زمین‌شناسی، دگرسانی گرمابی و کانی‌سازی در کانسار مس پورفیری رضی‌آباد در جنوب کمربند مس کرمان، جنوب‌خاور ایران

زهرا محمدزاده[۱]، مجید قادری[۲*]، سعید علیرضایی[۳] و جمشید حسن‌زاده[۴]

[۱]دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۲]استاد، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۳]دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
[۴]پژوهشگر، بخش علوم زمین‌شناسی و سیاره‌ای، مؤسسه فناوری کالیفرنیا، پاسادنا، امریکا

تاریخ دریافت: ۱۷/ ۰۸/ ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: ۰۶/ ۱۱/ ۱۳۹۵

چکیده

کانسار مس پورفیری رضی‌آباد در ۳۰ کیلومتری شمال جیرفت و بخش جنوبی کمربند مس کرمان، در جنوب‌خاوری کمان ماگمایی ارومیه- دختر واقع است. قدیمی‌ترین واحد آذرین شناخته شده در سامانه پورفیری رضی‌آباد توالی‌های آندزیتی- توفی به سن ائوسن است. چندین توده نفوذی شامل دیوریت، گابرو، گرانودیوریت و کوارتزدیوریت به‌همراه دایک‌هایی با ترکیب مشابه با این توده‌ها و دایک‌هایی با ترکیب متفاوت از توده‌های نفوذی در رضی‌آباد نفوذ کرده است. کانه‌زایی مس پورفیری وابسته به یک توده گرانودیوریتی است. ادامه فعالیت ماگمایی پس از تشکیل کانسنگ، منجر به جایگزینی توده کوارتزدیوریتی و دسته‌هایی از دایک‌های میکروگرانیتی و آندزیتی- بازالتی در منطقه و قطع شدن کانسنگ توسط این واحدها شده است. در سامانه پورفیری رضی‌آباد، مجموعه‌های دگرسانی کلسیک (اکتینولیتی)، پتاسیک و سیلیسی غنی از مگنتیت و پروپیلیتی گسترش یافته‌اند. دگرسانی فیلیک با گسترش محدود و شدتی ضعیف به‌صورت برهم‌نشینی روی دگرسانی پتاسیک تشکیل شده است. در بخش‌هایی از دگرسانی پتاسیک که تراکم بالای استوک‌ورک‌های کوارتز و مگنتیت‌دار دیده می‌شوند، جانشینی گسترده سیلیس و مگنتیت در متن سنگ دگرسان‌شده رخ داده است. در کانسار رضی‌آباد، کانه‌زایی درونزاد به شکل‌های افشان، استوک‌ورک و رگچه‌ای رخ داده است و به‌طور چیره از کالکوپیریت+ مگنتیت+ پیریت، به‌همراه مقادیر فرعی مولیبدنیت و اندکی پیروتیت، اسفالریت و گالن تشکیل شده است. بخش عمده کانه‌زایی درونزاد با دگرسانی پتاسیک همراه است. مناطق کانه‌زایی اکسیدی و غنی‌شده برونزاد، با گسترش محدود، در بخش‌های سطحی کانسار تشکیل شده است و نظم چندانی ندارد. بر اساس مطالعه مجموعه‌های کانی‌شناسی گرمابی و روابط رگچه‌ها، فعالیت گرمابی در کانسار رضی‌آباد به چهار مرحله تقسیم شده است. این مراحل عبارتند از: ۱- مرحله سیلیکات کلسیمی- مگنتیت- کوارتز؛ ۲- مرحله سیلیکات پتاسیم- سولفید- کوارتز- مگنتیت؛ ۳- مرحله سریسیت- کوارتز- پیریت؛ ۴- مرحله کلریت- اپیدوت- کلسیت- پیریت± اکتینولیت.

کلیدواژه‌ها: پورفیری، کمان ماگمایی ارومیه- دختر، کمربند مس کرمان، دگرسانی، افشان، استوک‌ورک.

***نویسنده مسئول:** مجید قادری
E-mail: mghaderi@modares.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

بخش جنوب خاوری کمان ماگمایی ارومیه- دختر موسوم به کمان ماگمایی سنوزوییک کرمان (Dimitrijevic, 1973; Hassanzadeh, 1993; Shafiei et al., 2009) بوده که بیش از ۵۰ کانسار و رخداد معدنی مس پورفیری و رگه‌ای در آن شناسایی شده است. اغلب ذخایر شناسایی شده پورفیری در کمان سنوزوییک کرمان، از بخش‌های شمال باختری و مرکزی آن گزارش شده‌اند. تشکیل ذخایر مس پورفیری در کمان سنوزوییک کرمان، در ارتباط با سنگ‌های گرانیتوییدی تیپ کوه‌پنج رخ داده است (Dimitrijevic, 1973). کانسار مس پورفیری رضی‌آباد در بخش جنوبی کمان ماگمایی سنوزوییک کرمان، از معدود ذخایر پورفیری است که از این بخش گزارش شده است. در بخش جنوبی این کمان، بر خلاف بخش‌های شمالی و مرکزی آن، سنگ‌های گرانیتوییدی تیپ کوه‌پنج رخنمون کمتر و در مقابل سنگ‌های گرانیتوییدی تیپ جبال‌بارز (Dimitrijevic, 1973) گسترش زیادی دارند. گرانیتوییدهای تیپ جبال‌بارز از نظر ارتباط با کانه‌زایی مس پورفیری کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

کانسار مس پورفیری رضی‌آباد نخستین بار در سال ۱۹۷۲ توسط زمین‌شناسان یوگسلاو شناسایی و معرفی شد. در سال ۱۹۷۳ نیز مطالعه و اکتشافات سامان‌مند ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی در دو مرحله نیمه‌تفصیلی و تفصیلی در رضی‌آباد انجام شد (Saric, 1972). از سال ۱۳۸۸ مطالعات اکتشافی در این کانسار توسط شرکت ملی صنایع مس ایران آغاز و تاکنون ۲۵ حلقه گمانه اکتشافی در آن حفر شده است.

۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

کمان ماگمایی ارومیه- دختر به سه بخش شمال باختری، مرکزی و جنوب خاوری تقسیم می‌شود (Chiu et al., 2013). بخش جنوب خاوری این کمان، به عنوان کمان ماگمایی سنوزوییک کرمان نیز شناخته می‌شود، این بخش که تکامل تکتونوماگمایی نسبتاً متفاوتی از بخش‌های شمال باختری و مرکزی کمان ارومیه- دختر دارد (شفیعی، ۱۳۸۷؛ Hassanzadeh, 1993)، جایگاه اصلی ذخایر شناخته شده مس پورفیری در ایران، مانند سرچشمه، میدوک، دره‌زار و چاه‌فیروزه است. فعالیت‌های ماگمایی الیگوسن- میوسن در ناحیه کرمان، مهم‌ترین دوره فعالیت‌های آذرین از نظر ارتباط با کانه‌زایی مس در این ناحیه است. در این دوره حجم وسیعی از سنگ‌های گرانیتوییدی نیمه‌عمیق تا ساب‌ولکانیک داسیتی- آندزیتی در ناحیه کرمان جایگزین شده است. گرانیتوییدهای الیگوسن- میوسن در ناحیه کرمان به دو دسته موسوم به گرانیتوییدهای تیپ کوه‌پنج و تیپ جبال‌بارز تقسیم می‌شوند (Dimitrijevic, 1973). جایگزینی سنگ‌های گرانیتوییدی تیپ جبال‌بارز از الیگوسن میانی آغاز شده، در میوسن میانی به اوج خود رسیده و تا پلیوسن زیرین ادامه یافته است، در حالی که سنگ‌های نیمه‌عمیق تیپ کوه‌پنج، جوان‌تر هستند و اوج پیدایش آنها در میوسن میانی- بالایی بوده است (Nedimovic, 1973). از دیگر تفاوت‌های مهم سنگ‌های گرانیتوییدی تیپ کوه‌پنج و جبال‌بارز می‌توان به توسعه بیشتر بافت پورفیری در گرانیتوییدهای تیپ کوه‌پنج در برابر بافت چیره بلورین گرانیتوییدهای تیپ جبال‌بارز (Nedimovic, 1973) و نیز همراهی بیشتر گرانیتوییدهای تیپ کوه‌پنج با کانه‌زایی مس پورفیری در کمربند مس کرمان اشاره کرد. به‌طوری که بیشتر ذخایر پورفیری گزارش شده از کمان سنوزوییک کرمان، در ارتباط با سنگ‌های گرانیتوییدی تیپ

کوه‌پنج هستند و از بخش‌های شمالی و مرکزی آن گزارش شده‌اند.

ذخیره مس پورفیری رضی‌آباد در بخش جنوبی کمان سنوزوییک کرمان قرار گرفته است که جایگاه توسعه گرانیتوییدهای موسوم به تیپ جبال‌بارز در مقایسه با گرانیتوییدهای تیپ کوه‌پنج است. بخش جنوبی کمربند مس کرمان به دلیل گسترش کمتر گرانیتوییدهای تیپ کوه‌پنج و در مقابل گسترش وسیع گرانیتوییدهای تیپ جبال‌بارز، از نظر وجود پتانسیل‌های معدنی مس پورفیری کمتر مورد توجه قرار گرفته است. وجود کانسار مس پورفیری رضی‌آباد و کرور (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹) در بخش جنوبی کمربند مس کرمان، احتمال وجود ذخایر مس پورفیری در بخش جنوبی کمربند سنوزوییک کرمان را تقویت می‌کند.

۳- روش مطالعه

این پژوهش بر مشاهدات صحرایی، تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰، لاگ مغزه‌های حفاری و نمونه‌برداری از کانسنگ و واحدهای سنگی گوناگون برای مطالعات میکروسکوپی، استوار است. به‌منظور بررسی‌های سنگ‌نگاری، دگرسانی گرمابی و کانه‌زایی با هدف شناخت مناسب از واحدهای سنگی، مجموعه‌های دگرسانی و توزیع فضایی آنها، تهیه نقشه زمین‌شناسی- دگرسانی و کانی‌سازی، و شناسایی ارتباط رخدادهای کانه‌زایی با واحدهای سنگی و دگرسانی‌های گرمابی، تعداد ۸۷ مقطع نازک، ۶۳ مقطع نازک- صیقلی و ۵ مقطع صیقلی تهیه و مطالعه شد. همچنین ۲۶۹ مقطع نازک و ۲۶ مقطع صیقلی تهیه شده توسط شرکت ملی صنایع مس ایران نیز مورد مطالعه میکروسکوپی قرار گرفت.

به‌منظور انجام مطالعات ژئوشیمیایی روی سنگ‌های نفوذی منطقه، ۱۵ نمونه با حداقل دگرسانی گرمابی از این سنگ‌ها انتخاب شد. نمونه‌ها پس از خردایش در سنگ‌شکن فکی، با استفاده از هاون آگاتی پودر شدند. ۲۰ گرم از پودر هر نمونه برای آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه Actlabs کانادا ارسال و در این آزمایشگاه میزان عناصر اصلی و کمیاب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ICP-AES و میزان عناصر نادر خاکی (REE) با استفاده از دستگاه ICP-MS تعیین شد.

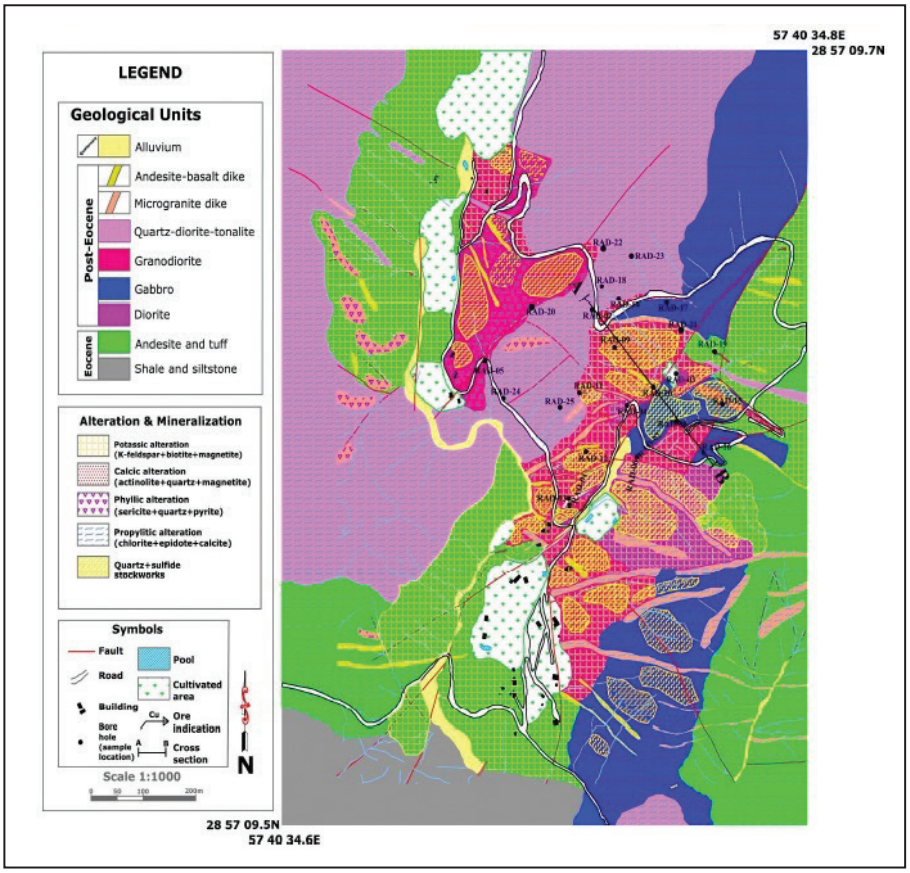
۴- زمین‌شناسی کانسار مس پورفیری رضی‌آباد

قدیمی‌ترین واحدهای سنگ‌شناسی در منطقه رضی‌آباد، مجموعه‌ای از واحدهای رسوبی- آتشفشانی ائوسن است، که در بخش‌های شمال باختری و خاور محدوده مورد مطالعه به‌طور غالب شامل گدازه‌ها و توف‌های آندزیتی و در بخش جنوبی محدوده شامل توف، شیل و سیلتستون است (شکل ۱).

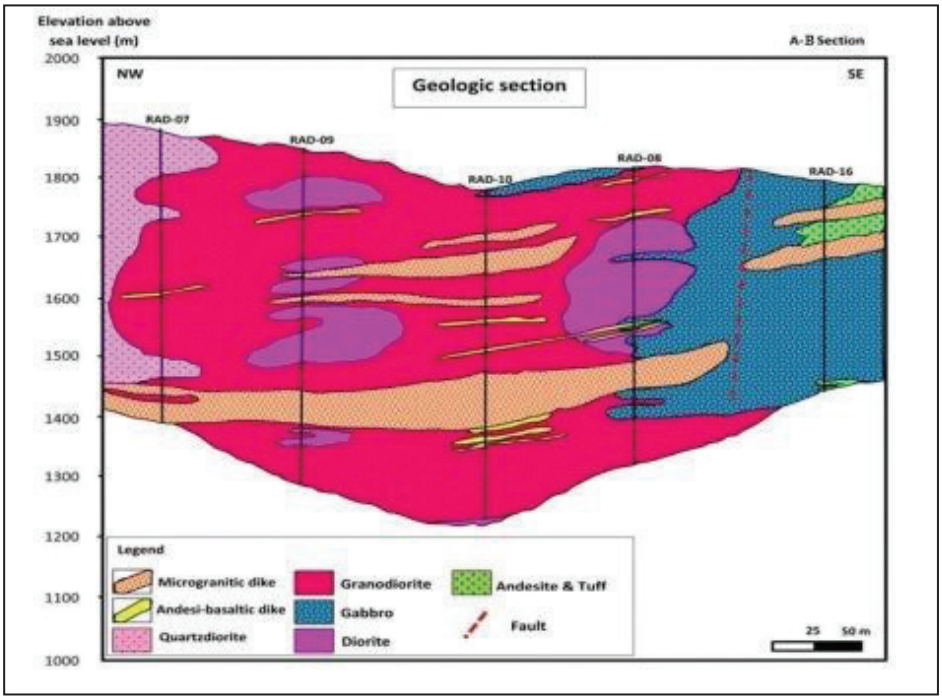
واحدهای سنگی جوان‌تر شامل چند توده نفوذی به‌همراه شبکه‌ای از دایک‌های فلسیک تا مافیک است.

۴- ۱. سنگ‌های آذرین نفوذی

واحدهای نفوذی در کانسار رضی‌آباد، از نظر ترکیب شیمیایی به ۴ توده نفوذی دیوریتی، گابرویی، گرانودیوریتی و کوارتزدیوریتی تقسیم می‌شوند. توده دیوریتی، قدیمی‌ترین واحد نفوذی در محدوده و به داخل سنگ‌های میزبان آندزیتی نفوذ کرده است. در اثر تزریق توده‌های نفوذی جوان‌تر، توده دیوریتی خود به چند بخش جداگانه تقسیم شده است (شکل ۲) که بیشتر در بخش‌های مرکزی و خاوری محدوده اکتشافی دیده می‌شود (شکل ۱). توده گابرویی، بعد از توده دیوریتی در منطقه جایگزین شده و آن را قطع کرده است. توده گابرویی در نیمه خاوری محدوده دیده می‌شود (شکل ۱). توده گرانودیوریتی در بخش مرکزی محدوده رضی‌آباد نفوذ و توده‌های دیوریتی و گابرویی را قطع کرده است (شکل‌های ۱ و ۲). توده کوارتزدیوریتی جوان‌ترین توده نفوذی در سامانه پورفیری رضی‌آباد است که علاوه بر قطع کردن توده گرانودیوریتی در بخش مرکزی، گسترش زیادی در بخش‌های شمالی تا باختری منطقه دارد (شکل ۱). همچنین رخنمون‌هایی از این توده در جنوب منطقه دیده می‌شود. واحدهای گرانودیوریتی و کوارتزدیوریتی حاوی بیگانه‌سنگ‌هایی با ترکیب متداول آندزیتی، دیوریتی و نیز بیگانه‌سنگ‌های پوسته‌ای عمیق هستند که قطر آنها از کمتر از ۱ cm تا بیشتر از ۵۰ cm تغییر می‌کند.

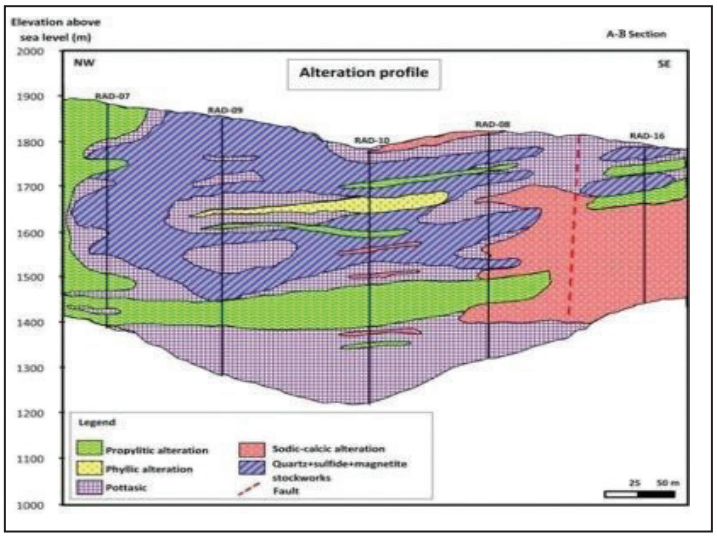


شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی ۱:۱۰۰۰ منطقه رضی‌آباد. موقعیت ۲۵ گمانه حفاری شده بر روی نقشه نشان داده شده است.

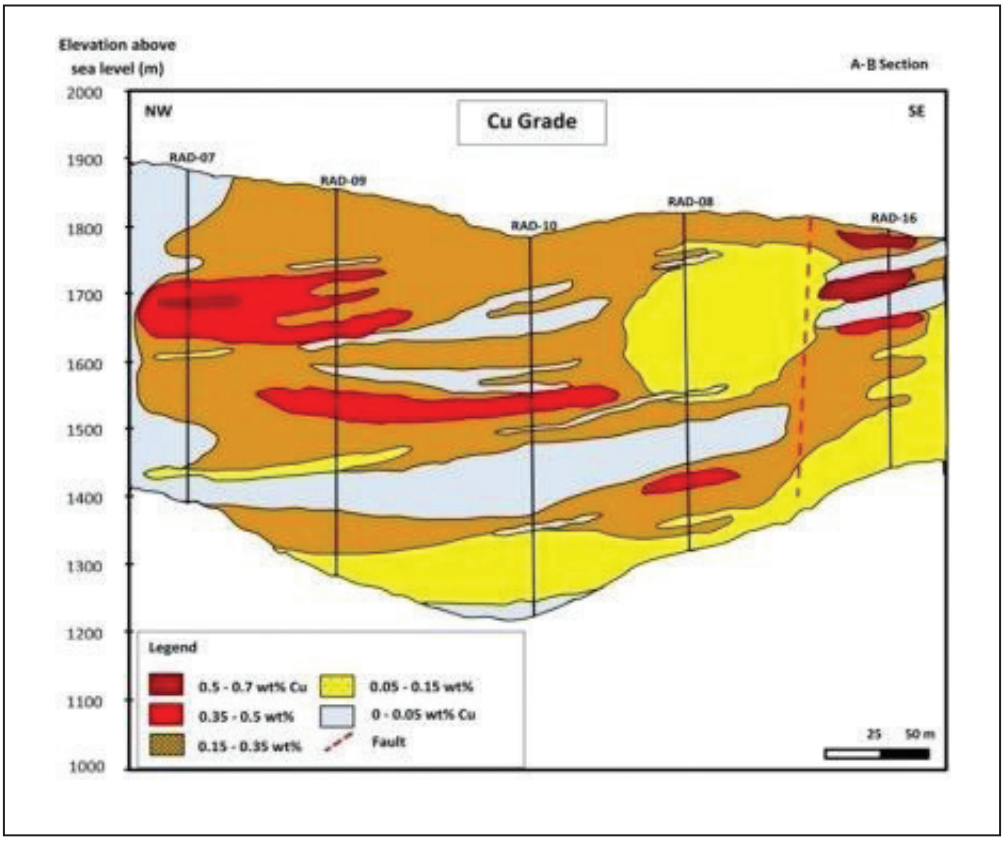


شکل ۲- نیمرخ زمین‌شناسی کانسار رضی‌آباد در فاصله بین گمانه‌های RAD-07, RAD-09, RAD-10, RAD-08, RAD-16. نفوذ توده گابرویی در جنوب‌خاور منطقه و سپس نفوذ توده گرانودیوریتی در بخش مرکزی منجر به قطع شدن توده دیوریتی و از بین رفتن حالت یکدستی دیوریت شده است. توده گرانودیوریتی در بخش شمال باختری منطقه توسط توده کوارتزدیوریتی قطع شده است. انشعاب‌هایی از دایک‌های میکروگرانیتی و آندزیتی- بازالتی توده‌های نفوذی را قطع کرده‌اند.

علاوه بر توده‌های نفوذی اشاره شده، دایک‌هایی با ترکیب مشابه با توده‌های گابرویی (دایک‌های دیابازی)، گرانودیوریتی و کوارتزدیوریتی به‌همراه دایک‌هایی با ترکیب میکروگرانیتی و آندزی- بازالتی در رضی‌آباد نفوذ کرده‌اند (شکل ۱). نفوذ دایک‌های آندزی- بازالتی، از کمی بعد از نفوذ توده گرانودیوریتی آغاز شده و قبل از نفوذ توده جوان کوارتزدیوریتی به پایان رسیده است. تزریق دایک‌های میکروگرانیتی کمی بعد از نفوذ توده گرانودیوریتی در منطقه آغاز شده و تا پس از نفوذ توده جوان کوارتزدیوریتی ادامه داشته است و با توجه به اینکه شاخه‌هایی از دایک‌های میکروگرانیتی، توده جوان کوارتزدیوریتی را نیز قطع کرده‌اند به عنوان جوان‌ترین واحد آذرین در سامانه پورفیری رضی‌آباد شناخته می‌شوند. انواع دگرسانی‌های گرمابی در کانسار رضی‌آباد بر روی واحدهای سنگی اثر گذاشته و گسترش یافته‌اند. در شکل ۳ برشی عمقی از گسترش دگرسانی‌های گرمابی در فاصله گمانه‌های RAD-07, RAD-09, RAD-10, RAD-08, RAD-16 نشان داده شده است. توده گرانودیوریتی عامل اصلی کانه‌زایی مس پورفیری در رضی‌آباد بوده است، هر چند این نوع کانه‌زایی تا حدی در سنگ‌های میزبان شامل توده‌های دیوریتی، گابرویی و توالی‌های آندزیتی- آذرآواری میزبان نیز گسترش یافته است (شکل ۴). لیکن با افزایش فاصله از محل مرز مشترک این واحدها با توده گرانودیوریتی، شدت کانه‌زایی و عیار مس در آنها کاهش چشمگیری نشان می‌دهد.



شکل ۳- نیمرخ مناطق دگرسانی گرمابی در کانسار پورفیری رضی‌آباد در فاصله بین گمانه‌های RAD-07, RAD-09, RAD-10, RAD-08, RAD-16.



شکل ۴- نیمرخ عیاری مس در فاصله بین گمانه‌های RAD-07, RAD-09, RAD-10, RAD-08, RAD-16 در کانسار رضی‌آباد. بخش‌های پرعیار کانسار انطباق خوبی با مناطق دگرسانی پتاسیک و گسترش استوک‌ورک‌های کوارتز- سولفید- مگنتیت دارد که در شکل ۴ نشان داده شده است.

۵- سنگ‌نگاری

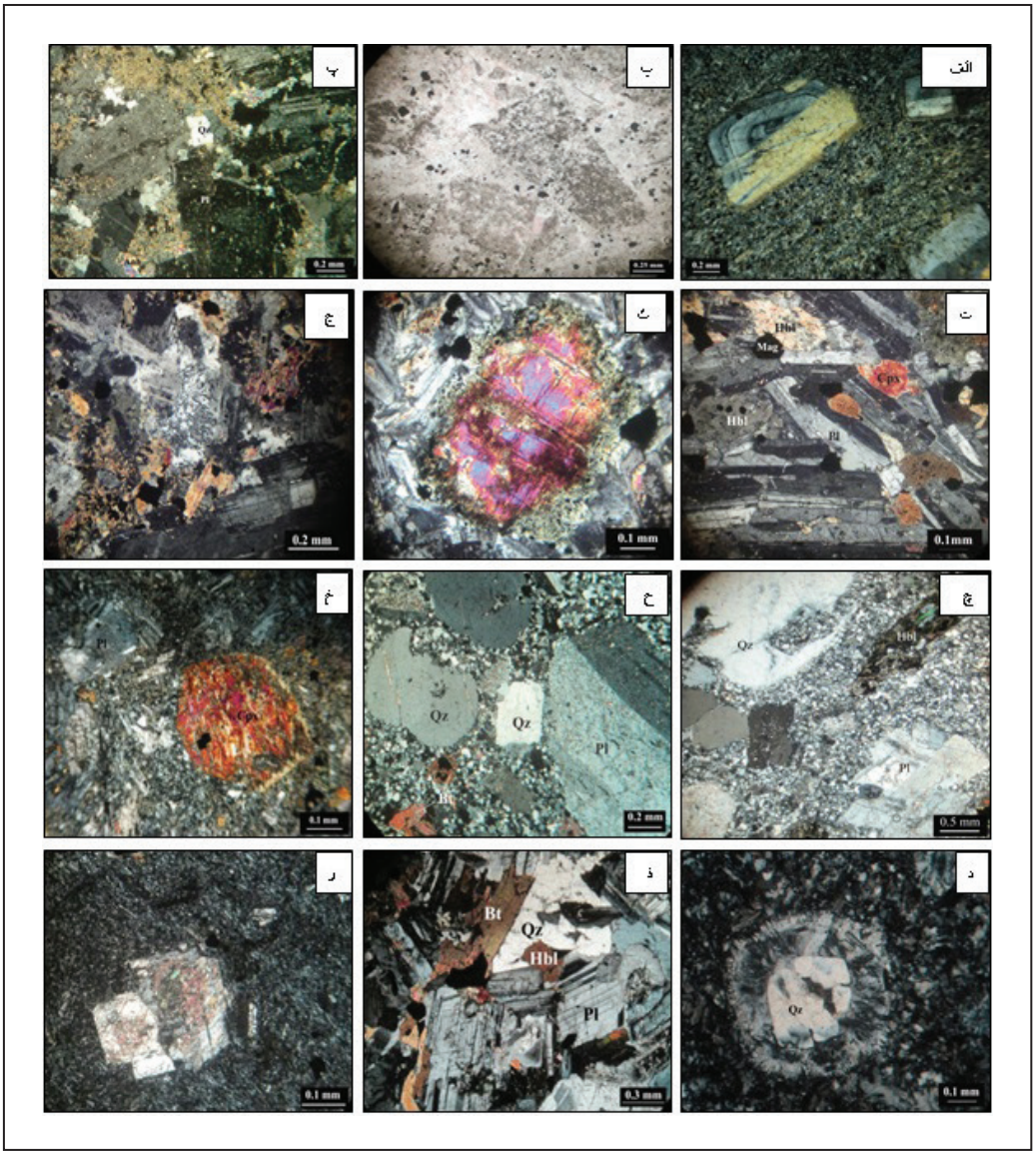
انواعی از سنگ‌های آذرین با بافت‌های متفاوت در سامانه پورفیری رضی‌آباد وجود دارد. واحدهای آذرین شناسایی شده شامل چهار واحد با ترکیب متفاوت و ویژگی‌های بافتی سنگ‌های نفوذی، یک واحد آذرآواری و مجموعه‌ای از دایک‌های وابسته به توده‌های نفوذی، به‌همراه دو دسته دایک با ترکیب میکروگرانیتی و آندزی- بازالتی است. به استثنای دایک‌های دیابازی که به عنوان زبانه‌هایی از توده گابرویی در نظر گرفته شده‌اند، سایر دایک‌هایی که ترکیب مشابه با توده‌های نفوذی دارند، نام‌گذاری جداگانه نشده و به عنوان زبانه‌هایی از توده‌های نفوذی در نظر گرفته شده‌اند.

واحد آذرآواری- آتشفشانی که به‌صورت تناوبی از گدازه‌های آندزیتی و توف در سطح منطقه گسترش یافته‌اند با بافت میکرولیتیک پورفیری تا پورفیری در توالی آندزیتی (شکل ۵- الف) و بافت آذرآواری در توالی‌های توفی (شکل ۵- ب) قابل شناسایی است.

توده دیوریتی از بلورهای گرانولار پلاژیوکلاز و هورنبلند تشکیل شده است. در اثر دگرسانی گرمابی پتاسیک نسبتاً شدید، بخش عمده بلورهای هورنبلند سازنده واحد دیوریتی با بیوتیت ثانوی جانشین شده‌اند و کانی اولیه آنها به جز موارد اندکی قابل شناسایی نیست (شکل ۵- پ). توده گابرویی در منطقه رضی‌آباد از کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند و پیروکسن تشکیل شده و دارای بافت گرانولار تا ساب‌افیتیک است (شکل ۵- ت) اغلب بلورهای پیروکسن اورالیتی شده‌اند (شکل ۵- ث) و بلورهای هورنبلند نیز با درجات متفاوت اکتینولیتی شده‌اند.

همرشدی گرانوفیری کوارتز و فلدسپار پتاسیم در بخشی از فضاهای بین‌بلوری کانی‌های سنگ‌ساز در توده گابرویی دیده می‌شود (شکل ۵- ج). توده گرانودیوریتی بافت پورفیری دارد و از درشت‌بلورهای فراوان پلاژیوکلاز، کوارتز، هورنبلند و بیوتیت تشکیل شده است (شکل‌های ۵- چ و ح). درشت‌بلورها در گرانودیوریت در زمینه‌ای ریزبلور متشکل از کوارتز، فلدسپار پتاسیم و پلاژیوکلاز قرار گرفته‌اند. بخش عمده کانی‌های مافیک در طی دگرسانی پتاسیک با بیوتیت ثانوی جانشین شده‌اند. زیرکن، آپاتیت، تیتانیت و روتیل کانی‌های جزیی واحد گرانودیوریتی هستند. دایک‌های دیابازی که فراوانی کمتری در مقایسه با سایر انواع دایک‌ها دارند، دارای بافت دیابازی یا میکرولیتیک پورفیری هستند. کانی‌های سازنده دایک‌های دیابازی شامل کلینوپیروکسن، هورنبلند و پلاژیوکلاز و مشابه با توده گابرویی است (شکل ۵- خ).

دایک‌های میکروگرانیتی با بافت پورفیری و اسفرولیتی قابل شناسایی هستند و از درشت‌بلورهای کوارتز، پلاژیوکلاز و هورنبلند در زمینه‌ای از کوارتز و فلدسپار پتاسیم تشکیل شده‌اند. همرشدی کوارتز و فلدسپار پتاسیم به شکل اسفرولیت‌های مجزا و یا اسفرولیت‌هایی که روی درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کوارتز رشد کرده‌اند، دیده می‌شود (شکل ۵- د). مجموعه کانی‌های جزیی مشابه با واحد گرانودیوریتی در واحد میکروگرانیتی نیز دیده می‌شوند. توده کوارتزدیوریتی از کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند، کوارتز، کلینوپیروکسن و بیوتیت تشکیل شده و دارای بافت گرانولار است (شکل ۵- ذ). دایک‌های آندزی- بازالتی بافت میکرولیتیک پورفیری تا میکرولیتی دارند. درشت‌بلورهای چیره شامل پلاژیوکلاز است که در زمینه‌ای متشکل از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز پراکنده شده‌اند (شکل ۵- ر).

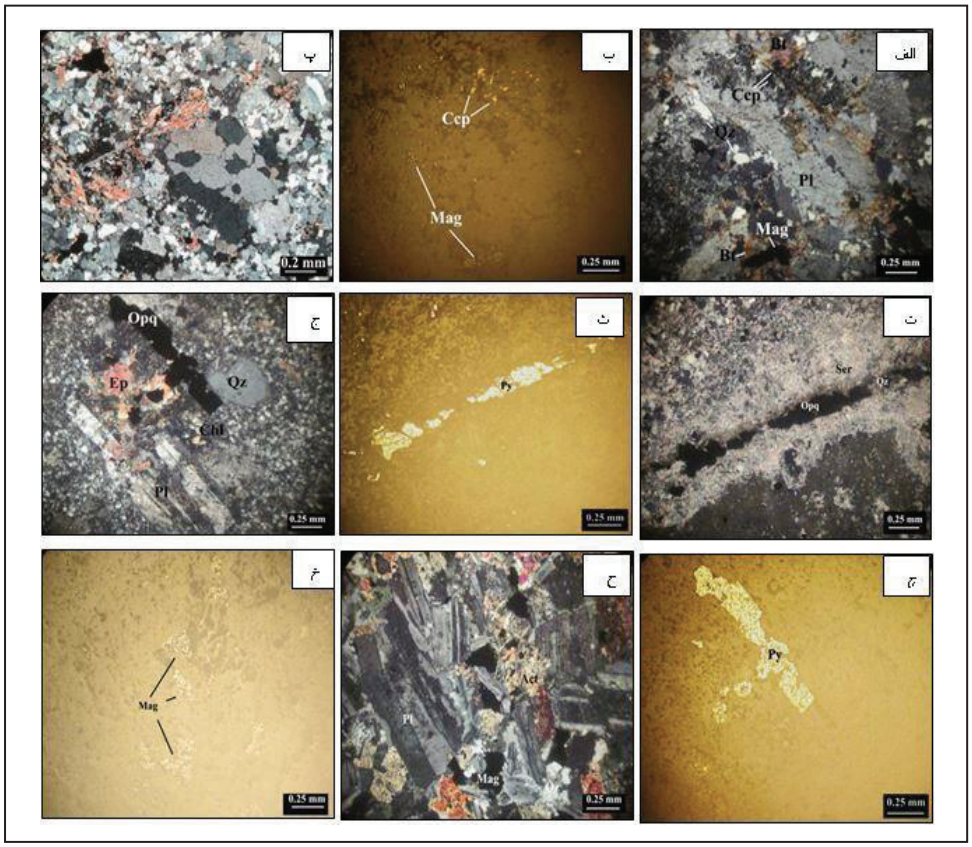


شکل ۵- تصاویر میکروسکوپی از واحدهای آذرین منطقه رضی‌آباد. الف) درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز واحد آندزیتی در زمینه‌ای ریز بلور متشکل از پلاژیوکلاز؛ ب) قطعات ریز و خردشده سنگی در توف؛ پ) بلورهای نسبتاً درشت پلاژیوکلاز در واحد دیوریتی به‌همراه کانی‌های آهن- منیزمی که توسط بیوتیت ثانوی جانشین شده‌اند؛ ت) بلورهای کلینوپیروکسن و هورنبلند به همراه پلاژیوکلاز در واحد گابرویی؛ ث) اورالیتی شدن کلینوپیروکسن در گابرو؛ ج) همرشدی گرانوفیری ظریف از کوارتز و فلدسپار پتاسیم در فضای بین بلورهای سنگ‌ساز متشکل از پلاژیوکلاز و هورنبلند در گابرو؛ چ) و ح) درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، کوارتز و هورنبلند واحد گرانودیوریتی در زمینه‌ای ریزبلور متشکل از کوارتز، فلدسپار پتاسیم و پلاژیوکلاز؛ خ) درشت‌بلور کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز در زمینه‌ای ریزبلور و حاوی میکرولیت‌های پلاژیوکلاز که در دایک‌های دیابازی پراکنده شده‌اند؛ د) همرشدی اسفرولیتی کوارتز و فلدسپار پتاسیم در دایک‌های میکروگرانیتی که روی درشت‌بلور کوارتز رخ داده است؛ ذ) بلورهای نسبتاً درشت پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت و هورنبلند در کوارتزدیوریت؛ ر) درشت‌بلور پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز در دایک‌های آندزیتی‌بازالتی. Anh: Anhydrite, Bt: Biotite, Cpx: Clinopyroxene, Hbl: Hornblende, Mag: Magnetite, Pl: Plagioclase, Qz: Quartz حروف نشانه از Whitney and Evans (2010).

۶- دگرسانی‌های گرمابی

در سامانه مس پورفیری رضی‌آباد با جایگزینی توده گرانودیوریتی و به‌دنبال آن ایجاد چرخه سیالات گرمابی، مناطق دگرسانی پتاسیک، سیلیسی، فیلیک و پروپیلیتی تشکیل شده و گسترش یافته‌اند. در شکل ۱ گسترش سطحی دگرسانی‌های گرمابی در منطقه رضی‌آباد نشان داده شده است. دگرسانی‌های گرمابی به خوبی در سطح و در عمق منطقه گسترش یافته‌اند. در شکل ۳ گستردگی و تنوع دگرسانی‌های گرمابی در حد فاصل بین گمانه‌های RAD-07, RAD-09, RAD-10, RAD-08, RAD-16 به نمایش گذاشته شده است. دگرسانی پتاسیک با جانشینی وسیع بیوتیت ثانوی به جای هورنبلند و بیوتیت اولیه و نیز جانشینی پلاژیوکلاز توسط فلدسپار پتاسیم در رضی‌آباد قابل شناسایی است (شکل ۶- الف). جانشینی مگنتیت و سیلیس در متن سنگ و یا به جای کانی‌های اولیه و پرشدگی این کانی‌ها در رگچه‌ها و درز و شکاف‌ها بسیار رایج است. گسترش استوک‌ورک‌های حاوی مگنتیت+ کوارتز+ سولفید همبستگی نزدیکی با گسترش دگرسانی پتاسیک نشان می‌دهد. تشکیل کالکوپیریت به عنوان کانی اصلی سولفید مس‌دار همراه با تشکیل و گسترش دگرسانی پتاسیک رخ داده است (شکل ۶- ب). شدت بالای دگرسانی پتاسیک

در ارتباط با دو توده گرانودیوریتی و دیوریتی مشاهده شده است. جانشینی بلورهای درشت پلاژیوکلاز توسط فلدسپار پتاسیم در واحد دیوریتی در مقایسه با جانشینی بلورهای ریز پلاژیوکلاز در زمینه سنگ گرانودیوریتی توسط فلدسپار پتاسیم، با سهولت بیشتری قابل شناسایی است. گسترش دگرسانی پتاسیک تا حدی در توالی‌های میزبان آندزیتی- توفی نیز رخ داده است. دگرسانی سیلیسی با شدت متغیر در ارتباط با شبکه‌های در هم تنیده متشکل از استوک‌ورک‌های کوارتزدار همراه با دگرسانی پتاسیک به‌ویژه در توده‌های دیوریتی و گرانودیوریتی دیده می‌شود (شکل ۶- پ) و تا حد کمی نیز بر روی واحدهای گابرویی و آندزیتی- توفی تأثیر گذاشته است. دگرسانی فیلیک در سامانه مس پورفیری رضی‌آباد بر خلاف سامانه‌های پورفیری مس از نقاط مختلف ایران و جهان مانند کانسارهای میدوک (تقی‌پور و همکاران، ۱۳۸۸)، سرچشمه (Aftabi and Atapour, 2010)، چاه‌فیروزه (Einali et al., 2014)، سونگون (Calagari, 2003)، Butte در مونتانا (Parry et al., 2002)، در شیلی El Salvador (Gustafson and Hunt, 1975) و Bingham در یوتا (Geiger et al., 2002) از گسترش چندانی برخوردار نیست. جانشینی نسبتاً ضعیف پلاژیوکلاز توسط سریسیت+ کوارتز± کلسیت که معمولاً در مجاورت رگچه‌ها رخ داده، مهم‌ترین ویژگی دگرسانی فیلیک در رضی‌آباد است. این دگرسانی به‌صورت برهم‌نشینی ضعیف و محلی بر روی دگرسانی پتاسیک در واحد گرانودیوریتی دیده می‌شود (شکل‌های ۶- ت و ث) و با شدت ضعیفی در دایک‌های میکروگرانیتی و توالی‌های آندزیتی- توفی میزبان نیز دیده می‌شود. دگرسانی پروپیلیتیک با مجموعه کانی‌شناسی کلریت+ اپیدوت+ کلسیت+ پیریت± اکتینولیت شناسایی می‌شود (شکل‌های ۶- ج و چ). دگرسانی پروپیلیتی با شدت نسبتاً کم در دایک‌های میکروگرانیتی، دایک‌های آندزیتی- بازالتی و نیز بخش‌های سطحی توده‌های گرانودیوریتی و گابرویی اثر گذاشته است. علاوه بر دگرسانی‌های مرتبط با سامانه پورفیری کانه‌ساز، یک منطقه دگرسانی کلسیک (اکتینولیتی) با شدت نسبتاً زیاد بر روی واحد گابرویی اثر گذاشته است. این نوع دگرسانی با جانشینی کامل تا بخشی کانی‌های مافیک شامل پیروکسن و هورنبلند توسط اکتینولیت قابل شناسایی است (شکل ۶- ح) بلورهای پلاژیوکلاز در این منطقه دگرسانی تقریباً سالم مانده‌اند و تنها به‌صورت جزیی تا ضعیف اکتینولیتی شده‌اند. همچنین مقدار نسبتاً بالایی از مگنتیت به همراه مقدار کمی کوارتز در این منطقه دگرسانی تشکیل شده‌اند (شکل ۶- خ). تشکیل منطقه دگرسانی (کلسیک) اکتینولیتی پیش از گسترش دگرسانی پتاسیک در رضی‌آباد رخ داده و به نظر می‌رسد تشکیل آن مستقل از سامانه گرمابی کانه‌ساز بوده است و کانی‌های سولفیدی در ارتباط با این دگرسانی تشکیل نشده‌اند. برهم‌نشینی دگرسانی پتاسیک بر روی دگرسانی کلسیک در بخش‌هایی از واحد گابرویی رخ داده است و بیوتیت ثانوی به‌صورت پرکننده درز و شکاف و نیز جانشینی کانی‌های مافیکی در واحد گابرویی دیده می‌شود. تنها در بخش‌هایی که تحت تأثیر برهم‌نشینی دگرسانی پتاسیک قرار گرفته، کانی‌های سولفیدی شامل پیریت و کالکوپیریت به‌صورت افشان و رگچه‌ای، مجموعه کانی‌شناسی منطقه دگرسانی کلسیک را همراهی کرده‌اند. از جمله ذخایر پورفیری شناخته شده در جهان که دارای منطقه دگرسانی کلسیک با ترکیب کانی‌شناسی مشابه با دگرسانی کلسیک رضی‌آباد هستند، می‌توان به کانسار El Teniente (Skewes et al., 2002) اشاره کرد.



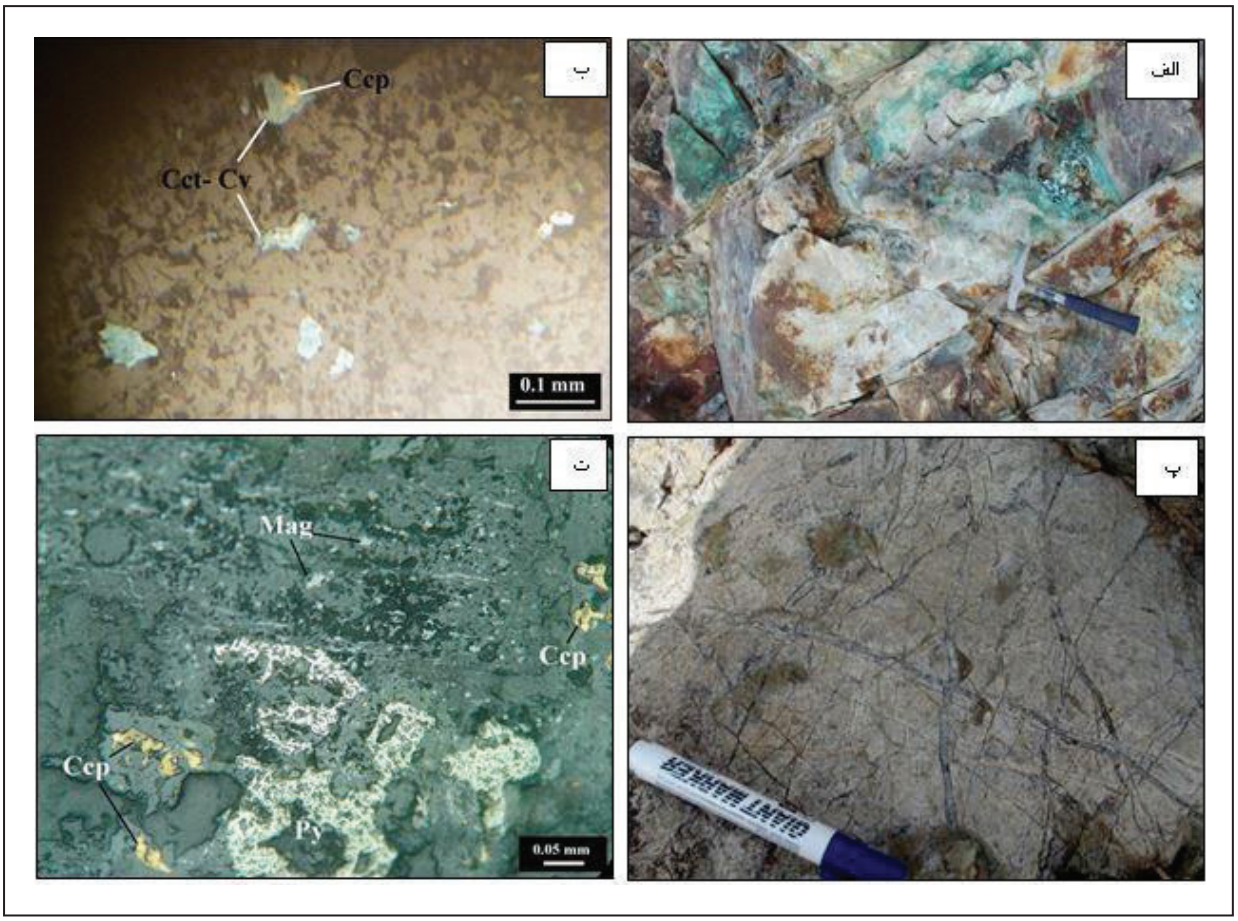
شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی از مجموعه کانی‌های مناطق دگرسانی گرمابی و کانه‌های معدنی همراه با هر مجموعه دگرسانی در نور انعکاسی. الف و ب) جانشینی کانی‌های آهن- منیزیمی توسط مجموعه بیوتیت ثانوی، کالکوپیریت و مگنتیت و جانشینی بخشی از پلاژیوکلاز توسط فلدسپار پتاسیم و سیلیس در منطقه دگرسانی پتاسیک؛ پ) جانشینی کانی‌های سنگ‌ساز و زمینه سنگ با سیلیس؛ ت و ث) جانشینی سریسیت و کوارتز در حاشیه رگچه پیریت- کوارتزی؛ ج و چ) جانشینی کانی‌های آهن- منیزیمی توسط مجموعه اپیدوت، کلریت و پیریت در دگرسانی پروپیلیتیک؛ ح و خ) جانشینی بلورهای هورنبلند و کلینوپیروکسن توسط اکتینولیت و مگنتیت در منطقه دگرسانی کلسیک (اکتینولیتی).
Act: Actinolite, Bt: Biotite, Ccp: Chalcopyrite, Chl: Chlorite, Ep: Epidote, Mag: Magnetite, Opq: Opaque minerals, Pl: Plagioclase, Py: Pyrite, Qz: Quartz, Ser: Sericite. حروف نشانه از Whitney and Evans (2010).

۷- کانه‌زایی

بر اساس مشاهدات صحرایی، لاگ گمانه‌های اکتشافی و مطالعه مقاطع نازک- صیقلی و صیقلی، ۳ نوع کانه‌زایی شامل کانه‌زایی اکسیدی مس، غنی‌سازی برونزاد و کانه‌زایی درونزاد در کانسار رضی‌آباد شناسایی شد. دو نوع کانه‌زایی اکسیدی و غنی‌سازی برونزاد در رضی‌آباد توسعه بسیار کمی دارند و به طور محلی در سطح منطقه و اعماق کمتر از ۲۰ متری از سطح، در برخی از گمانه‌های حفاری شده شامل گمانه‌های RAD-09, RAD-11, RAD-12 و RAD-13 مشاهده شده‌اند. کانی‌سازی اکسیدی مس در رضی‌آباد اغلب با حضور مالاکیت به همراه اکسید و هیدروکسیدهای آهن مانند هماتیت و گوتیت قابل شناسایی است (شکل ۷- الف). غنی‌سازی برونزاد با جانشینی بخشی کالکوپیریت توسط کوولیت و نیز کالکوسیت همراه بوده است (شکل ۷- ب).

کانی‌سازی درونزاد در رضی‌آباد رابطه بسیار نزدیکی با منطقه دگرسانی پتاسیک و نیز گسترش استوک ورک‌های کوارتز- مگنتیت‌دار (شکل ۷- پ) دارد. بخش عمده این نوع کانی‌سازی در ارتباط با توده گرانودیوریتی رخ داده است و تا حدی در سنگ‌های میزبان آن شامل واحدهای دیوریتی، گابرویی و نیز توالی‌های آندزیتی- توفی که تحت تأثیر دگرسانی پتاسیک قرار گرفته‌اند، گسترش یافته است (شکل ۴).

کانی‌سازی درونزاد در رضی‌آباد با مجموعه کانی‌های سولفیدی پیریت و کالکوپیریت و مقادیر اندکی مولیبدنیت به همراه مقادیر جزیی پیروتیت، اسفالریت و گالن شناسایی و با مقادیر بالایی از مگنتیت و اندکی روتیل و مقادیر جزیی ایلمنیت همراهی می‌شود. پیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی در رضی‌آباد است که به همراه کالکوپیریت و مگنتیت هم به‌صورت افشان و هم به‌صورت رگچه‌ای تشکیل شده است. کالکوپیریت کانی اصلی سولفیدی مس است که بیشتر به‌صورت رگچه‌ای همراه با استوک‌ورک‌های کوارتز، مگنتیت و پیریت‌دار دیده می‌شود. کالکوپیریت همچنین به‌صورت افشان (شکل ۷- ت) و پرکننده درز و شکاف‌های بسیار ظریف همراه با پیریت تشکیل شده است. مولیبدنیت فراوانی کمی دارد و تنها به‌شکل رگچه‌ای به‌همراه کالکوپیریت + پیریت ± مگنتیت دیده می‌شود. پیروتیت در مقادیر بسیار اندک در تعادل با پیریت و کالکوپیریت تشکیل شده است. وجود پیروتیت هر چند در مقادیر اندک در کانسار رضی‌آباد بیانگر این نکته است که سامانه پورفیری رضی‌آباد حداقل در یک برهه زمانی از روند تکاملی خود دارای حالت نسبتاً احیایی بوده، در حالی که این حالت ثابت نمانده و با تغییر وضعیت به‌سمت حالت اکسیدی پیش رفته که با ته‌نشست مقادیر بالایی از کانی‌های معرف محیط اکسیدان از جمله مگنتیت همراه شده است. مگنتیت به فراوانی هم به‌صورت افشان و هم به‌صورت رگچه‌ای تشکیل شده است. اسفالریت و گالن از کانی‌های سولفیدی نادر در منطقه کانی‌سازی درونزاد هستند که در برخی رگچه‌های سولفیددار دیده می‌شوند. روتیل به‌صورت افشان تشکیل شده است. ایلمنیت با فراوانی بسیار کم و به‌شکل سوزن‌مانند در متن توده کوارتزدیوریتی مشاهده شده است.



شکل ۷- تصاویری از مناطق کانه‌زایی درونزاد، اکسیدی و غنی‌سازی برونزاد. الف) رخنمون کانسنگ اکسیدی که با تشکیل مالاکیت همراه بوده است؛ ب) تصویر میکروسکوپی از جانشینی کالکوپیریت افشان توسط کوولیت و کالکوسیت در منطقه کانی‌سازی غنی‌شده برونزاد؛ پ) رخنمون سطحی از استوک‌ورک‌های کوارتز- مگنتیت کانه‌دار در بخش مرکزی منطقه رضی‌آباد؛ ت) تصویر میکروسکوپی از جانشینی کالکوپیریت+ پیریت و مگنتیت به‌صورت افشان در کانسنگ معدنی. Ccp: Chalcopyrite, Cct: Chalcocite Cv: Covellite, Mag: Magnetite حروف نشانه از Whitney and Evans (2010).

۸- ویژگی رگچه‌های گرمابی

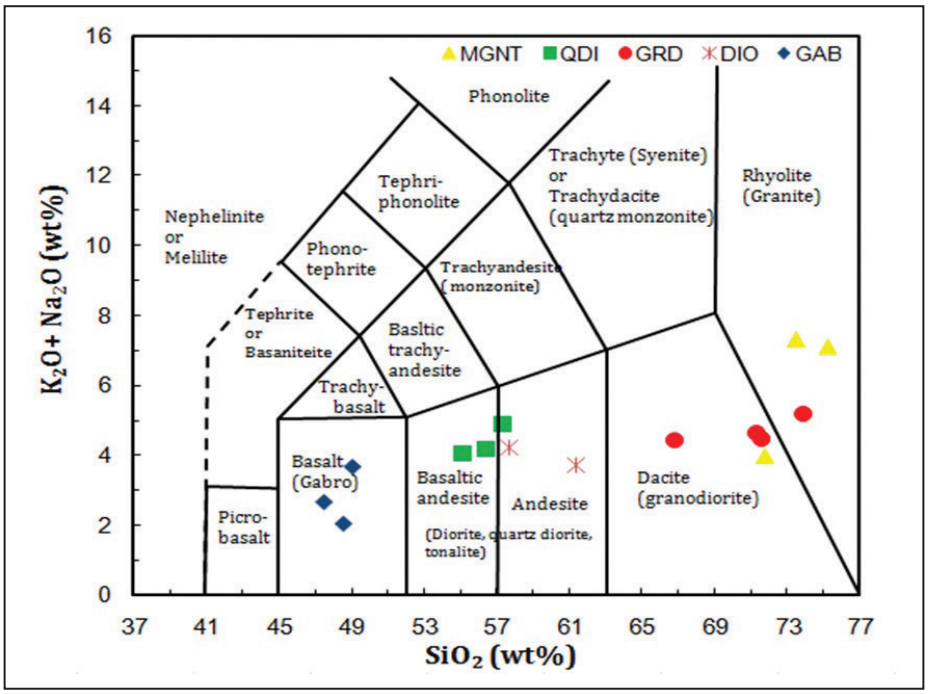
به منظور بررسی تنوع رگچه‌های گرمابی در کانسار رضی‌آباد از بخش‌های مرکزی تا حاشیه‌ای کانسار، نمونه‌هایی از رگچه‌های مشاهده شده در مغزه‌های حفاری و نیز رخنمون‌های سطحی برداشت شد و مشخصات ظاهری آنها از جمله سنگ دربردارنده و نوع دگرسانی همراه به ثبت رسید. در مرحله بعد، از نمونه‌های برداشت شده، مقاطع نازک- صیقلی تهیه شد و پس از مطالعات میکروسکوپی و کانه‌نگاری، دسته‌بندی رگچه‌های گرمابی به انجام رسید. براساس مطالعات کانی‌شناسی انجام گرفته بر روی رگچه‌ها، ۷ نوع رگچه در کانسار رضی‌آباد شناسایی شد که ۵ مورد از آنها دارای کانی سولفیدی مس (کالکوپیریت) هستند:

۱- اکتینولیت+ مگنتیت+ کوارتز±انیدریت، ۲- کوارتز+ پیریت+ کالکوپیریت+ مگنتیت± بیوتیت، ۳- کوارتز+ مولیبدنیت+ پیریت+ کالکوپیریت± مگنتیت، ۴- کوارتز+ پیریت+ کالکوپیریت+ مگنتیت+ اسفالریت+ گالن، ۵- سریسیت+ کلریت± کوارتز± پیریت و ۶- کلریت+ اپیدوت+ کلسیت± پیریت± اکتینولیت. رگچه‌های گروه ۲ خود قابل تقسیم به دو زیرگروه: ۱) گروه با مگنتیت نواری و محتوای بسیار پایینی از سولفید و ۲) گروه با مگنتیت حاشیه‌ای و محتوای بالاتر سولفید هستند. علاوه بر رگچه‌های اشاره شده، درز و شکستگی‌های با ستبرای کمتر از ۱ mm که توسط کالکوپیریت+ پیریت و مگنتیت پر شده‌اند و نیز درزه‌های بسیار ظریف پرشده با بیوتیت ثانوی، به فراوانی در بخش‌های پرعیار کانسار دیده می‌شوند. رگچه‌های نوع ۲، نوع ۳ و نوع ۴ که رگچه‌های کانه‌دار هستند همراه با دگرسانی پتاسیک تشکیل شده‌اند و بیشتر در واحدهای گرانودیوریتی و دیوریتی متمرکز هستند و در واحدهای گابرویی و سنگ میزبان آندزیتی- توفی با تراکم کم و رو به کاهش از محل توده گسترش یافته‌اند. ستبرای این رگچه‌ها از حدود چند میلی‌متر تا حدود ۵ سانتی‌متر تغییر می‌کند.

در اغلب موارد رگچه‌های نوع ۲ و نوع ۳ توسط درزه‌های ظریف پر شده با پیریت و کالکوپیریت قطع شده‌اند. رگچه‌های نوع ۱ در منطقه دگرسانی کلسیک (اکتینولیتی) گسترش یافته‌اند که تقریباً محدود به واحد گابرویی است. این رگچه‌ها عموماً فاقد کانی سولفیدی هستند. رگچه‌های نوع ۴ فراوانی کمی دارند. پراکندگی رگچه‌های نوع ۵ که حاوی سریسیت هستند در بخش‌های محدودی از واحد گرانودیوریتی و نیز سنگ‌های میزبان آندزیتی- توفی با وجود آثار دگرسانی پتاسیک، به عنوان شاهدی از برهم‌نشینی دگرسانی فیلیک بر روی دگرسانی پتاسیک در نظر گرفته می‌شود. رگچه‌های نوع ۶ جوان‌ترین نوع رگچه‌های گرمابی در کانسار رضی‌آباد هستند که سایر رگچه‌های دیده شده را قطع می‌کنند و همراهی نزدیکی با گسترش دگرسانی پروپیلیتی دارند.

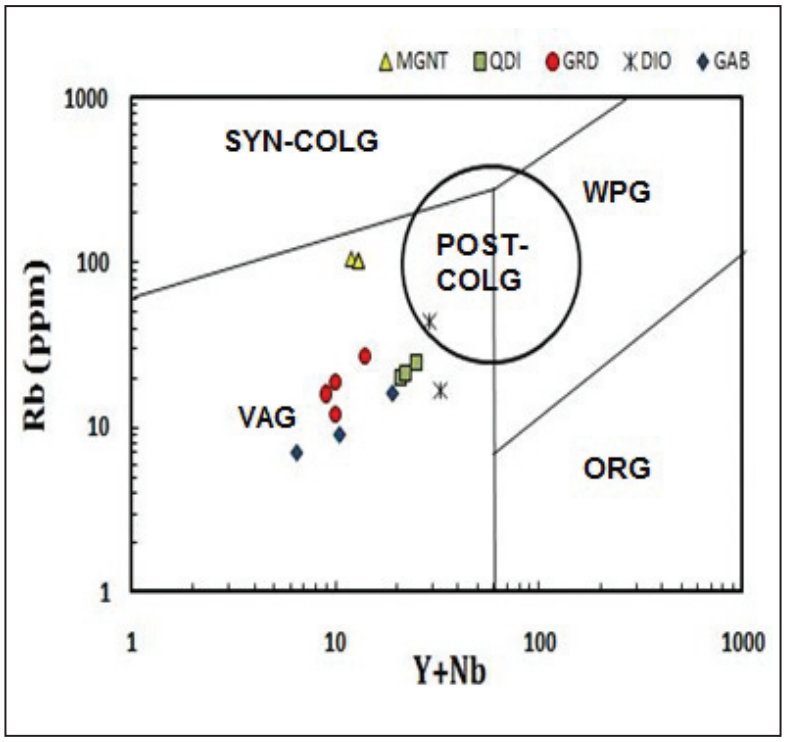
۹- ژئوشیمی سنگ‌های آذرین نفوذی

نتایج آنالیز شیمیایی واحدهای آذرین رضی‌آباد نشان می‌دهد که ترکیب واحدها از گابرو، دیوریت، کوارتزدیوریت، گرانودیوریت تا گرانیت تغییر می‌کند (شکل ۸).

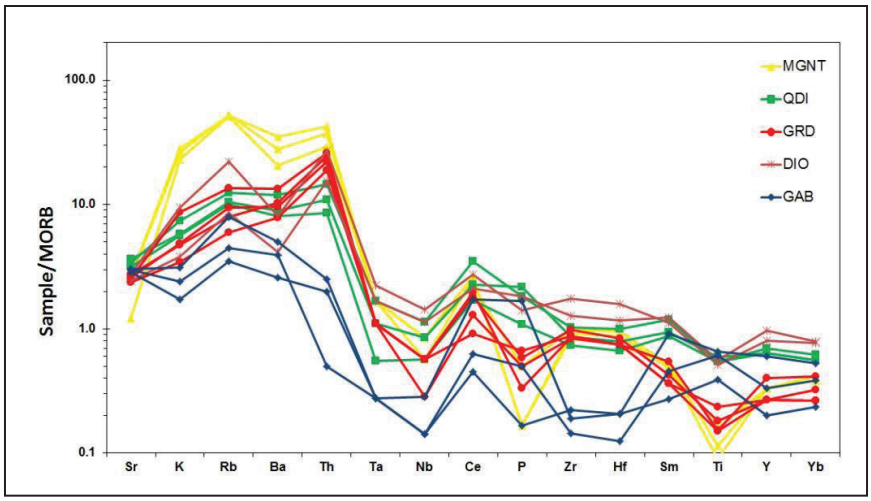


شکل ۸- نمودار تغییرات K_2O+Na_2O در برابر SiO_2. در این نمودار، ترکیب سنگ‌شناسی واحدهای آذرین رضی‌آباد از گابرو، دیوریت، کوارتزدیوریت تا گرانودیوریت و گرانیت تغییر می‌کند. محدوده‌های نشان داده شده از Le Maitre et al. (1989). نشانه‌ها: GAB: گابرو؛ DIO: دیوریت؛ GRD: گرانودیوریت؛ QDI: کوارتزدیوریت؛ MGNT: میکروگرانیت.

به منظور بررسی جایگاه تکتونیکی نمونه‌ها از نمودار Rb در برابر Y+Nb (Pearce et al., 1984) استفاده شد. در این نمودار، نمونه‌ها در محدوده گرانیت‌های محیط‌های کمانی جای گرفته‌اند (شکل ۹). شکل ۱۰ نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب توده‌های نفوذی منطقه را نشان می‌دهد که نسبت به ترکیب بازالت‌های پشته‌های میان‌اقیانوسی (MORB) بهنجار شده‌اند. در این نمودار ویژگی‌های شیمیایی مشابه با ماگماهای مرتبط با فرورانش مانند غنی‌شدگی از عناصر لیتوفیل درشت‌یون (LILE) نسبت به عناصر با دامنه پایداری بالا (HFSE) در همه نمونه‌ها دیده می‌شود. وجود تفاوت‌هایی در شدت غنی‌شدگی از عناصر LILE و تهی‌شدگی از عناصر HFSE در نمونه‌ها (شکل ۱۰) احتمالاً بیانگر وجود سازنده‌های متفاوت در محل منبع و یا فرایندهای متفاوت پتروژنزی در طول تکامل ماگمایی واحدهای آذرین رضی‌آباد است. آنومالی منفی Ti و P در واحدهای گرانودیوریتی و میکروگرانیتی می‌تواند بیانگر تبلور تفریقی کانی‌هایی حاوی این عناصر مانند آپاتیت و روتیل باشد و بالعکس آنومالی مثبت P در واحد کوارتزدیوریتی و آنومالی مثبت Ti در واحد گابرویی نشان می‌دهد که تبلور تفریقی کانی‌های آپاتیت و روتیل به ترتیب در روند تکاملی ماگماهای کوارتزدیوریتی و گابرویی نقش مؤثری نداشته‌اند.



شکل ۹- نمودار تمایزی جایگاه‌های تکتونیکی Rb-Y+Nb (Pearce et al., 1984) برای واحدهای آذرین منطقه رضی‌آباد: SYN-COLG: syn-collisional granite, POST-COLG: post-collisional granite, WPG: within-plate granite, ORG: oceanic-ridge granite. نشانه‌ها همانند شکل ۸.

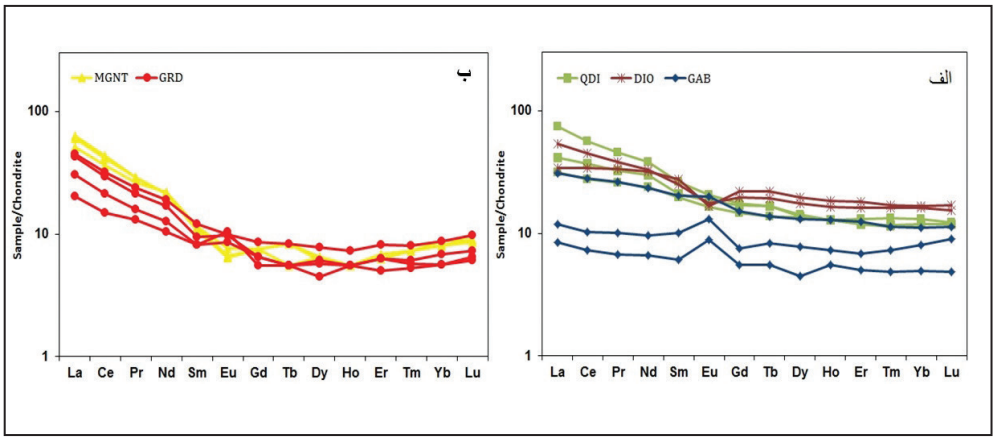


شکل ۱۰- نمودار عنکبوتی عناصر جزیی واحدهای آذرین رضی‌آباد. داده‌ها نسبت به ترکیب بازالت‌های پشته‌های میان‌اقیانوسی (MORB) بهنجار شده‌اند (Pearce, 1983). به اختلاف نسبی الگوی توزیع عناصر در واحدهای مختلف توجه شود. نشانه‌ها همانند شکل ۸.

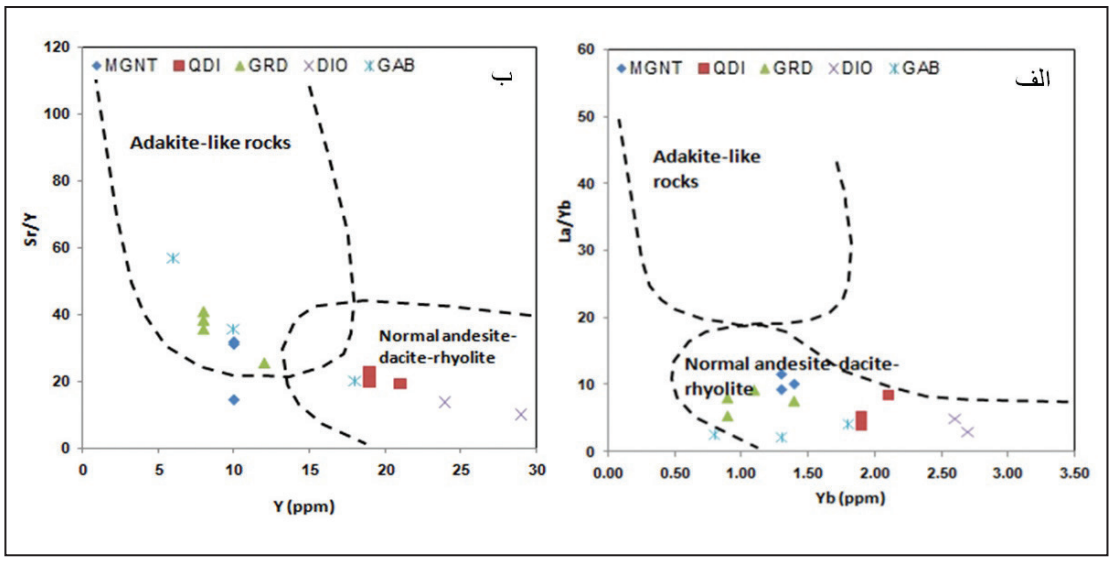
شکل‌های ۱۱- الف و ب، نمودارهای بهنجار شده عناصر نادر خاکی واحدهای منطقه را نشان می‌دهد. بهنجارسازی این داده‌ها نسبت به ترکیب کندریت انجام شده است. نمونه‌ها دارای اشکال متفاوتی از الگوهای عناصر نادر خاکی هستند. وجود تفاوت در الگوی عناصر نادر خاکی واحدهای آذرین رضی‌آباد همانند تفاوت در نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب این واحدها حاکی از وجود منابع متفاوت ماگمایی و یا سازوکارهای نابرابر تکامل‌یافتگی ماگمایی برای این واحدهاست. در یک نگاه کلی، واحدهای آذرین رضی‌آباد بر اساس شکل الگوی عناصر نادر خاکی، قابل تقسیم به دو گروه واحدهای با الگوی تخت شامل توده‌های گابرویی، دیوریتی و کوارتزدیوریتی (شکل ۱۱- الف) و واحدهای با الگوی شیب‌دار شامل گرانودیوریت و میکروگرانیت (شکل ۱۱- ب) هستند. فقدان تهی‌شدگی از عناصر نادر خاکی سنگین نسبت به عناصر نادر خاکی سبک در واحدهای با الگوی تخت فرایند تبلور تفریقی گارنت از ماگمای والد این واحدها و یا باقی ماندن گارنت در محل منشأ ماگمایی را نقض می‌کند. الگوی عناصر نادر خاکی واحدهای گرانودیوریتی و میکروگرانیتی با وجود فروافتادگی مشخص در بخش میانی (شکل ۱۱- ب) که نشاندهنده تهی‌شدگی این واحدها از عناصر نادر خاکی میانی است، با تبلور تفریقی هورنبلند از ماگمای والد این دو واحد سازگار است. در حالی که فقدان چنین فروافتادگی در الگوی عناصر نادر خاکی توده‌های دیوریتی، گابرویی و کوارتزدیوریتی (شکل ۱۱- الف) نشان می‌دهد که تفریق هورنبلند از سازوکارهای مهم در تکامل ماگمایی آنها نبوده است.

آنومالی مثبت Eu در واحدهای گابرویی و گرانودیوریتی (شکل‌های ۱۱-الف و ب)

نشان می‌دهد که در طول تکامل ماگمایی این دو واحد، پلاژیوکلاز در مجموعه کانی‌های تفریق‌یابنده جای نگرفته است و بالعکس وجود آنومالی منفی Eu در الگوی عناصر نادر خاکی واحدهای دیوریتی و میکروگرانیتی (شکل‌های ۱۱- الف و ب) مبین تبلور تفریقی پلاژیوکلاز در طول تکامل ماگماهای دیوریتی و گرانیت است. به‌طور کلی واحدهای آذرین رضی آباد دارای مقادیر پایینی از نسبت $(La/Yb)_N$ (۱/۹ تا ۷/۳) هستند. مقادیر بالای نسبت La/Yb از ویژگی‌های ماگماهای آداکیتی است و با منشأ گرفتن ماگماها از یک محیط با فشار بالا توضیح داده می‌شود. در چنین شرایطی که سازگار با تبلور تفریقی فازهای کانیایی معرف محیط‌های فشار بالا مانند گارنت (Alonso-Perez et al., 2008) است تهی‌شدگی ماگما از Yb که توسط گارنت از محیط ماگمایی خارج می‌شود، نسبت La/Yb ماگما را افزایش می‌دهد. نسبت پایین La/Yb در نمونه‌های رضی‌آباد، وجود گارنت در مجموعه کانی‌های تفریق یافته و یا باقیمانده در محل منبع را نقض می‌کند (برای مثال Kimura et al., 2002). در نمودار La/Yb در برابر Yb توده‌های نفوذی رضی‌آباد دور از محدوده ماگماهای آداکیتی و در محدوده سنگ‌های نرمال کمانی جای می‌گیرند (شکل ۱۲- الف). در نمودار Sr/Y در برابر Y نمونه‌های منطقه از محدوده آداکیتی تا سنگ‌های نرمال کمانی جای می‌گیرند (شکل ۱۲- ب). نسبت بالای Sr/Y را می‌توان توسط فرایندهایی مانند تبلور تفریقی هورنبلند و یا عدم تبلور تفریقی پلاژیوکلاز توضیح داد (Chiaradia et al., 2012). بالاترین مقادیر Sr/Y در واحدهای گابرویی و گرانودیوریتی دیده می‌شود. وقوع تبلور تفریقی هورنبلند از ماگمای گرانودیوریتی و عدم تفریق پلاژیوکلاز از ماگمای گابرویی توسط الگوی REE این دو واحد قابل پشتیبانی است.



شکل ۱۱- الف و ب) الگوی توزیع عناصر نادر خاکی در واحدهای آذرین رضی‌آباد. داده‌ها نسبت به ترکیب منبع کندریتی بهنجار شده‌اند (Boynton, 1984). تهی‌شدگی از عناصر میانی نمودار عناصر نادر خاکی در شکل ب مشهود است. در حالی که چنین تهی‌شدگی در شکل الف دیده نمی‌شود. نشانه‌ها همانند شکل ۸



شکل ۱۲- الف و ب) نمودارهای La/Yb در برابر Yb و Sr/Y در برابر Y برای واحدهای آذرین رضی‌آباد. محدوده سنگ‌های آداکیتی و سنگ‌های رایج کمانی آندزیتی- داسیتی- ریولیتی از Defant et al. (2002) و Petford and Atherton (1996). نشانه‌ها همانند شکل ۸

۱۰- نتیجه‌گیری

کانسار مس رضی‌آباد در رشته‌کوه‌های جبال‌بارز در بخش جنوبی کمربند مس کرمان، از بسیاری جهات قابل مقایسه با کانسارهای مس پورفیری در بخش شمالی این کمربند است، گرچه تفاوت‌های نیز دارد:

- همبستگی مکانی و زایشی با یک توده نفوذی نیمه‌ژرف با بافت پورفیری. کانی‌سازی در رضی‌آباد، در ارتباط با یک توده گرانودیوریت پورفیری است که در سنگ‌های نفوذی کهن‌تر شامل یک توده دیوریتی و یک توده گابرویی و توالی‌های آندزیتی- توفی نفوذ کرده و سبب دگرسانی و کانی‌سازی گرمابی شده است.

- ذخایر مس پورفیری ساده به آن دسته از ذخایر مس پورفیری گفته می‌شود که ذخیره آنها محدود به توده آذرین همراه با کانسار است و انواع پیچیده شامل آن دسته از ذخایر مس پورفیری است که ذخیره آنها علاوه بر توده نفوذی در سنگ‌های میزبان توده نیز تشکیل شده است. با تعریف ارائه شده می‌توان اظهار داشت کانسار مس پورفیری رضی‌آباد در دسته ذخایر پیچیده مس پورفیری قرار می‌گیرد. نفوذ چندین توده آذرین در سامانه پورفیری رضی‌آباد سبب تشکیل تنوعی از سنگ‌های میزبان برای توده مولد گرانودیوریتی شده است که هر کدام از این سنگ‌های میزبان با شدت‌های متغیر، میزبان کانه‌زایی پورفیری نیز هستند. چنین حالتی کمتر در ذخایر مس پورفیری بخش‌های شمالی و مرکزی کرمان گزارش شده است. پیچیدگی کانسار رضی‌آباد طی ادامه فعالیت‌های ماگمایی بعد از رخداد کانه‌زایی نیز افزایش یافته و این ویژگی‌ها سبب پیچیده شدن هندسه ماده معدنی در کانسار رضی‌آباد نیز شده است.

- دگرسانی گرمابی در رضی‌آباد، از برخی جهات با دیگر کانسارهای مس پورفیری مانند میدوک، سرچشمه و دره‌زار در بخش شمالی کمربند مس کرمان قابل مقایسه است؛ با این حال، تفاوت‌های آشکاری نیز وجود دارد. دگرسانی پتاسیک، به‌طور چیره از نوع بیوتیتی است و فلدسپار پتاسیک کمتر توسعه یافته است. دگرسانی فیلیک، که بارزترین و گسترده‌ترین دگرسانی در کانسارهای مس نوع پورفیری در بخش شمالی کمربند مس کرمان است، در رضی‌آباد گسترش چندانی ندارد. گسترش دگرسانی اکتینولیتی نیز دیگر ویژگی این ذخیره پورفیری بوده که در سایر ذخایر پورفیری کمتر گزارش شده است.

- کانی‌سازی مس در رضی‌آباد، مانند بسیاری از کانسارهای مس نوع پورفیری، به‌صورت استوک‌ورک، رگچه‌های پراکنده و همین‌طور افشان (disseminated) رخ داده است. کالکوپیریت، کانی درونزاد اصلی مس است. مولیبدنیت به‌طور محلی در بخش‌های مرکزی وجود دارد؛ اما میانگین عیار مولیبدن در محدوده بیشتر گمانه‌ها، کمتر از حد اقتصادی است.

- همانند اغلب ذخایر مس پورفیری در بخش‌های کم‌ژرفای کانسار رضی‌آباد جانشینی کانی سولفیدی درونزاد مانند کالکوپیریت توسط کانی‌های ثانوی برونزاد همچون گوتیت، کالکوسیت و کوولیت رخ داده است. در رضی‌آباد منطقه کانی‌سازی برونزاد کم‌ستبراست.

- پیریت که از کانی‌های متداول و فراوان در بسیاری از سامانه‌های پورفیری، به‌ویژه در بخش‌های بالایی و حاشیه‌ای آنهاست، در رضی‌آباد فراوانی کمتری دارد. شستشوی مس از بخش‌های سطحی در سامانه‌های پورفیری، تا حد زیادی تابع فراوانی پیریت و نسبت بالای پیریت به کالکوپیریت است. کمبود نسبی پیریت سبب شده است تا شستشوی چندان مؤثری در رضی‌آباد رخ ندهد و غنی‌سازی چندانی نیز صورت نگیرد. همراهی بخشی از کانی‌سازی با دگرسانی سیلیسی که منجر به ممانعت از اکسایش و تجزیه مؤثر کانی‌های سولفیدی و انتقال مس شده و یا عیار پایین کانسنگ اولیه و یا فرسایش شدید بخش عمده زون غنی‌شده‌ای که احتمالاً وجود داشته ولی در طی فرسایش از میان برداشته شده است؛ از دیگر دلایل احتمالی هستند که می‌توان برای محدود بودن گسترش زون غنی‌سازی برونزاد در کانسار رضی‌آباد به آنها اشاره کرد.

- بیشتر کانسارهای مس پورفیری در کمربند مس کرمان، با فراوانی پیریت، وجود رگچه‌های ژیپس و انیدریت و نبود پیروتیت مشخص می‌شوند که نشانگر ماهیت اکسیده سیال کانه‌ساز است. رخداد پیروتیت هر چند به‌صورت فرعی به همراه کمبود رگچه‌های ژیپس و انیدریت در رضی‌آباد، نشان می‌دهد که سیال گرمابی مولد کانی‌سازی در این کانسار، چندان اکسیده نبوده است.

سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از رساله دکترای نگارنده اول در دانشگاه تربیت مدرس است. نگارندگان مقاله از شرکت ملی صنایع مس ایران (NICICo) برای پشتیبانی مالی و فراهم کردن امکان بازدید و نمونه‌برداری از مغزه‌های حفاری و اطلاعات محدوده مورد مطالعه سپاسگزاری می‌کنند.

کتابنگاری

تقی‌پور، ن.، آقتابی، ع. و رمضانی، م.، ۱۳۸۸- بررسی هاله‌های دگرسانی- کانی‌زایی و الگوی پراکندگی مس، مولیبدن، طلا و نقره در کانسار مس پورفیری میدوک، شهر بابک، کرمان، فصلنامه علوم زمین، ۷۲، ص. ۴۵ تا ۵۴.

شفیعی، ب.، ۱۳۸۷- الگوی فلززائی کمربند مس پورفیری کرمان و رهیافت‌های اکتشافی آن. رساله دکتری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۵۷ ص.

قاسمی، ق.، علیرضایی، س.، عین‌علی، م. و ایران‌منش، م.ر.، ۱۳۸۹- زمین‌شناسی و پترولوژی توده‌های نفوذی در محدوده کانسار مس پورفیری کرور، استان کرمان، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین.

References

Aftabi, A. and Atapour, H., 2010- Alteration geochemistry of volcanic rocks around Sarcheshmeh porphyry copper deposit, Rafsanjan, Kerman, Iran: Implications for regional exploration. Resource Geology, 61: 76–90.

Alonso-Perez, R., Muntener, O. and Ulmer, P., 2008- Igneous garnet and amphibole fractionation in the roots of island arcs: experimental constraints on andesitic liquids. Contributions to Mineralogy and Petrology, 157: 541–558.

Boynton, W. V., 1984- Cosmochemistry of the earth elements: Meteorite studies, in Henderson, R., ed., Rare earth element geochemistry: Developments in Geochemistry 2: Amsterdam, Elsevier, p. 89–92.

Calagari, A. A., 2003- Concentration variations of major and minor elements across various alteration zones in porphyry copper deposit at Sungun, east Azarbaidjan, Iran. Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 14: 27–36.

Chiaradia, M., Ulianov, A., Kouzmanov, K. and Beate, B., 2012- Why large porphyry Cu deposits like high Sr/Y magmas?, Scientific Reports, 2: 685.

Chiu, H. Y., Chung, S. L., Zarrinkoub, M. H., Mohammadi, S. S., Khatib, M. M. and Iizuka, Y., 2013- Zircon U–Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neotethyan subduction and Zagros orogeny. Lithos, 162-163: 70–87.

Defant, M., Xu, J., Kepezhinskas, P., Wang, Q., Zhang, Q., Xiao, L. and Defant, M., 2002- Adakites: some variations on a theme. Acta Petrologica Sinica, 18: 129–142.

Dimitrijevic, M. D., 1973- Geology of Kerman region. Geol. Surv. Iran. Report no. Yu/52: 334.

Einali, M., Alirezaei, S. and Federica, A., 2014- Chemistry of magmatic and alteration minerals in the Chahfiruzeh porphyry copper deposit, south Iran: implications for the evolution of the magmas and physicochemical conditions of the ore fluids. Turkish Journal of Earth Sciences 23: 147–165.

Geiger, S., Haggerty, R., Dilles, J. H ., Reed, M. H. and Matthal, S. K., 2002- New insights from reactive transport modelling: the formation of the sericitic vein envelopes during early hydrothermal alteration at Butte, Montana, Geofluids 2: 185–20.

Gustafson, L. B. and Hunt, J. P., 1975- The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. Economic Geology, 70: 857–912.

Hassanzadeh, J., 1993- Metallogenic and tectonomagmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of central Iran (Shahr e Babak area, Kerman Province), Ph.D. thesis, University of California, Los Angeles: 204 p.

Kimura, J.I., Yoshida, T. and Iizumi, S., 2002- Origin of low-K Intermediate Lavas at Nekoma Volcano, NE Honshu Arc, Japan: Geochemical Constraints for Lower-Crustal Melts, Journal of Petrology 43: 631–661.

Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M. J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorenson, H., Strekeisen, A., Woolley, A. R. and Zanettin, B., 1989- A classification of igneous rocks and glossary of terms: Oxford, Blackwell, 253 p.

Nedimovic, R., 1973- Exploration for ore deposits in Kerman region. Geol. Surv. Iran. Report no. Yu/53: 247.

Parry, W. T., Jasumback, M. and Wilson, P. N., 2002- Clay mineralogy of phyllic and intermediate argillic alteration at Bingham, Utah. Economic Geology 97: 221–239.

Pearce, J., 1983- Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins, in Hawkesworth, C. J. and Norry, M. J., eds. Continental basalts and mantle xenoliths, Shiva Publications, pp. 230–249.

Pearce, J., Harris, N. B. W. and Tindle, A. G., 1984- Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology 25: 956–983.

Petford, N. and Atherton, M., 1996- Na-rich partial melts from newly underplated basaltic crust: The Cordillera Blanca Batholith, Peru. Journal of Petrology 37: 1491–1521.

Saric, V., 1972- Report on exploration at Razi Abad – Madin copper mineral occurrence, Report no. 50/Yu.

Shafiei, B., Haschke, M. and Shahabpour, J., 2009- Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran. Mineralium Deposita 44: 265–283.

Skewes, M. A., Arévalo, A., Floody, R., Zuñiga, P., Stern, C. R., Goldfarb, R. J. and Nielson, R. L., 2002- The giant El Teniente breccia deposit: Hypogene copper distribution and emplacement, Global Exploration 2002: Integrated Methods of Discovery. Society of Economic Geologists Special Publications 9: 299–332.

Whitney, D. L. and Evans, B. W., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist 95: 185–187.

Geology, hydrothermal alteration and mineralization at Razi Abad porphyry Cu deposit in the south of Kerman copper belt, southeastern Iran

Z. Mohammadzadeh[1], M. Ghaderi[2*], S. Alirezaei[3] and J. Hassanzadeh[4]

[1]Ph.D. Student, Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

[2]Professor, Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

[3]Associate Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[4]Research Associate, Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, Pasadena, U.S.A.

Received: 2016 November 07 Accepted: 2017 January 25

Abstract

The Raziabad porphyry copper deposit is located 30 km north of the city of Jiroft, in southeastern part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc, southeastern Iran. Several intrusive bodies including diorite, gabbro, granodiorite and quartz-diorite associated with groups of dikes with similar composition as well as dissimilar composition with the intrusions, intruded into the Raziabad porphyry system. The porphyry copper mineralization is associated with the granodiorite which intruded into dioritic, gabbroic and volcano-pyroclastic rocks. The magmatic activities continued after mineralization and lead to the emplacement of the quartz-diorite as well as intrusion of two groups of micro-granitic and andesi-basaltic dikes cutting the ore body, causing geometric complexity of the ore body. The alteration zones include potassic and magnetite-rich silicification zones, relatively restricted calcic zone, and propylitic zone. Phyllic alteration with restricted expansion and weak intensity overprinted on potassic alteration. The hypogene mineralization has occurred as disseminated, stockwork and veinlet styles closely associated with the potassic alteration zone. The main ore minerals are chalcopyrite+ magnetite+ pyrite with minor molybdenite, pyrrhotite, galena and sphalerite. The oxidation and enriched supergene zones are variable and restricted to the shallow levels. Hydrothermal activity in Raziabad deposit is classified into four stages on the basis of hydrothermal mineral assemblage and veinlet relation. The stages include: 1) calcium silicate-magnetite-quartz stage; 2) potassium silicate-sulfide-quartz-magnetite; 3) sericite-quartz-pyrite stage; 4) chlorite-epidote-calcite-pyrite±actinolite.

Keywords: Porphyry, Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Kerman copper belt, Alteration, Disseminated, Stockwork.

For Persian Version see 175 to 186

*Corresponding author: M. Ghaderi; E-mail: mghaderi@modares.ac.ir

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional