



زمین‌شناسی، کانی‌سازی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی فیروزکوه، شمال شرق تربت جام

مهدی قلیچ‌خانی*، آزاده ملک‌زاده سفارودی، محمدرضا حیدریان شهری

گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۱/۳/۲، نسخه نهایی: ۹۱/۷/۱۶)

چکیده: منطقه‌ی پی‌جویی فیروزکوه در ۳۵ کیلومتری شمال شرق تربت جام و در استان خراسان رضوی واقع شده است. زمین‌شناسی منطقه شامل سنگ‌های دگرگون شده سازند میانکوهی است که توده‌های نفوذی با ترکیب مونزوگرانیت تا دیوریت در آن نفوذ کرده‌اند. دامنه‌ی پذیرفتاری مغناطیسی توده‌ها از صفر تا $SI \times 10^{-5} 43$ بوده و به گرانیتوئیدهای احيایی سری ایلمنیت وابسته است. این توده‌ها در برخی نقاط تحت تاثیر دگرسانی‌های سرسیتیک، سیلیسی و پروپلیتیک قرار گرفته‌اند. ژئوشیمی توده‌های نفوذی، نشان می‌دهد که آن توده‌ها از متآلومینوس تا پرآلومینوس متغیرند و در گستره‌ی پتاسیم متوسط تا بالا و گاه شوشونیتی قرار می‌گیرند. موقعیت زمین-ساختی توده‌ها از قبل از برخورد قاره‌ها تا بالآمدگی پس از آن در حال تغییر بوده است. کانی‌سازی کنترل گسلی داشته و در مرز توده‌های نفوذی با سنگ‌های دگرگون شده و یا داخل واحد دگرگونی تشکیل شده است. کانی‌سازی اولیه شامل طلا، آرسنوپیریت، پیریت، کالکوپیریت و پیروتیت و کانی‌سازی ثانویه شامل کوولیت، هماتیت و گوتیت است. پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی به روش خرده-سنگی، بیهنجاری‌هایی از عناصر طلا (تا ۸۹۴۲ppb)، آرسنیک (تا ۷۴۵۰۰ ppm)، مس (تا ۳۵۷ppm)، روی (تا ۹۷ppm) و سرب (تا ۴۵ppm) وابسته به کانی‌سازی رگه‌ای را در نمونه‌های سطحی منطقه نشان می‌دهد. ژئوشیمی گمانه‌ها نشان دهنده‌ی بیشترین طلا (۳۰۷۳۲ ppb) و بیشترین مس (۳۲۰۰ ppm) در گمانه‌ی OBH-7 و بیشترین میزان آرسنیک (۹۸۶۷۰ ppm) و تنگستن (۱۳۳ ppm) در گمانه‌ی OBH-2 است. طلا تقریباً در همه‌ی نمونه‌ها همبستگی مثبتی با آرسنیک دارد و بیشتر در قالب کانی آرسنوپیریت و کمتر به صورت آزاد و یا در قالب کانی‌های پیروتیت و پیریت قرار دارد. با توجه به ماهیت احيایی توده‌های نفوذی سری ایلمنیت، مجموعه کانی‌سازی احيایی (آرسنوپیریت و پیروتیت) منطقه، نوع و گسترش دگرسان‌ها، شکل و حالت کانی‌سازی و مقدار بالای طلا، مس، آرسنیک و تنگستن، این منطقه می‌تواند بخشی از یک سیستم طلای وابسته به توده‌های نفوذی احيایی باشد که احتیاج به بررسی‌های بیشتر دارد.

واژه‌های کلیدی: فیروزکوه؛ گرانیتوئیدهای احيایی؛ طلا و آرسنیک؛ سیستم طلای وابسته به توده‌های نفوذی احيایی.

مقدمه

شرقی بین صفحه‌ی مستحکم توران و خرد قاره‌ی ایران مرکزی قرار دارد. گسترش واقعی این زون بین نواحی شمال سبزوار و نیشابور تا تربت جام است، ولی با توجه به آنکه در زون مورد بحث تشکیلات زمین‌شناسی دگرگون شده و آذرینی وجود دارد که در آن سوی مرز (افغانستان) نیزقابل تعقیب است، بنابراین اعتقاد بر این است که در شرق، این زون تا هندوکش غربی در افغانستان ادامه می‌یابد [۱]. منطقه‌ی مورد بررسی در

منطقه‌ی پی‌جویی فیروزکوه در استان خراسان رضوی و در ۳۵ کیلومتری شمال شرق تربت جام بین طول‌های جغرافیایی شرقی $60^{\circ} 49' 58''$ و $60^{\circ} 51' 08''$ و عرض‌های جغرافیایی شمالی $35^{\circ} 29' 35''$ و $35^{\circ} 28' 46''$ قرار دارد (شکل ۱). این منطقه در زون البرز شرقی و زیر زون بینالود واقع شده است. رشته کوه‌های بینالود با روند تقریبی شمال غربی- جنوب

ارتباط آن‌ها با زون‌های کانی‌سازی موجود و در نهایت تعیین مدل کانی‌سازی در منطقه پی‌جویی فیروزکوه است.

روش بررسی

بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده در این پژوهش، شامل موارد زیرند:

(۱) بررسی سنگ‌نگاری-دگرسانی از ۶۰ مقطع و ۱۲ مقطع نازک صیقلی و بلوک‌صیقلی به منظور آگاهی از چگونگی دگرسانی-کانی‌سازی.

(۲) تهیه نقشه زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ در منطقه‌ای به وسعت ۱٫۴ کیلومتر مربع.

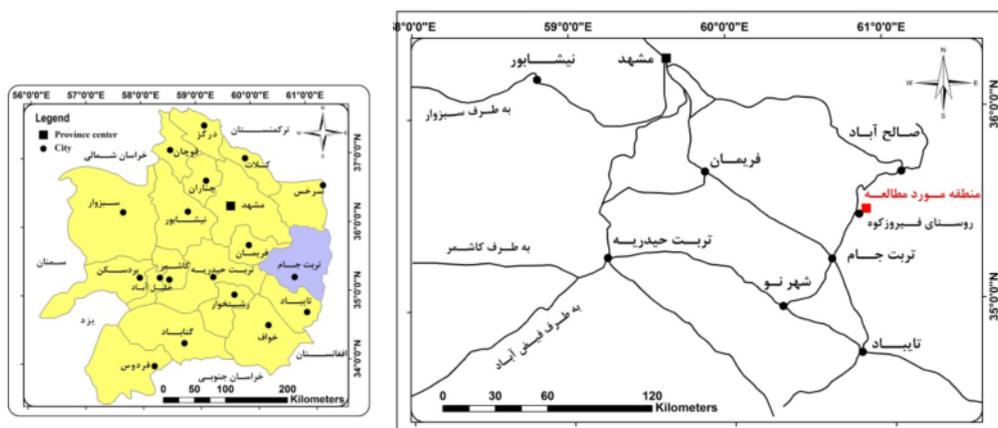
(۳) برداشت ۱۵ نمونه خرده سنگ، خردایش و نمایش آن‌ها و آنالیز برای عناصر مس، سرب، روی با دستگاه جذب اتمی در دانشگاه فردوسی مشهد. همچنین تعداد ۲۶۵ نمونه سنگی از مغزه‌های حفاری و ترانشه‌ها قبلاً به وسیله شرکت زرناب پی-جویی [۸] و برداشت شده و به روش ICP-OES در آزمایشگاه تحقیقات مواد معدنی زرآما آنالیز شدند که نتایج آن‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفتند. آنالیز طلا به روش Fire assay بوده است.

(۴) اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی بیش از ۵۰ نمونه از توده‌های نفوذی با پذیرفتاری‌سنج مدل GMS-2 ساخت شرکت سینترکس کانادا و متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد.

(۵) انتخاب ۱۲ نمونه از توده‌های نفوذی کمتر دگرسان شده یا دگرسان نشده، خردایش و نمایش آن‌ها و آنالیز XRF اکسیدهای اصلی و برخی از عناصر فرعی و کمیاب در دانشگاه فردوسی مشهد. دستگاه XRF مدل فیلیپس از نوع X unique بوده است. استانداردهای دستگاه از سازمان زمین‌شناسی کانادا خریداری شدند.

شمال شرقی نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت‌جام قرار دارد [۲]. مجموعه گرانیتوئیدی تربت‌جام از مهم‌ترین توده‌های نفوذی در قسمت شمال شرقی ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت‌جام است که روند شمال غربی-جنوب شرقی دارد و بعضی از محققین آنرا جزئی از کمربند بینالود در نظر گرفته‌اند [۲]. این توده‌ها درون شیل‌های زغال‌دار، سیلتستون و ماسه‌سنگ‌های دگرگون شده (تا حد رخساره‌ی شیست سبز) نفوذ کرده‌اند. کانی‌سازی‌های متعددی اغلب در مرز این مجموعه گرانیتوئیدی با سنگ‌های رسوبی دگرگون‌شده دیده می‌شود که از آن جمله می‌توان به طلای فیروزکوه [۳]، سرب و روی بوته‌گز [۴]، مس تاریک‌دره [۵،۶] و مس انبورتا [۷] اشاره کرد.

بررسی‌های قبلی در منطقه‌ی فیروزکوه شامل گزارش مقدماتی پلی‌متال فیروزکوه و تاریک‌دره‌ی تربت‌جام [۸] است که به وسیله‌ی شرکت زرناب پی‌جویی و با همکاری سازمان صنعت، معدن و تجارت خراسان رضوی انجام شده است. تعداد ۳ ترانشه و ۳۶۸ متر حفاری در قالب ۷ گمانه نیز از سوی این شرکت در منطقه‌ی پی‌جویی فیروزکوه به منظور بررسی‌های زیرسطحی حفر شدند. اما نامگذاری توده‌های نفوذی، نادرست و نقشه‌های دگرسانی و کانی‌سازی از این منطقه تهیه نشده است، همچنین ارتباط توده‌های نفوذی منطقه با کانی‌سازی‌هایی که به آن اشاره شد، هنوز به طور دقیق مشخص نشد، و مدل کانی‌سازی در این بخش از شمال شرق ایران مبهم است. هدف از این مقاله، تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی (با تاکید ویژه بر جدایش دقیق توده‌های نفوذی)، دگرسان، ژئوشیمی و کانی‌سازی با مقیاس مناسب، بررسی ژئوشیمی توده‌های نفوذی و



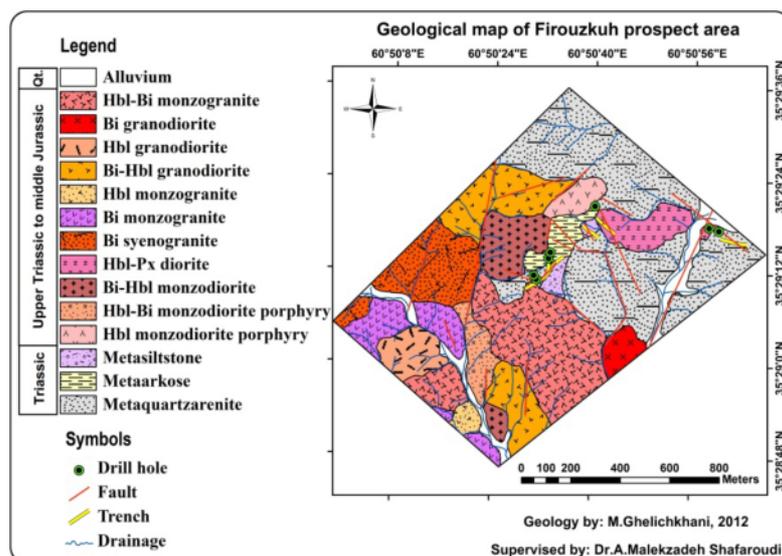
شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه اکتشافی فیروزکوه.

زمین‌شناسی و سنگ‌نگاری

بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، دو نوع واحد سنگی در منطقه شناسایی شدند که عبارتند از: ماسه‌سنگ‌های دگرگون شده سازند میانکوهی و توده‌های نفوذی اسیدی تا حدواسط (شکل ۲). سن سازند میانکوهی با توجه به موقعیت چینه‌شناسی و فسیل‌های موجود، نورین تا رسین زیرین (تریاس) و سن توده‌های نفوذی، تریاس بالایی تا ژوراسیک میانی است [۲]. با توجه به موقعیت چینه‌شناسی و فسیل‌های گیاهی یافت شده در سازند میانکوهی، بخشی از این سازند را می‌توان با سازند شمشک هم‌ارز دانست. قاعده‌ی این سازند با سازند‌های قدیمی‌تر به دلیل پوشیدگی و عوامل زمین‌ساختی و حذف سازندهای تریاس زیرین و میانی قابل بررسی نیست. همراه شیل‌های دگرگون شده‌ی سیاه‌رنگ، میان‌لایه‌های نازکی از سیلتستون و ماسه سنگ‌های دگرگون شده ریز دانه جای گرفته است. ضخامت ظاهری سازند یادشده بیش از ۸۰۰ متر به نظر می‌رسد، ولی با توجه به عوامل زمین‌ساختی، راندگی و چین خوردگی، ضخامت واقعی از ۵۰۰ متر بیشتر نیست. با توجه به شناسایی سنگواره‌ی روزن داران کف زی با پوسته‌ی آهکی، محیط رسوب گذاری غیر قاره‌ای برای بخش اعظم این سازند در نظر گرفته شده است [۹]. این سازند در منطقه‌ی مورد بررسی عبارتند از واحدهای متاکوارتزآرنایت، متاآرکوز و متاسیلتستون هستند که بیشتر در بخش‌های شمالی و شرقی منطقه دیده می‌شوند. واحد متاکوارتزآرنایت، بیشترین گسترش را در منطقه دارد (شکل ۲).

توده‌های نفوذی، بیشتر در بخش‌های جنوب، جنوب غربی و غرب منطقه رخنمون دارند (شکل ۲). در مجموع ۱۱ نوع توده‌ی نفوذی مختلف در منطقه تشخیص داده شدند که ۴ تای آنها دارای ترکیب حدواسط و بقیه دارای ترکیب اسیدی هستند. ۲ نوع از توده‌های نفوذی حدواسط، درونی و شامل بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت و هورنبلند پیروکسن دیوریت و ۲ نوع دیگر از نوع نیمه‌عمیق و شامل هورنبلند مونزودیوریت پورفیری و هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری است. همه‌ی توده‌های نفوذی اسیدی، درونی بوده و بافت هیپیدومورفیک ریزدانه دارند و شامل بیوتیت گرانودیوریت، هورنبلند گرانودیوریت، بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت، بیوتیت مونزوگرانیت، بیوتیت مونزوگرانیت، هورنبلند مونزوگرانیت و بیوتیت سینوگرانیت هستند (شکل ۲).

توده‌های حدواسط نیمه‌عمیق، در قسمت شمالی و غربی منطقه رخنمون دارند. به طور کلی گسترش آن‌ها نسبت به توده‌های نفوذی حدواسط درونی و اسیدی، کمتر است (شکل ۲). بافت آن‌ها پورفیری و از فنوکریست‌های اولیه پلاژیوکلاز (آندزین)، فلدسپارهای قلیایی، هورنبلند، بیوتیت و کانی‌های ثانویه کلریت، سرسیت، کوآرتز ثانویه و اکسیدهای آهن ثانویه تشکیل شده‌اند. این واحدها تقریباً در تمام گستره‌ی خود دگرسان شده و شامل دگرسانی‌های سیلیسی- پروپلیتیک و سرسیتیک- پروپلیتیک می‌شوند. شدت دگرسانی در بخش شمالی منطقه که دارای دگرسانی سیلیسی- پروپلیتیک است بیشتر است.



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه همراه با موقعیت گمانه‌ها و ترانشه‌های حفر شده.

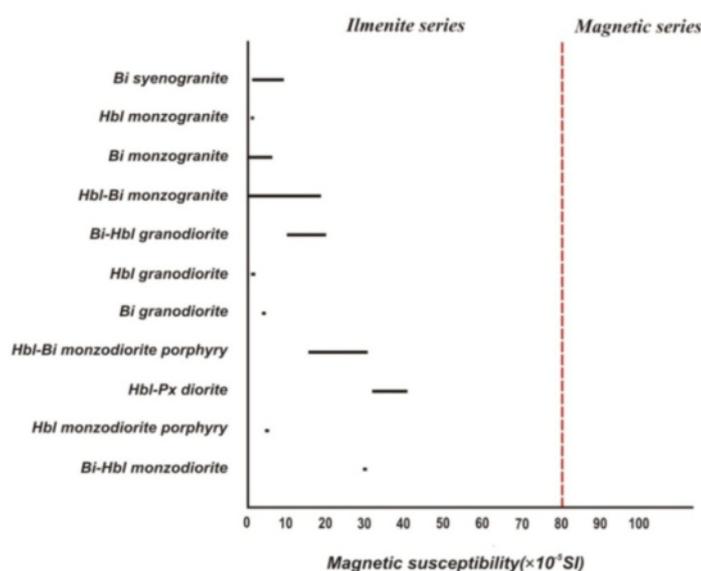
دگرسانی‌های غالب مشاهده شده در واحدهای دگرسان شامل سرسیتی متوسط تا شدید است و دگرسانی پروپیلیتیک ضعیف تنها در گستره‌ی کوچکی از غرب منطقه مشاهده می‌شود.

به طور کلی واحدهای نفوذی حدواسط نسبت به واحدها اسیدی، بیشتر دگرسان شده‌اند و توده‌های نفوذی اسیدی در برخی نقاط بدون دگرسانی‌اند. به نظر می‌رسد توده‌های نفوذی اسیدی در مراحل نهایی فعالیت محلول کانه‌دار، یا برخی از آنها پس از کانی‌سازی در منطقه نفوذ کرده‌اند. کانی‌سازی‌ها بیشتر در مرز توده‌های نفوذی حدواسط با ماسه‌سنگ‌های دگرگون-شده دیده می‌شوند. این توده‌ها نقش اساسی در کانی‌سازی طلا-مس-آرسنیک در منطقه ایفا کرده‌اند.

خصوصیت مغناطیسی سنگ از جمله خواص پتروفیزیک است که با اندازه‌گیری مقدار پذیرفتاری مغناطیسی آن مشخص می‌شود. ایشی‌هارا [۱۰]، مقدار پذیرفتاری مغناطیسی گرانیتوئیدهای سری مگنتیت (اکسیدان) را بیش از 5×10^{-5} SI^{-۵} و گرانیتوئیدهای سری ایلمنیت (احیایی) را کمتر از این مقدار می‌داند. برای این منظور، پس از مدرج کردن دستگاه، آن را روی سطح صاف سنگ قرار داده و قرائت صورت می‌گیرد. دامنه‌ی پذیرفتاری مغناطیسی همه‌ی توده‌های نفوذی اسیدی و حدواسط منطقه از صفر تا 5×10^{-4} SI^{-۵} متغیر است، و بنابراین همه‌ی نمونه‌ها در سری ایلمنیتی (احیایی) قرار می‌گیرند (شکل ۳).

توده‌های حدواسط درونی، در قسمت‌های شمال شرقی، مرکز و جنوب منطقه دیده می‌شوند. گسترش اصلی آن‌ها در بخش شمال شرقی و مرکز منطقه است و در بخش جنوبی منطقه، وسعت آن ناچیز است (شکل ۲). بافت آن‌ها هیپیدئومورفیک ریزدانه تا سرآیت (پورفیری با زمینه‌ی درشت دانه) است و شامل کانی‌های اولیه پلاژیوکلاز (آندزین-الیگوکلاز)، فلدسپارهای قلیایی، هورنبلند، بیوتیت، پیروکسن و کانی‌های ثانویه کلریت، سرسیت و اکسیدهای آهن هستند. این واحدها به جز در قسمت جنوبی منطقه، در همه‌ی نقاط دستخوش دگرسانی سرسیتی-پروپیلیتیک شده‌اند.

توده‌های اسیدی که همگی درونی‌اند بیشتر وسعت منطقه را تشکیل داده‌اند، به طوری که قسمت شمال غربی، غرب، جنوب و جنوب شرقی منطقه با این واحدها پوشیده شده است (شکل ۲). بیشترین گسترش را توده‌ی نفوذی هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت دارد که در قسمت‌هایی از جنوب شرقی و جنوب غربی منطقه رخنمون دارد (شکل ۲). بافت همه‌ی توده‌ها هیپیدئومورفیک ریزدانه بوده و شامل کانی‌های اولیه کوارتز، پلاژیوکلاز (الیگوکلاز)، فلدسپارهای قلیایی، هورنبلند، بیوتیت و کانی‌های ثانویه سرسیت و اکسیدهای آهن و در برخی واحدها (بیوتیت مونزوگرانیت و بیوتیت سینوگرانیت) کوارتز ثانویه و به میزان کم کلریت است. این واحدها در برخی نقاط دگرسان شده و در برخی نقاط فاقد دگرسانی‌اند.



شکل ۳ پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های نفوذی منطقه پی‌جوئی فیروزکوه. (همه‌ی نمونه‌ها در محدوده‌ی سری ایلمنیتی جای می‌گیرند).

ژئوشیمی توده‌های نفوذی

بین ۱۱ توده‌ی نفوذی منطقه، ۱۲ نمونه که دارای کمترین دگرسانی بودند، به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی انتخاب شدند. همه‌ی توده‌های آنالیز شده، درونی هستند و از توده‌های نفوذی نیمه عمیق به دلیل دگرسانی زیاد نمونه‌ای انتخاب نشد. این نمونه‌ها شامل ۷ واحد سنگی هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت (FZ14، FZ31، FZ46)، بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت (FZ23 و FZ53)، بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت (FZ32)، بیوتیت مونزوگرانیت (FZ33 و FZ36)، هورنبلند مونزوگرانیت (FZ35)، هورنبلند گرانودیوریت (FZ38) و بیوتیت

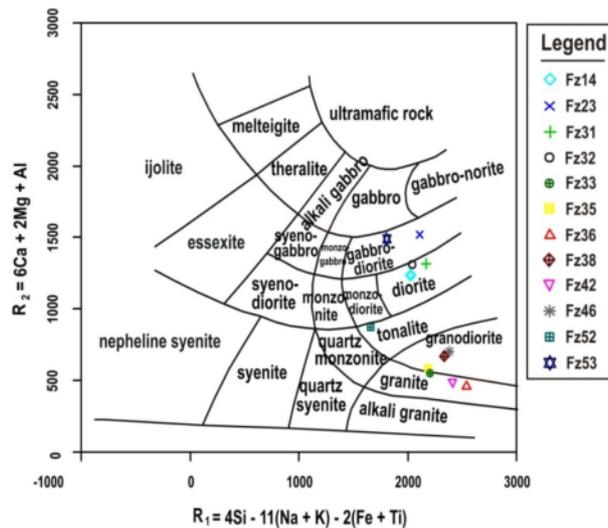
سینوگرانیت (FZ42 و FZ52) بودند که نتایج آنالیز در جدول-های (۱) و (۲) ارائه شده‌اند. مقدار SiO₂ توده‌ها از ۵۲/۶۷ در توده‌های حدواسط تا ۶۹/۷۶ در توده‌های اسیدی متغیر است (جدول ۱). برای نامگذاری سنگ‌ها براساس اکسیدهای اصلی، از نمودار نامگذاری سنگهای آذرین درونی [۱۱]، استفاده شد (شکل ۴). توده‌های نفوذی منطقه در گستره‌ی گرانیته، گرانودیوریت، تونالیت، دیوریت و گابرویدیوریت قرار می‌گیرند (شکل ۴). همچنین این نمونه‌ها در نمودار $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ نسبت به $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ [۱۲]، ماهیت متآلومینوس تا

جدول ۱ نتایج آنالیز اکسیدهای اصلی توده‌های نفوذی منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه (بر حسب درصد)

	FZ14	FZ23	FZ31	FZ32	FZ33	FZ35	FZ36	FZ38	FZ42	FZ46	FZ52	FZ53
X	۳۵° ۲۹' ۰۳"	۳۵° ۲۹' ۱۹"	۳۵° ۲۸' ۵۶"	۳۵° ۲۸' ۴۸"	۳۵° ۲۸' ۴۸"	۳۵° ۲۸' ۵۲"	۳۵° ۲۸' ۵۳"	۳۵° ۲۸' ۵۸"	۳۵° ۲۹' ۰۴"	۳۵° ۲۹' ۰۵"	۳۵° ۲۸' ۵۶"	۳۵° ۲۸' ۵۱"
Y	۶۰° ۵۰' ۳۱"	۶۰° ۵۰' ۳۱"	۶۰° ۵۰' ۳۸"	۶۰° ۵۰' ۲۸"	۶۰° ۵۰' ۲۳"	۶۰° ۵۰' ۱۸"	۶۰° ۵۰' ۱۵"	۶۰° ۵۰' ۱۰"	۶۰° ۵۰' ۰۰"	۶۰° ۵۰' ۱۴"	۶۰° ۵۰' ۲۳"	۶۰° ۵۰' ۲۴"
Rock name	هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت	بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت	هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت	بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت	بیوتیت هورنبلند مونزوگرانیت	هورنبلند مونزوگرانیت	بیوتیت مونزوگرانیت	هورنبلند گرانودیوریت	بیوتیت سینوگرانیت	هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت	بیوتیت سینوگرانیت	بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت
SiO ₂	۵۶٫۰۳	۵۲٫۶۷	۵۵٫۱۴	۵۴٫۷۱	۶۷٫۳۹	۶۷٫۰۶	۶۹٫۷۶	۶۶٫۷۴	۶۸٫۷۶	۶۵٫۹۱	۶۰٫۰۲	۵۲٫۸
TiO ₂	۰٫۹	۰٫۶۹	۰٫۷۶	۰٫۷۷	۰٫۳	۰٫۳۱	۰٫۳۵	۰٫۳۵	۰٫۳۱	۰٫۳۷	۰٫۵۶	۰٫۷۶
Al ₂ O ₃	۱۵٫۰۶	۱۵٫۵۲	۱۴٫۲۴	۱۵٫۷۹	۱۳٫۸۶	۱۴٫۱۲	۱۳٫۰۲	۱۴٫۶۵	۱۳٫۵۵	۱۴٫۰۷	۱۴٫۳۹	۱۴٫۲۵
TFeO	۱۰٫۴۹	۱۲٫۰۱	۱۰٫۸۷	۱۱٫۶۹	۵٫۵۱	۵٫۳۵	۵٫۶۱	۵٫۵۵	۵٫۳	۶٫۳۸	۸٫۱۹	۱۰٫۵۹
MnO	۰٫۱۶	۰٫۳۲	۰٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۸	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۹	۰٫۱۱	۰٫۱۸
MgO	۳٫۷	۴٫۱۱	۴٫۲۷	۲٫۷۵	۲٫۲۹	۲٫۲۶	۱٫۳۶	۲٫۰۳	۱٫۰۵	۲٫۱۳	۴٫۸۶	۴٫۶۶
CaO	۷٫۰۵	۹٫۴۳	۷٫۷۱	۸٫۱۴	۱٫۵۳	۱٫۷۸	۱٫۲۴	۲٫۶۳	۱٫۶	۲٫۹۸	۳٫۲۲	۹٫۱۴
Na ₂ O	۲٫۸۱	۲٫۴۹	۲٫۲۵	۲٫۸۲	۳٫۱۱	۲٫۸۲	۲٫۶۱	۲٫۸۸	۲٫۶۷	۲٫۹	۳٫۴	۳٫۵۳
K ₂ O	۱٫۷۴	۰٫۷۶	۱٫۶۸	۱٫۱۹	۴٫۳۹	۴٫۸۲	۴٫۳۷	۳٫۹۹	۴٫۵۸	۳٫۴	۳٫۸۳	۰٫۶۵
P ₂ O ₅	۰٫۴۵	۰٫۲۴	۰٫۳۲	۰٫۷۱	۰٫۱	۰٫۰۹	۰٫۱۱	۰٫۱	۰٫۰۹	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۶۱
Total	۹۸٫۳۹	۹۸٫۲۴	۹۸٫۴۱	۹۸٫۷۳	۹۸٫۵۴	۹۸٫۶۷	۹۸٫۵۱	۹۸٫۹۷	۹۷٫۹۶	۹۸٫۳۷	۹۸٫۷۴	۹۸٫۱۷

جدول ۲ برخی عناصر جزئی و کمیاب در توده‌های نفوذی منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه (بر حسب ppm).

	FZ14	FZ23	FZ31	FZ32	FZ33	FZ35	FZ36	FZ38	FZ42	FZ46	FZ52	FZ53
X	۳۵° ۲۹' ۰۳"	۳۵° ۲۹' ۱۹"	۳۵° ۲۸' ۵۶"	۳۵° ۲۸' ۴۸"	۳۵° ۲۸' ۴۸"	۳۵° ۲۸' ۵۲"	۳۵° ۲۸' ۵۳"	۳۵° ۲۸' ۵۸"	۳۵° ۲۹' ۰۴"	۳۵° ۲۹' ۰۵"	۳۵° ۲۸' ۵۶"	۳۵° ۲۸' ۵۱"
Y	۶۰° ۵۰' ۳۱"	۶۰° ۵۰' ۳۱"	۶۰° ۵۰' ۳۸"	۶۰° ۵۰' ۲۸"	۶۰° ۵۰' ۲۳"	۶۰° ۵۰' ۱۸"	۶۰° ۵۰' ۱۵"	۶۰° ۵۰' ۱۰"	۶۰° ۵۰' ۰۰"	۶۰° ۵۰' ۱۴"	۶۰° ۵۰' ۲۳"	۶۰° ۵۰' ۲۴"
V	۱۴۰	۱۴۷	۱۴۸	۱۴۱	۴۱	۳۵	۳۷	۳۹	۳۷	۵۹	۱۰۱	۱۶۱
Cr	۵۴	۶۴	۱۱۹	۵۶	۴۴	۲۸	۲۷	۳۸	۳۰	۳۰	۵۶	۶۹
Co	۱۸	۲۲	۱۹	۱۸	۸	۸	۸	۸	۷	۱۰	۱۴	۲۰
Ni	۱۹	۱۸	۲۸	۲۰	۱۸	۲۰	۲۲	۱۶	۱۹	۲۱	۲۴	۲۳
Cu	۱۷	۲۲	۳۸	۱۵	۲۴	۱۹	۲۴	۱۵	۱۸	۱۹	۲۴	۱۵
Rb	۵۹	۳۳	۵۰	۳۴	۲۰۹	۲۱۲	۲۰۱	۱۸۴	۲۰۵	۱۷۵	۱۴۲	۲۹
Sr	۵۸۰	۳۱۳	۴۰۷	۷۷۱	۲۰۱	۲۶۱	۲۷۹	۲۹۶	۳۴۱	۲۴۲	۴۱۷	۶۸۹
Zr	۱۰۰	۳۷	۱۲۵	۱۱۷	۱۴۴	۱۱۹	۱۵۲	۱۳۶	۱۲۲	۱۴۲	۱۴۰	۶۰
La	۵۲	۱۹	۳۵	۶۰	۳۱	۵۰	۴۲	۳۵	۴۸	۵۴	۳۳	۴۴
Ce	۱۲۱	۸۶	۹۳	۱۴۵	۵۵	۵۰	۴۳	۸۹	۷۰	۱۰۱	۸۸	۱۲۷
Ba	۱۱۵۱	۴۰۱	۱۰۳۰	۹۲۲	۱۰۵۶	۱۰۴۴	۹۳۸	۹۹۱	۱۰۹۳	۹۸۲	۱۳۴۲	۸۱۳



شکل ۴ نمودار نامگذاری سنگ‌های آذرین درونی با استفاده از نسبت کاتیون‌ها [۱۱]. نمونه‌های فیروزکوه در محدوده گرانیت، گرانودیوریت، دیوریت، تونالیت و گابرودیوریت قرار می‌گیرند.

گستره‌ی قبل از برخورد صفحات، همزمان با برخورد و بالا آمدگی پس از برخورد قرار می‌گیرند (شکل ۷). توده‌های نفوذی هورنبلند بیوتیت مونزوگرنایت (FZ14 و FZ31)، بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت (FZ23 و FZ53) و بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت (FZ32)، در محیط زمین‌ساختی قبل از برخورد صفحات، توده‌های نفوذی بیوتیت مونزوگرنایت (FZ33) و FZ36)، هورنبلند مونزوگرنایت (FZ35)، هورنبلند گرانودیوریت (FZ38)، بیوتیت سینوگرنایت (FZ42) و هورنبلند بیوتیت مونزوگرنایت (FZ46)، در گستره‌ی محیط زمین‌ساختی همزمان با برخورد و یک نمونه شامل بیوتیت سینوگرنایت (FZ52) در گستره‌ی محیط زمین‌ساختی بالا آمدگی پس از برخورد قرار می‌گیرند که با ماهیت احیایی توده‌ها هماهنگی دارد (شکل ۷).

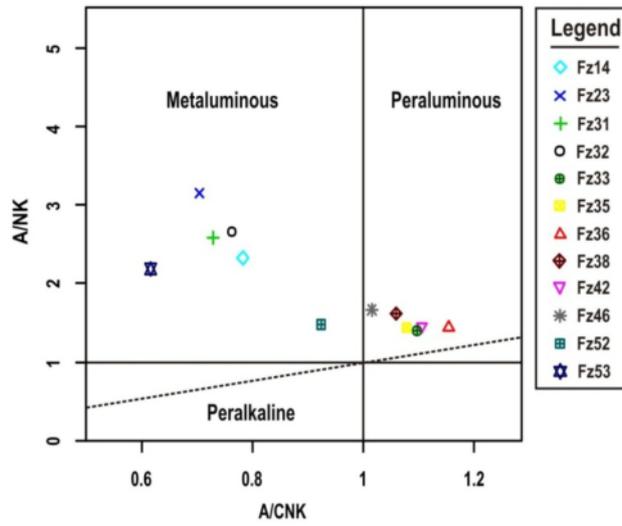
دگرسانی

دگرسانی در منطقه‌ی پی‌جویی فیروزکوه، بیشتر به توده‌های نفوذی وابسته است و اغلب در بخش‌های شمال و شرق منطقه و کمتر غرب دیده می‌شود. شدت دگرسانی به سمت رگه‌های کانی‌سازی افزایش می‌یابد، به طوری که واحدهای رسوبی دگرگون شده اطراف رگه‌ها هم دگرسان شده‌اند. توده‌های نفوذی هورنبلند بیوتیت مونزوگرنایت و هورنبلند گرانودیوریت که به نظر می‌رسد پس از فاز اصلی کانی‌سازی، در منطقه نفوذ کرده‌اند، فاقد دگرسانی هستند. براساس بررسی‌های صحرائی و آزمایشگاهی، سه نوع دگرسان سرسیتیک، سیلیسی و پروپلیتیک در منطقه شناسایی شدند که براساس شدت و نوع به هفت زیرنوع تقسیم می‌شوند که عبارتند از (شکل ۸):

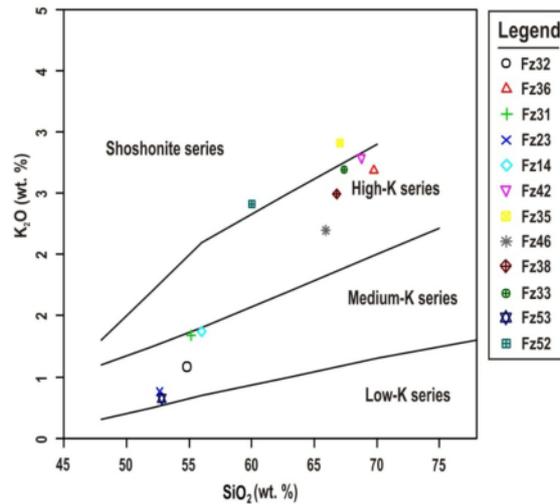
کمی پرآلومینوس نشان می‌دهند (شکل ۵). همه‌ی توده‌های نفوذی اسیدی منطقه شامل بیوتیت مونزوگرنایت (FZ33) و FZ36)، هورنبلند مونزوگرنایت (FZ35)، هورنبلند گرانودیوریت (FZ38)، بیوتیت سینوگرنایت (FZ42) و هورنبلند بیوتیت مونزوگرنایت (FZ46)، از نوع پرآلومینوس هستند و توده‌های نفوذی هورنبلند بیوتیت مونزوگرنایت (FZ31 و FZ14)، بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت (FZ23) و بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت (FZ32) در متالومینوس قرار می‌گیرند (شکل ۵).

مقدار K_2O نمونه‌ها از ۰٫۶۵ تا ۴٫۸۲ متغیر است. براساس نمودار K_2O نسبت به SiO_2 [۱۳]، نمونه‌ها در سری آهکی-قلیایی با پتاسیم کم، آهکی-قلیایی با پتاسیم زیاد و سری شوشونیتی قرار می‌گیرند (شکل ۶). توده‌های نفوذی هورنبلند بیوتیت مونزوگرنایت (FZ14 و FZ31)، بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت (FZ23 و FZ53) و بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت (FZ32) در سری آهکی-قلیایی با پتاسیم کم، توده‌های نفوذی بیوتیت مونزوگرنایت (FZ33) و FZ36)، هورنبلند گرانودیوریت (FZ38)، بیوتیت سینوگرنایت (FZ42) و هورنبلند بیوتیت مونزوگرنایت (FZ46) در سری آهکی-قلیایی با پتاسیم زیاد و ۲ نمونه شامل هورنبلند مونزوگرنایت (FZ35) و بیوتیت سینوگرنایت (FZ52) در سری شوشونیتی واقع شده‌اند.

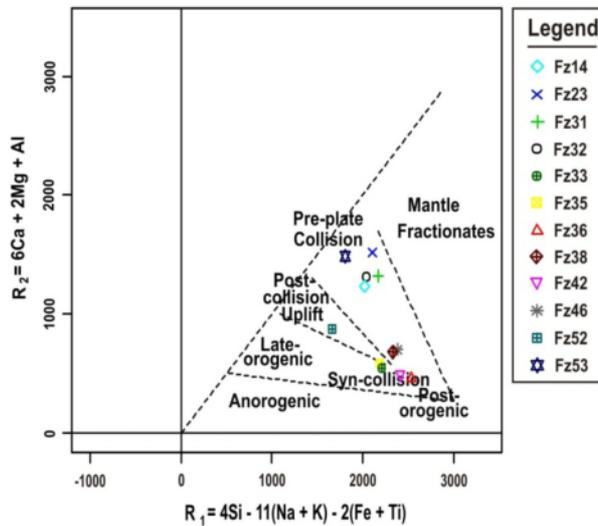
به منظور شناسایی محیط زمین‌ساختی توده‌های نفوذی منطقه، از نمودار Batchelor & Bowden [۱۴]، استفاده شد. براساس این نمودار، نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی در سه



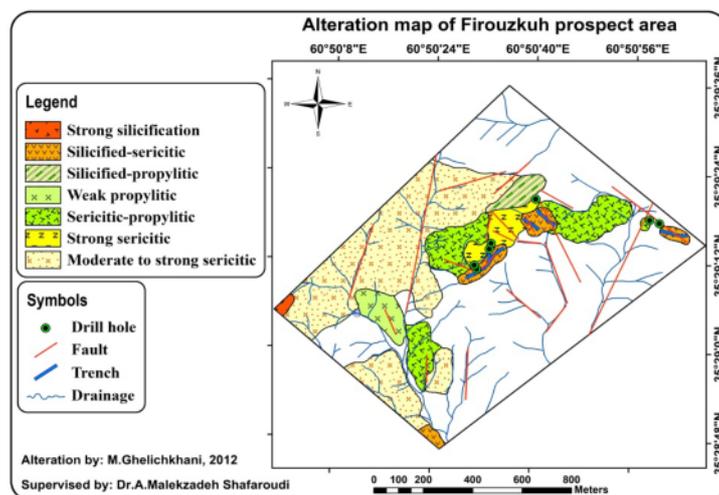
شکل ۵ توده‌های نفوذی منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه در نمودار تعیین اندیس آلومینیوم سنگ‌های آذرین [۱۲].



شکل ۶ توده‌های نفوذی منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه در نمودار تعیین شاخص پتاسیم سنگ‌های آذرین [۱۳].



شکل ۷ توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی فیروزکوه در نمودار محیط زمین‌ساختی گرانیتوئیدها [۱۴].



شکل ۸ نقشه‌ی دگرسانی منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه همراه با موقعیت گمانه‌ها و ترانشه‌ها.

جنوب منطقه (شکل ۸) و در توده‌ی بیوتیت مونزوگرانیت دیده‌می‌شود. کانی‌های اصلی این دگرسانی، کوارتز ثانویه (۱۵ تا ۲۰ درصد) و سرسیت (۵ تا ۱۰ درصد) است. کوارتز ثانویه در زمینه سنگ و نیز به صورت رگچه‌هایی به ضخامت ۱/۸ میلیمتر در سنگ دیده می‌شود و سرسیت حاصل تجزیه پلاژیوکلازها و فلدسپارهای قلیایی است.

دگرسانی سیلیسی شدید: این دگرسانی نیز بخش بسیار کوچکی از غرب منطقه را تحت تاثیر قرار داده (شکل ۸) و در توده‌ی بیوتیت سینوگرانیت به صورت رگچه‌های کوارتز ثانویه به ضخامت ۰/۵ میلیمتر و نیز دانه‌های کوارتز ثانویه (۳۰ تا ۳۵ درصد) در متن سنگ مشاهده می‌شود.

دگرسانی سرسیتیک- پروپلیتیک: این دگرسانی در چهار نقطه در جنوب، مرکز و شرق منطقه مشاهده شد (شکل ۸). دومین دگرسانی وسیع در منطقه است که اغلب در توده‌های نفوذی حدواسط درونی و نیمه‌عمیق مانند بیوتیت هورنبلند مونزوادیوریت، هورنبلند مونزوادیوریت پورفیری، هورنبلند پیروکسن دیوریت و هورنبلند بیوتیت مونزوادیوریت پورفیری دیده می‌شود. اغلب زون‌های کانی‌سازی رگه‌ای در مرز این دگرسانی با دگرسانی سرسیتیک شدید و نیز در دگرسانی سرسیتیک شدید قرار دارند. این دگرسانی نیز از نظر پی‌جوئی می‌تواند مهم باشد. کانی‌های اصلی آن، سرسیت (۲۵ تا ۳۰ درصد)، کلریت (۵ تا ۱۰ درصد) و کانی فرعی، کلسیت (کمتر از ۵ درصد) است. کلریت از تبدیل هورنبلند، پیروکسن و بیوتیت و سرسیت از تبدیل پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی حاصل شده است. یکی از ویژگی‌های مهم این دگرسانی در منطقه‌ی

(۱) دگرسان سرسیتیک متوسط تا شدید: این دگرسانی بخش وسیعی از منطقه را در بخش‌هایی از شمال غربی، غرب و جنوب غربی را می‌پوشاند (شکل ۸). توده‌های نفوذی اسیدی درونی شامل بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت، بیوتیت سینوگرانیت، هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت و هورنبلند مونزوگرانیت تحت تاثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند. این دگرسانی با فاصله از رگه‌های کانی‌سازی قرار دارد. مهمترین کانی این دگرسان، سرسیت است که حاصل تجزیه پلاژیوکلاز و فلدسپارهای قلیایی است و مقدار آن بین ۱۵ تا ۲۰ درصد متغیر است. فلدسپارهای قلیایی، کمتر به سرسیت تبدیل شده‌اند.

دگرسانی سرسیتیک شدید: این دگرسانی بیشتر همراه با کانی‌سازی رگه‌ای منطقه و تا چند ده متری آن‌ها دیده می‌شود. واحدهای متاآرکوز و متاکوارتزآرنایت که بیشتر زون‌های کانی‌سازی رگه‌ای، در این واحدها و مرز آن‌ها با توده‌های نفوذی قرار دارد نیز دستخوش چنین دگرسانی شده‌اند. این دگرسانی بخش‌های مرکزی منطقه و بخش کوچکی از شرق منطقه را تحت تاثیر قرار داده است. کانی‌های اصلی آن، سرسیت (۲۵ تا ۳۰ درصد) و کوارتز (۵ تا ۱۰ درصد) هستند که سرسیت از تجزیه پلاژیوکلاز و فلدسپارهای قلیایی و کوارتز به صورت رگچه یا پراکنده در متن سنگ مشاهده می‌شود. کلسیت (کمتر از ۵ درصد) نیز کانی ثانوی دیگر این دگرسانی است.

دگرسانی سیلیسی- سرسیتیک: این دگرسانی در حریم زون‌های گسلی حاوی کانی‌سازی و نیز بخش بسیار کوچکی در

پیریت (۲۵ تا ۳۰ درصد). ۴- رگچه‌های هماتیت (۳۰ تا ۳۵ درصد) - گوتیت (۶۰ تا ۶۵ درصد).

این زون‌ها بیشتر با هاله‌ای از دگرسانی‌های سرسیتی شدید، سرسیتک- پروپلیتیک و سیلیسی- پروپلیتیک احاطه شده‌اند.

کانی‌سازی افشان در واحد هورنبلند پیروکسن دیوریت در بررسی‌های سطحی و بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت، هورنبلند مونزودیوریت پورفیری و هورنبلند پیروکسن دیوریت در بررسی‌های زیرسطحی دیده می‌شوند. در نمونه‌های بررسی شده از مغزه‌های حفاری، کانی‌سازی هم به صورت رگچه‌های افشان و رگچه‌ای در واحدهای بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت، هورنبلند مونزودیوریت پورفیری و هورنبلند پیروکسن دیوریت وجود دارد. بیشترین تمرکز کانی‌سازی به صورت رگه‌های سیلیسی حاوی آرسنوپیریت، پیریت، کالکوپیریت و پیروتیت به ضخامت ۱ متر است که ترانشه‌ها روی آن‌ها حفر شده است. از تلفیق بررسی‌های حاصل از گمانه‌ها و مقاطع میکروسکوپی نازک صیقلی و صیقلی، از لحاظ زمان تشکیل، دو مرحله‌ی کانی‌سازی در منطقه تشخیص داده شد که شامل اولیه و ثانویه است. کانی‌سازی اولیه شامل آرسنوپیریت، پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت (شکل ۹ الف تا ج) همراه با باطله‌ی کوارتز و کلسیت و کانی‌سازی ثانویه شامل کوولیت، گوتیت و هماتیت است. البته کانی‌مالاکیت در زون‌های گسلی و کانی‌سازی طلا و کبالتیت نیز توسط زرناب اکتشاف [۸] در مقاطع بررسی شده از مغزه‌های حفاری مشاهده شده است. فراوان‌ترین کانی باطله همراه با کانی‌سازی، کوارتز است و تا آخرین مرحله - ی کانی‌سازی حضور دارد (شکل ۱۰). فراوانی آن ۷۰ تا ۷۵ درصد بوده و به‌وسیله‌ی کانی‌های دیگر قطع شده است. کلسیت در رگچه‌ها و همزمان با کالکوپیریت و پیروتیت تشکیل شده است. پیریت‌های شکل‌دار تا بی‌شکل با اندازه‌ی حداکثر ۱/۲ میلی‌متر و فراوانی ۵ تا ۸ درصد، اولین کانی فلزی تشکیل شده‌اند که به‌وسیله‌ی آرسنوپیریت قطع شده‌اند. آرسنوپیریت‌ها با اشکال لوزی‌شکل و مثلثی پس از پیریت تشکیل شده و با کالکوپیریت و در برخی جاها پیروتیت، قطع شده‌اند. حداکثر اندازه‌ی آن‌ها ۱/۳ میلی‌متر و فراوانی ۸ تا ۱۲ درصد دارند. کالکوپیریت تا اندازه حداکثر ۰/۳ میلی‌متر به صورت نیمه- شکل‌دار تا بی‌شکل و فراوانی ۱ تا ۲ درصد، کانی بعدی است

پی‌جوئی فیروزکوه عدم وجود یا کم بودن کانی‌آپیدوت است. نبود آپیدوت در زون‌های پروپلیتیک منطقه، نشان از شرایط احیایی محلول کانی‌ساز دارد.

۶) دگرسانی پروپلیتیک ضعیف: فقط در غرب منطقه در واحد بیوتیت مونزوگرانیت مشاهده می‌شود (شکل ۸). کانی اصلی آن، کلریت (۱ تا ۵ درصد) است که از دگرسانی بیوتیت حاصل شده است.

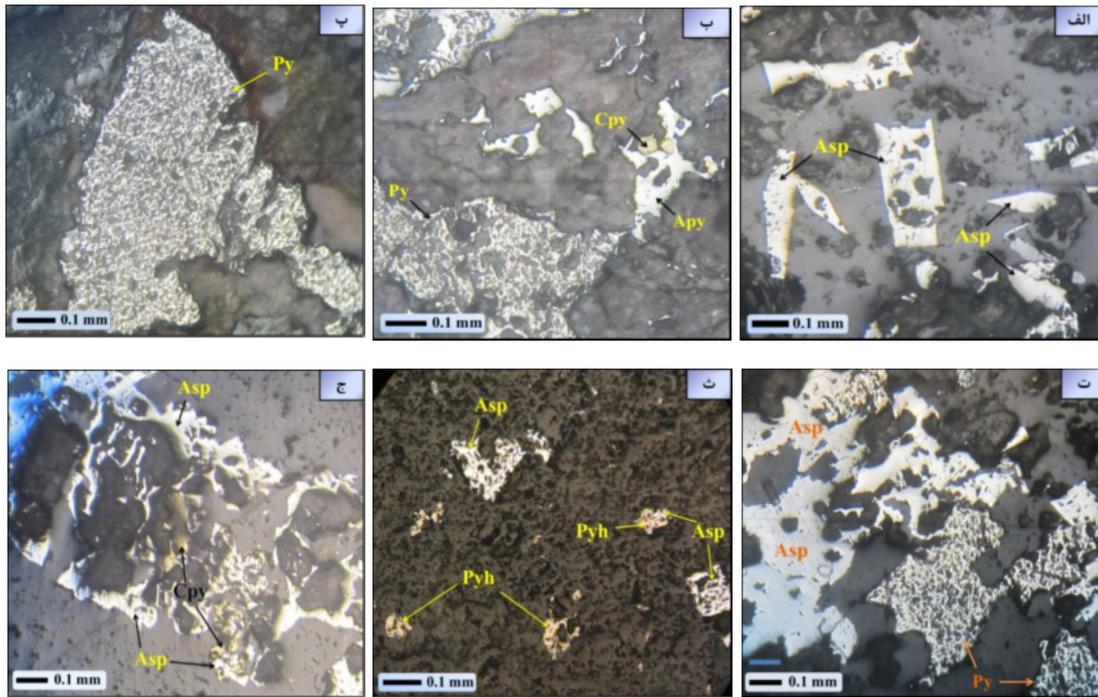
۷) دگرسانی سیلیسی- پروپلیتیک: این دگرسانی در قسمت شمالی منطقه رخنمون دارد (شکل ۸). توده‌ی نفوذی هورنبلند مونزودیوریت پورفیری دارای این دگرسانی است. کانی‌های اصلی آن، کوارتز ثانویه (۲۰ تا ۲۵ درصد) و کلریت (۵ تا ۱۰ درصد) است. کوارتز ثانویه به صورت رگچه‌هایی به ضخامت حداکثر ۰/۸ میلی‌متر و نیز در متن سنگ قابل مشاهده است. کلریت از تبدیل هورنبلند تشکیل شده است.

کانی‌سازی

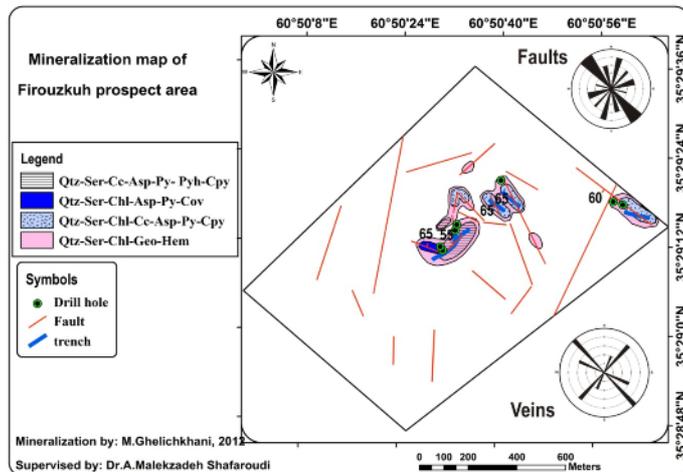
کانی‌سازی در منطقه پی‌جوئی فیروزکوه، کنترل گسلی دارد و اغلب در گسل‌هایی که در مرز توده‌های نفوذی با ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده قرار دارند و در برخی موارد در فواصل دورتر از توده‌ها در گسل‌های موجود در واحدهای ماسه‌سنگ دگرگون‌شده (متأرکوز و متاکوارتزآرنایت) دیده می‌شود. گسل‌ها در منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه، دو نوع روند شمال شرقی- جنوب غربی و شمال غربی- جنوب شرقی دارند و اغلب از نوع راستا لغز با مولفه‌ی راستگردند (شکل ۱۰). کانی‌سازی، به صورت رگه‌ای، درون این زون‌های گسلی تشکیل شده است. رگه‌های کانی‌سازی دارای روند شمال غربی- جنوب شرقی، نسبت به رگه‌های کانی‌سازی دارای روند شمال شرقی- جنوب غربی، فراوانی بیشتری دارند (شکل ۱۰). عرض این زون‌های گسلی حدود ۴ تا ۵ متر و ضخامت رگه‌ها و رگچه‌های زمین- ساخت در محدوده‌ی گسل، از چند سانتی‌متر تا حدود ۲ متر متغیر است. رگچه‌های زمین‌ساختی موجود در سطح و عمق در زون‌های کانی‌سازی عبارتند از: ۱- رگچه‌های کوارتز (۵۵ تا ۶۰ درصد) - آرسنوپیریت (۱۵ تا ۲۰ درصد) - پیریت (۵ تا ۱۰ درصد) - کالکوپیریت (۵ تا ۸ درصد) - پیروتیت (کمتر از ۱ درصد). ۲- رگچه‌های آرسنوپیریت (۵۵ تا ۶۰ درصد) - پیریت (۱۵ تا ۲۰ درصد) - کالکوپیریت (۲ تا ۵ درصد) - کربنات (۱۰ تا ۱۵ درصد). ۳- رگچه‌های آرسنوپیریت (۶۵ تا ۷۰ درصد) -

تشکیل شده و پس از آن به ترتیب کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و پیروتیت تشکیل شده‌اند. دنباله‌ی پاراژنز کانی‌های اولیه، ثانویه و رابطه آنها با کانی‌های غیرفلزی در شکل (۱۱) نشان داده شده است. کانی‌سازی‌های مختلف رگه‌ای در منطقه پی‌جوئی فیروزکوه در شکل (۱۰) دیده می‌شود.

که از لحاظ زمان تشکیل، به صورت هم‌رشدی با پیروتیت تشکیل شده‌است. پیروتیت با اندازه‌ی حداکثر ۰/۳ میلی‌متر و به صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل، فراوانی ناچیزی در حدود ۰/۵ درصد دارد (شکل ۱۰). در کانی‌سازی افشان، فراوان‌ترین کانی، آرسنوپیریت است که هم‌زمان با کوارتز، سرسیت و کلریت



شکل ۹ تصاویر میکروسکوپی از کانی‌سازی‌های مختلف در منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه (نور PPL). (پیریت: Py، آرسنوپیریت: Asp، کالکوپیریت: Cpy، پیروتیت: Phy) الف) کانی آرسنوپیریت با اشکال مختلف لوزی و مثلثی. ب) پاراژنز پیریت- آرسنوپیریت- کالکوپیریت. پ) کانی-سازی پیریت (ت) پاراژنز پیریت- آرسنوپیریت (ث) پاراژنز آرسنوپیریت- پیروتیت (ج) تشکیل کالکوپیریت روی آرسنوپیریت.



شکل ۱۰ نقشه‌ی کانی‌سازی منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه همراه با موقعیت گمانه‌ها و ترانشه‌ها و نمودارهای گلسرخ‌گیسل‌ها و رگه‌های کانی‌سازی. علائم اختصاری: (کوارتز: Qtz، پیریت: Py، آرسنوپیریت: Asp، کالکوپیریت: Cpy، پیروتیت: Phy، کوولیت: Cov، گوتیت: Geo، هماتیت: Hem، سرسیت: Ser، کلریت: Chl، کلسیت: Cc).

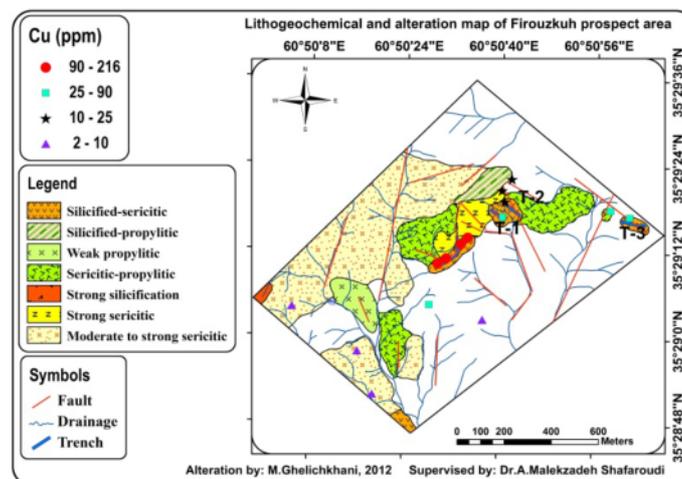
Minerals	Hypogene		Oxidized zone
	Disseminated	Vein	
Arsenopyrite	—————	—————	
Pyrite	—————	—————	
Chalcopyrite	—————	—————	
Pyrrhotite	—————	—————	
Quartz	—————	—————	
Carbonate	—————	—————	
Chlorite	—————	—————	
Sericite	—————	—————	
Covellite	—————	—————	
Geothite	—————	—————	
Hematite	—————	—————	
Time	Early		Late

شکل ۱۱ دنباله‌ی پاراژنز کانی‌سازی منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه.

اکتشافات ژئوشیمیایی ژئوشیمی سطحی

به منظور پی‌جوئی‌های ژئوشیمیایی به روش خرده سنگی از قسمت‌های مختلف سطحی منطقه نظیر زون‌های دگرسان، رگه‌های کانی‌سازی، ترانشه‌ها و نیز از توده‌های نفوذی، تعداد ۲۹ نمونه برداشت شده‌اند که ۱۵ نمونه، در این طرح و ۱۴ طرح دیگر از محل ترانشه‌های ۱ تا ۳ از سوی شرکت زرناب اکتشاف [۸]، بوده است (شکل ۱۲). ۱۵ نمونه از نمونه‌ها به روش جذب اتمی برای عناصر مس، سرب و روی در دانشگاه فردوسی مشهد و ۱۴ نمونه‌ی دیگر از سوی شرکت زرناب اکتشاف به روش ICP-OES برای عناصر مختلف و Fire assay برای طلا در آزمایشگاه تحقیقات مواد معدنی زرآما

تجزیه شدند (جدول ۳ و ۴). نتایج آنالیزها به شرح زیرند:
طلا: دامنه‌ی تغییرات این عنصر از ۱۱ ppb تا ۸۹۴۲ ppb است (جدول ۳). بیشترین مقدار این عنصر در ترانشه T-3 در قسمت شرقی منطقه و مربوط به رگه‌ی سیلیسی حاوی کانی-سازی آرسنوپیریت، کالکوپیریت و پیریت همراه با دگرسانی سیلیسی-سرسیتیک است. همچنین مقادیر قابل توجهی طلا تا ۲۵۵۲ppb نیز در ترانشه‌ی T-1 در واحد متاسیلستون و در فاصله‌ی چند متری توده‌ی نفوذی هورنبلند پیروکسن دیوریت و همراه با دگرسانی سیلیسی-سرسیتیک دیده می‌شود. طلا تقریباً در همه‌ی نمونه‌ها همبستگی مثبتی با آرسنیک دارد. به نظر می‌رسد بخش بزرگ طلای منطقه در قالب کانی آرسنوپیریت است.



شکل ۱۲ نقشه‌ی ژئوشیمی عنصر مس منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه.

جدول ۳ نتایج آنالیز نمونه‌های سنگی به روش ICP-OES [۷].

As (ppm)	Au (ppb)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Sample	Trench
۱۲۷۹۷	۲۵۵۲	۳۵	۳۹	۲۱۰	OFT1-1	T-1
۲۵۷	۱۵	۲۷	۶۰	۹۴	OFT2-1	T-2
۶۲۶	۴۳	۱۳	۶۹	۱۰۸	OFT2-2	
۳۰۱	۲۲	۱۵	۶۱	۶۱	OFT2-3	
۲۷۸	۶۳	۱۵	۷۳	۶۴	OFT2-4	
۲۶۷	۲۹	۱۵	۷۸	۹۳	OFT2-5	
۸۶۴	۷۷	۱۸	۸۱	۷۱	OFT2-6	
۳۰۱	۴۲	۱۵	۷۹	۶۷	OFT2-7	
۲۱۹	۱۳	۱۳	۷۳	۷۷	OFT2-8	
۶۹	۱۱	۱۵	۹۷	۱۲۰	OFT2-9	
۱۳۳۲	۳۵۹	۲۱	۵۷	۱۳۳	OFT3-1	T-3
۷۴۵۰۰	۸۹۴۲	۳۱	۳۴	۳۵۷	OFT3-2	
۱۷۵	۹۲	۱۸	۴۲	۵۹	OFT3-3	
۹۳	۷۸	۲۷	۷۱	۴۸	OFT3-4	

دگرسانی دگرسانی سرسیتیک- پروپلیتیک و سیلیسی- سرسیتیک دیده می‌شود (شکل ۱۳).

سرب: دامنه‌ی تغییرات این عنصر از ۱۳ ppm تا ۴۵ ppm است (جدول‌های ۳ و ۴ و شکل ۱۴). بیشترین مقدار این عنصر در مرکز و جنوب غربی منطقه و همراه با واحدهای هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت، بیوتیت مونزوگرانیت و هورنبلند مونزوگرانیت و با دگرسانی‌های سرسیتیک متوسط تا شدید و سیلیسی- سرسیتیک است.

ژئوشیمی زیرسطحی

در مجموع ۷ گمانه در منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه حفر شدند که دو گمانه OBH-5 (۴۲/۷۵ متر) و OBH-6 (۳۶/۹ متر) در شرق منطقه، گمانه OBH-1 (۴۷ متر) در شمال شرق و ۴ گمانه OBH-2 (۴۱ متر)، OBH-3 (۵۴/۵ متر)، OBH-7 (۱۰۴/۵ متر) و OBH-9 (۴۱/۸ متر) در مرکز منطقه قرار دارند (شکل‌های ۲ و ۸). تعداد ۲۶۵ نمونه از مغزه‌های حفاری از سوی شرکت زرناب اکتشاف برداشت شده و به روش ICP-OES در آزمایشگاه تحقیقات مواد معدنی زرآما آنالیز شدند [۸].

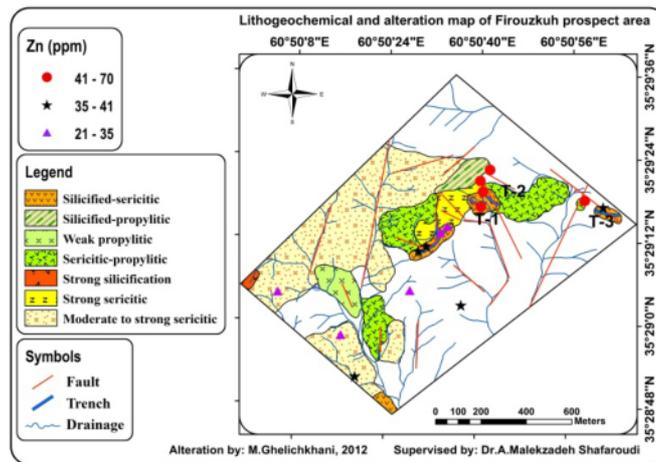
مس: دامنه‌ی تغییرات این عنصر از ۲ ppm تا ۳۵۷ ppm است (جدول‌های ۳ و ۴ و شکل ۱۲). بیشترین مقدار این عنصر در ترانشه T-3 در بخش شرقی منطقه مربوط به رگه‌ی سیلیسی حاوی کانی‌سازی آرسنوپیریت، کالکوپیریت و پیریت همراه با دگرسانی سیلیسی- سرسیتیک است (شکل ۱۲). با توجه به مشاهدات صحرائی و بررسی مقاطع نازک صیقلی و صیقلی، این عنصر بیشتر در قالب کانی کالکوپیریت و کمتر کولیت است.

آرسنیک: دامنه‌ی تغییرات این عنصر از ۶۹ ppm تا ۷۴۵۰۰ ppm است (جدول ۳). بیشترین مقدار این عنصر در ترانشه T-3 در قسمت شرقی منطقه و مربوط به رگه سیلیسی حاوی کانی‌سازی آرسنوپیریت، کالکوپیریت و پیریت همراه با دگرسانی سیلیسی- سرسیتیک است. مانند طلا، مقادیر قابل توجهی آرسنیک تا ۱۲۷۹۷ ppm نیز در ترانشه T-1 همراه با دگرسانی سرسیتیک شدید دیده می‌شود (شکل ۱۲) که نشان- دهنده‌ی همبستگی بالای آن با طلا در منطقه است.

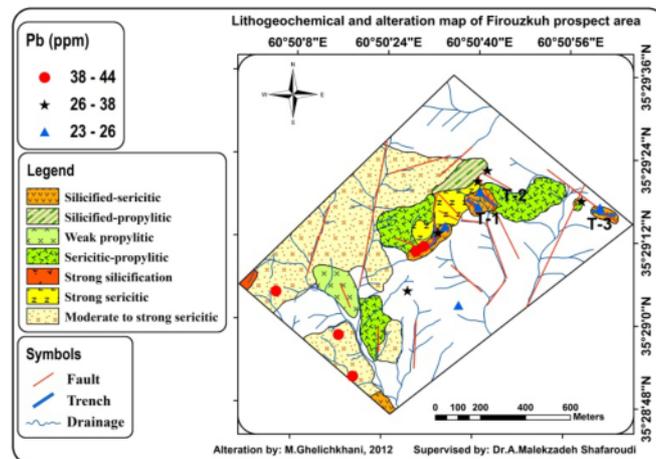
روی: دامنه‌ی تغییرات این عنصر از ۲۱ ppm تا ۹۷ ppm است (جدول‌های ۳ و ۴ و شکل ۱۳). بیشترین مقدار این عنصر در ترانشه‌ی T-2 در شرق منطقه در مرز واحدهای هورنبلند پیروکسن دیوریت با متاسیلستون و متاآرکوز و همراه با

جدول ۴ نتایج آنالیز ژئوشیمیایی نمونه‌های خرده‌سنگی (Chip composite) به روش جذب اتمی (A.A).

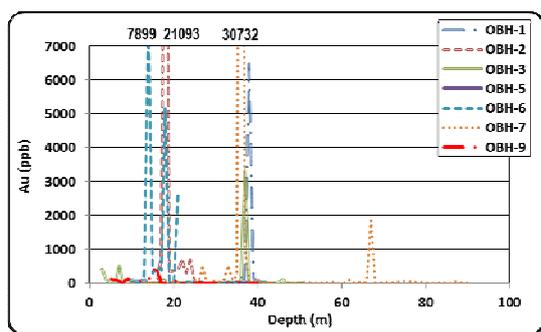
Pb(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)	Latitude	Longitude	Sample
۲۴	۳۷	۶۴	"۶.۰°۵۱'۰۱	"۳۵°۲۹'۱۷	FZC1
۲۷	۵۴	۴۴	"۶.۰°۵۰'۵۸	"۳۵°۲۹'۱۷	FZC2
۲۴	۴۲	۱۹	"۶.۰°۵۰'۴۰	"۳۵°۲۹'۱۸	FZC3
۲۳	۴۵	۴۸	"۶.۰°۵۰'۴۰	"۳۵°۲۹'۱۶	FZC4
۲۵	۲۱	۹۶	"۶.۰°۵۰'۳۴	"۳۵°۲۹'۱۳	FZC5
۳۱	۲۳	۹۱	"۶.۰°۵۰'۳۳	"۳۵°۲۹'۱۲	FZC6
۳۸	۷۰	۲۵	"۶.۰°۵۰'۴۱	"۳۵°۲۹'۲۲	FZC7
۳۷	۵۴	۲۴	"۶.۰°۵۰'۴۰	"۳۵°۲۹'۲۰	FZC8
۲۶	۳۶	۶	"۶.۰°۵۰'۳۷	"۳۵°۲۹'۰۲	FZC9
۳۸	۲۸	۲۶	"۶.۰°۵۰'۲۸	"۳۵°۲۹'۰۴	FZC10
۳۹	۴۱	۲۱۶	"۶.۰°۵۰'۲۹	"۳۵°۲۹'۱۰	FZC11
۴۱	۴۱	۱۲۶	"۶.۰°۵۰'۳۱	"۳۵°۲۹'۱۰	FZC12
۴۱	۳۸	۴	"۶.۰°۵۰'۱۹	"۳۵°۲۸'۵۱	FZC13
۴۱	۳۲	۲	"۶.۰°۵۰'۱۶	"۳۵°۲۸'۵۷	FZC14
۴۵	۳۱	۲	"۶.۰°۵۰'۰۵	"۳۵°۲۹'۰۳	FZC15



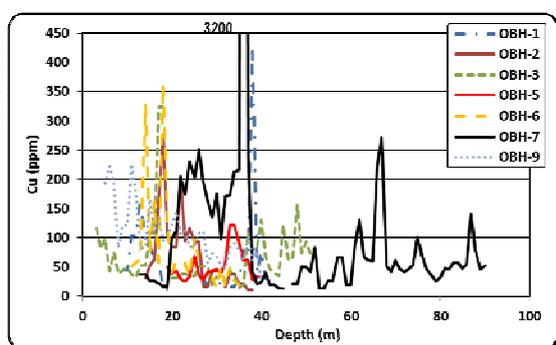
شکل ۱۳ نقشه‌ی ژئوشیمی عنصر روی منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه.



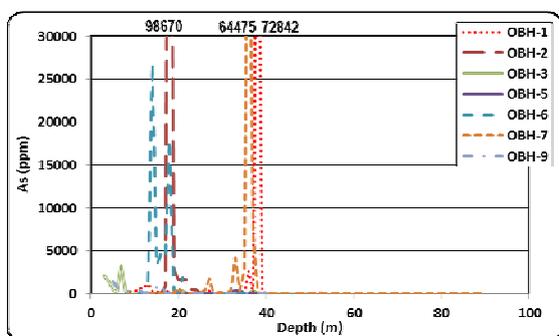
شکل ۱۴ نقشه‌ی ژئوشیمی عنصر سرب منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه.



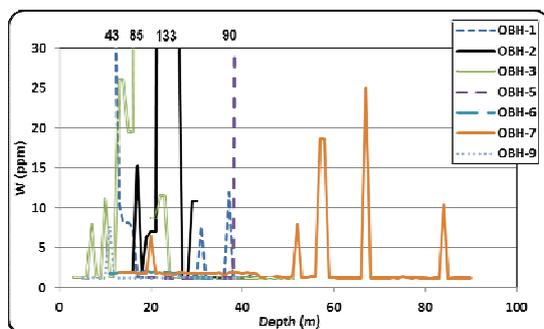
شکل ۱۵ تغییرات عنصر طلا در گمانه‌های منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه.



شکل ۱۶ تغییرات عنصر مس در گمانه‌های منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه.



شکل ۱۷ تغییرات عنصر آرسنیک در گمانه‌های منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه.



شکل ۱۸ تغییرات عنصر تنگستن در گمانه‌های منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه.

طلا: دامنه‌ی تغییرات طلا در گمانه‌ها از ۰٫۵ ppb تا ۳۰۷۳۲ ppb متغیر است. بالاترین مقدار طلا، ۳۰۷۳۲ ppb در گمانه OBH-7 در عمق ۳۵ تا ۳۶ متری است. پس از OBH-7، گمانه‌های OBH-2 با ۲۱۰۹۳ ppb (عمق ۱۷ تا ۱۸ متری)، OBH-1 با ۶۴۷۹ ppb (عمق ۳۷ تا ۳۸ متری) و OBH-6 با ۷۸۹۹ ppb (عمق ۱۳ تا ۱۴ متری) نیز طلای بالایی دارند (شکل ۱۵).

مس: دامنه‌ی تغییرات مس در گمانه‌ها از ۱۰ ppm تا ۳۲۰۰ ppm متغیر است. بالاترین مقدار مس، ۳۲۰۰ ppm در گمانه OBH-7 در عمق ۳۵ تا ۳۶ متری است. پس از OBH-7، گمانه‌های OBH-1 با ۴۲۸ ppm (عمق ۳۸ تا ۳۹ متری)، OBH-6 با ۳۶۴ ppb (عمق ۱۸ تا ۱۹ متری) و OBH-3 با ۳۲۴ ppm (عمق ۱۶ تا ۱۷ متری) نیز میزان مس بالایی دارند (شکل ۱۶).

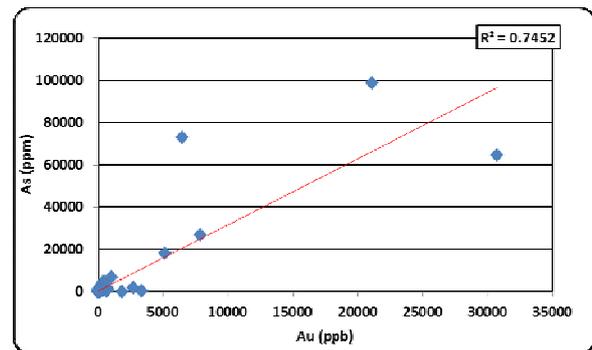
آرسنیک: دامنه‌ی تغییرات آرسنیک در گمانه‌ها از ۱ ppm تا ۹۸۶۷۰ ppm متغیر است. بیشترین میزان آرسنیک ۹۸۶۷۰ ppm در عمق ۱۷ تا ۱۸ متری گمانه‌ی OBH-2 مشاهده می‌شود. پس از OBH-2، گمانه‌های OBH-1 با ۶۴۴۷۵ ppm (عمق ۳۷ تا ۳۸ متری)، OBH-7 با ۷۲۸۴۲ ppm (عمق ۳۵ تا ۳۶ متری) و OBH-6 با ۲۶۸۱۷ ppm (عمق ۱۳ تا ۱۴ متری) نیز میزان آرسنیک بالایی دارند (شکل ۱۷). همبستگی مثبت نسبتاً بالایی ($R^2 = 0.75$) بین طلا و آرسنیک دیده می‌شود (شکل ۱۹).

تنگستن: دامنه‌ی تغییرات تنگستن در گمانه‌ها از ۷٫۲ ppm تا ۱۳۳ ppm متغیر است. بالاترین میزان تنگستن، ۱۳۳ ppm در عمق ۲۲ تا ۲۳ متری گمانه‌ی OBH-2 مشاهده می‌شود. پس از OBH-2، گمانه‌های OBH-5 با ۹۰ ppm (عمق ۳۹ تا ۴۱ متری) و OBH-3 با ۸۵ ppm (عمق ۱۷ تا ۱۹ متری) نیز میزان تنگستن بالایی دارند (شکل ۱۸).

به طور کلی بیشترین مقادیر عناصر مس، آرسنیک، تنگستن و طلا مربوط به اعماقی است که کانی‌سازی‌های آرسنوپیریت، پیریت، کالکوپیریت و پیروتیت مشاهده شده‌اند. به دلیل همبستگی نسبتاً بالای طلا و آرسنیک ($R^2 = 0.75$) (شکل ۱۹)، به نظر می‌رسد طلا بیشتر در قالب کانی آرسنوپیریت انباشته شده است.

آرسنیک (تا ۷۴۵۰۰ ppm)، مس (تا ۳۵۷ ppm)، روی (تا ۹۷ ppm) و سرب (تا ۴۵ ppm) وابسته به کانی‌سازی رگه‌ای را در نمونه‌های سطحی منطقه نشان می‌دهد. بیشترین میزان طلا، آرسنیک و مس در ترانشه‌ی T-3 در بخش شرقی منطقه و به رگه‌ی سیلیسی حاوی کانی‌سازی آرسنوپیریت، کالکوپیریت و پیریت و همراه با دگرسانی سرسیستیک شدید وابسته است. بیشترین مقدار روی در ترانشه T-2 در شمال شرقی منطقه، در مرز واحدهای هورنبلند پروکسن دیوریت با متاسیلستون و متاآرکوز و همراه با دگرسانی سرسیستیک- پروپلیتیک و بیشترین مقدار سرب در مرکز و جنوب غربی منطقه و همراه با واحدهای هورنبلند بیوتیت مونزوگرنایت، بیوتیت مونزوگرنایت و هورنبلند مونزوگرنایت و با دگرسانی‌های سرسیستیک متوسط تا شدید و سرسیستیک- پروپلیتیک دیده می‌شود. مقایسه‌ی ژئوشیمی گمانه‌ها نشان می‌دهد که بیشترین میزان طلا (۳۰۷۳۲ ppb) و مس (۳۲۰۰ ppm) در گمانه‌ی OBH-7 در عمق ۳۵ تا ۳۶ متری، بیشترین میزان آرسنیک (۹۸۶۷۰ ppm) در عمق ۱۷ تا ۱۸ متری در گمانه‌ی OBH-2 و بیشترین میزان تنگستن (۱۳۳ ppm) در عمق ۲۲ تا ۲۳ متری در گمانه‌ی OBH-2 دیده می‌شود. طلا تقریباً در همه‌ی نمونه‌ها همبستگی مثبتی با آرسنیک دارد که نشان می‌دهد این عنصر بیشتر در قالب کانی آرسنوپیریت و کمتر به صورت آزاد و در قالب کانی‌های پیروتیت و پیریت حضور دارد. به منظور بررسی مدل کانی‌سازی منطقه پی‌جوئی فیروزکوه، این منطقه با انواع مختلف کانی‌سازی‌های طلای دنیا مقایسه شد. این کانی‌سازی شباهت‌های زیادی با سیستم‌های طلای وابسته به توده‌های نفوذی احیایی (Reduced Intrusion-related gold systems) دارد. در این سیستم‌ها، سنگ میزبان کانی‌سازی طلا را توده‌های نفوذی تشکیل می‌دهد و این سیستم‌ها از نوع ماگمایی- گرمایی هستند. مثال‌هایی از این ذخایر در آلاسکا، اسپانیا، بولیوی، استرالیا و ایران [۱۵]، وجود دارند. بیشتر این ذخایر به فانروزویک وابسته‌اند. هفت ویژگی برای این ذخایر معرفی شده‌اند [۱۶-۲۷].

(۱) همراهی با نفوذی‌های شبه‌قلیایی متاآلومینوس حدواسط تا اسیدی احیایی (بیشتر در حد گرانیات تا گرانودیوریت) که نزدیک مرز بین سری ایلمنیت و سری مگنتیت هستند، (۲) داشتن چشمه‌های گرمایی کربونیک، (۳) مجموعه فلزی شامل



شکل ۱۹ نمودار همبستگی طلا و آرسنیک در گمانه‌های منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه.

بحث و برداشت

زمین‌شناسی منطقه شامل ماسه‌سنگ‌های دگرگون ازند میانکوهی (نورین تا رسین زیرین یا تریاس) است که توده‌های نفوذی اسیدی- حدواسط با ترکیب مونزوگرنایت تا دیوریت در آن نفوذ کرده‌اند. دامنه‌ی پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های نفوذی از صفر تا $SI \times 10^{-5}$ متغیر است و به گرانیتهای احیایی سری ایلمنیت وابسته‌اند. این توده‌ها در برخی نقاط تحت تاثیر دگرسانی‌های سرسیستیک متوسط تا شدید، سرسیستیک شدید، سیلیسی- سرسیستیک، سیلیسی شدید، سرسیستیک- پروپلیتیک، سیلیسی- پروپلیتیک و پروپلیتیک ضعیف قرار گرفته‌اند. بررسی ژئوشیمی توده‌های نفوذی نشان می‌دهد که آن‌ها از متاآلومینوس تا پرآلومینوس متغیرند. توده‌های نفوذی هورنبلند مونزوگرنایت و بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت، در سری شوشونیتی و بقیه‌ی توده‌ها در محدوده‌ی پتاسیم متوسط تا بالا قرار می‌گیرند. موقعیت زمین‌ساختی توده‌ها از قبل از برخورد تا بالا آمدگی پس از برخورد قاره‌ها متغیر است. کانی‌سازی کنترل گسلی داشته و درمرز توده‌های نفوذی با ماسه‌سنگ‌های دگرگون و یا داخل واحد دگرگون دیده می‌شود. همچنین کانی‌سازی افشان در واحدهای هورنبلند پروکسن دیوریت در بررسی‌های سطحی و بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت، هورنبلند مونزودیوریت پورفیری و هورنبلند پروکسن دیوریت در بررسی‌های زیرسطحی دیده می‌شوند. کانی‌سازی اولیه شامل طلا، آرسنوپیریت، پیریت، کالکوپیریت و پیروتیت و کانی‌سازی ثانویه شامل کوولیت، هماتیت و گوتیت است. پی‌جوئی‌های ژئوشیمیایی به روش خرده‌سنگی، بیهنجاری‌هایی از عناصر طلا (تا ۸۹۴۲ ppb)،

در مجموع بیشترین شباهتی که بین کانی‌سازی منطقه‌ی فیروزکوه و سیستم‌های طلای وابسته به توده‌های نفوذی احیایی (Reduced Intrusion-related gold systems) وجود دارد، ارتباط کانی‌سازی با توده‌های نفوذی (در حد گرانیت تا دیوریت)، حضور زون‌های دگرسانی سرسیتیک و سیلیسی، ماهیت احیایی توده‌ها (گرانیتوئیدهای سری ایلمنیتی احیایی) و به پیروی با ماهیت احیایی مجموعه فلزی و کانی-های آن (آرسنوپیریت و پیروتیت)، کنترل ساختاری کانی‌سازی و حضور بیهنجاری بالای عناصر طلا، مس، آرسنیک و تنگستن است. همچنین ویژگی‌های کانی‌سازی درون سنگ میزبان، مجاور توده و دور از توده‌ی نفوذی در منطقه‌ی فیروزکوه دیده می‌شود، ولی به دلیل نبود سنگ کربناتی در منطقه، کانی‌سازی اسکارن تشکیل نشده است. البته تفاوت‌هایی مانند نبود زون-های فلدسپاتیک و آرژیلیک پیشرفته نیز در منطقه فیروزکوه مشاهده می‌شود. برای تایید بیشتر این ادعا، بررسی شماره‌های درگیر و بررسی‌های زیرسطحی تا اعماق بیشتر مورد نیاز است که در حال انجام است.

قدردانی

این پروژه با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۱۸۴۳۸/۳ مورخ ۱۳۹۰/۴/۲۸ انجام شده است. از سازمان صنعت و معدن و تجارت استان خراسان رضوی به ویژه جناب آقای مهندس حسین عباس‌نیا به دلیل در اختیار گذاشتن نتایج ژئوشیمی ترانشه‌ها و گمانه‌ها، کمال تشکر را داریم.

مراجع

- [۱] نبوی م.ح.، "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۵۵)، ۱۰۹ صفحه.
- [۲] علوی نائینی م.، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت جام"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۵).
- [۳] قلیچ‌خانی م.، ملک‌زاده شفارودی آ.، و حیدریان شهری م.ر.، "زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی فیروزکوه، شمال شرق تربت جام، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۹۰).

طلا و عناصر بیسموت، قلع، تنگستن، آرسنیک، مولیبدن، تلوریوم و یا آنتیموان و مقدار کم فلزات پایه (کمتر از ۵۰۰ گرم در تن)، ۴) مقدار کانی سولفیدی آن‌ها کم و اغلب کمتر از ۵ درصد است (البته استثناهایی نیز وجود دارند). مجموعه کانی آن، احیایی و شامل آرسنوپیریت، پیروتیت و پیریت بوده و مگنتیت و هماتیت وجود ندارند، ۵) دگرسانی گرمایی معمولاً ضعیف است و اغلب در اعماق کمتر مشاهده می‌شود، ۶) موقعیت زمین‌ساختی آن‌ها معمولاً مرزهای همگراست که شامل نفوذی‌های قلیایی، متاآلومینوس آهکی-قلیایی و ترکیبات پرآلومینوس است و ۷) موقعیت این کانی‌سازی‌ها معمولاً در مناطقی است که کانی‌سازی‌های قلع و تنگستن شکل گرفته‌اند.

ریخت‌شناسی این ذخایر در اعماق کم (کمتر از یک کیلومتر)، به صورت رگچه‌های صفحه‌ای، در اعماق متوسط (۳/۵ کیلومتری و کمتر)، در برش‌های گرمایی و در اعماق جایگزینی (۳ تا ۶ کیلومتری)، به صورت کانی‌سازی رگه‌های کوارتز صفحه‌ای، گرایزن یا افشان دیده می‌شوند. بافت‌های برشی، افشان و داربستی نیز در آن‌ها وجود دارند. Hart و همکاران (۲۰۰۰) براساس فاصله‌ی کانی‌سازی از توده نفوذی، سه نوع کانی‌سازی را معرفی کرده‌اند:

۱) کانی‌سازی داخل توده‌ی نفوذی (Intrusion-hosted) که شامل $Au - Bi \pm Sn \pm Te \pm As \pm Mo \pm W$ می‌شوند. ۲) کانی‌سازی در مجاورت توده‌ی نفوذی (Proximal) شامل اسکارن $W \pm Cu \pm Au$ و $Cu - B I \pm Au \pm W$ و ۳) کانی‌سازی دور از توده‌ی نفوذی (Distal) شامل رگه‌های کوارتز-سولفید دما متوسط تا دما بالای طلادار ($Au-As-Sb \pm Hg$) در طول گسل‌ها. تنوع قائم در این بخش از ذخایر، کمتر ولی درجه‌ی گسترش و تنوع جانبی زیاد است. کانی‌های سولفیدی در نوع دوم و سوم بیشتر است و تا به بیش از ۲۰ درصد می‌رسد. دگرسانی به ترتیب شامل زون‌های فلدسپاتیک، سرسیتیک، کربناتی، سیلیسی، گرایزن، سیلیکات قلیایی، تورمالین و آرژیلیک پیشرفته است. کنترل‌های ساختاری نیز اغلب در این ذخایر دیده می‌شوند. عیار طلا در این سیستم‌ها بیشتر از ۰/۸ گرم در تن است و ذخیره آن به بیش از ۳۰ تن می‌رسد.

Kastamonu area, Northern turkey, Contributions to Mineralogy and Petrology, 58 (1976) 63-81.

[14] Batchelor R.A., Bowden P., *Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters*, *Chemical Geology* 48 (1985) 43-55.

[۱۵] کریم‌پور م.ح.، ملک‌زاده سفارودی آ.، حیدریان شهری م.ر.، و عسکری ا.، "کانی‌سازی، دگرسانی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی طلا- قلع هیرد"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱ ص ۶۷-۹۰.

[16] Sillitoe R. H., *Intrusion-related gold deposits*, Foster RP (ed) *Gold metallogeny and exploration*. Blackite, Glasgow, (1991) 20-165.

[17] Holister V.F., "On a proposed plutonic porphyry gold deposit model", *Nonrenewable Resour* 1 (1992) 293-302.

[18] Newberry R. J., Burns L. E., Solie D. N., Clautice. H., *A revised geological Model for the North star gold belt*, interior Alaska, Progress report, Alaska Division of geological and Geophysical Public-Data File (1988) 23-88.

[19] Newberry R. J., McCoy D. T., Brew D. A., *Plutonic-hosted gold ores in Alaska: igneous versus metamorphic origins*, *Resour Geol Spec Issue* 18 (1995) 57-100.

[20] Lang J. R., Thompson J. F. H., Mortensen J. K., Baker T., 1997, *Intrusion related Au mineralization associated with lithophile elements, an under recognized metallogenic association*, *Geol Soc Am Prog Abstr* 29 (1997) 358.

[21] McCoy D. T., Newberry R. J., Layer P. W., DiMarchi J. J., Bakke A., Masterman J. S., Minehane D. L., *Plutonic related gold deposits of interior Alaska*, In: Goldfarb, R.J, Miller, L. D (eds) *Ore deposits of Alaska*, Soc Econ Geol Monogr 9 (1997) 19-151.

[22] Thompson J. F. H., Sillitoe R. H., Baker T., Lang J. R., Mortensen J. K., *Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces*, *Miner deposita* 34 (1999) 323-334.

[23] Goldfarb R., Hart C., Miller M., Miller L., Farmer G.L., Groves D., *The Tintina gold belt-*

[۴] گندمکار ا.ح.، ملک‌زاده سفارودی آ.، حیدریان شهری م.ر.، "آلتراسیون، ژئوشیمی و کانی‌سازی منطقه اکتشافی بوت‌گنژ، شمال شرق تربت جام"، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۹۰).

[۵] رضائی ف.، کریم‌پور م.ح.، و ملک‌زاده سفارودی آ.، "مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی و ژئوشیمی زیرسطحی منطقه اکتشافی تاریک‌دره، شمال غرب تربت جام"، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۹۰).

[۶] خزاعی م.، ملک‌زاده سفارودی آ.، و حیدریان شهری م.ر.، "زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی شمال شرق منطقه اکتشافی تاریک‌دره، شمال غرب تربت جام"، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۹۰).

[۷] مهندسین مشاور معدن آرا، "اکتشاف نیمه‌تفصیلی طلا و تنگستن تاریک‌دره (شمال تربت جام) در منطقه بوت‌گنژ-انبورتا"، سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی، (۱۳۸۹).

[۸] مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، "گزارش اکتشاف مقدماتی پلی‌متال فیروزکوه و تاریک‌دره- تربت‌جام"، سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی، (۱۳۸۹)، ۱۰۵ صفحه.

[۹] افشارحرب ع.، "زمین‌شناسی کپه‌دانغ"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۳)، ۲۷۵ صفحه.

[10] Ishihar S., *The granitoid series and mineralization*, *Economic Geology*, 75th Anniv 75 (1981) 458-484.

[11] Dela Roche H., Leterrier J., Grande Claude P., Marchal M., *A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagrams and major elements analyses, its relationships and current nomenclature*. *Chemical Geology* 29 (1980) 183-210.

[12] Shand S.J., *Eruptive rocks, Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite*. New York, John Wiley & Sons (1943).

[13] Peccerillo A., Taylor S. R., *Geochemistry of Eocene calc-alkalin volcanic rocks from the*

and Yukon Chamber of Mines Special Volume 2 (2000) 59-88.

[26] Lang J.R., Baker T., 2001, *Intrusion-related gold systems: the present level of understanding*, Mineralium deposita, 36 (2001) 477-489.

[27] Hart C.J.R., Baker T., Burke M., 2000, *New exploration concepts for country-rock-hosted, intrusion-related gold systems: Tintina gold belt in Yukon*, In: Tucker TL, Smith MT (eds) *The Tintina gold belt: Concepts, exploration and discoveries*, British Columbia and Yukon Chamber of Mines Special Volume 2 (2000) 145-172.

global perspective, In: Tucker TL, Smith MT (eds) *The Tintina gold belt: Concepts, exploration and discoveries*, British Columbia and Yukon Chamber of Mines Special 2 (2000) 5-34.

[24] Lang J.R., Baker T., Hart C. J. R., Mortensen J. K., *An exploration model for intrusion-related gold systems*, Soc Econ Geol News 40 (1) (2000) 7-15.

[25] Newberry R. J., *Mineral deposits and associated Mesozoic and Tertiary igneous rocks within the Interior Alaska and adjacent Yukon portions of the Tintina gold belt: Concepts, exploration, and discoveries*, British Columbia