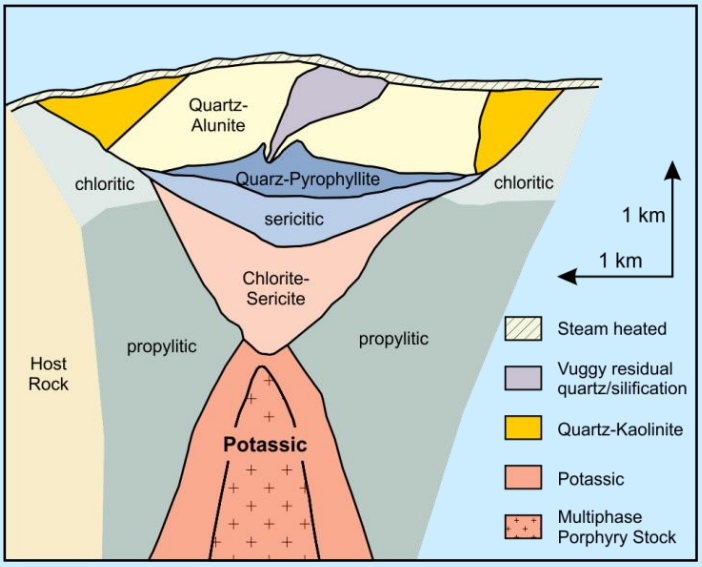
۱- مقدمه

ذخایر پورفیری به دلیل تناژ بالا و استخراج نسبتاً آسان ، اهداف مناسبی برای اکتشاف و معدنکاری هستند. این ذخایر معمولاً با سنگ‌های درونی پورفیری، یعنی گرانیت های پورفیری، همراه هستند. واژه "پورفیری" به هر نوع سنگ آذرین اطلاق می‌شود که بلورهای درشت‌دانه در ماتریس ریزدانه‌تر دارد. مس (Cu) ، مولیبدن (Mo) ، نقره (Ag) و طلا (Au) فلزات معمول با ارزش اقتصادی هستند که در این ذخایر یافت می‌شوند. همانطور که ذکر شد، ویژگی مهم ذخایر معدنی پورفیری تناژ بزرگ آن‌ها است. به عنوان مثال، یک ذخیره مس پورفیری می‌تواند چندین میلیارد تن مس با عیار ۰,۴-۱٪ داشته باشد، که این ذخایر را به بزرگ‌ترین منبع مس تبدیل می‌کند. این ذخایر برای استخراج به روش معدن کاری روباز ایده‌آل هستند، زیرا معمولاً نزدیک به سطح قرار دارند و می‌توان آن‌ها را به مقیاس وسیع با هزینه کم استخراج کرد. اگرچه این ذخایر عیار پایین‌تری دارند، اما آنالیزگر پرتابل فلورسانس اشعه ایکس (XRF) شرکت ترمو ساینتیفیک، اندازه‌گیری غلظت فلزات پایه را به شدت تسهیل می کند.

۲- کاربردها

یک ویژگی رایج ذخایر پورفیری، زونبندی فضایی دگرسانی های هیدروترمال و کانی‌زایی است (شکل ۱). این زون بندی ها عمدتاً توسط نوع ماگما کنترل می‌شوند و از ذخیره‌ای به ذخیره دیگر متفاوت اند و می‌توانند به عنوان ابزاری برای اکتشاف جهت شناسایی زون های اقتصادی استفاده شوند.



شکل ۱: نمایش شماتیک توزیع دگرسانی های هیدروترمال و کانه زایی های مرتبط با آن.

آنالیزگرهای پرتابل XRF شرکت ترمو ساینتیفیک می توانند در هر مرحله از فاز اکتشاف و معدنکاری جهت شناسایی فلزات مختلف در ذخایر پورفیری مانند مس (Cu)، طلا (Au)، نقره (Ag)، مولیبدن (Mo)، سرب (Pb)، روی (Zn)، آنتیموان (Sb)، بیسموت (Bi) و غیره استفاده شوند. دقت تشخیص فلزات پایه در این دستگاه‌ها به اندازه‌ای بالا است که حتی افراد غیرزمین شناس می توانند هر نمونه زمین‌شناسی را از رخنمون‌ها تا مغزه های حفاری و نمونه‌های خاک تجزیه و تحلیل کنند. علاوه بر فلزات پایه، عناصر دیگری مانند پتاسیم (K)، کلسیم (Ca) و عناصر سبک [منیزیم (Mg)، آلومینیوم (Al)، سیلیکون (Si)، فسفر (P) و گوگرد (S)] نیز قابل تجزیه و تحلیل هستند، که به زمین شناسان در نقشه‌برداری از دگرسانی های هیدروترمال و مدل‌سازی سه‌بعدی نهشته معدنی کمک فراوانی میکنند. برای نمونه در تصویر ۲، مغزه های حفاری به دست آمده توسط دستگاه Niton XL2 GOLDD XRF مورد ارزیابی قرار گرفتند. این ارزیابی اطلاعات دقیقی از موقعیت توده معدنی و محل قرار گیری زون های کانه زایی را در اختیار قرار میدهد. همچنین در بخش ضمیمه (جدول ۱)، کاربرد های روش XRFبه تفضیل شرح داده شده است.

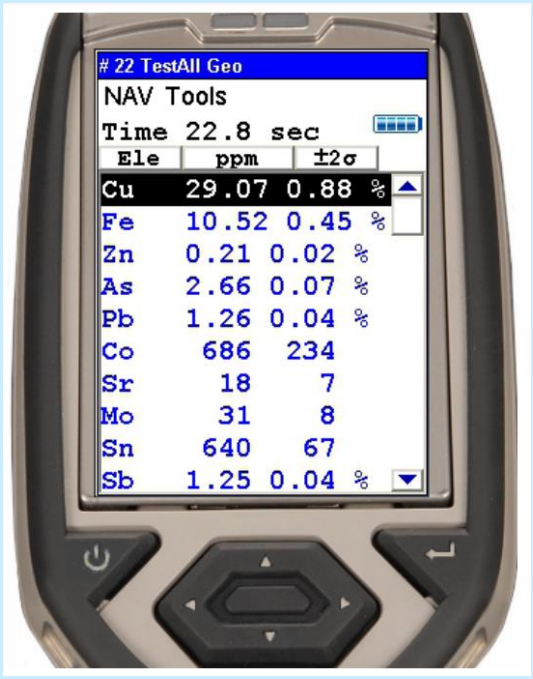
شکل ۲: عملیات مغزه گیری برای مطالعه کانسارهای مس پورفیری در کانادا.

۳- مطالعه موردی و نتایج

این مطالعه موردی بر روی ذخیره مس پورفیری کوه مینر در بریتیش کلمبیا، کانادا انجام شد. این ذخیره مس یک نوع نهشته مس-طلا-مولیبدن پورفیری است و در یک کمربند از سنگ‌های آتش‌فشانی بازالتی-آندزیتی دوره تریاس پسین تا ژوراسیک اولیه قرار دارد و با نفوذهای میکرو دیوریتی-دیوریتی آتشفشانی همراه است. این سنگ‌ها فاقد فراوانی رگه‌های کوارتز با تغییرات اسیدی (به‌ویژه هاله بزرگ پیریت و دگرسانی های گسترده سریسیت-آرژیلیک) در سیستم‌های کالک آلکالین هستند. در عوض، این ذخایر با پیشرفت دگرسانی ها از کلریت-اپیدوت ± مگنتیت (پروپیلیتیک) به ناحیه‌ای که در آن آلونیت-اپیدوت-کلریت غالب است مشخص می

شوند، همچنین هسته پتاسیک شامل فلدسپار، مگنتیت ثانویه ± دیوپسید/بیوتیت در مرکز سیستم پورفیری واقع است.کانه زایی از پیریت به کالکوپیریت/پیریت و سپس به بورنیت-کالکوپیریت پیشرفت می کند و بورنیت/کوالویت/کالکوسیت به طور محلی در هسته‌های سیستم‌ها حضور دارند.

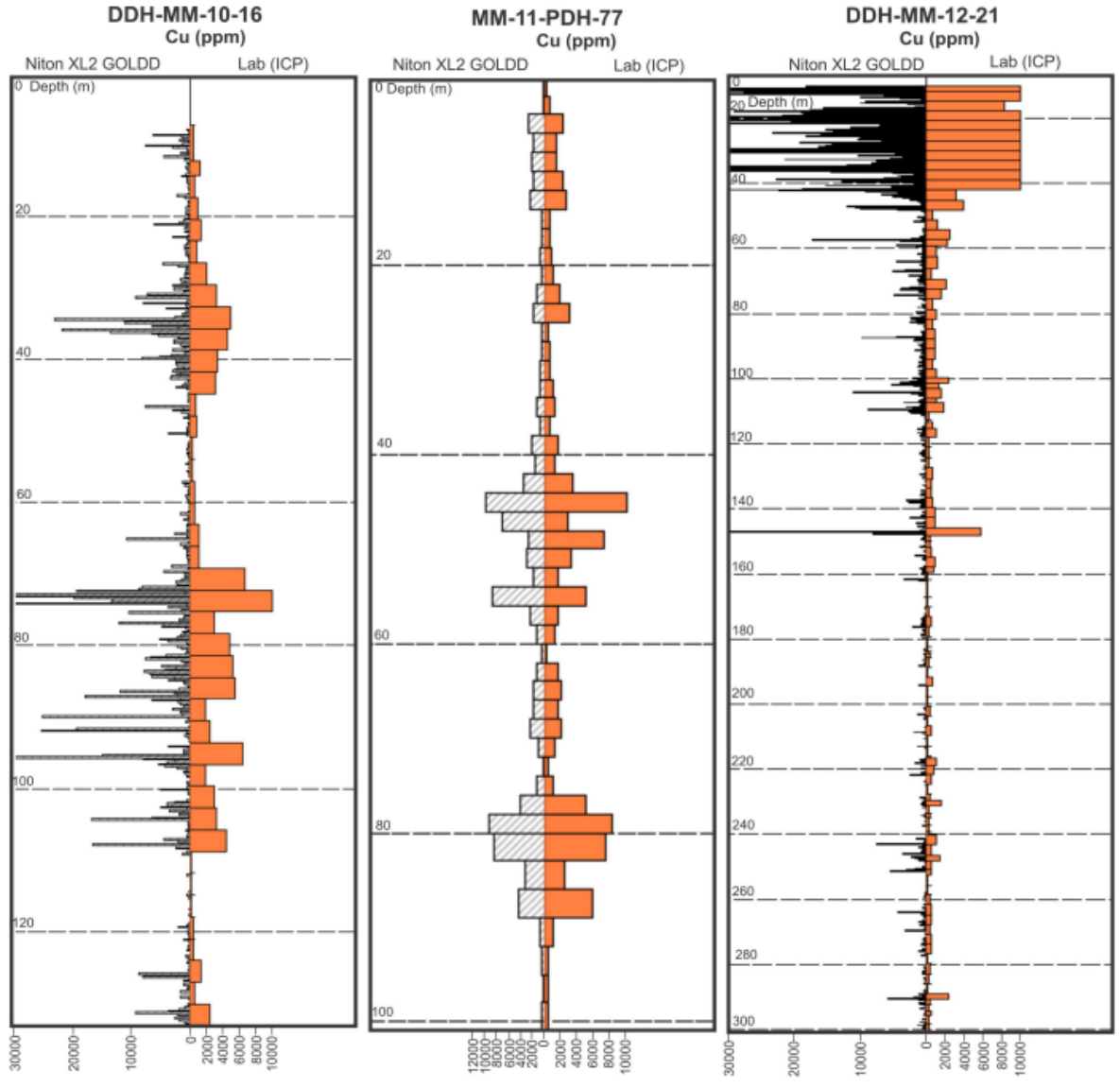
برای بررسی کاربرد XRF پرتابل در اکتشاف مس پورفیری، نمونه‌های مغزه گیری شده توسط آنالیزگر XRF مدل Niton XL2 GOLDDشرکت ترمو ساینتیفیک تجزیه و تحلیل شدند. هر تجزیه و تحلیل نمایانگر ۱ - ۱,۵ متر از نمونه مغزه‌ای است که توسط شات مستقیم با استفاده از آنالیزگر اندازه‌گیری شده است. این نمونه‌ها همچنین توسط آنالیزهای ICP در یک آزمایشگاه ژئوشیمی مورد بررسی واقع شدند. شکل شماره ۳، شمایی از نمایشگر دستگاه Niton XL3t GOLDD+ را نشان میدهد که در زمانی بهینه درصد عناصر تشکیل دهنده نمونه را با دقت بالایی تخمین میزند.



شکل ۳: نمایش درصد عناصر تشکیل دهنده مغزه های استخراج شده که توسط دستگاه Niton XL2 مورد آنالیز قرار گرفتند.

لاگ های نواری با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و همچنین داده‌های میدانی آنالیزگر XRF پرتابل رسم شدند (شکل ۴). سه لاگ نمایش داده شده، محتوای مس را بر حسب PPM در اعماق مختلف نمایش میدهند. جهت اثبات کارایی آنالیزگر XRF ، محتوای مس یک بار توسط آنالیز ICP (Inductively Coupled Plasma) در آزمایشگاه و یک بار توسط آنالیزگر XRFمحاسبه شد. همانطور واضح است، نتایج XRF همبستگی بسیار بالایی با نتایج آزمایشگاهی ICP دارد که گواه کارامد بودن آن می باشد. مزیت

دیگر آن کاهش هزینه های اضافی و عدم نیاز به آزمایش های گران قیمت ژئوشیمیایی می باشد که این امکان را زمین شناسان میدهـد که محتوای عنصری مغزه های حفاری را به صورت برجا به دست آوردند.



شکل ۴: مقایسه محتوای مس محاسبه شده بر حسب توسط ۲ روش ICP و XRF.

٤- نتیجه گیری

به دلیل تناژ بالا، ذخایر پورفیری یکی از جذاب‌ترین اهداف اکتشافی در صنعت معدن محسوب می‌شوند. درصد زیادی از دستگاه‌های XRF پرتابل برای کشف این ذخایر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این یادداشت کاربردی، استفاده موفقیت‌آمیز از آنالیزگرهای XRF

پرتابل را در مطالعه مغزه های حفاری خلاصه می کند. چنین تحلیل‌های هم‌زمان همراه با دسترسی به لاگ های اکتشافی، بدون شک برای حفاری مؤثر و مدل‌سازی سه‌بعدی ذخایر معدنی بسیار مهم هستند.

۵- منابع

John, D.A. (ed.) (2010): Porphyry Copper Deposit Model. Scientific Investigations Report 2010.5070.B, U.S. Department of the Interior/U.S. Geological Survey, 186p.

٦- ضمیمه

پیشنهادات	نشانگر	عناصر
تحلیل روند با استفاده از XRFبه شدت توصیه میگردد	نزدیکی به مرکز کانه زایی	غلظت‌های بالای فلزات (Cu, Au, Ag, Mo, Pb, Zn, Sb, Bi) در یک جهت خاص افقی یا عمودی
منطقه دگرسانی پتاسیک معمولاً بخش عمده‌ای از کانسار را دربرمی گیرد	حضور فلدسپات پتاسیم که کانی اصلی دگرسانی پتاسیک است	غلظت‌های بالای پتاسیم (K)
نواحی با کلسیم بالا میتواند بخشی از دگرسانی پروپیلیتیک باشند که با کانه زایی در ارتباط است هرچند در سیستم های پورفیری اغلب این الگو رایج نیست	دگرسانی کربناته قوی	غلظت‌های بالای کلسیم (Ca)
ممکن است نشان دهنده نزدیکی به زون های کانه زایی باشد	حضور کانی‌های سولفاته یا سولفیدی	غلظت‌های بالای گوگرد (S)
میتواند با کانه زایی محلی طلا در سیستم پورفیری در ارتباط باشد	حضور کانی‌های آرسنیدی یا سولفو آرسنیدی	غلظت‌های بالای آرسنیک (As)

جدول ۱: کاربرد نشانگر های عنصری با استفاده XRF در اکتشاف ذخایر پورفیری