



بررسی های زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی کانسار پلی متال آق زیارت، شمال ارومیه، شمال غرب پهنه سنندج - سیرجان

فرهنگ علی یاری *

گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

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

چکیده

کانسار پلی متال آق زیارت در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال ارومیه، شمال غرب پهنه سنندج - سیرجان قرار دارد. واحدهای سنگی میزبان کانه زایی شامل توالی های آتشفشانی - رسوبی دگرگون شده با ترکیب گرانیت گنایس، آمفیولیت، شیسیت و پیروکسنیت به سن نئوپروتروزوئیک تا پالئوزوئیک زیرین است. این واحدها به دلیل تزریق توده های نفوذی با ترکیب سینیت، گرانیت و دایک های آپلیتی متعلق به کرتاسه، تحت تأثیر دگرسانی گرمابی و کانی سازی طلا (مس ± مولیبدن) قرار گرفته اند. دگرسانی های گرمابی غالب شامل دگرسانی های آرژیلیک، سیلیسی و سولفیدی است. کانسنگ ها دارای ژئومتری رگه ای و رگچه ای با بافت های جانشینی، دانه پراکنده و شکاف پرکن هستند. کانی شناسی کانسنگ شامل طلا، آزاد، پیریت، کالکوپیریت، مولیبدنیت، مگنتیت، گالن، اسفالریت همراه با کانی های ثانویه و سوپرژن کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت و گوتیت است. همچنین، نتایج بررسی های انجام شده به روش تجزیه ریز کاو الکترونی^۱ در ۵۰ نقطه از کانی های پیریت، کالکوپیریت و مولیبدنیت نشان دهنده 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. بررسی های لیتوژئوشیمیایی انجام شده، نشان دهنده همبستگی رتبه ای اسپیرمن مثبت و قوی بین عناصر Co، Ni، Cu، As، Pb و به ویژه Mo است. علاوه بر این، محاسبات ژئوشیمیایی انجام شده به روش تحلیل عاملی نشان می دهد که عناصر Au، As، Cu، Mo، Ni و Co در عامل اول، عنصر Cu در عامل دوم و عنصر Zn در عامل سوم قرار می گیرند. بررسی شبه مقاطع بارپذیری القائی و مقاومت ویژه ظاهری پروفیل های ژئوفیزیکی، بیانگر گسترش عمقی ناهنجاری ها به سمت جنوب محدوده با الگوی زون بندی قائم همانند بیشتر زون های دگرسانی است. تلفیق نتایج به دست آمده از بررسی های زمین شناسی که بیانگر عملکرد ماگماتیسیم نسبتاً گسترده مرتبط با ساختارهای گسلی کششی متعدد است، با اکتشافات ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی به شناسایی دو منطقه عمده پتانسیل دار در بخش های شمالی و جنوبی محدوده منجر شده است.

واژه های کلیدی: تجزیه ریز کاو الکترونی، ضرایب همبستگی، تحلیل عاملی، *IP/RS*، آق زیارت، پهنه سنندج - سیرجان، ایران

1. Electron Probe Micro Analysis (EPMA)

مقدمه

کانسار پلی‌متال آق‌زیارت در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال شهرستان ارومیه، شمال‌غرب پهنه ساختاری سنندج-سیرجان قرار دارد (شکل ۱-۱). واحدهای آتشفشانی-رسوبی دگرگون‌شده و توده‌های نفوذی همراه در کانسار آق‌زیارت متشکل از پی‌سنگ دگرگونی پرکامبرین پسین-کامبرین زیرین، اردوئین و دونین-پرمین است که ویژگی‌های فلات قاره گندوانایی از خود نشان می‌دهند (Aghanabati, 2005). بررسی‌های متعددی بر روی ترکیب شیمیایی، ژئوشیمی، پترولوژی و پتروژنز توده‌های 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 زمین‌شناسی و لیتوژئوشیمیایی کانسار آق‌زیارت در مقیاس ۱/۱۰۰۰ ارائه شده است (Ghadirzadeh and Ravaghi, 2012). علاوه بر این، بررسی‌های اکتشافی زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی کانسار آق‌زیارت برای ارزیابی کانی‌سازی‌ها انجام شده (Akbari Tazeh kand et al., 2014; Bigdeli and Imamalipour, 2016)؛ اما تاکنون پژوهشی در خصوص توانایی کانی‌سازی توده‌های نفوذی و توالی‌های آتشفشانی-رسوبی دگرگون‌شده منطقه، انجام نشده است. در این پژوهش، ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی کانسنگ و باطله، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی کانسار آق‌زیارت مورد بررسی قرار گرفته است.

روش مطالعه

در این پژوهش، سعی شده است که با انجام بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی به روش مطالعات میکروسکوپ نوری، مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱، آنالیزهای الکترون مایکروپروپ، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی، زون‌های دگرسانی

گرمابی و کانی‌سازی پلی‌متال مورد بررسی دقیق‌تر قرار گیرد و شبکه بهینه حفاری گمانه‌های اکتشافی طراحی شود. پس از تکمیل و تصحیح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰، تعداد ۷۰ نمونه از بخش‌های مختلف واحدهای سنگ میزبان دگرگونی، توده‌های نفوذی و دایک‌های آپلیتی و نیز زون‌های دگرسانی و کانی‌سازی متعدد برداشت شد. بررسی‌های پتروگرافی و کانه‌نگاری 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 کانی‌ها و کانه‌ها 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 ریزکاو الکترونی نیز برای بررسی ترکیب شیمیایی کانی‌ها و کانه‌های مختلف از جمله کانی‌های سولفیدی و سیلیکات‌ها 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 آشکارسازی دستگاه ریزکاو الکترونی ۵۰۰ گرم در تن و دقت داده‌ها $\pm 4\%$ درصد است. بررسی‌های ژئوشیمیایی با استفاده از نمونه‌برداری و تجزیه تعداد ۷۰ نمونه بر روی سنگ کل به روش ICP-MS در آزمایشگاه زرآزما انجام شده است. روش آماده‌سازی نمونه‌ها به صورت انحلال اسیدی کامل (چهار اسید) بوده و حد آشکارسازی 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 برداشت‌های الکترونی دو قطبی-دوقطبی انجام شده است (Zarean, 2012). داده‌های ژئوفیزیکی به دست آمده در نرم‌افزارهای Surfer و Res2dinv به صورت شبه‌مقاطع 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 $38^{\circ} 07' 40''$ تا $38^{\circ} 08' 01''$ 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 ۱-۱).

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 ۱-۱) (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 ۲-۲)، 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).

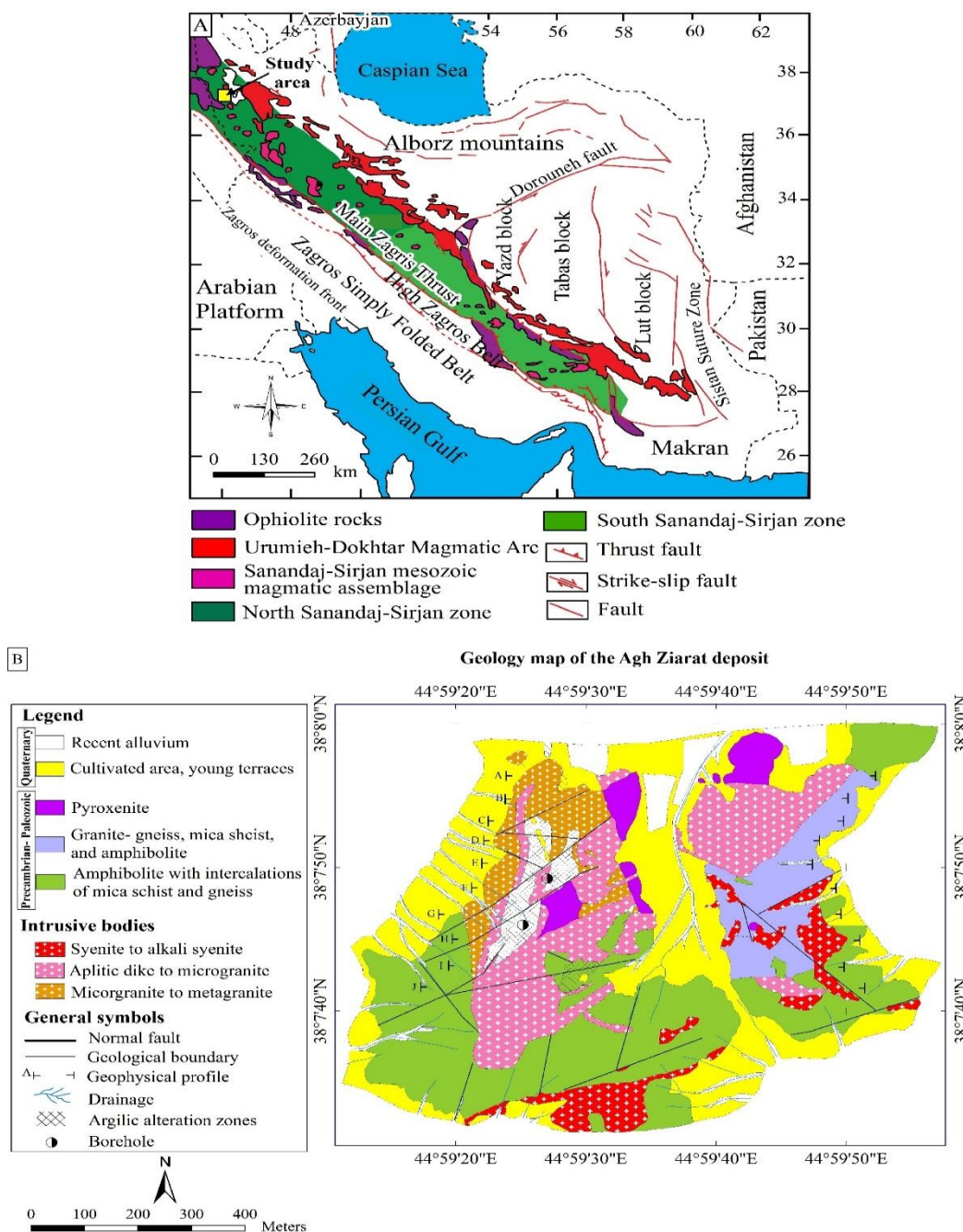
د) توده نفوذی سینیتی: این توده نفوذی جوان‌ترین واحد زمین‌شناسی رخمون یافته در منطقه است که از توده‌های کوچک و بزرگ سینیت-سینیت آلکالن تشکیل شده است. واحد یادشده با مورفولوژی خشن و توده‌ای و رنگ رخمون کرم تا سفیدرنگ به صورت استوک، دایک و سیل به‌درون واحدهای آمفیبولیت و گنیس منطقه نفوذ کرده و حتی دایک‌های 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 پلی سنتیک) با

عمده کانی های سازنده سنگ را به خود اختصاص می دهند (شکل ۳-F).

به طور فرعی کانی های مافیک با اندازه متوسط ۳ تا ۲۰ میلی متر و بافت گرانولار است (شکل ۳-F). بلورهای فلدسپات آلکان با فراوانی زیاد و اغلب با اندازه های بزرگ تر از ۵ میلی متر بخش



شکل ۱. A: نمای کلی از نقشه زون های رسوبی - ساختاری ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه در پهنه سنندج - سیرجان (Alavi, 1994) و B: نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰ کانسار پلی متالیک آغ 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

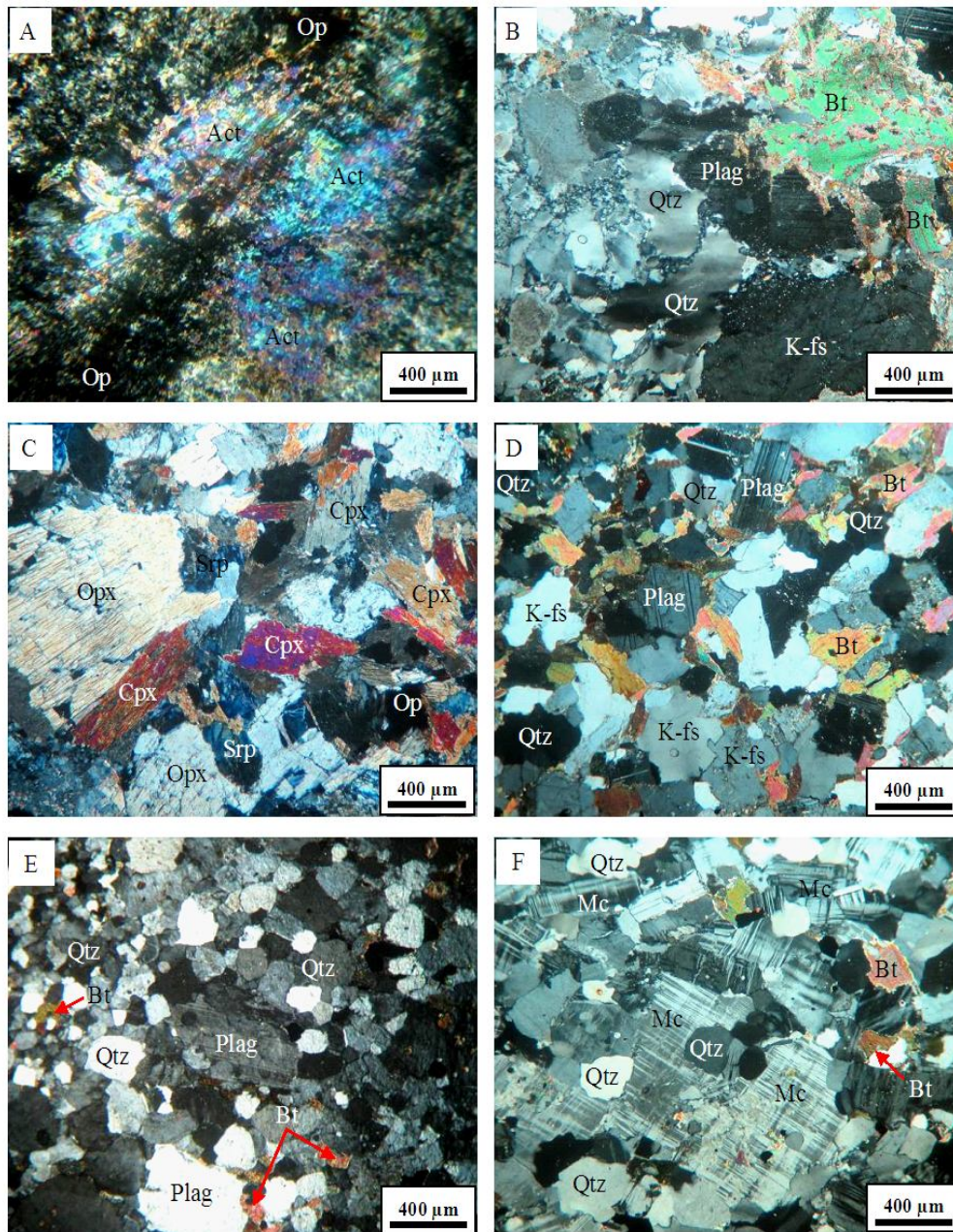
نتایج به‌دست آمده از مشاهدات صحرایی، بررسی‌های میکروسکوپی و آنالیزهای کانی‌شناسی و شیمیایی نشان می‌دهد که نفوذ توده سینیت تا گرانیت آلکالن به درون توالی‌های آتشفشانی- رسوبی سبب توسعه زون‌های دگرسانی و کانه‌زایی شده است. شدت و نوع دگرسانی‌های گرمابی و نیز میزان پراکندگی آنها می‌تواند بسته به شرایط و ترکیب 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، مونت مورینیت و ایلیت و رنگ رخنمون سفید تا زرد، اغلب در بخش‌های بالایی و بخش‌های بیرونی زون کانه‌زایی دیده می‌شوند. علاوه بر این، بخشی از دگرسانی آرژیلیک مشاهده شده 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 پیروکسینیت در بخش‌های خارجی و دورتر از رگه‌های سیلیسی- سولفیدی زون کانه‌زایی گسترش یافته‌اند. دگرسانی سیلیسی شامل بلورهای میکرو کریستالین 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 به صورت رگچه‌ای و دانه‌پراکنده همراه با اکسیدها و هیدروکسیدهای فراوان آهن و مس به ترتیب 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 به صورت 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 کانسنگ، 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 به صورت 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 به صورت 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 به صورت 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 به صورت توالی پاراژنتیکی ساده‌ای در شکل ۵ نشان‌داده شده است.



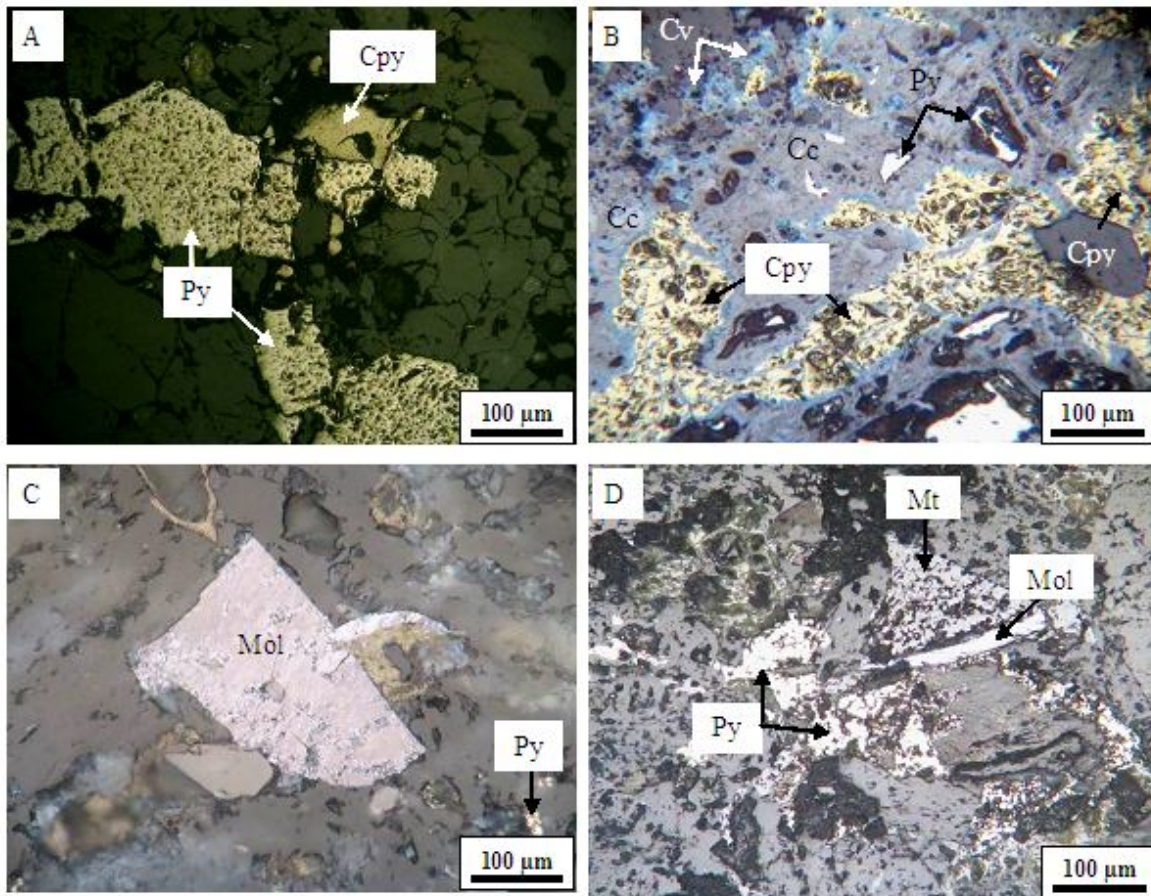
شکل ۲. واحدهای آتشفشانی- رسوبی دگرگونه و توده‌های نفوذی کانسار آق‌زیارت، A: واحد آمفیبولیت به‌شدت تکتونیزه و خردشده همراه با شیست و گنایس، B: واحد گرانیت گنایسی خاکستری تیره‌رنگ و مورفولوژی خشن، C: واحد پیروکسنیت با رنگ رخنمون خاکستری تیره تا تیره‌رنگ، D: توده نفوذی میکروگرانیت همراه با دایک‌های آپلیتی 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: سریانتین، Op: کانی کدر)، علایم 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)

سولفیدی و اکسیدی را تشکیل می‌دهد (شکل ۶-۱). کانی‌های سولفیدی مختلفی به‌طور پراکنده در زمینه سیلیسی دیده می‌شود که می‌توان به پراکندگی قابل ملاحظه 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

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

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

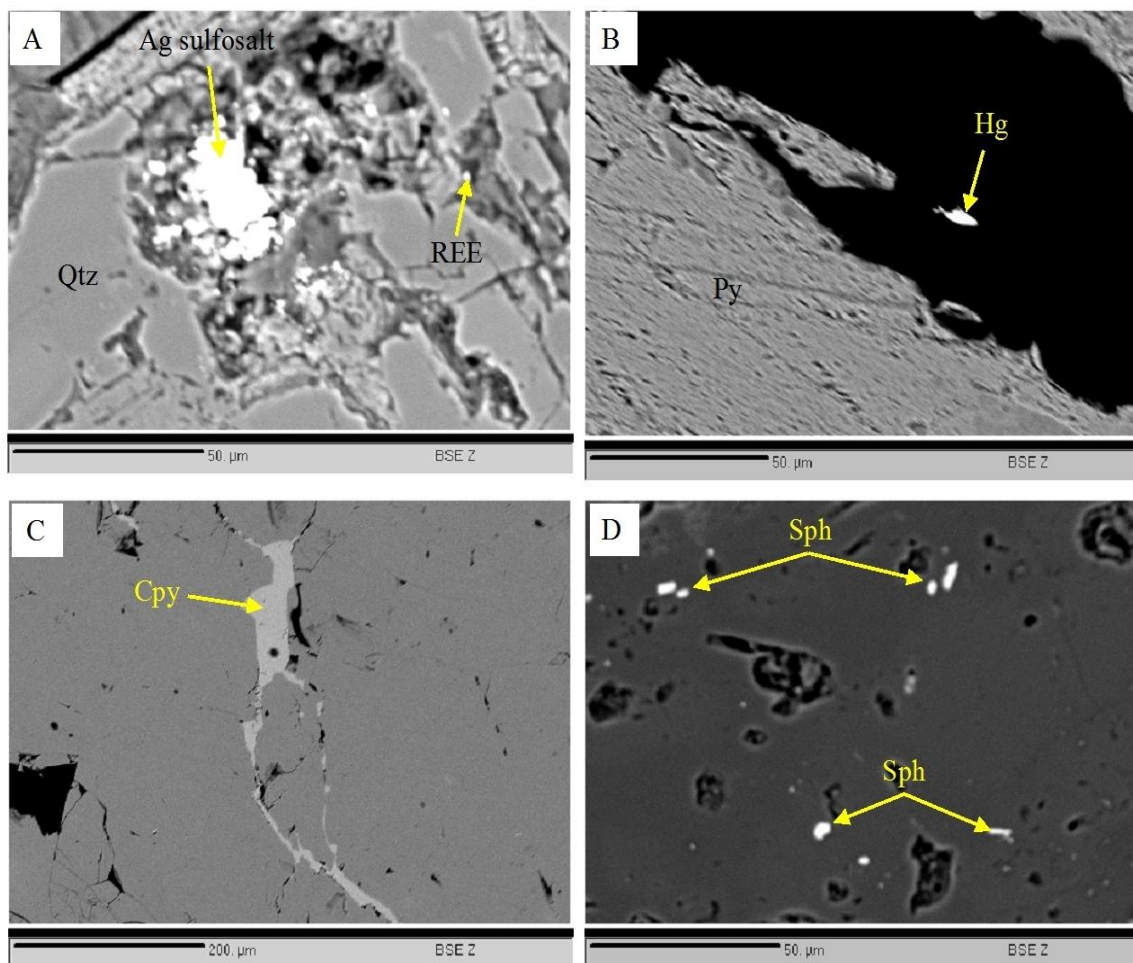
۱:۱۰۰۰ محدوده اکتشافی، ماهیت زون‌های کانه‌دار، نوع کانه‌زایی و عوامل کنترل‌کننده آن و نتایج اکتشافات ژئوفیزیکی به‌عنوان مبنای بررسی‌های اکتشاف ژئوشیمیایی استفاده شده

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: 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

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

تحلیل و پردازش آماری داده‌ها

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

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)

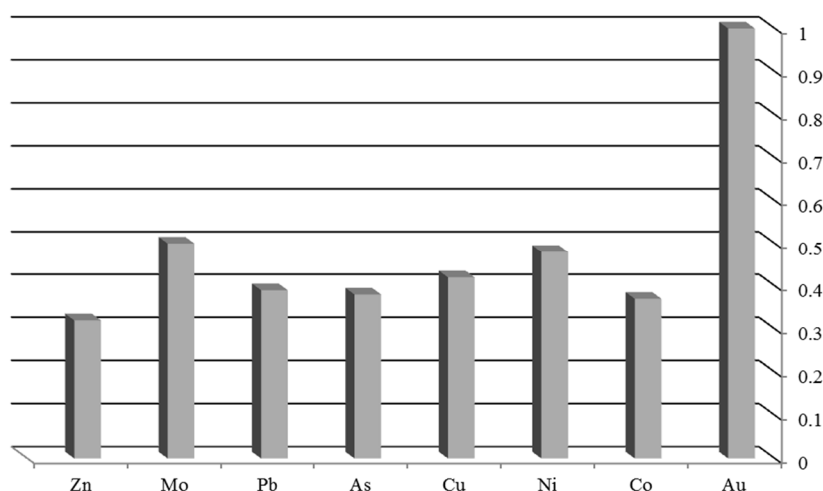
تحلیل‌های چندمتغیره ژئوشیمیایی همانند تحلیل عاملی، اغلب به منظور شدت بخشی به هاله‌های ژئوشیمیایی مورد استفاده قرار

داراست. این عامل حاوی عناصر Au ، As ، Cu ، Mo ، Ni و Co 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 (به دلیل 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 نه چندان قوی توده نفوذی در سنگ درون‌گیر مافییک-اولترامافییک 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 به دلیل داشتن مقدار ویژه نسبتاً بالا (درصد واریانس عناصر دخیل در محاسبات عاملی) از اهمیت اکتشافی بالایی برخوردار است. علاوه بر 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 به منظور 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 عامل ها به روش varimax برای مقایسه تمایلات بین عناصر به عامل های مختلف در کانسار آق زیارت

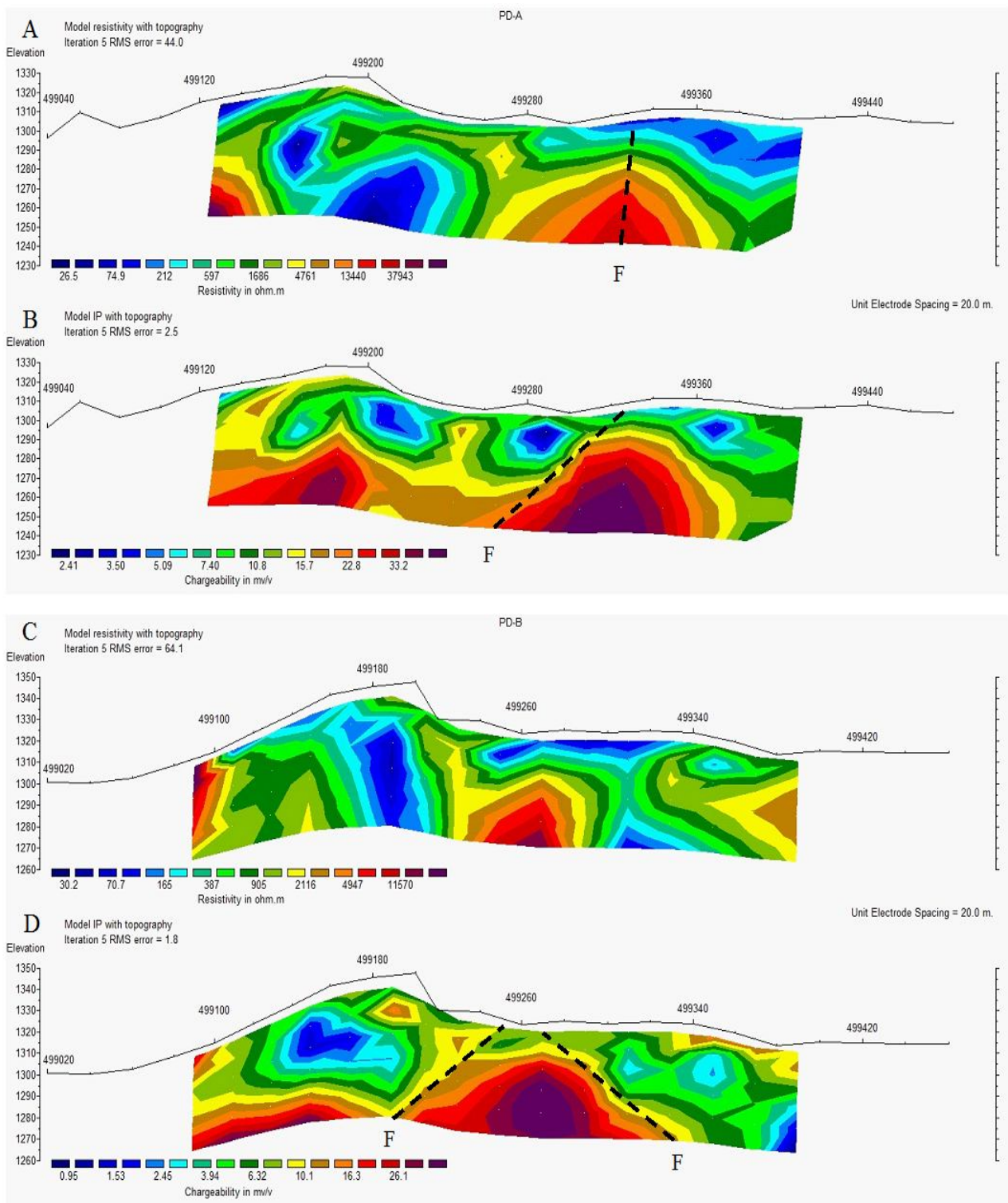
Table 3. Rotated Component Matrix using varimax method for comparing correlation between elements to various factors in the Agh Ziarat deposit

	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.

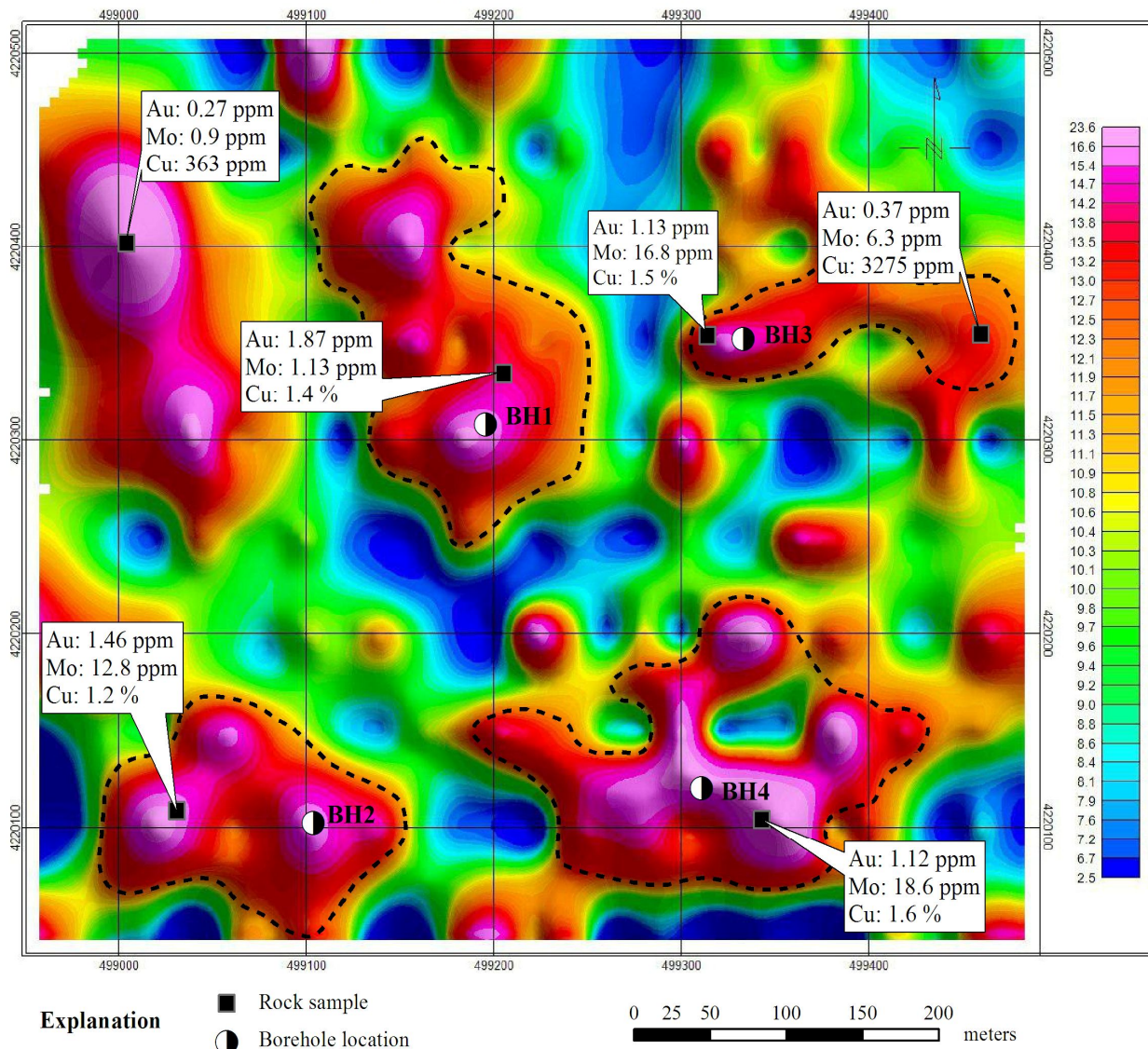
Fig. 8. A and B: induced polarization-resistivity (IP/RS) pseudo-sections for profile A with electrode intervals of 20 meters, C and D: induced polarization-resistivity (IP/RS) pseudo-sections for profile B with electrode intervals of 20 meters in the Agh Ziarat area. The inferred fault is represented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