



IRANIAN SOCIETY of  
CRYSTALLOGRAPHY  
and MINERALOGY

Vol. 16, No. 2, summer 1387/2008

IRANIAN JOURNAL OF  
CRYSTALLOGRAPHY  
and MINERALOGY

## The geochemistry and mineralogy of North C ore body and Baghak anomaly and determination of two Pyrrhotite generations which are different in composition in Sangan mine, eastern Iran

Sh. Kaheni, S. A. Mazaheri, M. H. Karimpour

Department of Geology, Faculty of sciences, Ferdowsi university of Mashhad-Iran  
E-mail: shivakaheni@yahoo.com

(Received: 7/5/2007, in revised form: 19/4/2008)

**Abstract:** Detailed studies are done in order to investigate the ore body in Sangan mine. Analyses results showed very low amount of gold in mineralized zone, (max 32 ppb). It is indicated that there is a positive relation between Au, S and As whereas there was no special relation between Au and Cu. Therefore Au can not be found along with Cu sulfides such as chalcopyrite. The LREE elements are higher than HREE in the ore body. Pyrrhotite has two generations which are distinguishable under the microscope: It might be formed either with or after magnetite formation. Careful XRD studies indicate that these two generations have different amounts of Fe and S.

**Keywords:** Magnetite, Pyrrhotite, Sulfide, Iron stone, Fe oxide type, Gold, Copper, Sulfur, Rare earth element (REE), XRD.



## بررسیهای ژئوشیمیایی و کانیشناسی سنگ آهن توده C شمالی و باگ در معدن سنگان خوف در شرق ایران و تعیین حضور دو نسل پیروتیت با ترکیب شیمیایی متفاوت

شیوا کاهنی، سید احمد مظاہری، محمدحسن کریمپور

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد  
 پست الکترونیکی: shivakaheni@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۱۳۸۶/۲/۱۷ ، نسخه نهایی: ۱۳۸۷/۱/۳۱)

چکیده: نتایج تجزیه‌های ژئوشیمیایی مگنتیت موجود در کانسار سنگان خوف، نشان داد که عنصر طلا در بخش‌های کانی ساخته به مقادیر بسیار اندک وجود دارد، (با بیشینه ۳۲ ppb). با رسم نمودارهای مختلف مشخص شد که ارتباط مستقیمی بین میزان طلا، سولفور و آرسن وجود دارد، ولی چنین ارتباطی بین عنصر مس و طلا دیده نشد که نشان دهنده عدم حضور طلا همراه با سولفیدهای مس دار است. همچنین عناصر LREE نسبت به عناصر HREE در ماده معدنی، غنی شدگی نشان می‌دهد. پیروتیت در دونسل کانی-سازی، همراه با مگنتیت و پس از تشکیل آن در محیط برجای گذاشته شده است. همچنین با استفاده از بررسیهای دقیق پرتو X و مطالعات بعدی مشخص شد که این دو نسل از لحاظ میزان آهن و سولفور متفاوتند.

واژه‌های کلیدی: مگنتیت، پیروتیت، سولفید، سنگ آهن، گونه Fe Oxide، عناصر خاکی کمیاب (REE)، XRD.

نبودن شرایط شیمیایی محیط کانیهای مربوط به هر نسل تفاوت‌هایی از لحاظ ترکیب شیمیایی نشان می‌دهند که آنالیزهای انجام شده XRD این مسئله را در مورد کانی پیروتیت نشان می‌دهد.

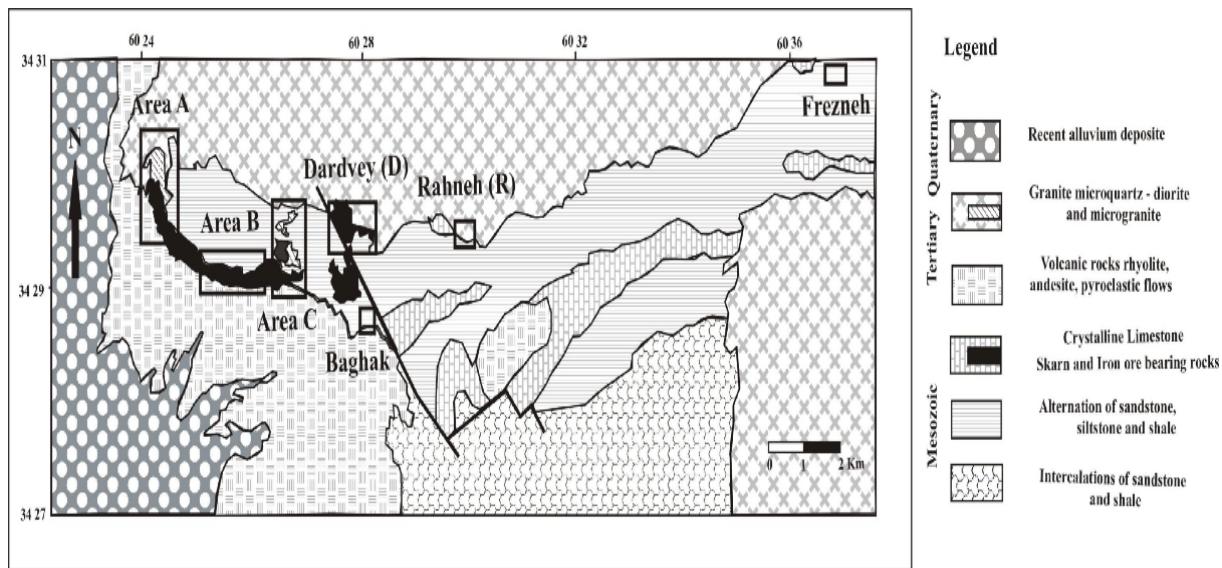
کانسارهای Iron Oxide گروه اصلی مگنتیت-آپاتیت (که حاوی مقادیر بالایی از U، P و REE هستند) و گروه Fe Oxide Cu Au Deposit شده‌اند [۱].

این دو گونه از بعضی لحاظ شباهت‌هایی با هم دارند و گاه در برخی مناطق همراه هم یافت می‌شوند [۲-۵]. در دهه اخیر بررسیهای زیادی بر روی گونه کانی ساخته در منطقه آنومالی‌های جدیدی علاوه بر اکسید آهن در کانسارهای مختلف یافت شده‌اند [۶-۷].

### مقدمه

کانسار سنگ آهن سنگان خوف در ۲۸۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد، در گستره‌ای بین طولهای جغرافیایی  $24^{\circ} 60'$  و  $25^{\circ} 30'$  و عرضهای جغرافیایی  $34^{\circ} 26'$  و  $34^{\circ} 33'$  واقع است. کانسار شامل سه بخش غربی (توده‌های A، B، C)، مرکزی (توده‌های D) و بخش شرقی (ناهنجاریهای R) و فرزنه است، (شکل ۱). در حال حاضر بهره‌برداری از توده‌های باگ و A (تپه قرمز) صورت می‌گیرد.

کانی‌سازی آهن در این معدن به صورت مگنتیت است و عیار آهن به  $50\%$  تا  $69\%$  می‌رسد. در برخی بخشها مخصوصاً در توده C شمالی و باگ، مقادیر نسبتاً بالایی از کانیهای سولفیدی مانند پیریت، پیروتیت، و کالکوپیریت مشاهده می‌شوند. بررسیهای کانی‌شناسی دقیق نشان داد که کانی‌سازی در منطقه مراحل مختلفی را طی کرده است، و تشکیل هر کانی در چرخه‌های متفاوتی صورت گرفته است. با توجه به ثابت



شکل ۱ موقعیت زون‌های مختلف کانی‌سازی معدن سنگان، [۱۸].

بعدی کوه ناهور – سیناست که در بخش غربی منطقه قرار دارد و به سمت شمال غرب امتداد دارد و وارد چهار گوش گتاباد می‌شود. بلوک سوم که نسبت به بلوکهای دیگر از لحاظ اندازه کوچک‌تر است، کوه پیربنوش نام دارد و در شمال منطقه واقع شده است.

بنابراین این سه بلوک، بخش‌های مهم منطقه را از لحاظ زمین‌ساختی تشکیل می‌دهند. سنگ‌شناسی مناطق مورد مطالعه (توده C شمالی و باگک) بیشتر شامل سنگ‌های آذرین، ته نشستی و دگرگونی است. سنگ‌های آذرین مهمترین و گسترده‌ترین سنگ‌های منطقه هستند که خود شامل سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی و نیمه عمیق‌اند. در گستره باگک و C شمالی حجم گسترده‌ای از سنگ‌های آذرین نیمه عمیق با ترکیبات اسیدی است که بیشتر به صورت سیل و دایک و یا توده‌های کوچک‌اند. در شمال منطقه گرانیت سرنوسر وجود دارد که بخش جنوبی آن مورد مطالعه قرار گرفته است. سنگ‌های آذرین درونی از بیشتر بیوتیت گرانوپوریت، سنگ‌های آذرین بیرونی و نیمه عمیق شامل بیوتیت مونزوگرانیت پورفیری، آمفیبول مونزوگرانیت پورفیری، کوارتز مونزوونیت پورفیری، بیوتیت کوارتز مونزوونیت پورفیری، آمفیبول کوارتز مونزوونیت پورفیری، بیوتیت - آمفیبول کوارتز مونزوونیت پورفیری، گرانوپوریت پورفیری، بیوتیت کوارتز سینیت پورفیری، مونزوپوریت پورفیری، مونزوونیت پورفیری، آمفیبول

در ایران نیز این گونه کانی‌سازی توسط کریم پور (۱۳۸۲) معرفی شد و کمربند تربت حیدریه - کاشمر - تایباد به عنوان کمربند Fe Oxide نامگذاری شده است [۸].

نظر به اینکه کانسار سنگ آهن کانسار خواف یکی از مهمترین معدن آهن ایران به شمار می‌رود، لذا گونه کانی‌سازی آن به تفضیل مورد بررسی قرار گرفت، و بررسیهای ژئوشیمیایی دقیق‌تری بر روی عناصر مختلف در زونهای کانی‌سازی اکسیدی و سولفیدی آن صورت گرفت.

#### زمین‌شناسی منطقه

بنابر تقسیمات افتخارنژاد، (۱۳۵۹) که بر پایه چگونگی ساختاری حوضه‌های ته نشستی صورت گرفته است، منطقه سنگان خواف جزء ایران مرکزی است [۱۰-۹]. در اینجا نیز مثل بخش‌های دیگر ایران مرکزی، بیشتر گسل‌ها به صورت هورست و گرابن دیده می‌شوند و محیط‌های ته نشستی را تشکیل داده‌اند.

بر پایه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ تایباد، این منطقه شامل بلوکهایی است که از سنگ‌های قبل از نهوزن تشکیل شده‌اند و با ته نشستهای چین‌خورده نهوزن که فرورفتگی‌ها را پر کرده است، از هم جدا می‌شوند. بزرگ‌ترین بلوک که بخش بزرگی از منطقه را شامل می‌شود بلوک اصلی خوانده می‌شود و به صورت برآمدگی بزرگی در منطقه به چشم می‌خورد. بلوک

توده معدنی معدن) دریک کیلومتری گرانیت سرنوسر قرار دارد. توده‌های معدنی A' و C شمالی با داسیت پورفیری که در مجاورت گرانیت سرنوسر است، نیز تحت نفوذ قرار گرفته است.

#### روش مطالعه

به منظور بررسیهای زئوشیمیایی بر روی عناصر اصلی، فرعی، و نادر در زونهای C شمالی و باغک، نمونه برداری از مغزهای حفاری صورت گرفت.

از آنجا که هدف اصلی از این آنالیز، بررسی وجود یا عدم وجود طلا همراه با کانی‌سازی مگنتیت بود و بنا بر اطلاعات موجود از معادن مشابه کانی‌سازی طلا بیشتر همراه با کانی‌سازی‌های سولفیدی است، نمونه برداری بر زونهای سولفور بالا AAS متتمرکز شد. به این طریق که با مطالعه نتایج آنالیزهای S, P, Fe در معدن صورت که روی مغزهای حفاری از عناصر مشخص شد و سعی بر این بود که نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های مختلف سطحی و عمق باشد تا بتوان روند تغییرات را از سطح به عمق مورد بررسی قرار داد.

در نهایت تعداد ۳۵ نمونه برای آنالیز انتخاب شدند که Au, Ir, Os, Pd, Pt, Rh, Ru نمونه پودر به منظور آنالیز دقیق عناصر Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Sm, Ba, Be, Ti, Fe, Tb, Yb, Tm, Cr, Cu, Mn, Ni, Sr, Zn, Hg, Ag, As, B, Bi, Co, Mo, Pb, Sb, Sn, W به روشنی آنالیزها در جداول ۱ و ۳ آورده شده‌اند و تعداد ۲۷ نمونه نیز به ICP به آزمایشگاه Amdel استرالیا فرستاده شدند که نتایج آنالیزها در جداول ۱ و ۳ آورده شده‌اند و در آنها در آزمایشگاه شیمی تجزیه دانشگاه فردوسی مشهد آنالیز شدند (جدول ۲).

به منظور بررسیهای سنگ‌شناختی تعداد ۴۷ مقطع نازک - صیقلی و بلوك صیقلی تهیه و بررسی شدند. همچنین تعداد ۱۵ بلوك صیقلی مربوط به بررسیهای قبلی گروه استرالیایی (BHP، ۱۹۹۰) مورد بازبینی و دوباره قرار گرفتند و تقدم و تاخر فلزها و ویژگیهای ظاهری کانیها مورد توجه قرار گرفت. علاوه بر این تعداد دو نمونه که بررسیهای سنگ‌شناختی در آنها حضور دو نسل پیروتیت را نشان داده بودند، برای آنالیز به روش پراش پرتو X انتخاب شدند.

مونزونیت پورفیری تشکیل شده است. با توجه به حضور مقادیر زیادی توده‌های آذرین درونی و نیمه عمیق، حضور فراوان سنگهای دگرگون، بعيد به نظر نمی‌رسد. بنابراین بخش بیشتری از سنگهای آذرین و ته نشستی تحت تاثیر دمای بالای این توده‌ها دگرگون شده و به سنگهای جدید تبدیل می‌شوند. این تغییرات بیشتر به صورت تبلور مجدد کانیها و یا تاثیر آبگونهای ماقمایی (متاسوماتیسم) در آن و تشکیل اسکارن است.

در منطقه مورد مطالعه مقادیر فراوانی شبه نشستی و هورنفلس، مخصوصاً در نزدیکی برخورد گاه با توده‌های نفوذی گرانیت‌وئیدی یافت می‌شود. علاوه بر این کربناتها نیز به مرمر تبدیل شده‌اند. آهک به مرمر و دولومیتها و آهکهای منیزیم بالا به مرمر فورستریتی مبدل شده‌اند. سنگهای ته نشستی نیز به صورت سیلت و سنگهای کربناته هستند.

#### زمین‌شناسی گستره کانسار

قدیمی‌ترین سازندهای موجود در منطقه معدن شامل سیلتها و شیلها و ماسه سنگهای دگرنهاد و دگرگون شده ژوراسیک زیرین با ضخامتی بیش از ۵۰۰ متراند. رخمنونهای زیادی از آنها در بخش شمالی توده‌های معدنی با روند شرقی - غربی مشاهده می‌شوند.

کربنات‌های مرمری شده ژوراسیک میانی که میزبان مگنتیت است، دنباله قبلی را می‌پوشانند. در توده‌های A' و C جنوبی این مرمرها با اسکارن جانشین شده‌اند ولی در توده‌های A و B مرمرها ضخامت زیادی دارند. سنگهای کربناتی با مجموعه بزرگی از سنگهای آتشفسانی پوشیده شده‌اند که بیشتر شامل داسیت، ریوداسیت، پیروکلاستهای آندزیتی و سنگهای ولکانوکلاستیک‌اند. یک واحد انتقالی بین سنگهای کربناتی و سنگهای پیروکلاستیک با سن ائوسن وجود دارد. این واحد از آگلومرا و ولکانوکلاست‌ها با لیتوکلاستهای گرد شده تا نیمه زاویه‌دار از آهک، شیل، سیلت و ماسه سنگ تشکیل شده است.

در بخش شمالی توده‌های غربی گرانیت سرنوسر با سن ائوسن در سازندها نفوذ کرده است. چندین زون اسکارنی دقیقاً در مجاورت گرانیت وجود دارند ولی بخش بزرگی از توده معدنی دورتر از گرانیت تشکیل می‌شود. توده B (مهمترین

جدول ۱ نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های مغزه‌های حفاری مربوط به توده‌های باغک و C شمالی.

SAMPLE	Au	As	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Sr
UNITS	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DETECTION	۱	۰,۵	۰,۲	۲	۰,۲	۵	۲	۰,۱
METHOD	FA3	IC3E	IC3E	IC3E	IC3E	IC3E	IC3E	IC3E
SN-41	۴	۱۱,۹	۱۸,۷	۲۱	۲۱۴	۹۴۷	۱	۶۶,۴
SN-543	۱۱	۱۰,۸	۳۰,۵	۱۵	۵۳۱	۱۴۱۰	۹	۱۰
SN-570	۵	۱۷,۸	۶۴,۹	۲۸	۷۳۳	۹۴۴	۳۲	۱۳
SN-586	۸	۳۰,۱	۲۹۵	۳۷	۶۹۲	۷۶۸	۴۲	۱۰,۹
SN-615	۳۲	۳۷۸	۳۵۵	۳۵	۳۱	۱۳۰۰	۱۵۳	۲۸,۴
SN-796	۳	۲۸,۲	۷۷,۸	۲۲	۲۵۶	۷۹۰	۱۹	۲۷
SN-67-B	۷	۱۹,۷	۶۱,۹	۱۱	۸۶۱	۴۱۶	۱۵۹	۱۱,۴
SN-67-A	۱۱	۱۵,۵	۱۴۷	۳	۷۴۱	۵۹۷	۳	۴۳,۳
<hr/>								
SAMPLE	Zn	Ba	Be	Ti	Fe	Hg	Ag	B
UNITS	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DETECTION	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۱۰	۱۰۰	۰,۰۵	۰,۰۱	۰,۵
METHOD	IC3E	IC3E	IC3E	IC3E	IC3E	IC3M	IC3M	IC3M
SN-41	۱۰,۵	۱۱,۹	<	۳۴۲	۵۸۴...۰	<	۰,۰۹	<
SN-543	۴۹,۹	۲۳,۳	<	۴۹۹	۲۷۴...۰	<	۰,۰۹	<
SN-570	۸۴,۲	<	۰,۸	۱۵۵	۶۲...۰	<	۰,۱۷	<
SN-586	۷۴,۹	۳۰,۸	۰,۷	۱۲۵	۶۶...۰	<	۰,۰۴	<
SN-615	۱۶۶	۸۶۱	۲,۴	۶۸۸	۳۲۳...۰	<	۰,۰۳	<
SN-796	۵۷,۹	۲,۸	<	۴۳۴	۶۴۱...۰	<	<	<
SN-67-B	۱۶,۷	۲۹,۱	۱	۱۱۳۰	۲۴۲...۰	<	۰,۱۷	<
SN-67-A	۲۸,۷	۷۲,۸	<	۶۹۵	۵۲...۰	<	۰,۱۳	<
<hr/>								
SAMPLE	Bi	Mo	Pb	Sb	Sn	W		
UNITS	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
DETECTION	۰,۱	۰,۱	۰,۲	۰,۱	۰,۲	۰,۱		
METHOD	IC3M	IC3M	IC3M	IC3M	IC3M	IC3M		
SN-41	۰,۴	۰,۴	۴,۵	۲,۱	۴,۸	۶,۱		
SN-543	۵,۵	۰,۶	۷,۸	۴,۷	۱۱,۲	۴۶,۷		
SN-570	۰,۸	۱,۲	۱۲,۶	۳,۶	۷,۵	۵,۵		
SN-586	۱,۱	۲,۶	۱۳,۲	۱,۸	۲	۲۱,۳		
SN-615	۲,۲	۲,۳	۲۲,۲	۳,۳	۸,۹	۱۱,۳		
SN-796	۰,۷	۰,۵	۱۱,۴	۱,۸	۱۴,۷	۴,۶		
SN-67-B	۱	۰,۸	۱۱,۵	۱,۴	۰,۵	۲۲,۱		
SN-67-A	۲	۱,۲	۲۴,۵	۲,۷	۹	۶۳,۲		

جدول ۲ نتایج آنالیزهای شیمیابی انجام شده بر روی نمونه‌های کانسنسگ مغنتیتی توده‌های C شمالی و باگک با دستگاه AAS در گروه شیمی دانشگاه فردوسی بر حسب ppm.

	Ag	Cu	Ni	Co	Zn	Ba	Bi
BH127	۴,۰۲	۱۷۳,۰۵	۳۵,۷	۴۳,۵۵	۵۲,۵۵	۲۲۵۴۳,۷۵	۲۱,۳۵
BH127	۵,۶	۵۰,۲	۶۱,۹	۱۰,۴,۴	۸۹	۲۲۴۷,۵	۴۲,۴
BH128	۵	۲۳۸,۵۵	۲۵,۱	۴۹,۷	۵۴,۳	۱۷۵۱۲,۵	۲۳,۷۵
BH128	۷,۱۵	۲۲۴,۴۵	۲۵	۵۲,۴	۶۵,۲۵	۱۹۶۲۵	۱۳,۴
BH193	۵,۱	۲۵۱,۴	۲۸,۶	۵۴,۳	۸۷,۲	۱۶۵۳۷,۵	۱۵,۳
BH193	۵,۹	۱۰۰,۲۵	۲۳,۸	۵۲,۱۵	۹۶,۷۵	۲۷۸۰,۶,۲۵	۱۵,۵۵
BH218	۴,۹۵	۳۴۸,۲۵	۱۷,۷۷	۷۲,۸	۶۱,۳۵	۲۱۷۴۰,۶۳	۱۴,۵
BH218	۳,۷	۲۱۸,۰۵	۲۲,۷۵	۶۳,۸	۱۱۳,۱۵	۲۹۹۴۳,۷۵	۲۱,۲
BH220	۵,۷۵	۲۵۰,۸	۲۱,۸	۸۹,۱	۶۴,۱	۲۶۹,۰	۱۶,۳۵
BH123	۴,۵	۴۳۳,۴۵	۲۱,۴۵	۹۱,۴	۷۸,۷۵	۲۹۸۸۷,۵	۱۶,۸
BH123	۵,۲۵	۱۵۶,۶۵	۲۳,۰۵	۴۱,۷	۶۶,۶۵	۱۶۴۶۲,۵	۱۶,۹۵
BH136	۴,۱	۲۰۲,۸	۱۶,۵	۲۸,۱۵	۶۰,۵۵	۹۴۶۸,۷۵	۲۰,۵۵
BH136	۳,۰۲	۱۶۹,۴۲۵	۱۲,۱۷۵	۲۷,۲۲	۶۵,۳۵	۱۸۵۶۸,۷۵	۲۳,۱۲
BH217	۴,۹۵	۸۴	۲۲,۹۵	۴۱,۹۵	۸۱,۴	۲۴۳۳۱,۲۵	۲۱,۵
BH217	۶,۴۵	۲۱۰,۷	۲۴,۵	۶۰,۲۵	۱۲۷,۸۵	۲۹۴۳۷,۵	۱۸,۰۵
BH118	۴,۷	۹۲۰	۱۸,۶۵	۵۶,۱	۲۸۵۲,۵	۲۳۵۷۵	۲۲,۷
BH118	۱۴,۳۵	۲۳۴,۹۵	۲۴,۱	۴۸,۸۵	۱۰,۸,۶	۳۴۳۷۵	۲۲,۱۵
BH198	۶,۱	۴۰۲,۰۵	۲۰,۶۵	۱۵۱,۸۵	۱۰,۳,۷۵	۱۸۷۸۱,۲۵	۸,۹۵
BH198	۴,۹۵	۳۵۹,۱۵	۲۱,۹	۹۱,۱	۶۵,۷۵	۲۲۱۶۲,۵	۱۴,۴۵
BK3	۵,۳	۱۷,۱۵	۹۲,۳۵	۲۳۰,۷۵	۹۴,۳۵	۸۹,۰	۱۱
BK6	۶,۱۵	۲۳۳,۹۵	۷۰,۱۵	۶۱,۶۵	۸۱,۶۵	۱۶۴۳۷,۵	۲۲,۹
BK6	۵,۳۵	۶۱,۵	۳۱,۱۵	۸۷,۳	۷۷,۴	۱۴۵۷۵	۲۶,۳
BK7	۵,۰۵	۱۶۰,۷۵	۱۹,۹	۵۳,۳۵	۱۰,۶,۱	۱۷۵۵۰	۳۱,۲۵
BK9	۶,۵	۱۴۵,۸۵	۲۴,۲۵	۶۰,۵	۱۰,۵,۷	۲۰۶۲۵	۴۹,۱
BK9	۳,۱۲	۸۶,۳۷۵	۱۷,۰۲۵	۲۹,۰۲۵	۶۰,۳۲۵	۲۴۸۳۷,۵	۱۷,۱
BK8	۳,۱۲	۷۷,۱۵	۱۸,۹۲۵	۲۴,۷۲۵	۴۳,۵۵	۲۲۴۷۵	۱۶,۵۲
BK5	۵,۶	۱۴۷,۲	۱۸,۷۵	۶۸,۴۵	۵۸,۹۵	۳۱۴۰,۶,۲۵	۱۷,۸

جدول ۳ نتایج آنالیز شیمیابی عناصر خاکی کمیاب دو نمونه مغنتیتی از مغزه‌های حفاری توده C شمالی.

SAMPLE	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La	Lu	Nd	Pr
UNITS	ppm									
DETECTION	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۵
METHOD	IC3R									
SN-67-B	۳,۷۴	۰,۵۷	۰,۴۵	۰,۰۴	۰,۵۳	۰,۱۲	۰,۹۹	۰,۱۷	۲,۳۶	۰,۴۶
SN-67-A	۸,۵۲	۰,۵۸	۰,۳۶	۰,۱۱	۰,۶۷	۰,۱۲	۳,۴۳	۰,۰۷	۳,۲	۰,۸۶

SAMPLE	Sm	Tb	Tm	Yb	Ir	Os	Pd	Pt	Rh	Ru
UNITS	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
DETECTION	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۵	۱	۲	۵	۱	۱	۱
METHOD	IC3R	IC3R	IC3R	IC3R	FA4	FA4	FA4	FA4	FA4	FA4
SN-67-B	۰,۵۶	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۶۸	۲	<	<	۲	۳	۱۹
SN-67-A	۰,۶۴	۰,۰۸	<	۰,۴۴	۱	<	<	۱۰	۳	۸

طلاء در کانیهای سولفیدی مس دار مانند کالکوپیریت حضور نداشت، بلکه در کانیهای سولفیدی و آرسن دار قادر مس مانند پیریت و آرسن پیریت موجود است.

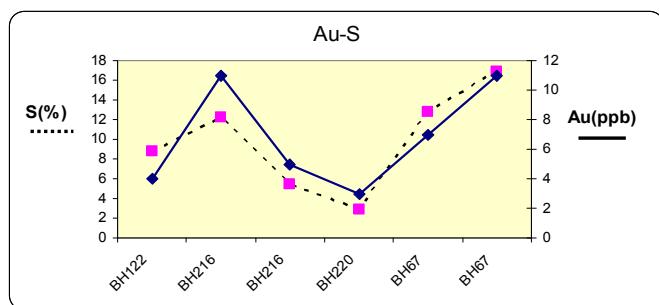
از طرف دیگر نتایج آنالیزها حضور ناهنجاری کوچکی از مس را تایید کرد که از  $920 \text{ ppm}$  تا  $214 \text{ ppm}$  در تغییرند. بررسی مقاطع صیقلی، حضور کانیهای مس دار مانند کالکوپیریت را در منطقه ثابت کرد. همچنین در برخی بخشها در زون بروزنا (supergene)، کانی کوولیت نیز مشاهده شد که حاصل هوازدگی کالکوپیریت بوده و به صورت حلقه‌ای پیرامون آن تشکیل شده است. میزان مس در کانسارهای مشهور دیگر نوع Fe Oxide مانند کوه زر تربت، کندل اریا، و المپیک دم بسیار بالاتر است و به ۲ تا ۳ درصد نیز می‌رسد.

### بررسیهای ژئوشیمیایی

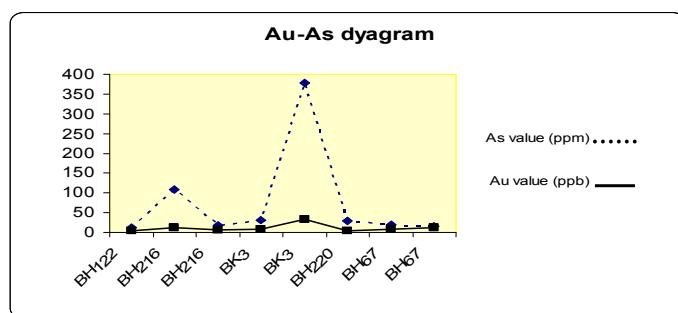
نتایج آنالیز نشان دادند که نابهنجاری بسیار جزئی از طلا در منطقه با سولفید بالا وجود دارد که بیشینه آن به  $32 \text{ ppb}$  در  $\text{Fe Oxide}$  مانند کوه زر تربت حیدریه، کندل اریا و المپیک دم بسیار بالاتر است و این یکی از تفاوت‌های سنگان با معادن یاد شده است.

بارسم نمودار طلا نسبت به سولفور یک روند مثبت مشاهده می‌شود (شکل ۲)، بنابراین حضور طلا همراه کانی سازی سولفیدی تأیید می‌شود. همچنین ارتباط مشابهی بین عناصر طلا و آرسن وجود دارد و با افزایش میزان آرسن، میزان طلا هم افزایش می‌یابد، (شکل ۳).

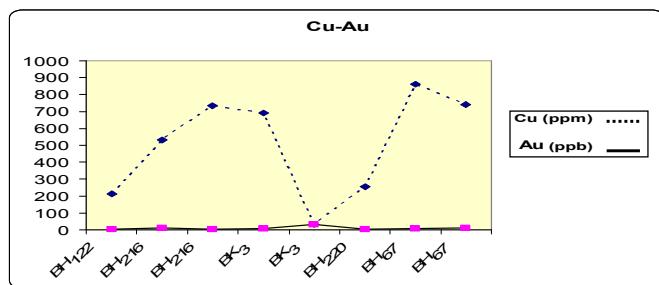
رسم نمودار  $\text{Cu}$  نسبت به  $\text{Au}$  ارتباط مستقیم بین این دو عنصر را نشان نداد (شکل ۴) که احتمالاً حاکی از این است که



شکل ۲ رابطه مستقیم بین  $\text{Au-S}$  در نمونه‌هایی از کانسنگ توده C.



شکل ۳ رابطه مستقیم  $\text{Au-As}$  در نمونه‌هایی از کانسنگ توده C و باغک.



شکل ۴ رابطه معکوس  $\text{Au-Cu}$  در نمونه‌هایی از کانسنگ توده C و باغک.

کمیاب در سیستمهای گرمایی غنی از فلور قابلیت انتقال پیدا می‌کند، کاهش F منجر به کم شدن REE می‌شود، [۱۲].

#### کانی‌سازی منطقه

کانی‌سازی در منطقه سنگان از نوع گرمایی است و آبگونهای کانی ساز از محل گسل‌ها وارد شده، و در سنگ میزبان کربناتی جانشین می‌شوند که پردازش تصاویر ماهواره‌ای نیز عملکرد گسلها را در منطقه تایید می‌کند (شکل ۶). کانی کدر اصلی مگنتیت است که به تنها یا همراه با هماتیت، لیمونیت، پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت، اسفالاریت و کوولیت در منطقه حضور دارد. مهمترین کانی شفاف موجود کربناتها هستند که بیشتر به صورت دلومیت یا آهک منیزیم دار مشاهده می‌شوند. کانیهای شفاف دیگر عبارتند از: فلوگوپیت، آمفیبیول، سرپانتین، کلریت، والیوین.

کانی‌سازی در کانسار سنگان مراحل متعددی را طی کرده است و تشکیل هر کانی در چرخه‌های متفاوتی صورت گرفته است که در ادامه به بررسی این مطلب می‌پردازیم.

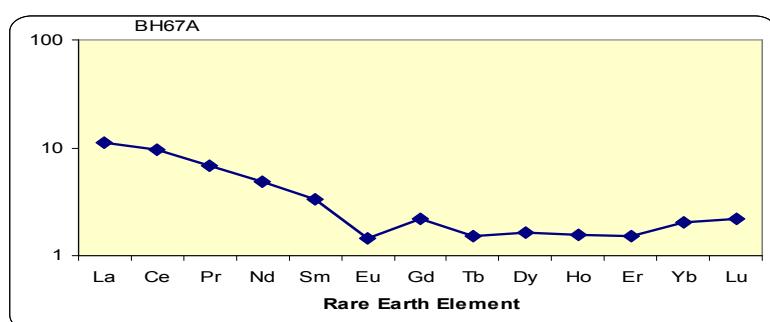
**مگنتیت:** مگنتیت فراوانترین و مهمترین کانی موجود در منطقه است (۳۰-۹۰٪) و جزء نخستین فازهای ته نشین شده است. بافت مگنتیت بسیار متنوع است، به طوری که در مقاطع مختلف بیشتر به صورت جانشینی با بافت متراکم و توده‌ای (شکل ۷) و گاه به صورت پراکنده در متن سنگ قابل مشاهده است.

**هماتیت:** هماتیت در دو نسل قابل بررسی است: ۱- هماتیتهای حاصل از هوازدگی مگنتیت که در نمونه‌های سطحی به مقادیر زیادی قابل مشاهده است، (شکل ۸). ۲- هماتیتهای حاصل از حلول‌های گرمایی جدیدتر که در شرایط اکسیدان تشکیل شده‌اند، این هماتیتها به صورت رگچه‌ای هستند.

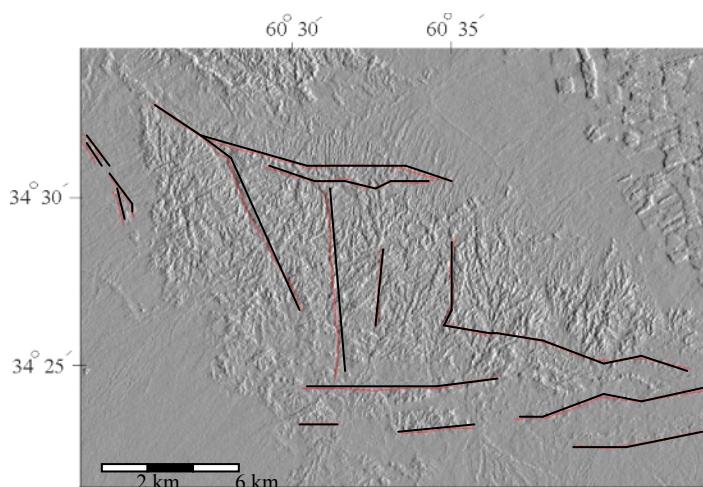
باریم در مناطق مورد مطالعه ناهنجاری نشان می‌دهد و به ۳٪ نیز می‌رسد که تأیید کننده حضور باریت در این منطقه است. عنصر کبات در منطقه باغک نیز ناهنجاری نشان می‌دهد به طوری که مقدار آن به بیشینه ۳۵۵ ppm می‌رسد و در توده C شمالی ۱۵۱ ppm است. با توجه به اینکه کانی‌سازی کبات در بررسی مقاطع صیقلی مشاهده نشد، می‌توان انتظار داشت که کبات در ساختار کانی‌ها دیگر مانند سولفیدها و یا مگنتیت حضور داشته باشد. کبات و نیکل رابطه مستقیمی با هم دارند. عنصر روی نیز در چند نمونه ناهنجاری نشان می‌دهد که مربوط به کانی‌سازی اسفالاریت است که به صورت بسیار جزئی در بلوکهای صیقلی مشاهده شده است.

همچنین بین مس و مولیبدن رابطه نسبتاً مستقیمی وجود دارد که نشان دهنده همراهی این دو عنصر است.

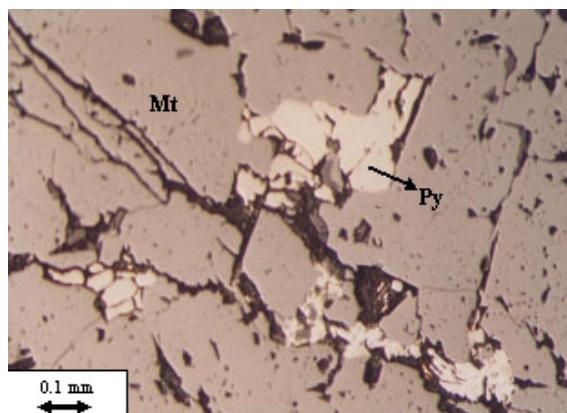
رسم نمودارهای عنکبوتی عناصر کمیاب موجود در زونهای کانی‌سازی پس از بهنجار شدن با کندریت، یک شیب منفی را نشان داد که بیان گرغنی شدگی از عناصر خاکی کمیاب سنگین (LREE) نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE) است (شکل ۵) غنی شدگی از LREE احتمالاً به علت حضور آپاتیت (به مقدار اندک) در منطقه است، زیرا این عناصر بیشتر در کانی آپاتیت متمرکز می‌شوند. پایین بودن میزان REE در منطقه را می‌توان به دو صورت تفسیر کرد: نخست اینکه ماقمای اولیه که منجر به تشکیل کانسار شده است حاوی مقدار اندکی عناصر خاکی کمیاب بوده است، و در نتیجه کانیهای حاصله نیز از REE غنی شدگی نشان نمی‌دهند و دوم اینکه حضور مقادیر جزئی REE می‌تواند به افزایش میزان اکسید کلسیم در محلول کانه ساز مربوط باشد که این امر باعث رقیق شدن همبافت‌های فلورییدی و یا کاهش نسبت F/Ca می‌شود، [۱۱]. از آنجا که در این نوع کانسارها عناصر خاکی



شکل ۵ روند تغییرات REE در نمونه شماره A



شکل ۶ تصویر ماهواره‌ای گسلهای منطقه مورد مطالعه.



شکل ۷ بافت متراکم در مگنتیت.



شکل ۸ جانشینی هماتیت در پیرامون مگنتیت، نور بازتابی و PPL

پیریت در سنگ‌های کربناته است. مهم‌ترین بافت موجود دانه‌ای و پراکنده در زمینه مگنتیت و هرزه سنگ است و بافتهای دیگر عبارتند از: بافت خوش‌انگوری، بافت پویکیلیتی و

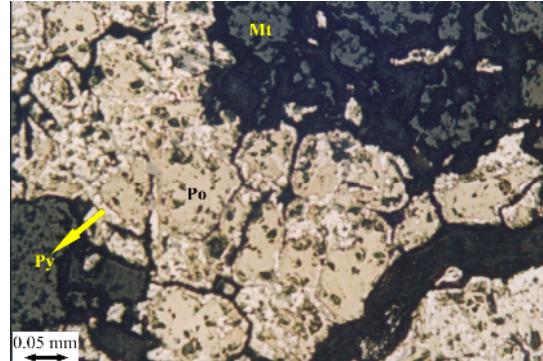
پیریت: پیریت فراوان ترین کانی سولفیدی در مناطق مورد مطالعه است. بافت پیریتها نیز تنوع زیادی دارد و به اشکال مختلف دیده می‌شوند که همه این بافت‌ها حاصل جانشینی

پیروتیت: بافت‌های متنوعی در پیروتیتها قابل مشاهده‌اند که حاصل جانشینی پیروتیت در سنگهای کربناتی است [۱۵-۱۶]. بافت غالب افشنان است که بلورهای پیروتیت در زمینهٔ مگنتیت پراکنده‌اند. بافت توده‌ای نیز در پیروتیتها مشاهده می‌شود. حضور پیروتیتها سالم و پیروتیتها دگرسان که همراه یکدیگر و در کنار هم هستند احتمالاً بیانگر حضور دو نسل پیروتیت است که بررسیهایی که به روش XRD انجام گرفت این مطلب را تایید کرد و در ادامه به بررسی آن می‌پردازیم.

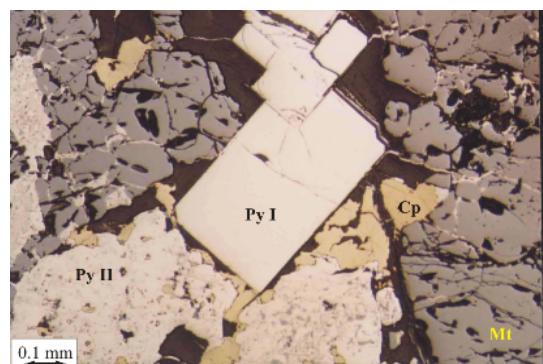
کالکوپیریت: کالکوپیریت یکی از کانیهای سولفیدی است که به مقادیر اندک (۱ تا ۳ درصد) همراه مگنتیت و کانیهای سولفیدی دیگر مشاهده می‌شود و در مراحل نهایی کانی سازی تشکیل شده است. بلورهای کالکوپیریت دارای شکل مشخص نیستند و بیشتر به صورت پرکنندهٔ فضای خالی در درون و یا پیرامون مگنتیت، پیریت، پیروتیت، و کانیهای هرزه حضور دارد. بافت کالکوپیریت پراکنده و دانه‌ای است. بلورهای کالکوپیریت در شرایط اکسایش و در اثر فرایندهای ابرپرزن به کانی کوولیت تبدیل می‌شود که این تبدیل از حاشیهٔ بلور آغاز می‌شود [۱۳].

باft حاشیه‌ای که حاصل تبدیل پیروتیت به پیریت است [۱۳] (شکل ۹)، به طور کلی می‌توان پیریتهای موجود در منطقه را به چهار نسل تقسیم کرد: ۱- پیریتهای اولیه: این پیریتها همزمان با تشکیل مگنتیت به وجود آمده‌اند و فضای کافی برای رشد آنها وجود داشته است، بنابراین اشکال کاملاً یوهیدرال دارند [۱۴]. علاوه بر این اندازهٔ این پیریتها نیز نسبت به پیریتها درشت‌تر است. ۲- پیریتهای نسل دوم: این پیریتها پس از تشکیل مگنتیت ایجاد شده‌اند. این نسل فاقد اشکال یوهیدرالند. ۳- پیریتهای ثانویه: پیریتهای ثانویهٔ حاصل تغییر ماهیت پیریتها هستند، به این صورت که در اثر تغییرات شیمی محیط، پیروتیت از حاشیهٔ شروع به تغییر ماهیت کرده و به پیریت تبدیل می‌شود. با پیشرفت این دگرسانی پیروتیت کاملاً به پیریت مبدل می‌شود (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

۴- پیریتهای رگچه‌ای: پیریتهای رگچه‌ای از فراوان ترین پیریتهای موجودند. این پیریتها فضاهای خالی و درزه و شکافهای موجود را پر می‌کنند و گاهی پیریتهای مراحل پیش را قطع می‌کنند.



شکل ۹ باft حاشیه‌ای پیریت در پیرامون پیروتیت، نور بازتابی و PPL.



شکل ۱۰ پیریتهای یوهیدرال نسل اول (Py I) و پیریتهای آن هیدرال نسل دوم (Py II)، نور بازتابی و PPL.



شکل ۱۱ پیریت نسل سوم حاصل از پیروتیت، نور بازتابی و PPL.

### برداشت

بررسیهای ژئوشیمیایی نشان داد که کانسنگ توده‌های C شمالی و باگک، ناهنجاریهای بسیار ضعیفی از طلا نشان می‌دهند که بنابر این نمی‌توان از آن برای استخراج طلا استفاده کرد. در این کانسار عنصر طلا با مس همراهی نشان نمی‌دهد، بنابراین در ساختار کانی کالکوپیریت حضور ندارد بلکه با توجه به رابطه مستقیم بین طلا با سولفور و آرسن، این عنصر در کانیهای سولفیدی و آرسن دار فاقد مس مانند پیریت و آرسن‌پیریت موجود است.

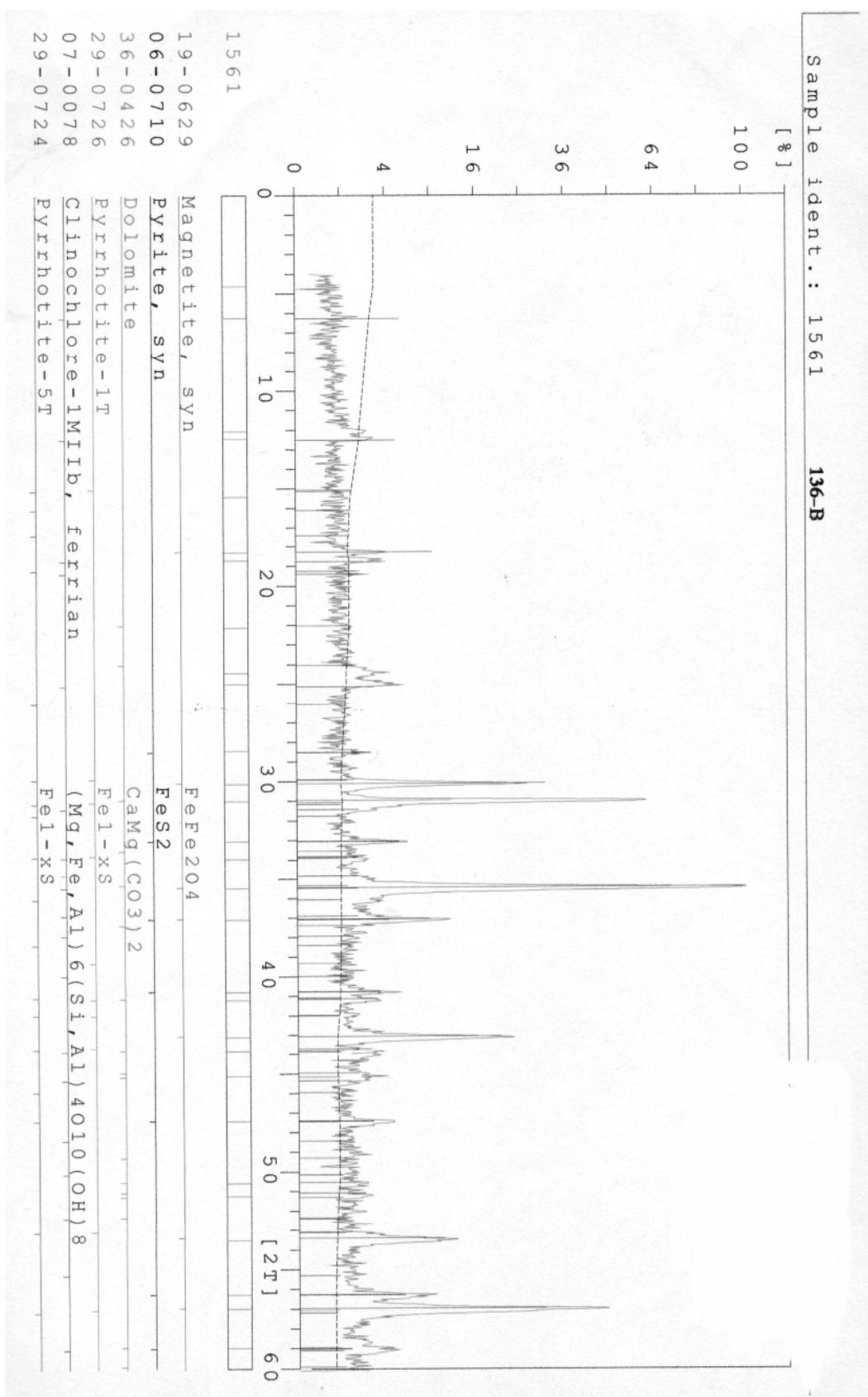
در کانسنگ حاوی مگنتیت عناصر خاکی کمیاب اندک بوده و مقادیر LREE نسبت به HREE بالاتر است. غنی شدگی از LREE احتمالاً به علت حضور آپاتیت (به مقدار اندک) در منطقه است زیرا این عناصر بیشتر در کانی آپاتیت متمنکز می‌شوند. در نهایت با بررسیهای دقیق ژئوشیمیایی، نوع کانی سازی این کانسار از نوع کیرونا با طلا و فسفر و REE پایین تعیین شده است.

بررسیهای کانی‌شناسی نشان داد که پیریتهای این منطقه را می‌توان مربوط به چهار نسل دانست: نسل اول پیریتهای یوهیدرال که همزمان با تشکیل مگنتیتها ایجاد شده‌اند، نسل دوم پیریتهای بی‌شکل، نسل سوم پیریتهای حاصل از پیروتیت که گاه بافت حاشیه‌ای نشان می‌دهند و نسل چهارم پیریتهای رگچه‌ای. پیروتیت‌ها نیز در دو نسل مختلف مشاهده می‌شوند: نسل اول قدیمی تر، و همزمان با مگنتیت تشکیل شده است و نسل دوم که در حال تبدیل به پیریت است، جوان‌تر بوده و در مرحله بعد ایجاد شده است. آنالیز کانسنگ به روش XRD نیز حضور دو نسل پیروتیت را تأیید کرده است و بررسیهای بعدی نشان داد که نسل اول و نسل دوم از لحاظ ترکیب شیمیایی متفاوتند.

### تعیین دو نسل پیروتیت با تصویر برداری با پرتو X

در طول بررسیهای مقاطع صیقلی توده‌های C شمالی و باگک، پیروتیتها مورد توجه قرار گرفت. این کانیها خصوصیات ویژه‌ای نشان می‌دادند به طوری که دسته‌ای از آنها کاملاً دگرسان شده و در حال تبدیل به پیریت بودند و گه گاهی این تبدیل در مراحل نهایی بود و در همان مقطع بلورهای دیگری با سرنشیهایا پتیکی، پیروتیت مشاهده می‌شد که برخورده‌گاه تیزی با مگنتیتها داشته و کاملاً سالم و بدون هر گونه آتراسیون بود. به نظر می‌رسید این کانی احتمالاً ترکیب جدید و ناشناخته با خصوصیات نوری مشابه پیروتیت باشد و با توجه به این که مقدار آنها بیش از ۵٪ بود نمونه ای به منظور آنالیز XRD انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در این نمونه دو نوع پیروتیت با ویژگیهای ساختاری متفاوت وجود دارند، (شکل ۱۲). با بررسی ابعاد شبکه (پارامتر سلولی) معلوم شد که این دو پیروتیت از لحاظ ابعاد بلورین با هم متفاوتند، به طوری که در پیروتیت نوع اول ابعاد بلور به صورت  $a = 6,88$  و  $c = 6,89$  و در نوع دوم  $a = 6,72$  و  $c = 6,67$  است، ولی سیستم تبلور در هر دو نمونه ششگوشی تعیین شده است، [۱۴-۱۶] (شکل ۱۳ و ۱۴).

با توجه به مطالب یاد شده و بررسی فراوان پیرامون دلیل تفاوت این دو نوع پیروتیت نتایج جالبی حاصل شد. بنابر نظریه زوزمن، (۱۹۹۶) افزایش کمبود آهن منجر به کاهش در پارامتر سلولی پیروتیت می‌شود [۱۷]، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پیروتیت نوع اول که ابعاد کوچک‌تری دارد، مقدار آهن کمتری در ساختار آن موجود است ولی پیروتیت نوع دوم ابعاد بزرگ‌تری دارد و میزان آهن موجود در آن بیشتر است.



شکل ۱۲

کانسنج توده C شمالی با پرتو X.

تصویری از

29-0724		Wavelength= 1.9373					
FeI-xS		d	Int	h	k	l	i
Iron Sulfide		5.8500	3	1	0	1	1.0704 2 2 0 25
		5.5000	1	1	0	2	1.0491 4 4 2 10
		5.0800	<1	1	0	3	.99390 2 6 0 0
Pyrrhotite-5T		4.6100	<1	1	0	4	
Rad.: FeKa	λ: 1.9373	d-sp:	3.4200	1	1	1	
Cut off:	Int.: Diffract.	I/Icor.:	2.9840	30	2	0	0
Ref: Morimoto et al., Econ. Geol., 70, 824 (1975)			2.8680	2	0	0 10	
Sys.: Hexagonal	S.G.: P		2.8160	1	1	0	9
a: 6.888	b:	c: 28.670	A: 4.1623	2.6470	80	2	0 5
α:	β:	γ:	Z: 40	2.4890	1	1	1 8
Ref: Ibid.			mp:	2.3430	1	1	1 9
Dx: 4.642	Dm:	SS/FOM 25-2 (.038,330)		2.1950	<1	2	1 3
				2.1510	1	2	1 4
				2.0670	100	2	0 10
				1.9740	<1	2	1 7
				1.9150	2	3	0 4
				1.7230	35	2	2 0
				1.6093	7	2	0 15
				1.4916	1	4	0 0
				1.4434	4	4	0 5
				1.4339	5	0	0 20
				1.3233	8	1	1 20
				1.2693	2	4	1 5
				1.1758	1	4	0 15
				1.1057	4	3	3 7
				1.1016	10	2	2 20
For the formula, x about 0.1 - equivalent to Fe9 S10 with Z=4. The crystal system's true symmetry is orthorhombic. Nickeline group, related structures subgroup. Quartz used as an internal stand. PSC: hP76. To replace 22-358 and 25-410. Mwt: 82.32. Volume[CD]: 1178.00.							

©1994 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved.

شکل ۱۳ مشخصات پیروتیت نوع اول.

29-0726		Wavelength= 1.9373					
FeI-xS		d	Int	h	k	l	i
Iron Sulfide		5.8800	3	1	0	2	
		2.9880	35	2	0	0	
		2.8770	2	0	0 22		
Pyrrhotite-1T		2.6510	60	2	0 11		
Rad.: FeKa	λ: 1.9373	d-sp:	2.2900	<1	2	0 18	
Cut off:	Int.: Diffract.	I/Icor.:	2.1910	<1	2	1 7	
Ref: Morimoto et al., Econ. Geol., 70, 824 (1975)			2.1490	<1	2	1 9	
Sys.: Hexagonal	S.G.: P		2.0710	100	2	0 22	
a: 6.8969	b:	c: 63.222	A: 9.1667	1.7240	35	2	2 0
α:	β:	γ:	Z: 88	1.6130	8	2	0 33
Ref: Ibid.			mp:	1.4940	<1	3	0 28
Dx: 4.650	Dm:	SS/FOM 21-1 (.044,724)		1.4450	4	4	0 11
				1.4370	4	0	0 44
				1.3250	7	4	0 22
				1.2950	2	2	0 44
				1.1780	2	4	0 33
				1.1080	4	2	0 53
				1.1040	8	2	2 44
				1.0730	1	1	1 56
				1.0500	5	4	2 22
				.99500	2	6	0 2
Specimen from Suetake, Kohmori mine, Japan. The observed values are considered to be a statistical average of these different nC types. For the formula, x is about 0.09 - equivalent to Fe10 S11 with Z=8 Nickeline group, related structures subgroup. PSC: hP168.08. Mwt: 82.88. Volume[CD]: 2604.39.							

©1994 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved.

شکل ۱۴ مشخصات پیروتیت نوع دوم.

northern Sweden, Hydrotermal Iron oxide copper-gold and related deposits: a global perspective", V. 1, Australian mineral foundation, Adelaide (2002) pp. 283-296.

[3] Dow Russell J., Hitzman Murray, Geology of the Arizaro and lindero prospects, Salta province,

#### مراجع

- [1] Hitzman M.W., "Iron oxide-Cu-Au deposits: What, where, when and why.", Australlian mineral foundation, Adelide, P. 9-25(2000).
- [2] Carlon Christopher J., American Anglo, Iron oxide systems and base metal mineralization in the

- [13] Ramdohr P., "The ore minerals and their intergrowth", Pergamon/Press, 1980.
- [14] Klein Cornelis, Hurlbut Cornelius, "Manual of mineralogy", Wiley, 1985, pp. 596.
- [15] Nkoma J.S., Ekosse G., "Mineral data", Pyrrhotite.
- [16] Nkoma J. S., Ekosse G., "X-ray diffraction study of chalcopyrite, pentlandite and pyrrhotite obtained from Cu-Ni ore bodies", J. Phys, 1999, pp. 121-128.
- [17] Howie, Zussman, "An introduction to the rock forming minerals", Long man (1995-1996)
- [18] Mazaheri Ahmad, "Petrological studies of skarns from Marulan south, New south wales, Australia and Sangar, Khorassan, Iran", Univ of Wollongong, Ph.D thesis. (1995).
- [19] northwest Argentina: Mid- Miocene hydrothermal fe oxide copper-gold mineralization, Hydrothermal Iron oxide copper-gold and related deposits: a global perspective", V. 2, Australian mineral foundation, Adelaide (2002) pp. 153-161.
- [20] Hildebrand R., "Kirona type deposit: their origin and relationship to intermediate subvolcanic plutons in the Great bear magmatic zone", north west Canada. Economic geology, V. 81, (1986) P. 640-659.
- [21] Hitzman Murray, "Oreskes Naomi, Einaudi Marco, Geological characteristics and tectonic setting of proterozoic Iron oxide (Cu-U- Au-REE) deposits", Precambrian research, V. 58, 1992. pp. 241-287.
- [22] Barnes Hubert, "geochemistry of hydrothermal ore deposits", 1979.
- [23] Barton Mark D., Johnson David A., "Alternative brine sources for fe oxide Cu-Au systems: Implications for hydrothermal alteration and metals, Hydrothermal Iron oxide copper-gold and related deposits: a global perspective", V. 1, Australian mineral foundation, Adelaide, 2002, pp. 43-60
- [24] [۸] کریم پور محمد حسن ، "کانی‌شناسی، آلتراسیون، سنگ منشا و محیط تکتونیکی ذخایر Fe oxide Cu-Au و مثال-هایی از آن" ، دانشگاه یزد، ۱۳۸۲، ۱۸۷-۱۸۴ ص.
- [۹] افتخارنژاد ج، "تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌ها روسوی" ، نشریه انجمن نفت، ۱۳۵۹، صفحه ۱۹-۲۸.
- [۱۰] علوی م، "نقشه تکتونیکی مرکز و شرق ایران ۱۹۹۱: اکتشافات زمین‌شناسی ایران" ، ۱۹۹۱.
- [۱۱] طباطبایی رضایی میر داود، علیجان آفتابی، "بررسی تمرکز عناصر مختلف در واحدهای اسکارن، ژرف زاد، غنی شدگی ثانویه سولفیدی و فروشست- اکسیدی و برآورد ذخیره در کانسال سونگون، اهر، آذربایجان" ، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین، تهران، ۱۳۸۱.
- [۱۲] Oreskes N., Einaudi M., "Origin of rare earth element – enriched Hematite breccias at the Olampic dam Cu-Au-U-Ag deposit", Roxby Downs, south Australia. Economic geology, V. 85, (1990), P. 1-28.