

## زمین‌شناسی، کانی‌سازی و ژئوشیمی منطقه اکتسافی فیروزکوه، شمال شرق تربت جام

مهدی قلیچ‌خانی<sup>\*</sup>، آزاده ملک‌زاده شفارودی، محمدرضا حیدریان شهری

گروه پژوهشی اکتساف 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  $SI^{-5} \times 10^{-4}$  بوده و به گرانیتوئیدهای احیایی 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 متالومینوس تا پرآلومینوس متغیرند و در گستره‌ی پتاسیم متوسط تا بالا و گاه شوشوئنیتی قرار می‌گیرند. موقعیت زمین-ساختمانی توده‌ها از قبل از برخورد قاره‌ها تا بالاًمدگی پس از آن در حال تغییر بوده است. کانی‌سازی اولیه شامل طلا، آرسنوبیریت، توده‌های نفوذی با سنگ‌های دگرگون شده یا داخل واحد دگرگونی تشکیل شده است. کانی‌سازی اولیه شامل طلا، آرسنوبیریت، پیریت، کالکوبیریت و پیروتیت و کانی‌سازی ثانویه شامل کوولیت، هماتیت و گوتیت است. پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی به روش خرد-سنگی، بیهنجاری‌هایی از عناصر طلا (تا ۸۹۴۲ ppb)، 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. ژئوشیمی گمانه‌ها نشان دهنده‌ی بیشترین طلا (۳۰۷۳۲ ppm) 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 آرسنوبیریت و کمتر به صورت آزاد و یا در قالب کانی‌های پیروتیت و پیریت قرار دارد. با توجه به ماهیت احیایی توده‌های نفوذی سری ایلمنیت، مجموعه کانی‌سازی احیایی (آرسنوبیریت 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 احیایی باشد که احتیاج به بررسی‌های بیشتر دارد.

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

شروعی 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

### مقدمه

منطقه‌ی پی‌جویی فیروزکوه در استان خراسان رضوی و در ۳۵ کیلومتری شمال شرق تربت جام بین طولهای جغرافیایی "۴۹°۵۸' و "۵۱°۰۸' و عرضهای جغرافیایی "۳۵°۲۹' و "۴۶°۲۸' 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

\* نویسنده مسئول، تلفن نمبر: ۰۵۱۱۸۷۹۷۷۷۵، پست الکترونیکی: Mehdi.gh24@gmail.com

ارتباط آنها با زون‌های کانی‌سازی موجود و در نهایت تعیین مدل کانی‌سازی در منطقه پی‌جوبی 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) تهیهی نقشه زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ در منطقه‌ای به وسعت ۱/۴ کیلومتر مربع.

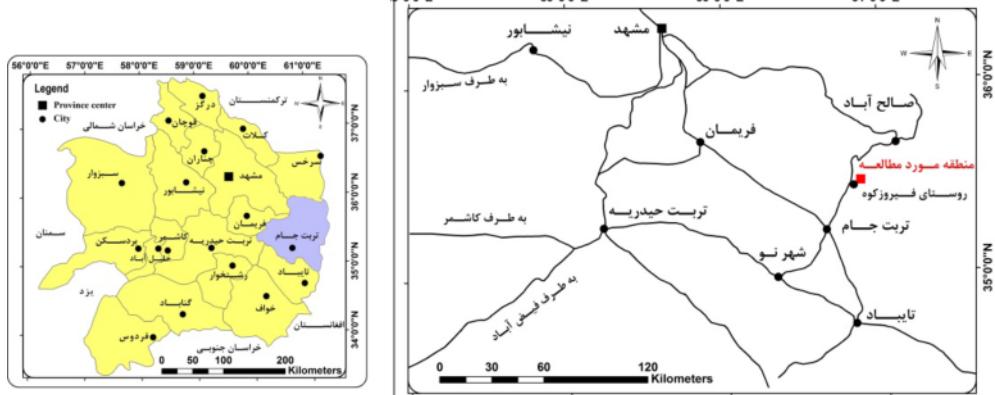
۳) برداشت ۱۵ نمونه خرد سنگ، خردایش و نرمایش آنها و آنالیز برای عناصر مس، سرب، روی با دستگاه جذب اتمی در دانشگاه فردوسی مشهد. همچنین تعداد ۲۶۵ نمونه‌ی سنگی از مغزه‌های حفاری و ترانشه‌ها قبلاً به‌وسیله‌ی شرکت زرناپ پی‌جویی [۸] و برداشت شده و به روش ICP-OES در آزمایشگاه تحقیقات مواد معدنی زرآزما آنالیز 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 پذیرفتاری‌سنجد 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 نرمایش آنها و آنالیز اکسیدهای اصلی و برخی از عناصر فرعی و کمیاب در دانشگاه XRF مدل فیلیپس از نوع X unique 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 تربت جام از مهم‌ترین توده‌های نفوذی در قسمت شمال ورقه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت جام است که روند شمال غربی-جنوب شرقی دارد و بعضی از محققین آنرا جزئی از کمریند 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 دگرگون شده دیده می‌شود که از آن جمله می‌توان به طلای فیروزکوه [۳]، سرب و روی بوته‌گز [۴]، مس تاریک دره [۶،۵] و مس انبورتا [۷] اشاره کرد.

بررسی‌های قبلی در منطقه‌ی فیروزکوه شامل گزارش مقدماتی پلی‌متال فیروزکوه و تاریکدره‌ی تربت جام [۸] است که به‌وسیله‌ی شرکت زرناپ 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 تأکید ویژه بر جدایش دقیق توده‌های نفوذی)، دگرسان، ژئوشیمی و کانی‌سازی با مقیاس مناسب، بررسی ژئوشیمی توده‌های نفوذی و



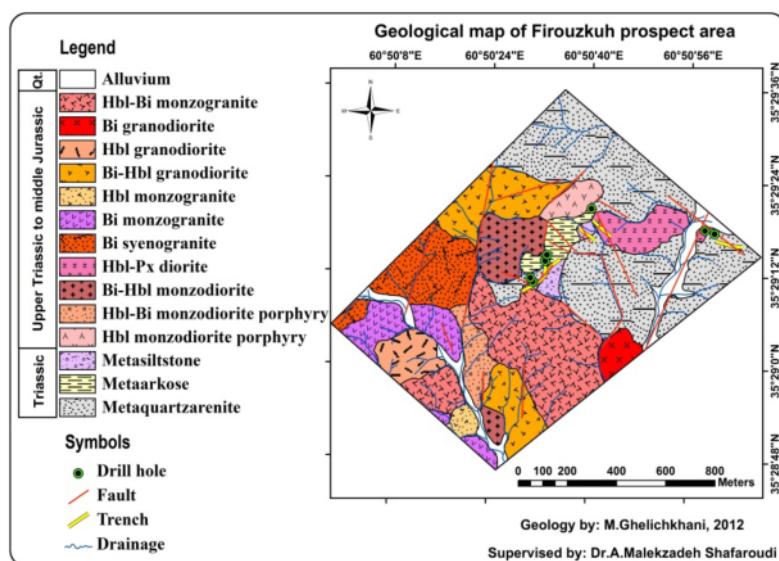
شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه اکتشافی فیروزکوه.

توده‌های نفوذی، بیشتر در بخش‌های جنوب، جنوب غربی و غرب منطقه رخمنون 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 نیمه عمیق و شامل هورنبلند مونزودیوریت پورفیری و هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری است. همه‌ی توده‌های نفوذی اسیدی، درونی بوده و بافت هیپیدیومورفیک ریزدانه دارند و شامل بیوتیت گرانودیوریت، هورنبلند گرانودیوریت، بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت، هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت، بیوتیت مونزوگرانیت، هورنبلند مونزوگرانیت و بیوتیت سینوگرانیت هستند (شکل ۲).

توده‌های حدواسط نیمه عمیق، در قسمت شمالی و غربی منطقه رخمنون دارند. به طور کلی گسترش آن‌ها نسبت به توده‌های نفوذی حدواسط درونی و اسیدی، کمتر است (شکل ۲). بافت آن‌ها پورفیری و از فنورکریست‌های اولیه پلاژیوکلاز (آندرین)، فلدسپارهای قلیابی، هورنبلند، بیوتیت و کانی‌های ثانویه کلریت، سرسیت، کوارتز 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.

### زمین‌شناسی و سنگنگاری

بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، دو نوع واحد سنگی در منطقه شناسایی شدند که عبارتند از: ماسه‌سنگ‌های دگرگون شده‌ی 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 زوراسیک 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 ماسه‌سنگ‌های 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 متاکوارتزآرنايت، متاکروکوز و متاسیلتستون هستند که بیشتر در بخش‌های شمالی و شرقی منطقه دیده می‌شوند. واحد متاکوارتزآرنايت، بیشترین گسترش را در منطقه دارد (شکل ۲).



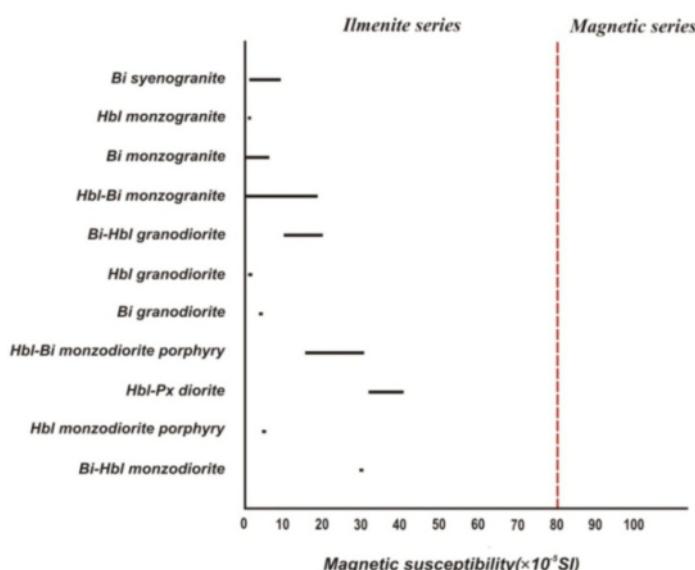
شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی پی جوئی فیروزکوه همراه با موقعیت گمانه‌ها و ترانشه‌های حفر شده.

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 حد بواسطه 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 حد بواسطه با ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده دیده می‌شوند. این توده‌ها نقش اساسی در کانی‌سازی طلا-من-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 (اسیدان) را بیش از  $10 \times 10^{-5}$  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 حد بواسطه منطقه از صفر تا  $43 \times 10^{-5}$  متغیر است، و بنابراین همه‌ی نمونه‌ها در سری ایلمنیتی (احیایی) قرار می‌گیرند (شکل ۳).

توده‌های حد بواسطه 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 هیپیدیومورفیک ریزدانه تا سرآیت (پورفیری با زمینه‌ی درشت دانه) است و شامل کانی‌های اولیه پلازیوکلاز (آنزین-الیگوکلاز)، فلدسپارهای قلیایی، هورنبلند، بیوتیت، پیروکسن و کانی‌های ثانویه کلریت، سریسیت و اکسیدهای آهن هستند. این واحدها به جز در قسمت جنوبی منطقه، در همه‌ی نقاط دستخوش دگرسانی سرسیتیک-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 رخمنون دارد (شکل ۲). بافت همه‌ی توده‌ها هیپیدیومورفیک ریزدانه بوده و شامل کانی‌های اولیه کوارتز، پلازیوکلاز (الیگوکلاز)، فلدسپارهای قلیایی، هورنبلند، بیوتیت و کانی‌های ثانویه سریسیت 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 بی‌جوئی فیروزکوه. (همه‌ی نمونه‌ها در محدوده‌ی سری ایلمنیتی جای می‌گیرند).

سینوگرانیت (FZ42 و FZ52) بودند که نتایج آنالیز در جدول-های (۱) و (۲) ارائه شده‌اند. مقدار  $\text{SiO}_2$  توده‌ها از ۵۲٪۶۷ در توده‌های حدوداً 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 گرانیت، گرانوپوریت، تونالیت، دیوریت و گابروپوریت قرار می‌گیرند (شکل ۴). همچنین این نمونه‌ها در نمودار  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  نسبت به  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  [۱۲]، ماهیت متا‌آلومینوس تا

### زئوژیمی توده‌های نفوذی

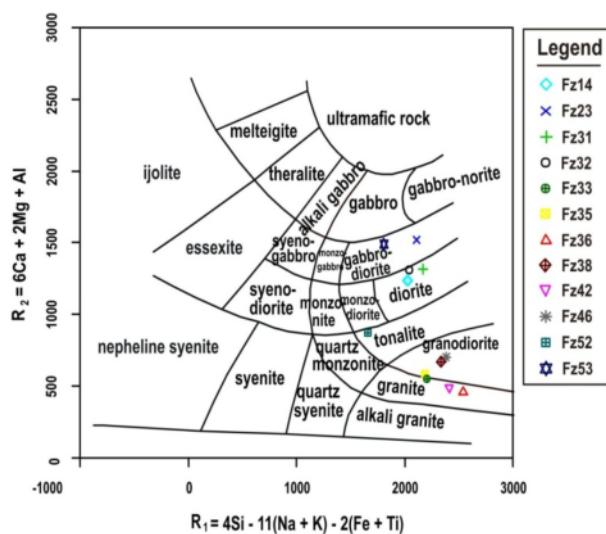
بین ۱۱ توده‌ی نفوذی منطقه، ۱۲ نمونه که دارای کمترین دگرسانی بودند، به منظور بررسی‌های زئوژیمیایی انتخاب شدند. همه‌ی توده‌های آنالیز شده، درونی هستند و از توده‌های نفوذی نیمه عمیق به دلیل دگرسانی زیاد نمونه‌ای انتخاب نشد. این نمونه‌ها شامل ۷ واحد سنگی هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت (FZ46 و FZ31)، بیوتیت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

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' .۳"	"۳۵° ۲۹' ۱۹	۳۵° ۲۸' ۵۶"	۳۵° ۲۸' ۴۸"	۳۵° ۲۸' ۴۸"	۳۵° ۲۸' ۵۲"	۳۵° ۲۸' ۵۳"	۳۵° ۲۸' ۵۸"	۳۵° ۲۹' .۴"	۳۵° ۲۹' .۵"	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' ۱۴	"۶۰° ۵۰' ۲۳	"۶۰° ۵۰' ۲۲	"۶۰° ۵۰' ۲۴
Rock name	هورنبلند بیوتیت بیوتیت مونزوگرانیت	بیوتیت هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت	بیوتیت هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت	بیوتیت هورنبلند بیوتیت گرانوپوریت	بیوتیت هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت	بیوتیت هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت	بیوتیت هورنبلند بیوتیت گرانوپوریت	بیوتیت سینوگرانیت سینوگرانیت	بیوتیت هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت	بیوتیت بیوتیت سینوگرانیت	بیوتیت هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت	بیوتیت هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت
$\text{SiO}_2$	۵۶.۰۳	۵۲.۶۷	۵۵.۱۴	۵۴.۷۱	۵۷.۳۹	۵۷.۰۶	۶۹.۷۶	۶۶.۷۴	۶۸.۷۶	۶۵.۹۱	۶۰.۰۲	۵۲.۸
$\text{TiO}_2$	.۹	.۶۹	.۷۶	.۷۷	.۳	.۳۱	.۲۵	.۳۵	.۳۱	.۳۷	.۵۶	.۷۶
$\text{Al}_2\text{O}_3$	۱۵.۰۶	۱۵.۵۲	۱۴.۲۴	۱۵.۷۹	۱۲.۸۶	۱۴.۱۲	۱۲.۰۲	۱۴.۶۵	۱۲.۵۵	۱۴.۷	۱۴.۳۹	۱۴.۲۵
$\text{TFeO}$	۱۰.۴۹	۱۲.۰۱	۱۰.۸۷	۱۱.۶۹	۵.۵۱	۵.۳۵	۵.۶۱	۵.۵۵	۵.۳	۶.۳۸	۸.۱۹	۱۰.۵۹
$\text{MnO}$	.۱۶	.۳۲	.۱۷	.۱۶	.۰۶	.۰۶	.۰۸	.۰۵	.۰۵	.۰۹	.۱۱	.۱۸
$\text{MgO}$	.۷	.۱۱	.۴۲۷	.۲۷۵	.۲۲۹	.۲۲۶	.۱۲۶	.۲۰۳	.۱۰۵	.۲۱۳	.۴۸۶	.۴۶۶
$\text{CaO}$	.۰۵	.۴۳	.۷۷۱	.۸۱۴	.۱۵۳	.۱۷۸	.۱۲۴	.۲۶۳	.۱۶	.۲۹۸	.۳۲۲	.۹۱۴
$\text{Na}_2\text{O}$	.۸۱	.۲۴۹	.۲۲۵	.۲۸۲	.۳۱۱	.۲۸۲	.۲۶۱	.۲۸۸	.۲۶۷	.۲۹	.۳۴	.۳۵۳
$\text{K}_2\text{O}$	.۷۴	.۰۷۶	.۱۶۸	.۱۱۹	.۴۳۹	.۴۸۲	.۴۳۷	.۳۹۹	.۴۵۸	.۳۴	.۳۸۳	.۰۶۵
$\text{P}_2\text{O}_5$	.۰۴۵	.۰۲۴	.۰۳۲	.۰۷۱	.۰۱	.۰۰۹	.۰۱۱	.۰۱	.۰۰۹	.۰۱۴	.۰۱۶	.۰۶۱
Total	۹۸.۳۹	۹۸.۲۴	۹۸.۴۱	۹۸.۷۳	۹۸.۵۴	۹۸.۶۷	۹۸.۵۱	۹۸.۹۷	۹۸.۹۷	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' .۳"	"۳۵° ۲۹' ۱۹	۳۵° ۲۸' ۵۶"	۳۵° ۲۸' ۴۸"	۳۵° ۲۸' ۴۸"	۳۵° ۲۸' ۵۲"	۳۵° ۲۸' ۵۳"	۳۵° ۲۸' ۵۸"	۳۵° ۲۹' .۴"	۳۵° ۲۹' .۵"	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	.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	.۲۴	.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	۱.۰۳۰	.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، توانالیت و گابرودیوریت قرار می‌گیرند.

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

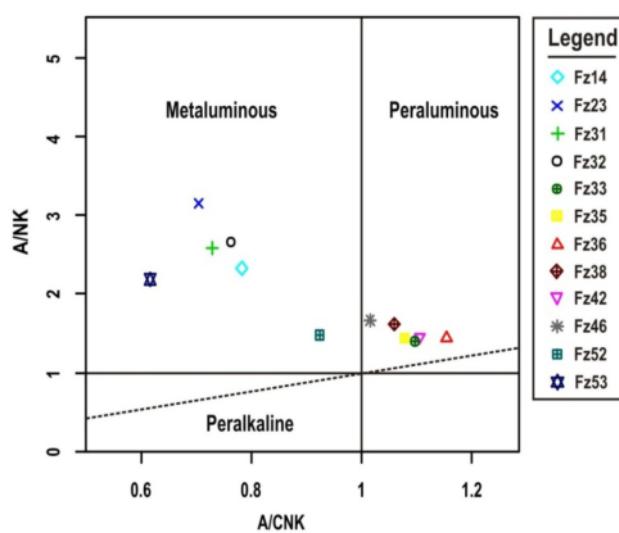
#### دگرسانی

دگرسانی در منطقه‌ی پی‌جوئی 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 مونزوگرانیت و هورنبلند گرانودیوریت که به نظر می‌رسد پس از فاز اصلی کانی‌سازی، در منطقه نفوذ کرده‌اند، فاقد دگرسانی هستند. براساس بررسی‌های صحرابی و آزمایشگاهی، سه نوع دگرسان سرسیتیک، سیلیسی و پروپلیتیک در منطقه شناسایی شدند که براساس شدت و تنوع به هفت زیرزون تقسیم می‌شوند که عبارتند از (شکل ۸):

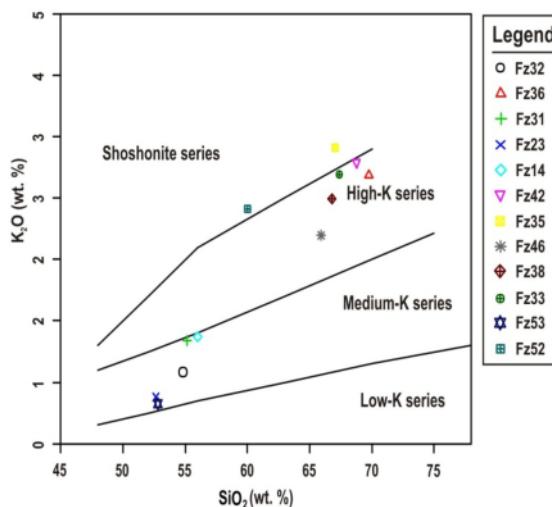
كمی پرآلومینوس نشان می‌دهند (شکل ۵). همه‌ی توده‌های نفوذی اسیدی منطقه شامل بیوتیت مونزوگرانیت (FZ33 و FZ36)، هورنبلند مونزوگرانیت (FZ35)، هورنبلند گرانودیوریت (FZ38)، بیوتیت سینوگرانیت (FZ42) و هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت (FZ46)، از نوع پرآلومینوس هستند و توده‌های نفوذی هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت (FZ31 و FZ14)، بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت (FZ23) و FZ53 و بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت (FZ32) در متآلومینوس قرار می‌گیرند (شکل ۵).

مقدار  $K_2O$  نمونه‌ها از ۴/۸۲ تا ۶/۵٪ متغیر است. براساس نمودار  $K_2O$  نسبت به  $SiO_2$  [۱۳]، نمونه‌ها در سری آهکی-قلیایی با پاتاسیم کم، آهکی-قلیایی با پاتاسیم زیاد و سری شوشوونیتی قرار می‌گیرند (شکل ۶). توده‌های نفوذی هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت (FZ31 و FZ14)، بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت (FZ53 و FZ23) و بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت (FZ32) در سری آهکی-قلیایی با پاتاسیم کم، توده‌های نفوذی بیوتیت مونزوگرانیت (FZ33 و FZ36)، هورنبلند گرانودیوریت (FZ38)، بیوتیت سینوگرانیت (FZ42) و هورنبلند بیوتیت مونزوگرانیت (FZ46) در سری آهکی-قلیایی با پاتاسیم زیاد و ۲ نمونه شامل هورنبلند مونزوگرانیت (FZ35) و بیوتیت سینوگرانیت (FZ52) در سری شوشوونیتی واقع شده‌اند.

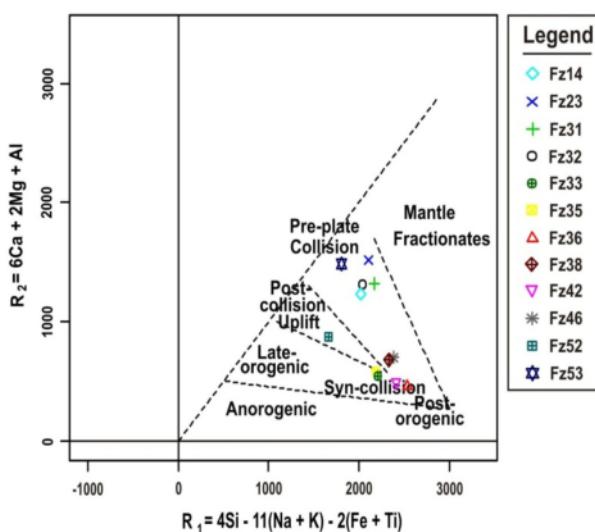
به منظور شناسائی محیط زمین‌ساختی توده‌های نفوذی منطقه، ازنمودار Batchelor&Bowden [۱۴]، استفاده شد. براساس این نمودار، نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی در سه



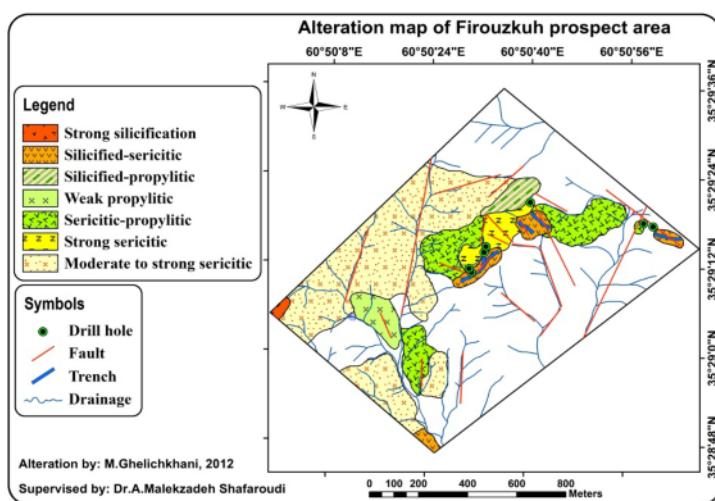
شکل ۵ توده‌های نفوذی منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه در نمودار تعیین ان迪س آلومینیوم سنگ‌های آذرین [۱۲].



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



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



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

جنوب منطقه (شکل ۸) و در توده‌ی بیوپیت مونزوگرانیت دیده‌می‌شود. کانی‌های اصلی این دگرسانی، کوارتز ثانویه ۱۵ تا ۲۰ درصد و سرسیت (۵ تا ۱۰ درصد) است. کوارتز ثانویه در ۱/۸ میلیمتر در سنگ دیده می‌شود و سرسیت حاصل تجزیه پلازیوکلازها و فلدسپارهای قلیایی است.

۴) دگرسانی سیلیسی شدید: این دگرسانی نیز بخش بسیار کوچکی از غرب منطقه را تحت تاثیر قرار داده (شکل ۸) و در توده‌ی بیوپیت 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.

۵) 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 حدوداً درونی و نیمه‌عمیق مانند بیوپیت هورنبلنده مونزوگرانیت، هورنبلنده مونزوگرانیت پورفیری، هورنبلنده پیروکسن دیوریت و هورنبلنده بیوپیت مونزوگرانیت 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 (۳۰ تا ۳۵ درصد)، کلریت (۵ تا ۱۰ درصد) و کانی فرعی، کلسیت (کمتر از ۵ درصد) است. کلریت از تبدیل هورنبلنده، پیروکسن و بیوپیت و سرسیت از تبدیل پلازیوکلاز 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 بیوپیت هورنبلنده گرانوڈیوریت، بیوپیت سینوگرانیت، هورنبلنده بیوپیت مونزوگرانیت و هورنبلنده 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 پلازیوکلاز و فلدسپارهای قلیایی است و مقدار آن بین ۱۵ تا ۲۰ درصد متغیر است. فلدسپارهای قلیایی، کمتر به سرسیت تبدیل شده‌اند.

۲) دگرسانی سرسیتیک شدید: این دگرسانی بیشتر همراه با کانی‌سازی رگه‌ای منطقه و تا چند ده متری آن‌ها دیده می‌شود. واحدهای متارکوز و متاکوارتز آرنايت 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 پلازیوکلاز 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.

۳) دگرسانی سیلیسی-سرسیتیک: این دگرسانی در حریم زو-های 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 افshan در واحد هورنبلند پیروکسن دیوریت در بررسی‌های سطحی و بیوتیت هورنبلند مونزوودیوریت، هورنبلند مونزوودیوریت پورفیری و هورنبلند پیروکسن دیوریت در بررسی‌های زیرسطحی دیده می‌شوند. در نمونه‌های بررسی شده از مغزه‌های حفاری، کانی‌سازی هم به صورت رگچه‌های زمین‌ساختی در ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده و هم به صورت افshan و رگچه‌ای در واحد‌های بیوتیت هورنبلند مونزوودیوریت، هورنبلند مونزوودیوریت پورفیری و هورنبلند پیروکسن دیوریت وجود دارد. بیشترین تمرکز کانی‌سازی به صورت رگه‌های سیلیسی حاوی آرسنوبیریت، 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 لحظه زمان تشکیل، دو مرحله‌ی کانی‌سازی در منطقه تشخیص داده شد که شامل اولیه و ثانویه است. کانی‌سازی اولیه شامل آرسنوبیریت، پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت (شکل ۹ الف تا ج) همراه با باطله‌ی کوارتز و کلسیت و کانی‌سازی ثانویه شامل کوولیت، گوتیت و هماتیت است. البته کانی ملاکیت در زون‌های گسلی و کانی‌سازی طلا و کبالتیت نیز توسط زرناب اکتشاف [۸] در مقاطع بررسی شده از مغزه‌های حفاری مشاهده شده است. فراوان ترین 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 بهو سیله‌ی کانی‌های دیگر قطع شده است. کلسیت در رگچه‌ها و همزمان با کالکوپیریت و پیروتیت تشکیل شده است. پیریت‌های شکل دار تا بی‌شکل با اندازه‌ی حداقل ۱/۲ میلیمتر و فراوانی ۵ تا ۸ درصد، اولین کانی فلزی تشکیل- شده‌اند که بهو سیله‌ی آرسنوبیریت قطع شده‌اند. آرسنوبیریت‌ها با اشکال لوزی‌شکل و مثلثی پس از پیریت تشکیل شده و با کالکوپیریت و در برخی جاها پیروتیت، قطع شده‌اند. حداقل اندازه‌ی آن‌ها  $1/3$  میلیمتر و فراوانی ۸ تا ۱۲ درصد دارند. کالکوپیریت تا اندازه حداقل  $0.3$  میلیمتر به صورت نیمه- شکل دار تا بی‌شکل و فراوانی ۱ تا ۲ درصد، کانی بعدی است

پی‌جوئی فیروزکوه عدم وجود یا کم بودن کانی اپیدوت است. نبود اپیدوت 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.

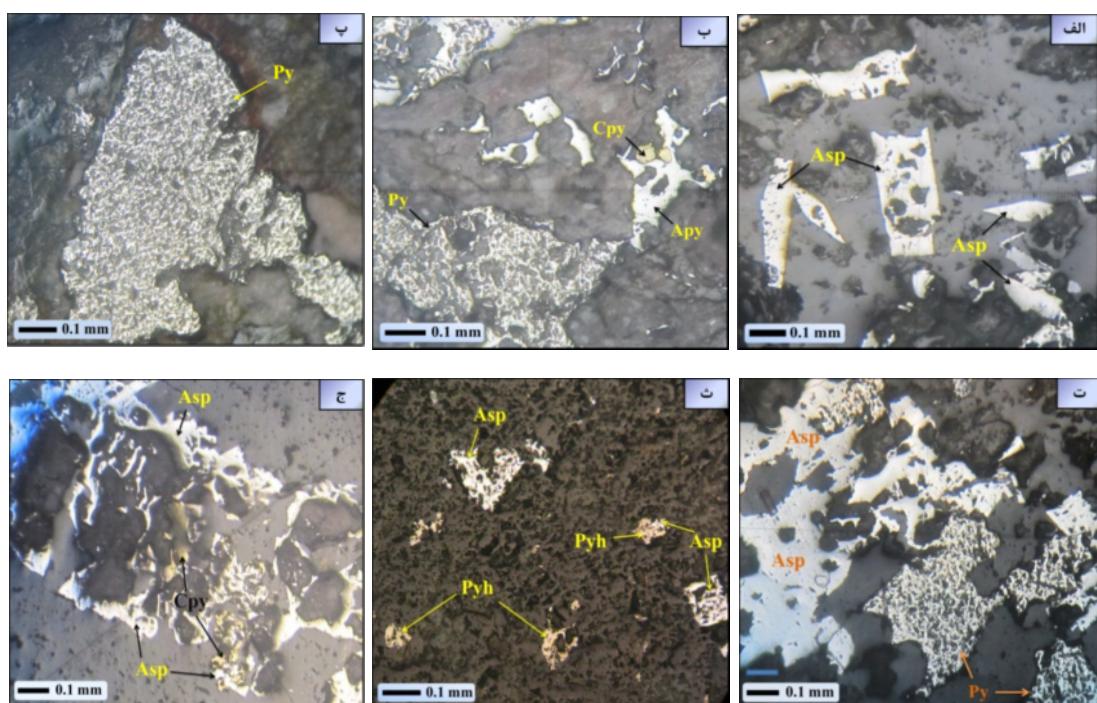
۷) دگرسانی سیلیسی- پروپلیتیک: این دگرسانی در قسمت شمالی منطقه رخنمون دارد (شکل ۸). توده‌ی نفوذی هورنبلند مونزوودیوریت پورفیری دارای این دگرسانی است. کانی‌های اصلی آن، کوارتز ثانویه (۲۰ تا ۲۵ درصد) و کلریت (۵ تا ۱۰ درصد) است. کوارتز ثانویه به صورت رگچه‌هایی به ضخامت حداقل  $0.8$  میلیمتر و نیز در متن سنگ قابل مشاهده است. کلریت از تبدیل هورنبلند تشکیل شده است.

### کانی‌سازی

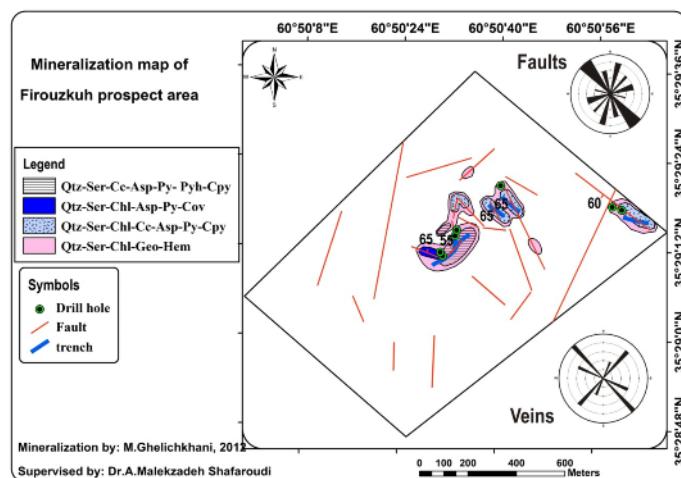
کانی‌سازی در منطقه پی‌جوئی فیروزکوه، کنترل گسلی دارد و اغلب در گسل‌هایی که در مرز توده‌های نفوذی با ماسه‌سنگ- های دگرگون‌شده قرار دارند و در برخی موارد در فواصل دورتر از توده‌ها در گسل‌های موجود در واحد‌های ماسه‌سنگ دگرگون‌شده (متاآركوز و متاکوارتز آرنایت) دیده می‌شود. گسل- ها در منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه، 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)- آرسنوبیریت (۱۵ تا ۲۰ درصد)- پیریت (۵ تا ۱۰ درصد)- کالکوپیریت (۵ تا ۸ درصد)- پیروتیت (کمتر از ۱ درصد). ۲- رگچه‌های آرسنوبیریت (۵۵ تا ۶۰ درصد)- پیریت (۱۵ تا ۲۰ درصد)- کالکوپیریت (۵ تا ۵ درصد)- کربنات (۱۰ تا ۱۵ درصد). ۳- رگچه‌های آرسنوبیریت (۶۵ تا ۷۰ درصد)-

تشکیل شده و پس از آن به ترتیب کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و پیروتیت تشکیل شده‌اند. دنباله‌ی پاراژنر 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.

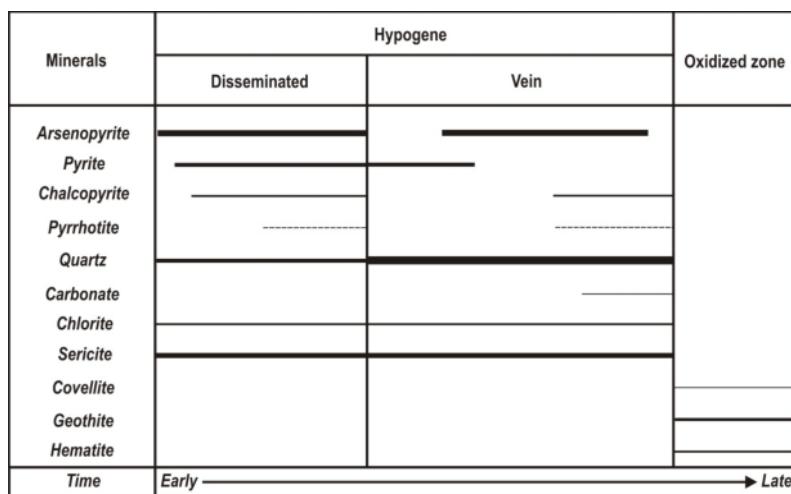
که از لحاظ زمان تشکیل، به صورت همرشدی با پیروتیت تشکیل شده‌است. پیروتیت با اندازه‌ی حداقل  $30\text{ mm}$  میلیمتر و به صورت نیمه‌شكل دار تا بی‌شکل، فراوانی ناچیزی در حدود  $0.5\%$  درصد دارد (شکل ۱۰). در کانی‌سازی افshan، فراوان ترین کانی، آرسنوبیریت است که همزمان با کوارتز، سرسیت و کلریت



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



شکل ۱۰ نقشه‌ی کانی‌سازی منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه همراه با موقعیت گمانه‌ها و ترانشه‌ها و نمودارهای گلسربخی گسل‌ها و رگه‌های کانی‌سازی. علائم اختصاری: (کوارتز: Qtz، پیریت: Py، آرسنوبیریت: Asp، کالکوپیریت: Cpy، پیروتیت: Pyh، گوولیت: Cov، گوتیت: Ge， هماتیت: Hem، سرسیت: Ser، کلریت: Chl، کلسیت: Cc).

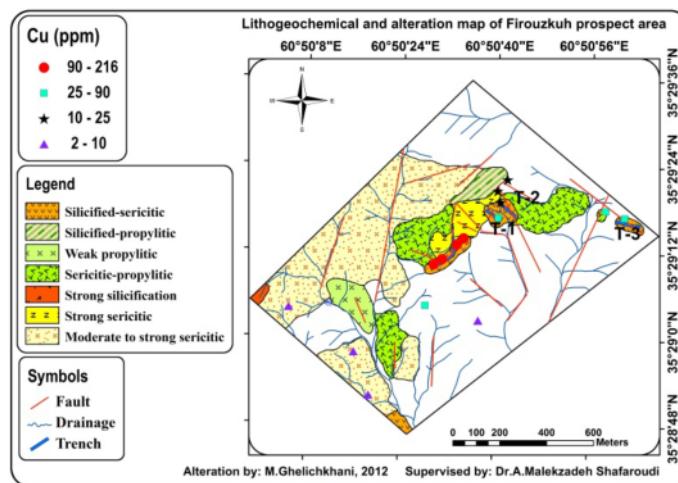


شکل ۱۱ دنباله‌ی پارازن کانی‌سازی منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه.

تجزیه شدند (جدوال 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 کانی‌سازی آرسنوبیریت، کالکوبیریت و پیریت همراه با دگرسانی سیلیسی-سرسیتیک است. همچنین مقادیر قابل توجهی طلا تا ۲۵۵۲ ppb نیز در ترانشه‌ی T-1 در واحد متاسیلتستون و در فاصله‌ی چند متری توده‌ی نفوذی هورنبلند پیروکسن دیبوریت و همراه با دگرسانی سیلیسی-سرسیتیک دیده می‌شود. طلا تقریباً در همه نمونه‌ها همبستگی مثبتی با آرسنیک دارد. به نظر می‌رسد بخش بزرگ طلای منطقه در قالب کانی آرسنوبیریت است.

### اکتشافات ژئوشیمیابی ژئوشیمی سطحی

به منظور پی‌جوئی‌های ژئوشیمیابی به روش خردی سنگی از قسمت‌های مختلف سطحی منطقه نظریه 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 Fire ICP-OES assay برای طلا در آزمایشگاه تحقیقات مواد معدنی زرآزما



شکل ۱۲ نقشه‌ی ژئوشیمی عنصر مس منطقه اکتشافی پی‌جوئی فیروزکوه.

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

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	
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	T-2
۱۳۳۲	۳۵۹	۲۱	۵۷	۱۳۳	OFT3-1	
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 ۴۵ ppm تا ۴۵ ppm است (جدول‌های ۳ و ۴ و شکل ۱۴). بیشترین مقدار این عنصر در 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 پی جوئی فیروزکوه حفر شدند که دو گمانه ۵ OBH-5 (OBH-6 ۴۲/۷۵ متر) در شرق منطقه، گمانه ۱ OBH-1 (۴۷ متر) در شمال شرق و ۴ گمانه ۲ OBH-2 (OBH-3 ۴۱ متر)، OBH-4 (۵۴/۵ متر)، OBH-5 (۱۰۴/۵ متر) و OBH-9 (OBH-8 ۴۱/۸ متر) در مرکز منطقه قرار دارند (شکل‌های ۲ و ۸). تعداد ۲۶۵ نمونه از مغذه‌های حفاری از سوی شرکت زرناپ اکتشاف برداشت شده و به روش ICP-OES در آزمایشگاه تحقیقات مواد معدنی زرآزمای آنالیز شدند.  
[۸]

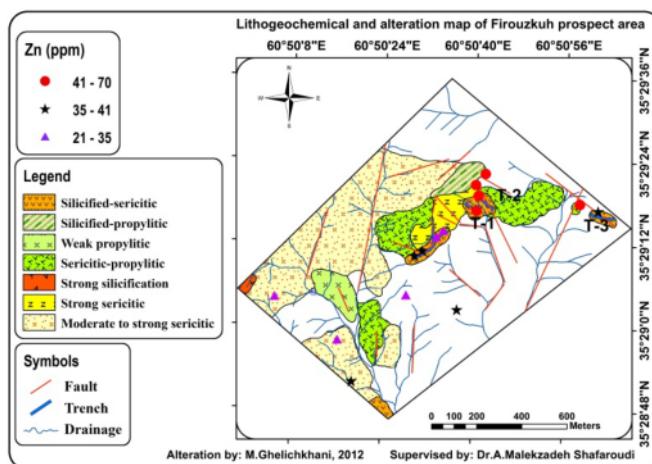
مس: دامنه‌ی تغییرات این عنصر از ۲ ppm تا ۳۵۷ ppm است (جدول‌های ۳ و ۴ و شکل ۱۲). بیشترین مقدار این عنصر در ترانشه T-3 در بخش شرقی منطقه مربوط به رگه‌ی سیلیسی حاوی کانی‌سازی آرسنوبیریت، کالکوبیریت و پیریت همراه با دگرسانی سیلیسی- سرسیتیک است (شکل ۱۲). با توجه به مشاهدات صحرایی و بررسی مقاطع نازک صیقلی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

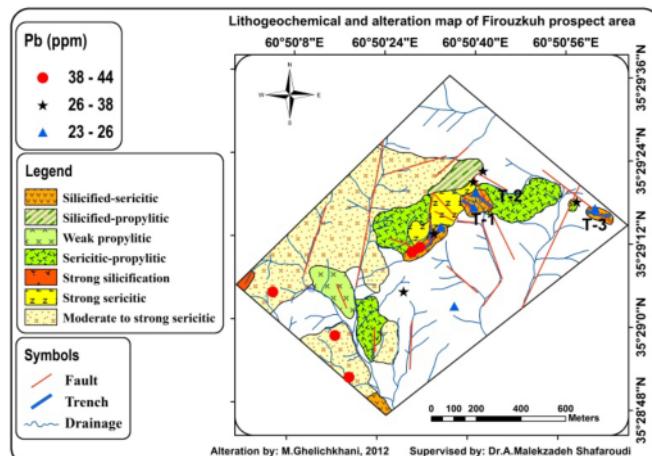
**روی:** دامنه‌ی تغییرات این عنصر از ۲۱ ppm تا ۹۷ ppm است (جدول ۳ و ۴ و شکل ۱۳). بیشترین مقدار این عنصر در ترانشه T-2 در شرق منطقه در مرز واحدهای هورنبلند پیروکسن دیوریت با متاسیلتستون و متاکروز و همراه با

جدول ۴ نتایج آنالیز زئوژیمیایی نمونه‌های خردمنگی (Chip composite) به روش جذب اتمی (A.A.)

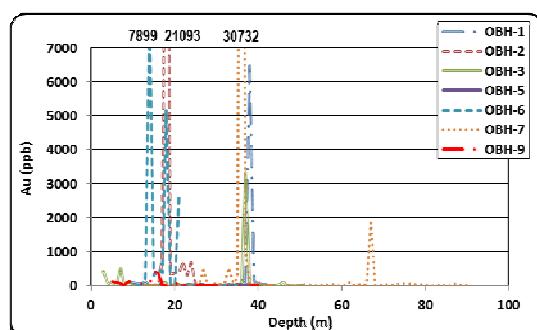
Pb(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)	Latitude	Longitude	Sample
۲۴	۳۷	۶۴	"۶۰° ۵۱' ۰۱	"۳۵° ۲۹' ۱۷	FZC1
۲۷	۵۴	۴۴	"۶۰° ۵۰' ۵۸	"۳۵° ۲۹' ۱۷	FZC2
۲۴	۴۲	۱۹	"۶۰° ۵۰' ۴۰	"۳۵° ۲۹' ۱۸	FZC3
۲۳	۴۵	۴۸	"۶۰° ۵۰' ۴۰	"۳۵° ۲۹' ۱۶	FZC4
۲۵	۲۱	۹۶	"۶۰° ۵۰' ۳۴	"۳۵° ۲۹' ۱۳	FZC5
۳۱	۲۳	۹۱	"۶۰° ۵۰' ۳۳	"۳۵° ۲۹' ۱۲	FZC6
۳۸	۷۰	۲۵	"۶۰° ۵۰' ۴۱	"۳۵° ۲۹' ۲۲	FZC7
۳۷	۵۴	۲۴	"۶۰° ۵۰' ۴۰	"۳۵° ۲۹' ۲۰	FZC8
۲۶	۳۶	۶	"۶۰° ۵۰' ۳۷	"۳۵° ۲۹' ۰۲	FZC9
۳۸	۲۸	۲۶	"۶۰° ۵۰' ۲۸	"۳۵° ۲۹' ۰۴	FZC10
۳۹	۴۱	۲۱۶	"۶۰° ۵۰' ۲۹	"۳۵° ۲۹' ۱۰	FZC11
۴۱	۴۱	۱۲۶	"۶۰° ۵۰' ۳۱	"۳۵° ۲۹' ۱۰	FZC12
۴۱	۳۸	۴	"۶۰° ۵۰' ۱۹	"۳۵° ۲۸' ۵۱	FZC13
۴۱	۳۲	۲	"۶۰° ۵۰' ۱۶	"۳۵° ۲۸' ۵۷	FZC14
۴۵	۳۱	۲	"۶۰° ۵۰' ۰۵	"۳۵° ۲۹' ۰۳	FZC15



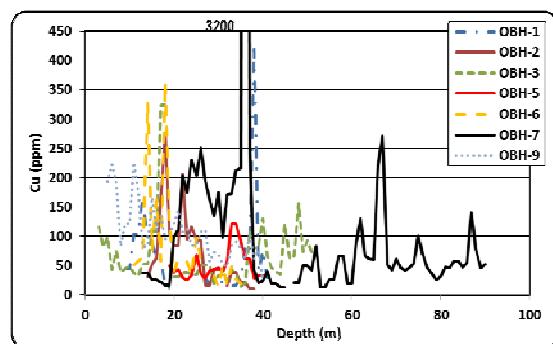
شکل ۱۳ نقشه‌ی زئوژیمی عنصر روی منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه.



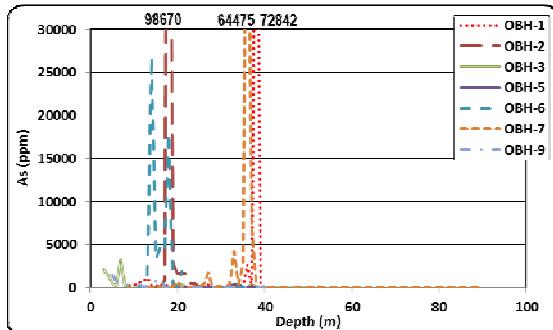
شکل ۱۴ نقشه‌ی زئوژیمی عنصر سرب منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه.



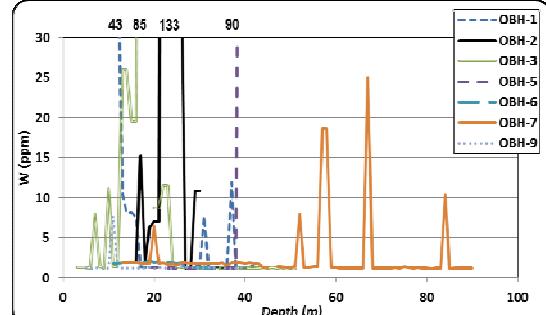
شکل ۱۵ تغییرات عنصر طلا در گمانه‌های منطقه‌ی پی‌جوئی فیروزکوه.



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 ۳۰۷۲۲ ppb متغیر است. بالاترین مقدار طلا در گمانه-7 در عمق ۳۵ تا ۳۶ متری است. پس از OBH-7، گمانه‌های OBH-2 با ۲۱۰۹۳ ppb (عمق ۳۷ تا ۳۸ 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، 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 ۲۶۴ ppb (عمق ۱۸ تا ۱۹ متری) و OBH-3 با ۳۲۴ ppm (عمق ۱۶ تا ۱۷ متری) نیز میزان مس بالایی دارند (شکل ۱۶).

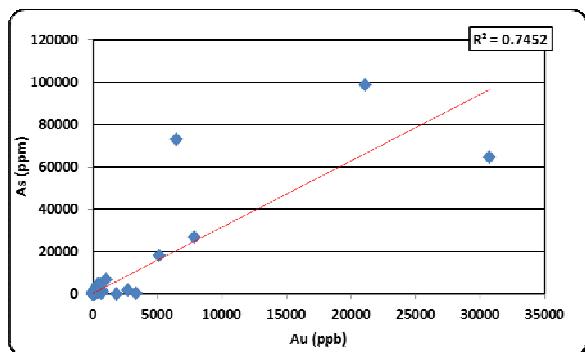
آرسنیک: دامنه‌ی تغییرات آرسنیک در گمانه‌ها از ۱ ppm تا ۹۸۶۷۰ ppm متغیر است. بیشترین میزان آرسنیک OBH-2 در عمق ۹۸۶۷۰ ppm مشاهده می‌شود. پس از OBH-1، گمانه‌های OBH-2 با ۶۴۴۷۵ ppm (عمق ۳۷ تا ۳۸ متری)، OBH-7 با ۷۲۸۴۲ ppm (عمق ۳۵ تا ۳۶ متری) و OBH-6 با ۲۶۸۱۷ ppm (عمق ۱۳ تا ۱۴ متری) نیز میزان آرسنیک بالایی 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، در عمق ۲۲ تا ۲۳ متری گمانه-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 مقدار عناصر مس، آرسنیک، تنگستن و طلا مربوط به اعماقی است که کانی‌سازی‌های آرسنوبیریت، پیریت، کالکوبیریت و پیروتیت مشاهده شده‌اند. به دلیل همبستگی نسبتاً بالایی طلا و آرسنیک ( $R^2 = 0.75$ ) (شکل ۱۹)، به نظر می‌رسد طلا بیشتر در قالب کانی آرسنوبیریت انباسته شده است.

آرسنیک (تا ppm ۷۴۵۰۰)، 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 آرسنوبیریت، کالکوبیریت و پیریت و همراه با دگرسانی سرسیستیک شدید وابسته است. بیشترین مقدار روی در ترانشه ۲-۲ در شمال شرقی منطقه، در مرز واحدهای هورنبلند پیروکسن دیوریت با متاسیلتون و متاآکوز و همراه با دگرسانی سرسیستیک-پروپلیتیک و بیشترین مقدار سرب در مرکز و جنوب غربی منطقه و همراه با واحدهای هورنبلند مونزوگرانیت، بیوپلیت مونزوگرانیت و هورنبلند مونزوگرانیت 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 ۷-OBH در عمق ۳۵ تا ۳۶ متری، بیشترین میزان آرسنیک (۹۸۶۷۰ ppm) در عمق ۱۷ تا ۱۸ متری در گمانه‌ی ۲-OBH و بیشترین میزان تنگستن (۱۳۳ ppm) در عمق ۲۲ تا ۲۳ متری در گمانه‌ی 2-OBH دیده می‌شود. طلا تقریباً در همهٔ نمونه‌ها همبستگی مثبتی با آرسنیک دارد که نشان می‌دهد این عنصر بیشتر در قالب کانی آرسنوبیریت و پیریت حضور دارد. صورت آزاد و در قالب کانی‌های پیروپلیت و پیریت حضور دارد. به منظور بررسی مدل کانی‌سازی منطقه پی‌جوانی فیروزکوه، این منطقه با انواع مختلف کانی‌سازی‌های طلای دنیا مقایسه شد. این کانی‌سازی شباهت‌های زیادی با سیستم‌های طلای Reduced Intrusion-related gold systems دارد. در این سیستم‌ها، سنگ میزبان کانی‌سازی طلا را توده‌های نفوذی تشکیل می‌دهد و این سیستم‌ها از نوع ماگمایی-گرمابی هستند. مثال‌هایی از این ذخایر در آلاسکا، اسپانیا، بولیوی، استرالیا و ایران [۱۵] وجود دارند. بیشتر این ذخایر به فانزوژوییک وابسته‌اند. هفت ویژگی برای این ذخایر معرفی شده‌اند [۱۶-۲۷].

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



شکل ۱۹ نمودار همبستگی طلا و آرسنیک در گمانه‌های منطقه‌ی پی‌جوانی 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 مونزوگرانیت تا دیوریت در آن نفوذ کرده‌اند. دامنه‌ی پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های نفوذی از صفر تا  $SI = 43 \times 10^{-5}$  متغیر است و به گرانیت‌وئیدهای احیایی سری ایلمنیت وابسته‌اند. این توده‌ها در برخی نقاط تحت تاثیر دگرسانی‌های سرسیستیک متوسط تا شدید، سرسیستیک شدید، سیلیسی-سرسیستیک، سیلیسی-پروپلیتیک و پروپلیتیک ضعیف قرار گرفته‌اند. بررسی ژئوشیمی توده‌های نفوذی نشان می‌دهد که آن‌ها از متاآلومینوس تا پرآلومینوس متغیرند. توده‌های نفوذی هورنبلند مونزوگرانیت و بیوپلیت هورنبلند گرانودیوریت، در سری شوشنیتی و بقیه‌ی توده‌ها در محدوده پاتاسیم 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 در مرز توده‌های نفوذی با ماسه‌سنگ‌های دگرگون و یا داخل واحد دگرگون دیده می‌شود. همچنین کانی‌سازی افسانی افشار در واحدهای هورنبلند پیروکسن دیوریت در بررسی‌های سطحی و بیوپلیت هورنبلند مونزوگرانیت، هورنبلند مونزوگرانیت پورفیری و هورنبلند پیروکسن دیوریت در بررسی‌های زیرسطحی دیده می‌شوند. کانی‌سازی اولیه شامل طلا، آرسنوبیریت، پیریت، کالکوبیریت و پیروپلیت و کانی‌سازی ثانویه شامل کوولیت، هماتیت و گوتیت است. پی‌جوانی‌های ژئوشیمیایی به روش خردسنجی، بیهنجاری‌هایی از عناصر طلا (تا ۸۹۴۲ ppb)،

در مجموع بیشترین شباهتی که بین کانی‌سازی منطقه‌ی فیروزکوه و سیستم‌های طلای وابسته به توده‌های نفوذی (Reduced Intrusion-related gold systems) احیایی 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 کانی‌های آن (آرسنوبیریت 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 زون‌های فلدسپاتیک و آرژیلیک پیشرفت‌های نیز در منطقه فیروزکوه مشاهده می‌شود. برای تایید بیشتر این ادعا، بررسی شاره‌های درگیر و بررسی‌های زیرسطحی تا اعماق بیشتر مورد نیاز است که در حال انجام است.

#### قدرتانی

این پژوهه 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، "دبیچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۵۵)، ۱۰۹ صفحه.
- [۲] علوفی 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 انجمان 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)،<sup>۴</sup> مقدار کانی سولفیدی آن‌ها کم و اغلب کمتر از ۵ درصد است (البته استثناهایی نیز وجود دارند). مجموعه کانی آن، احیایی و شامل آرسنوبیریت، پیروتیت و پیریت بوده و مگنتیت و هماتیت وجود ندارند.<sup>۵</sup> دگرسانی گرمابی معمولاً ضعیف است و اغلب در اعماق کمتر مشاهده می‌شود،<sup>۶</sup> موقعیت زمین‌ساختی آن‌ها معمولاً مرزهای همگراست که شامل نفوذی‌های قلیایی، متالومینوس آهکی‌قلیایی و ترکیبات پرآلومینوس است و<sup>۷</sup> 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 رگله‌های صفحه‌ای، در اعماق متوسط (۳/۵ کیلومتری و کمتر)، در برش‌های گرمابی و در اعماق جایگزینی (۳ تا ۶ کیلومتری)، به صورت کانی‌سازی رگله‌های کوارتز صفحه‌ای، گرایزن یا افشنان دیده می‌شوند. بافت‌های برشی، افشنان 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.<sup>۸</sup>
- (۲) کانی‌سازی در مجاورت توده‌ی نفوذی (Proximal) شامل اسکارن  $Cu - B I \pm Au \pm W$  و  $W \pm Cu \pm Au$  و<sup>۹</sup> (۳) کانی‌سازی دور از توده‌ی نفوذی (Distal) شامل رگله‌های کوارتز-سولفید دما متوسط تا دما بالای طلادر ( $Au - As - Sb \pm Hg$ ) در طول گسل‌ها. تنوع قائم در این بخش از ذخایر، کمتر ولی درجه‌ی گسترش و تنوع جانبه‌ی 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، سریسیتیک، کربناتی، سیلیسی، گرایزن، سیلیکات قلیایی، تورمالین و آرژیلیک پیشرفت‌های 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.
- [15] کریمپور م.ح، ملکزاده شفارودی آ، حیدریان شهری م.ر، "آلتراسیون، ژئوشیمی و کانی‌سازی منطقه اکتشافی بوته‌گز، شمال شرق تربت جام"، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۹۰).
- [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 metallogenetic 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- a*
- [۴] گندمکار اح، ملکزاده شفارودی آ، حیدریان شهری م.ر، "آلتراسیون، ژئوشیمی و کانی‌سازی منطقه اکتشافی بوته‌گز، شمال شرق تربت جام"، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۹۰).
- [۵] رمضانی ف، کریمپور م.ح، و ملکزاده شفارودی 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 شفارودی 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 بوته‌گز- انبورتا"، سازمان صنایع و معدن استان خراسان رضوی، (۱۳۸۹).
- [۸] مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، "گزارش اکتشاف مقدماتی پلی‌متال فیروزکوه و تاریک دره- تربت جام"، سازمان صنایع و معدن استان خراسان رضوی، (۱۳۸۹)، ۱۰۵ صفحه.
- [۹] افشار حرب ع، "زمین‌شناسی کپه‌داغ، 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., BakerT., BurkeM., 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., BakerT., 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