Archive of SID

IRANIAN SOCIETY of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

No. 1, 1385/2006 Spring & Summer

IRANIAN JOURNAL of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

# Comparison of the geochemistry of source rocks at Tannurjeh Au-bearing magnetite & Sangan Au-free magnetite deposits, Khorasan Razavi, Iran

**M. H. Karimpour, A. Malekzadeh**

*Geology department of Ferdowsi Univercity of Mashhad*
*E-mail: mhkarimpour@yahoo.com*

(Received: 09 /11/2005 received in revised form: 09/12/2005)

**Abstract:** Both Sangan and Tannurjeh magnetite deposits are Iron-oxides type. Geochemistry and petrography of source rocks at Tannurjeh and Sangan were studied in detail. The source rocks at Sangan are compused of quartz hornblende alkali syenite porphyry and quartz biotite-hornblende alkali syenite porphyry ; while The source rocks at Tannurjeh varies between hornblende quartz diorite porphyry and hornblende granodiorite porphyry. The Au content of Sangan deposit is up to 32 ppb, while Tannurjeh contains up to 700 ppb Au. Based on major oxides analyses, the source rocks at Sangan is ultra-potassic ($K_2O$ is 8.5 to 13%), but in Tannurjeh the K2O is lower than 3.5%. The MgO, TFeO, and CaO content of Tannurjeh source rocks is higher, therefore the rocks are slightly mafic in comparison with Sangan source rocks. The content of HFSE elements such as Cu, Ni, Co, Cr, V are higher in Sangan source rocks and the LILE elements such as Th, Zr, Ba, Rb are higher in Tannurjeh source rocks. The La and Ce content of Tannurjeh is higher. At Tannurjeh the Sr and Zn content is higher while at Sangan Nb and Y is higher. The source rocks for IOCG deposits in Chile, coastal belt of Peru, and kirona areain Sweden are high to medium K-content, and alkaline to calc-alkaline diorite-monzonite-granodiorite; there fore the source rocks at tannurjeh have very ligh similarity in composition to these rocks.

**Keywords:** *Sangan, Tannurjeh, Source rocks, Iron-oxide deposit, Au.*

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۸۵، از صفحهٔ۳ تا ۲۶

انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

# مقایسهٔ ژئوشیمی سنگ منشأ تودهٔ مگنتیت طلادار تنورجه، و مگنتیت بدون طلای معدن سنگان، استان خراسان رضوی

**محمدحسن کریم‌پور، آزاده ملک‌زاده شفارودی**

*گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد*
*E-mail: mhkarimpour@yahoo.com*

(دریافت مقاله ۱۳۸۴/۷/۱۷، دریافت نسخه نهایی۱۳۸۴/۸/۱۸)

**چکیده:** کانسار سنگ آهن سنگان خواف و تودهٔ مگنتیت تنورجه از نوع ذخایر Iron-oxide هستند. ژئوشیمی و سنگ‌شناسی سنگ منشأ کانسار آهن سنگان و تنورجه مورد مطالعات دقیق قرار گرفتند. سنگ منشأ سنگان شامل دو واحد کوارتز هورنبلند آلکالی سینیت پورفیری، و کوارتز بیوتیت هورنبلند آلکالی سینیت پورفیری، ولی سنگ منشأ تنورجه در محدودهٔ هورنبلند کوارتز دیوریت تا هورنبلند گرانودیوریت پورفیری تغییر می‌کند. کانسار سنگان حداکثر تا ppb ۳۲ و تنورجه تا ppb ۷۰۰ طلا دارد. نتایج تجزیهٔ اکسیدهای اصلی نشان می‌دهد که سنگ منشأ سنگان از نوع التراپتاسیک و سنگ منشأ تنورجه از نوع پتاسیم‌دار متوسط است. میزان TFeO، MgO و CaO در سنگ منشأ تنورجه از سنگان بالاتر است و در مجموع سنگ منشأ تنورجه ترکیب مافیکی‌تری نسبت به سنگ منشأ سنگان دارد. مقدار عناصر واسطه با شدت میدان زیاد (HFSE) شامل Cu, Ni, Co, Cr, V در سنگ منشأ تنورجه ولی مقدار عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (LILE) شامل Th, Zr, Ba, Rb در سنگ منشأ سنگان بیشتر است. همچنین مقدار La و Ce در سنگ منشأ تنورجه بیشتر است. مقدار عناصر Sr و Zn در تنورجه و Nb و Y در سنگان بالاتر است. سنگ منشأ کانسارهای IOCG واقع در کمربند شیلی، کمربند ساحلی پرو، ناحیه کیرونا در سوئد آلکالن تا کالک آلکالن، پتاسیم بالا تا پتاسیم متوسط، با ترکیب دیوریت، مونزودیوریت و گرانودیوریت هستند. سنگ منشأ مگنتیت تنورجه انطباق بیشتری با این مجموعه دارد.

**واژه‌های کلیدی:** *سنگان، تنورجه، سنگ منشأ، کانسارهای Iron-Oxide، طلا و التراپتاسیک.*

www.SID.ir

Archive of SID


**مقدمه**

کانسار سنگ آهن سنگان خواف در حدود ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد در طولهای‌جغرافیایی ´۲۴ °۶۰ تا ´۴۵ °۶۰ و عرضهای جغرافیایی ´۲۶°۳۴ تا ´۳۳ °۳۴، و توده مگنتیت تنورجه در ۱۹۵ کیلومتری جنوب غربی مشهد و یک کیلومتری شمال غربی روستای تنورجه در طولهای جغرافیایی ´۳۷ °۵۸ تا ´۳۸ °۵۸ و عرضهای جغرافیایی ´۲۴ °۳۵ تا ´۲۵ °۳۵ واقع شده‌اند. کانسار سنگان در نقشهٔ ۱:۲۵۰۰۰۰ تایباد و مگنتیت تنورجه در نقشهٔ ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض‌آباد مشخص است.

این کانسارها جزیی از کمربند آتشفشانی- نفوذی خواف- کاشمر - بردسکن هستند. این کمربند با روند شرقی- غربی در شمال گسل درونه قرار داشته و تا داخل کشور افغانستان نیز ادامه می‌یابد. کریم‌پور و همکاران [۱ و ۲] کمربند خواف- کاشمر- بردسکن را به عنوان کمربند کانی‌سازی تیپ Iron-Oxide در ایران معرفی کرده‌اند. از جمله کانسارهای Iron-Oxide موجود در این ناحیه می‌توان به طلا- اسپکیولاریت کوه‌زر، تنورجه و معدن سنگان خواف اشاره کرد. تجزیهٔ شیمیایی توده‌های مگنتیتی این دو منطقه اختلافهای جالب توجهی را در برخی عناصر مهم کانسارهای Iron -Oxide مثل Au، Cu، U، REE، به ویژه طلا، نشان می‌دهد.

هدف از این تحقیق مقایسه ژئوشیمیایی سنگ منشأ کانسار مگنتیت بدون طلای سنگان با کانی‌سازی مگنتیت طلادار تنورجه است. نتایج این تحقیق با کانسارهای این نوع (مگنتیت تیپ Iron -oxide) در سطح دنیا مقایسه شده است.

**روش مطالعه**

پس از جمع‌آوری و مطالعه اطلاعات قبلی موجود در مورد هر دو منطقهٔ سنگان و تنورجه، و مطالعهٔ ذخایر نوع Iron-oxide دنیا به ویژه کانسارهای مگنتیت، بررسیهای صحرایی در غالب زیر انجام شد:

۱- نمونه‌برداری از سنگ منشأ مگنتیت اسکارن سنگان خواف از محدودهٔ تودهٔ A (در یک منطقه خاص).

۲- نمونه‌برداری از توده‌های نفوذی جوانتر در سنگان.

۳- نمونه‌برداری از سنگ منشأ تودهٔ مگنتیت تنورجه.

۴- نمونه‌برداری از زون‌های اسکارنی.

۵- نمونه‌برداری از سنگ آهن.

مطالعات آزمایشگاهی نیز به شرح زیر صورت گرفت:

۱- تهیه و مطالعهٔ مقاطع نازک نمونه‌های جمع‌آوری شده از منطقهٔ سنگان و تنورجه.

۲- تجزیه شیمیایی نمونه‌های سنگان و تنورجه به روش XRF (دستگاه مدل فیلیپس) برای اکسیدهای اصلی و برخی عناصر فرعی مثل Th, Ba, Ce, La, Nb, Zr, Y, Sr, Rb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V در گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد.

www.SID.ir

Archive of SID


دستگاه XRF مورد استفاده دارای ۳ برنامهٔ مختلف برای اکسیدهای اصلی و ۶ برنامه متفاوت برای عناصر فرعی برای تجزیهٔ سنگهای آذرین است. با توجه به ترکیب سنگهای این مقاله، از برنامه‌های مربوط به سنگهای اسیدی- حدواسط برای تجزیهٔ اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی استفاده شده است. استانداردهای این دستگاه مجموعه‌ای از استانداردهای بین‌المللی سازمان زمین‌شناسی کانادا و آمریکا برای دستگاه XRF است.

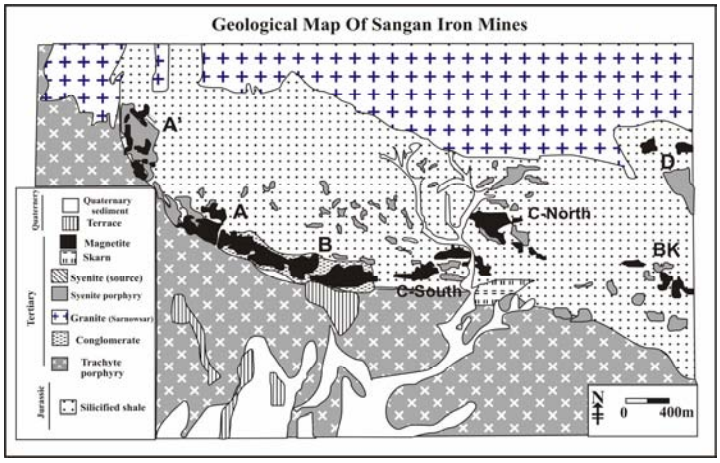
**زمین‌شناسی**

کانسار سنگ آهن سنگان خواف و تنورجه جزیی از کمربند آتشفشانی- نفوذی خواف- کاشمر - بردسکن هستند. کمربند ماگمایی خواف- درونه چنانچه ادامه آن تا افغانستان از یکسو و بیارجمند از سوی دیگر در نظر گرفته شود، طولی بیش از ۳۵۰ کیلومتر و پهنای متغیر از ۱۵ تا ۸۰ کیلومتر دارد. این کمربند ماگمایی با گسترش شرقی- غربی و خمیدگی به سوی شمال، در شمال گسل درونه واقع شده است. این کمربند بیشتر از سنگهای آتشفشانی اسیدی تا حدواسط و برخی از آنها مافیک با سن ترشیاری تشکیل شده است. این سنگها شامل داسیت، ریوداسیت، آندزیت، پیروکسن آندزیت، آندزیت- بازالت، لاتیت، تراکی آندزیت، توف، لاپیلی توف و آگلومرا هستند. توده‌های گرانیتوئیدی با ترکیبی از گرانیت، گرانوریوریت، دیوریت و آلکالی فلدسپارگرانیت در سنگهای آتشفشانی نفوذ کرده‌اند.

توده‌های مگنتیت در معدن سنگان از غرب به شرق شامل: A'، A، B، C- شمالی، C- جنوبی، باغک و دردوی است (شکل ۱). قدیمی‌ترین سازندهای معدن شامل چرت، شیلهای سیلیسی، سیلستون، و آهک کریستالین است. رخنمونهای این واحدها در بخش شمالی توده‌های مگنتیت با روند شرقی - غربی مشاهده می‌شوند. مجموعهٔ عظیمی از سنگهای آتشفشانی شامل داسیت، ریوداسیت، تراکیت، پیروکلاستهای آندزیتی و سنگهای رسوبی آتشفشانی در منطقه مشاهده می‌شوند که بیشتر آنها مربوط به کرتاسه تا اوایل ائوسن هستند [۳]. سنگهای کربناته اغلب به اسکارن و مرمر دگرگون شده‌اند، و به سمت شرق به صورت آهک کریستالین یافت می‌شوند. سن سنگ‌های کربناته به ژوراسیک فوقانی و کرتاسه زیرین نسبت داده می‌شود. کانی‌سازی در این سنگها به صورت انواع اسکارن تشکیل شده است. رخنمونهای کوچکی از سنگ منشأ کانی‌سازی به صورت دایک و سیل در منطقهٔ A' مجاور اسکارن با گرمای بالای گارنت‌دار مشاهده می‌شود. براساس این بررسیها، توده‌ها حدواسط، نیمه عمیق و از نوع سینیت پورفیری هستند. در بخش شمالی معدن، گرانیت سرنوسر با سن احتمالی ائوسن بالایی - الیگوسن پایینی نفوذ کرده است (شکل ۱). توده‌های نیمه عمیق دیگری در سنگان به صورتهای مختلف دایک، سیل و غیره، توالیهای قبلی را مورد نفوذ قرار داده و در بخشهایی تودهٔ مگنتیتی را قطع کرده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID


**شکل ۱** نقشه زمین‌شناسی محدودهٔ کانسار سنگان و موقعیت توده‌های مختلف آن [۴].

مگنتیت تنورجه نیز در نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ روی یک توده گرانودیوریتی نشان داده شده است. امیرخانی منفرد [۵] این توده را پیروکسن آندزیت معرفی کرده و آن را به عنوان سنگ منشأ مگنتیت شناخته است. اما عملیات صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی این پژوهش نشان داد که سنگ منشأ مگنتیت تنورجه، سنگهای حدواسط، نیمه‌عمیق تا عمیق با بافت پورفیری - گلومروپورفیری و ترکیب دیوریت، مونزودیوریت و گرانودیوریت پورفیری است که در بخش سنگ‌شناسی توضیح داده می‌شود. مگنتیت تنورجه از طریق جانشینی متاسوماتیزم (اسکارن) این توده‌ها به وجود آمده است.

**کانسارها Iron-Oxide**

هیتزمن [۶] اولین بار کانسارهای Iron-Oxide را معرفی و آنها را به دو گروه مگنتیت- آپاتیت و Iron -Oxide Cu-Au (IOCG) تقسیم کرد. کریم‌پور [۲] تقسیم بندی تازه‌ای برای این ذخایر ارائه کرد. وی مگنتیت را به سه گروه (۱) مگنتیت- آپاتیت، (۲) مگنتیت- عناصر کمیاب و (۳) مگنتیت، و IOCG را به چهار گروه (۱) Cu-Au-REE-U همراه با مگنتیت، (۲) Cu-Au همراه با مگنتیت، (۳) Cu-Au همراه با اسپکیولاریت، و (۴) Au-Cu همراه با اسپکیولاریت تقسیم‌بندی کرد.

محیطهای زمین‌ساختی که این کانسارها کشف شده‌اند شامل حوضه‌های زمین‌ساختی پشت کمربند زون فرورانش، ریفت درون قاره، و نقاط داغ پوسته قاره‌ای است. گروه مگنتیت - آپاتیت بیشتر با دیوریت و گروه IOCG با مجموعه‌ای از سنگهای آذرین درونی حدواسط تا اسیدی گزارش شده‌اند [۶]. کانسارهای مگنتیت که حاوی آپاتیت هستند، بیشتر در ریفتهای درون قاره با توده‌های مافیکی آلکالن گزارش شده‌اند، در صورتی که کانسارهای مگنتیت بدون آپاتیت با توده‌های کالک آلکالن حدواسط تا اسیدی یافت می‌شوند. دگرسانی درگروه IOCG

www.SID.ir

Archive of SID

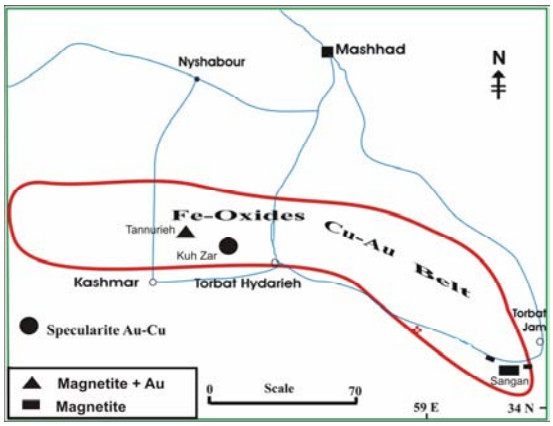

بیشتر به صورت سدیک در اعماق، پتاسیک در عمق متوسط و بالاخره سرسیتی و سیلیسی در بخشهای بسیار کم‌عمق است. ذخایر گروه مگنتیت - آپاتیت اغلب با زونهای دگرسانی سدیک یا سدیک-کلسیک همراهند. تعداد زیادی از کانسارهای نوع Iron-oxide در حاشیهٔ اقیانوس آرام در کشورهای شیلی و پرو شناسایی شده‌اند. از ذخایر نوع مگنتیت همراه با Au و Cu می‌توان به Rual-Condestable، El Romeral، El Laco، Cerro Negro اشاره کرد.

کریم‌پور و همکاران [۱ و ۲] کمربند خواف- کاشمر- بردسکن را به عنوان کمربند کانی‌سازی تیپ Iron-Oxide در ایران معرفی کرده‌اند (شکل ۲). پی‌جوییهای گستردهٔ سالهای اخیر در این کمربند موجب شناسایی ذخایر و مناطق دارای پتانسیل طلا و مس شده است.

کانی‌سازی Au-Cu در منطقهٔ کوه‌زر تربت‌حیدریه [۷]، تنورجه [۸] و چند منطقهٔ دیگر نیز از این نوع هستند (شکل ۲). همچنین غلامی [۹] نشان داد که این کمربند به داخل کشور افغانستان نیز ادامه می‌یابد و ذخایر مگنتیت نوع سنگان در همان راستا در افغانستان وجود دارد.

**کانی‌سازی**

به عقیده کریم‌پور [۳] کانسار مگنتیت سنگان از نوع اسکارنی است. در منطقهٔ زون‌بندی اسکارن به خوبی دیده می‌شود. در معدن سنگان از سمت غرب به شرق اسکارن دما بالا به اسکارن دما پایین تبدیل می‌شود. این جنبه از روی کانی‌شناسی اسکارن و پاراژنزهای مگنتیت کاملاً مشخص است. تودهٔ مگنتیت 'A در مجاورت سنگ منشأ در دمای بالا تشکیل شده و حاوی گارنت غنی از آندرادیت، هدنبرگیت، کلسیت و آمفیبول با دمای بالای غنی از پتاسیم، کلر و فلوئور است. پاراژنز توده‌های A، B و C- جنوبی عبارتند از: ریپدولیت، فرواکتینولیت و سیدریت، در حالی که پاراژنز توده‌های C- شمالی و باغک شامل فلوگوپیت، فورستریت، کلینوکلر و دولومیت است [۱۰].




**شکل ۲** موقعیت کمربند کانی‌سازی نوع Iron-oxides در محور خواف- تربت‌حیدریه- کاشمر- بردسکن [۲].

www.SID.ir

Archive of SID


کانیهای فلزی منطقه شامل مگنتیت + هماتیت ± گوتیت ± (پیریت ± پیروتیت ± کالکوپیریت بیشتر در مناطق باغک و C-شمالی) دیده شده‌اند. مگنتیت مهمترین آهن در کانسار سنگان است. مقدار آن در نمونه‌های مختلف از ۳۰ تا ۹۵ درصد متغیر است. مگنتیت به صورت بلورهای اغلب نیمه شکل‌دار در اندازه‌های ۱ تا ۱۰ میلیمتر، یافت می‌شود. بافت این کانی به صورت جانشینی با بافت متراکم و توده‌ای، پراکنده در متن سنگ و گاهی زمین‌ساختی است [۱۱]. تودهٔ B با ذخیره ۱۲۸ میلیون تن و عیار ۴۸٫۹ درصد آهن، بزرگترین ذخیرهٔ آهن و C - شمالی با ذخیرهٔ ۸۶ میلیون تن و عیار ۵۴٫۷ درصد آهن دارای بالاترین عیار است. ذخیرهٔ A، ۱۱۵ میلیون تن با عیار ۳۸٫۶ درصد آهن است [۱۲]. تصویری از معدن سنگان در شکل ۳ آمده است.

امیرخانی منفرد [۵] با توجه به وجود برخی شرایط زیر منشأ ماگمایی را برای مگنتیت تنورجه در نظر گرفته است:

۱- میزان پایین عناصری چون منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، و روبیدیم.

۲- مقدار بالای عناصر خاکی نادر مس، وانادیوم، نیکل، فسفر و توریم.

۳- بافت حفره‌ای.

۴- عدم وجود حالت منطقه‌بندی در توده مگنتیتی.

۵- عدم تنوع کانی‌شناسی، به طوریکه بخش عمدهٔ این توده را مگنتیت و در درجه دوم اهمیت هماتیت و گوتیت تشکیل داده‌اند.

**شکل ۳** دورنمایی از معدن سنگان و موقعیت توده‌های مگنتیت.

www.SID.ir

Archive of SID


عملیات صحرایی این پژوهش نیز ماگمایی بودن کانی‌سازی را تأیید می‌کند. شواهدی از کانی‌سازی اسکارن نیز در حاشیهٔ تودهٔ مگنتیت مشاهده می‌شوند که کانی‌سازی نوع اسکارن آهن را اثبات می‌کند. کانی‌شناسی اسکارن تنورجه همانند تنوع و زون‌بندی اسکارن در کانسار سنگان نیست. کانیهای موجود در اسکارن را بیشتر کلسیت، کلریت و اپیدوت تشکیل می‌دهند.

تودهٔ مگنتیت تنورجه تنوع کانی‌شناسی زیادی ندارد. کانیهای فلزی موجود در این توده شامل مگنتیت+ هماتیت ±گوتیت ±پیریت است. بافت مگنتیت به صورت متراکم دانه‌ای و حفره‌ای است. مقدار کانیهای سولفیدی بسیار اندک است. مهمترین کانی غیرفلزی همراه با مگنتیت کوارتز است که هم به صورت پراکنده در مگنتیت و هم به صورت رگه و رگچه دیده می‌شوند (شکل ۴). کوارتزها حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای طلا هستند [۸]. آپاتیت و زیرکن نیز درون کوارتزها دیده شده‌اند. کریم‌پور [۱۳] متوسط عیار توده را ۵۳ درصد آهن گزارش کرده است.

**ژئوشیمی توده‌های مگنتیت سنگان و تنورجه**

اطلاعات این بخش، از کارهای انجام شدهٔ قبلی توسط کریم‌پور [۱۴]، کاهنی [۱۱]، کریم‌پور [۸]، و امیرخانی منفرد [۵] گرفته شده‌اند. اکسیدهای اصلی نمونه‌های مگنتیت سنگان با دستگاه XRF [۱۴]، مقدار طلا به روش Fire assay و دیگر عناصر فرعی به روشهای ICP (Ms) در آزمایشگاه امدل استرالیا و جذب اتمی در دانشگاه فردوسی مشهد تجزیه شده است [۱۱]. اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی (غیر از طلا) نمونه‌های مگنتیت تنورجه نیز با دستگاه XRF [۵] و طلا به روش جذب اتمی [۸] تجزیه شده‌اند. یکی از ویژگیهای قابل توجه کانسارهای نوع IOCG داشتن ژئوشیمی مخصوص این کانسارهاست. این ذخایر معمولا دارای عناصری مثل Mo ,F ,P ,U, Bi, Ni, Co , Au, Cu، و عناصر کمیاب هستند.

**شکل ۴** کوارتزهای طلادار همراه با مگنتیت تنورجه به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای و پراکنده در مگنتیت.

www.SID.ir

Archive of SID


تجزیه‌های شیمیایی توده‌های مگنتیتی دو منطقه اختلافات قابل توجهی را در برخی عناصر مهم کانسارهای Iron-Oxide مثل Au، Cu، U، REE و غیره نشان می‌دهد.

- مقایسهٔ اکسیدهای اصلی در توده مگنتیت تنورجه و سنگان نتایج زیر را نشان می‌دهد:

۱- مقدار $TiO_2$ ، MnO در هر دو توده پایین است ($TiO_2$ کمتر از ۰٫۰۹ و MnO کمتر از ۰٫۳۶ درصد).

۲- مقدار CaO در مگنتیت تنورجه بالاتر (حداکثر تا ۱٫۸۲ درصد) از توده‌های مگنتیت سنگان (حداکثر تا ۰٫۰۵ درصد) است.

۳- مقدار MgO در مگنتیتهای سنگان به خصوص باغک، C -شمالی و دردوی بالاست (حداکثر تا ۳٫۶۵ درصد) ولی در تودهٔ مگنتیت تنورجه پایین (حداکثر ۰٫۱۴ درصد) است.

- مقایسهٔ طلا نشان می‌دهد:

۱- مگنتیت سنگان دارای حداکثر ppb ۳۲ طلا ولی مگنتیت تنورجه حاوی حداکثر ppb ۵۰۰ طلاست.

- مقایسهٔ درصد سولفور و درصد فسفر نتایج زیر را نشان می‌دهد:

۱- درصد فسفر در مجموع اختلاف چندانی را در دو منطقه نشان نمی‌دهد (کمتر از ۰٫۱ درصد).

۲- درصد سولفور در سنگان به خصوص مگنتیت C- شمالی و باغک بالاست (حداکثر ۴٫۵ درصد) و اختلاف قابل توجهی با درصد گوگرد مگنتیت تنورجه (حداکثر ۰٫۸۸۵ درصد) نشان می‌دهد. مقدار سولفید مگنتیت در تنورجه بسیار پایین است.

- مقایسهٔ عناصر کمیاب نتیجه زیر را نشان می‌دهد:

مقدار عناصر نادر خاکی سبک مثل La ، Ce و Nd در مگنتیت تنورجه بسیار بالاتر (به ترتیب ppm ۱۰>، ۱۲< و ۵۶>) از مقادیر آن در سنگان (به ترتیب ppm ۳٫۵>، ۸٫۵> و ۳٫۲>) است.

- مقایسهٔ دیگر عناصر نتایج زیر را ارائه می‌دهد:

۱- مقدار مس در سنگان (بین ppm ۵۰-۹۲۰) بسیار بالاتر از تنورجه (بین ppm ۱۴- ۴۰۸) است.

۲- اورانیوم در مگنتیت تنورجه بالاتر است (تا ppm ۷).

۳- مقدار Co، Ni و Bi در توده‌های مگنتیت سنگان (به ترتیب تا ppm ۳۵۵، ۱۵۹ و ۴۹) بالاتر از تنورجه (به ترتیب ppm ۱۵۶، ۳۰ و ۱۰) است.

۴- مقدارMo در تنورجه بالاتر است (در سنگان تا حداکثر ppm۲٫۶ و در تنورجه تا ppm ۲۴).

طلا در سنگان با مقدار سولفور، آرسن، و بیسموت رابطهٔ مستقیم دارد ولی همراه با کانیهای سولفیدی مس‌دار مثل کالکوپیریت نیست. عنصر مس رابطه‌ای با مقدار طلا ندارد [۱۱]. کاهنی [۱۱] این کانسار را به صورت یک مگنتیت نوع Iron-Oxide فاقد طلا، اورانیوم و عناصر کمیاب معرفی کرده است. تودهٔ مگنتیت تنورجه یک مگنتیت نوع Iron-Oxide حاوی طلا، اورانیوم و عناصر کمیاب است.

www.SID.ir

Archive of SID


**سنگ‌شناسی سنگ منشأ سنگان و تنورجه**

در این پژوهش نخست سعی شد که محل مناسب برای نمونه‌برداری از سنگ منشأ در دو کانسار انتخاب شود. در منطقهٔ خاصی از تودهٔ مگنتیت 'A سنگ منشأ اسکارن آهن رخنمون دارد که از آن نمونه‌برداری شد. در مجاورت این تودهٔ نفوذی زون‌اسکارن حاوی گارنت، مگنتیت و یک نوع آمفیبول غنی از پتاسیم، کلر و فلوئور تشکیل شده است. در تنورجه نیز از توده‌های نفوذی در مجاور کانی‌سازی مگنتیت (که منشأء مگنتیت بودند) نمونه برداری شد. این سنگها حدواسط و نیمه عمیق تا عمیق بوده و غالباً بافتی پورفیری دارند. برای نامگذاری صحیح سنگهای دو منطقه هم از مطالعات سنگ شناسی و هم از محاسبات نورم و نامگذاری به روش CIPW استفاده شده است. در نامگذاری به روش نورم، نام سنگ تعیین شد ولی از آنجا که کانیهای آهن و منیزیم‌دار سنگ در این روش در نظر گرفته نمی‌شود، با مطالعات سنگ شناسی ضمن تأیید نام سنگ، پیشوندهایی از کانیهای آهن و منیزیم‌دار سنگ به ترتیب فراوانی به اول اسم افزوده شده است. همچنین از آنجا که توده‌های منشأء سنگان و تنورجه اغلب از نوع نیمه عمیق و با بافت پورفیری‌اند، واژه پورفیری به انتهای نام اضافه شده است.

سنگ منشأء سنگ آهن سنگان شامل دو واحد سنگ آذرین است که عبارتند از:

***کوارتز هورنبلند سینیت پورفیری***: بافت این واحد پورفیری- گلومروپورفیری است. زمینهٔ سنگ‌دانه متوسط تا دانه‌ریز بوده و حاوی ۱۵ الی ۲۰ درصد فنوکریست متشکل از پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپات، کوارتز و هورنبلند است. بخش اعظم فنوکریستها را آلکالی فلدسپات تشکیل می‌دهد (۱۵ درصد). اندازهٔ آلکالی فلدسپاتها تا ۱ میلیمتر می‌رسد. پلاژیوکلازها بیشتر در حد آلبیت- الیگوکلاز بوده و اندازهٔ آنها تا ۳/۵ میلیمتر است. یک درصد کوارتز به صورت فنوکریست تا اندازه ۰/۶ میلیمتر و ۰/۵ درصد هورنبلند تا ۱میلیمتر نیز مشاهده شده است. زمینهٔ سنگ بیشتر شامل کوارتز و آلکالی فلدسپات و کمتر پلاژیوکلاز، هورنبلند، کانی کدر و کانیهای حاصل از دگرسانی است. کانیهای کدر به صورت پراکنده، ریزدانه و حداکثر تا اندازه ۰/۲ میلیمتر با فراوانی ۰/۵ درصد وجود دارند. کانی فرعی زیرکن نیز مشاهده می‌شود. دگرسانی مشاهده شده در این واحد پروپلیتیک است.

***کوارتز بیوتیت هورنبلند آلکالی سینیت پورفیری***: بافت این واحد پورفیری و بعضاً گلومروپورفیری است. زمینه سنگ بیشتر دانه‌ریز و بعضاً دانه متوسط می‌باشد. مقدار فنوکریستها در مکانهای مختلف متغیر است. در بعضی از نمونه‌ها میزان فنوکریستها در حد ۲۰ درصد و در بعضی دیگر تا ۶۵ درصد نیز می‌رسد. بیشتر فنوکریستها را فلدسپاتهای آلکالی تشکیل می‌دهند. مقدار پتاسیم فلدسپاتهای به صورت فنوکریست ۳ تا ۵ برابر مقدار پلاژیوکلازهاست. پلاژیوکلازها بیشتر در حد آلبیت (تشخیص اپتیکی) بوده و اندازهٔ آنها تا ۵ میلیمتر می‌رسد. هورنبلند و بیوتیت نیز به صورت فنوکریست مشاهده می‌شوند. مقدار هورنبلند ۳ تا ۵ درصد و بیوتیت در حد ۱ درصد است. ۱ تا ۲ درصد کوارتز به صورت فنوکریست نیز مشاهده می‌شود. کانیهای زمینهٔ سنگ شامل پتاسیم فلدسپات، پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت،

www.SID.ir

Archive of SID


کوارتز، کانیهای کدر و کانیهای حاصل از دگرسانی است. کانی کدر بسیار ناچیز و کمتر از ۰/۱ درصد است. همچنین کانی فرعی زیرکن و تیتانیت نیز در این واحد مشاهده می‌شود. دگرسانی‌های متنوعی در بخشهای مختلف این واحد مشاهده می‌شود که عبارتند از: ۱- آلکالی متاسوماتیزم، ۲- سرسیتی - کمی آرژیلیک و ۳- پروپلیتیک.

نمونه‌های سنگ منشأ تنورجه در ۶ واحد آذرین حد واسط - اسیدی نیمه عمیق تا عمیق آلکالن تفکیک شده‌اند که عبارتند از:

***هورنبلند کوارتز دیوریت***: بافت این سنگ دانه‌ای است. کانیها شامل پلاژیوکلاز در حد الیگوکلاز - آندزین، کوارتز، هورنبلند دگرسان شده، کانی کدر، و جزیی آلکالی فلدسپات هستند. اندازهٔ پلاژیوکلازها تا ۱/۵ میلیمتر می‌رسد و درصد مودال آن در حدود ۵۵ تا ۶۰ درصد سنگ است. حدود ۱۵ درصد کوارتز و۱۰ درصد هورنبلند در سنگ نیز قابل مشاهده است. میزان کانی کدر در حدود ۱ تا ۲ درصد است. کانی فرعی آپاتیت نیز مشاهده می‌شود.

***کوارتز هورنبلند مونزودیوریت پورفیری***: بافت این سنگ پورفیری با حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد فنوکریست است. زمینهٔ متوسط دانه تا درشت دانه است. فنوکریستها شامل پلاژیوکلاز و هورنبلند دگرسان شده است. پلاژیوکلازها بیشتر در حد آندزین - الیگوکلاز هستند و به ۸ میلیمتر می‌رسند. مقدار آنها به صورت فنوکریست در حد ۳۰ تا ۳۵ درصد است. ۵ تا ۱۰ درصد هورنبلند به صورت فنوکریست تا ۱/۶ میلیمتر نیز مشاهده می‌شود. زمینهٔ سنگ متشکل از پلاژیوکلاز، هورنبلند، کوارتز، فلدسپات آلکالی، کانی کدر و کانیهای حاصل از دگرسانی است. کانی کدر به صورت اولیه در حد ۱ تا ۲ درصد وجود دارد. کانی فرعی آپاتیت و زیرکن نیز قابل مشاهده است.

***پیروکسن گرانودیوریت پورفیری***: بافت این سنگها پورفیری - گلومروپورفیری با حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد فنوکریست است. فنوکریستها شامل پلاژیوکلاز و پیروکسن هستند. پلاژیوکلازها در حد الیگوکلاز بوده، مقدار آنها به صورت فنوکریست درحد ۲۵ تا ۳۰ درصد است. پیروکسنها در حد اوژیت - دیوپسید بوده، مقدار آنها به صورت فنوکریست درحد ۱۰ تا ۱۵ درصد است. زمینه سنگ شامل فلدسپاتها، کوارتز، پیروکسن و کانی کدر است. کانی کدر به صورت یوهیدرال و درشت به طول۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر درحد ۰/۵ تا ۱ درصد و کانی کدر ریز کرمی شکل پراکنده در متن سنگ در حد ۴ تا ۵ درصد مشاهده می‌شود.

***هورنبلند گرانودیوریت پورفیری***: بافت این واحد پورفیری با زمینهٔ ریز دانه تا متوسط دانه است. ۷۰ درصد سنگ را فنوکریستها تشکیل می‌دهند که شامل پلاژیوکلاز در حد آلبیت - الیگوکلاز و هورنبلند است. ۵۰ تا ۵۵ درصد فنوکریستها متعلق به پلاژیوکلاز و ۱۰ تا ۱۵ درصد آن متعلق به هورنبلند است. زمینهٔ سنگ شامل پلاژیوکلاز، کوارتز، فلدسپات آلکالی، هورنبلند، کانیهای کدر و کانیهای حاصل از دگرسانی است. کانی کدر به صورت یوهیدرال درحد ۱ تا ۲ درصد و به صورت بسیار ریز در متن سنگ ۰/۵ تا ۱ درصد است. کانی فرعی آپاتیت و زیرکن نیز مشاهده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID


***کوارتز پیروکسن هورنبلند مونزودیوریت پورفیری***: این واحد دارای بافت پورفیری با زمینهٔ متوسط دانه تا درشت دانه تراکیتی است. ۳۵ تا ۴۰ درصد سنگ را فنوکریستها تشکیل می‌دهند که ۲۰ تا ۲۵ درصد آن را پلاژیوکلاز در الیگوکلاز - آندزین، ۵ تا ۱۰ درصد هورنبلند و ۵ تا ۶ درصد پیروکسن در حد اوژیت است. زمینهٔ سنگ مشکل از پلاژیوکلاز، هورنبلند، اوژیت، کوارتز، کانی کدر و کانیهای حاصل از دگرسانی است. پلاژیوکلازهای زمینهٔ سنگ با بافت تراکیتی تا اندازه ۰/۲ میلیمتر مشاهده می‌شوند. کانی کدر به صورت یوهیدرال و پراکنده تا اندازهٔ حداکثر ۰/۲ میلیمتر در حد ۳ تا ۴ درصد وجود دارد. کانی فرعی زیرکن نیز دیده می‌شود.

***کوارتز پیروکسن مونزودیوریت پورفیری***: بافت این سنگ پورفیری تا گلومروپورفیری با زمینهٔ تراکیتی است. ۳۵ تا ۴۰ درصد این واحد را فنوکریستها تشکیل می‌دهند که ۲۵ تا ۳۰ درصد آن را پلاژیوکلاز در حد آندزین– الیگوکلاز، و ۵ تا ۱۰ درصد آن را پیروکسن در حد اوژیت - دیوپسید تشکیل می‌دهند. زمینهٔ سنگ شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، کوارتز، آلکاکی فلدسپات، کانی کدر و کانیهای ثانویه است. پلاژیوکلازهای زمینه بافت تراکیتی داشته و اندازهٔ آنها تا ۰/۳ میلیمتر می‌رسد. کانی کدر اغلب ریز دانه و پراکنده در متن در حد ۴ تا ۵ در صد است.

همهٔ واحدهای تنورجه غیر از واحد پیروکسن گرانودیوریت پورفیری که بدون دگرسانی است، دگرسانی پروپلیتیک دارند.

**ژئوشیمی سنگ منشأ سنگان و تنورجه**

به منظور مقایسه و تشخیص تفاوت‌های ژئوشیمیایی بین سنگ منشأ سنگان و تنورجه، نمونه‌های مورد نظر برای عناصر مختلف تجزیهٔ شدند. نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای اصلی در جدولهای ۱ و ۲ ارائه شده است. آنچه در نظر اول حین مقایسهٔ نمونه‌ها جلب توجه می‌کند، مقدار اکسید پتاسیم نمونه‌های منشأ سنگان و تنورجه است. به طوری که مقدار $K_2O$ در سنگان از ۸/۵ درصد بالاتر بوده و تا ۱۳ درصد می‌رسد، در حالی که در نمونه‌های تنورجه میزان $K_2O$ حداکثر تا ۳/۶ درصد است. موقعیت نمونه‌ها در نمودار $K_2O$ - $SiO_2$ نشان می‌دهد که سنگ منشأ مگنتیت سنگان از نوع آلکالن التراپتاسیک و سنگ منشأ مگنتیت تنورجه از نوع آلکالن پتاسیم بالاست (شکل ۵).

مقدار اکسیدهای $SiO_2$، $TiO_2$، $Al_2O_3$، $MnO$، و $P_2O_5$ تفاوت چندانی در نمونه‌های سنگان و تنورجه نشان نمی‌دهند. میزان $TFeO$ (مجموع اکسیدهای آهن) در سنگ منشأ تنورجه از سنگان بالاتر است، به طوری که در تنورجه این مقدار از ۲/۵۹-۸/۱۷ درصد متغیر است ولی در سنگان زیر ۲/۵۳ درصد است. همچنین $MgO$ تفاوتی را در دو منطقه نشان می‌دهد، به نحوی که مقدار آن در سنگان زیر ۰/۹۲ درصد، ولی در تنورجه بیش از ۲ درصد است. $CaO$ در سنگان نیز زیر ۳/۰۹ درصد و در تنورجه بیش از ۳/۹۲ درصد است. بالا بودن اکسیدهای آهن، منیزیم و کلسیم در سنگ منشأ تنورجه ناشی از حضور کانیهای مافیکی مثل پیروکسن در آنهاست. در مجموع سنگ منشأ تنورجه ترکیب مافیکی‌تری نسبت به سنگ منشأ

www.SID.ir

Archive of SID


سنگان دارد. اکسید سدیم در نمونهٔ سنگان از ۱٫۵۷ تا ۳ درصد متغیر است، در حالی که در نمونه‌های تنورجه از ۲٫۹۷ تا ۳٫۲۴ درصد تغییر می‌کند که بیانگر تفاوتی جزیی است. نمونهٔ TM-1 به صورت استثنایی در بین نمونه‌های تنورجه حاوی ۶٫۸۴ درصد $Na_2O$ است. کانیهای نورماتیو سنگ منشأ مناطق سنگان و تنورجه بر اساس روش CIPW محاسبه شد که نتایج آن در جدولهای ۳ و ۴ ارائه شده‌اند. همچنین در نمودار کوارتز- پلاژیوکلاز- فلدسپات آلکالی (شکل ۶) ترکیب کانی‌شناسی سنگهای دو منطقه ترسیم شدند. بر این اساس، سنگ منشأ سنگان بیشتر در نزدیکی گوشه A (آلکالی فلدسپاتها) لوزی قرار گرفته است و ترکیب کوارتز سینیت و کوارتز آلکالی سینیت را نشان می‌دهد، در حالی که سنگ منشأ تنورجه بیشتر در نزدیکی گوشهٔ P (پلاژیوکلاز) لوزی و درحد کوارتزدیوریت، کوارتزمونزودیوریت و گرانودیوریت است (شکل ۶). این مسئله به بالا بودن مقدار $K_2O$ در نمونه‌های سنگان و بالا بودن TFeO، MgO، و CaO در نمونه‌های تنورجه برمی‌گردد.

**جدول ۱** تجزیهٔ اکسیدهای اصلی نمونه‌های سنگ منشأ سنگان.

| Wt% | San-2 | San-3 | San-4 | San-5 |
|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | ۶۷٫۳۵ | ۶۶٫۲۳ | ۶۵٫۷۶ | ۶۵٫۹۲ |
| $TiO_2$ | ۰٫۳۳ | ۰٫۵۴ | ۰٫۴۵ | ۰٫۴۶ |
| $Al_2O_3$ | ۱۳٫۳۸ | ۱۴٫۹۸ | ۱۴٫۶۹ | ۱۴٫۵۴ |
| TFeO | ۱٫۲۳ | ۱٫۶۴ | ۲٫۴۲ | ۲٫۵۳ |
| MnO | ۰٫۰۴ | ۰٫۰۵ | ۰٫۱۲ | ۰٫۰۵ |
| MgO | ۰٫۴۹ | ۰٫۹۲ | ۰٫۷۳ | ۰٫۸۹ |
| CaO | ۳٫۰۹ | ۲٫۷۷ | ۳٫۰۴ | ۲٫۵۷ |
| $Na_2O$ | ۲٫۱۵ | ۳٫۰۰ | ۱٫۵۷ | ۰٫۹۱ |
| $K_2O$ | ۸٫۷۰ | ۹٫۱۵ | ۱۱٫۴۳ | ۱۲٫۸۱ |
| $P_2O_5$ | ۰٫۱۰ | ۰٫۲۲ | ۰٫۱۶ | ۰٫۱۷ |
| L.O.I | ۲٫۳۹ | ۱٫۰۰ | ۱٫۲۷ | ۱٫۳۰ |
| Total | ۹۹٫۲۵ | ۱۰۰٫۵۰ | ۱۰۱٫۶۴ | ۱۰۲٫۱۵ |

**جدول ۲** تجزیهٔ اکسیدهای اصلی نمونه‌های سنگ منشأ تنورجه.

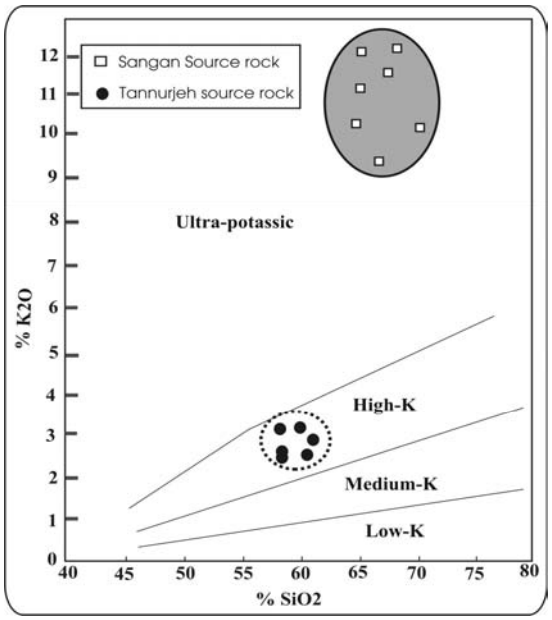
| Wt% | TM-1 | TM-3 | TM-4 | TM-5 | TM-6 | TM-7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | ۶۰٫۳۸ | ۶۳٫۹۶ | ۶۳٫۶۱ | ۶۲٫۲۴ | ۵۷٫۴۵ | ۵۷٫۷۴ |
| $TiO_2$ | ۰٫۶۰ | ۰٫۵۵ | ۰٫۵۸ | ۰٫۵۶ | ۰٫۷۱ | ۰٫۶۹ |
| $Al_2O_3$ | ۱۴٫۱۵ | ۱۴٫۵۰ | ۱۴٫۸۲ | ۱۴٫۲۹ | ۱۵٫۳۰ | ۱۵٫۲۳ |
| TFeO | ۲٫۵۹ | ۵٫۵۸ | ۶٫۱۶ | ۶٫۴۱ | ۸٫۱۷ | ۷٫۷۵ |
| MnO | ۰٫۰۸ | ۰٫۰۹ | ۰٫۱۰ | ۰٫۰۸ | ۰٫۱۴ | ۰٫۱۴ |
| MgO | ۲٫۲۲ | ۲٫۱۸ | ۲٫۰۵ | ۲٫۶۱ | ۳٫۱۱ | ۲٫۶۳ |
| CaO | ۶٫۶۱ | ۴٫۹۶ | ۰۵٫۲۵ | ۳٫۹۲ | ۷٫۷۹ | ۷٫۵۲ |
| $Na_2O$ | ۶٫۸۴ | ۲٫۹۷ | ۳٫۲۴ | ۳٫۱۲ | ۳٫۱۱ | ۳٫۱۷ |
| $K_2O$ | - | ۳٫۶۷ | ۳٫۲۶ | ۳٫۳۵ | ۲٫۰۹ | ۲٫۳۲ |
| $P_2O_5$ | ۰٫۱۴ | ۰٫۱۵ | ۰٫۱۶ | ۰٫۱۶ | ۰٫۲۳ | ۰٫۲۲ |
| L.O.I | ۴٫۰۳ | ۱٫۳۹ | ۰٫۹۰ | ۱٫۶۱ | ۰٫۸۷ | ۰٫۸۵ |
| Total | ۹۷٫۶۴ | ۱۰۰٫۰۰ | ۱۰۰٫۱۳ | ۹۸٫۳۵ | ۹۸٫۹۷ | ۹۸٫۲۶ |

www.SID.ir

Archive of SID


**جدول ۳** محاسبهٔ نورم بر اساس اکسیدهای اصلی نمونه‌های سنگ منشأ سنگان

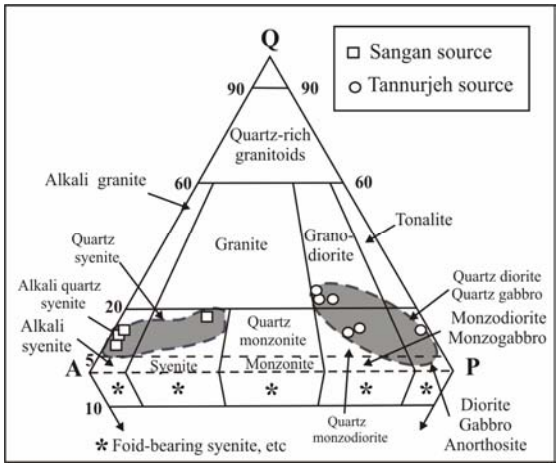
| | San-2 | San-3 | San-4 | San-5 |
|---|---|---|---|---|
| **Q** | ۱۷٫۴۰ | ۹٫۶۵ | ۹٫۰۸ | ۸٫۷۳ |
| **or** | ۵۱٫۴۱ | ۵۴٫۰۷ | ۶۷٫۵۴ | ۵۷٫۷۰ |
| **ab** | ۱۸٫۱۹ | ۲۵٫۳۹ | ۱۱٫۹۲ | ۳٫۴۷ |
| **an** | ۱٫۱۶ | ۰٫۳۸ | | |
| **di** | ۲٫۶۳ | ۴٫۹۴ | ۳٫۹۲ | ۴٫۷۸ |
| **hy** | | | | |
| **wo** | ۳٫۸۲ | ۱٫۶۲ | ۳٫۷۶ | ۲٫۳۰ |
| **ac** | | | ۱٫۲۰ | ۳٫۷۳ |
| **mt** | | | ۰٫۶۰ | ۰٫۶۷ |
| **il** | ۰٫۰۹ | ۰٫۱۱ | ۰٫۸۵ | ۰٫۸۷ |
| **hem** | ۱٫۲۳ | ۱٫۶۴ | ۱٫۱۲ | ۰٫۲۱ |
| **ap** | ۰٫۲۳ | ۰٫۵۱ | ۰٫۳۷ | ۰٫۳۹ |
| **tn** | ۰٫۷۰ | ۱٫۱۹ | | |
| **C** | | | | |
| **Total** | ۹۶٫۸۶ | ۹۹٫۵۰ | ۱۰۰٫۳۷ | ۱۰۰٫۸۵ |
| **AN** | ۶٫۰۱ | ۱٫۴۹ | ۰ | ۰ |




**شکل ۵** موقعیت نمونه‌های سنگ منشأ سنگان و تنورجه در نمودار $K_2O$-$SiO_2$.

www.SID.ir

Archive of SID


**شکل ۶** نامگذاری سنگ منشأ آهن در منطقه سنگان و تنورجه بر اساس محاسبات نورم به روش C.I.P.W.

**جدول ۴** محاسبهٔ نورم بر اساس اکسیدهای اصلی نمونه‌های سنگ منشأ تنورجه.

| | TM-1 | TM-3 | TM-4 | TM-5 | TM-6 | TM-7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Q** | ۸٫۶۹ | ۱۹٫۱۲ | ۱۸٫۰۴ | ۱۷٫۶۴ | ۱۰٫۳۰ | ۱۰٫۹۱ |
| **or** | | ۲۱٫۶۹ | ۱۹٫۲۶ | ۱۹٫۸۰ | ۱۲٫۳۵ | ۱۳٫۷۱ |
| **ab** | ۵۷٫۸۸ | ۲۵٫۱۳ | ۲۷٫۴۲ | ۲۶٫۴۰ | ۲۶٫۳۲ | ۲۶٫۸۲ |
| **an** | ۷٫۹۱ | ۱۵٫۳۹ | ۱۶٫۲۷ | ۱۵٫۰۹ | ۲۱٫۶۱ | ۲۰٫۴۸ |
| **di** | ۱۱٫۹۳ | ۶٫۷۵ | ۷٫۲۲ | ۲٫۷۲ | ۱۲٫۸۷ | ۱۲٫۸۰ |
| **hy** | | ۶٫۱۷ | ۶٫۵۳ | ۱۰٫۶۷ | ۹٫۵۶ | ۷٫۷۰ |
| **wo** | ۳٫۶۱ | | | | | |
| **ac** | | | | | | |
| **mt** | ۰٫۱۰ | ۲٫۹۷ | ۳٫۰۲ | ۲٫۹۹ | ۳٫۲۰ | ۳٫۱۸ |
| **il** | ۱٫۱۴ | ۱٫۰۴ | ۱٫۱۰ | ۱٫۰۶ | ۱٫۳۵ | ۱٫۳۱ |
| **hem** | ۲٫۰۳ | | | | | |
| **ap** | ۰٫۳۲ | ۰٫۳۵ | ۰٫۳۷ | ۰٫۳۷ | ۰٫۵۳ | ۰٫۵۱ |
| **tn** | | | | | | |
| **C** | | | | | | |
| **Total** | ۹۳٫۶۱ | ۹۸٫۶۱ | ۹۹٫۲۳ | ۹۶٫۷۴ | ۹۸٫۱۰ | ۹۷٫۴۱ |
| **AN** | ۱۲٫۰۲ | ۳۷٫۹۹ | ۳۷٫۲۴ | ۳۶٫۳۷ | ۴۵٫۱۰ | ۴۳٫۲۹ |

نتایج تجزیهٔ ۱۵ عنصر فرعی از نمونه‌های سنگان و تنورجه در جدولهای۵ و ۶ ارائه شده‌اند. اختلافات قابل ملاحظه‌ای در مقدار این عناصر در سنگ منشأ دو منطقه مشاهده می‌شود. مقدار وانادیوم در نمونه‌های سنگان حداکثر تا ppm ۴۶ است، در حالی که در نمونه‌های

www.SID.ir

Archive of SID


تنورجه بیش از ppm ۹۳ بوده و تا ppm ۱۸۰ نیز می‌رسد. مقدار کبالت نیز همانند وانادیوم در سنگ منشأ تنورجه بالاتر از سنگ منشأ سنگان است. مقدار کبالت در سنگان حداکثر ppm ۹ است ولی در نمونه‌های تنورجه از ppm ۱۶ تا ۲۸ تغییر کند (شکل ۷).

مقدار کروم در نمونه‌های سنگان حداکثر ppm ۶۹ است، در حالی که در نمونه‌های تنورجه از ppm ۵۳ بالاتر بوده و تا ppm ۲۱۰ می‌رسد. مقدار نیکل در سنگ منشأ سنگان همانند وانادیوم، کبالت، و کرم نسبت به سنگ تنورجه پایین‌تر است. دامنهٔ تغییرات نیکل در سنگان بین ۳۰ تا ppm ۳۴ است، در حالی که در تنورجه در حد ۳۸ تا ppm ۴۸ است (شکل ۸).

مقدار مس در سنگ منشأ سنگان بیشتر زیر ppm ۱۰ است. در نمونه‌های تنورجه مقدار مس بالای ppm ۱۸ بوده و تا ppm ۱۲۲ نیز می‌رسد. مقدار روی همانند دیگر عناصر فوق نیز در نمونه‌های تنورجه بالاتر است. مقدار این عنصر در سنگان از ۵۶ تا ppm ۶۲ متغیر است ولی در تنورجه بالای ppm ۷۶ بوده و تا ppm ۱۱۵ می‌رسد (شکل ۹).

مقدار روبیدیوم در نمونه‌های سنگ منشأ سنگان بالای ppm ۲۶۸ است و تا ppm ۳۱۵ می‌رسد، در صورتی که در نمونه‌های تنورجه این مقدار از ۵۰ تا ppm ۱۱۶ تغییر کند. بالا بودن مقدار روبیدیوم در نمونه‌های سنگان ناشی از بالا بودن فلدسپات آلکالی است. عکس عنصر روبیدیوم، مقدار استرانسیوم در نمونه‌های تنورجه بالاتر است. مقدار این عنصر در نمونه‌های سنگان بین ۹۴ تا ppm ۱۸۴ است ولی در نمونه‌های تنورجه بیش از ppm ۳۲۴ است و تا ppm ۴۲۷ می‌رسد (شکل ۱۰).

**جدول ۵** نتایج تجزیهٔ برخی عناصر فرعی نمونه‌های سنگ منشأ سنگان.

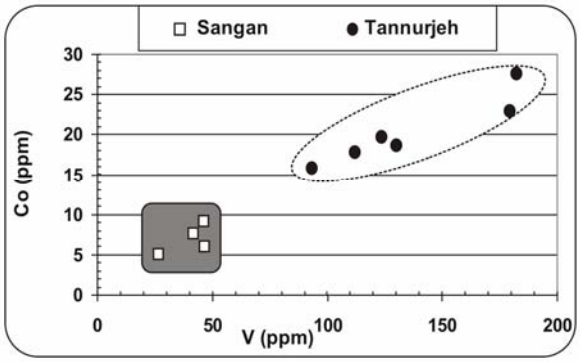
| ppm | San-2 | San-3 | San-4 | San-5 |
|---|---|---|---|---|
| V | ۲۶ | ۴۶ | ۴۱ | ۴۵ |
| Cr | ۵۷ | ۶۹ | ۶۹ | ۵۷ |
| Co | ۵ | ۶/۵ | ۸ | ۹ |
| Ni | ۳۰ | ۳۴ | ۳۳ | ۳۴ |
| Cu | ۸۵ | ۱۰ | ۲ | ۹ |
| Zn | ۳۱ | ۵۶ | ۶۲ | ۵۷ |
| Rb | ۲۶۸ | ۲۷۵ | ۲۸۷ | ۳۱۵ |
| Sr | ۱۸۴ | ۱۴۶ | ۱۳۷ | ۹۴ |
| Y | ۱۰۰ | ۹۹ | ۸۹ | ۹۴ |
| Zr | ۲۶۵ | ۲۷۳ | ۲۹۰ | ۲۲۸ |
| Nb | ۴۳ | ۳۸ | ۳۰ | ۲۴ |
| La | - | ۲۷ | - | - |
| Ce | ۴۶ | ۷۰ | ۷۹ | ۱۷ |
| Ba | ۱۷۶۹ | ۱۸۴۹ | ۱۷۴۳ | ۱۸۲۸ |
| Th | ۱۱۸ | ۹۳ | ۷۴ | ۵۴ |

www.SID.ir

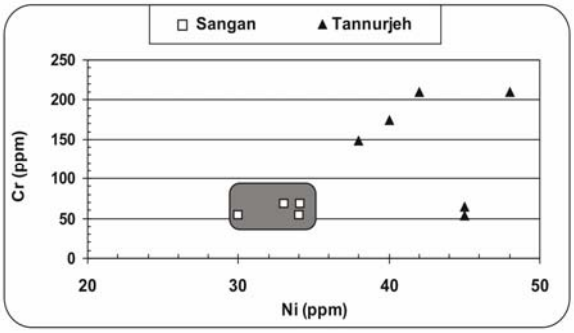
Archive of SID


**جدول ۶** نتایج تجزیهٔ برخی عناصر فرعی نمونه‌های سنگ منشأ تنورجه.

| ppm | TM-1 | TM-3 | TM-4 | TM-5 | TM-6 | TM-7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| V | ۹۳ | ۱۱۲ | ۱۲۴ | ۱۲۹ | ۱۷۹ | ۱۸۲ |
| Cr | ۵۳ | ۲۱۰ | ۲۱۰ | ۱۷۴ | ۱۴۹ | ۶۵ |
| Co | ۱۶ | ۱۸ | ۲۰ | ۱۹ | ۲۳ | ۲۸ |
| Ni | ۴۵ | ۴۸ | ۴۲ | ۴۰ | ۳۸ | ۴۵ |
| Cu | ۱۸ | ۵۳ | ۶۵ | ۶۵ | ۱۰۵ | ۱۲۲ |
| Zn | ۶۶ | ۱۰۲ | ۱۰۵ | ۷۶ | ۱۱۰ | ۱۱۵ |
| Rb | ۵۰ | ۱۱۶ | ۱۰۴ | ۱۱۱ | ۵۳ | ۶۰ |
| Sr | ۴۲۷ | ۳۲۴ | ۳۳۹ | ۳۲۵ | ۴۲۰ | ۴۱۷ |
| Y | ۴۹ | ۴۰ | ۳۲ | ۳۶ | ۵ | ۸ |
| Zr | ۳۲۴ | ۱۸۹ | ۱۶۳ | ۱۸۱ | ۸۹ | ۹۷ |
| Nb | ۳۵ | ۱۴ | ۱۳ | ۱۵ | - | ۱ |
| La | ۱۷ | ۱۱ | ۲۷ | ۲۷ | ۵ | ۱۹ |
| Ce | ۷۳ | ۱۱۵ | ۱۱۷ | ۱۰۷ | ۱۵۰ | ۱۲۴ |
| Ba | ۱۲۷۵ | ۱۲۹۵ | ۱۲۱۸ | ۱۳۱۳ | ۱۰۰۶ | ۱۰۱۵ |
| Th | ۱۱۶ | ۴۰ | ۴۷ | ۴۹ | - | - |



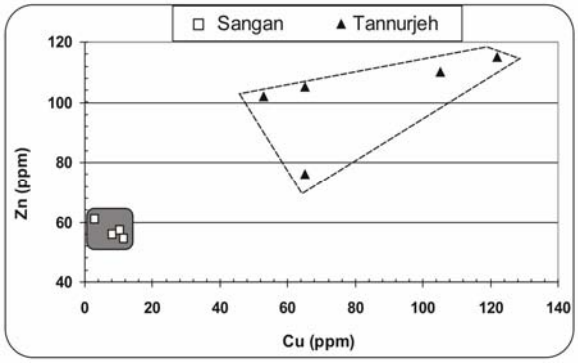

**شکل ۷** مقایسهٔ Co-V نمونه‌های سنگ منشأ سنگان و تنورجه.



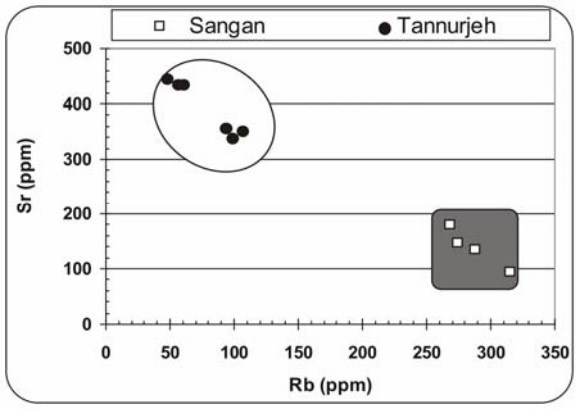

**شکل ۸** مقایسهٔ Cr-Ni نمونه‌های سنگ منشأ سنگان و تنورجه.

www.SID.ir

Archive of SID


**شکل ۹** مقایسهٔ Zn-Cu نمونه‌های سنگ منشأ سنگان و تنورجه.




**شکل ۱۰** مقایسهٔ Sr-Rb نمونه‌های سنگ منشأ سنگان و تنورجه.

مقدار ایتریوم در نمونه‌های سنگان بالای ۸۹ ppm است، در حالی که در نمونه‌های تنورجه به ۵ تا ۴۹ ppm است که کمتر از نمونه‌های سنگان است. سریوم نیز در نمونه‌های سنگان کمتر از ۸۰ ppm است در حالی که این عنصر در نمونه‌های تنورجه بیش از ۷۲ ppm است و تا ۱۵۰ ppm می‌رسد (شکل ۱۱).

مقدار نیوبیوم در نمونه‌های سنگان بالاتر از تنورجه است. نیوبیوم در سنگان بین ۲۴ تا ۴۳ ppm است. در حالی که در تنورجه مقدار آن اغلب زیر ۱۵ ppm است. نمونه TM-1 دارای ۳۵ ppm نبوبیوم است (شکل ۱۲).

مقدار زیرکونیوم در سنگ منشأ سنگان در مجموع بالاتر از تنورجه است. زیرکونیوم نمونه‌های سنگان بالای ۲۲۸ ppm است و تا ۲۹۰ ppm می‌رسد، در حالی که در تنورجه زیرکونیوم در اغلب نمونه‌ها زیر ۱۹۰ ppm است. مقدار باریم در سنگ منشأ سنگان بالاتر از سنگ منشأ تنورجه است. باریم در سنگان بالای ۱۷۴۳ ppm است، در حالی که در تنورجه حداکثر مقدار این عنصر ۱۳۱۳ ppm است (شکل ۱۳).

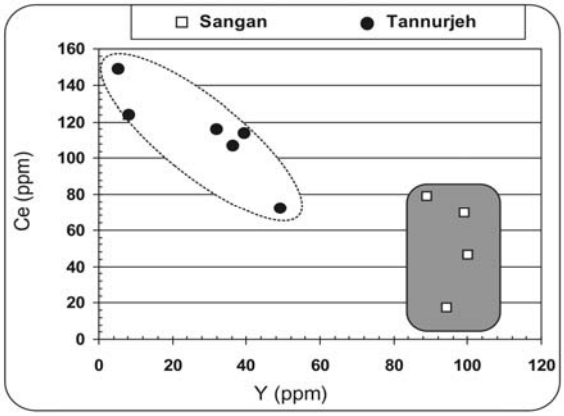
www.SID.ir

Archive of SID

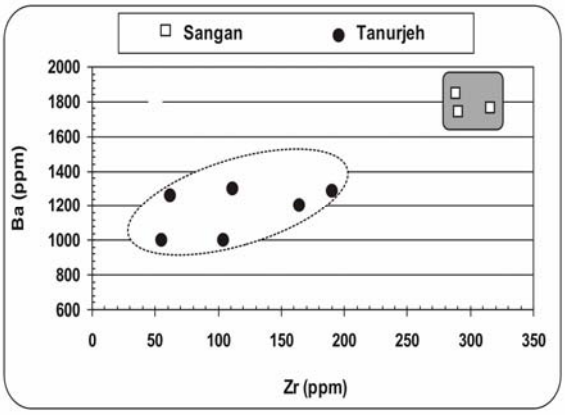

مقدار لانتانیوم در نمونهٔ سنگان بسیار پایین و زیرحد تشخیص XRF بوده است. تنها در نمونهٔ San-3، به میزان ۲۷ ppm لانتانیوم وجود دارد. نمونه‌های تنورجه دارای ۵ تا ۲۷ ppm لانتانیوم بوده‌اند. توریوم در سنگان بین ۵۴ تا ۱۱۸ ppm متغیر است. در نمونه‌های تنورجه دو نمونهٔ TM-6 و TM-7 مقدار Th بسیار کمی داشته‌اند که زیرحد تشخیص دستگاه XRF بوده است. ۴ نمونهٔ دیگر در حد ۴۰ تا ۱۱۶ ppm توریوم داشته‌اند (جدولهای ۵ و ۶).

**مقایسهٔ سنگ منشأ سنگان و تنورجه با دیگر کانسارهای مگنتیت تیپ Iron-Oxide**

به منظور دست‌یابی به نتیجهٔ مطلوب دربارهٔ پارامترهای کنترل‌کنندهٔ حضور طلا در مگنتیت تنورجه نسبت به مگنتیت سنگان، سنگ منشأ سنگان با سنگ منشأ برخی کانسارهای مهم مگنتیت تیپ Iron-oxide که دارای طلا در حد اقتصادی هستند، مقایسه شد. از جملهٔ این



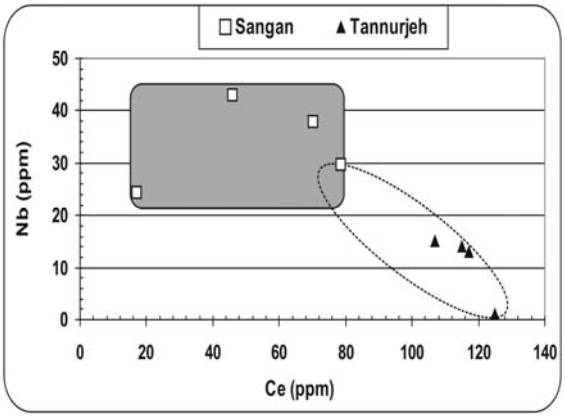

**شکل ۱۱** مقایسهٔ Ce-Y نمونه‌های سنگ منشأ سنگان و تنورجه.




**شکل ۱۲** مقایسهٔ Nb-Ce نمونه‌های سنگ منشأ سنگان و تنورجه.

www.SID.ir

Archive of SID


**شکل ۱۳** مقایسهٔ Ba-Zr نمونه‌های سنگ منشأ سنگان و تنورجه.

ذخایر می‌توان به ذخایر مگنتیت کمربند شیلی (مثلEl Algarrobo، El Dorado،Cerro Negro و El Romeral)، ذخایر کمربند ساحلی پرو (مثـل Marcona، Eliana و Monterossas)، ذخـایر شمال فنلاند، ناحیهٔ El Laco شیلی، و ناحیهٔ کیرونا در سوئد اشاره کرد. مقدار طـلای برخـی از این کانسارها در جدول ۷ آمده است.

**جدول ۷** مقایسهٔ طلای مگنتیت سنگان و تنورجه با برخی مگنتیتهایIron-oxide [۵، ۱۱، ۸ و ۱۴ تا ۱۸].

| نام کانسار | طلا (ppb) |
|---|---|
| سنگان | حداکثر ۳۲ |
| تنورجه | ۵۰۰ |
| El Algarrobo | در حد اقتصادی |
| El Dorado | ۲۲۰۰۰ |
| Cerro Negro | ۱۰۰۰ |
| Marcona | در حد اقتصادی |
| Laurınoja | ۲۰۰ |

مقایسهٔ سنگ منشأ، دامنهٔ تغییرات اکسیدهای اصلی و برخی عناصر فرعی سنگان و تنورجه در جدولهای ۸ و ۹ ارائه شده است. نتایج مهم حاصل از مقایسهٔ ژئوشیمی سنگ منشأ سنگان و تنورجه با دیگر ذخایر مگنتیت نوع Iron- oxide عبارتند از:

۱- سنگ منشأ همهٔ مگنتیتهای نوع Iron- oxide سنگهای حدواسط تا اسیدی آلکالن تا کالک آلکالن بیشتر نیمه عمیق و برخی عمیق هستند.

۲- ترکیب سنگ منشأ سنگان با کلیهٔ ذخایر دیگر مگنتیت متفاوت است. تنورجه و دیگر ذخایر مقایسه شده دارای منشأ در حد دیوریت، مونزودیوریت، مونزوتیت و گرانودیوریت هستند، در حالی که در سنگان، کوارتز سینیت و کوارتز آلکالی سینیت سنگ منشأ اسکارنی شدن است.

۳- سنگ منشأ سنگان از نوع التراپتاسیک با مقدار $K_2O$ درحد ۸ تا ۱۳ درصد است، در حالی که سنگ منشأ تنورجه و دیگر ذخایر از نوع پتاسیم بالا تا پتاسیم متوسط است.

www.SID.ir

Archive of SID


۴- مقدار اکسیدهای TFeO، MgO، CaO، و $Na_2O$ در سنگ منشأ تنورجه و دیگر ذخایر مگنتیت نوع Iron- oxide بالاتر از سنگ منشأ سنگان است.

۵- اکسیدهای دیگر تغییرات چندانی را نشان نمی‌دهند.

۶- عنصر V غنی شدگی خاصی در تنورجه و کیرونا نشان می‌دهد، در حالی که در سنگان پایین است. Cr و Ni تغییرات زیادی را نشان می‌دهند. مقدار Cr در تنورجه از سنگان و کیرونا بالاتر است.

۷- مقدار Cu و Zn در مجموع در تنورجه و کیرونا بالاست ولی در سنگان نسبت به آن دو پایین‌تر است.

۸- Rb در سنگ منشأ سنگان و در بخشهای سینیتی توده Raing Lake کیرونا بالاست و در تنورجه و دیگر بخشهای کیرونا پایین‌تر است. Sr بر عکس Rb در تنورجه و کیرونا بالاست.

۹- Y در سنگان نسبت به تنورجه و کیرونا بالاتر است. Zr تغییرات چندانی را نشان نمی‌دهد و بالاترین مقدار آن در تنورجه دیده می‌شود. Nb نیز بیشترین مقدارش در سنگان گزارش شده و در کیرونا دامنهٔ تغییرات آن کم است.

۱۰- La در سنگ منشأ تنورجه و کیرونا بالاست ولی سنگ منشأ سنگان گزارش نشده است. مقدار Ce در سنگ منشأ تنورجه از همه بالاتر است.

۱۱- میزان عنصر Ba در سنگان از تنورجه و کیرونا بالاتر است.

۱۲- Th در سنگان و تنورجه تغییر چندانی نشان نمی‌دهد و در کل بسیار بالاتر از دامنهٔ مقدار Th در ناحیه کیرونای سوئد است.

**جدول ۸** مقایسهٔ دامنهٔ تغیرات اکسیدهای اصلی و نام سنگ منشأ سنگان و تنورجه با ذخایر مگنتیت نوع Iron – oxide [۱۷ تا ۲۰].

| | ژئوشیمی اکسیدهای اصلی سنگ منشأ (درصد) | | | | | | | | | | نام سنگ منشأ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | TFeO | MnO | MgO | CaO | $Na_2O$ | K2O | $P_2O_5$ | |
| سنگان | ۶۷-۶۵ | ۰٫۵۴-۰٫۳۳ | ۱۵-۱۳ | ۲٫۵-۱ | ۰٫۱۲-۰٫۰۴ | ۱-۰٫۵ | ۳-۲٫۵ | ۳-۱ | ۱۳-۸ | ۰٫۲-۰٫۱ | سینیت آلکالی سینیت |
| تنورجه | ۶۴-۵۷ | ۰٫۷۱-۰٫۵۵ | ۱۵-۱۴ | ۸-۲ | -۰٫۰۸ ۰۱۱۴ | ۳-۲ | ۸-۵ | ۷-۳ | ۳٫۵-۲ | ۰٫۲۳-۰٫۱۴ | دیوریت گرانو دیوریت مونزودیوریت |
| EL Romerol شیلی | ۵۷٫۰۴ | ۰٫۶۱ | ۱۷٫۳۱ | ۴٫۱۸ | ۰٫۰۶ | ۴٫۳۵ | ۹٫۸۹ | ۴٫۷۳ | ۰٫۰۶ | - | دیوریت |
| کمربند ساحلی پرو | ۶۰-۴۷ | ۱٫۳۲-۰٫۹۱ | ۲۰-۱۶ | ۱۰-۲ | ۰٫۲۳-۰٫۵ | ۹-۲ | ۹-۶ | ۶-۳ | ۲-۰٫۳۳ | ۰٫۶-۰٫۰۵ | گابرودیوریت |
| کیرونا،سوئد Balachy | ۶۵-۶۰ | ۰٫۶-۰٫۳ | -۱۴ ۱۵٫۵ | ۷-۳ | ۰٫۱۵-۰٫۰۴ | ۳٫۵-۱٫۵ | ۵-۱ | ۳٫۵-۲٫۵ | ۵-۴ | ۰٫۱۴-۰٫۰۷ | مونزونیت مونزودیوریت |
| Rainylake | ۶۶-۵۲ | ۱-۰٫۵ | ۱۹-۱۴ | ۷-۵ | ۳-۰٫۰۵ | ۳-۰٫۵ | ۵٫۵-۱ | ۹-۳ | ۵-۱ | ۰٫۶-۰٫۰۲ | مونزونیت سینیت مونزودیوریت |
| EL Algarrobo | | | | | | | | | | | پیروکسن دیوریت |
| Cerro Negro | | | | | | | | | | | گرانودیوریت |
| El laco | | | | | | | | | | | پیروکسن دیوریت |

www.SID.ir

Archive of SID


**جدول ۹** مقایسهٔ دامنهٔ تغییرات برخی عناصر فرعی سنگ منشأ سنگان و تنورجه و سنگ منشأ کیرونا سوئد [۱۷].

| | ژئوشیمی برخی عناصر فرعی سنگ منشأ (ppm) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | V | Cr | Ni | Cu | Zn | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | La | Ce | Ba | Th |
| سنگان | ۴۶-۲۶ | ۶۹-۵۷ | ۳۴-۳۰ | <۱۰ | ۵۷-۳۱ | ۳۱۵-۲۶۸ | ۱۸۴-۹۴ | ۱۰۰-۸۹ | ۲۹۰-۲۲۸ | ۴۳-۲۴ | - | ۷۰-۱۷ | ۱۸۴۹-۱۷۴۳ | -۵۴ ۱۱۸ |
| تنورجه | ۱۸۲-۹۳ | ۲۱۰-۵۳ | ۴۸-۳۸ | ۱۲۲-۱۸ | ۱۱۵-۶۶ | ۱۱۶-۵۰ | ۴۲۷-۳۲۴ | ۴۹-۵ | ۳۲۴-۸۹ | ۳۵-۱ | ۲۷-۵ | ۱۵۰-۷۳ | ۱۳۱۳-۱۰۰۶ | ۱۱۶-۴۰ |
| کیرونا (سوئد) | | | | | | | | | | | | | | |
| Balachy | ۱۱۵-۵۸ | ۹۴-۱۱ | ۲۷-۴ | ۶۳-۰ | ۱۲۵-۲۹ | ۱۸۴-۱۳۲ | ۲۸۰-۱۳۴ | ۳۸-۲۵ | ۲۰۳-۱۶۲ | ۱۴-۹ | ۲۴-۱۵ | ۵۶-۳۶ | ۱۱۴۵-۸۳۴ | ۲۲-۱۴ |
| Rainy Lake | ۲۱۲-۲۴ | ۵۸-۰ | ۵۵-۰ | ۳۸-۰ | ۳۰۶-۴۳ | ۳۴۷-۱۵ | ۶۴۲-۵۴ | ۵۸-۱۵ | ۲۷۱-۶۴ | ۲۰-۳ | ۴۰-۱۵ | ۶۵-۴۴ | ۱۶۱۴-۱۰۰ | ۱۳-۰ |

**برداشت**

کانسار سنگان یک ذخیرهٔ مگنتیت نوع Iron-oxide فاقد طلا (طلا کمتر از ppb ۳۲) اورانیوم و عناصر نادر خاکی و کانی‌سازی مگنتیت تنورجه حاوی طلا ( طلا تا ppb ۷۰۰ ) است. ژئوشیمی سنگ منشأ سنگان و تنورجه مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفتند و نتایج مهم زیر حاصل شدند:

۱. سنگ منشأ سنگان از نوع آلکالی سینیت و تنورجه دیوریت تا گرانودیوریت است.

۲. سنگ منشأ سنگان از نوع التراپتاسیک ($K_2O$ بین ۸٫۵-۱۳ درصد) و تنورجه از نوع پتاسیم بالا ($K_2O$ بین ۲ تا ۳٫۶ درصد) است

۳. مقدار عناصر واسطه با شدت میدان زیاد (HFSE) شامل Cu, Ni, Co, Cr, V در نمونه‌های سنگ منشأء تنورجه بالاتر از نمونه‌های سنگان است.

۴. مقدار عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (LILE) شامل Th, Zr, Ba, Rb در نمونه‌های سنگ منشأء سنگان بالاتر از نمونه‌های تنورجه است.

۵. مقدار La و Ce که از عناصر نادر خاکی سبک هستند در نمونه‌های تنورجه بالاتر است. این مسئله باعث بالاتر بودن La و Ce در مگنتیت تنورجه نسبت به مگنتیتهای سنگان شده است.

۶. مقدار عناصر Sr و Zn در سنگ منشأء تنورجه بالاتر است.

۷. مقدار عناصر Nb و Y در سنگ منشأء سنگان بالاتر است.

**مراجع**

[۱] کریم‌پور محمد حسن.، سعادت سعید، ملک‌زاده شفارودی آزاده، *"شناسایی و معرفی کانی‌سازی نوع Fe-Oxides Cu-Au و مگنتیت مرتبط با کمربند ولکانیکی- پلوتونیکی خواف- کاشمر- بردسکن"*، بسیت و یکمین گردهمایی علوم زمین، (۱۳۸۱).

www.SID.ir

Archive of SID


[۲] کریم‌پور محمد حسن.، *"کانی‌شناسی، دگرسانی، سنگ منشأ و محیط تکتونیکی کانسارهای Iron-Oxides Cu-Au و مثالهایی از ایران"*، یازدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه یزد، (۱۳۸۲) صفحه ۱۸۴- ۱۸۹.

[۳] کریم‌پور محمد حسن.، *"بررسی منشأ و چگونگی تشکیل کانسار آهن سنگان خراسان"*، مجموعه مقالات سمینار سنگ آهن، دانشکده فنی دانشگاه تهران، (۱۳۶۹) صفحه ۲۶۹- ۲۸۲.

[۴] عابدی علیرضا، *"ژنز کانسار آهن سنگان خراسان"*، پایان نامه دوره کارشناسی دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۶۸) ۹۶ صفحه.

[۵] امیرخانی منفرد حمید.، *"مطالعه ژئوشیمی و پترولوژی منطقه کانی‌سازی تنورجه کاشمر و بررسی توده مگنتیتی واقع در شمال روستا"*، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۱) ۱۷۹ صفحه.

[6] Hitzman M. W., *"Iron oxides Cu-Au Deposits: What, Where, When and Why., in Porter"*, T. M. (Ed.), Hydrothermal Iron oxide copper-gold and related deposits: A Global perspective, Australian mineral foundation, Adelaide, (2001) p. 9-25.

[7] Karimpour M. H., Mazloomi A., *"Geochemistry and genesis of Kuh-e-Zar gold prospecting area (Torbate Heydariyeh, Iran)"*, Scientific Quarterly J. Geosciences, v.7, No. 27-28, Spring and Summer, (1998) p. 1-13.

[۸] کریم‌پور محمد حسن.، *"بررسی زونهای ژئوشیمیایی و دگرسانی طلای تنورجه"*، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تبریز، (۱۳۷۹) صفحه ۲۹۰-۲۹۲.

[۹] غلامی مالستانی حسنعلی.، *"زمین‌شناسی و منابع معدنی افغانستان"*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۲) ۲۰۰ صفحه.

[۱۰] کریم‌پور محمد حسن، مظاهری سید احمد، بوتریل رالف.، *"آمفیبول جدید غنی از کلر پاراژنز مگنتیت و آندرادیت در اسکارن سنگان خراسان"*، هشتمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۷۹) صفحه ۱۲۶-۱۳۰.

[۱۱] کاهنی شیوا، مظاهری سید احمد، کریم‌پور محمد حسن.، *"بررسی نسلهای مختلف کانی‌سازی سولفیدی و اکسیدی و تعیین حضور دو نسل پیروتیت با ترکیب شیمیایی متفاوت در توده‌های C- شمالی و باغک معدن سنگان"*، دوازدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۸۳) صفحه ۳۵۸-۳۶۰.

[۱۲] کریم‌پور محمد حسن، موسوی حرمی سید رضا، *"طرح بهره برداری از معادن سنگ آهن سنگان خراسان"*، جلد اول،(۱۳۷۷) ۹۹ صفحه.

[۱۳] کریم‌پور محمد حسن.، *"پتانسیل کانی‌سازی مس نوع پورفیری و طلا در محدودهٔ تربت حیدریه تا کاشمر"*، مجموعه مقالات همایش توانمندیهای معدنی شرق کشور، دانشگاه صنایع و معادن ایران، (۱۳۷۸) صفحه ۱۵-۲۶.

www.SID.ir

Archive of SID


[۱۴] کریم‌پور محمد حسن.، *"ژئوشیمی و کانی‌شناسی کانسار سنگ آهن سنگان خراسان"*، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال دوم، شماره دوم، (۱۳۷۳) صفحه ۱۴۵- ۱۵۶.

[15] Nystrom J. O., Henriquez F., *"Magmatic Features of Iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: ore textures and magnetite geochemistry"*, ECONOMIC GEOLOGY, v. 89, (1994) p. 820- 839.

[16] Frietsch R., *"On the Magmatic origin of Iron ores of the Kiruna type"*, ECONOMIC GEOLOGY, v. 73, (1978) p. 478-485.

[17] Hildebrand R. S., *"Kiruna-type deposits: Their origin and relationship to intermediate subvolcanic plutons in the Great Bear magmatic zone"*, northwest Canada: ECONOMIC GEOLOGY, v. 81, (1986) p. 640-659.

[18] Vidal C, C. E., Espinoza I., Sidder G. B., Mukasa S. B., *"Amphibolitic Cu-Fe skarn deposits in the central coast of Peru*", ECONOMIC GEOLOGY, v. 85, (1990) p. 1447-1461.

[19] Bookstrom A. A., *"The magnetite deposits of El Romeral"*, Chile, ECONOMIC GEOLOGY 72: (1977) 1101-1130.

[20] Menard J. I., *"Relationshiph between altered pyroxene diorite and the magnetite mineralization in the Chilean Iron Belt"*, with emphasis on the El Algarrobo iron deposits (Atacama region, Chile). Miner Deposita (1995) 30: 268-274.

www.SID.ir