

## **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 University 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 composed 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  $K_2O$  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 Kiruna area in Sweden are high to medium K-content, and alkaline to calc-alkaline diorite-monzonite-granodiorite; therefore the source rocks at Tannurjeh have very high similarity in composition to these rocks.

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





## مقایسه ژئوشیمی سنگ منشأ توده 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 نهایی ۱۳۸۴/۸/۱۸)

**چکیده:** کانسار سنگ آهن سنگان خواف و توده 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 آلكالی سینیت پورفیری، و کوارتز بیوتیت هورنبلند آلكالی سینیت پورفیری، ولی سنگ منشأ تنورجه در محدوده هورنبلند کوارتز دیوریت تا هورنبلند گرانودیوریت پورفیری تغییر می‌کند. کانسار سنگان حداکثر تا ۳۲ ppb و تنورجه تا ۷۰۰ ppb طلا دارد. نتایج تجزیه اکسیدهای اصلی نشان می‌دهد که سنگ منشأ سنگان از نوع التراپتاسیک و سنگ منشأ تنورجه از نوع پتاسیم‌دار متوسط است. میزان  $\text{CaO}$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{TFeO}$  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  $\text{Cu}$ ،  $\text{Ni}$ ،  $\text{Co}$ ،  $\text{Cr}$ ،  $\text{V}$  در سنگ منشأ تنورجه ولی مقدار عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (LILE) شامل  $\text{Th}$ ،  $\text{Zr}$ ،  $\text{Ba}$ ،  $\text{Rb}$  در سنگ منشأ سنگان بیشتر است. همچنین مقدار  $\text{Ce}$  و  $\text{La}$  در سنگ منشأ تنورجه بیشتر است. مقدار عناصر  $\text{Zn}$  و  $\text{Sr}$  در تنورجه و  $\text{Y}$  و  $\text{Nb}$  در سنگان بالاتر است. سنگ منشأ کانسارهای IOCG واقع در کمربند شیلی، کمربند ساحلی پرو، ناحیه کیرونا در سوئد آلكالن تا کالک آلكالن، 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.

## مقدمه

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

این کانسارها جزئی 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- اسپیکولاریت کوه‌زر، تنورچه و معدن سنگان خواف اشاره کرد. تجزیه 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 تنورچه 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 منطقه سنگان و تنورچه، و مطالعه 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 محدوده توده A (در یک منطقه خاص).
- ۲- نمونه‌برداری از توده‌های نفوذی جوانتر در سنگان.
- ۳- نمونه‌برداری از سنگ منشأ توده مگنتیت تنورچه.
- ۴- نمونه‌برداری از زون‌های اسکارنی.
- ۵- نمونه‌برداری از سنگ آهن.

مطالعات آزمایشگاهی نیز به شرح زیر صورت گرفت:

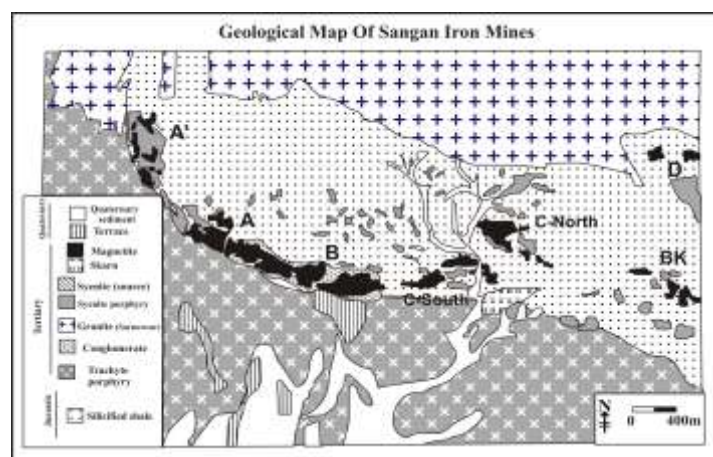
- ۱- تهیه و مطالعه مقاطع نازک نمونه‌های جمع‌آوری شده از منطقه سنگان و تنورچه.
- ۲- تجزیه شیمیایی نمونه‌های سنگان و تنورچه به روش XRF (دستگاه مدل فیلیپس) برای اکسیدهای اصلی و برخی عناصر فرعی مثل Th, Ba, Ce, La, Nb, Zr, Y, Sr, Rb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V در گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد.

دستگاه XRF مورد استفاده دارای ۳ برنامه مختلف برای اکسیدهای اصلی و ۶ برنامه متفاوت برای عناصر فرعی برای تجزیه سنگهای آذرین است. با توجه به ترکیب سنگهای این مقاله، از برنامه‌های مربوط به سنگهای اسیدی- حدواسط برای تجزیه 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، گرانوریوت، 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. مجموعه 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 منطقه 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 توده مگنتیتی را قطع کرده‌اند.



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی محدوده کانسار سگان و موقعیت توده‌های مختلف آن [۴].

مگنتیت تنورچه نیز در نقشه 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 تنورچه، سنگهای حدواسط، نیمه‌عمیق تا عمیق با بافت پورفیری - گلوپورفیری و ترکیب دیوریت، مونزودیوریت و گرانودیوریت پورفیری است که در بخش سنگ‌شناسی توضیح داده می‌شود. مگنتیت تنورچه از طریق جانمایی 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 اسپیکولاریت، و (۴) Au-Cu همراه با اسپیکولاریت تقسیم‌بندی کرد.

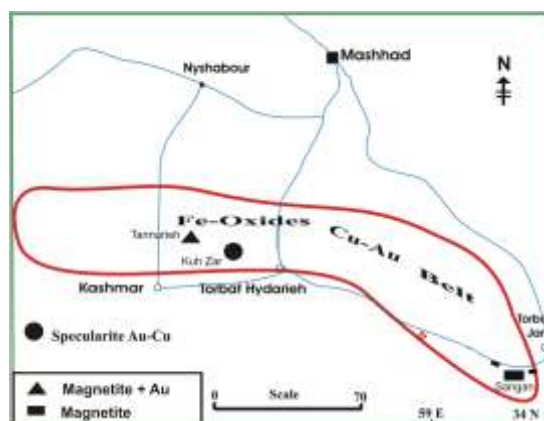
محیطهای زمین‌ساختی که این کانسارها کشف شده‌اند شامل حوضه‌های زمین‌ساختی پشت کمربند زون فرورانش، ریفت درون قاره، و نقاط داغ پوسته قاره‌ای است. گروه مگنتیت - آپاتیت بیشتر با دیوریت و گروه IOCG با مجموعه‌ای از سنگهای آذرین درونی حدواسط تا اسیدی گزارش شده‌اند [۶]. کانسارهای مگنتیت که حاوی آپاتیت هستند، بیشتر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

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 کنسارهای نوع Iron-oxide در حاشیه اقیانوس آرام در کشورهای شیلی و پرو شناسایی شده‌اند. از ذخایر نوع مگنتیت همراه با Au و Cu می‌توان به Cerro Negro, El Laco, El Romeral, Rual-Condestable اشاره کرد.

کریم‌پور و همکاران [۱ و ۲] کمر بند خواف- کاشمر- بردسکن را به عنوان کمر بند کانی‌سازی تیپ Iron-Oxide در ایران معرفی کرده‌اند (شکل ۲). پی‌جوییهای گسترده سالهای اخیر در این کمر بند موجب شناسایی ذخایر و مناطق دارای پتانسیل طلا و مس شده است. کانی‌سازی Au-Cu در منطقه کوه‌زرتربت‌حیدریه [۷]، تنورجه [۸] و چند منطقه دیگر نیز از این نوع هستند (شکل ۲). همچنین غلامی [۹] نشان داد که این کمر بند به داخل کشور افغانستان نیز ادامه می‌یابد و ذخایر مگنتیت نوع سنگان در همان راستا در افغانستان وجود دارد.

### کانی‌سازی

به عقیده کریم‌پور [۳] کنسار مگنتیت سنگان از نوع اسکارنی است. در منطقه 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 پاراژنهای مگنتیت کاملاً مشخص است. توده مگنتیت A' در مجاورت سنگ منشأ در دمای بالا تشکیل شده و حاوی گارنت غنی از آندرادایت، هیدبرگیت، کلسیت و آمفیبول با دمای بالای غنی از پتاسیم، کلر و فلوئور است. پاراژن توده‌های A, B و C- جنوبی عبارتند از: ریپدولیت، فرواکتینولیت و سیدریت، در حالی که پاراژن توده‌های C- شمالی و باغک شامل فلوگوپیت، فورستریت، کلینوکلر و دولومیت است [۱۰].



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

کانیهای فلزی منطقه شامل مگنتیت + هماتیت  $\pm$  گوتیت  $\pm$  (پیریت  $\pm$  پیروتیت  $\pm$  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]. توده B با ذخیره ۱۲۸ میلیون تن و عیار ۴۸/۹ درصد آهن، بزرگترین ذخیره آهن و C - شمالی با ذخیره ۸۶ میلیون تن و عیار ۵۴/۷ درصد آهن دارای بالاترین عیار است. ذخیره 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 عمده این توده را مگنتیت و در درجه دوم اهمیت هماتیت و گوتیت تشکیل داده‌اند.



شکل ۳ دورنمایی از معدن سنگان و موقعیت توده‌های مگنتیت.



عملیات صحرایی این پژوهش نیز ماگمایی بودن کانی‌سازی را تأیید می‌کند. شواهدی از کانی‌سازی اسکارن نیز در حاشیه توده مگنتیت مشاهده می‌شوند که کانی‌سازی نوع اسکارن آهن را اثبات می‌کند. کانی‌شناسی اسکارن تنورچه همانند تنوع و زون‌بندی اسکارن در کانسار سنگان نیست. کانیهای موجود در اسکارن را بیشتر کلسیت، کلریت و اپیدوت تشکیل می‌دهند. توده مگنتیت تنورچه تنوع کانی‌شناسی زیادی ندارد. کانیهای فلزی موجود در این توده شامل مگنتیت+هماتیت  $\pm$  گوتیت  $\pm$  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 تنورچه

اطلاعات این بخش، از کارهای انجام شده 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 تنورچه 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 معمولاً دارای عناصری مثل Mo, F, P, U, Bi, Ni, Co, Au, Cu، و عناصر کمیاب هستند.



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

- تجزیه‌های شیمیایی توده‌های مگنتیتی دو منطقه اختلافات قابل توجهی را در برخی عناصر مهم کانسارهای Iron-Oxide مثل Cu، Au، U، REE و غیره نشان می‌دهد.
- مقایسه اکسیدهای اصلی در توده مگنتیت تنورچه و سنگان نتایج زیر را نشان می‌دهد:
    - ۱- مقدار  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{MnO}$  در هر دو توده پایین است ( $\text{TiO}_2$  کمتر از ۰/۰۹ و  $\text{MnO}$  کمتر از ۰/۳۶ درصد).
    - ۲- مقدار  $\text{CaO}$  در مگنتیت تنورچه بالاتر (حداکثر تا ۱/۸۲ درصد) از توده‌های مگنتیت سنگان (حداکثر تا ۰/۰۵ درصد) است.
    - ۳- مقدار  $\text{MgO}$  در مگنتیت‌های سنگان به خصوص باغک، C- شمالی و دردوی بالاست (حداکثر تا ۳/۶۵ درصد) ولی در توده مگنتیت تنورچه پایین (حداکثر ۰/۱۴ درصد) است.
    - مقایسه طلا نشان می‌دهد:
      - ۱- مگنتیت سنگان دارای حداکثر ۳۲ ppb طلا ولی مگنتیت تنورچه حاوی حداکثر ۵۰۰ ppb طلاست.
      - مقایسه 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 تنورچه (حداکثر ۰/۸۸۵ درصد) نشان می‌دهد. مقدار سولفید مگنتیت در تنورچه بسیار پایین است.
        - مقایسه عناصر کمیاب نتیجه زیر را نشان می‌دهد:
 مقدار عناصر نادر خاکی سبک مثل La، Ce و Nd در مگنتیت تنورچه بسیار بالاتر (به ترتیب  $10 > 12 > 56$ ) از مقادیر آن در سنگان (به ترتیب  $3.5 < 8.5 < 3.2$ ) است.
        - مقایسه دیگر عناصر نتایج زیر را ارائه می‌دهد:
          - ۱- مقدار مس در سنگان (بین ۵۰-۹۲۰ ppm) بسیار بالاتر از تنورچه (بین ۱۴-۴۰۸ ppm) است.
          - ۲- اورانیوم در مگنتیت تنورچه بالاتر است (تا ۷ ppm).
          - ۳- مقدار  $\text{Bi}$ ،  $\text{Ni}$ ،  $\text{Co}$  در توده‌های مگنتیت سنگان (به ترتیب تا ۳۵۵، ۱۵۹ و ۴۹ ppm) بالاتر از تنورچه (به ترتیب ۱۵۶، ۳۰ و ۱۰) است.
          - ۴- مقدار  $\text{Mo}$  در تنورچه بالاتر است (در سنگان تا حداکثر ۲/۶ ppm و در تنورچه تا ۲۴ ppm).
- طلا در سنگان با مقدار سولفور، آرسن، و بیسموت رابطه 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. توده مگنتیت تنورچه یک مگنتیت نوع Iron-Oxide حاوی طلا، اورانیوم و عناصر کمیاب است.

### 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 منطقه خاصی از توده مگنتیت 'A' سنگ منشأ اسکارن آهن رخنمون دارد که از آن نمونه‌برداری شد. در مجاورت این توده نفوذی زون اسکارن 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 منشأ 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 منشأ سنگان و تنورجه اغلب از نوع نیمه عمیق و با بافت پورفیری‌اند، واژه پورفیری به انتهای نام اضافه شده است.

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

**کوارتز هورنبلند سینیت پورفیری:** بافت این واحد پورفیری - گلومروپورفیری است. زمینه 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). اندازه آلکالی فلدسپاتها تا ۱ میلی‌متر می‌رسد. پلاژیوکلازها بیشتر در حد آلبیت - الیگوکلاز بوده و اندازه آنها تا ۳/۵ میلی‌متر است. یک درصد کوارتز به صورت فنوکریست تا اندازه ۰/۶ میلی‌متر و ۰/۵ درصد هورنبلند تا ۱ میلی‌متر نیز مشاهده شده است. زمینه 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 اندازه 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 زمینه سنگ شامل پتاسیم فلدسپات، پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت، 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 تنورچه 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 جزئی آلکالی فلدسپات هستند. اندازه پلاژیوکلازها تا ۱/۵ میلیمتر می‌رسد و درصد مودال آن در حدود ۵۵ تا ۶۰ درصد سنگ است. حدود ۱۵ درصد کوارتز و ۱۰ 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. زمینه 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. زمینه 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 - گلوپورفیری با حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد فنوکریست است. فنوکریستها شامل پلاژیوکلاز و پیروکسن هستند. پلاژیوکلازها در حد الیگوکلاز بوده، مقدار آنها به صورت فنوکریست در حد ۲۵ تا ۳۰ درصد است. پیروکسنها در حد اوژیت - دیوپسید بوده، مقدار آنها به صورت فنوکریست در حد ۱۰ تا ۱۵ درصد است. زمینه سنگ شامل فلدسپاتها، کوارتز، پیروکسن و کانی کدر است. کانی کدر به صورت یوهیدرال و درشت به طول ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر در حد 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 زمینه 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. زمینه سنگ شامل پلاژیوکلاز، کوارتز، فلدسپات آلکالی، هورنبلند، کانیهای کدر و کانیهای حاصل از دگرسانی است. کانی کدر به صورت یوهیدرال در حد 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.

**کوارتز پیروکسن هورنبلند مونزودیوریت پورفیری:** این واحد دارای بافت پورفیری با زمینه 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. زمینه سنگ مشکل از پلاژیوکلاز، هورنبلند، اوژیت، کوارتز، کانی کدر و کانیه‌های حاصل از دگرسانی است. پلاژیوکلازهای زمینه سنگ با بافت تراکیتی تا اندازه ۰/۲ میلیمتر مشاهده می‌شوند. کانی کدر به صورت یوهیدرال و پراکنده تا اندازه 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 زمینه 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. زمینه سنگ شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، کوارتز، آلکالی فلدسپات، کانی کدر و کانیه‌های ثانویه است. پلاژیوکلازهای زمینه بافت تراکیتی داشته و اندازه آنها تا ۰/۳ میلیمتر می‌رسد. کانی کدر اغلب ریز دانه و پراکنده در متن در حد ۴ تا ۵ درصد است. همه 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 تجزیه شدند. نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای اصلی در جدولهای ۱ و ۲ ارائه شده است. آنچه در نظر اول حین مقایسه 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 کانیه‌های مافیکی مثل پیروکسن در آنهاست. در مجموع سنگ منشأ تنورجه ترکیب مافیکی‌تری نسبت به سنگ منشأ

سنگان دارد. اکسید سدیم در نمونه سنگان از ۱/۵۷ تا ۳ درصد متغیر است، در حالی که در نمونه‌های تنورچه از ۲/۹۷ تا ۳/۲۴ درصد تغییر می‌کند که بیانگر تفاوتی جزئی است. نمونه TM-1 به صورت استثنایی در بین نمونه‌های تنورچه حاوی ۶/۸۴ درصد  $\text{Na}_2\text{O}$  است. کانیهای نورماتیو سنگ منشأ مناطق سنگان و تنورچه 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 تنورچه بیشتر در نزدیکی گوشه P (پلاژیوکلاز) لوزی و درحد کوارتزیدیوریت، کوارتزومونودیوریت و گرانودیوریت است (شکل ۶). این مسئله به بالا بودن مقدار  $\text{K}_2\text{O}$  در نمونه‌های سنگان و بالا بودن  $\text{TFeO}$ ،  $\text{MgO}$  و  $\text{CaO}$  در نمونه‌های تنورچه برمی‌گردد.

جدول ۱ تجزیه اکسیدهای اصلی نمونه‌های سنگ منشأ سنگان.

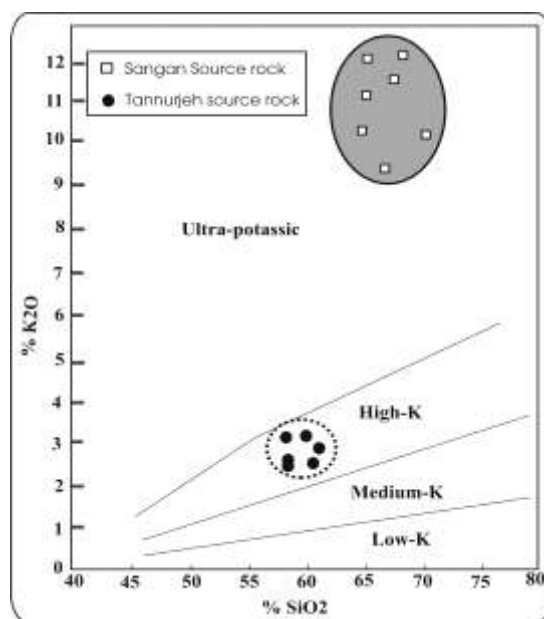
| Wt%                     | San-2 | San-3  | San-4  | San-5  |
|-------------------------|-------|--------|--------|--------|
| $\text{SiO}_2$          | ۶۷٫۳۵ | ۶۶٫۲۳  | ۶۵٫۷۶  | ۶۵٫۹۲  |
| $\text{TiO}_2$          | ۰٫۳۳  | ۰٫۵۴   | ۰٫۴۵   | ۰٫۴۶   |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | ۱۳٫۳۸ | ۱۴٫۹۸  | ۱۴٫۶۹  | ۱۴٫۵۴  |
| $\text{TFeO}$           | ۱٫۲۳  | ۱٫۶۴   | ۲٫۴۲   | ۲٫۵۳   |
| $\text{MnO}$            | ۰٫۰۴  | ۰٫۰۵   | ۰٫۱۲   | ۰٫۰۵   |
| $\text{MgO}$            | ۰٫۴۹  | ۰٫۹۲   | ۰٫۷۳   | ۰٫۸۹   |
| $\text{CaO}$            | ۳٫۰۹  | ۲٫۷۷   | ۳٫۰۴   | ۲٫۵۷   |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | ۲٫۱۵  | ۳٫۰۰   | ۱٫۵۷   | ۰٫۹۱   |
| $\text{K}_2\text{O}$    | ۸٫۷۰  | ۹٫۱۵   | ۱۱٫۴۳  | ۱۲٫۸۱  |
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | 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 |

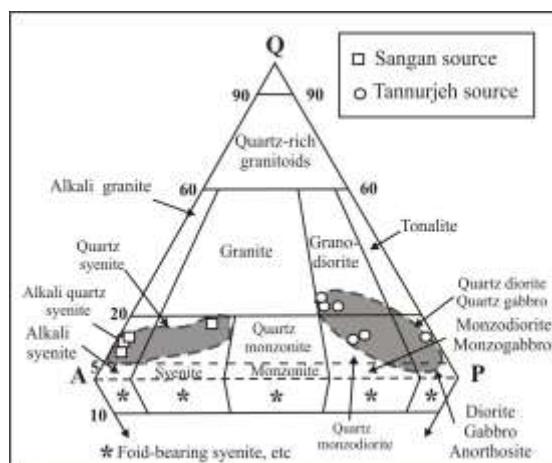
جدول ۲ تجزیه اکسیدهای اصلی نمونه‌های سنگ منشأ تنورچه.

| Wt%                     | TM-1  | TM-3   | TM-4   | TM-5  | TM-6  | TM-7  |
|-------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| $\text{SiO}_2$          | ۶۰٫۳۸ | ۶۳٫۹۶  | ۶۳٫۶۱  | ۶۲٫۲۴ | ۵۷٫۴۵ | ۵۷٫۷۴ |
| $\text{TiO}_2$          | ۰٫۶۰  | ۰٫۵۵   | ۰٫۵۸   | ۰٫۵۶  | ۰٫۷۱  | ۰٫۶۹  |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | ۱۴٫۱۵ | ۱۴٫۵۰  | ۱۴٫۸۲  | ۱۴٫۲۹ | ۱۵٫۳۰ | ۱۵٫۲۳ |
| $\text{TFeO}$           | ۲٫۵۹  | ۵٫۵۸   | ۶٫۱۶   | ۶٫۴۱  | ۸٫۱۷  | ۷٫۷۵  |
| $\text{MnO}$            | ۰٫۰۸  | ۰٫۰۹   | ۰٫۱۰   | ۰٫۰۸  | ۰٫۱۴  | ۰٫۱۴  |
| $\text{MgO}$            | ۲٫۲۲  | ۲٫۱۸   | ۲٫۰۵   | ۲٫۶۱  | ۳٫۱۱  | ۲٫۶۳  |
| $\text{CaO}$            | ۶٫۶۱  | ۴٫۹۶   | ۰٫۵۲۵  | ۳٫۹۲  | ۷٫۷۹  | ۷٫۵۲  |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | ۶٫۸۴  | ۲٫۹۷   | ۳٫۲۴   | ۳٫۱۲  | ۳٫۱۱  | ۳٫۱۷  |
| $\text{K}_2\text{O}$    | -     | ۳٫۶۷   | ۳٫۲۶   | ۳٫۳۵  | ۲٫۰۹  | ۲٫۳۲  |
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | 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 |

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  $K_2O-SiO_2$



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

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

|       | TM-1  | TM-3  | TM-4  | TM-5  | TM-6  | TM-7  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Q     | ۸۶۹   | 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 تجزیه ۱۵ عنصر فرعی از نمونه‌های سنگان و تنورجه در جدولهای ۵ 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 ۴۶ ppm است، در حالی که در نمونه‌های



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

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

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

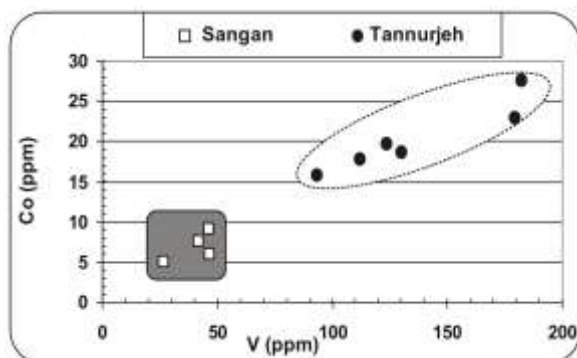
مقدار روبیدیوم در نمونه‌های سنگ منشأ سنگان بالای ۲۶۸ ppm است و تا ۳۱۵ ppm می‌رسد، در صورتی که در نمونه‌های تنورچه این مقدار از ۵۰ تا ۱۱۶ ppm تغییر کند. بالا بودن مقدار روبیدیوم در نمونه‌های سنگان ناشی از بالا بودن فلدسپات آلکالی است. عکس عنصر روبیدیوم، مقدار استرانسیوم در نمونه‌های تنورچه بالاتر است.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

جدول ۵. نتایج تجزیه برخی عناصر فرعی نمونه‌های سنگ منشأ سنگان.

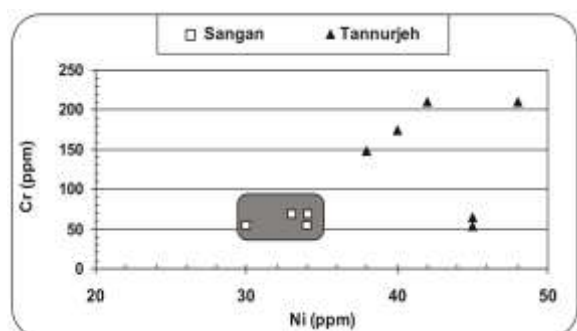
| ppm | San-2 | San-3 | San-4 | San-5 |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| V   | ۲۶    | ۴۶    | ۴۱    | ۴۵    |
| Cr  | ۵۷    | ۶۹    | ۶۹    | ۵۷    |
| Co  | ۵     | ۶٫۵   | ۸     | ۹     |
| Ni  | ۳۰    | ۳۴    | ۳۳    | ۳۴    |
| Cu  | ۸۵    | ۱۰    | ۲     | ۹     |
| Zn  | ۳۱    | ۵۶    | 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    |

جدول ۶ نتایج تجزیه برخی عناصر فرعی نمونه‌های سنگ منشأ تنورجه.

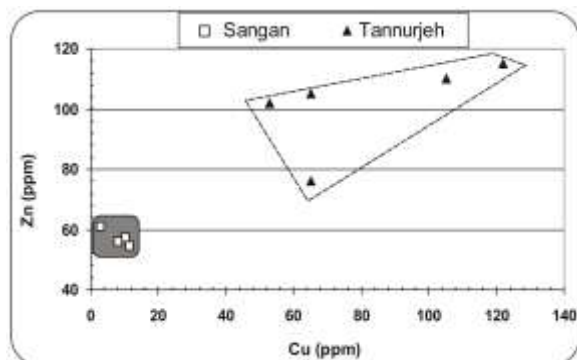
| ppm | TM-1 | TM-3 | TM-4 | TM-5 | TM-6 | TM-7 |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| V   | ۹۳   | ۱۱۲  | ۱۲۴  | ۱۲۹  | ۱۷۹  | ۱۸۲  |
| Cr  | ۵۳   | ۲۱۰  | ۲۱۰  | ۱۷۴  | ۱۴۹  | ۶۵   |
| Co  | ۱۶   | ۱۸   | ۲۰   | ۱۹   | ۲۳   | ۲۸   |
| Ni  | ۴۵   | ۴۸   | ۴۲   | ۴۰   | ۳۸   | ۴۵   |
| 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   | -    | -    |



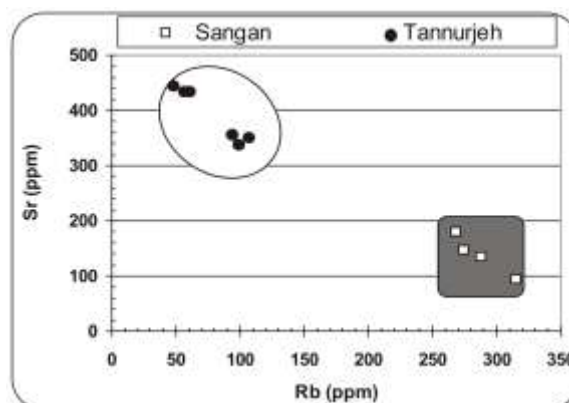
شکل ۷ مقایسه Co-V نمونه‌های سنگ منشأ سنگان و تنورجه.



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



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



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

مقدار ایتريوم 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. سريوم 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).

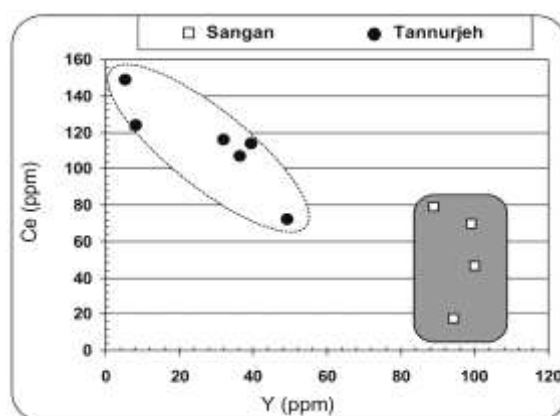
مقدار نیوبیوم در نمونه‌های سنگان بالاتر از تنورجه است. نیوبیوم در سنگان بین ۲۴ تا ۴۳ ppm است. در حالی که در تنورجه مقدار آن اغلب زیر ۱۵ ppm است. نمونه TM-1 دارای ۳۵ ppm نیوبیوم است (شکل ۱۲).

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).

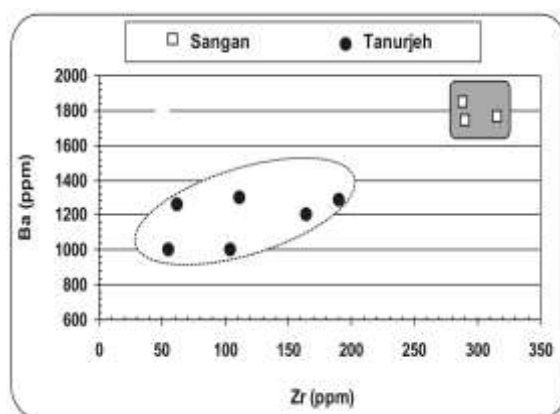
مقدار لانتانیوم در نمونه سنگان بسیار پایین و زیر حد تشخیص XRF بوده است. تنها در نمونه San-3، به میزان ۲۷ ppm لانتانیوم وجود دارد. نمونه‌های تنورجه دارای ۵ تا ۲۷ ppm لانتانیوم بوده‌اند. توریوم در سنگان بین ۵۴ تا ۱۱۸ ppm متغیر است. در نمونه‌های تنورجه دو نمونه TM-6 و TM-7 مقدار Th بسیار کمی داشته‌اند که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

#### مقایسه سنگ منشأ سنگان و تنورجه با دیگر کانسارهای مگنتیت تیپ Iron-Oxide

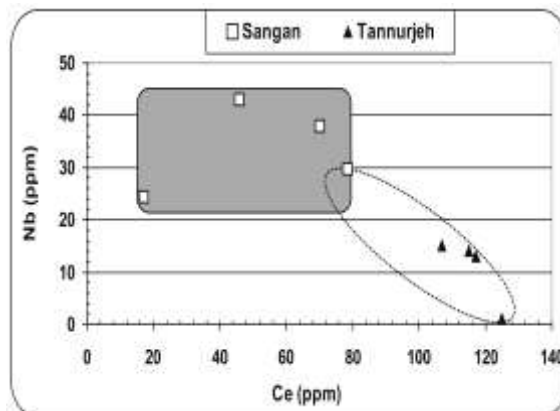
به منظور دستیابی به نتیجه مطلوب درباره پارامترهای کنترل‌کننده حضور طلا در مگنتیت تنورجه نسبت به مگنتیت سنگان، سنگ منشأ سنگان با سنگ منشأ برخی کانسارهای مهم مگنتیت تیپ Iron-oxide که دارای طلا در حد اقتصادی هستند، مقایسه شد. از جمله این



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



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



شکل ۱۳ مقایسه Ba-Zr نمونه‌های سنگ منشأ سنگان و تنورچه.

ذخایر می‌توان به ذخایر مگنتیت کمر بند شیلی (مثل Cerro Negro, El Dorado, El Algarrobo) و ذخایر کمر بند ساحلی پرو (مثل El Romeral)، ذخایر کمر بند ساحلی پرو (مثل Monterossas و Eliana, Marcona)، ذخایر شمال فنلاند، ناحیه El Laco شیلی، و ناحیه کیرونا در سوئد اشاره کرد. مقدار طلای برخی از این کانسارها در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷ مقایسه طلای مگنتیت سنگان و تنورچه با برخی

مگنتیت‌های Iron-oxide [۵، ۱۱، ۸ و ۱۴ تا ۱۸].

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

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

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

۲- ترکیب سنگ منشأ سنگان با کلیه ذخایر دیگر مگنتیت متفاوت است. تنورچه 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  $K_2O$  در حد ۸ تا ۱۳ درصد است، در حالی که سنگ منشأ تنورچه و دیگر ذخایر از نوع پتاسیم بالا تا پتاسیم متوسط است.

۴- مقدار اکسیدهای  $CaO$ ،  $MgO$ ،  $TFeO$  و  $Na_2O$  در سنگ منشأ تنورچه 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 کبرونا نشان می‌دهد، در حالی که در سنگان پایین است. Cr و Ni تغییرات زیادی را نشان می‌دهند. مقدار Cr در تنورجه از سنگان و کبرونا بالاتر است.
- ۷- مقدار Cu و Zn در مجموع در تنورجه و کبرونا بالاست ولی در سنگان نسبت به آن دو پایین‌تر است.
- ۸- Rb در سنگ منشأ سنگان و در بخشهای سینیتی توده Raing Lake کبرونا بالاست و در تنورجه و دیگر بخشهای کبرونا پایین‌تر است. Sr بر عکس Rb در تنورجه و کبرونا بالاست.
- ۹- Y در سنگان نسبت به تنورجه و کبرونا 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 کبرونا دامنه تغییرات آن کم است.
- ۱۰- La در سنگ منشأ تنورجه و کبرونا 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 کبرونا بالاتر است.
- ۱۲- Th در سنگان و تنورجه تغییر چندانی نشان نمی‌دهد و در کل بسیار بالاتر از دامنه مقدار Th در ناحیه کبرونای سوئد است.
- جدول ۸ مقایسه دامنه تغییرات اکسیدهای اصلی و نام سنگ منشأ سنگان و تنورجه با ذخایر مگنتیت نوع Iron - oxide [۱۷ تا ۲۰].

| نام سنگ منشأ  | ژئوشیمی اکسیدهای اصلی سنگ منشأ (درصد) |                  |                   |       |         |            |       |                                |                  |                  |                      |
|---------------|---------------------------------------|------------------|-------------------|-------|---------|------------|-------|--------------------------------|------------------|------------------|----------------------|
|               | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>         | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | CaO   | MgO     | MnO        | TFeO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | SiO <sub>2</sub> |                      |
| سنگان         | ۰/۲-۰/۱                               | ۱۳-۸             | ۳-۱               | ۳-۲/۵ | ۱-۰/۵   | ۰/۱۲-۰/۰۴  | ۲/۵-۱ | ۱۵-۱۳                          | ۰/۵۴-۰/۳۳        | ۶۷-۶۵            |                      |
| تنورجه        | ۰/۲۳-۰/۱۴                             | ۳/۵-۲            | ۷-۳               | ۸-۵   | ۳-۲     | ۰/۰۸-۰/۱۱۴ | ۸-۲   | ۱۵-۱۴                          | ۰/۷۱-۰/۵۵        | ۶۴-۵۷            |                      |
| دپوریت        |                                       |                  |                   |       |         |            |       |                                |                  |                  |                      |
| گرانو دپوریت  |                                       |                  |                   |       |         |            |       |                                |                  |                  |                      |
| مونزودپوریت   |                                       |                  |                   |       |         |            |       |                                |                  |                  |                      |
| دپوریت        | -                                     | ۰/۰۶             | ۴/۷۳              | ۹/۸۹  | ۴/۳۵    | ۰/۰۶       | ۴/۱۸  | ۱۷/۳۱                          | ۰/۶۱             | ۵۷/۰۴            | EL Romerol شیلی      |
| گابرو دپوریت  | ۰/۶-۰/۰۵                              | ۲-۰/۳۳           | ۶-۳               | ۹-۶   | ۹-۲     | ۰/۲۳-۰/۰۵  | ۱۰-۲  | ۲۰-۱۶                          | ۱/۳۲-۰/۹۱        | ۶۰-۴۷            | کمر بند ساحلی پرو    |
| مونزونیت      | ۰/۱۴-۰/۰۷                             | ۵-۴              | ۳/۵-۲/۵           | ۵-۱   | ۳/۵-۱/۵ | ۰/۱۵-۰/۰۴  | ۷-۳   | -۱۴/۱۵/۵                       | ۰/۶-۰/۳          | ۶۵-۶۰            | کبرونا، سوئد Balachy |
| مونزودپوریت   |                                       |                  |                   |       |         |            |       |                                |                  |                  |                      |
| سینیت         | ۰/۶-۰/۰۲                              | ۵-۱              | ۹-۳               | ۵/۵-۱ | ۳-۰/۵   | ۳-۰/۰۵     | ۷-۵   | ۱۹-۱۴                          | ۱-۰/۵            | ۶۶-۵۲            | Rainylake            |
| مونزودپوریت   |                                       |                  |                   |       |         |            |       |                                |                  |                  |                      |
| پروکسن دپوریت |                                       |                  |                   |       |         |            |       |                                |                  |                  | EL Algarrobo         |
| گرانودپوریت   |                                       |                  |                   |       |         |            |       |                                |                  |                  | Cerro Negro          |
| پروکسن دپوریت |                                       |                  |                   |       |         |            |       |                                |                  |                  | El laco              |

جدول ۹ مقایسه دامنه تغییرات برخی عناصر فرعی سنگ منشأ سنگان و تنورجه و سنگ منشأ کبرونا سوئد [۱۷].

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

### برداشت

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

۱. سنگ منشأ سنگان از نوع آلکالی سینیت و تنورچه دیوریت تا گرانودیوریت است.
۲. سنگ منشأ سنگان از نوع التراپتاسیک ( $K_2O$  بین ۸/۵-۱۳ درصد) و تنورچه 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 منشأ تنورچه بالاتر از نمونه‌های سنگان است.
۴. مقدار عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (LILE) شامل Th, Zr, Ba, Rb در نمونه‌های سنگ منشأ سنگان بالاتر از نمونه‌های تنورچه است.
۵. مقدار La و Ce که از عناصر نادر خاکی سبک هستند در نمونه‌های تنورچه بالاتر است. این مسئله باعث بالاتر بودن La و Ce در مگنتیت تنورچه نسبت به مگنتیت‌های سنگان شده است.
۶. مقدار عناصر Sr و Zn در سنگ منشأ تنورچه بالاتر است.
۷. مقدار عناصر Nb و Y در سنگ منشأ 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 کمر بند ولکانیکی-پلوتونیک خواف-کاشمر-بردسکن"، بسیت و یکمین گردهمایی علوم زمین، (۱۳۸۱).
- [۲] کریم‌پور محمد حسن، "کانی‌شناسی، دگرسانی، سنگ منشأ و محیط تکتونیک 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 تنورچه 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 (Torbat 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 تنورچه"، 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، "مفیبول جدید غنی از کلر پارژنز مگنتیت و آندرا دیت 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 محدوده تربت حیدریه تا کاشمر"، مجموعه مقالات همایش توانمندیهای معدنی شرق کشور، دانشگاه صنایع و معادن ایران، (۱۳۷۸) صفحه ۱۵-۲۶.
- [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., "Relationship 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.