بررسی کانی‌سازی سولفیدی نیکل در منطقه معدنی فاریاب

کاوه پازند[۱]، یوسف قنبری[۲]

۱. کارشناس بخش ژئوشیمی معاونت اکتشاف شرکت امکا

۲. کارشناس بخش تلفیق و مدل‌سازی معاونت اکتشاف شرکت امکا

تهران، انتهای کارگر شمالی، سازمان انرژی اتمی ایران، شرکت امکا، معاونت اکتشاف

Kpazand@yahoo.com

چکیده

کانسارهای عناصر گروه پلاتین (PGE) بیشتر همراه با سنگ‌های مافیک و اولترامافیک یافت می‌شوند. در این کانسارها عناصر گروه پلاتین همراه با کانی‌سازی سولفیدی نیکل و مس می‌باشند. منطقه افیولیتی فاریاب بزرگ‌ترین ذخیره کرومیت ایران است و مطالعات اولیه نشان داد که دارای کانی‌سازی سولفیدی در لیتولوژی‌های مختلف است. با مطالعه میکروسکوپی نمونه‌ها، فازهای سولفیدی شناسایی و مشخص شد سولفیدها بیشتر شامل پیروتیت، پنتلاندیت، میلریت و هیزلوودیت می‌باشند. نمونه‌های سولفیدی پس از مطالعات میکروسکوپی انتخاب و به روش‌های XRF و ICP-MS تجزیه شدند. مقدار نیکل در فاز سولفیدی به روش تجزیه جزئی به‌دست آمد. با بررسی مقادیر سولفیدی نیکل و محاسبه همبستگی عناصر و نتایج مطالعات میکروسکوپی می‌توان گفت که کانی‌سازی سولفیدی نیکل به‌صورت کانی‌های پنتلاندیت و میلریت در سنگ‌های منطقه فاریاب صورت گرفته است، هرچند که پنتلاندیت آن دارای مقادیر بالای آهن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: *نیکل، فاریاب، کرومیت، کانی‌سازی سولفیدی.*

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

همه نهشته های بزرگ سولفیدی $Ni-Cu \pm PGE$ از نظر ژنز مرتبط با توده سنگ های مافیک و اولترامافیک هستند[۱]. این نهشته ها زمانی که ماگماهای مافیک و اولترامافیک منتجه از گوشته از سولفور اشباع می‌شوند با سنگ‌های پوسته واکنش می‌دهند. مینرالوژی غالب نهشته‌های سولفیدی پیروتیت، پنتلاندیت و کالکوپیریت می باشد. منابع سولفیدی نیکل دارای دو خاستگاه زمین‌شناسی منحصر به فرد هستند. یکی نهشته‌های نفوذی مافیک تیپ سادبوری و دیگری توده‌های نفوذی مافیک مرتبط با بازالت‌های جریانی که جمعاً این دو خاستگاه ۴۲٪ منابع نیکل سولفیدی جهان را شامل می‌شوند [۲].

معادن فاریاب در کیلومتر ۱۲۵ جاده آسفالته بندرعباس- جیرفت قرار دارد. منطقه مورد مطالعه بین طول جغرافیایی ´۳۰ °۵۷ – ´۲۰ °۵۷ و عرض جغرافیایی ´۳۰ °۲۷ - ´۱۷ °۲۷ قرار گرفته است. روند عمومی آن شمال- شمال غرب بوده و منطقه به شکل تقریباً مثلثی می‌باشد. این منطقه قسمتی از زون مکران بوده و به صورت یک کمپلکس افیولیتی می‌باشد. عمده سری سنگ‌های آن شامل دونیت، هارزبورژیت و پیروکسنیت می‌باشد که به طور عمده سرپانتینیزه شده‌اند. مطالعات انجام شده در منطقه فاریاب، وجود کانی‌سازی سولفیدی را در سنگ‌های مختلف شامل دونیت، پیروکسنیت و کرومیت نشان می‌دهد و زون‌های سولفیدی در مناطقی همانند دیواره تونل فطر ۶ رخنمون دارند. پس از نمونه‌برداری از نقاط مختلف منطقه فاریاب و مطالعه مقاطع تهیه شده، مناطق سولفیدی آنها شناسایی و فازهای سولفیدی مشخص گردید. عناصر سازنده سنگ به روش XRF و مقدار نیکل سولفیدی به روش تجزیه جزئی اندازه‌گیری شد و نمونه‌های حاوی سولفید بیشتر جهت تجزیه به روش ICP-MS به کشور استرالیا فرستاده شدند و نتایج به‌دست آمده مورد تعبیر و تفسیر قرار گرفت.

۲- زمین‌شناسی منطقه

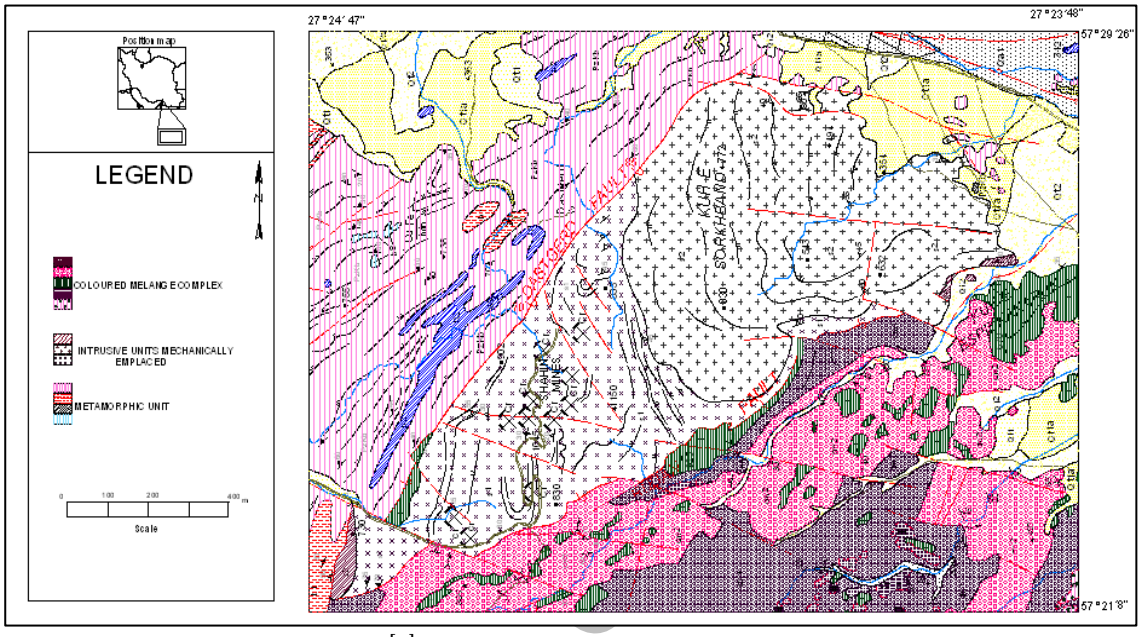
منطقه فاریاب در جنوب ایران و در شمال شرق شهرستان میناب قرار گرفته و از نظر زمین‌شناسی در شمال غرب زون مکران قرار دارد، لذا خصوصیات زمین‌شناسی این منطقه مربوط به زون مکران است. این زون در اثر حرکات متعدد کوهزایی که در طی ادوار مختلف زمین‌شناسی پوسته زمین ایران را تحت تأثیر قرار داده‌اند شکل یافته است. قدیمی‌ترین واحد این زون به کرتاسه فوقانی- پالئوسن تعلق دارد. توده و منطقه معدنی فاریاب یک مجموعه افیولیتی است که به مجموعه سرخ‌بند معروف است و از همه طرف دارای مرزهای گسله است[۳]. سنگ‌های افیولیتی این منطقه نشان دهنده بلوک‌های پوسته اقیانوسی تتیس است که طی دوره کرتاسه فوقانی بر روی حاشیه قاره‌ای قرار گرفته‌اند[۴]. مجموعه افیولیتی سرخ‌بند بزرگ‌ترین توده اولترامافیک موجود در منطقه است. جانشینی افیولیت‌های سرخ‌بند در طی فاز کوهزایی لارامید که شدت آن در مکران با شدت نسبی در همه جا به چشم می‌خورد و همچنین حرکات متعدد کوهزایی دیگر در منطقه باعث ایجاد دو گسل مهم به نام‌های گسل رودان و دستگرد و همچنین گسل‌های فرعی با امتداد شمال- جنوب مانند امیر- شهریار، گسل شرق معدن روباز نعمت، شده است. اولترابازیک‌های سرخ‌بند بین دو گسل رودان و دستگرد محدود شده است. مجموعه‌های سنگی موجود در منطقه شامل موارد الف-ب-ج است (شکل ۱):

Archive of SID

www.SID.ir

الف) مجموعه دگرگونی باجگان:

یکی از بزرگ‌ترین مجموعه‌های دگرگونی با منشأ آذرین و رسوبی در منطقه عمومی فاریاب است. سنگ‌های کالک سیلیکاته و سنگ‌های آهکی با تبلور دوباره در آن فراوان و سنگ‌های آن شامل شیست، متاگابرو، آمفیبولیت، آهک متبلور و متادیاباز است [۵].



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه فاریاب[۶].

ب) مجموعه آمیزه رنگین:

این بخش یک اجتماع لیتواستراتیگرافی نامنظم متشکل از رسوبات و ولکانیک‌های کرتاسه بالائی است که با هم در ارتباط هستند. از نظر لیتولوژیکی به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود که عبارتند از:

- سنگ‌های بازیک: شامل گدازه‌های بالشی به رنگ‌های قرمز و ارغوانی.
- سنگ‌های رسوبی: شامل چرت‌های رادیولاریتی، آرژیلیت، آهک.
- سنگ‌های دگرگونی واقع در مجموعه آمیزه رنگین شامل آمفیبولیت، متاگابرو، متادیاباز و فیلیت است[۵].

ج) اولترابازیکهای سرخ بند:

این سنگ‌ها محدوده اصلی مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند و می‌توان آن را منطقه عمومی فاریاب نامید چرا که بیشتر معادن و ذخایر کرومیت که توسط شرکت معادن کرومیت فاریاب استخراج می‌شود در این بخش واقع شده‌اند. این بخش بزرگ‌ترین توده از سنگ‌های اولترامافیک در منطقه عمومی میناب است که به شکل گوه‌ای به طول ۱۷ کیلومتر و عرض ۶ کیلومتر می‌باشد و عرض آن به طرف شمال کاهش و به طرف جنوب، جنوب شرق افزایش می‌یابد. سنگ‌های اصلی آن دونیت، هارزبورژیت و پیروکسنیت هستند. اولترابازیک‌های سرخبند شامل دو بخش اصلی است. یک قسمت جنوبی ساده و یک بخش شمالی با پیچیدگی

Archive of SID

www.SID.ir

زیاد که دارای شواهدی از لایه‌بندی توده‌ای و تغییر شکل حالت جامد، همراه با توده‌های زیادی از کرومیت با اهمیت اقتصادی می‌باشد.

- بخش شمالی: بیش از ۷۰٪ حجم کل این بخش از دونیت تشکیل شده است که دارای بافت دانه‌ای از اولیوین‌های درهم قفل شده است که با اسپینل‌ها به صورت کانی فرعی همراه است. در این سنگ‌ها کلینوپیروکسن از نوع اوژیت و ارتوپیروکسن از نوع برونزیت است. در تمام منطقه اغلب اولیوین‌ها با درجات متفاوت سرپانتنیزه شده‌اند.

- بخش جنوبی: این بخش متشکل از دونیت و هارزبورژیت است. دونیت آن از کاملاً سالم تا به شدت سرپانتنیزه شده متغیر بوده و به طور ثابتی حاوی اسپینل به عنوان کانی فرعی است. هارزبورژیت آن تا ۱۵٪ اورتوپیروکسن دارد که همراه با مقدار کمی کانی اپاک به صورت فرعی و کلینوپیروکسن است. در این مناطق کرومیت به صورت نوارها و افق‌های کرومیتی در دونیت‌های سرپانتنیزه و هارزبورژیت واقع شده است[۵].

۳- نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها

عملیات نمونه‌برداری از لیتولوژی‌های مختلف منطقه طی چند دوره مختلف انجام گرفت. مرحله اول، شامل نمونه‌برداری از مناطق سولفیدی، لیتولوژی‌های مختلف و گمانه‌های حفر شده در منطقه بود. در این مرحله حدود ۶۰۰ مقطع شامل مقاطع نازک و فلزی از نمونه‌ها تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت و آنالیز XRD و XRF نمونه‌ها، شناسایی مناطق سولفیدی و مطالعات سنگ‌شناسی و لیتولوژی گمانه‌ها انجام گرفت. در مرحله دوم که فاز تکمیلی نمونه‌برداری بود عملیات نمونه‌برداری از مناطق سولفیدی شناسایی شده و تونل فطر ۶ انجام شد (شکل ۲).

شکل ۲: زون‌های سولفیدی در داخل تونل فطر ۶ معدن فاریاب

پس از مطالعه مقاطع تهیه شده، نمونه‌های سولفیددار جهت آنالیز عناصر گروه پلاتین، طلا و نیکل انتخاب شدند که بیشتر این نمونه‌ها سرشار از سولفید بودند (پیروتیت، پنتلاندیت) و جهت تجزیه از روش قال‌گذاری، ICP-MS و Fire assay استفاده شد. برای اندازه‌گیری نیکل موجود در نمونه‌های برداشت شده از روش تجزیه جزئی و جذب اتمی استفاده گردید. پس از خردایش و آماده‌سازی نمونه‌ها، ۳ گرم از هر نمونه با ترازو دقیق وزن و در ۵۰ سی سی محلول اسید نیتریک و آب مقطر ریخته شد. سپس محلول به مدت ۲۴

Archive of SID

www.SID.ir

ساعت در حمام آب گرم گذاشته شد تا کاملاً خشک شد. در مرحله بعدی ۵ سی سی اسید کلریدریک قوی به نمونه اضافه و محلول حاصل به حجم ۱۰۰ سی سی رسانده شد. پس از استخراج نیکل موجود در کانی‌سازی سولفیدی، با استفاده از دستگاه جذب اتمی مقادیر نیکل اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱: مقادیر نیکل اندازه‌گیری شده تعدادی از نمونه‌ها با روش‌های تجزیه جزئی، ICP و XRF نمونه های منطقه فاریاب

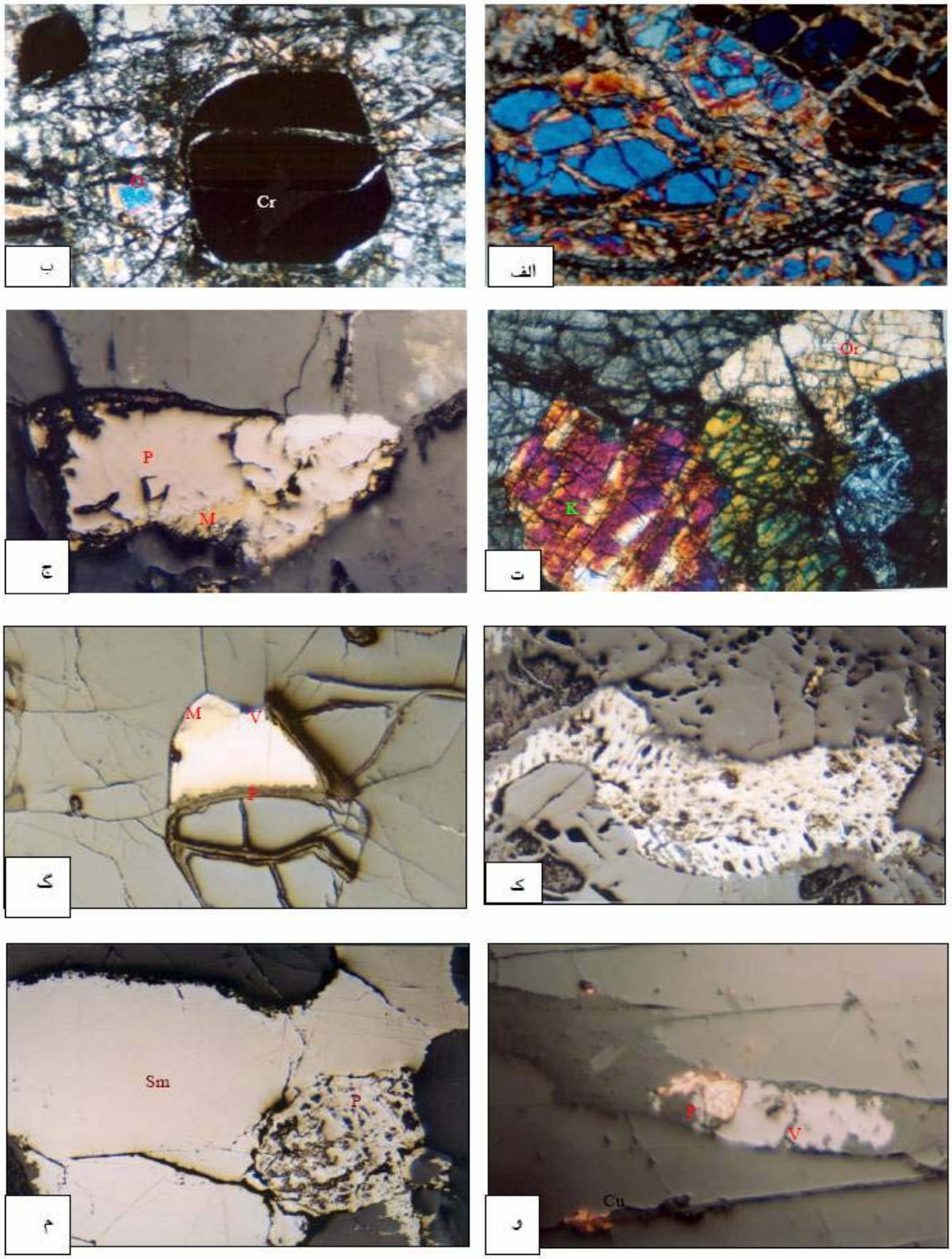
شماره نمونه	نوع سنگ	تجزیه جزئی با جذب اتمی (ppm)	%NiO	Ni(ppm)
۱	دونیت	۳۸۰	۰/۲۳	-
۲	دونیت	۴۴۰	۰/۲۱	-
۳	هارزبورژیت	۹۲۰	۰/۱۴	-
۴	دونیت	۴۰۰	۰/۱۸	-
۵	دونیت	۴۲۰	۰/۱۹	-
۶	کرومیت	۲۰۰	۰/۱۸	-
۷	کرومیت	۱۸۰	۰/۱۸	-
۸	هارزبورژیت	۱۷۰	۰/۰۶۵	-
۹	پیروکسنیت	۱۵۰	۰/۰۷۸	-
۱۰	پیروکسنیت	۱۱۰	۰/۰۵	۳۴۳
۱۱	پیروکسنیت	۱۲۰	۰/۰۴۳	۲۷۵
۱۲	پیروکسنیت	۱۵۰	۰/۰۵۶	۳۶۳

۴- پتروگرافی و مینرالوگرافی

بیش از ۳۰۰ مقطع نازک و ۳۰۰ مقطع صیقلی از نمونه‌های چاه‌های مختلف و تونل فطر ۶ مورد مطالعات میکروسکوپی قرار گرفتند. هدف از این مطالعه بررسی پتروگرافی، تغییرات بافتی نمونه‌ها و شناسایی کانی‌سازی سولفیدی بود. نمونه‌ها شامل دونیت، هارزبورژیت، پیروکسنیت و کرومیت می‌باشند. در بیشتر نمونه‌ها، آثار سرپانتنیزاسیون دیده می‌شود. اولیوین در امتداد شکستگی‌ها و حاشیه دانه‌ها به سرپانتین تبدیل شده است. در بیشتر نمونه‌ها آثار کانی‌سازی کرومیت دیده می‌شود اما کانی‌سازی عمده کرومیت در دونیت‌ها می‌باشد و تا حدی دارای بافت کاتاکلاستیک می‌باشد. در داخل نمونه‌های سرشار از کلینوپیروکسن آثار کلریتی شدن (باستیتی شدن) دیده می‌شود. در حاشیه دانه‌ها و امتداد شکستگی‌ها آثار کانی‌های آهن مانند مگنتیت، گوتیت و لیمونیت وجود دارد. کانی‌های معمول اولیوین، اورتو و کلینوپیروکسن و کرومیت می‌باشند که هیپرستن و انستاتیت اورتوپیروکسنها و اوژیت و دیوپسید کلینوپیروکسنهای آن را تشکیل می‌دهند. در بیشتر سنگ‌های پیروکسنیتی مقادیر اورتو و کلینوپیروکسن متغیر است. در تعدادی از نمونه‌ها آثار مس طبیعی به‌صورت دانه‌های در حد چند میکرون مشاهده گردید (شکل ۳).

Archive of SID

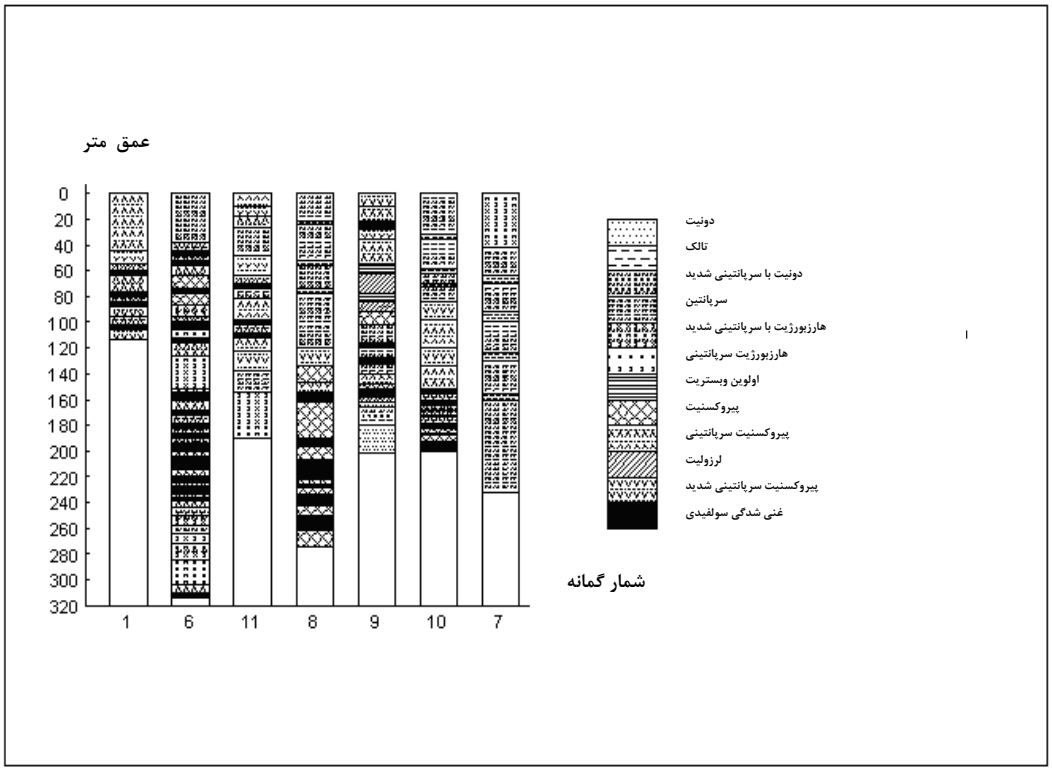
www.SID.ir



شکل۳: تصاویر میکروسکوپی مقاطع تونل فطر۶.الف) اولیوین که در حاشیه سرپانتینی شده است. ب) کرومیت خود شکل دانه درشت که سرپانتنیزه شده و بلورهای اولیوین در آن دیده می شود. ت) اورتوپیروکسن با کلینو پیروکسن وسرپانتین کلریت. ج) کانی های سولفیدی پنتلاندیت و میلریت. ک) پنتلاندیت با بافت اسفنجی. گ) کانی سازی پنتلاندیت با مقداری میلریت و ویولاریت در حاشیه دیده می شود،و) پنتلاندیت و ویولاریت با مس طبیعی، م) اسمتیت وپنتلاندیت. S:سرپانتین، O: اولیوین، Cr: کرومیت، K:کلینوپیروکسن، Or: اورتوپیروکسن، P: پنتلاندیت، M: میلریت، V: ویولاریت،Sm:اسمتیت. .مقاطع الف،ب،ت (بزرگنمایی۴۰)، مقاطع ج،ک،گ،م،و (بزرگنمایی۱۰۰).

www.SID.ir

با مطالعه مینرالوژیکی روی مقاطع، آثار کانی‌سازی سولفیدی در بیشتر نمونه‌ها مشاهده گردید. کانی‌های سولفیدی بیشتر به شکل پیروتیت، اسمتیت و پنتلاندیت می‌باشند که همراه آنها به مقدار کم کانی‌های هیزلوودیت، میلریت و ویولاریت نیز یافت می‌شوند. تمرکز کانی‌های سولفیدی در نمونه‌های سنگ‌های پیروکسنیتی بیشتر است. با وجود این در سنگ‌های دونیت، هارزبورژیت و همراه با کرومیت نیز کانی‌سازی سولفیدی دیده می‌شود. کانی سولفیدی غالب نیکل در این مقاطع میلریت و پنتلاندیت است که بیشتر با پیروتیت همراهی دارند. برمبنای مطالعات مقاطع و نتایج آنالیز XRD نمونه‌ها، مقاطع لیتولوژی گمانه‌های حفر شده در منطقه معدنی فاریاب تهیه گردید و بدین ترتیب زونهای سولفیدی منطقه شناسایی و مشخص شدند (شکل ۴).



شکل۴: لیتولوژی گمانه‌های حفر شده در منطقه فاریاب

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در جدول ۱ مقدار نیکل موجود در فاز سولفیدی نمونه‌ها آورده شده است. میانگین مقدار نیکل موجود در فاز سولفیدی نمونه‌ها در منطقه برابر ppm ۳۰۰ است که این مقدار به تفکیک در سنگ‌های کرومیتی برابر ppm ۱۹۰، در سنگ‌های دونیتی ppm ۴۵۰ و در سنگ‌های پیروکسنیتی برابر ppm ۱۳۵ می‌باشد. بیشترین مقدار اندازه‌گیری شده برابر ppm ۹۲۰ در نمونه شماره ۳ و سنگ دربرگیرنده دونیتی- هارزبورژیتی است. میانگین درصد نیکل در فاز سولفیدی به کل مقدار نیکل موجود در سنگ، در سنگ‌های پیروکسنیتی منطقه فاریاب ۴۰٪ می‌باشد. بیشترین کانی‌سازی سولفیدی نیکل در منطقه فاریاب در سنگ‌های دونیتی صورت گرفته است. با محاسبه ضرایب همبستگی بین عناصر مشخص گردید که ضریب همبستگی مثبت

www.SID.ir

بالایی بین مقادیر NiO٪ و CuO٪ وجود دارد (برابر ۰/۹۸۲) که می‌تواند دلیلی بر کانی‌سازی این عناصر در فاز سولفیدی باشد. همچنین همبستگی منفی بالای بین NiO٪ و SiO_2٪ (۰/۵۹-) مؤید کانی‌سازی کمتر نیکل در فاز سیلیکاتی می‌باشد. با توجه با مطالعات میکروسکوپی و همچنین همبستگی بالای NiO٪ و Fe_2O_3٪ (۰/۷۸۳) می‌توان نتیجه گرفت که کانی‌سازی پنتلاندیت در سنگ‌های فاریاب صورت گرفته است ولی این پنتلاندیت‌ها دارای مقادیر بالای آهن در مقایسه با مقدار نیکل می‌باشند. همچنین همبستگی NiO ٪ و MgO٪ مربوط به اولیوین موجود در دونیت و سنگ‌های دیگر است (جدول ۲).

جدول ۲: همبستگی اکسیدهای سازنده سنگ‌های منطقه فاریاب

عنصر	Na_2O%	MgO%	MnO%	Fe_2O_3%	K_2O%	CaO%	NiO%	CuO%	SiO_2%
Na_2O%	۱								
MgO%	-۰/۷۸	۱							
MnO%	-۰/۹۹	۰/۸۴۱	۱						
Fe_2O_3%	-۰/۹۷	۰/۹۱۳	۰/۹۸۹	۱					
K_2O%	۰/۸۹۶	-۰/۹۷	-۰/۹۳	-۰/۹۷	۱				
CaO%	۰/۸۶۶	-۰/۹۹	-۰/۹	-۰/۹۶	۰/۹۹۸	۱			
NiO%	-۰/۰۴	۰/۷۵	۰/۱۳۵	۰/۷۸۳	-۰/۴۸	-۰/۵۳	۱		
CuO%	۰/۱۴۳	۰/۴۹۷	-۰/۰۵	۰/۰۹۹	-۰/۳۱	-۰/۳۷	۰/۹۸۲	۱	
SiO_2%	۰/۸۲۸	-۰/۹۹	-۰/۸۷	-۰/۹۳	۰/۹۹۱	۰/۹۹۷	-۰/۵۹	-۰/۴۳	۱

با توجه به نتایج مطالعات مقاطع نازک و صیقلیو پردازش داده‌های به‌دست آمده از آنالیز می‌توان نتیجه گرفت که کانی‌سازی سولفیدی نیکل در منطقه صورت گرفته است و کانی‌های آن بیشتر به شکل میلریت و پنتلاندیت می‌باشند و تمرکز بیشتری در سنگ‌های پیروکسنیتی منطقه دارند. مقادیر بالای نیکل در منطقه تشکیل نشده است ولی با توجه به شناسایی زون‌های سولفیدی در گستره منطقه می‌توان ناحیه فاریاب را به عنوان پتانسیلی برای کانی‌سازی سولفیدی نیکل در نظر داشت و در صورت لزوم کارهای بیشتر در آن صورت پذیرد.

۶- منابع

1. Naldrett,A.J.(1989), "Magmatic sulfide deposits", Oxford university Press,p.p:1-143.
2. Hoatson,M; Jaireth,S and Jaques,L.(2006), "Nickel sulfide deposits in Australia: Characteristics, resources, and potential", Journal of Ore Geology Reviews, Vol:29,p.p:177-241.

۳. سبقتی، ع.، "تأثیر دگرسانی و هوازدگی بر پایداری شیب‌های سنگی براساس شرایط موجود در معدن فاریاب"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی معدن گرایش مکانیک سنگ، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۷۸.

4. Rajabzadeh, M, A; Ohnensteter, M; Ohbebsteterd, D; Reisberg, L and Crpg."Chrome and platinum-group element (PGE) mineralization in chromitites from the Assemion and Neyriz ophiolites, Zagros belt, Iran", International platinum symposium, Institute of mineralogy and petrology, mining university, Leoben, Austria, 1998.

۵. صفایی، م.، "ژئوشیمی و زمین‌شناسی کانسار کرومیت فاریاب هرمزگان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، زمین‌شناسی، گرایش زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز،۱۳۷۴.

۶. علی‌نیا، ف.، "گزارش مطالعات تفصیلی سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی منطقه فاریاب: وزارت معادن و فلزات"، ۱۳۸۴.

Archive of SID

www.SID.ir