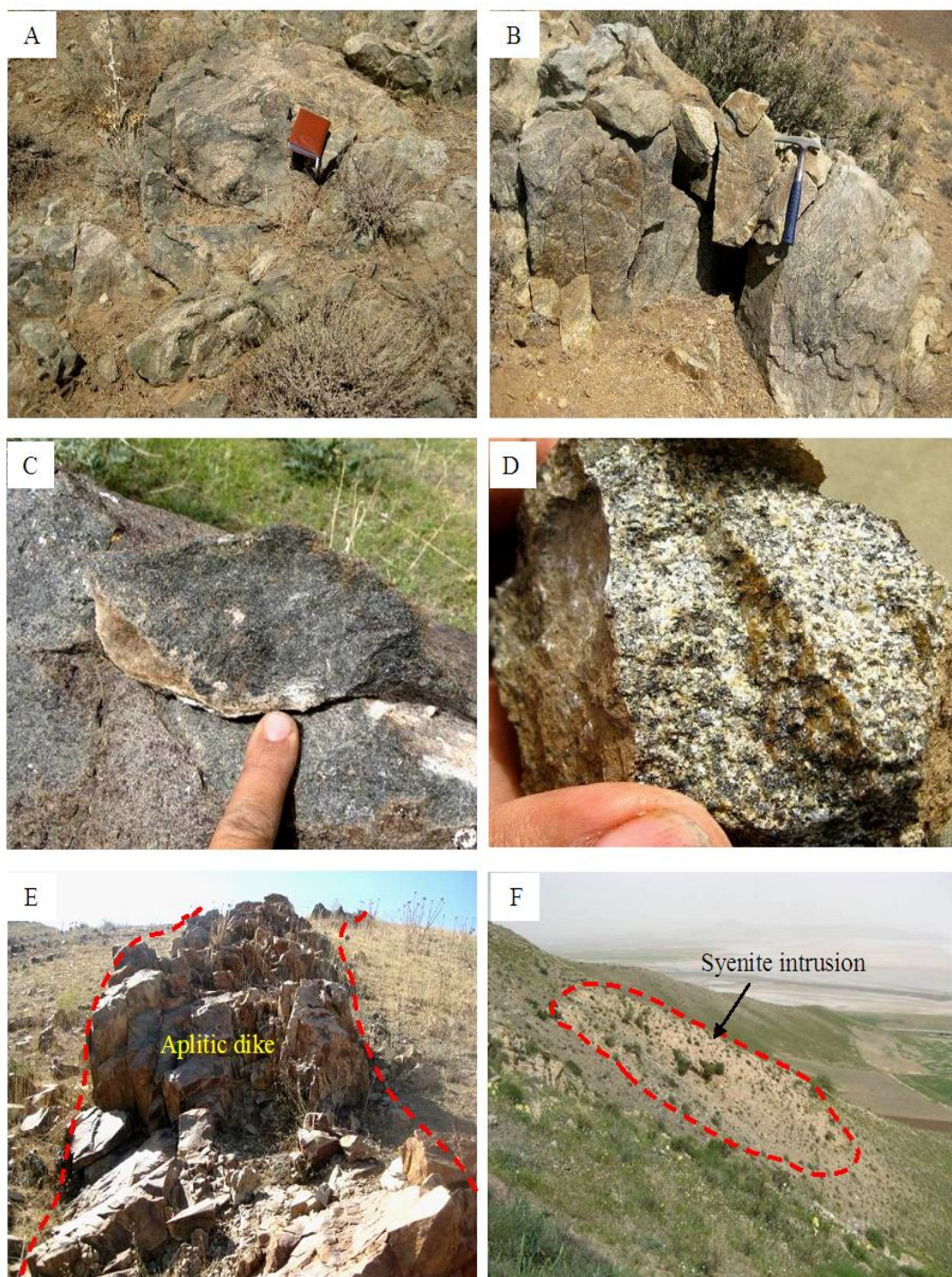
شکل ۱. A: نمای کلی از نقشه زون‌های رسوبی- ساختاری ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه در پهنه سنندج- سیرجان (Alavi, 1994) و B: نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ کانسار پلی‌متال آقی زیارت (Kavosh Kani Mohajer Company, 2012)

Fig. 1. A: Schematic map of the sedimentary-structural zones of Iran and the location of study area in the Sanandaj-Sirjan zone (Alavi, 1994), and B: geological map of the Agh Ziarat polymetallic deposit in 1:1000 scale (Kavosh Kani Mohajer Company, 2012)

دگرسانی گرمابی و کانه‌زایی

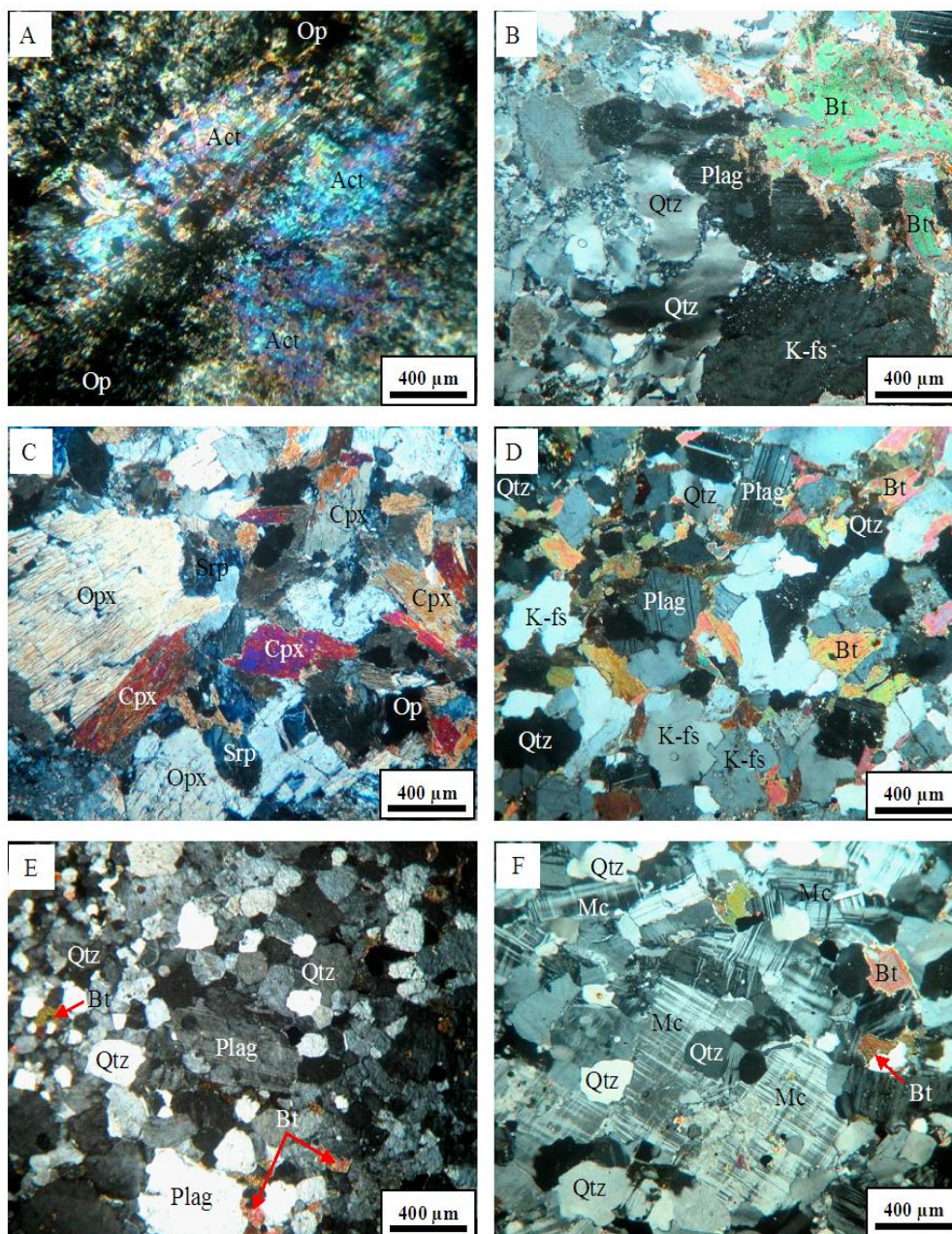
نتایج به‌دست آمده از مشاهدات صحرایی، بررسی‌های میکروسکوپی و آنالیزهای کانی‌شناسی و شیمیایی نشان می‌دهد که نفوذ توده سینیت تا گرانیت آلکالن به درون توالی‌های آتشفشانی- رسوبی سبب توسعه زون‌های دگرسانی و کانه‌زایی شده است. شدت و نوع دگرسانی‌های گرمابی و نیز میزان پراکندگی آنها می‌تواند بسته به شرایط و ترکیب سنگ‌های میزبان متفاوت باشد (Wang and Zhinong, 1995; Najafi et al., 2014). این دگرسانی‌ها شامل دگرسانی‌های آرژیلیک، سیلیسی و سولفیدی هستند که در نتیجه صعود سیالات گرمابی غنی از سیلیس و سولفید و واکنش آنها با توالی‌های آتشفشانی- رسوبی دگرگونی میزبان تشکیل شده‌اند. دگرسانی آرژیلیک با کانی‌شناسی غالب کائولینیت، مونت‌موریونیت و ایلیت و رنگ رخنمون سفید تا زرد، اغلب در بخش‌های بالایی و بخش‌های بیرونی زون کانه‌زایی دیده می‌شوند. علاوه‌براین، بخشی از دگرسانی آرژیلیک مشاهده‌شده در سطوح بالایی کانسار و زون‌های گسلی، تحت تأثیر فرایندهای اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی اولیه (به‌ویژه پیریت) و تبدیل این کانی‌ها به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن آبدار و بنابراین شست‌وشوی اسیدی سنگ‌های میزبان تشکیل شده‌اند. دگرسانی‌های کلریتی و سرپانتینی با رنگ رخنمون سبزرنگ و کانی‌شناسی کلریت، سرپانتین، اکتینولیت و اپیدوت است که اغلب در واحدهای میزبان آمفیبولیت و پیروکسنیت در بخش‌های خارجی و دورتر از رگه‌های سیلیسی- سولفیدی زون کانه‌زایی گسترش یافته‌اند. دگرسانی سیلیسی شامل بلورهای میکروکریستالین تا درشت‌بلور کوارتز در رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی، جانشینی در زمینه و پرکننده فضاهای خالی در مجاورت کانه‌های مس و طلاست. در واحد گرانیت آلکالن، دگرسانی سیلیسی و کانه‌زایی به‌صورت رگچه‌ای و دانه‌پراکنده همراه با اکسیدها و هیدروکسیدهای فراوان آهن و مس به‌ترتیب شامل گوتیت، لیمونیت، مالاکیت و آزوریت همراه با ژیپس قابل مشاهده است (Ghadirzadeh and Ravaghi, 2012). اغلب شدت دگرسانی سیلیسی در

مجاورت با زون کانه‌زایی افزایش می‌یابد که می‌توان از آن به‌عنوان راهنمای اکتشافی در پی‌جویی‌های دیگر زون‌های کانه‌دار مس و طلا در منطقه استفاده کرد (Malekzadeh Shafaroudi et al., 2010; Hashemian et al., 2019). کانه‌زایی به‌صورت رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی- سولفیدی با پهنای میانگین ۰/۵ تا ۲ متر و طول ۳ تا ۷ متر، اغلب درون توده نفوذی و به‌ندرت درون دایک‌های آپلیتی و آمفیبولیت دیده می‌شود. بررسی مغزه‌های حفاری و نیز نمونه‌های به‌دست آمده از ترانشه‌ها نشان‌دهنده حضور کالکوپیریت، مگنتیت و مولیدنیت با بافت دانه‌پراکنده، رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی است. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی، کانی‌شناسی کانسننگ، اغلب متشکل از پیریت، کالکوپیریت، مولیدنیت، طلای آزاد، مگنتیت، گالن و اسفالریت همراه با آغشتگی‌های مالاکیت، آزوریت، اکسیدهای منگنز، تنگستن و تورمالین است. کالکوپیریت به‌همراه پیریت به‌صورت هیپوژن با اندازه بلورهای ریز تا متوسط (به‌طور متوسط ۳۰۰ میکرون) و به شکل رگچه‌ای، دانه‌پراکنده و جانشینی رشد یافته است (شکل ۴-۴A). در برخی موارد، این کانی طی فرایند اکسیداسیون از حاشیه بلورها و محل رخ‌ها و شکستگی‌ها در حال جانشینی به کالکوسیت و کوپیت است (شکل ۴-۴A). بلورهای ساب‌اتومورف تا زینومورف پیریت با ابعاد متوسط ۱۰۰ تا ۵۰۰ میکرون و بافت رگچه‌ای، دانه‌پراکنده و جانشینی تشکیل شده‌اند (شکل ۴-۴A و B). در برخی موارد، پیریت به‌صورت بافت ادخال با ابعاد کوچک‌تر از ۲۰۰ میکرون، درون مگنتیت و به شکل باقی‌مانده درون اکسیدهای آهن دیده می‌شود. مولیدنیت نیز اغلب به شکل بلورهای زینومورف تا ساب‌اتومورف به‌صورت هم‌رشدی با مگنتیت با بافت دانه پراکنده به شکل بلورهای کشیده و دانه‌های منفرد تشکیل شده است (شکل ۴-۴C و D). این بلورها از محل حواشی بلوری و رخ‌ها و شکستگی‌ها، طی فرایند مارتیتی شده به هماتیت تبدیل شده‌اند (شکل ۴-۴D). ترتیب و توالی زمانی تشکیل کانی‌ها و کانه‌ها و بافت آنها در کانسار آق‌زیارت به‌صورت توالی پاراژنتیکی ساده‌ای در شکل ۵ نشان‌داده شده است.



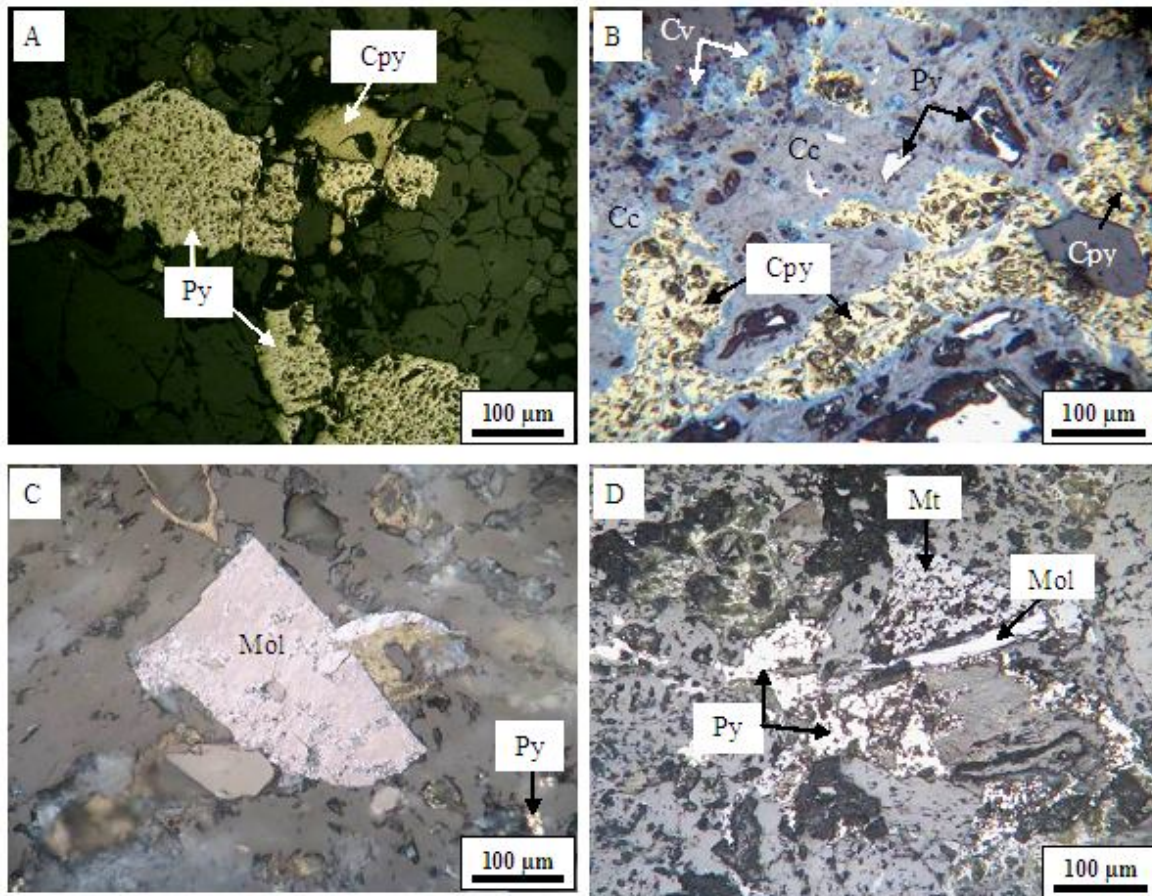
شکل ۲. واحدهای آتشفشانی- رسوبی دگرگونه و توده‌های نفوذی کانسار آق‌زیارت، A: واحد آمفیبولیت به‌شدت تکتونیزه و خردشده همراه با شیست و گنایس، B: واحد گرانیت گنایسی خاکستری تیره‌رنگ و مورفولوژی خشن، C: واحد پیروکسنیت با رنگ رخنمون خاکستری تیره تا تیره‌رنگ، D: توده نفوذی میکروگرانیت همراه با دایک‌های آپلیتی وابسته، E: دایک‌های آپلیتی تا میکروگرانیتی دارای مورفولوژی خشن و برجسته و F: رخنمون توده نفوذی سینیت تا سینیت‌آلکالن با مورفولوژی توده‌ای و رنگ رخنمون کرم تا سفید رنگ

Fig. 2. Metamorphosed volcano-sedimentary rock units and intrusive bodies of the Agh Ziarat deposit, A: highly tectonized and fractured amphibolite with schist and gneiss, B: dark grey granite gneiss with rough outcrop, C: dark to dark grey pyroxenite rock unit, D: microgranite intrusion and related aplitic dike, E: aplitic to microgranitic dike with rough outcrop, and F: syenite to alkali syenite intrusion with massive morphology and creamy to white color



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی واحدهای آتشفشانی- رسوبی دگرگونه و توده‌های نفوذی کانسار آق‌زیارت، A: واحد آمفیبولیت تکتونیزه و خردشده با فابریک پورفیروبلاستیک، B: واحد گرانیت گنایسی با فابریک شیستی تا نواری، C: واحد پیروکسنیت با فابریک گرانولار و غربالی، D: توده نفوذی میکروگرانیتی با بافت میکروگرانولار تا ساروجی، E: دایک آپلیتی با بافت میکروگرانولار تا ساروجی و F: توده نفوذی سینیت تا سینیت‌آلکان با بافت گرانولار تا پورفیری. (Act: اکتینولیت، Plag: پلاژیوکلاز، K-fs: فلدسپات پتاسیم، Mc: میکروکلین، Qtz: کوارتز، Bt: بیوتیت، Opx: ارتوپیروکسن، Cpx: کلینوپیروکسن، Srp: سرپانتین، Op: کانی کدر)، علائم اختصاری کانی‌ها بر اساس ویتنی و اوانس (Whitney and Evans, 2010)

Fig. 3. Microphotographs of the metamorphosed volcano-sedimentary and intrusion rocks of the Agh Ziarat deposit. A: fractured and tectonized amphibolite with porphyroblastic fabric, B: granite gneiss rock unit with schist to banded fabric, C: pyroxenite unit with granular to sieve texture, D: microgranite intrusion with microgranular to mortar texture, E: aplitic dike with microgranular to mortar texture, and F: granular to porphyritic syenite to alkali syenite. (Act: actinolite, Plag: plagioclase, K-fs: K-feldspar, Mc: microcline, Qtz: quartz, Bt: biotite, Opx: orthopyroxene, Cpx: clinopyroxene, Srp: serpentine, Op: opaque mineral), Abbreviations after Whitney and Evans (2010)



شکل ۴. مقاطع میکروسکوپی نور انعکاسی کانه‌های کانسار آق‌زیارت. A: کانه‌های پیریت و کالکوپیریت با بافت شکاف‌پرکن، B: هم‌رشدی پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت و کوولیت با بافت شکاف‌پرکن، C: بلورهای مولیبدنیت و پیریت با بافت جانشینی و D: کانه‌های پیریت، مگنتیت، مولیبدنیت و هماتیت با بافت دانه‌پراکنده. (Mt: مگنتیت، Cpy: کالکوپیریت، Mol: مولیبدنیت، Cc: کالکوسیت، Cv: کوولیت، Py: پیریت)، علایم اختصاری کانی‌ها بر اساس ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010)

Fig. 4. Reflected-light microphotographs of the Agh Ziarat deposit. A: pyrite and chalcopyrite minerals with open space filling texture, B: intergrowth of pyrite, chalcopyrite, chalcocite, and covellite ore minerals as open space filling texture, C: molybdenite and pyrite grains with replacing texture, and D: pyrite, Magnetite, molybdenite, and hematite with disseminated texture. (Mt: magnetite, Cpy: chalcopyrite, Mol: molybdenite, Cc: chalcocite, Cv: covellite, Py: pyrite), Abbreviations after Whitney and Evans (2010)

بررسی‌های کانی‌شناسی

برای مطالعه و بررسی دقیق‌تر ترکیب شیمیایی و بافت کانی‌های سولفیدی (کانه‌ها) و سیلیکاتی (کانی‌های دگرسانی)، بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی و تجزیه ریزکاو الکترونی بر روی نمونه‌های برداشت‌شده از زون‌های دگرسانی و کانه‌زایی، انجام شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که سیلیس به‌عنوان کانی گانگک زمینه اصلی بیشتر کانه‌های

سولفیدی و اکسیدی را تشکیل می‌دهد (شکل ۶-۱). کانی‌های سولفیدی مختلفی به‌طور پراکنده در زمینه سیلیسی دیده می‌شود که می‌توان به پراکندگی قابل‌ملاحظه پیریت، همراه با مقادیر کمتر کانی‌های عناصر نادر خاکی (بیشتر شامل Ce، La، Y و Ir) (شکل ۶-۱ و B)، سولفوسالت‌های حاوی نقره و جیوه با ابعاد حداکثر به قطر ۱۵ میکرون (شکل ۶-۱ و B) در نمونه اشاره کرد. کالکوپیریت با بافت‌های رگه‌ای، رگچه‌ای، پرکننده

میکرون و بافت دانه‌پراکنده در گانگ سیلیکاته واحدهای دگرسان قابل مشاهده هستند (شکل ۶-D).

فضاهای خالی و نیز ادخال‌های ریز در داخل پیریت با اندازه بین ۵ تا ۵۰ میکرون دیده می‌شود (شکل ۶-C). علاوه بر این، اسفالریت، گالن و باریت به صورت بلورهای ریز با اندازه ۵ تا ۲۰

Minerals	Pre-mineralization Stage	Hypogene mineralization stage		Supergene mineralization stage
		Early	Late	
Ore	Pyrite	████████	████████████████████	
	Chalcopyrite		████████████████████	
	Molybdenite		████████████████████	
	Magnetite		████████████████████	
	Gold	-----	████████████████████	
	Sphalerite		-----	
	Galena		████████████████████	
	Chalcocite			████████████████████
	Covellite			████████████████████
	Malachite			████████████████████
	Iron oxide	-----		████████████████████
Gangue	Quartz	████████	████████████████████	
	Calcite	████████	████████████████████	-----
	Chlorite	████████	████████████████████	-----
Textures	Disseminated	-----	████████	
	Vein-Veinlet		████████████████████	
	Clastic and Brecciated		████████████████████	-----
	Replacement		████████	████████████████████
		High ██████████	Medium █████	Low -----

شکل ۵. توالی پاراژنتیک تشکیل کانی‌ها و کانه‌ها و بافت آنها در کانسار آق‌زیارت

Fig. 5. Paragenetic sequence of gangue and ore minerals and their texture in the Agh Ziarat deposit

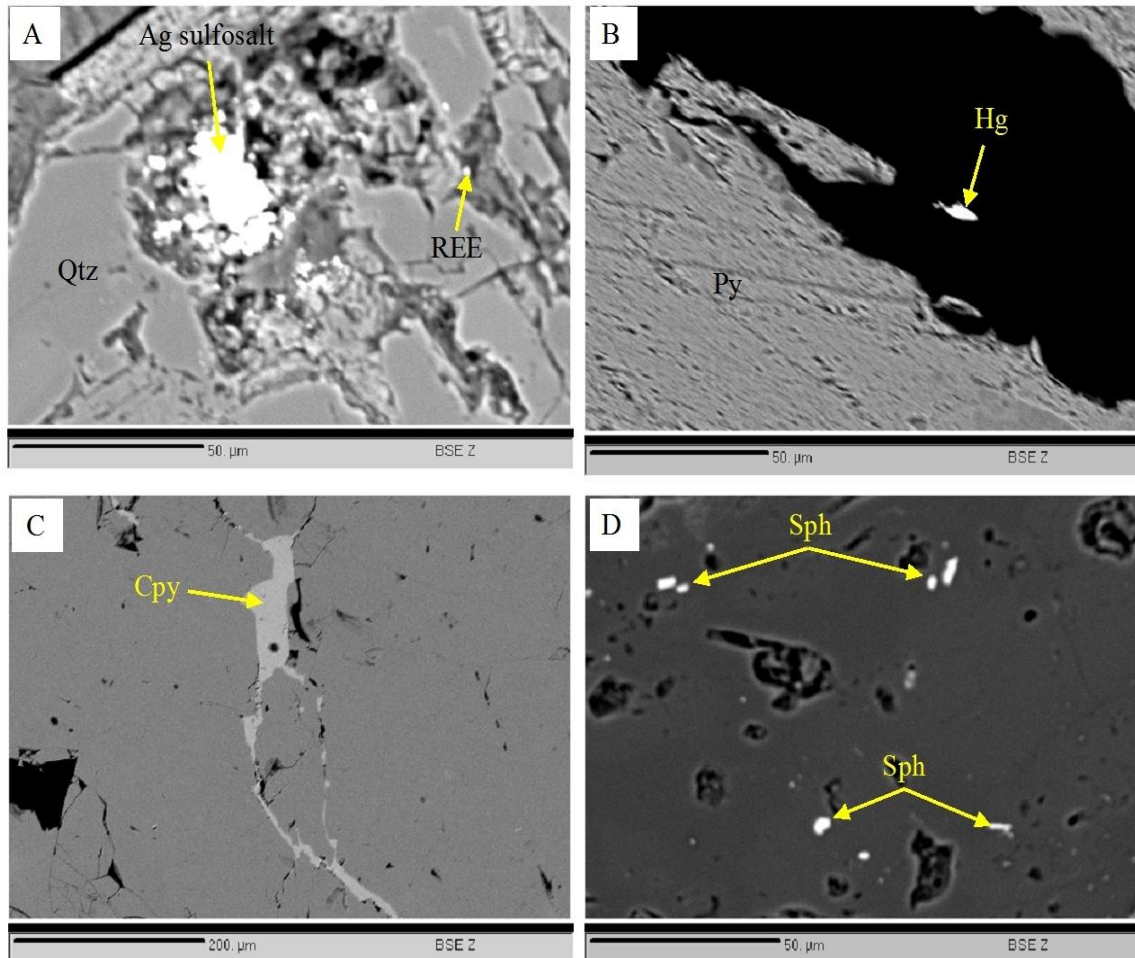
۱:۱۰۰۰ محدوده اکتشافی، ماهیت زون‌های کانه‌دار، نوع کانه‌زایی و عوامل کنترل‌کننده آن و نتایج اکتشافات ژئوفیزیکی به‌عنوان مبنای بررسی‌های اکتشاف ژئوشیمیایی استفاده شده

بررسی‌های ژئوشیمیایی

در بررسی‌های ژئوشیمیایی، برای طراحی شبکه از سه مؤلفه شواهد و اطلاعات سطحی به‌دست آمده از نقشه زمین‌شناسی

آرسنیک) در آزمایشگاه تجزیه مواد معدنی شرکت زر آزما به روش ICP-MS مورد تجزیه قرار گرفته است (جدول ۱). حد آشکارسازی دستگاه مورد آنالیز برای طلا برابر ۱ میلی‌گرم در تن و برای سایر عناصر ۱ گرم در تن است.

است. روش نمونه‌برداری با استفاده از روش استاندارد لب‌پری-شیاری^۱ بوده و تعداد ۷۰ نمونه سنگی از پهنه‌های دگرسان و کانه‌دار به روش یادشده، برداشت شده است و برای ۸ عنصر کانساری (مس، مولیبدن، طلا، سرب، روی، کبالت، نیکل و



شکل ۶. A: تصاویر میکروسکوپ الکترونی^۲ سولفوسالت نقره و عناصر Ce، La و Y با بافت‌های شکاف‌پرکن و دانه‌پراکنده در زمینه گانگ سیلیکاتی، B: سولفوسالت حاوی جیوه با بافت دانه‌پراکنده در گانگ سیلیکاتی، C: کانه کالکوپیریت با بافت شکاف‌پرکن که به صورت تأخیری در شکاف‌های کوارتز تشکیل شده است و D: بلورهای ریز و دانه‌پراکنده اسفالریت در زمینه کوارتز در کانسار آق‌زیارت. (Py: پیریت، Cpy: کالکوپیریت، Sph: اسفالریت، REE: عناصر نادر خاکی، Ag: نقره، Hg: جیوه، Qtz: کوارتز)، علائم اختصاری کانی‌ها بر اساس ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010)

Fig. 6. A: Backscattered Electron (BSE) images of Ag and Ce, La, and Y sulfosalt minerals with open space filling and disseminated texture in a gangue of silicate minerals, B: Ag-bearing sulfosalt dissemination in a silicate gangue, C: chalcopyrite with open space filling texture formed as late ore stage within fractures of previous minerals, D: fine-grained and disseminated sphalerite grains within a quartz host mineral in the Agh Ziarat deposit. (Py: pyrite, Cpy: chalcopyrite, Sph: sphalerite, REE: rare earth elements, Ag: silver, Hg: mercury, Qtz: quartz), Abbreviations after Whitney and Evans (2010)

- 1 . Chip-Channel Sampling
- 2 . Backscattered Electron (BSE)

جدول ۱. ترکیب شیمیایی نمونه‌های انتخابی آنالیز شده به روش ICP-MS بر روی سنگ کل در کانسار آق‌زیارت

Table 1. Whole rock chemical composition of selected samples analyzed by ICP-MS in the Agh Ziarat deposit

Sample No.	Au	Co	Ni	Cu	As	Pb	Mo	Zn
Abundances	Ppm	ppm	ppm	Ppm	Ppm	Ppm	ppm	ppm
G-01	0.39	145.8	969.7	19355.7	86.2	82.6	82.1	19083.9
G-02	0.61	129.2	225.8	18465.6	32.1	80.1	61.1	18192.4
G-03	1.12	128.5	186.1	16748.8	28.8	75.4	18.6	12247.3
G-04	0.42	108.3	182.6	15486.27	28.4	73.4	17.2	10184.6
G-05	1.13	94.2	180.6	15235.7	25.6	55	16.8	10114.3
G-06	0.52	82.6	130.4	14418.4	24.4	43.6	14.1	9126.2
G-07	1.87	46.7	125	14256.8	23.2	36.4	13.4	9123.4
G-08	0.63	39.4	114.2	13727.7	22.6	28.7	13.4	9114.2
G-09	0.84	31.5	99.6	13124.6	22.6	24.6	13.1	8546.2
G-10	1.46	22	98.7	12244.6	22.4	23.4	12.8	8216.4
G-11	1.21	21.3	96.4	9369.4	19.6	22.1	12.7	8096.2
G-12	1.32	16.8	94.3	8748.4	19.4	21.5	11.2	7272.6
G-13	1.14	14.4	94.2	5134.6	17.5	21.4	9.4	6234.7
G-14	1.13	13.4	93.2	5127.6	16.4	21.3	8.9	6064.3
G-15	0.58	11.4	92.6	5123.4	12.3	20.5	8.6	6044.6
G-16	0.42	11.3	92.5	5056.4	12.1	20.1	8.6	4926.7
G-17	0.37	11.2	92.2	4238.7	11.2	16.8	8.1	4825.7
G-18	0.63	11.2	89.7	4236.6	9.6	16.4	6.7	4626.1
G-19	0.36	10.7	79.1	3723.5	9.2	16.4	6.4	4369.2
G-20	0.37	9.5	74.3	3275.5	8.3	13.2	6.3	4256.4
G-21	0.42	9.4	73.2	3234.7	8.1	13.1	4.6	4042.1
G-22	0.28	9.2	73.1	3214.9	8.1	12.6	4.2	3843.6
G-23	0.45	9.2	72.3	2806.8	6.3	12.4	4.1	3428.3
G-24	0.10	9.1	71.9	2345.7	6.2	12.4	3.6	3221.3
G-25	1.15	9.1	71.2	1963.6	6.2	11.5	2.7	3145.5
G-26	0.62	9.0	70.1	1875.7	6.1	11.4	2.7	2862.6
G-27	0.98	9.0	69.9	1378.6	6.0	11.2	2.6	2708.1
G-28	0.57	8.8	68.9	1364.4	6.0	9.4	2.5	2342.6
G-29	0.83	8.5	68	932.5	5.9	9.2	2.1	2214.3
G-30	0.58	8.4	66.8	734.8	5.3	9.2	2.1	2190.1
G-31	0.42	8.1	65	652.5	4.6	9.2	2.1	1901.7
G-32	0.61	8.1	64.6	643.5	4.4	8.4	2	1819.4
G-33	0.79	7.4	64.2	631.8	4.2	8.12	1.9	1812.5
G-34	1.17	7.4	64.2	631.7	4.1	8.1	1.8	1788.8
G-35	0.53	7.2	63.2	626.9	4.1	8.1	1.8	1724.3
G-36	0.39	7.2	62.4	623.6	4.0	8.0	1.7	1717.4
G-37	1.81	6.9	62.2	617.5	3.9	7.9	1.7	1666.4
G-38	0.62	6.6	62.1	617.2	3.6	7.2	1.6	1643.5
G-39	0.78	6.4	62	612.6	3.4	7.2	1.5	1223.8
G-40	0.42	6.4	61.4	548.4	3.4	7.1	1.5	1173.8
G-41	0.44	6.4	61.2	526.5	3.1	7.1	1.4	1126.4

ادامه جدول ۱. ترکیب شیمیایی نمونه‌های انتخابی آنالیز شده به روش ICP-MS بر روی سنگ کل در کانسار آق‌زیارت

Table 1 (Continued). Whole rock chemical composition of selected samples analyzed by ICP-MS in the Agh Ziarat deposit

Sample No.	Au	Co	Ni	Cu	As	Pb	Mo	Zn
G-42	0.96	6.4	61.2	526.4	3.1	7.1	1.4	1125.7
G-43	0.10	6.2	55.1	521.5	2.7	7.0	1.3	1114.1
G-44	0.39	6.2	54.7	514.8	2.5	6.9	1.2	1060.5
G-45	0.61	6.2	53.8	514.7	2.5	6.9	1.2	1055.4
G-46	0.78	6.2	52.6	503.4	2.3	6.8	1.2	1051.5
G-47	0.62	6.2	52.4	501.7	2.2	6.5	1.2	1020.4
G-48	0.39	6.2	52.4	501.5	2.1	6.5	1.2	945.5
G-49	1.01	6.2	52.3	484.8	2.1	6.4	1.1	934.4
G-50	1.24	6.1	51.2	434.4	2.1	6.3	1.1	925.2
G-51	0.56	6.1	51	428.6	1.9	6.3	1.0	924.8
G-52	1.37	6.1	50.1	426.8	1.9	6.2	1.0	919.3
G-53	1.03	6.1	49.9	425.3	1.7	6.2	1.0	914.9
G-54	0.55	6.0	47.3	424.8	1.5	6.2	1.0	914.5
G-55	0.45	6.0	46.3	421.3	1.4	6.2	1.0	912.5
G-56	0.10	6.0	46.1	417.4	1.4	6.1	0.9	902.6
G-57	0.25	6.0	45.4	413.7	1.2	6.1	0.9	901.2
G-58	0.55	5.9	44.2	413.4	1.2	6.1	0.9	897.1
G-59	0.16	5.6	43.7	364.9	1.2	6.0	0.9	896.9
G-60	0.65	5.5	43.1	364.6	1.1	6.0	0.9	891.4
G-61	0.27	5.4	42.5	363.5	1.1	6.0	0.9	881.7
G-62	0.53	5.4	42.4	362.3	1.0	6.0	0.9	872.1
G-63	0.21	5.2	42.4	351.7	0.9	5.9	0.9	842.7
G-64	0.59	5.1	42.3	348.8	0.9	5.7	0.8	817.1
G-65	0.24	5.1	42.3	343.5	0.9	5.7	0.8	624.5
G-66	0.56	5.1	42.2	343.2	0.9	5.7	0.8	601.5
G-67	0.31	5	42.1	331.7	0.8	5.5	0.8	290.9
G-68	0.49	5	41.9	285.4	0.8	5.5	0.8	191.6
G-69	0.32	5	41.4	281.8	0.8	5.5	0.8	96.4
G-70	0.48	4.8	41.2	279.2	0.8	5.4	0.8	92.6

تحلیل و پردازش آماری داده‌ها

قبل از تحلیل‌های آماری، پیش‌پردازش داده‌های خام شامل شناسایی، حذف و تعدیل داده‌های خارج از رده و ساختارهای

داده‌ای غیرمعمول، در فرایند آنالیز داده‌های ژئوشیمیایی (Hair et al., 1998; Lalor and Zhang, 2001; Reimann et al., 2005)، همچنین حذف و تصحیح داده‌های پرت که عضو

به‌روش اسپیرمن محاسبه شده است (جدول ۲). با توجه به جدول ضرایب همبستگی، Au همبستگی مثبت و نسبتاً قوی با عناصر Co، Ni، Cu، As، Pb و به‌ویژه Mo نشان می‌دهد. همچنین، عنصر Cu نیز با عناصر Co، Ni، Cu، As، Pb، Mo، W و Zn همبستگی مثبتی نشان می‌دهد (جدول ۲ و شکل ۷). در بین این عناصر، میزان ضریب همبستگی Co، Pb و Ni بسیار بالاست که مرتبط با ماهیت اولترامافیک برخی از واحدهای سنگی میزبان کانه‌زایی است. گستره همبستگی بالای بین عناصر مختلف با یکدیگر، بیانگر گسترش کانه‌زایی فلزی و ماهیت پلی‌متال رخداد کانه‌زایی در منطقه است. همبستگی متوسط بین As با Au نیز می‌تواند بیانگر منشأ و خاستگاه یکسان و مشابه بین این دو عنصر و نیز ماهیت ردیاب عنصر آرسنیک برای اکتشاف طلا باشد. همبستگی بالای عنصر Zn با اکثر عناصر نیز ناشی از تحرک بالای این عنصر نسبت به سایر عناصر است.

توزیع اصلی جامعه آماری نبوده و به دلیل فاصله زیاد از مرکز کل مشاهدات، می‌تواند اثرات نامطلوبی بر نتایج روش‌های آماری از جمله جداسازی آنومالی از زمینه داشته باشند، حائز اهمیت هستند (Filzmoser et al., 2005; Wang et al., 2013). تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Rockworks شامل روش‌های تحلیل تک‌متغیره، دو متغیره و چندمتغیره انجام شده است.

تحلیل آماری دو متغیره

پس از تحلیل‌های آماری تک‌متغیره و بررسی ویژگی‌های آماری عناصر طلا، نقره، مس و مولیبدن (جدول ۱)، برای شناخت ارتباط و وابستگی‌های ژنتیکی بین عناصر، تفسیر دقیق‌تر شرایط محیط ژئوشیمیایی و نیز افزایش اطمینان و دقت مطالعات اکتشافی، روش تحلیل آماری دو متغیره مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس، ماتریس همبستگی عناصر

جدول ۲. ضرایب همبستگی عناصر کانساری محاسبه شده به‌روش رتبه‌ای اسپیرمن در کانسار آقی زیارت

Table 2. Calculated correlation coefficient (r) of selected ore-related elements using the Spearman's Rank method in the Agh Ziarat deposit

	Au	Co	Ni	Cu	As	Pb	Mo	Zn
Au	1.00							
Co	0.37**	1.00						
Ni	0.48**	0.99**	1.00					
Cu	0.42**	0.99**	0.99**	1.00				
As	0.38**	0.63**	0.63**	0.63**	1.00			
Pb	0.39**	0.72**	0.72**	0.72**	0.72**	1.00		
Mo	0.50**	0.59**	0.59**	0.59**	0.59**	0.59**	1.00	
Zn	0.32**	0.38**	0.38**	0.38**	0.38**	0.38**	0.38**	1.00

می‌گیرد (Hasanipak, 2007). هدف از تحلیل عاملی، تشریح تغییرات در مجموعه‌ای از داده‌های ژئوشیمیایی چندعنصری از طریق کاهش ابعاد داده‌ها و متغیرها به تعدادی عامل است. طی

تحلیل آماری چندمتغیره (تحلیل عاملی مرحله‌ای)

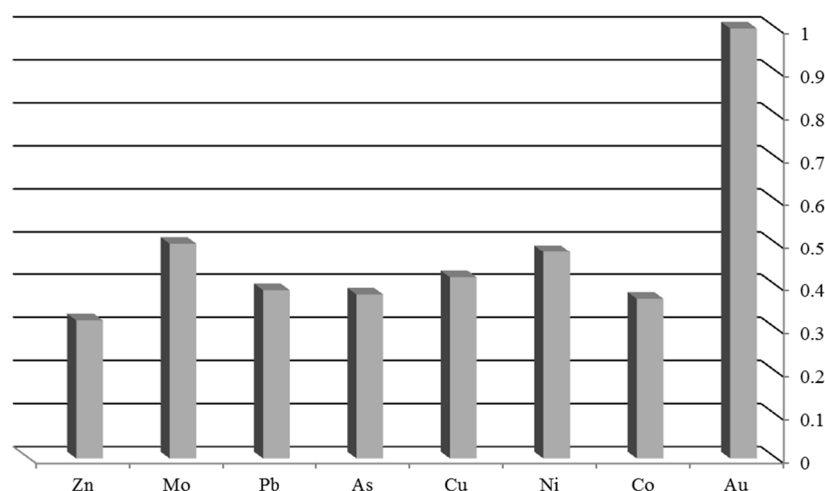
تحلیل‌های چندمتغیره ژئوشیمیایی همانند تحلیل عاملی، اغلب به منظور شدت بخشی به هاله‌های ژئوشیمیایی مورد استفاده قرار

داراست. این عامل حاوی عناصر Co و Ni ، Mo ، Cu ، As ، Au است که بیانگر همبستگی بین عناصر مس و مولیبدن است. در عامل دوم، عناصر Co و As و در عامل سوم نیز Mo مشاهده می‌شود. به‌طور کلی، بررسی بیشتر تحلیل عاملی عناصر نشان می‌دهد که در عامل اول As و Mo ، در عامل دوم Cu و در عامل سوم نیز Zn (به‌دلیل قابلیت تحرک بالای این عنصر) بیشترین اهمیت کانی‌سازی و ارزش اکتشافی هستند (جدول ۳). همچنین، ارتباط نسبتاً زیاد عامل اول با عامل دوم بیانگر کانی‌سازی نه‌چندان قوی توده نفوذی در سنگ درون‌گیر مافیک-اولترامافیک است و دوری عامل سوم نسبت به دو عامل دیگر و حضور عنصر Zn در عامل سوم نیز نشان‌دهنده گستره زیاد کانی‌سازی عنصر پرتحرک Zn با عناصر دیگر و سطحی بودن این نوع کانی‌سازی است. عامل اول به‌دلیل داشتن مقدار ویژه نسبتاً بالا (درصد واریانس عناصر دخیل در محاسبات عاملی) از اهمیت اکتشافی بالایی برخوردار است. علاوه‌بر این، حضور دو عنصر Co و Ni نیز نشان‌دهنده ماهیت مافیکی و اولترامافیکی سنگ میزبان است.

این روش، روابط چندمتغیره پنهان بین عناصر آشکار شده است و بهترین معرف یا معرف‌های چندعنصری کانی‌سازی استنتاج می‌شود (Li et al., 1995; Naseri et al., 2013).

تحلیل عاملی اغلب طی دو مرحله عمده صورت می‌گیرد. مرحله اول، شامل استخراج عامل‌های تمیز از طریق حذف عناصر مزاحم است که در هیچ عاملی مشارکت نمی‌کنند. طی مرحله دوم، استخراج نواحی آنومال چندعنصری به‌منظور شناسایی نوع کانی‌سازی و دستیابی به امتیازات عاملی قابل اعتماد انجام می‌شود (Yousefi et al., 2012; Wang et al., 2013). در کانسار آق‌زیارت، با توجه به ماهیت چندفلزی کانی‌سازی و نوع رگه‌ای کانسار، تحلیل عاملی بر روی عناصر کانساری طلا-مس و عناصر وابسته به آنها انجام شد. برای شناسایی مناطق امیدبخش در منطقه، تحلیل عاملی بر مبنای مؤلفه‌های اصلی^۱ با دوران واریمکس و در نظر گرفتن حداقل بار عاملی ۰/۶ انجام شده است.

با استفاده از روش تحلیل یادشده، تعداد سه عامل انتخاب شد (جدول ۳). عامل اول بیشترین نقش را در تبیین واریانس متغیرها



شکل ۷. نمودار مقادیر همبستگی طلا با سایر عناصر کانساری در کانسار آق‌زیارت که با استفاده از ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن محاسبه شده است

Fig. 7. Histogram illustrating correlation of gold and ore-related elements in the Agh Ziarat deposit that are calculated by Spearman's Rank coefficients

جدول ۳. ماتریس دوران یافته عامل‌ها به روش varimax برای مقایسه تمایلات بین عناصر به عامل‌های مختلف در کانسار آق زیارت

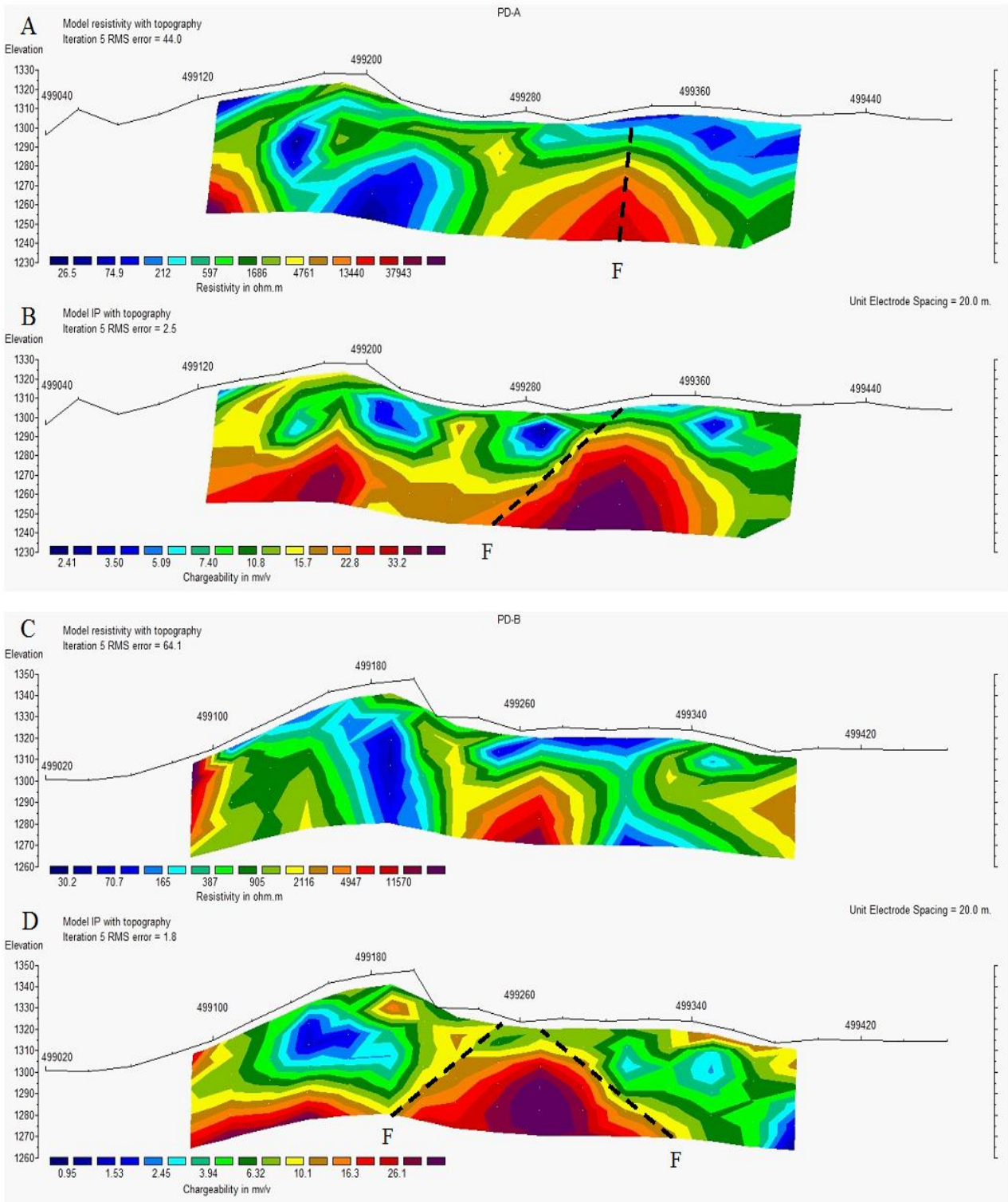
Table 3. Rotated Component Matrix using varimax method for comparing correlation between elements to various factors in the Agh Ziarat deposit

	Raw Component			Rescaled Component		
	1	2	3	1	2	3
Ln Au	0.291	0.230	0.033	0.477	0.377	0.054
Ln Co	0.723	0.192	0.048	0.823	0.218	0.055
Ln Ni	0.311	0.179	0.140	0.594	0.341	0.267
Ln Cu	0.340	1.331	0.263	0.242	0.947	0.187
Ln As	1.016	0.353	0.105	0.836	0.290	0.086
Ln Pb	0.526	0.142	0.111	0.700	0.189	0.147
Ln Mo	0.935	0.063	0.352	0.801	0.054	0.302
Ln Zn	0.270	0.247	1.383	0.188	0.172	0.963

بررسی های ژئوفیزیکی

هدف از انجام بررسی های ژئوفیزیکی، ردیابی پهنه های کانه زایی احتمالی و تعیین گسترش عمقی آنها، تشخیص محل همبری و گسل های احتمالی و نیز تعیین محلی مناسب برای حفر گمانه های اکتشافی است (Telford et al., 1976; Sadifi and Hafizi, 2012; Norouzi, 2013; Gorabjeiri Puor and Mobasheri, 2014). طی بررسی های اکتشافی، آرایه به کار رفته برای برداشت داده های بارپذیری القائی - مقاومت ویژه^۱، آرایه دوقطبی - دوقطبی بوده است. لذا این آرایه برای مطالعه و بررسی تغییرات و گسترش ناهنجاری در عمق و نیز به دست آوردن شبه مقاطع بارپذیری القائی بارپذیری و مقاومت ویژه ظاهری در مسیر یک پروفیل استفاده شده است (Zarean, 2012). برای اندازه گیری عوامل فیزیکی مانند مقاومت الکتریکی و بارپذیری القائی پهنه کانی سازی، تعداد ۱۰ پروفیل موازی با روند شرقی - غربی و با فاصله ۵۰ متر از هم در نظر گرفته شده است و هر پروفیل نیز با ایستگاهی به فاصله ۲۰ متر از هم تقسیم شد. داده های حاصله از این برداشت های

صحرائی (Zarean, 2012)، توسط نرم افزار 11 Surfer فرمول بندی و ترسیم شده است و با معکوس سازی داده ها در نرم افزار Res2dinv، مقاطع به واقعیت نزدیک شد. بررسی های ژئوفیزیکی انجام شده، نشان می دهد که در برخی مقاطع، عمق نفوذ مورد بررسی کم است. میزان بارپذیری القائی به دست آمده در امتداد برخی از مقاطع بسیار پایین بوده و مقاومت ظاهری آنها زیاد است که بیانگر ماهیت پراکنده و گاهی غیراقتصادی کانه زایی سولفیدی در امتداد مقاطع یاد شده است (شکل A-8 و B). با توجه به نقشه های مقاومت ظاهری و بارپذیری القائی، عمق زون دگرسانی و کانی سازی در کانسار آق زیارت، کمتر از ۸۰ متر محاسبه شده است (شکل C-8 و D). همچنین، شبیه سازی مقاطع نشان می دهد که منطقه مورد بررسی کاملاً تکنونیزه بوده و دارای گسل های احتمالی فراوان در مجاورت بخش های آنومال و کانه دار است. که احتمالاً نشان دهنده نقش ساختارهای گسلی نرمال و کششی به عنوان عامل کنترل کننده کانه زایی است (شکل ۸).



شکل ۸. A و B: شبه‌مقاطع بارپذیری القائی - مقاومت ویژه ظاهری مقطع شماره A با فاصله الکترودی ۲۰ متر، C و D: شبه‌مقاطع بارپذیری القائی - مقاومت ویژه ظاهری مقطع B با فاصله الکترودی ۲۰ متر در کانسار آق‌زیارت. گسل احتمالی با علامت F نشان داده شده است.

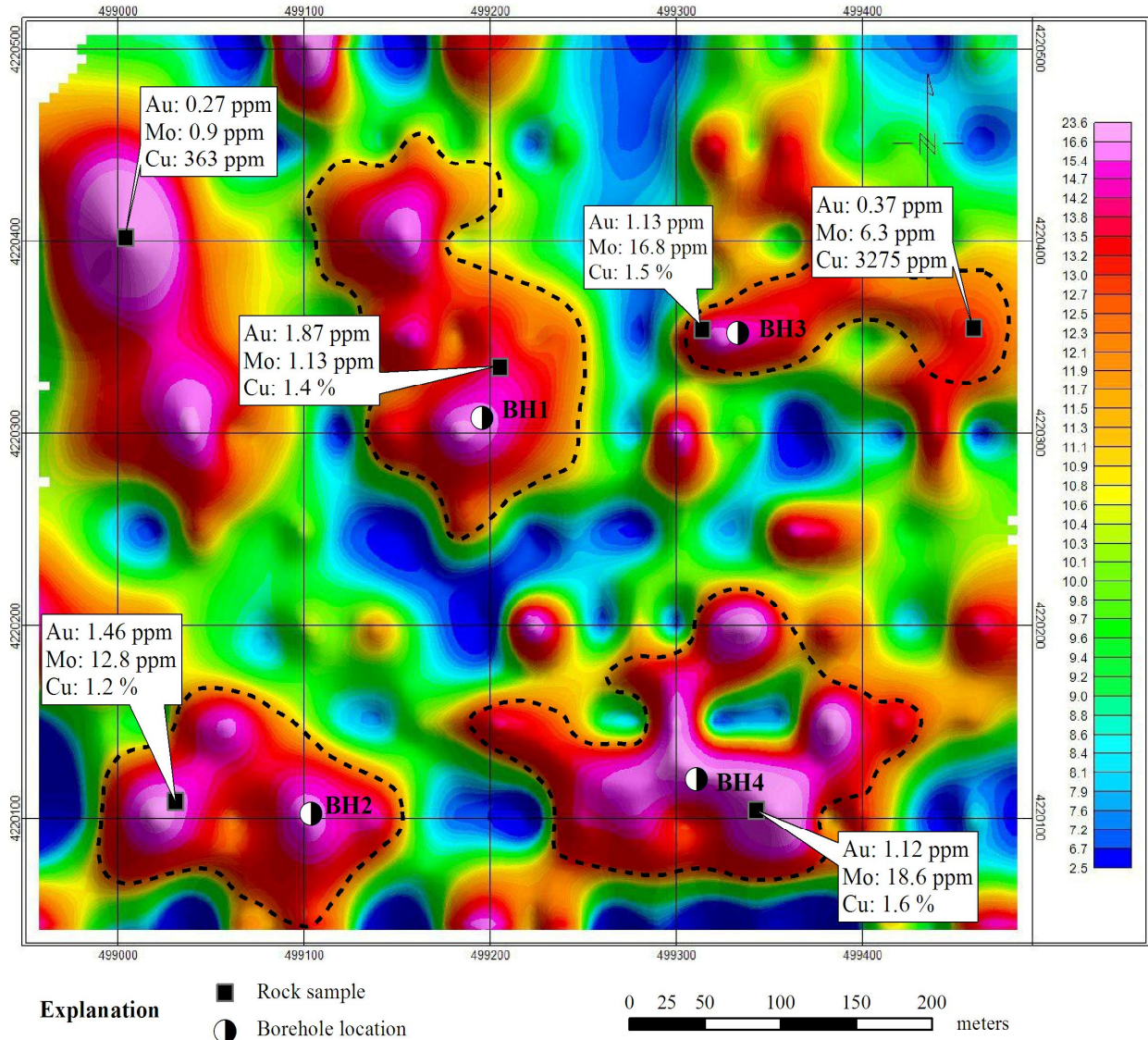
Fig. 8. A and B: induced polarization-resistivity (IP/RS) pseudo-sections for profile A with electrode intervals of 20 meters, C and D: induced polarization-resistivity (IP/RS) pseudo-sections for profile B with electrode intervals of 20 meters in the Agh Ziarat area. The inferred fault is represented by F sign.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات اکتشافی

واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه شامل گرانیت گنایسی، آمفیبولیت و شیست متعلق به پالئوزوئیک است که تحت تأثیر تزریق توده‌های نفوذی با ترکیب سینیت، گرانیت و دایک‌های آپلیتی با سن کرتاسه قرار گرفته‌اند. کانی‌سازی در این منطقه شامل رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی - سولفیدی با ضخامت متوسط ۰/۵ و طول ۵ متر درون سنگ‌های میزبان گرانیت - گنایسی، آمفیبولیت، شیست و توده نفوذی سینیتی است. کانی‌شناسی کانسنگ شامل پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و مگنتیت همراه با کانی‌های ثانویه کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، همتیت و گوئیت است. بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان‌دهنده همبستگی نسبتاً قوی و مثبت بین Au با Cu, Mo, As, Ni, Co, Pb, Zn است. همبستگی مثبت و مقادیر زمینه بالای عناصر Ni و Co ناشی از ماهیت اولترامافیک واحدهای سنگی میزبان است. گستره همبستگی عناصر کانساری یادشده با یکدیگر نشان‌دهنده گسترش هاله عناصر کانساری مورد تجزیه و نیز ماهیت کانه‌زایی چندفلزی در محدوده زون‌های دگرسان و کانه‌دار است. همبستگی طلا با آرسنیک می‌تواند در ارتباط با منشأ و خاستگاه یکسان این عناصر از نظر ژنتیکی و نیز ماهیت ردیاب As برای اکتشاف Au باشد. همچنین، بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحلیل عاملی و خوشه‌ای، عناصر Mo, As, Au, Cu به ترتیب در عامل اول و دوم قرار دارند و اغلب در بخش‌های دارای دگرسانی سیلیسی - سولفیدی با شدت بالا و سنگ میزبان سینیتی تمرکز یافته‌اند. علاوه بر این، ساختارهای گسلی نرمال و شکستگی‌ها نیز عامل کنترل‌کننده مهمی در پراکندگی و توزیع این عناصر هستند. تلفیق نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های زمین‌شناسی که بیانگر عملکرد ماگماتیسیم نسبتاً گسترده مرتبط با زمین‌ساخت فعال منطقه و ساختارهای گسلی کششی متعدد است، با اکتشافات

ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی انجام شده، به شناسایی دو منطقه عمده پتانسیل‌دار در بخش‌های شمالی و جنوبی محدوده منجر شده است (شکل ۹). شایان ذکر است که بخش عمده کانه‌زایی شناسایی شده در جنوب منطقه است. با توجه به نبود تطابق نقشه‌های ترکیبی بارپذیری - مقاومت ویژه ظاهری با نقشه زمین‌شناسی و کانه‌زایی سطحی موجود در ترانسه‌ها، می‌توان گفت که کانه‌زایی در این منطقه از ضخامت و عمق گسترش زیادی برخوردار نیست. حداکثر عمق کانه‌زایی حدود ۸۰ متر برآورد شده است که به‌طور عمده در جنوب محدوده در کوه روباه و آتاداغی متمرکز شده‌اند (شکل ۹). همچنین، بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌های اکتشافی ژئوفیزیکی، دو زون آتاداغی و روباه دارای بیشترین وسعت و گسترش دگرسانی گرمایی و کانه‌زایی هستند. مقدار داده‌های بارپذیری و ناهنجاری‌های آن بیشتر در حواشی مقاطع و عمق، صورت گرفته است. از نظر زمین‌شناسی، کانه‌زایی به‌صورت رگه‌های باریک و کم‌عمق در امتداد زون‌های گسلی تشکیل شده است. لذا، در چنین مواردی که روند دگرسانی‌ها و کانه‌زایی به‌طور دقیق مشخص نیست، کاربرد روش آرایش مستطیلی^۱ همراه با ترسیم نقشه‌ای سطحی از داده‌های بارپذیری و مقاومت ویژه ظاهری به‌منظور تشخیص روند زون‌های آنومال و سپس بررسی عمقی مناطق پتانسیل‌دار با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی بسیار مؤثر خواهد بود. برای تعیین و تفکیک دقیق‌تر زون‌های کانی‌سازی عمقی، بررسی‌های ژئوشیمیایی سیستماتیک و ژئوفیزیکی تلفیقی به‌روش IP/RS و مغناطیس‌سنجی زمینی به‌شدت توصیه می‌شود. همچنین، تلفیق اطلاعات به‌دست آمده از بررسی‌های دورسنجی، زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی برای طراحی بهینه شبکه حفاری گمانه‌های اکتشافی بسیار ضروری است.

Anomaly map of Au in the Agh Ziarate area



شکل ۹. نقشه مناطق امیدبخش و پتانسیل‌دار محدوده اکتشافی آق‌زیارت به‌همراه پهنه‌های شناسایی‌شده و موقعیت نقاط پیشنهادی برای حفاری گمانه اکتشافی که با استفاده از تلفیق داده‌های به‌دست آمده از اکتشافات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی ترسیم شده است.

Fig. 9. Symbol map of the promising and exploratory high potential targets of the Agh Ziarat area together with identified zones and proposed locations for borehole drilling obtained using the geological, geochemical, and geophysical data layers.

می‌کند. همچنین، بر خود لازم دانسته از داوران محترم نشریه زمین‌شناسی اقتصادی که با ارائه نکات سودمند اینجانب را یاری کرده‌اند و سبب افزایش غنا و کیفیت مقاله شدند، تشکر و قدردانی کند.

قدردانی

نویسنده مقاله از مدیریت محترم شرکت کانسار باختر آذربایجان به‌دلیل همکاری و هماهنگی برای انجام بازدیدهای صحرایی، لاگینگ گمانه‌های اکتشافی و نمونه‌برداری، تشکر و قدردانی

References

- Advay, M., 2010. Petrological and geochemical studies of the A-type granites in the northwestern Iran (Qoushchi to Qare Ziaeddin area) with geodynamic insights. Ph.D. Thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran, 172 pp.
- Aghanabati, S.A., 2005. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, 586 pp.
- Akbari Tazeh kand, H., Abedini, A. and Ravaghi, A., 2014. Mineralogy and geochemistry of the Agh Ziarat polymetallic deposit, southeast of Salmas, northwestern Iran. 33th Geological Congress of Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretation. *Tectonophysics*, 229(3-4): 211-238.
- Asadpour, M., 2001. Petrology and geochemistry of ultramafic to intermediate rocks of the Qushchi area (Urmia). M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 255 pp.
- Azimi, M.S., 2011. Investigation of geological evidence of magma mixing between gabbrodiorite and alkali granite in the Qushchi area (north of Urmia). Ph.D. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran, 139 pp.
- Behnia, P., 1996. Petrogenesis of granitoids in the Qushchi area: process of alkaline metasomatism. M.Sc. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran, 150 pp.
- Bigdeli, A. and Imamipour, A., 2016. Geological and geochemical investigations of mineralization related to alkaline granite in the Agh Ziarat area, southeast of Salmas, northwestern Iran. *New Findings in Applied Geology*, 10(20): 121-137.
- Filzmoser, P., Garrett, R.G. and Reimann, C., 2005. Multivariate outlier detection in exploration geochemistry. *Computers and Geosciences*, 31(5): 579-587.
- Ghadirzadeh, A. and Ravaghi, A., 2012. Lithgeochemical exploration report of the Salmas Agh Ziarat area (in 1/1000 scale). Industry, Mine and Trade Organization, West Azarbayjan, 77 pp.
- Gorabjeiri Puor, A. and Mobasheri, M., 2014. Compiling Data from Geological, Mineralogical and Geophysical (IP/RS) Studies on Mahour Deposit, Northwest of Dehsalm, Lut Block. *Journal of Economic Geology*, 7(2): 307-325. (in Persian with English abstract)
- Haghipour, A. and Aghanabati, A., 1989. Geological map of the Serow (Gangachin) area, scale 1/100000. Geological Survey of Iran.
- Hair, J.F., Andersen, R.E., Tatham, R.L. and Black, W.C., 1998. *Multivariate Data Analysis*. Prentice Hall,
- Hasanipak, A.A., 2007. *Principals of exploration geochemistry*. University of Tehran, Tehran, 321 pp.
- Hashemian, E., Jamali, H. and Ahmadian, J., 2019. Mineralogy, alteration, fluid inclusion and geochemical constraints of the Tappeh Khargoosh Cu-Au deposit (SW Ardestan). *Journal of Economic Geology*, 10(2): 299-324. (in Persian with English abstract)
- Jahangiri, M., 1993. Petrology and petrogenesis of the Qushchi granitoid complex, north of Urmia. Ph.D. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 160 pp.
- Kavosh Kani Mohajer Company, 2012. Geology map of the Agh Ziarat area, scale 1/1000. Industry, Mine and Trade Organization, West Azarbayjan.
- Khodabandeh, A.A. and Amini Fazl, A., 1993. Geological map of the Tasuj area, scale 1/100,000. Geological Survey of Iran.
- Lalor, G.C. and Zhang, C., 2001. Multivariate outlier detection and remediation in geochemical databases. *Science of the Total Environment*, 281(1-3): 99-109.
- Li, H., Wang, Z. and Li, F., 1995. Ideal models of superimposed primary halos in hydrothermal gold deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 55(1-3): 329-336.
- Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M.H. and Hidarian Shahri, M.R., 2010. Mineralization and geophysical exploration by IP/RS and ground magnetic survey in MA-I and surrounding area, Maherabad porphyry Cu-Au prospect area, east of Iran. *Journal of Economic Geology*, 10(2): 1-17. (in Persian with English abstract)
- Najafi, A., Karimpour, M.H., Ghaderi, M., Stern, C.R. and Farmer, G.L., 2014. U-Pb dating of zircon, Isotope geochemistry of Rb-Sr & Sm-Nd and petrogenesis of granitoid intrusives in Kaje prospect, north west of Ferdows, evidence on Late Cretaceous magmatism in the Lut

- block. *Journal of Economic Geology*, 6(1):107–135. (in Persian)
- Naseri, A., Fathianpour, N. and Jalaifar, M., 2013. Consideration of the relationship between As and Sb concentrations in the Arghash epithermal gold using the factor analysis. 4th Conference of Iranian Mining Engineering. University of Tehran, Tehran, Iran.
- Norouzi, Gh.H., 2013. Electrical methods in exploration geochemistry. University of Tehran Publications, Tehran, 376 pp.
- Reimann, C., Filzmoser, P. and Garrett, R.G., 2005. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Science of the Total Environment*, 346(1–3): 1–16.
- Sadifi, A.H. and Hafizi, M.K., 2012. Application of induced polarization method for the exploration of polymetallic mines. *Geosciences*, 19(2): 81–97. (in Persian)
- Sarjoughian, F. and Kananian, A., 2015. Magma mixing process in the Qushchi intrusion: using mineral chemistry. *Journal of Earth Science Researches*, 5(1): 1–17. (in Persian)
- Shahabi, Sh., 2013. Geochemistry, petrology, and geochronology of the alkaline granite (A-type) and gabbro in the Qushchi area, northwest of Urmia. M.Sc. Thesis, University of Damghan, Damghan, Iran, 135 pp.
- Stocklin, J. and Nabavi, M.H., 1973. Tectonic map of Iran, scale 1/1000,000. Geological Survey of Iran.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D., 1976. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, New York, 770 pp.
- Wang, C., Carranza, E.J.M., Zhang, S., Zhang, J., Liu, X., Zhang, D., Sun, X. and Duan, C., 2013. Characterization of primary geochemical haloes for gold exploration at the Huanxiangwa gold deposit, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 124(1): 40–58.
- Wang, L.H. and Zhinong, L.F., 1995. Ideal models of superimposed primary halos in hydrothermal gold deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 55(1–3): 329–336.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187.
- Yousefi, M., Kamkar Rouhani, A., John, E. and Carranza, M., 2012. Geochemical mineralization probability index (GMPI): A new approach to generate enhanced stream sediment geochemical evidential map for increasing probability of success in mineral potential mapping. *Journal of Geochemical Exploration*, 115(1): 24–35.
- Zarean, A., 2012. IP/RS geophysical exploration report of the Agh Ziarat area, Salmas. Industry, Mine and Trading Organization, West Azarbayjan, 35 pp.



Geology, mineralogy, geochemistry, and geophysical investigation of the Agh Ziarat polymetallic deposit, northern Urmia, northwestern Sanandaj-Sirjan Zone

Farhang Aliyari*

Department of Mining Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran

Submitted: Dec. 24, 2016

Accepted: Jan. 30, 2018

Keywords: EPMA analysis, correlation coefficient, factor analysis, IP/RS, Agh Ziarat, Sanandaj-Sirjan Zone, Iran

Introduction

The Agh Ziarat (Au±Cu±Mo) Polymetallic deposit is located at 75 north of Urmia, northwestern part of the Sanandaj-Sirjan Zone. Several studies have been carried out on chemical composition, geochemistry, petrology, and petrogenesis of intrusive bodies of the Qushchi area, north of Urmia (Jahangiri, 1993; Behnia, 1996; Asadpour, 2001; Azimi, 2011; Shahabi, 2013; Sarjoughian and Kananian, 2015). However, the mineralization potential of the intrusion rocks and volcano-sedimentary sequences has not been investigated yet. The present investigation provides an overview of the geological framework, mineralogy of orebodies and gangue, geochemical, and geophysical characteristics of the Agh Ziarat deposit. Therefore, identification of mineralization style and potential in the study area can be used as an exploration guide in the regional scale in the Sanandaj-Sirjan zone and elsewhere.

Materials and methods

Petrography and ore mineralogy studies were carried out on 15 thin, 20 polished, 10 polished thin sections, and 11 XRD analyses to identify the alteration and ore mineral textures and mineral paragenesis at the Department of Mining Engineering, the Urmia University of Technology. X-Ray Fluorescence (XRF), SEM, ICP-MS analyses were performed on 6, 13, and 70 samples collected from different altered and mineralized host units including metamorphosed volcanic rocks, intrusive bodies, and aplitic dikes in the

Kansaran Binaloud Laboratory, respectively. Mineralogical composition of ore minerals was examined by Electron Probe Micro Analysis (EPMA) on six selected samples in the Iran Mineral Processing Research Center. Structural controls, depth, and vertical distribution or mineralized zones investigated by Induced Polarization-Resistivity (IP/RS) geophysical exploration surveys on 10 east-west-trending profiles.

Result

The host rocks are Neoproterozoic to lower Palaeozoic volcano-sedimentary sequences consisting of gneissic granite, amphibolite, schist, and pyroxenite, which are metamorphosed to greenschist facies. The intrusion of Cretaceous syenite, granite, and aplitic dikes within host rocks caused are caused by hydrothermal alteration and gold (copper±molybdenum) mineralization. Hydrothermal alteration zones are predominantly including argillic, silicified and sulfide alterations, which have mainly occurred in granite gneiss, amphibolite, schist, and intrusive rocks, respectively. Gold (copper±molybdenum) mineralization occurred as vein and veinlets consisting of replacement, disseminated, and open space filling textures. The mineralogy of orebodies comprises of native gold, pyrite, chalcopyrite, molybdenite, magnetite, galena, sphalerite, and Hg, Nd, Ag, Se, and Ba-bearing sulfosalt minerals together with supergene and oxidation mineral phases including chalcocite, covellite, malachite, azurite, hematite, and

*Corresponding authors Email: f.aliyari@uut.ac.ir

goethite. The EPMA micro analysis on pyrite, chalcopyrite, and molybdenite showed that these minerals are characterized by high abundance of S, Mo, Fe, and Au (41.26, 52.33, 23.03, 0.04 wt. %, respectively) and low contents of Pb, W, Cu, Zn, and As (1.12, 0.46, 0.19, 0.08, 0.03 wt. %, respectively). The multivariate measurement of geochemical data using the Spearman's Rank correlation method indicated by positive relationship of Cu, Co, Ni, As, Pb, and in particularly Mo. Copper displays a positive and strong correlation with Co, Ni, Au, As, Pb, Mo, and W in ore-bearing zones. Furthermore, the ore-related elements are distinguished by the presence of Au, As, Cu, Mo, Ni, and Co in factor I, Cu in factor II, and Zn in factor III using the factor analysis method. In addition, an important geochemical behavior was observed among altered Au, As, Mo, and Cu and mineralized zones. Therefore, ore elements and in particularly Au, Mo, and Cu elements are classified in the same cluster. The positive correlation of ore elements with most other elements is indicated by distribution of $Au \pm Cu \pm Mo$ orebodies in the area. The positive and relatively strong correlation of Au and As can be inferred from the cogenetic nature of those elements. The IP/RS geophysical investigation is distinguished by low abundances of induced polarization (IP) and high resistivity (RS) values in most profiles. Consideration of IP and RS pseudo profiles indicate the distribution of anomalous zones toward southern part of the area together with vertical zoning pattern similar to other alteration zones. Integration of the obtained results from geology, which reflects relatively extensive magmatic activity related to active tectonism and extensional structures, together with exploration geochemistry and geophysics resulted in the identification of two main potential areas in both northern and southern parts of the study area.

Discussion

The main altered and mineralized zones in the study area are characterized by vein and veinlet textures of ore mineralization together with geochemical and geophysical anomalies. The

supergene mineralization of some sulfide and oxide minerals (e.g., malachite, azurite, chalcocite, covellite, hematite, and goethite) resulted in the low abundances of chargeability (10-40 ml/v) in most IP-RS profiles in the area. The geological, geochemical, and geophysical data are integrated to recognize the mineralized and promising zones.

Acknowledgements

The author gratefully acknowledges the management of the Kansar Bakhtar Azarbaijan Company for their logistic support to carry out filed works, access and sampling of drill cores. Journal of Economic Geology Reviewers and editor are also thanked for their constructive and valuable comments.

References

- Asadpour, M., 2001. Petrology and geochemistry of ultramafic to intermediate rocks of the Qushchi area (Urmia). M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 255 pp.
- Azimi, M.S., 2011. Investigation of geological evidence of magma mixing between gabbrodiorite and alkali granite in the Qushchi area (north of Urmia). Ph.D. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran, 139 pp.
- Behnia, P., 1996. Petrogenesis of granitoids in the Qushchi area: process of alkaline metasomatism. M.Sc. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran, 150 pp.
- Jahangiri, M., 1993. Petrology and petrogenesis of the Qushchi granitoid complex, north of Urmia. Ph.D. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 160 pp.
- Sarjoughian, F. and Kananian, A., 2015. Magma mixing process in the Qushchi intrusion: using mineral chemistry. *Journal of Earth Science Researches*, 5(1): 1–17. (in Persian)
- Shahabi, Sh., 2013. Geochemistry, petrology, and geochronology of the alkaline granite (A-type) and gabbro in the Qushchi area, northwest of Urmia. M.Sc. Thesis, University of Damghan, Damghan, Iran, 135 pp.