

## کاربرد داده‌های ریزکاو الکترونی در تعیین تیپ کانسار آهن خسروآباد،

### سنقر

سحر صمدی<sup>۱\*</sup>، ایرج رساء<sup>۲</sup>، محمد معانی جو<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳- استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۲/۲۲

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۳/۲۴

### چکیده

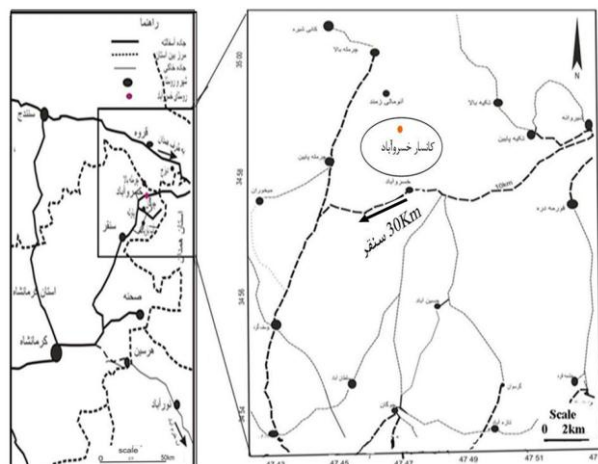
کانسار آهن خسروآباد در شمال شرقی سنقر و ۱ کیلومتری روستای خسروآباد قرار گرفته است. آنومالی‌های آهن این منطقه در چند نقطه در داخل سری‌های ولکانیکی و آهکی به نام سری سنقر قرار دارد، که تحت تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای تا حد شیست سبز دگرگون شده‌اند. نتایج بررسی‌های انجام شده، نشان می‌دهد که کانه اصلی کانسار هماتیت و کمتر مگنتیت است که به صورت توده‌ای، پرکننده‌ی فضای خالی، جانیشینی رگه‌ای و دانه‌ای کانی سازی شده است. ریزکاو الکترونی، به عنوان یکی از ابزارهای آنالیز اکسید آهن، قابل دسترس، سریع و کارآمد می‌باشد و در اکتشاف کانی کاربرد دارد. در مطالعات میکروآنالیز کانی‌های اکسید آهن، درصد پایین Ti و V و فراوانی Ca و Al مشاهده شده‌است، که مبین دو نوع کانی‌سازی (Skarn, IOCG)، است. مقادیر پایین از عناصر غیر متحرک Ni, V و Ti و فراوانی عناصر آکالین و عناصری که به آسانی قابل حمل هستند (Si, Ca, Mg)، گویای نقش فرایندهای گرمایی در تشکیل کانسارها است. با توجه به شواهد موجود، کانسار، دارای منشا گرمایی است و با مدل ارائه شده برای کانسارهای گرمایی اکسید آهن نوع IOCG مطابقت دارد.

**واژه‌های کلیدی:** آهن، ریزکاو الکترونی، ژنز، کانسار خسروآباد

### مقدمه

این کانسار در فاصله ۳۰ کیلومتری شمال شرقی سنقر و ۱ کیلومتری روستای خسروآباد با مختصات  $34^{\circ}57'39''$  N و  $47^{\circ}47'15''$  E قرار گرفته است. این روستا از توابع شهرستان سنقر بوده و در مرز استان کرمانشاه با استان کردستان واقع شده است (شکل ۱). کانسار خسروآباد از نظر چینه‌شناسی در میان سری سنقر جای دارد، منطقه مورد مطالعه، از نظر تقسیمات ساختاری، در بخش شمال غربی پهنه‌ی سنندج - سیرجان (اشتوکلین، ۱۹۶۸) و پهنه‌ی فرعی با دگرشکلی پیچیده (محجل، ۱۹۹۷) واقع شده است. از لحاظ رخداد تکتونوماگمایی، این پهنه دستخوش

رویدادهای حاصل از باز و بسته شدن اقیانوس نئوتتیس گشته است (محجل و همکاران، ۲۰۰۳). تأثیر یک فاز کششی به صورت آذرین تولییتی، در تریاس بالایی - ژوراسیک (اشراقی و همکاران، ۱۳۷۵) و پس از آن، فاز فشارشی به صورت دگرگونی ناحیه‌ای، پلوتونیزم کالک آلکالن حاصل از برخورد صفحه‌ی عربی و حاشیه‌ی فعال قاره‌ای ایران مرکزی (بربریان و کینگ، ۱۹۸۱) و ایجاد دگرگونی مجاورتی حاصل از توده‌های نفوذی (حسینی اختیارآبادی، ۱۳۷۸) و در نهایت ایجاد پهنه‌های برشی و بالا آمدگی ناحیه‌ای از جمله حوادث تأثیرگذار بر منطقه بوده است.



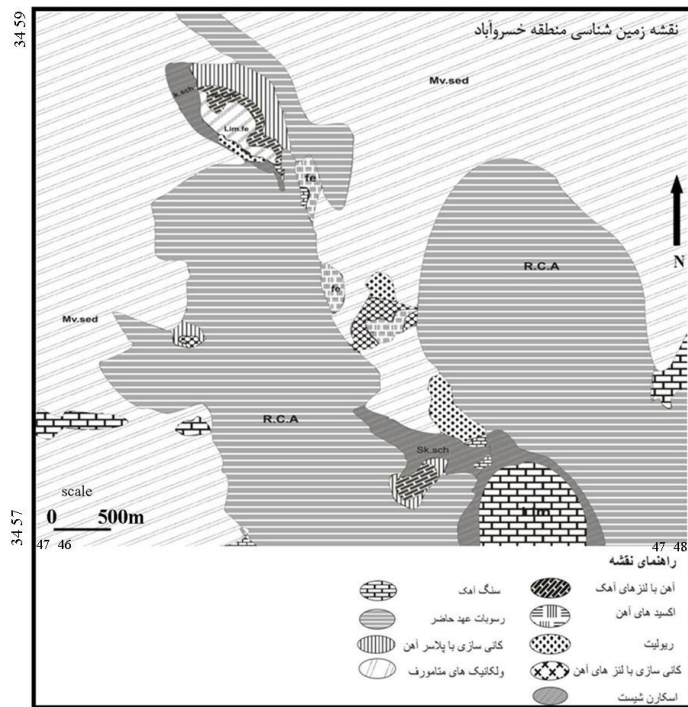
شکل ۱: راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه، با اندکی تغییر (آراسته، ۱۳۷۵).

در منطقه‌ی خسروآباد بجز دو محدوده، آهک و سنگ‌های خروجی دگرگون شده گسترش زیادی دارند. روستای خسروآباد در نزدیکی آنومالی‌ها در پای ارتفاعی از جنس آهک کریستالیزه که بخشی از سری سنقر است بنا گردیده است. این سری دارای سن تریاس بالایی تا ژوراسیک بوده و شامل تناوبی از خروجی‌ها، آهک و رسوبات فیلیش گونه می‌باشد که همگی تحت تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای تا حد شیست‌های سبز دگرگون شده و (در پایان ژوراسیک و پیش از نئوکومین) در فاز لارامین

چین خورده‌اند. همچنین از نظر سنگ چینه‌شناسی معادل شیست‌های همدان است و از سمت همدان به سوی سنقر تدریجا آهک و سنگ‌های خروجی به صورت بین لایه‌ای جایگزین قسمتی از شیست‌ها می‌شوند. مصداق بارز این پدیده منطقه خسروآباد است به گونه‌ای که ضخامت شیست‌ها یا بسیار کم بوده یا در اثر دگرگونی دیناموترمال به اسلیت‌هایی بدل شده‌اند که در نظر اول بیننده را با خروجی‌ها به اشتباه می‌اندازد. به منظور مطالعه وضعیت زمین شناسی

بخش‌های کانهدار و فاقد کانہ‌زایی در منطقه مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲).

محدوده مورد نظر، با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰ منطقه خسروآباد و نمونه برداری از واحدهای سنگی مختلف موجود و ارتباط



شکل ۲: نقشه زمین شناسی منطقه‌ی خسروآباد با تغییر (آراسته، ۱۳۷۵).

الف) ولکانیک‌های حدواسط - بازیک دگرگون شده (Mv- Sed): این واحد سنگی، بخشی از مجموعه آتشفشانی - رسوبی منطقه است که قدیمی‌ترین واحد رخنمون یافته می‌باشد، سن این ولکانیک‌ها، ژوراسیک پسین یا قدیمی‌تر است. گسترش این لیتولوژی را در تمام محدوده‌ی خسروآباد، به ویژه در بخش شمالی آن می‌توان مشاهده کرد. ب) واحد آهکی دگرگون شده (Lim): این واحد که بخشی از مجموعه‌ی آتشفشانی - رسوبی منطقه را تشکیل می‌دهد، بر روی واحد آندزیتی قرار دارد بیشترین ضخامت این واحد در جنوب خسروآباد برونزد دارد. سن این لیتولوژی با توجه به فسیل‌های یافت شده (لاملی برانشیا و نرینتیس) ژوراسیک پسین تعیین شده است.

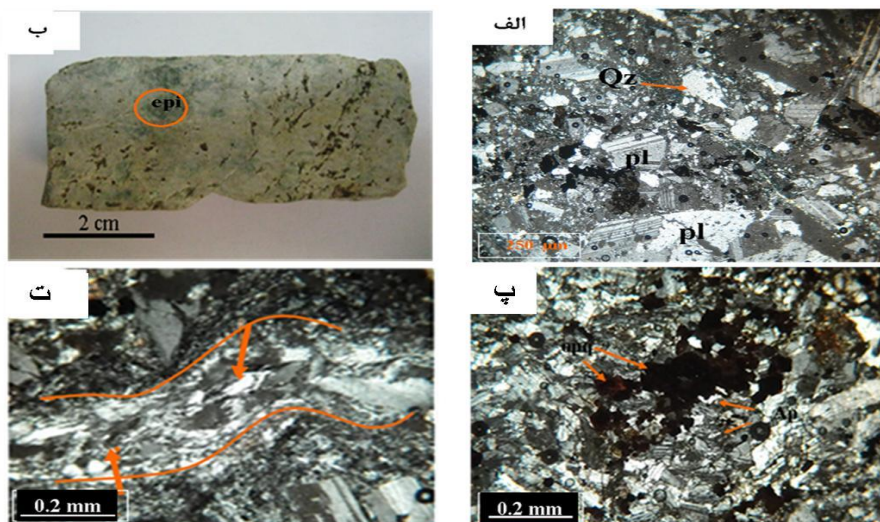
محل اصلی تمرکزهای آهن دار دره ای است با راستای تقریباً شمالی جنوبی واقع در خاور بلافاصل روستای خسروآباد. این دره محل عبور گسلی است که از یک سو تا روستای هزارخانی بالا و از سوی دیگر تا روستا های چرمه بالا، ورمقان پیگیری شده است. به گونه‌ای که در مطالعات زمین شناسی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود، محدوده اکتشافی فاقد تنوع عمده سنگ شناسی است و گذشته از رسوبات آبرفتی عهد حاضر (RCA)، تنها سنگ آهک دگرگون شده، ولکانی‌های دگرگون شده و دوعدسی ریولیتی، سنگ‌های محدوده اکتشافی را شکل می‌دهند. واحدهای رخنمون یافته در محدوده‌ی خسروآباد از قدیم به جدید عبارتند از:

آمفیبولیت پیش رفته است. این مجموعه آتشفشانی - رسوبی دارای کانه‌های عمدتاً اکسیدی در بخش آتشفشانی است. سنگ‌های آتشفشانی عموماً دارای ترکیب آندزیت و داسیت و سنگ‌های نفوذی دارای ترکیب تونالیت و گرانیت و دیوریت می‌باشند و سن تریاس میانی - پسین برای این سنگ‌ها تعیین شده است (آراسته، ۱۳۷۲). کانی‌های غیرفلزی را کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوز، اپیدوت، کلریت و به مقدار کمتر اسفن، پرتیت و میکروکلین تشکیل می‌دهند. حضور بافت‌های اولیه غالب، شامل پورفیری و گرانولار، و گرافیک، میرمکیت و گرانوفیر به طور محدود و بافت‌های ثانویه، پرتیت، کلریتی و اپیدوتی شدن و خاموشی موحی در مطالعات میکروسکوپی مشهود است (شکل ۳، الف). در اثر اعمال تنش به سنگ، بافت‌های گرافیکی دچار پیچ خوردگی شده و حالت کرمینه شکل به خود گرفته‌اند. در برخی فلدسپارها خمیدگی مشاهده می‌شود و نشانگر این است که سنگ تا حدی دگرگونی جنبایی را تحمل کرده است (شکل ۳، ت). وجود اکسیدهای آهن (غالباً هماتیت)، در سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت)، می‌تواند دلیل بر منشأ آهن از سنگ-های آتشفشانی باشد (شکل ۳، پ). کانی‌های اپیدوت به طور گسترده، و کلریت و سرسیت، به طور محدودتر وجود دارند که در دماهای پایین تشکیل شده‌اند. مجموعه کانی‌های حاصل از دگرسانی، این تبدیل شدگی‌ها را نتیجه‌ی حضور سامانه گرمایی گسترده برای این منطقه می‌داند.

پ) توده‌ی نفوذی (Fe): توده‌ی گرانیتی در قسمت شمال غرب خسروآباد رخمنون دارد. جایگیری توده‌ی گرانیتی تا نزدیکی سطح زمین، دگرسانی گسترده‌ای را در منطقه موجب شده و از سوی دیگر، خردشدگی و نیز جابجایی‌هایی در مجموعه‌ی مورد مطالعه ایجاد کرده است.

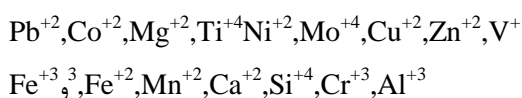
ت) بخش‌های دگرگون شده (مجاورتی): منظور از این بخش، قسمت‌هایی از آندزیت و آهک دگرگون شده است که تحت تاثیر دگرگونی مجاورتی حاصل از نفوذ و جایگیری توده‌ی گرانیتی قرار گرفته است و به صورت هاله‌ای توده‌ی نفوذی را در بر می‌گیرد (آراسته، ۱۳۷۲).

به هم ریختگی ساختمان‌های ایجاد شده و وجود گسل‌های معکوس و تراستی بیانگر فعالیت‌های تکتونیکی شدید در منطقه می‌باشد و همچنین حضور پدیده دگرگونی ناحیه‌ای، فعالیت‌های ولکانیکی - رسوبی و وجود توده‌های نفوذی متعدد با ترکیبات مختلف از ویژگی‌های زون دگرگونه - رورانده سنندج - سیرجان است که از نظر پتانسیل سنگ آهن دارای اهمیت بوده و تمامی کانسارها و آثار یافت شده در استان‌های همدان، کردستان و کرمانشاه در این زون قرار دارند. مطالعات چینه‌شناسی و سنگ شناسی در محدوده خسروآباد نشان دهنده یک توالی از سنگ‌های آتشفشانی است که بر روی آن‌ها و در بین آن‌ها سنگ‌های آهکی با میان لایه‌های اندکی از شیل قابل رؤیت است. دگرگونی ناحیه‌ای در برخی نقاط این منطقه گاه تا آستانه رخساره



شکل ۳: تصاویر میکروسکوپی از مقاطع مورد مطالعه از منطقه، الف) بافت پورفیریک، در مقطع میکروسکوپی از تونالیت، ب) نمونه دستی از گرانیت، پ) نفوذ اکسیدهای آهن به صورت کانی اپاک در سنگ های ولکانیکی با زمینه ای پر از ادخال های آپاتیت، ت) چین خوردگی در کوارتز در اثر عوامل تکتونیکی، Qz: کوارتز، pl: پلاژیوکلاز، opq: اپاک، Ap: آپاتیت.

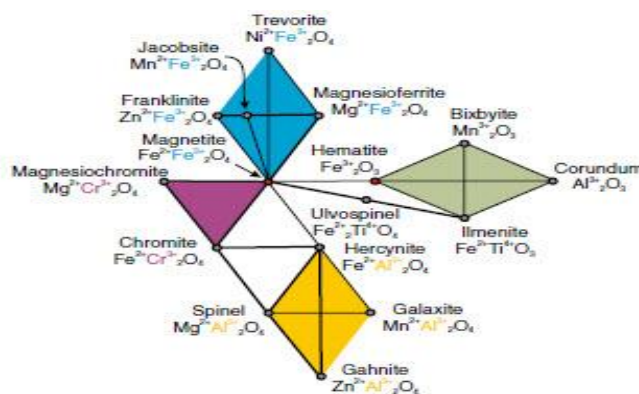
در سری مگنتیت ( $Fe^{+2}Fe_2^{+3}O_4$ ) یک محلول جامد کامل را با مگنزوفریت ( $MgFe_2O_4$ ) و الواسپینل ( $Fe_2TiO_4$ ) تشکیل می دهد که به عنوان تیتانومگنتیت شناخته شده است. هماتیت در دمای بالا ( $> 1050$ ) دارای محلول جامد کامل با ایلمنیت است. جانشینی هماتیت به جای مگنتیت را اصطلاحاً مارتیت گویند درحالی که جانشینی هماتیت توسط مگنتیت به عنوان موشکتویت (*Mushketovite*) شناخته شده است (دوپوایس و بیودن، ۲۰۱۱). ترکیب شیمیایی مگنتیت و هماتیت، می تواند برای تشخیص تیپ کانسارها استفاده شود (دوپوایس و بیودن، ۲۰۱۱). عناصر در محیط های شیمیایی مختلف می توانند ترکیب متفاوتی را تشکیل دهند. عناصری که در کانسارهای آهن حائز اهمیت اند عبارتند از:



مگنتیت و هماتیت دو کانی اکسیدی متداول در سنگ های ماگمایی، رسوبی و دگرگونی هستند (رامدور، ۱۹۸۰)، و می توانند در ردیابی کانی ها در کانسارهای متفاوت، موثر باشند. روش ریز کاو الکترونی (EPMA)، به عنوان یک ابزار آنالیز اکسید آهن، قابل دسترس، سریع و کم هزینه می باشد که در اکتشاف کانی کاربرد دارد. به منظور مطالعه ی دقیق تر تغییر ترکیب شیمیایی کانی ها و تعیین کانی هایی که شناسایی آن ها از طریق مطالعات میکروسکوپی امکان پذیر نبوده است، از تجزیه ریز کاو الکترونی استفاده گردید تا بدین طریق اطلاعاتی در مورد شرایط تشکیل کانسار به دست آورد. کانی های گروه اسپینل با فرمول عمومی  $XY_2O_4$  (X با ظرفیت +۲ و Y با ظرفیت +۳) محدوده وسیعی از ترکیب شیمیایی را تشکیل می دهند (شکل ۴). کانی های گروه اسپینل به سه گروه تقسیم می شوند: الف) سری اسپینل ( $Al^{+3}$ )، ب) سری مگنتیت ( $Fe^{+3}$ )، ج) سری کرومیت ( $Cr^{+3}$ ) (دوپوایس و بیودن ۲۰۱۱).

شوند در حالی که عناصری چون Al, Ni, Co, Cr و Mg که جانشین  $Fe^{+2}$ ,  $Fe^{+3}$  می‌شوند از پایداری شبکه می‌کاهند (ناکولد، ۱۹۶۶).

برخی از عناصر نام برده می‌توانند در شبکه‌ی مگنتیت یا هماتیت جایگزین شده و خواص مغناطیسی و پایداری شبکه را تغییر دهند. برای نمونه عناصر Mn و Ti موجب پایداری شبکه می‌



شکل ۴: نمایش کانی‌های گروه اسپینل، محلول جامد کامل با خط ضخیم و محلول جامد جزئی با خط نازک نشان داده شده است، اقتباس از دوپویس و همکاران (۲۰۱۱).

کانی‌های هماتیت و مگنتیت بوده است که پس از مطالعات کانه‌نگاری میکروسکوپی بر روی آن‌ها، مناطقی انتخاب و علامت گذاری شدند و برای انجام آزمایش به روش EPMA به آزمایشگاه Geller، کانادا ارسال گردید. نمونه‌ها توسط دستگاه، مدل JEOL-733 Superprobe مورد آنالیز قرار گرفتند و تعداد ۴۵ نقطه آنالیز شده است. تصاویر میکروسکوپی، توسط میکروسکوپ الکترونی، مدل JEOL-6400 (15 kV, 1.5 nA) گرفته شده است.

تشکیل شده است. بافت عمده در هماتیت‌ها شامل بافت‌های پرکننده‌ی فضای خالی و رگه‌ای، به طور گسترده است، که نشانگر منشأ گرمایی برای آهن است، و بافت توده‌ای را می‌توان با فرایند تشکیل ماده‌ی معدنی اقتصادی مرتبط دانست. کمبود کانی‌های سولفیدی در نمونه‌های

## مواد و روش‌ها

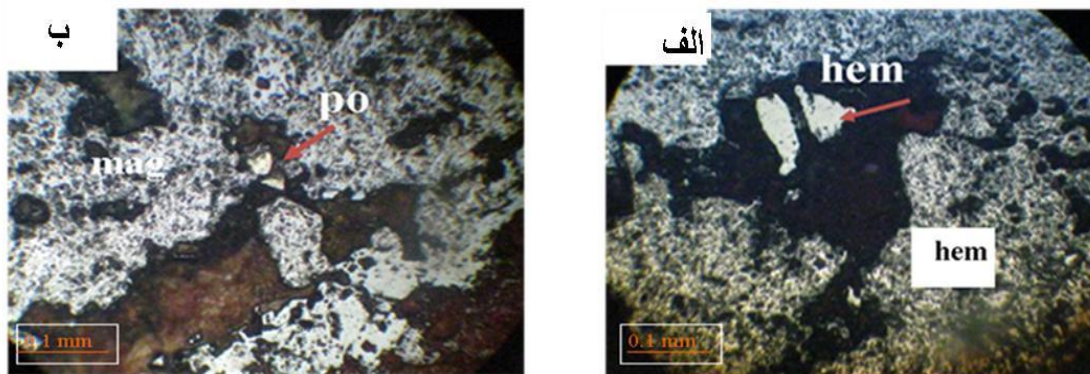
در این پژوهش، کانی‌شناسی و مطالعه‌ی دقیق ترکیب شیمیایی کانی‌ها با استفاده از ریزکاو الکترونی (EPMA) صورت گرفته است و بدین طریق اطلاعاتی در مورد شرایط تشکیل کانسار به دست آمده است. مطالعه بافت و ارتباط کانی‌ها با کانه، با تهیه ۱۳ مقطع صیقلی صورت گرفته است. نمونه‌های مورد استفاده در آزمایشات EPMA، شامل ۵ مقطع نازک صیقلی، تهیه شده از نمونه‌های معدنی مورد مطالعه از کانسار خسروآباد برای

## نتایج

هماتیت با فرمول شیمیایی  $Fe_2O_3$ ، حجم عمده‌ای از کانسار را تشکیل داده است. معمولاً به صورت خالص دیده می‌شود، ولی گاهی مقداری منگنز و تیتان به همراه آهن در مجاورت توده‌ی نفوذی با سنگ‌های ولکانیکی میزبان

مگنتیت، گوئیت، پیریت و پیروتیت از دیگر کانی‌های حاوی آهن هستند که دارای گستردگی کمتری در منطقه می‌باشند (شکل ۵).

کانسنگ، شاهد محکمی برای فقیر بودن سیال گرمایی از  $H_2S$  و اکسیده بودن محیط است، که در نهایت سیال گرمایی غنی از آهن در شرایط فوق اکسیدان منجر به تشکیل هماتیت شده است.



شکل ۵: الف: هماتیت دارای بافت پرکننده ی فضای خالی و بافت توده ای، ب: آثار باقی مانده از پیروتیت که از اطراف دچار تبدیل شدگی شده است و نشانگر فعالیت فاز سولفیدی قبل از فاز اکسیدی است، Mag: مگنتیت، hem: هماتیت، po: پیروتیت.

صورت درصد عنصری در جدول ۱ آورده شده است. در این بررسی ترکیب کانی هماتیت با متوسط  $FeO: ۸۹/۶\%$  و  $Fe: ۶۹/۲\%$  مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات عنصر آهن نسبت به عناصر مورد تجزیه، نشان دهنده ی افزایش جانمایی همراه با کاهش عنصر آهن است. مقادیر، متوسط، کمینه و بیشینه و نیز فراوانی عناصر در جدول ۲، آورده شده است.

#### بررسی نتایج حاصل از آزمایشات EPMA

در این مطالعه، نقاط انتخابی از نمونه های مورد نظر برای ۱۳ عنصر مورد تجزیه قرار گرفتند که عبارتند از:

Zn, Cu, Ni, Mn, Cr, V, K, Ca, Ti, Al, Si, Mg, Fe

نتایج به دست آمده به صورت اکسیدی گزارش شده اند و با تبدیل به درصد وزنی عنصر، به کار گرفته شده‌اند. گزیده‌ای از نتایج آنالیز EPMA به

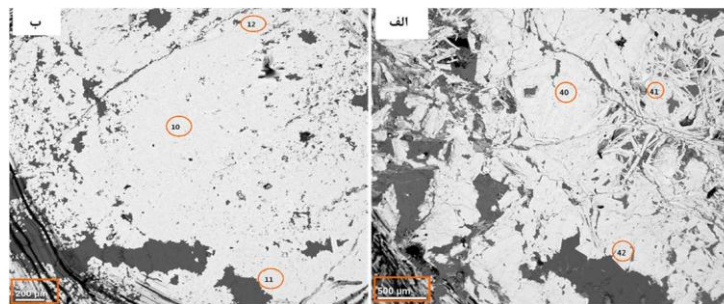
جدول ۱: نتایج آنالیز ۱۳ عنصری ریز کاو الکتونی (درصد وزنی عنصر) بر روی کانی های هماتیت و مگنتیت

label	Zn (%wt)	Cu (%wt)	Ni (%wt)	Fe (%wt)	Mn (%wt)	Cr (%wt)	V (%wt)	Ti (%wt)	Ca (%wt)	K (%wt)	Si (%wt)	Al (%wt)	Mg (%wt)
Kh119C <sub>1</sub>	0.021	0.013	0.006	64.187	0.104	0.000	0.013	0.008	0.933	0.010	2.576	0.263	0.330
Kh119C <sub>2</sub>	0.003	0.000	0.010	68.107	0.048	0.000	0.011	0.000	0.239	0.000	1.546	0.061	0.051
Kh119C <sub>3</sub>	0.000	0.000	0.000	68.453	0.064	0.000	0.012	0.000	0.480	0.000	1.398	0.021	0.131
Kh119C <sub>4</sub>	0.002	0.000	0.000	69.570	0.023	0.000	0.011	0.000	0.189	0.000	0.680	0.026	0.025
Kh119C <sub>5</sub>	0.020	0.003	0.000	65.388	0.092	0.000	0.015	0.002	0.804	0.018	1.831	0.212	0.326
Kh119C <sub>6</sub>	0.000	0.000	0.002	65.981	0.059	0.000	0.011	0.005	0.605	0.018	1.877	0.230	0.286
Kh143C <sub>1</sub>	0.011	0.004	0.003	71.525	0.012	0.000	0.029	0.051	0.002	0.---	0.032	0.067	0.016
Kh143C <sub>2</sub>	0.024	0.006	0.009	70.332	0.022	0.000	0.028	0.027	0.000	0.000	0.047	0.037	0.020
Kh143C <sub>3</sub>	0.006	0.012	0.000	70.717	0.017	0.002	0.027	0.056	0.002	0.000	0.033	0.038	0.030
Kh143C <sub>4</sub>	0.014	0.002	0.000	70.886	0.034	0.000	0.025	0.060	0.000	0.000	0.047	0.062	0.034
Kh143C <sub>5</sub>	0.000	0.000	0.000	72.141	0.031	0.001	0.019	0.076	0.004	0.000	0.046	0.049	0.026
Kh143C <sub>6</sub>	0.000	0.000	0.000	72.919	0.026	0.000	0.031	0.123	0.000	0.000	0.044	0.027	0.012
Kh135C <sub>1</sub>	0.022	0.006	0.000	72.164	0.031	0.000	0.051	0.008	0.001	0.000	0.031	0.016	0.005
Kh135C <sub>2</sub>	0.016	0.000	0.000	70.424	0.016	0.000	0.056	0.076	0.002	0.000	0.034	0.052	0.007
Kh135C <sub>3</sub>	0.000	0.003	0.000	70.424	0.019	0.004	0.052	0.049	0.002	0.000	0.025	0.022	0.004
Kh135C <sub>4</sub>	0.000	0.000	0.000	70.253	0.019	0.001	0.051	0.001	0.122	0.000	0.207	0.027	0.037
Kh135C <sub>5</sub>	0.000	0.000	0.003	70.494	0.020	0.000	0.058	0.041	0.000	0.000	0.037	0.040	0.011
Kh135C <sub>6</sub>	0.000	0.000	0.000	70.609	0.007	0.000	0.054	0.045	0.002	0.000	0.035	0.034	0.008
Kh115C <sub>1</sub>	0.008	0.014	0.001	70.417	0.033	0.002	0.117	0.000	0.000	0.000	0.053	0.021	0.000
Kh115C <sub>2</sub>	0.007	0.000	0.000	68.307	0.000	0.013	0.193	0.054	0.002	0.152	0.013	0.031	0.000
Kh103C <sub>1</sub>	0.000	0.000	0.000	64.541	0.014	0.000	0.009	0.002	0.104	2.346	0.369	0.238	0.141
Kh103C <sub>2</sub>	0.000	0.000	0.000	66.859	0.006	0.000	0.011	0.000	0.421	0.019	1.633	0.215	0.141
Kh103C <sub>3</sub>	0.037	0.000	0.000	66.436	0.019	0.000	0.015	0.000	0.420	0.186	1.845	0.196	0.170
Kh103C <sub>4</sub>	0.000	0.000	0.004	65.673	0.006	0.000	0.011	0.000	0.363	0.000	1.987	0.199	0.171
Kh103C <sub>5</sub>	0.030	0.000	0.007	68.823	0.010	0.000	0.011	0.000	0.346	0.000	1.780	0.163	0.153
Kh103C <sub>6</sub>	0.016	0.000	0.000	70.162	0.013	0.000	0.011	0.000	0.092	0.091	0.254	0.025	0.018
Kh103C <sub>7</sub>	0.010	0.000	0.002	66.590	0.014	0.000	0.011	0.000	0.285	0.050	1.960	0.186	0.179
Kh103C <sub>8</sub>	0.000	0.013	0.003	68.853	0.008	0.000	0.012	0.000	0.137	0.060	0.712	0.076	0.136

جدول ۲: متوسط، کمینه و بیشینه ی فراوانی (wt.%), عناصر مورد تجزیه از کانی های هماتیت و مگنتیت در کانسار مورد مطالعه.

Wt.%	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn
Average	0.093656	0.096867	0.807362	0.332628	0.217415	0.019871	0.032903	0.000713	0.029784	68.99491	0.001952	0.002094	0.00758
Max	0.45354	0.368888	2.6542	0.198951	1.046185	0.12272	0.192893	0.013056	0.103796	72.919	0.01014	0.01422	0.03736
Min	0	0.009204	0.01265	0	0	0	0.008509	0	0	64.1872	0	0	0

تصاویر الکترونی از کانه‌های کانسار در شکل دیده می‌شود. این شکل‌ها نشان دهنده‌ی موقعیت تعدادی از نقاطی است که به روش EPMA مورد آنالیز قرار گرفته است (شکل ۶).

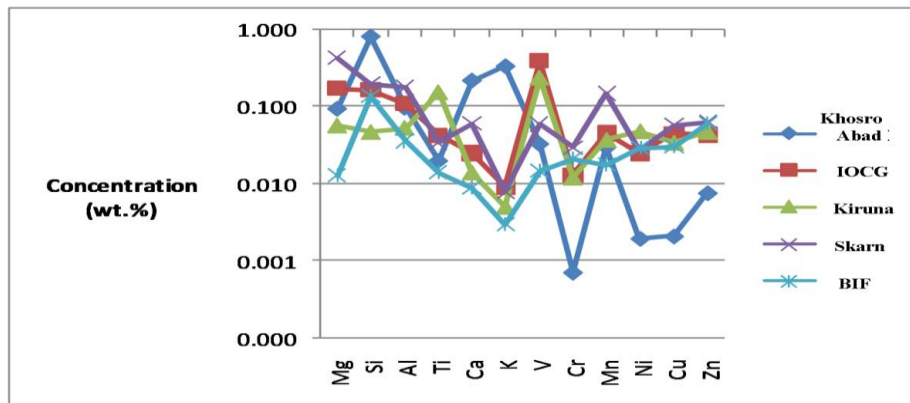


شکل ۶: تصاویر SEM-Back scattered و نمایش تعدادی از نقاط مورد آنالیز از اکسید آهن، الف، نمونه Kh-103، ب، مقطع Kh-119.



IOCG اشاره دارد. Ti و V مگنتیت - آپاتیت های تیپ کایرونا بالاتر از IOCG است، در حالی که Ti ذخایر BIF و Skarn کمتر از IOCG است. میزان Mn و Al در ذخایر تیپ کایرونا بسیار پایین است.

مقایسه ترکیب اکسید آهن ذخایر مختلف به منظور مقایسه‌ی ترکیب اکسید آهن در چند تیپ کانسار، دیاگرام عنکبوتی برای ۱۲ عنصر مورد تجزیه، در شکل ۷ نشان داده شده است (داده‌ها در جدول ۳، آورده شده است). عموماً مگنتیت یا هماتیت با Ti پایین به ساختار ذخایر



شکل ۷: دیاگرام عنکبوتی برای نشان دادن ترکیب اکسید آهن در ذخایر مختلف، برای ۱۲ عنصر اندازه گیری شده.

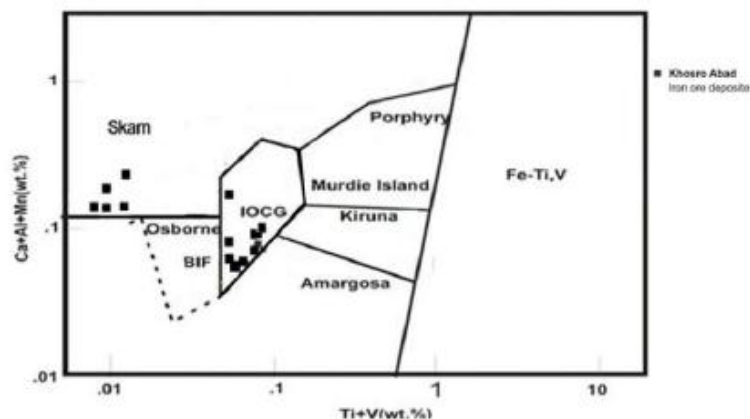
که محلول کانه‌دار فاصله‌ی زیادی را طی کرده است، این عناصر افت زیادی را نشان می‌دهند. اصولاً ذخایر با مقادیر بالای (Ti, Cu, Mn, Ni, V) و مقادیر پایین تر (Ca, Mg, K, Cr) متناسب با منشأ ماگمایی بوده و ذخایر با مقادیر پایین (Ti, Cu, Mn, Ni, V) و مقادیر بالاتر (Ca, Mg, K, Cr) جزء ذخایر با منشأ گرمایی به شمار می‌آیند (ناسلون و همکاران، ۲۰۰۰).

در کانسار آهن خسروآباد، درصد کروم به طور قابل توجهی پایین است، با توجه به اینکه در همه‌ی ذخایر به جز BIF شاهد روند کاهنده‌ی کروم می‌باشیم. در نمونه‌های مورد مطالعه، درصد K, Ca بالاتر از سایر ذخایر مشاهده می‌شود. عناصر Ti, V, Ni در سیالات آبی نسبتاً غیر متحرک هستند و فراوانی آن‌ها با دور شدن از منبع کاهش می‌یابد. در سیستم‌های هیدروترمالی

جدول ۳: متوسط ترکیب اکسید آهن در ذخایر Khosro Abad, IOCG, Kiruna, Fe-TiSkarn, Bif بر حسب درصد وزنی (داده‌ها برگرفته از (دوپوایس و بیودن، ۲۰۱۱)، و مقایسه با داده‌های منطقه‌ی مورد مطالعه.

	Zn	Cu	Ni	Mn	Cr	V	K	Ca	Ti	Al	Si	Mg
Khosro Abad	0.008	0.002	0.002	0.030	0.001	0.033	0.333	0.217	0.020	0.097	0.807	0.094
IOCG	0.043	0.044	0.025	0.045	0.013	0.39	0.009	0.025	0.042	0.109	0.163	0.171
Kiruna	0.047	0.034	0.048	0.037	0.012	0.238	0.005	0.014	0.154	0.053	0.047	0.057
Skarn	0.064	0.058	0.028	0.149	0.03	0.06	0.008	0.061	0.035	0.18	0.2	0.431
BIF	0.061	0.031	0.029	0.018	0.021	0.015	0.003	0.009	0.014	0.036	0.138	0.013
Fe-Ti	0.05	0.037	0.027	0.138	0.172	0.498	0.002	0.009	6.24	0.503	0.028	0.317

بیودن، ۲۰۱۱). در این راستا، می‌توان از دیاگرام های  $Ti+V$  (wt.%) در مقابل  $Ca+Al+Mn$  (wt.%) استفاده کرد. در این دیاگرام هر تیپ کانسار با توجه به ترکیب متوسط اکسید آهن، در یک محدوده‌ی مشخص قرار می‌گیرد. پلات کانی-های اکسید آهن از کانسار خسروآباد در این دیاگرام، در حوزه‌ی Skarn, IOCG قرار می‌گیرد (شکل ۸).

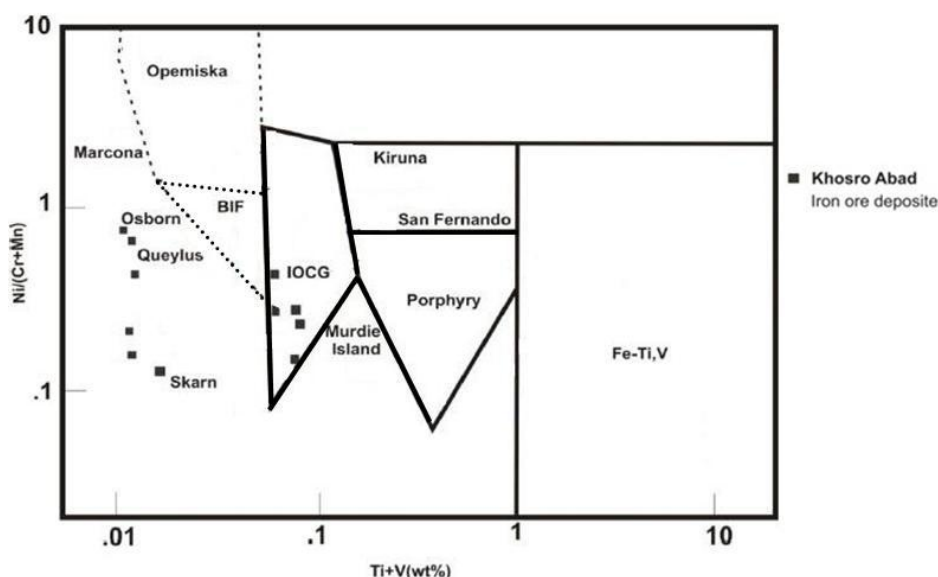


شکل ۸: دیاگرام  $Ti+V$  (wt.%) در مقابل  $Ca+Al+Mn$  (wt.%)، ترکیب متوسط اکسید آهن برای تشخیص انواع ذخایر پورفیری، کایرونا، اسکارن، IOCG و BIF و ذخایر آهن-تیتانیوم-وانادیوم استفاده شده است (دوپوایس و همکاران، ۲۰۱۱).

خوبی تعریف شده‌اند. کانی‌های اکسید آهن اسکارن عموماً دارای محتوی  $Ti+V$  پایین هستند، اما نمایش آن‌ها در مقابل نسبت  $Ni/(Cr+Mn)$ ، مانع از تعریف حوزه‌ی ترکیبی مشخص برای این ذخایر در دیاگرام  $Ti+V$  در مقابل  $Ni/(Cr+Mn)$  خواهد شد. پلات داده‌های مربوط به این مطالعه، در این نوع دیاگرام نیز حاکی از وجود اکسیدهای آهن تیپ Skarn و IOCG است.

پلات تعدادی از داده‌های ترکیب متوسط هماتیت، خارج از حوزه‌ی IOCG قرار می‌گیرد، که می‌تواند حاکی از وجود اکسلوشن روتیل در هماتیت باشد یا آنکه در اثر اکسیداسیون ترکیب هماتیت دچار تغییر شده است.

در دیاگرام  $Ti+V$  (wt.%) در مقابل  $Ni/(Cr+Mn)$  (شکل ۹)، حوزه‌ی مربوط به ذخایر، IOCG, Kiruna, Porphyry Cu و ذخایر Fe-Ti-V به



شکل ۹: دیاگرام  $Ti+V$  (wt.%) در مقابل  $Ni/(Cr+Mn)$ ، ترکیب متوسط اکسید آهن برای تشخیص انواع ذخایر پورفیری، کایرونا، اسکارن، IOCG و BIF و ذخایر آهن-تیتانیوم-وانادیوم استفاده شده است (دوپوایس و بیودن، ۲۰۱۱).

با استفاده از ریز کاو الکترونی (EPMA) انجام شده است و بدین طریق اطلاعاتی در مورد شرایط تشکیل کانسار به دست آمده است. تغییرات عناصر در کانی‌های اکسید آهن به تیپ کانسارها نسبت داده می‌شود، به طوری که تفسیر تغییرات  $Ti$  و  $V$  در مقابل  $Ca+Al+Mn$  و  $Ni/(Cr+Mn)$  با وجود درصد پایین  $Ti$  و  $V$  و فراوانی  $Ca$ ،  $Al$ ،  $Mn$ ،  $Si$ ،  $Ca$ ،  $Mg$ ،  $Si$ ،  $Ca$ ،  $Mg$ ، گویای نقش فرایندهای گرمایی در تشکیل کانسارها است (ناسلوند و همکاران، ۲۰۰۰). از مجموع مطالعات میدانی، کانی شناسی و تجزیه‌های ریز کاو الکترونی می‌توان نتیجه گرفت که کانسار آهن خسروآباد به شکل عدسی و نامنظم با داشتن خصوصیتی چون: نوع کانه‌ها (وجود هماتیت، مگنتیت و پیریت)، ترکیب اکسیدهای آهن غنی از عناصر متحرک، نوع سنگ میزبان، بیانگر منشأ

### بحث و نتیجه گیری

در کانسار مورد نظر، به منظور دستیابی به الگوی زمین شناسی، که سازوکار تشکیل ماده معدنی را توضیح دهد، این مطالعه صورت گرفت. مطالعات سنگ شناسی در محدوده خسروآباد، نشان دهنده تناوبی از سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی است که همگی تحت تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای تا حد شیب‌های سبز دگرگون شده و (در پایان ژوراسیک و پیش از نئوکومین) در فاز لارامین چین خورده‌اند. در محدوده خسروآباد، نفوذ توده‌ای به سن ائوسن پسین یا جوانتر (اشراقی و همکاران، ۱۳۷۵) منجر به دگرسانی چشمگیر در منطقه گشته است، که بیشتر به صورت اپیدوتی مشاهده می‌شود. رخداد ماده معدنی (عمدتاً هماتیت) به صورت عدسی و یا غالباً بی‌شکل، به بخش کربناته متأثر از توده‌ی گرانیته در کنتاکت کربنات با آندزیت، محدود می‌شود. مطالعه‌ی دقیق ترکیب شیمیایی کانی‌ها

شده است که بدینوسیله از تمامی مسئولان محترم دانشکده سپاسگزاری می‌شود. در ضمن از آزمایشگاه Geller کانادا بخاطر انجام آنالیزهای ریزکاو الکترونی و عکس‌های SEM-Back scattered قدردانی می‌گردد.

گرمایی و شباهت این کانسار با مدل ارائه شده برای کانسارهای گرمایی اکسید آهن نوع IOCG می‌باشد.

قدردانی و تشکر:

این پژوهش با حمایت های گروه زمین شناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی انجام

### منابع

- اشراقی، ص. ع.، جعفریان، م. ب. و اقلیمی، ب.، ۱۳۷۵. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و گزارش حاشیه ورقه سنقر، سازمان زمین شناسی.  
- حسینی اختیارآبادی، م.، ۱۳۷۸. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و گزارش حاشیه ورقه ی قروه، سازمان زمین شناسی کشور.

- آراسته، ا.، ۱۳۷۲. گزارش اکتشاف کانی‌های آهن دار منطقه سنقر، مهندسین مشاور ایران کانش، صنایع و معادن کرمانشاه.  
- آراسته، ا.، ۱۳۷۵. طرح اکتشاف مقدماتی سنگ آهن خسروآباد (فاز ۲)، مهندسین مشاور ایران کانش، صنایع و معادن کرمانشاه.

-Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Toward a palaeogeography and tectonic evolution of Iran, Canadian Journal of Earthsciences, v. 18(2), p. 210 -265.  
-Dupuis, C. and Beaudion, G., 2011. Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types, Miner Deposita, v. 46, p. 319-335.  
-Mohajjela, M., Fergussonb, C.L. and Sahandic, M.R., 2003. Cretaceous - Tertiary convergence and continental

collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran, Journal of Asian Earth Sciences, v. 21, p. 397-412.  
-Nacold, S. R., 1966. The behavior of some elements during fractional crystallization of magma, Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 30, p. 267-278.  
-Naslund, H. R., Aguirre, R., Dobbs, F. M., Henriques, F. and Nystom, J. O., 2000. The Origine, Emplacement and Eruption of Ore magma, Internet.