فصلنامه‌ی زمین شناسی کاربردی
سال ۴ (۱۳۸۷)، شماره‌ی ۱: ۱۹ - ۱۲
WWW.appliedgeology.ir

مطالعه‌ی کانی‌های سولفوری نیکل و گروه پلاتین در توده‌ی اوالترمافیک آبدشت، ناحیه‌ی اسفندقه

سیامک باقریان، اسماعیل درویشی
گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی الیگودرز

چکیده

توده‌ی پریدوتیتی آبدشت بخشی از مجموعه‌ی افیولیتی اسفندقه-کرمان با ترکیب سنگ‌شناسی دونیت و هارزبورژیت است که گاه به لرزولیت و ورلیت تبدیل می‌شوند. کانسارهای کرومیت در ۱۵ افق کانی‌سازی رخ داده‌اند. بعضی از مجموعه‌های افیولیتی جهان علاوه بر کروم، منابع ارزشمند نیکل، کبالت و کانی‌های گروه پلاتین را در بردارند، لذا علاوه بر برّرسی ذخایر با ارزش کرومیت توده‌ی آبدشت، مطالعات مختلف ژئوشیمی و اورمیکروسکوپی جهت شناخت کانی‌های سولفوری در این توده انجام شد. کانی‌های سولفوری نیکل به‌ویژه پنتلندیت در این ناحیه در دو بخش سنگ میزبان ذخیره‌سازهای کرومیت و همچنین میان عدسی‌های کرومیت یافت می‌شوند. میزان عناصر گروه پلاتین بسیار کم است، حداکثر ۸۳PPb در معدن کمال آباد، که اغلب به‌صورت میان‌بار و دانه‌ریز داخل کرومیت و گانگ سیلیکاته همراه آن وجود دارد. کانی‌های سولفوری دیگری از قبیل پیروتیت، پیریت، میلریت، کالکوپیریت، کالکوزین، نیکل پیریت، کالکوپنتلندیت، والریت و غیره یافت می‌شوند. کانی‌های سولفوری نیکل و عناصر پلاتین هیچ‌گاه تشکیل ذخایر ارزشمند را نداده و از نظر اقتصادی قابل توجّه نمی‌باشند.

واژه‌های کلیدی: افیولیت، پنتلاندیت، عناصر گروه پلاتین، کانی‌های سولفوری، کرومیت .

The study of Nickel Sulfuric and Platinum group in Abdasht ultramafic massive

S. Bagherian & E. Darvishi
Department of Geology, Faculty of Basic Science, Islamic Azad University, Aligudarz Branch, Aligudarz, I. R. Iran

Abstract

The Abdasht massive peridotite is a part of the Esphandagheh ophiolite complex. Constituents of the Abdasht rocks are mostly dunite and harzburgite, which occasionally convert to lehrzolite and wherlite. Chromite deposits occur in 15 mineralized horizons. Considering that some of the world's ophiolite complexes have worthwhile

resources of PGM, Ni, and Co, in addition to Cr, some investigations into geochemistry and ore microscopy for identifying sulfuric minerals have been carried out. The results of these studies reveal the presence of Nickel sulfuric minerals, especially Pentlandite in this region, which is found in two different parts: host rocks of the chromite deposits and also chromite lenses. The amount of PGM is very small (at most 83 ppb in Kamalabad mine) and often exists in the form of inclusion and fine grain in chromites and silicate gangue. Other sulfuric minerals such as pyrrhotine, pyrite, millerite, chalcopyrite, chalcocite, nickel pyrite, chalcopentlandite, vallerite etc. were found. These sulfuric minerals (Ni, Co and PGM) never consist of worthwhile resources and their economic value is negligible.

Key words: Ophiolite, Chromites, Sulfuric minerals, Pentlandite, PGM.

۱- مقدّمه

رخدادهای افیولیتی پالئوزوئیک زون سنندج- سیرجان در ناحیه‌ی اسفندقه تحت عنوان کمپلکس بجگان معرّفی شده است (Sabzehei & Berberian 1974, Hushmandzadeh 1977). هشت توده‌ی بزرگ اولترامافیک و تعدادی توده‌ی کوچک به‌صورت مجزا در داخل این کمپلکس قرار دارند که به دو زیرگروه کمربند شمالی و کمربند جنوبی تقسیم شده‌اند (Paragon Co. 1974). تکوین ژئودینامیکی این افیولیت‌ها این گونه بیان شده است که در زمان‌های مختلف از پالئوزوئیک زیرین-میانی و در طول کوهزایی هرسینین به‌صورت تکتونیکی در داخل سنگ‌های دگرگونه‌ی پالئوزوئیک جایگزین گردیده‌اند (McCall 1985).

توده‌ی اولترامافیک آبدشت یکی از بیرون‌زدگی‌های بزرگ در کمپلکس بجگان است که در کمربند شمالی ناحیه‌ی اسفندقه روی داده است. سنگ‌های تشکیل دهنده‌ی این توده شامل تناوب نسبتاً منظمی از دونیت و هارزبورژیت و دربرگیرنده‌ی ذخایر ارزشمندی از کرومیت می‌باشند (باقریان ۱۳۷۴). معادن فعّال آبدشت، ممتاز و کمال‌آباد از توده‌های مهم معدنی در این ناحیه به شمار می‌آیند. سنگ‌های اولترامافیک مجموعه‌های افیولیتی موجود در جهان علاوه بر کروم، منابع با ارزشی از پلاتین، نیکل و کبالت را در بر می‌گیرند. لذا مطالعات مختلف زمین‌شناسی و ژئوشیمی به کمک روش‌های میکروسکوپی، میکروپروب و انجام آنالیزهای شیمیایی جهت برّرسی کانی‌های سولفوری در توده‌ی آبدشت انجام و نتایج حاصله منجر به شناسایی تعدادی از کانی‌های سولفوری نیکل، کبالت، مس و عناصر گروه پلاتین گردید که در سطح توده به‌صورت تمرکزهای اقتصادی دیده نمی‌شوند.

در اطراف معدن کمال‌آباد و معدن ممتاز، یک آنومالی از کانی‌های سولفوری نیکل وجود دارد، به‌طوری‌که در سنگ‌های کرومیتیت این معدن، ۴۷۰۰PPM نیکل به همراه سایر عناصر به ویژه مس (۱ درصد) یافت می‌شود. در نواحی که سنگ‌های پریدوتیتی دگرسانی بیشتری را تحمّل کرده‌اند مقدار عنصر نیکل نیز افزایش یافته است. نیکل عمداً به‌صورت پنتلندیت و اغلب همراه با کرومیت و سنگ‌های دونیتی دربرگیرنده‌ی این ذخایر وجود دارد. پیروتیت، کالکوپیریت و مگنتیت، اغلب پنتلاندیت را همراهی می‌کنند. کانی‌های گروه پلاتین یا به‌صورت میان بارهای بسیار ریز در درون کرومیت و بخش‌های کوچکی داخل سیلیکات‌ها و یا این‌که در داخل سولفورها به‌ویژه کانی‌های سولفوری نیکل، پیریت و پیروتیت یافت می‌شوند.

۲- بحث

توده‌ی آبدشت، یکی ازمهم‌ترین توده‌های اولترامافیک ناحیه‌ی اسفندقه، در وسعتی به طول هشت و پهنای حدود پنج کیلومتر رخ داده است. توده‌ی پریدوتیتی به‌صورت کوه‌های مرتفع، شامل تناوب نسبتاً منظمی از دونیت و هارزبوژیت، به دونیت - ورلیت و دونیت- لرزولیت تبدیل می‌شود.

این سنگ‌ها اغلب سرپانتینی شده‌اند و این فرآیند در محل شکستگی و گسل‌ها و همچنین مرز پریدوتیت‌ها با تشکیلات مجاور شدت بیشتری به‌خود گرفته است. دگرسانی و تجزیه‌ی سطحی نیز در این سنگ‌ها دیده می‌شود و اغلب باعث تنوّع رنگ در سطح و ایجاد تیغه‌هایی به ابعاد مختلف در شکستگی این سنگ‌ها شده است. دونیت‌هارزبورژیت و ورلیت که حاصل تفریق یک ماگمای آذرین بوده دارای ساخت و چینه‌بندی ماگمایی است که بر اثر چین‌خوردگی و فرآیندهای مختلف دگرگونی این ساخت از بین رفته و در همه‌ی نقاط توده قابل مشاهده نمی‌باشد (باقریان ۱۳۷۴). در مشاهدات صحرایی می‌توان به کمک تناوب دونیت- ورلیت و دونیت- کرومیت و یا دونیت- هارزبورژیت و همچنین تغییرات سرپانتینی و منیزیتی در این سنگ‌ها، ساخت ماگمایی را تشخیص داد.

با توجّه به این که مجموعه‌ی افیولیتی اسفندقه و در میان آن توده‌ی آبدشت، تحت تأثیر فازهای کوهزایی متعدّدی قرار گرفته‌اند، لذا ساخت‌های تکتونیکی مختلف مانند مجموعه‌های شکستگی و گسل را می‌توان در آن انتظار داشت (Hushmandzadeh 1977). در میان توده‌ی آبدشت عدسی و لایه‌های متعدّدی از کرومیت در ۱۵ افق کانی‌سازی رخ داده است که در هر افق، کانسارها، اندیس و نشانه‌هایی از کرومیت یافت می‌شود که تعدادی از آن‌ها به‌صورت توده‌های معدنی اقتصادی می‌باشند و از دیرباز مورد اکتشاف و بهره‌برداری قرار گرفته‌اند (باقریان ۱۳۷۴).

از آنجا که سنگ‌های اولترامافیک موجود در توده‌های افیولیتی دارای منابع با ارزشی از پلاتین، نیکل، کبالت و کروم می‌باشند و با توجّه به این که ضمن مطالعات ذخایر کرومیت توده‌ی آبدشت بعضی از کانی‌های سولفوری در سنگ‌های پریدوتیتی این منطقه مشاهده شدند، لذا مطالعات مختلف زمین‌شناسی اقتصادی با بهره‌گیری از روش‌های میکروسکوپی و میکروسوند و همچنین تجزیه‌ی شیمیایی بر روی نمونه‌های مختلف جهت بررّسی این کانی‌ها صورت گرفت. البته وجود سولفورهای مختلف داخل سایر توده‌های اولترامافیک ناحیه‌ی اسفندقه مخصوصاً توده‌ی سیخوران به اثبات رسیده است. در این تیپ سنگ‌ها عناصر کرم، کبالت و نیکل تقریباً با ۹۸ درصد اطمینان همبسته بوده و نشانه‌ی حضور این عناصر در این سنگ‌ها به‌صورت پاراژنتیک می‌باشد (علوی نائینی و آذر ۱۳۷۰)، ولی وجود کانسارهای کرومیت ضرورتاً دال بر وجود کانسارهای نیکل و کبالت نخواهد بود.

۲-۱- سولفورهای نیکل در توده‌ی آبدشت

در بعضی از دونیت‌ها و کرومیتیت‌های توده‌ی آبدشت سولفورهای نیکل و آهن وجود دارد. سبزه‌ای (۱۳۶۱) معتقد است که کانی‌های سولفوری به‌طور عموم در ورلیت‌ها متمرکز شده که این سنگ در منطقه‌ی عبوری دونیت به وبستریت قرار دارد. تاکنون مطالعات ژئوفیزیکی جهت بررّسی سولفورهای نیکل در این توده صورت نگرفته، لذا در این تحقیق با توجّه به مطالعات کانی‌شناسی، اورمیکروسکوپی و نتایج تجزیه‌ی شیمیایی اقدام به شناسایی و معرّفی سولفورهای نیکل گردید. بر همین اساس حدود ۱۰ نمونه از کانسنگ کرومیتیت و سنگ‌های پریدوتیتی میزبان آن‌ها مورد تجزیه‌ی شیمیایی قرار گرفت که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد. این نتایج با استفاده از مطالعات ژئوشیمیایی جهت یافتن کروم، کبالت و نیکل در سطح ناحیه‌ی اسفندقه انجام گرفت (علوی نائینی و آذر ۱۳۷۰).

جدول ۱- نتایج تجزیه‌ی شیمیایی کرومیتیت و سنگ میزبان آن‌ها جهت تعیین مقدار عناصر نیکل و کبالت برحسب PPM (نمونه‌های ارسالی به کشور چین)

شماره‌ی نمونه	شماره‌ی آزمایش	نوع سنگ	نیکل	کبالت
S-1	۹۵-۰۰۸۶	کرومیتیت	۱۶۰	۱۳۰
S-4	۹۵-۰۰۹۷	دونیت	۲۰۰۰	۱۰۰
S-8	۹۵-۰۰۸۸	دونیت	۱۳۰۰	۱۲۰
S-14	۹۵-۰۰۸۹	کرومیتیت	۱۱۰۰	۱۴۰
S-18	۹۵-۰۰۹۰	کرومیتیت	۱۲۰۰	۱۳۰
S-33	۹۵-۰۰۹۱	دونیت	۲۷۰۰	۱۰۰
S-34	۹۵-۰۰۹۲	دونیت	۴۷۰۰	۱۶۰
S-35	۹۵-۰۰۹۳	کرومیتیت	۱۴۰۰	۱۰۰
S-48	۹۵-۰۰۹۴	کرومیتیت	۱۸۰۰	۱۴۰
SP-1	۹۵-۰۰۹۵	کرومیتیت	۱۷۰۰	۱۱۰

همچنین چند نمونه از کانی‌های سولفوری به کمک روش میکروسوند مورد شناسایی قرار گرفت. در بخش شمال غرب معدن آبدشت در مساحتی حدود پنج کیلومترمربّع، در اطراف معادن کمال‌آباد و معدن یک، نشانه‌هایی از کانی‌های سولفوری نیکل وجود دارد. سنگ‌های این ناحیه شامل دونیت و کمی هارزبورژیت است. در دونیت‌های سرپانتینی شده‌ی معدن اصلی آبدشت عیار عنصر نیکل تا ۲۷۰۰PPM می‌رسد. در مناطقی که سنگ‌های پریدوتیتی دگرسانی بیشتری را متحمّل شده‌اند، مقدار عنصر نیکل نیز افزایش یافته است، به‌طوری‌که عیار نیکل در سنگ‌های دونیتی ناحیه‌ی کمال‌آباد و معدن یک تا ۴۷۰۰ PPM می‌رسد. در این ناحیه فرآیندهای سرپانتینی شدن و تکتونیکی که منجر به ایجاد شکستگی و خردشدگی شده، نسبت به سایر نقاط توده‌ی پریدوتیتی آبدشت بیشتر است. در دونیت‌های توده‌ی عیار نیکل بین PPM ۴۷۰۰-۱۳۰۰ متغیّر است. مقدار نیکل در سنگ‌های دونیتی دربرگیرنده‌ی عدسی‌های کرومیت، نسبت به مقدار آن در خود عدسی‌های کرومیت بیشتر است، به نحوی که در کرومیتیت‌ها عیار نیکل بین PPM ۱۸۰۰-۱۱۰۰ تغییر می‌کند.

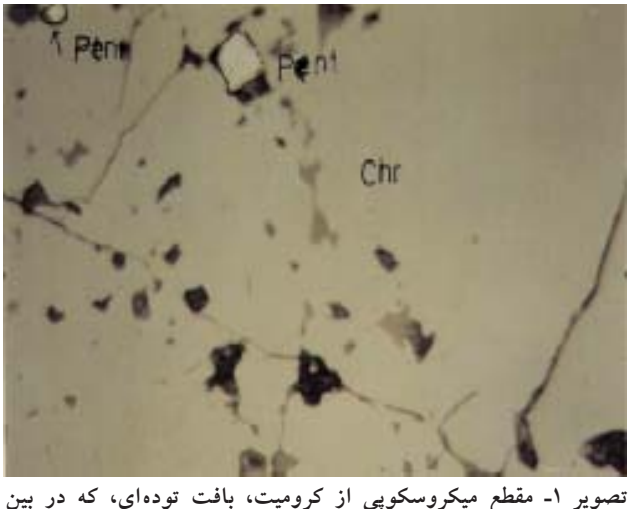
در حال حاضر کانسارهایی از نیکل اقتصادی هستند که عیار نیکل در آن بالای یک درصد باشد. به‌عنوان مثال کانسار لاتریتی نیکل‌دار در توده‌های افیولیتی شرق آلبانی، ناحیه‌ی کوکز (Kukes) میزان نیکل در سنگ‌های پریدوتیتی کاملاً تجزیه‌شده، حدود ۱/۳ درصد می‌باشد. از طرفی فرآیند لاتریتی در توده‌ی آبدشت انجام نشده و همین امر مزید بر علّت شده که در این توده، کانی‌سازی نیکل

به‌صورت اقتصادی و قابل بهره‌برداری رخ نداده باشد.

میزان عنصر کبالت حاصل از نتایج آنالیز شیمیایی این نمونه‌ها بسیار ناچیز است، به‌صورتی که در معدن کمال‌آباد حداکثر به ۱۶۰ PPM می‌رسد. بنابراین مهم‌ترین کانی نیکل‌دار آن که پنتلندیت تشخیص داده شد به شرح زیر مورد توصیف قرار گرفت:

پنتلندیت (Pentlandite): این کانی با فرمول شیمیایی $((Fe,Ni)_9S_8)$ که مقادیر آهن و نیکل آن متنوّع است (اغلب Ni>Fe)شناخته شده است. پنتلندیت کانی اصلی نیکل است که در بسیاری از مواقع به‌صورت مستقل یافت می‌شود. کلیواژ (III) اغلب در مقاطع صیقلی قابل دیدن است. این کانی از کالکوپیریت سخت‌تر و از پیروتیت نرم‌تر می‌باشد. رنگ انعکاسی آن کرم روشن و دارای انعکاس بالایی می‌باشد. پنتلندیت عموماً نمی‌تواند اکسولوشن داشته باشد ولی در بعضی از رخدادهای حرارت بالا مثل ناحیه‌ی سادبری مقداری اکسولوشن پیروتیت در آن وجود دارد. بدون توجّه به چند استثناء، این کانی تنها به‌عنوان یک سازنده در کانسارهای غنی از پیروتیت وجود دارد. گاهی پیروتیت جانشین پنتلندیت می‌شود (Ramdohr 1980).

در منطقه‌ی اسفندقه کانی پنتلندیت، در تمامی اجزاء اولترامافیک - مافیک از دونیت تا گابروهای لایه‌ای گزارش گردیده است (سبزه‌ای ۱۳۶۱). در بسیاری از مقاطع صیقلی تهیه شده از کرومیتیت، دونیت و سایر سنگ‌های توده‌ی پریدوتیتی آبدشت، کانی پنتلندیت تشخیص و یک نمونه از این کانی به کمک دکتر خوئی (۱۳۶۱) مورد تجزیه‌ی میکروسوند قرار گرفت (تصویر ۱ و جدول ۲).



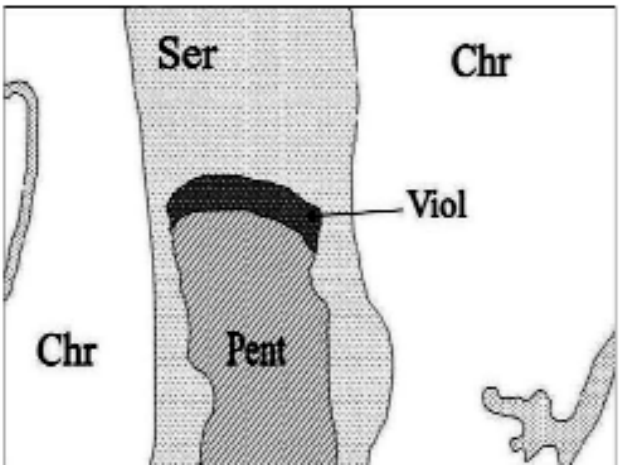
تصویر ۱- مقطع میکروسکوپی از کرومیت، بافت توده‌ای، که در بین شکستگی‌های آن کانی پنتلندیت دیده می‌شود، بزرگنمایی (۱۰ x ۴۰)، نمونه‌ی S -20، معدن شش، Pent: پنتلندیت، Chr: کرومیت، Ser: سرپانتین

جدول ۲- نتایج تجزیه‌ی کانی پنتلندیت با دستگاه میکروسوند (تجزیه توسّط خوئی ۱۳۶۱)

عناصر	Mg	Si	S	Ca	Cr	Fe	Ni
درصد	۴/۸۸۵	۳/۶۷۸	۲۸/۶۰۶	۱/۱۵۸	۲/۷۵۴	۲۴/۲۸۶	۳۴/۶۳۴

در تجزیه‌ی شیمیایی مقادیری منیزیم (Mg=۴/۸۸) و سیلیسیم (Si=۳/۶۷) وجود دارد که این مقادیر احتمالاً متعلّق به سرپانتین و کرومیت است که به مقدار کم، کانی پنتلندیت را همراهی می‌کنند. با توجّه به ترکیب سرپانتین و با این فرض که تمام مقادیر سیلیسیم متعلّق به این کانی است می‌توان مقادیر منیزیم موجود در سرپانتین را به‌دست آورد. مقادیری از منیزیم نیز متعلق به کانی کرومیت است که آغشتگی با پنتلندیت دارد. در نتیجه می‌توان مقدار آهن حاصل از تجزیه (Fe=۲۴/۲۸) را به کرومیت نسبت داد. درصد کروم حاصل از تجزیه ۲/۷۵ درصد می‌باشد. مقدار گوگرد حاصل از آزمایش ۲۸/۶۶۰ درصد و مقدار نیکل ۳۴/۶۳ درصد است، امّا در تجزیه‌ی شیمیایی کانی پنتلندیت مقدار ۱/۱۵۸ درصد کلسیم دیده می‌شود که این کلسیم نه در فرمول سرپانتینیت و نه در فرمول پنتلندیت دیده می‌شود. دلیل این امر آن است که در ترکیب شیمیایی پنتلندیت به‌صورت ناخالصی و آغشتگی، کربنات کلسیم باید وجود داشته باشد. با توجّه به این‌که در کانسارهای کرومیت و سنگ‌های پریدوتیتی توده‌ی آبدشت منیزیت و ئیدرومنیزیت و سایر کربنات‌ها یافت می‌شوند، به نظر می‌رسد که وجود کربنات در این کانسارها در ساخت پنتلندیت نقش بزرگی داشته باشد، به طوری که حتی مقدار منیزیم محاسبه شده در فرمول کرومیت شرکت کننده در فرمول پنتلندیت باید متعلّق به کربنات منیزیم یا منیزیت باشد. به هرحال می‌توان وجود کانی پنتلندیت با فرمول $((Fe,Ni)_9S_8)$ را در سنگ‌های این توده به اثبات رسانید. جایگاه مهم آن درون ژئودهای کرومیت و یا درون گانگ‌های سرپانتین است، ولی به همراه پیروتیت یافت می‌شود. دگرسانی این کانی سبب ایجاد دو کانی ویولاریت (Violarite) $((Fe,Ni)_2S_4)$ و براوئیت (Bravoite) $((Ni, Fe)S_2)$ شده است (تصویر ۲).

پنتلندیت در طول مرزها، شکستگی و ترک‌ها ابتدا ریش‌ریش و نازک شده و دانه‌ها به‌تدریج به براوئیت تغییر می‌یابند. در طول تشکیل براوئیت که با کاهش حجم همراه است، دانه‌های خیلی کوچک پیریت و مارکاسیت نیز تشکیل می‌شوند. وقتی دو کانی براوئیت و ویولاریت با هم از پنتلندیت حاصل می‌آیند، ویولاریت به‌صورت شبکه‌ای و براوئیت به‌صورت پرکننده‌ی فضای خالی دیده می‌شود.اغلب بر روی براوئیت کانی کوولیت (Covellite)



تصویر ۲- کانی پنتلندیت که به ویولاریت تبدیل شده است (تصویر ترسیم‌شده از مقطع صیقلی)Chr-کرومیت، Pent-پنتلندیت، Viol-ویولاریت، Ser-سرپانتین

می‌نشیند و یا با کوولیت جابه‌جا می‌شود. طبق نظر خوئی (۱۳۶۱) خواص نوری پنتلندیت ناحیه‌ی اسفندقه دارای ناخالصی است و در ساختمان بلوری آن مقداری مس جا گرفته است. دگرسانی این کانی مرحله‌ای است، یعنی ابتدا به براوئیت و سپس براوئیت به هیزلودیت (Heazlewoodite) و میلریت (Millerite) تجزیه می‌شود.

به‌طورکلّی کانی پنتلندیت مشاهده شده فاقد شکل هندسی منظم است، ولی درشتی دانه‌های آن متفاوت است. زمانی که با سنگ میزبان کرومیت توده‌ای همراه است با چشم غیرمسلح قابل رویت است، ولی هنگامی‌که ذخایر کرومیت بافت افشان دارند و درون سنگ پراکنده هستند این کانی سولفوری را با چشم غیرمسلح نمی‌توان به راحتی مشاهده کرد.

۲-۲- کانی‌های گروه پلاتین

عناصر گروه پلاتین (PGE: Platinum group element) شامل پلاتین، پالادیم، رودیم، روتینیم، ایریدیم و اوسمیم هستند. در دو دهه‌ی گذشته با استفاده از الکترون میکروپروب بیش از یک‌صد کانی گروه پلاتین شناسایی گردیده‌اند. اما داده‌های تجزیه‌ای و خواص نوری آن‌ها هنوز کامل نیست. ترکیان (۱۳۶۷) فهرستی از کانی‌های گروه پلاتین را ارائه کرده است. کابری و لافلام (Cabri & Laflamme 1981) انواع کانسارهای پلاتین را به شرح زیر طبقه‌بندی کرده‌اند:

الف- کانسارهایی که در آن‌ها عناصر گروه پلاتین به‌عنوان محصول اصلی و مهم تولید می‌شوند، مانند تیپ مرنسکی (Merensky): تیپ کرومیت‌های لایه‌ای، تیپ آلاسکایی، اورال یا آلاسکا - اورال (Alaskan-Ural)

ب- کانسارهایی که در آن‌ها عناصر گروه پلاتین هم‌ارز با عناصر دیگر و یا به‌عنوان محصول جانبی استحصال می‌شوند: تیپ آلپی و پلاسرهای وابسته، همراه با سولفیدهای ماگمایی مس-نیکل و نیکل و کانسارهای متفرقه.

کانسارهای گروه پلاتین از تیپ آلپی در سنگ‌های دونیت و هارزبورژیت و سایر پریدوتیت‌های توده‌ای افیولیتی وجود دارند. کانی‌سازی عموماً شامل آلیاژهای اوسمیم، ایریدیم، روتینیم است. همراهی عناصر گروه پلاتین همراه با کرومیت‌های انبانی در کانسارهای آلپی از اهمیّت ویژه‌ای برخوردار است. به‌عنوان مثال ذخایری از پلاتین در شمال غرب چین همراه بخش‌هایی از سکانس افیولیتی تجزیه شده یافت می‌شوند. ذخایر پلاتین اورال و همچنین ذخایر جنوب غربی اورگون (Oregon) ناحیه‌ی ژوزفین (Josephine) و کالیفرنیا اغلب به‌صورت پلاسر و حاصل تجزیه‌ی پریدوتیت‌های نوع آلپی می‌باشند و به‌صورت آلیاژهایی از اوسمیم، ایریدیم و روتینیم مشاهده می‌شوند (Cabri & Laflamme 1981). در کمپلکس افیولیتی شتلند (Shetland) در شمال شرق اسکاتلند کانی‌های گروه پلاتین در نمونه‌های غنی شده‌ی کرومیت تشکیل شده‌اند (ترکیان ۱۳۶۷).

در نمونه‌های غنی از کرومیت روابط بافتی بین کانی‌های گروه پلاتین و میزبان سیلیکاتی یا کرومیت، حاکی از وجود یک نظم در تشکیل این کانی است. به نظر می‌رسد ابتدا کانی‌های غنی از اسمیم و روتینیم، سپس کانی‌های حامل ایریدیم، پالادیم، رودیم و سرانجام کانی‌های حامل پلاتین تشکیل شده باشند. کانی‌های گروه پلاتین در مرکز و حاشیه‌ی اسفنجی دانه‌های کرومیت، در ماتریکس سیلیکاته بین‌بافتی وجود دارند (ترکیان ۱۳۶۷).

در ارتباط با وجود کانی‌های پلاتین در مجموعه‌های افیولیتی ایران مطالعات اندکی صورت گرفته است. سبزه‌ای (۱۳۶۱) در خصوص رخداد پلاتین در مجموعه‌ی افیولیتی سیخوران مجاور توده‌ی آبدشت چنین گزارش می‌کند: "کوشش برای رؤیت کانی‌های پلاتین در مطالعات اورمیکروسکوپی بی‌نتیجه مانده و به‌نظر می‌رسد عناصر گروه پلاتین در فضای خالی در شبکه پیروتیت و پنتلندیت به تله افتاده و هیچ‌گونه فاز مستقلی را تشکیل نداده‌اند. ابعاد آن‌ها

آن‌قدر کوچک است که با وسایل نوری معمولی قابل رؤیت نیست. تنها نیاز به آنالیز میکروپروب با بزرگ نمایی زیاد دارد".

براساس آنالیز شیمیایی سازمان زمین شناسی آمریکا، از نمونه های دونیت به‌همراه عدسی های کرومیت نودولی غنی از سولفور (پنتلندیت) ناحیه‌ی سیخوران، میزان ۷/۱۴ گرم در تن پلاتین و ۰/۷۵۵ گرم در تن پالادیم گزارش شده است. همچنین نمونه‌هایی که برای آزمایشگاه وزارت زمین‌شناسی شوروی سابق از همین سنگ ارسال شده مقدار ۴/۶ گرم بر تن پالادیم گزارش شده است (سبزه‌ای ۱۳۶۱).

خوئی (۱۳۶۱) ضمن تأکید بر وجود عناصر گروه پلاتین در این سنگ‌ها معتقد است که عناصر گروه پلاتین در سولفورهای نیکل و نه به‌صورت کانی‌های گروه پلاتین وجود دارند و به لکه‌های کوچکی از کانی اوسمیم- ایریدیوم در داخل پیریت‌های نیکل‌دار همین ناحیه اشاره می کند.

جهت برّرسی عناصر گروه پلاتین در توده‌ی آبدشت، ۱۰ نمونه از سنگ‌هایی که طبق مطالعات نمونه‌های دستی و اورمیکروسکوپی، کانی‌های سولفوری در آن تشخیص داده شده به کشور چین ارسال گردید (جدول ۳).

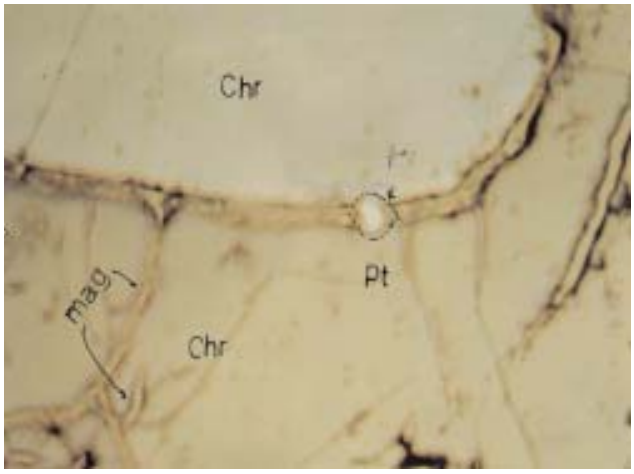
در مطالعات اورمیکروسکوپی نمونه‌های غنی از سولفور

جدول ۳- نتایج تجزیه‌ی شیمیایی کرومیتیت و سنگ میزبان آن‌ها جهت تعیین مقدار عناصر گروه پلاتین برحسب PPM (نمونه‌های ارسالی به کشور چین)

شماره‌ی نمونه	شماره‌ی آزمایش	نوع سنگ	(Pd)پالادیم	(Pt)پلاتین
S-1	۹۵-۸۶	کرومیتیت	۰	۰/۰۶
S-4	۹۵-۸۷	دونیت	۰	۰
S-8	۹۵-۸۸	دونیت	۰	۰
S-14	۹۵-۸۹	کرومیتیت	۰/۰۱۳	۰
S-18	۹۵-۹۰	کرومیتیت	۰/۰۱۷	۰
S-33	۹۵-۹۱	دونیت	۰	۰
S-34	۹۵-۹۲	دونیت	۰	۰
S-35	۹۵-۹۳	کرومیتیت	۰	۰
S-48	۹۵-۹۴	کرومیتیت	۰	۰
SP-1	۹۵-۹۵	کرومیتیت	۰/۰۸۳	۰/۰۲۷

سنگ‌های پریدوتیت، سرپانتینیت و کرومیتیت در نمونه‌ی S-1، کرومیتیت معدن شش با بافت توده‌ای، یک نمونه پلاتی‌نوئید در لابه‌لای شکستگی‌های کرومیت تشخیص داده شد. در این نمونه کرومیت در اطراف شکستگی و درز و شکاف خود به مگنتیت تبدیل شده است (تصویر ۳). نتایج آنالیز شیمیایی همین نمونه بیانگر میزان 6PPb .پلاتین در نمونه است. نمونه‌ی S-14،کرومیتیت با بافت کاتاکلاستیک از معدن ۵، مقدار 13PPb پالادیم و نمونه‌ی S-13، کرومیتیت با بافت توده‌ای به شدّت تکتونیزه، مقدار 17 PPbپالادیم را نشان می دهند. در مطالعات اورمیکروسکوپی این نمونه‌ها امکان تشخیص و رؤیت پلاتین وجود ندارد. در نمونه‌هایی از سنگ‌های دونیت دربرگیرنده‌ی این ذخایر که مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند، عناصر گروه پلاتین گزارش نشده است. در نمونه‌ی P-S، کرومیت سوپر معدن کمال آباد، مقدار ۲۷PPb پلاتین و ۸۳PPb پالادیم گزارش شد.

نتایج حاصل از این بررسی‌ها بیانگر مقدار ناچیز عناصر گروه



تصویر ۳- مقطع میکروسکوپی کرومیت با بافت توده‌ای که در درز و شکاف آن به مگنتیت تبدیل شده است و در بین شکستگی، قطعه کوچکی از کانی گروه پلاتین دیده می‌شود (تشخیص توسّط خوئی ۱۳۶۱) (بزرگنمایی ۱۰*۴۰)، Pt: کانی گروه پلاتین، Chr: کرومیت،Mag: مگنتیت

پلاتین همراه کرومیتیت است و در نیام‌های دونیتی گزارش نشده است. همین میزان عناصر گروه پلاتین اغلب به‌صورت میان‌بارهای بسیار ریز در درون کانی کرومیت و بخش‌های کوچکی داخل سیلیکات‌های همراه توده‌های کرومیتیت، دیده می شوند. البته نظر به این که اغلب ذخایر پلاتین همراه کرومیت‌های استراتی‌فرم رخ داده است، لذا میزان ناچیز پلاتین در این ذخایر کرومیت در کنار سایر شواهد تکتوماگمایی، ژئوشیمی و غیره، دلیل دیگری بر پودی‌فرم بودن ذخایر کرومیت توده‌ی آبدشت است.

۲-۳- سایر کانی‌های سولفوری

علاوه بر کانی‌های ذکر شده و عناصر گروه پلاتین، کانی‌های پیروتیت، کالکوپیریت، براوئیت، والریت (Vallerite)،میلریت (Millerite)، پولی‌دیمیت (Polydymite)، پیریت، ماکیناویت

(Mackinawite)، نیکل پیریت، نیکل پیروتیت، کالکوزین، بورنیت، کوولیت، ماچریت (Maucherit)، کالکوپنتلندیت، براویت (Bravite) کوبانیت، هیزلودیت (Heazlewoodite)، تنوریت (Tenorite)، تراوریت (Trevarite)، گارنیریت (Garnierite) و غیره که قبلاً در ناحیه‌ی اسفندقه تشخیص داده شده بود (خوئی ۱۳۶۱، سبزه‌ای ۱۳۶۱) مورد شناسایی قرار گرفت که به‌دلیل میزان بسیار ناچیز آن‌ها از توصیف آن‌ها خودداری می‌کنیم و در اینجا فقط به تشریح سه کانی پیروتیت، کالکوپیریت و براوئیت که میزان آن‌ها اندکی بیشتر از سایر سولفورها است می‌پردازیم.

پیروتیت: این کانی دارای فرمول (Fe_1-xS) می‌باشد و با پنتلندیت از یک خانواده است و با توجّه به شعاع یونی آهن و نیکل این دو کانی به راحتی می‌توانند به‌جای هم قرار گیرند. در مقاطع صیقلی این کانی به‌صورت بلورهای ریزدانه و اغلب مستقل بوده ولی نمونه‌هایی در آن به وسیله پنتلندیت و کالکوپیریت همراهی می‌شود، فراوان است. این کانی فاقد شکل هندسی منظم است و بندرت به پیریت و مارکاسیت تجزیه شده است. ساختمان بلوری پیروتیت مقدار جالب توجّهی نیکل جذب می‌کند و همین امر باعث تغییر خواص نوری آن می‌شود.

کالکوپیریت: این کانی دارای فرمول ($CuFeS_2$) است و در مقاطع صیقلی مورد مطالعه عمدتاً همراه بورنیت و پیروتیت دیده می‌شود. این کانی بیشتر مواقع به‌صورت مستقل و آزاد، همراه کرومیت‌ها در فضاهای خالی و درون گانگ سیلیکاته مشاهده می‌شود. میزان کالکوپیریت و سایر کانی‌های سولفوری مس بسیار ناچیز است.

براوئیت: این کانی با فرمول ($(Ni, Fe)S_2$) در همه‌ی مقاطع مورد مطالعه که پنتلندیت در آن وجود داشت، رؤیت گردید و گاهی به‌صورت لکه‌های درشتی درون کرومیت‌ها وجود دارد. خواص اپتیکی دانه‌های مختلف آن با یکدیگر متفاوت می‌باشند، لذا می‌توان گفت دگرسانی پنتلندیت یک مرحله‌ای نبوده و از مراحل گوناگون می‌گذرد (خوئی ۱۳۶۱، مذاکرات شفاهی). بیشترین مقدار آن همراه پنتلندیت‌های موجود در کرومیت با بافت نودولار است، ولی در سایر کانی‌های کرومیت واجد پنتلندیت نیز یافت می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

توده‌ی آبدشت بخشی از مجموعه‌ی افیولیتی پالئوزوئیک اسفندقه می‌باشد که در بخش‌های عمیق این مجموعه قرار دارد. در این توده‌ی اولترامافیکی که اغلب شامل ردیفی از سنگ‌های پریدوتیتی سرپانتینی شده از قبیل دونیت هارزبوریت، دونیت- ورلیت می‌باشد حدود ۱۵ افق کانی‌سازی کرومیت وجود دارد. افق آبدشت که چند معدن مهم در آن جای دارد مهم‌ترین ذخایر کرومیت در سطح مجموعه‌ی افیولیتی اسفندقه است. سنگ دربرگیرنده‌ی ذخایر کرومیت، دونیت می‌باشد که اغلب به‌صورت سرپانتینی و منیزیتی می‌باشد. ذخایر کرومیت به‌صورت لایه، عدسی و نوارهای متناوب وجود دارند. کانی‌سازی سولفوری شامل نیکل، کبالت، مس و عناصر گروه پلاتین به همراه عدسی‌های کرومیت و یا سنگ همراه رخ داده است. نیکل عمدتاً به‌صورت کانی پنتلندیت همراه کانسارهای کرومیت و سیلیکات‌های همراه آن دیده می‌شود که در بررسی‌های اورمیکروسکوپی این کانی مورد برّرسی قرار گرفت و اغلب به کانی‌های ویولاریت و براوئیت دگرسان شده است. میزان پنتلندیت در سنگ میزبان ذخایر کرومیت نسبت به توده‌ی معدنی کرومیتیت، بیشتر است.

علاوه بر پنتلندیت، پیروتیت، کالکوپیریت، والریت، میلریت، پیریت، نیکل پیریت، نیکل پیروتیت، کالکوزین، بورنیت، گارنیریت از جمله کانی‌های سولفوری هستند که در این توده‌ی اولترامافیک مورد برّرسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی و مطالعات اورمیکروسکوپی حکایت از وجود مقادیر بسیار ناچیزی از عناصر گروه پلاتین دارد. طبق داده‌های شیمیایی پالادیم و پلاتین از عناصر گروه پلاتین در این توده به شمار می‌آیند که اغلب به‌صورت میان‌بارهای بسیار ریز در درون کرومیتیت و به مقدار کمتری داخل در سیلیکات‌ها و سولفورها (شبکه پیروتیت و پنتلندیت) همراه عدسی‌های کرومیت به تله افتاده و کمتر فاز مستقلی را تشکیل داده‌اند. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که کانی‌های سولفوری نیکل و عناصر گروه پلاتین (PGM) هیچ‌گاه تمرکزهای اقتصادی را به‌وجود نیاورده‌اند.

۵- تقدیر و تشکّر

از جناب آقای دکتر خوئی به لحاظ انجام گفتگو و مشورت‌های علمی در جهت تکمیل این پژوهش تشکّر و قدردانی می‌شود.

مراجع

باقریان، س.، ۱۳۷۴، "بررسی کانسارهای کرومیت توده‌ی پریدوتیتی آبدشت (اسفندقه)"، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

ترکیان، م.، ۱۳۶۷، "کانی شناسی و ژئوشیمی فلزات گروه پلاتین در کانسارهای اولّیه و در آبرفت‌ها"، دومین سمپوزیوم معدن کاری ایران، تهران.

خوئی، ن.، ۱۳۶۱، "مشاهدات میکروسکوپی کانی سولفوری و سیر تحولات آن در منطقه‌ی اسفندقه"، سازمان زمین شناسی ایران.

علوی نائینی، م. و آذر، ف.، ۱۳۷۱، "اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در سطح اسفندقه - دولت آباد"، گزارش شماره‌ی ۸۹، سازمان زمین شناسی ایران، ۱۸۰ص.

سبزه‌ای، م.، ۱۳۶۱، "شرح مختصری بر کانسارهای کرومیت منطقه‌ی اسفندقه و پیشنهادات تکمیلی جهت اکتشاف این کانسارها"، گزارش شماره‌ی ۷۸، سازمان زمین شناسی ایران، ۹۰ص.

Cabri, L. J. & Laflamme, H. G., 1976, "The mineralogy of the platinum- group elements from some copper-nickel deposits of the Sudbury area, Ontario", *Econ. Geol., Vol. 71 (7): 1159-1195.*

Sabzehei, M. & Berberian, N., 1974, "Preliminary not on the structural and metamorphic history of the area between Dolatabad and Esfandagheh south-east central Iran", *Geol. Surv. Iran. Rep. 85, 30p.*

Hushmandzadeh, A., 1977, "Ophiolites of southeast Iran and their genetic problems", *Geol. Surv. Iran, Int. Rep. 12, 50p.*

Paragon Co., 1974, "Explanatory text Of Minab quadrangle Map 1:250/000", *Geol. Surv. Iran.*

McCall, G. J. H., 1985, "Explanatory text of the Minab quadrangle map 1:250,000", *Geol. Surv. Iran, Geol. Quadra, 530p.*

Ramdohr, P., 1980, "The ore mineral and their intergrowths", *Second Edition, Pergamon press, Germany, 1204 pp.*

McCall, G.J.H., 1985, Explanatory text of the Minab *Quadrangle Map 1;250000 J13 Geological Survey of Iran.*