

ژئوشیمی و کانی‌شناسی زونهای اسکارنی و سنگ‌شناسی سنگ منشأ کانسار آهن سنگان خراسان رضوی

نوشته: محمد حسن کریم‌پور* و آزاده ملک‌زاده شفارودی*

*گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.

Skarn Geochemistry - Mineralogy and Petrology of Source Rock Sangan Iron Mine, Khorasan Razavi, Iran

By: M. H. Karimpour* & A. Malekzadeh Shafaroudi*

*Geology department, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۵/۱۰/۱۱

چکیده

کانسار آهن سنگان خواف در حدود ۳۰۰ کیلومتری جنوب خاوری مشهد واقع است. این معدن به دلیل عیار بالای آهن، پایین بودن میزان فسفر و ذخیره زیاد، از مهم‌ترین ذخایر آهن ایران است. کانی‌سازی از نوع اسکارن مگنتیتی است. این ذخیره در تقسیم‌بندی جدید نیز جزو ذخایر مگنتیت (اکسید آهن) قرار گرفته است. براساس رخنمون سطحی، اسکارن در بخش باختری از نوع همبری با ترکیب کلسیمی و به سمت خاور به تدریج به نوع حاشیه‌ای و با ترکیب منیزی می‌تبدیل می‌شود. کانی‌شناختی زونهای اسکارنی بخش باختری (توده مگنتیت A') شامل آندرادیت، آمفیبول دما بالا، مگنتیت و کلسیت است. توده‌های مگنتیت بخش A, B, C- جنوبی حاوی ریپدولیت، فرواکتینولیت، سیدریت و مقدار اندکی پیریت است. توده‌های مگنتیت محدوده‌های C شمالی و باغک، حاوی مگنتیت غنی از منیزیم، فلوگوپیت، کالینوکلر، فورستریت، دولومیت، تالک، پیریت \pm پروتیت \pm کلکوپیریت \pm آرسنوپیریت است. بیشترین مقدار سولفید در این دو منطقه یافت می‌شود. سنگ منشأ شناسایی شده در این تحقیق (در منطقه A') از نوع اولتراپتاسیک با K_2O بیش از ۹ درصد است. گرانیته سرنوسر که تاکنون به عنوان سنگ منشأ مطرح بوده، K_2O کمتر از ۵ درصد دارد، لذا با شناسایی سنگ منشأ نوع اولتراپتاسیک، گرانیته سرنوسر نمی‌تواند منشأ باشد. میزان K_2O در گرانیته سرنوسر نزدیک به زونهای اسکارنی افزایش می‌یابد که حاصل دگرسانی است. محلول کانه‌دار که از مرز گرانیته سرنوسر و سنگ آهک جابه‌جا می‌شده است، ضمن تشکیل اسکارن باعث دگرسانی گرانیته سرنوسر نیز شده است. براساس مطالعات میکروسکوپی و محاسبه نورم، سنگ منشأ آهن در حد کوارتز هورنبلند سینیت پورفیری و کوارتز بیوتیت هورنبلند سینیت قلبایی پورفیری و سنگهای جوان‌تر در حد بیوتیت گرانیته، بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری و کوارتز سینیت پورفیری هستند. پتاسیم در منطقه سنگان، نوع کانی‌سازی اسکارن را کنترل کرده است. در اسکارن همبری (توده A') آمفیبول غنی از پتاسیم، کلر و فلوئور و در اسکارن حاشیه‌ای (توده C و باغک) فلوگوپیت (حاوی پتاسیم و فلوئور) تشکیل شده است. مقایسه برخی عناصر جزئی سنگ منشأ سنگان و گرانیته سرنوسر نشان می‌دهد که مقدار Rb, Zn, Zr و Nb در سنگ منشأ بالاتر و عناصر Sr و Cu در سنگهای منشأ پایین‌تر از سرنوسر است. مقایسه عناصر فرعی سنگهای جوان‌تر با سنگ منشأ آهن نشان می‌دهد که: (۱) مقدار Sr, Cu, Ce, Zr, Ni, Cr و La در توده‌های جوان‌تر بیشتر است و (۲) مقدار رویدیم در توده‌های جوان‌تر کمتر از سنگ منشأ آهن است.

کلید واژه‌ها: سنگان، اسکارن، سرنوسر، سنگ منشأ، اولتراپتاسیک.

Abstract

Sangan Iron ore deposit is located 300 km southeast of Mashhad (Eastern Iran). Because of on the high grade, low P- content and big ore reserve, Sangan is regarded as an important iron mine in Iran. It is a magnetite skarn and can be classified as iron-oxide type deposit. Based on the surface exposure, the western magnetite skarn (A'), a Ca-rich type skarn, was formed at the contact of intrusive. Eastward, the skarn gradually becomes distal and Mg-type. The A' magnetite skarn contains andradite,



magnetite, K-rich amphibole, hedenbergite and calcite. Magnetite skarn in A, B, and C- south contain magnetite, epidolite, ferro-actinolite, siderite and minor pyrite. Baghak and C- north magnetite skarn comprise Mg-rich- magnetite, phlogopite, chinchlore, talc, dolomite, forsterite, dolomite, pyrite \pm chalcopyrite \pm arsenopyrite \pm pyrrhotite. High S-content is found mainly in Baghak and C-north deposits. In this research, the igneous source rock is found in A' deposit and identified as ultra-potassic type ($K_2O > 9\%$). Sarnowsar granite which used to be the source rock for iron, contains less than $5\% K_2O$, therefore it cannot be the source. The K_2O content of Sarnowsar granite increases near the magnetite skarn due to alteration. The Fe-ore bearing solution moved along the contact between Sarnowsar granite and the limestone. Sarnowsar granite was altered and skarn formed in the limestone.

The source rock is quartz biotite-hornblende alkali syenite to quartz hornblende syenite porphyry. The younger intrusive rocks are biotite granite, biotite-hornblende quartz monzonite porphyry and quartz syenite porphyry. Potassium within the ore-bearing solution controlled the mineralogy of skarn. Contact skarn in A' magnetite deposit comprises K-rich amphibole and distal skarn (Baghak and C-north) contains phlogopite.

Comparison of trace elements from source rocks with Sarnowsar granite indicates that the Nb, Zr, Zn and Rb contents are high in the former rocks and Cu and Sr ones are higher in the latter rock. Furthermore, comparison of some trace elements from source rocks with younger intrusive rocks indicate that Cr, Ni, Zr, Ce, Cu, Sr, and La contents are higher in younger intrusive and Rb content is higher in source rocks.

Key words: Sangan, Skarn, Sarnowsar, Source rock, Ultra-potassic

مقدمه

کانسار سنگ آهن سنگان خواف در ۳۰۰ کیلومتری جنوب خاوری مشهد، ۶۸ کیلومتری جنوب باختر تایباد، ۴۰ کیلومتری جنوب خاوری خواف، ۱۸ کیلومتری شمال خاوری سنگان و ۴۰ کیلومتری مرز افغانستان بین طولهای جغرافیایی ۲۴° ۶۰' تا ۴۵° ۶۰' و عرضهای جغرافیایی ۲۶° ۳۴' تا ۳۳° ۳۴' واقع است (شکل ۱). کانسار سنگان در نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تایباد قرار می‌گیرد.

معدن سنگان یک ذخیره بزرگ و با ارزش اسکارن آهن است. این کانسار جزئی از کمربند آتشفشانی- پلوتونیک خواف- کاشمر - بردسکن به‌شمار می‌آید. این کمربند با روند خاوری- باختری در شمال گسل درونه قرار داشته و در کشور افغانستان نیز ادامه می‌یابد. کریم‌پور و همکاران (۱۳۸۱) و کریم‌پور (۱۳۸۲) کمربند خواف- کاشمر- بردسکن را به عنوان کمربند کانی‌سازی تیپ اکسید آهن در ایران معرفی کردند. از جمله کانسارهای اکسید آهن موجود در این ناحیه می‌توان به طلا- اسپیکولاریت کوه زر، تنورچه و معدن سنگان خواف اشاره کرد.

هدف از این تحقیق بررسی ژئوشیمی و کانی‌شناسی زونهای اسکارنی و ارتباط آن با سنگ‌شناسی سنگ منشأ و تعیین دقیق منشأ اسکارن ساز سنگان است.

روش مطالعه

پس از جمع آوری و مطالعه اطلاعات از قبل موجود در مورد زمین‌شناسی و کانی‌شناسی سنگان و نظریات داده شده در مورد منشأ آن، بررسیهای

صحرایی در غالب موارد زیر انجام شد:

۱- برداشت نمونه از سنگ منشأ مگنتیت اسکارن سنگان خواف از توده A (در یک منطقه خاص)

۲- نمونه‌برداری از سنگهای جوان‌تر از کانی‌سازی منطقه سنگان که به صورت دایک مگنتیت را قطع کرده‌اند.

۳- نمونه برداری از زونهای اسکارنی

۴- نمونه‌برداری از سنگ آهن

مطالعات آزمایشگاهی نیز به صورت زیر صورت گرفت:

۱- تهیه و مطالعه مقاطع نازک نمونه‌های جمع‌آوری شده از منطقه سنگان

۲- تجزیه شیمیایی نمونه‌های سنگان به روش XRF برای اکسیدهای

اصلی و برخی عناصر جزئی مانند Th, Ba, Ce, La, Nb, Zr, Y, Sr, Rb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V

سپس بر اساس نتایج به‌دست آمده، نمودارهای مناسب و مقایسه‌ای برای

نمونه‌های جمع‌آوری شده به عنوان منشأ و نمونه‌هایی که قبلاً به عنوان منشأ

معرفی شده بودند، تهیه شد. سرانجام برپایه کانی‌شناسی زونهای اسکارنی

سنگان، نتیجه‌گیری در مورد منشأ آن انجام شد.

زمین‌شناسی

کانسار سنگ آهن سنگان خواف بخشی از کمربند آتشفشانی- پلوتونیک

خواف- کاشمر - بردسکن است. چنانچه ادامه کمربند ماگمایی خواف

به صورت مگنتیت بر جای گذاشته شده است. شواهد زیر دلایل مهمی بر این موضوع است:

- ۱- ذخیره در زونهای اسکارنی یافت می‌شود.
- ۲- کانیهای مشخصه اسکارن مانند گارنت، اکتینولیت، فلوگوپیت و دیوپسید همراه ذخیره یافت می‌شوند.
- ۳- مگنتیت کانی اصلی آهن است.
- ۴- اندازه بلورهای مگنتیت متوسط تا درشت است.

در منطقه زون بندی اسکارن به خوبی دیده می‌شود. اسکارنهای سنگان طی دو مرحله اولیه دما بالا یا پیشرونده (I و II) و دو مرحله دما پایین تر یا پسرونده (III و IV) به وجود آمده است. در مرحله I سنگ آهک عمدتاً کلسیتی توسط اسکارن مجاورتی جایگزین شده و با گارنت آندرادیتی فراوان و مرحله II با مجموعه آندرادیتی - هدربرگیتی مشخص می‌شده و مرحله III به طور عمده با آمفیبول غنی از آلومینیم (هاستینگزیت) و مرحله IV با آمفیبول کم آلومینیم (فرواکتینولیت، کلریت و مگنتیت) مشخص می‌شود (مظاهری، ۱۳۷۷).

در معدن سنگان از سمت باختر به خاور اسکارن دما بالا به اسکارن دما پایین تبدیل می‌شود. این مسئله از روی کانی‌شناسی اسکارن و پاراژنهای مگنتیت کاملاً مشخص است.

اسکارن مگنتیت A' در مجاورت سنگ منشأ با ترکیب سینیت و سینیت قلیایی با بافت پورفیری تشکیل شده است. این زون اسکارنی حاوی گارنت غنی از آندرادیت، هدربرگیت، کلسیت، کوارتز و آمفیبول (غنی از پتاسیم، کلر و فلوئور) است (شکل‌های ۴ و ۵). پس از مگنتیت، گارنت فراوان‌ترین کانی است. اندازه بلورهای گارنت به ۲ سانتی‌متر می‌رسد. گارنتها از نوع آندرادیت هستند. حداکثر به میزان ۴۸ درصد گراسولاریت، ۴/۵ درصد آلماندین و ۱/۹ درصد اسپسارتین دارند. ترکیب شیمیایی گارنتهای توده A' در جدول ۱ گزارش شده است. پیروکسن از نوع هدربرگیت است و به مقدار بسیار اندک یافت می‌شود. در ضمن یک نوع آمفیبول کمیاب دما بالای غنی از Cl، فلوئور و پتاسیم (هورنبلند هاستینگزیت) در این توده تشکیل شده است که ترکیب شیمیایی آن در جدول ۲ آمده است. کلر این آمفیبولها تا ۱/۹ درصد، فلوئور تا ۰/۲۷ درصد، Na₂O تا ۱/۴ درصد، K₂O تا ۲/۱ درصد و TFeO (FeO+Fe₂O₃) تا ۳۲ درصد اندازه‌گیری شده است (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۷۹). کریم‌پور و همکاران (۱۳۷۹) فرمول زیر را برای هورنبلند هاستینگزیت این منطقه تعیین کرده و بیان نمودند که محلول ماگمای اسیدی غنی از آهن، کلسر، پتاسیم و فلوئور بوده است



- درونه را تا افغانستان از یک سو و بیارجمند از سوی دیگر در نظر بگیریم، طولی بیش از ۳۵۰ کیلومتر و پهنای متغیر از ۱۵ تا ۸۰ کیلومتر را دارد. این کمربند ماگمایی با گسترش خاوری - باختری و خمیدگی به سوی شمال، در شمال گسل درونه (گسل بزرگ کویر) واقع است. این کمربند به طور عمده از سنگهای آتشفشانی اسیدی تا حد واسط و گاه مافیک با سن تشریری تشکیل شده است. این سنگها شامل داسیت، ریوداسیت، آندزیت، پیروکسن آندزیت، آندزیت - بازال، لایت، تراکی آندزیت، توف، لاپیلی توف و آگلومراست. توده‌های گرانیتوئیدی با ترکیبی از گرانیت، گرانودیوریت، دیوریت و گرانیت فلدسپار قلیایی در سنگهای آتشفشانی نفوذ کرده‌اند.

توده‌های آهن در معدن سنگان از باختر به خاور شامل: A'، A، B، C- شمالی، C- جنوبی، باغک و دردوی است (شکل ۲). دور نمایی از معدن در شکل ۳ آمده است. قدیمی‌ترین سازندهای موجود در منطقه معدن شامل چرت، شیل‌های سیلیسی، سیلتستون و آهک بلورین است. رخنمونهای زیادی از آنها در بخش شمالی توده‌های معدنی با روند خاوری - باختری مشاهده می‌شود. مجموعه عظیمی از سنگهای آتشفشانی در منطقه مشاهده می‌شوند که بیشتر آنها مربوط به فعالیت آتشفشانی در محدوده زمانی کرتاسه تا اوایل ائوسن هستند (کریم‌پور، ۱۳۶۹). سنگهای آتشفشانی شامل داسیت، ریوداسیت، تراکیت، آذرآوریه‌های آندزیتی و سنگهای آتشفشانی - آواری است. سنگهای کربناتی بیشتر به اسکارن و مرمر دگرگون شده‌اند و به طرف خاور به صورت آهک بلورین یافت می‌شوند (کریم‌پور، ۱۳۶۹). سن سنگهای کربناتی به ژوراسیک پسین و کرتاسه پیشین 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 توده A' در مجاورت اسکارن دما بالای گارنت‌دار شناسایی شد. بر اساس مطالعات این تحقیق، این توده‌ها حدواسط، نیمه ژرف و از نوع سینیت پورفیری هستند. در قسمت شمالی معدن، گرانیت سرنوسر با سن احتمالی ائوسن پسین - الیگوسن پیشین نفوذ کرده است (شکل ۲). Boomery (1998) گرانیت سرنوسر را به عنوان منشأ اسکارن معرفی نموده است که در این تحقیق این مسئله بررسی می‌شود. توده‌های نیمه ژرف دیگری در سنگان به صورتهای مختلف دایک، سیل و غیره در توالیهای قبلی نفوذ قرار کرده‌اند و در برخی قسمتها توده مگنتیتی را قطع کرده‌اند.

ژئوشیمی و کانی‌شناسی زونهای اسکارن

به عقیده کریم‌پور (۱۳۶۹) کانسار مگنتیت سنگان از نوع اسکارنی است. محلولهای غنی از آهن در سنگهای کربناتی، ضمن تشکیل اسکارن، آهن را



استوک رخنمون دارند. بزرگ‌ترین توده نفوذی گرانیت سرنوسر در شمال معدن است. تعداد قابل توجهی از دایکها و سیلها توده‌های مگنتیت را قطع کرده و از کانی‌سازی جوان‌تر هستند. انتخاب توده نفوذی به عنوان سنگ منشأ در منطقه سنگان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

به عقیده Boomery (1998) جایگیری گرانیت‌های سرنوسر در قسمت‌های سطحی پوسته باعث دگرگونی و متاسوماتیسم سنگهای میزبان شده است. به طوری که شیل‌های ژوراسیک زیرین به هورنفلس و سنگهای کربناتی ژوراسیک بالایی - کرتاسه به مرمر تبدیل شده‌اند و سنگهای آتشفشانی - آواری و آذر آواری که عمدتاً آندزیتی، داسیتی و ریولیتی هستند دچار دگرسانی شده‌اند. علاوه بر این، تشکیل ستبرای زیادی از کانیهای اسکارنی و کانسنگ آهن در سنگهای کربناتی، در رابطه با آن است. مظاهری (۱۳۷۹) نیز عامل تشکیل اسکارن را پلوتون گرانیتویدی سرنوسر (نوع I) با سن احتمالی ائوسن پسین - لیگوسن پیشین می‌داند که در سنگهای آهنی کرتاسه بالایی نفوذ کرده است. مطالعات این تحقیق نشان می‌دهد که گرانیت سرنوسر نمی‌تواند منشأ کانی‌سازی مگنتیت باشد زیرا اگر سرنوسر عامل تشکیل اسکارن باشد، می‌بایست اسکارن دما بالا (اسکارن گارنت‌دار و آمفیبول‌های دما بالا) در همبری آن دیده شود. سینت‌های قلیایی که در همبری اسکارن دما بالا در منطقه A' رخنمون دارند، قطعاً منشأ کانی‌سازی هستند. اثبات منشأ بودن برخی توده‌های نفوذی موجود در A' از روی بررسی سنگ‌شناختی آنها و مقایسه با نمونه‌های سرنوسر کاملاً مشخص است که در ادامه بحث می‌شود.

گرانیت سرنوسر حاوی کوارتز، ارتوکلاز، پلاژیوکلاز (An_{25-35})، بیوتیت، قهوه‌ای و هورنبلند سبز است. کانیهای فرعی آن شامل: اسفن، زیرکن، مگنتیت و آپاتیت بوده و سربیسیت، کلریت، اکتینولیت، پیریت و کلکوپیریت کانیهای دگرسانی آن هستند (Mazaheri, 1995).

برای نامگذاری درست توده‌های منطقه هم از مطالعات سنگ‌نگاری و هم از محاسبات نورم استفاده شده است. در نامگذاری به روش نورم، نام سنگ تعیین شده ولی از آنجا که کانیهای فرومنیزین سنگ در این روش در نظر گرفته نمی‌شود، با مطالعات سنگ‌نگاری ضمن تأیید نام سنگ، پیشوندهایی از کانیهای فرومنیزین سنگ به ترتیب فراوانی به اول اسم افزوده شده است. سنگ منشأ آهن شامل: کوارتز هورنبلند سینیت پورفیری و کوارتز بیوتیت هورنبلند سینیت قلیایی پورفیری است.

کوارتز هورنبلند سینیت پورفیری: بافت این واحد پورفیری - گلومروپورفیری است. زمینه سنگ دانه متوسط تا دانه ریز بوده و حاوی ۱۵ تا ۲۰ درصد درشت بلور متشکل از پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، کوارتز و

بخش مهم ذخیره آهن در سه توده A، B، C - جنوبی قرار دارد. ستبرای توده‌های مگنتیت حدود ۲۰۰ الی ۳۵۰ متر و شیب آنها ۸۰ تا ۸۵ درجه به سمت جنوب است. پاراژنز توده‌های A، B، C - جنوبی عبارتند از: ریپدولیت، فرواکتینولیت و سیدریت. طول بلورهای اکتینولیت در بعضی نقاط به ۱۰ سانتی‌متر می‌رسد. ترکیب شیمیایی اکتینولیتها و کلریت‌های توده B در جدول ۳ ارائه شده است.

توده دردوی در نزدیکی گرانیت سرنوسر واقع است. پاراژنز کانی‌سازی مگنتیت در آن عبارتند از: فلوگوپیت، آندرادیت و کربنات. این توده به دلیل بالا بودن عیار آهن و ذخیره و ناچیز بودن میزان S و P، به عنوان باارزش‌ترین توده در این منطقه شناخته شده است.

منطقه باغک و C - شمالی در امتداد یکدیگر قرار دارند و کانی‌شناسی مشابهی دارند. مگنتیت به صورت لایه‌ای همراه با دولومیت یافت می‌شود. پاراژنز کانی‌سازی مگنتیت شامل دولومیت، کلینوکلر، فورستریت، آمفیبول و فلوگوپیت است (شکل ۶). ترکیب شیمیایی فلوگوپیت و کلینوکلر توده باغک در جدول ۴ گزارش شده است. بیشترین مقدار سولفید در این دو منطقه یافت می‌شود. کانیهایی مانند پیریت \pm پیروتیت \pm کلکوپیریت \pm آرسنوپیریت در این دو منطقه حضور دارند. اسکارن منطقه A' از نوع کلسیم‌دار و منطقه باغک و C - شمالی از نوع منیزیم‌دار است.

مگنتیت مهم‌ترین کانسنگ آهن است. مقدار آن در نمونه‌های مختلف از ۳۰ تا ۹۵ درصد متغیر است. مگنتیت به صورت بلورهای عمدتاً نیمه شکل‌دار در اندازه‌های ۱ تا ۱۰ میلی‌متر یافت می‌شود. بافت این کانی به صورت جانیشینی با بافت متراکم و توده‌ای، پراکنده در متن سنگ و گاهی زمین‌ساختی است (کاهنی، ۱۳۸۳).

کریم‌پور (۱۳۷۷) دمای تشکیل توده‌های C، B - شمالی و باغک را بر اساس ترکیب کلریتها محاسبه کرده است. دمای توده B در بخش سطحی حدود ۲۹۷-۳۱۰ درجه، توده C - شمالی ۲۵۶ درجه و توده باغک ۲۱۶ درجه سانتی‌گراد مشخص شد. دمای تشکیل توده A' به دلیل همبری با توده نفوذی، وجود آندرادیت و هدنبرگیت بیش از ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد است. توده B با ذخیره ۱۲۸ میلیون تن و عیار $Fe = 48/9$ درصد، بزرگ‌ترین ذخیره آهن و C - شمالی با ذخیره ۸۶ میلیون تن و عیار $Fe = 54/7$ درصد دارای بالاترین عیار است. ذخیره A، ۱۱۵ میلیون تن ذخیره با عیار $Fe = 38/6$ دارد (کریم‌پور و حرمی، ۱۳۷۷).

سنگ‌شناسی گرانیت سرنوسر، سنگ منشأ و سنگهای جوان معدن سنگان
در منطقه سنگان مجموعه‌ای از توده‌های نفوذی به صورت سیل، دایک و

۳) پروپلیتیک: حضور اپیدوت و کلسیت در سنگ مشخص کننده دگرسانی پروپلیتیک است. کانیهای فرومیزین سنگ به اپیدوت و کلسیت تبدیل شده‌اند. مقدار کمی سرسیت (کمتر از ۲ درصد) درون فلدسپارها نیز مشاهده می‌شود.

توده‌های نفوذی جوان‌تر منطقه سنگان (نمونه‌های برداشت شده) در ۵ واحد تفکیک شدند که عبارتند از:

بیوتیت هورنبلند کوارتز سینیت قلیایی پورفیری: بافت این توده پورفیری تا سرآیت بوده و زمینه سنگ دانه متوسط تا دانه درشت است. ۴۵ تا ۵۰ درصد این سنگ را درشت بلورها تشکیل می‌دهند که شامل فلدسپار پتاسیم، پلاژیوکلاز در حد آلپیت، کوارتز، هورنبلند و بیوتیت است. مقدار فلدسپارهای قلیایی به صورت درشت بلور حدود سه برابر پلاژیوکلازهاست. اندازه فلدسپارهای قلیایی تا ۷ میلی‌متر و پلاژیوکلاز تا ۱ میلی‌متر می‌رسد. حدود ۴-۳ درصد کوارتز تا اندازه ۱ میلی‌متر به صورت درشت بلور مشاهده می‌شود. حدود ۱ درصد هورنبلند تا اندازه بیشینه ۱/۴ میلی‌متر و ۰/۵ درصد بیوتیت تا اندازه ۰/۸ میلی‌متر نیز به شکل درشت بلور حضور دارد. زمینه سنگ متشکل از فلدسپار قلیایی، کوارتز، پلاژیوکلاز، کانیهای فرومیزین و کانیهای حاصل از دگرسانی است. کانی کمیاب اسفن نیز مشاهده می‌شود. دگرسانی متاسوماتیسم قلیایی در این واحد قابل مشاهده است. کانیهای ثانویه دیگر این واحد شامل کلریت، اپیدوت، سرسیت، کلسیت، کوارتز ثانویه و بسیار جزئی کانیهای تیره است.

کوارتز سینیت پورفیری: بافت این توده پورفیری با زمینه دانه ریز است. ۱۰ الی ۱۵ درصد درشت بلور در سنگ مشاهده می‌شود که حدود ۱۰ درصد آن را فلدسپار قلیایی و ۵ درصد آن را پلاژیوکلاز تشکیل می‌دهد. حالت پرتیتی در برخی فلدسپارهای قلیایی دیده می‌شود. پلاژیوکلازها در حد آلپیت هستند. زمینه سنگ متشکل از فلدسپار، کوارتز، کانیهای تیره و کانیهای دگرسانی است. کانیهای تیره بسیار دانه ریز و پراکنده‌اند و مقدار آنها ۰/۵ درصد است. کانیهای دگرسانی در این سنگ شامل کلسیت به صورت رگچه و پراکنده در متن و اندکی سرسیت درون فلدسپارهاست.

بیوتیت گرانی: این واحد دارای بافت دانه‌ای است. کانیهای آن شامل پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، کوارتز، بیوتیت، کانیهای تیره و کانیهای حاصل از دگرسانی است. مقدار پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی تقریباً برابر بوده و مقدار آنها حدود ۴۰-۳۵ درصد است. اندازه فلدسپارها تا ۳/۵ میلی‌متر می‌رسد. کوارتز تا ۲۵ درصد، بیوتیت ۵-۴ درصد تا اندازه ۰/۴ میلی‌متر و کانیهای تیره کمتر از ۰/۵ درصد حضور دارند. دگرسانی این واحد آرژیلیک - پروپلیتیک است.

هورنبلند است. بخش اعظم درشت بلورها را فلدسپار قلیایی تشکیل می‌دهد (۱۵ درصد). اندازه فلدسپارهای قلیایی تا ۱ میلی‌متر می‌رسد. پلاژیوکلازها عمدتاً در حد آلپیت - الیگوکلاز بوده و اندازه آنها تا ۳/۵ میلی‌متر است. یک درصد کوارتز به صورت درشت بلور تا اندازه ۰/۶ میلی‌متر و ۰/۵ درصد هورنبلند تا ۱ میلی‌متر نیز مشاهده شد. زمینه سنگ به طور عمده شامل کوارتز و فلدسپار قلیایی و کمتر پلاژیوکلاز، هورنبلند، کانی تیره و کانیهای حاصل از دگرسانی است. کانیهای تیره به صورت پراکنده، دانه ریز 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. کانیهای ثانویه شامل کلریت، کلسیت، جزئی سرسیت و اکسید آهن ثانویه است.

کوارتز بیوتیت هورنبلند سینیت قلیایی پورفیری: بافت این واحد پورفیری و گاه گلوپورفیری است. زمینه سنگ به طور عمده دانه ریز و گاه دانه متوسط است. مقدار درشت بلورها در مکانهای مختلف متغیر است. در بعضی از نمونه‌ها درصد درشت بلورها ۲۰ درصد و در بعضی دیگر تا ۶۵ درصد نیز می‌رسد. بیشتر درشت بلورها را فلدسپارهای قلیایی تشکیل می‌دهند. به گونه‌ای که مقدار پتاسیم فلدسپارهای درشت بلورها ۳ تا ۵ برابر مقدار پلاژیوکلازهای درشت بلورها است. اندازه پتاسیم فلدسپارها تا ۲ میلی‌متر می‌رسد. پلاژیوکلازها عمدتاً در حد آلپیت بوده و اندازه آنها تا ۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. هورنبلند و بیوتیت از دیگر درشت بلورهای مشاهده شده در این واحد است. مقدار هورنبلند ۵-۳ درصد بوده و اندازه آنها در حد ۱/۵ تا ۲ میلی‌متر می‌باشد. بیوتیت درشت بلور در حد ۱ درصد بوده و اندازه آن حدود ۰/۵ میلی‌متر است. ۱ تا ۲ درصد کوارتز به صورت درشت بلور نیز مشاهده می‌شود. کانیهای زمینه سنگ شامل فلدسپار پتاسیم، پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت، کوارتز، کانیهای تیره و کانیهای حاصل از دگرسانی است. مقدار کانی تیره بسیار ناچیز و زیر ۰/۱ درصد است. همچنین کانی فرعی زیرکن و اسفن نیز در این واحد مشاهده می‌شود.

دگرسانیهای متنوعی در بخشهای مختلف این واحد مشاهده می‌شود که عبارتند از:

۱) متاسوماتیسم قلیایی: این دگرسانی با تبدیل پلاژیوکلازها از حاشیه به فلدسپار پتاسیم مشخص می‌شود. مقدار کمی کلریت، اپیدوت، سرسیت و کلسیت در این زون مشاهده شده است. مقدار کلریت و اپیدوت کمتر از ۳ درصد، سرسیت کمتر از ۱ درصد و کلسیت کمتر از ۰/۵ درصد است.

۲) سرسیتی - کمی آرژیلیک: این دگرسانی با حضور سرسیت و کانیهای رسی مشخص می‌شود. در این دگرسانی به طور متوسط ۱۰-۵ درصد فلدسپاتهای سنگ به سرسیت و کانی رسی تبدیل شده است.



آمفیبول غنی از پتاسیم، کالر و فلونور و در اسکارن حاشیه‌ای (توده C و باغک) فلوگوپیت (حاوی پتاسیم و فلونور) تشکیل شده است (شکل ۸). گرانیت سرنوسر با کمتر از ۵ درصد K_2O نمی‌تواند سنگ منشأ باشد.

در توده‌های گرانیت سرنوسر نزدیک به زونهای اسکارنی میزان K_2O افزایش می‌یابد که حاصل دگرسانی است. این پدیده را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که گرانیت سرنوسر از کانی‌سازی اسکارن قدیمی‌تر است، محلول‌کانه‌دار که از مرز گرانیت سرنوسر و سنگ آهک جابه‌جا می‌شده است، ضمن تشکیل اسکارن موجب دگرسانی گرانیت سرنوسر نیز شده است.

در مقایسه اکسیدهای اصلی سنگ منشأ و سنگهای جوان‌تر، اکسید پتاسیم این نمونه‌ها از بقیه اکسیدها بیشتر جلب نظر می‌کند (جدولهای ۵ و ۷). K_2O در سنگهای جوان‌تر از $5/41 - 10/34$ متغیر است که این دامنه تغییر از مقدار K_2O در سنگ منشأ پایین‌تر است (شکل ۷). اکسیدهای دیگر مانند SiO_2 و TiO_2 و Al_2O_3 و $TFeO$ و ... تغییرات چشمگیری را با اکسیدهای موجود در سنگ منشأ سنگان نشان می‌دهند (جدولهای ۵ و ۷).

بر اساس اکسیدهای اصلی، محاسبه نرم به روش C.I.P.W. برای نمونه‌های منشأ و سنگهای جوان‌تر انجام گرفت (جدولهای ۸ و ۹). نامگذاری سنگها به روش IUCG انجام شد. برای نامگذاری از مثلث A-P-Q مخصوص سنگهای درونی و نیمه ژرف و حدواسط استفاده شد. بر این اساس نمونه‌های سنگ منشأ سنگان در حد کوارتز سینیت و کوارتز سینیتهای سنگهای جوان‌تر در حد گرانیت، کوارتز مونزونیت، کوارتز سینیت و کوارتز سینیتهای قلیایی هستند (شکل ۹).

همچنین تجزیه شیمیایی برخی عناصر فرعی توده‌های سنگ منشأ در همبری اسکارن دما بالای گارنت‌دار توده A' و همچنین گرانیت سرنوسر و سنگهای جوان‌تر منطقه معدن سنگان به ترتیب در جدولهای ۱۰، ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است. مقایسه برخی عناصر جزئی سنگ منشأ سنگان و گرانیت سرنوسر نشان می‌دهد که مقدار عناصر Zr ، Zn ، Rb و Nb در توده‌های منشأ بالاتر و عناصر Sr و Cu در سنگهای منشأ پایین‌تر از سرنوسر است (شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲).

مقدار Rb در منشأ بیش از ۲۶۸ و در سرنوسر کمتر از ۱۹۲ ppm است. بالا بودن مقدار Rb مربوط به بالا بودن کانیهای فلدسپار قلیایی و مقدار K_2O در منشأ است. Sr در منشأ بین ۱۸۴-۹۴ و در سرنوسر بیش از ۱۸۲ ppm است (شکل ۱۰).

مس در نمونه‌های منشأ به طور عمده زیر ۱۰ و در سرنوسر بین ۱۱۶-۲۱ ppm است. مقدار روی در منشأ بیش از ۳۱ و در گرانیت سرنوسر عمدتاً کمتر از ۳۴ ppm است (شکل ۱۱).

Zr در نمونه‌های منشأ بیش از ۲۲۸ و در سرنوسر کمتر از ۲۰۷ ppm و Nb

بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری: این واحد دارای بافت پورفیری - گلوپورفیری با حدود ۳۵ - ۳۰ درصد درشت بلورها است. زمینه دانه متوسط تا دانه ریز است. درشت بلورها شامل پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، هورنبلند و بیوتیت است. مقدار پلاژیوکلازهای درشت بلور ۱۵ - ۱۰ درصد بوده و اندازه آنها تا ۲ میلی‌متر می‌رسد. پلاژیوکلازها در حد آلیت - الیگوکلاز است. فلدسپار قلیایی درشت بلور با اندازه بیشینه ۳/۲ میلی‌متر تا ۱۰ درصد می‌رسد. هورنبلند در حد ۵ - ۳ درصد به صورت درشت بلور و تا اندازه بیشینه ۲/۴ میلی‌متر و بیوتیت کمتر از ۰/۵ درصد قابل مشاهده است. کانیهای زمینه سنگ شامل فلدسپار، کوارتز، کانیهای فرومینزین، کانی تیره (کمتر از ۰/۵ درصد) و کانیهای حاصل از دگرسانی است. کانی فرعی زیرکن در سنگ مشاهده می‌شود. دگرسانی این واحد پروپلیتیک است. کوارتز ثانویه تا ۵ درصد در متن سنگ نیز مشاهده می‌شود.

هورنبلند کوارتز مونزونیت: این واحد دارای بافت دانه‌ای است. کانیهای آن شامل پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، کوارتز و هورنبلند است. مقدار پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی ۴۰ تا ۴۵ درصد است. اندازه پلاژیوکلازها که در حد آلیت - الیگوکلاز هستند، تا ۵ میلی‌متر می‌رسد. اندازه فلدسپارهای قلیایی نیز تا ۲ میلی‌متر می‌رسد، کوارتز تا ۰/۶ میلی‌متر و در حد ۱۵ درصد و هورنبلند در حد ۵-۳ درصد وجود دارد. دگرسانی متاسوماتیسم قلیایی در این واحد مشاهده می‌شود.

ژئوشیمی گرانیت سرنوسر، سنگ منشأ و سنگهای جوان‌تر

توده‌های نفوذی سنگ منشأ و جوان‌تر از سطح زمین و مغزه‌های حفاری برداشت و برای اکسیدهای اصلی و عناصر جزئی تجزیه شدند. نتایج این تجزیه در جدولهای ۵، ۶ و ۷ ارائه شده است.

مقایسه مقدار K_2O نمونه‌های سنگ منشأ برداشت شده از توده A' در این تحقیق با مقدار K_2O گرانیت سرنوسر نشان می‌دهد (جدولهای ۵ و ۶) که مقدار اکسید پتاسیم در گرانیت سرنوسر خیلی کمتر از سنگ منشأ است (شکل ۷). سنگ منشأ آهن از نوع اولتراپتاسیک با K_2O بیش از ۹ درصد است در صورتی که میزان K_2O در گرانیت سرنوسر کمتر از ۵ درصد است. وجود کانیهای غنی از پتاسیم همانند آمفیبول خاص موجود در توده A' و یا وجود کانیهای پتاسیم‌داری مانند فلوگوپیت در توده‌های باغک و C، حکایت از یک محلول‌ماگمایی آهن‌دار غنی از پتاسیم دارد که با نفوذ در سنگهای کربناتی به صورت جانشینی متاسوماتیسم، اسکارن مگنتیت غنی از کانیهای پتاسیم‌دار را موجب شده است. در حقیقت پتاسیم در منطقه سنگان نوع کانی‌سازی اسکارن را کنترل کرده است. در اسکارن همبری (توده A')

کانی‌سازی A' (اسکارن همبری دما بالا) سنگ منشأ با ترکیب سینیت قلیایی نوع اولتراپتاسیک با K_2O بیش از ۹ درصد شناسایی شد.

۲- محلول ماگمایی غنی از آهن و پتاسیم در منطقه سنگان کانی‌شناختی اسکارن را کنترل کرده است. در اسکارن همبری (توده A) آمفیبول غنی از پتاسیم، کلر و فلونور و در اسکارن حاشیه‌ای (توده C و باغک) فلوگوپیت (حاوی پتاسیم و فلونور) تشکیل شده است. گرانیته سرنوسر با میزان K_2O کمتر از ۵ درصد نمی‌توانسته محلول غنی از پتاسیم برای تشکیل بیش از ۳۰ درصد فلوگوپیت در منطقه C - شمالی را موجب شود.

۳- در توده‌های گرانیته سرنوسر نزدیک به زونهای اسکارنی میزان K_2O افزایش می‌یابد که حاصل دگرسانی است. بنابراین می‌شود گفت که گرانیته سرنوسر از کانی‌سازی اسکارن قدیمی‌تر است، محلول کانه‌دار که از مرز گرانیته سرنوسر و سنگ آهک جا به جا می‌شده است، ضمن تشکیل اسکارن موجب دگرسانی گرانیته سرنوسر نیز شده است.

۴- کانیهای دما بالا در زون اسکارنی نزدیک گرانیته‌های سرنوسر دیده نمی‌شود.

در مقایسه اکسیدهای اصلی سنگ منشأ و سنگهای جوان‌تر منطقه نیز، K_2O در سنگهای جوان‌تر از سنگ منشأ پایین‌تر است. اکسیدهای دیگر مانند SiO_2 و TiO_2 و Al_2O_3 و $TFeO$ و ... تغییرات چشمگیری را با اکسیدهای موجود در سنگ منشأ سنگان نشان می‌دهند.

همچنین مقایسه برخی عناصر جزئی سنگ منشأ سنگان و گرانیته سرنوسر نشان می‌دهد که مقدار عناصر Zn ، Zr ، Rb و Nb در توده‌های منشأ بالاتر و عناصر Sr و Cu در سنگهای منشأ پایین‌تر از سرنوسر است. مقایسه عناصر جزئی سنگهای جوان‌تر با سنگ منشأ معدن سنگان نیز نشان می‌دهد که (۱) مقدار Y ، Ba ، Co ، V و Th تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهد، (۲) مقدار Sr ، Cu ، Ce ، Zr ، Ni ، Cr و La در نفوذیهای جوان منطقه بالاتر از سنگ منشأ است، و (۳) مقدار رویدیم در توده‌های جوان‌تر سنگان کمتر از سنگ منشأ کانی‌سازی است.

در سنگهای منشأ بیش از ۲۴ و در سرنوسر کمتر از ۲۶ ppm است (شکل ۱۲). مقایسه عناصر فرعی سنگهای جوان‌تر با سنگ منشأ معدن سنگان جدولهای ۱۰ و ۱۲ نتایج زیر را نشان می‌دهد:

۱- مقدار Y ، Ba ، Co ، V و Th تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهد.
۲- مقدار Sr ، Cu ، Ce ، Zr ، Ni ، Cr و La در نفوذیهای جوان منطقه بالاتر از سنگ منشأ است. دامنه تغییرات کروم در این سنگها از ۶۸ گرم در تن تا ۱۴۰ گرم در تن است در حالی که در سنگ منشأ سنگان حداکثر مقدار ۶۹ گرم در تن را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات نیکل در سنگهای جوان از ۴۷-۲۴ گرم در تن است. مقدار Zr در سنگهای جوان‌تر از ۲۹۷ گرم در تن تا ۳۴۵ گرم در تن می‌رسد، در حالی که در سنگ منشأ حداکثر Zr ۲۹۰ گرم در تن گزارش شده است. سریم در نفوذیهای جوان بالای ۶۱ گرم در تن بوده و تا ۱۵۴ گرم در تن می‌رسد، در حالی که در سنگ منشأ سنگان کمتر از ۸۰ گرم در تن است. در حالی که نمونه‌های سنگ منشأ مقدار Cu عمدتاً زیر ۱۰ گرم در تن دارند. نمونه‌های جوان‌تر منطقه دست کم ۱۰ گرم در تن مس دارند. مقدار Sr در این سنگها بین ۲۷۱ - ۱۴۰ گرم در تن است.

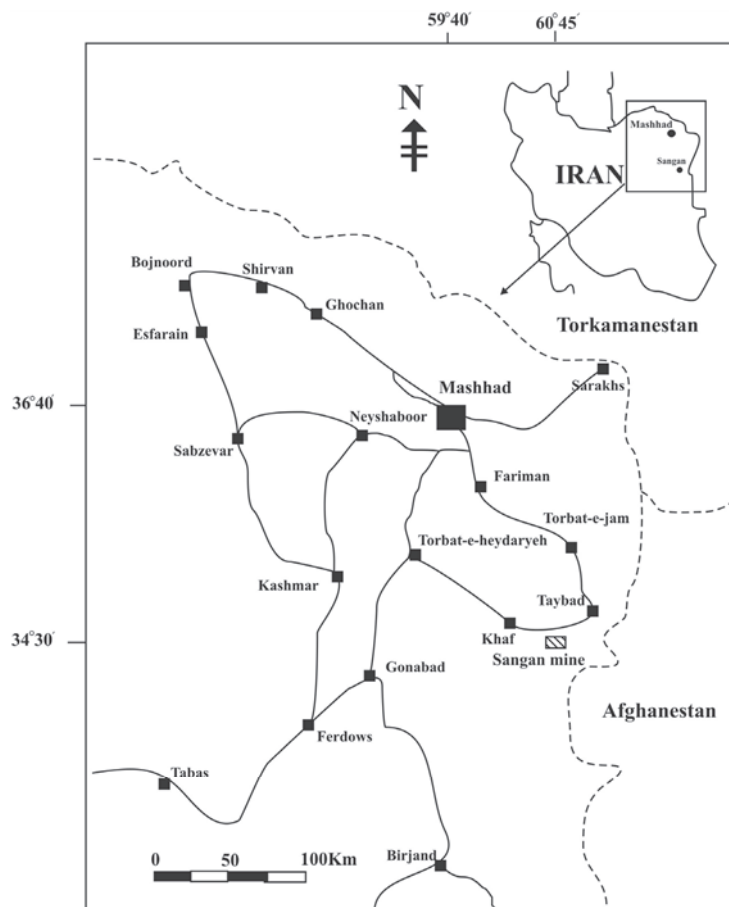
در حالی که Sr در سنگ منشأ بین ۱۸۴ - ۹۴ گرم در تن است. همچنین مقدار لانتان در توده‌های جوان بین ۸۴ - ۳۷ گرم در تن است.

۳- مقدار رویدیم در توده‌های جوان‌تر سنگان کمتر از سنگ منشأ کانی‌سازی است. دامنه تغییر این عنصر بین ۳۰۵-۱۹۴ گرم در تن است.

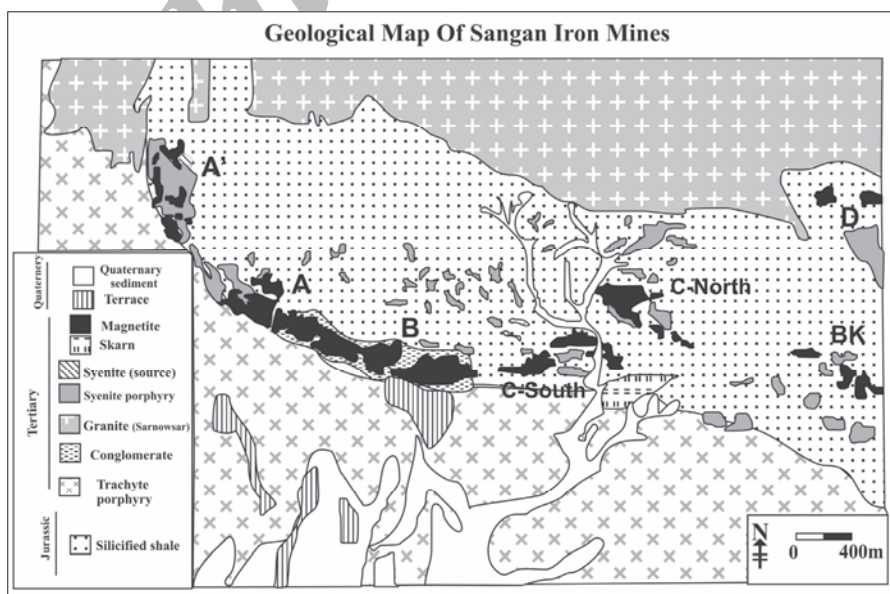
نتیجه‌گیری

تاکنون گرانیته سرنوسر به عنوان سنگ منشأ اسکارن آهن سنگان خواب معرفی شده بود. اما براساس این تحقیق، گرانیته سرنوسر نمی‌تواند سنگ منشأ باشد. بلکه توده‌های سینیت قلیایی نوع اولتراپتاسیک سنگ منشأ آهن و عامل اصلی در تشکیل اسکارن محسوب می‌شوند که شواهد زیر دلیلی بر آن است:

۱- میزان K_2O در گرانیته سرنوسر کمتر از ۵ درصد است. در منطقه زون



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی معدن سنگ آهن سنگان خواف.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده کانسار سنگان و موقعیت توده‌های مختلف آن (با تغییرات پس از عابدی، ۱۳۶۸)



شکل ۴- بلورهای گارنت در توده A' معدن سنگان



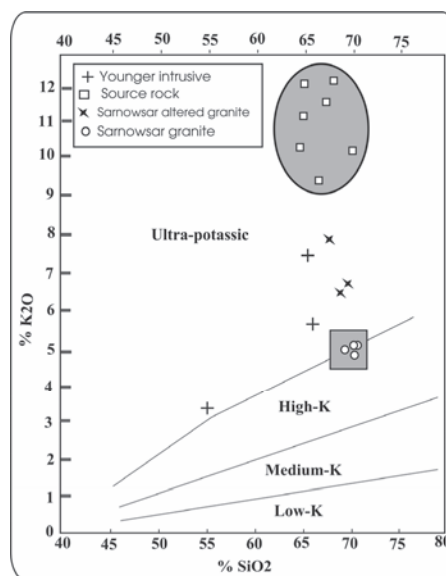
شکل ۳- دورنمایی از معدن سنگان



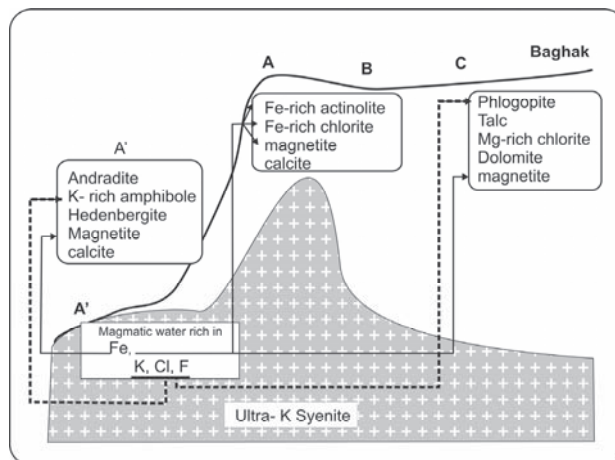
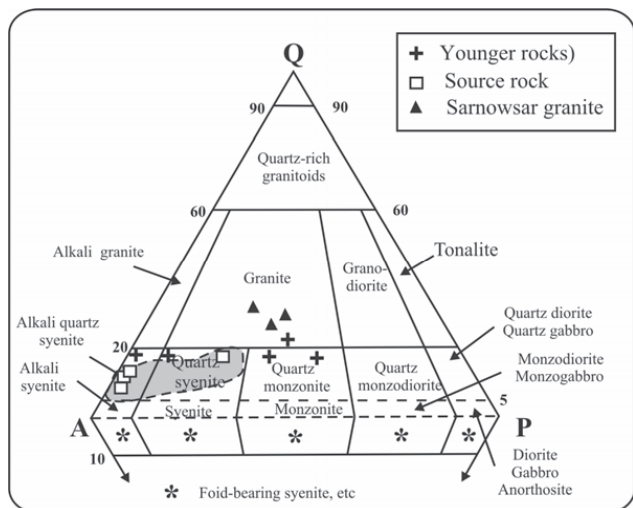
شکل ۶- فلوگوپیت‌های پاراژنز مگنتیت در توده C- شمالی معدن سنگان



شکل ۵- آمفیبول‌های غنی از پتاسیم، کلر و فلونور دما بالا در توده A' معدن سنگان

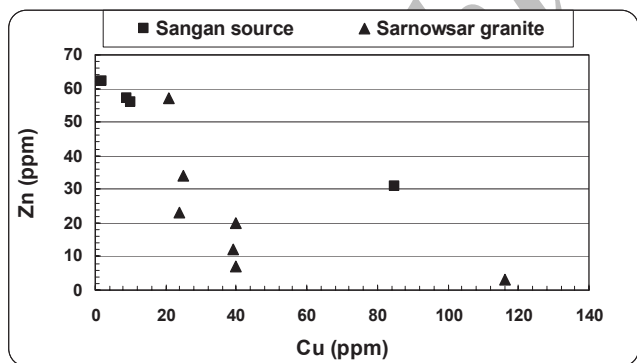


شکل ۷- نمودار مقایسه‌ای K_2O-SiO_2 سنگ منشأ آهن با گرانیت سرنوسر و توده‌های نفوذی جوان‌تر در معدن سنگان

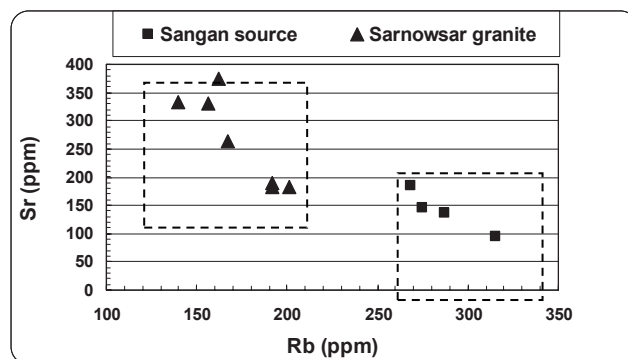


شکل ۹- نامگذاری سنگ منشأ آهن و توده‌های جوان‌تر سنگان بر اساس محاسبات نورم به روش C.I.P.W

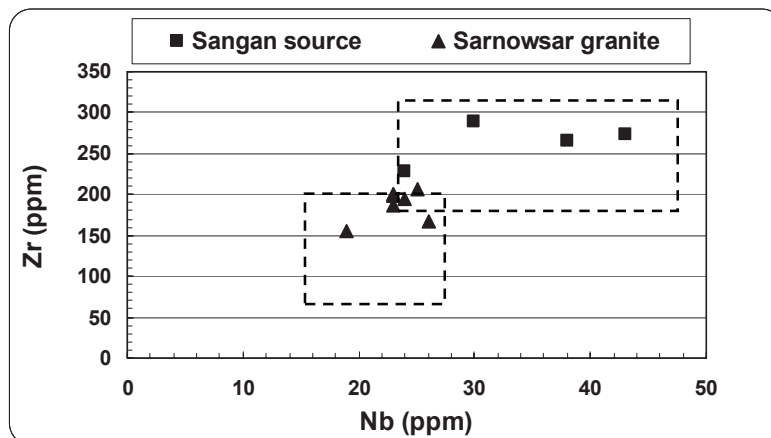
شکل ۸- نمایش کانیهای تشکیل دهنده اشکال مجارتی (A') و اسکارن حاشیه‌ای (توده‌های مگنتیت در مناطق A, B, C, Baghak) در کانسار سنگان



شکل ۱۱- نمودار مقایسه تغییرات Zn-Cu در نمونه‌های سنگ منشأ آهن و گرانیت سرنوسر



شکل ۱۰- نمودار مقایسه تغییرات Sr-Rb در نمونه‌های سنگ منشأ آهن و گرانیت سرنوسر



شکل ۱۲- نمودار مقایسه تغییرات Zr-Nb در نمونه‌های سنگ منشأ آهن و گرانیت سرنوسر

جدول ۱- ترکیب شیمیایی گارنتهای توده A'

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
SiO ₂	۳۵/۴۵	۳۶/۷۵	۳۴/۹۹	۳۵/۸۶	۳۶/۵۱	۳۷/۱۳	۳۶/۸۹
TiO ₂	۰/۰۸۹	۰/۱۲۱	۰/۰۰۷	۱/۴۸	۰/۰۲۵	۰/۱۹۴	۰/۶۷
Al ₂ O ₃	۳/۴۸	۸/۶۴	۳۱/۱۱	۲۰/۰۲	۶/۴۳	۱۰/۷۶	۱۱/۲۳
Cr ₂ O ₃	۲۶/۳۹	۱۹/۲۷	۰/۳۴	۷/۱۶	۲۲/۶۶	۱۶/۶	۱۵/۲۳
MgO	۰/۰۰۹	۰/۰۳۴	۰/۰۳۷	۰/۱۱	n.d	n.d	n.d
CaO	۳۲/۳	۳۲/۴۹	۳۲/۷۵	۳۳/۱۶	۳۳/۵۴	۳۳/۹۹	۳۸/۷۹
MnO	۰/۵۹	۱/۲۳	۰/۴۴	۰/۸۲	۰/۶	۰/۸۵۷	۱/۲۱
TFeO	۰/۹۲	۲	۰/۵۸۶	۱/۵۹	۱/۱۲	۱/۷۷	۱/۶۵
Na ₂ O	۰/۰۲۱	۰/۰۰۷	n.d	۰/۰۱۸	n.d	n.d	n.d
K ₂ O	n.d	n.d	۰/۰۱۳	۰/۰۰۱	n.d	n.d	n.d
F	۰/۲۲	n.d	۰/۱۴۱	۰/۰۷۲	۰/۰۱۹	۰/۰۶	۰/۰۲۶
Cl	۰/۰۱۴	n.d	n.d	۰/۰۱۵	۰	۰	۰/۰۱
Total	۹۹/۴۸	۱۰۰/۷۵	۱۰۰/۴۲	۱۰۰/۳۳	۱۰۰/۹۲	۱۰۱/۳۸	۱۰۰/۷۵
UV	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
AD	۸۳/۲۶	۵۷/۱۸	۹۷/۴۵	۶۳/۶۸	۶۸/۵	۴۸/۹۳	۴۶/۰۸
GR	۱۳/۱۶	۳۴/۴۴	۰	۳۰/۳۹	۲۷/۶۲	۴۵/۳۴	۴۷/۶۸
PY	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۴۴	۰	۰	۰
SP	۱/۴	۲/۷۷	۱/۰۳	۱/۸۸	۱/۳۵	۱/۸۸	۲/۷
Al	۲/۱۵	۴/۴۷	۱/۳۶	۳/۶۱	۲/۵۱	۳/۸۵	۳/۶

جدول ۲- ترکیب شیمیایی آمفیبول توده A'

	آمفیبول توده A'	
SiO ₂	۳۸/۷۴	۳۸/۳۰
TiO ₂	۰	۰/۱۱
Al ₂ O ₃	۹/۹۸	۹/۳۶
Cr ₂ O ₃	۰	۰/۰۰۵۶
MgO	۲/۰۱	۲/۲۱۷
CaO	۱۱/۵۴	۱۱/۳۷
MnO	۰/۵۸	۰/۵۱
TFeO	۳۱/۹۳	۳۱/۲۸
Na ₂ O	۱/۱۰۳	۱۴/۱۲۴
K ₂ O	۲/۰۱۶	۲/۰۲۷
F	۰/۲۷۲	۰/۲۳
Cl	۱/۷۱۸	۱/۷۶۶
Total	۱۰۰/۱۷	۹۹/۵۸

جدول ۳- ترکیب شیمیایی اکتینولیت و کلریت توده B

	فرو اکتینولیت			کلریت (ریدولیت)		
SiO ₂	۴۸/۹	۴۸/۵۶	۴۹/۱۶	۲۳/۰۸۲	۲۳/۵۸	۲۳/۷۱
TiO ₂	۰/۰۲۹	۰/۰۲۷	۰/۲۶۳	۰/۰۲۴	۰/۰۳	۰/۰۱۴
Al ₂ O ₃	۱/۱	۱/۲۹	۱/۸۱	۱۸/۸۶	۱۸/۶۲	۱۸/۶۸
Cr ₂ O ₃	۰/۰۳۳	۰/۰۰۵	n.d	۰/۲۵	۰/۰۸	n.d
MgO	۳/۶۸	۳/۸۱	۴/۲۲	۵/۳۹	۵/۴۲	۶/۰۷
CaO	۱۱/۴۹	۱۱/۳	۱۰/۴	۰/۰۸	۰/۹۳	۰/۰۹
MnO	۰/۴	۰/۲۹	۰/۶۵	۰/۱۱	۰/۰۱۶	۰/۰۸
TFeO	۳۱/۳۳	۳۱/۹۲	۳۰/۸۷	۴۱/۹۴	۴۰/۵۹	۴۰/۰۹
Na ₂ O	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۵۸	n.d	n.d	n.d
K ₂ O	۰/۳	۰/۳۳	۰/۲۳	n.d	n.d	n.d
H ₂ O	۱/۷۸	۱/۸۴	۱/۷۵	۱۰/۵۲	۱۰/۵۷	۱۰/۵۵
F	۰/۱۳	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Cl	۰/۱۵	۰/۱۵	n.d	n.d	n.d	n.d
Total	۹۹/۶۳	۹۹/۷۹	۹۹/۹۴	۱۰۰/۰۷	۹۹/۹۸	۹۹/۳۱

جدول ۴- ترکیب شیمیایی کلبوکلر و فلوگوپیت از توده باغک

	کلبوکلر توده باغک		فلوگوپیت توده باغک		
SiO ₂	۳۱/۸۵	۳۲/۰۴	۴۵/۲۱	۴۳/۶۲	۳۹/۴۵
TiO ₂	۰/۰۵۴	۰/۰۳۸	۰/۱۲۵	۰/۰۹	۰/۲۵
Al ₂ O ₃	۱۷/۸۸	۱۸/۶۲	۱۰/۱۳	۱۱/۱۷	۱۵/۴۰
Cr ₂ O ₃	۰/۰۱۲	۰/۰۵	-	-	-
MgO	۳۵/۳۵	۳۲/۸۵	۲۵/۸۵	۲۵/۰۱۱	۲۵/۵۲
CaO	۰/۰۴۸	۰/۰۱۷	۰/۰۲۲	۰	۰/۰۰۳
MnO	۰/۰۲۴	۰/۰۴	۰	۰/۰۲۱	۰/۱۵
TFeO	۱/۹۳	۱/۷۶	۵/۴	۵/۵۰	۲/۵۴
Na ₂ O	۱/۰۱۹	۰/۰۰۰۶	۰/۱۶۲	۰/۱۳۳	۰/۱۷۱
K ₂ O	۰/۰۲۳	۱/۲	۸/۶۲۷	۹/۲۰	۱۰/۵۸
F	۰/۷۰۷	۰/۵۲۵	۱/۳۹	۱/۸۷	۱/۸۲
Cl	۰/۰۰۲۴	۰/۰۳	۰/۰۶۳	۰/۲۷۲	۰/۰۳
Total	۹۹/۵	۱۰۰/۰۴	۱۰۰/۵۹	۱۰۰/۱۹	۹۹/۲۸

جدول ۵- تجزیه اکسیدهای اصلی نمونه‌های سنگ منشأ آهن

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 ₂ O 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 ₂ O	۲/۱۵	۳/۰۰	۱/۵۷	۰/۹۱
K ₂ O	۸/۷۰	۹/۱۵	۱۱/۴۳	۱۲/۸۱
P ₂ 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 ۶- اکسیدهای اصلی در نمونه‌های گرانیت سرنوسر (مظاهری و همکاران، ۱۳۸۲)

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
SiO₂	۶۹/۷۱	۶۹/۸۷	۶۷/۷۳	۷۰/۸۱	۷۰/۹۹	۶۹/۴۰	۷۰/۲۶
TiO₂	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۴۳	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۴۷
Al₂O₃	۱۳/۴۸	۱۳/۱۴	۱۲/۸۹	۱۴/۲۷	۱۴/۱۶	۱۴/۳۷	۱۴/۲۷
Fe₂O₃	۱/۷۲	۱/۷۸	۱/۷۴	۱/۹۳	۰/۹۰	۱/۳۰	۱/۳۸
MnO	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲
MgO	n.d	n.d	۰/۰۷	۰/۴۳	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۲۱
CaO	۲/۹۹	۲/۶۹	۴/۲۰	۲/۴۷	۲/۱۱	۱/۶۵	۲/۰۸
Na₂O	۴/۳۷	۴/۱۴	۳/۲۵	۲/۹۳	۴/۸۰	۵/۷۶	۴/۵۰
K₂O	۶/۴۴	۶/۴۶	۷/۸۱	۴/۷۹	۵/۰۳	۵/۱۳	۴/۹۸
P₂O₅	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰
SO₃	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
LOI	۰/۵۴	۰/۶۸	۱/۲۳	۰/۹۳	۰/۸۶	۱/۰۰	۰/۹۳
Total	۹۹/۸۹	۹۹/۳۷	۹۹/۵۴	۹۸/۱۶	۹۹/۱۶	۹۹/۲۷	۹۹/۲۰

جدول ۷- تجزیه اکسیدهای اصلی نمونه‌های جوان معدن سنگان

Wt%	San-1	San-6	Bh-284 -65.5 m	BH-286	BH-284 265m
SiO₂	۶۶/۴۶	۶۶/۷۱	۷۰/۰۴	۶۵/۸۶	۷۰/۰۳
TiO₂	۰/۵۸	۰/۵۱	۰/۳۵	۰/۶۰	۰/۳۲
Al₂O₃	۱۵/۲۶	۱۴/۶۱	۱۴/۶۵	۱۴/۹۴	۱۴/۳۹
TFeO	۳/۳۲	۱/۹۲	۱/۰۷	۵/۰۳	۱/۶۲
MnO	۰/۱۰	۰/۶۳	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۲
MgO	۱/۳۲	۶۸۰	۰/۲۵	۱/۲۳	۰/۷۸
CaO	۱/۹۹	۳/۳۱	۱/۹۵	۱/۷۱	۱/۵۰
Na₂O	۴/۳۴	۳/۳۸	۱/۴۹	۳/۴۲	۴/۲۷
K₂O	۵/۴۲	۷/۵۳	۱۰/۳۴	۵/۴۱	۶/۲۱
P₂O₅	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۰۷
L.O.I	۲/۰۲	۰/۹۳	۲/۴۱	۲/۵۹	۱/۰۸
Total	۱۰۱/۰۰	۱۰۰/۳۸	۱۰۲/۶۶	۱۰۱/۰۲	۱۰۰/۲۹

جدول ۸- محاسبه نورم بر اساس اکسیدهای اصلی نمونه‌های سنگ منشأ آهن

	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

جدول ۹- محاسبه نورم بر اساس اکسیدهای اصلی توده‌های نفوذی جوان معدن سنگان

	San-1	San-6	65.5m	BH-286	265m
Q	۱۵/۳۱	۱۳/۳۸	۱۸/۸۶	۱۸/۹۹	۱۸/۳۸
or	۳۲/۰۳	۴۴/۵۰	۶۱/۱۰	۳۱/۹۷	۳۶/۷۰
ab	۳۶/۷۲	۲۸/۶۰	۱۲/۶۱	۲۸/۹۴	۳۶/۱۳
an	۶/۱۵	۲/۴۵	۲/۷۵	۷/۳۷	۱/۷۶
Di	۱/۹۳	۳/۶۵	۱/۳۴		۳/۲۶
Hy	۲/۳۹			۵/۸۳	۰/۴۳
Wo		۳/۴۱	۱/۴۹		
ac					
mt	۲/۶۴	۰/۵۸		۳/۰۴	
il	۱/۱۰	۰/۹۷	۰/۰۶	۱/۱۴	۰/۰۴
hem	۰/۲۶	۱/۵۲	۱/۰۷		۱/۶۲
ap	۰/۴۴	۰/۳۹	۰/۱۹	۰/۳۹	۰/۱۶
tn			۰/۷۸		۰/۷۳
C				۰/۷۶	
Total	۹۸/۹۸	۹۹/۴۶	۱۰۰/۲۵	۹۸/۴۳	۹۹/۲۱
AN	۱۴/۳۴	۷/۹۰	۱۷/۸۹	۲۰/۳۰	۴/۶۴

جدول ۱۰- نتایج تجزیه برخی عناصر جزئی نمونه‌های سنگ منشأ آهن

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

جدول ۱۱- نتایج تجزیه برخی عناصر جزئی نمونه‌های گرانیت سرنوسر (مظاهری و همکاران، ۱۳۸۲)

ppm	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
Cu	۳۹	۱۱۶	۴۰	۲۱	۲۴	۲۵	۴۰
Zn	۱۲	۳	۷	۵۷	۲۳	۳۴	۲۰
Rb	۱۹۲	۱۹۲	۲۰۱	۱۶۷	۱۴۰	۱۶۲	۱۵۶
Sr	۱۸۹	۱۸۲	۱۸۲	۲۶۴	۳۳۳	۳۷۴	۳۳۰
Y	۱۲	۱۲	۲۲	۲۹	۲۹	۳۰	۲۹
Zr	۱۹۹	۱۵۵	۱۶۸	۲۰۰	۲۰۷	۱۸۷	۱۹۴
Nb	۲۳	۱۹	۲۶	۲۳	۲۵	۲۳	۲۴

جدول ۱۲- نتایج تجزیه برخی عناصر جزئی توده‌های نفوذی جوان معدن سنگان

	San-1	San-6	Bh-284 -65.5 m	BH-286	BH-284 265m
V (ppm)	۵۱/۵	۴۵	۲۵	۶۱	۲۵
Cr (ppm)	۹۰/۵	۶۸	۱۰۹	۱۱۲	۱۴۰
Co (ppm)	۹	۶/۵	۶	۱۳	۸
Ni (ppm)	۲۴	۳۶	۳۲	۴۰	۴۷
Cu (ppm)	۳۶	۲۲۳	۱۰	۶۲	۲۵
Zn (ppm)	۳۸	۶۷	۴۹	۷۳	۸۳
Rb (ppm)	۱۹۴	۲۱۹	۳۰۵	۲۱۵	۲۰۰
Sr (ppm)	۲۷۱	۲۴۶	۱۵۸	۲۴۳	۱۴۰
Y (ppm)	۷۵	۸۲	۱۱۳	۷۹	۹۲
Zr (ppm)	۲۹۷	۳۳۰	۳۴۴	۳۲۹	۳۴۵
Nb (ppm)	۴۱	۳۸	۴۷	۳۶	۵۱
La (ppm)	۷۲	۴۸	۴۶	۸۴	۳۷
Ce (ppm)	۹۳	۶۱	۹۷	۱۵۴	۱۱۳
Ba (ppm)	۱۶۷۸	۱۹۰۸	۱۸۰۹	۱۵۹۰	۱۵۳۳
Th (ppm)	۱۱۵	۹۷	۱۰۵	۸۸	۱۲۷

کتابنگاری

- عابدی، ع. ر.، ۱۳۶۸- ژنز کانسار آهن سنگان خراسان، پایان نامه دوره کارشناسی دانشگاه فردوسی مشهد، ۹۶ صفحه.
- کاهنی، ش، مظاهری، س.ا. و کریم‌پور، م.ح.، ۱۳۸۳- بررسی نسل‌های مختلف کانی‌سازی سولفیدی و اکسیدی و تعیین حضور دو نسل پیرویت با ترکیب شیمیایی متفاوت در توده‌های C- شمالی و باغک معدن سنگان، دوازدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، صفحه ۳۵۸-۳۶۰.
- کریم‌پور، م. ح.، ۱۳۶۹- بررسی منشأ و چگونگی تشکیل کانسار آهن سنگان خراسان، مجموعه مقالات سمینار سنگ آهن، دانشکده فنی دانشگاه تهران، صفحه ۲۶۹-۲۸۲.
- کریم‌پور، م. ح.، ۱۳۷۳- ژئوشیمی و کانی‌شناسی کانسار سنگ آهن سنگان خراسان، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال دوم، شماره دوم، صفحه ۱۴۵-۱۵۶.

- کریم‌پور، م. ح.، ۱۳۷۷ - دما، نحوه تشکیل و پاراژنز مگنتیت در بخشهای مختلف کانسار آهن سنگان خراسان، خلاصه مقالات هفدهمین گردهمایی علوم زمین، تهران، صفحه ۱۶۱-۱۶۷.
- کریم‌پور، م. ح. و موسوی حرمی، س. ر.، ۱۳۷۷ - طرح بهره برداری از معادن سنگ آهن سنگان خراسان، جلد اول، ۹۹ صفحه.
- کریم‌پور، م. ح.، مظاهری، س. ا. و بوتریل، ر.، ۱۳۷۹ - آمفیبول جدید غنی از کلر پاراژنز مگنتیت و آندرادیت در اسکارن سنگان خراسان، هشتمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۱۲۶-۱۳۰.
- کریم‌پور، م. ح.، سعادت، س.، و ملک‌زاده شفارودی، آ.، ۱۳۸۱ - شناسایی و معرفی کانی‌سازی نوع Fe-Oxides Cu- Au و مگنتیت مرتبط با کمر بند ولکانیکی - پلوتونیک خواف - کاشمر - بردسکن، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین.
- کریم‌پور، م. ح.، ۱۳۸۲ - کانی‌شناسی، آلتراسیون، سنگ منشأ و محیط زمین‌ساختی کانسارهای Iron-Oxides Cu-Au و مثالهایی از ایران، یازدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه یزد، صفحه ۱۸۴ - ۱۸۹.
- مظاهری، س. ا.، ۱۳۷۷ - مطالعه شیمی کانیها در اسکارنهای آهن دار سنگان خراسان، خلاصه مقالات هفدهمین گردهمایی علوم زمین، تهران، صفحه ۱۸۹-۱۹۶.
- مظاهری، س. ا.، ۱۳۷۹ - معرفی آمفیبولهای ناحیه سنگان خواف، هشتمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۱۶۴-۱۶۸.
- مظاهری، س. ا.، کریم‌پور، م. ح. و کاهنی، ش.، ۱۳۸۲ - مینرالوژی و ژئوشیمی اندواسکارنهای سنگان، یازدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه یزد، صفحه ۱۴۷-۱۵۰.

References

- Boomery, M., 1998- Petrography and geochemistry of the Sangam iron skarn deposit and related igneous rocks, northeastern Iran, P. h. D thesis, Akita University, Japan, 226 p.
- Mazaheri, S. A., 1995- Petrological studies of skarns from Marulan South, New South Wales, Australia and Sangam, Khorasan, Iran. Ph. D. thesis, University of Wollongong, New South Wales, Australia.