



## کانی‌شناسی، شیمی مگنتیت و منشأ کانسار آهن کورکورا-۱ (شرق تکاب)

محمد معانی جو\* و رحیمه سالمی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

دریافت: ۱۳۹۲/۳/۲۰، پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۲۹

### چکیده

کانسار آهن کورکورا-۱ در شرق شهرستان تکاب استان آذربایجان غربی و در زون آتشفشانی ارومیه- دختر قرار گرفته است. واحدهای رخنمون‌یافته منطقه مورد مطالعه شامل سنگهای آتشفشانی کالک‌آلکان با ترکیب غالب ریولیت، آندزیت، داسیت و سنگهای کربناتی سازند قم است که به علت نفوذ سنگهای آذرین درونی با ترکیب دیوریت تا گرانودیوریت و کوارتز دیوریت در مجموعه فوق، ضمن ایجاد دگرگونی همبری و متاسوماتیسم، موجب تشکیل کانیه‌های اکتینولیت، تالک، کلریت، فلوگوپیت، کوارتز، اپیدوت و مرمر در نزدیکی کانسنگ شده است. منطقه مورد مطالعه شامل یک زون اسکارنی، یک زون دگرگونی و کانسنگ آهن است. کانیه‌های کانسنگ در کانسار کورکورا-۱، شامل مگنتیت با Ti پایین (۰/۴ تا ۰/۲ درصد وزنی)، آپاتیت به مقدار بسیار اندک (به‌عنوان کانی فرعی)، کانیه‌های سولفیدی از جمله پیریت و کالکوپیریت است. کانیه‌های از جمله کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت، کوولیت، هماتیت و گوتیت در اثر فرآیندهای هوازدگی و سوپرژن شکل گرفته‌اند. کانیه‌های زون اسکارنی شامل گارنت، پیروکسن، کلسیت ثانویه، اپیدوت و کلریت است و زون دگرگونی نیز شامل مرمرهای منطقه است. دگرسانی‌های سرسیتی، سیلیسی، کلسیتی، کلریتی-اپیدوتی، آرژیلی، پروپلیتی و اکتینولیتی از دگرسانی‌های مهم در این کانسار است. وسعت دگرسانی کلریتی-اپیدوتی و کلسیتی در کانسنگ و پروپلیتی در سنگهای آتشفشانی منطقه بیشتر از سایر دگرسانی‌هاست. نتایج مطالعات EPMA<sup>۱</sup> در ۳۰ نقطه از کانیه‌های مگنتیت و هماتیت کانسار کورکورا-۱ نشان می‌دهد که مقدار عناصر Ti و V کم (به‌طور میانگین و به‌ترتیب ۰/۰۰۴ و ۰/۰۰۲ درصد وزنی) و Mn و Al (به‌طور میانگین به‌ترتیب ۰/۳۳ و ۵/۳۲ درصد وزنی) بالاست. پس نمونه‌ها در نمودارهای تمایز کننده کانسارهای آهن در محدوده اسکارن قرار می‌گیرند. Mn بالا در نمونه‌های کانسار، نشانگر جانشینی Fe<sup>+۲</sup> توسط Mn<sup>+۲</sup> در شبکه مگنتیت است. عناصر V، Mn، Ti و Zn همبستگی مثبت و عناصر Ni، Ca، P، Si، Mg، Cu، Al و Cr همبستگی منفی را با Fe نشان می‌دهد. آنالیز گوتیت‌های کورکورا-۱ میزان ۲/۵ تا ۴٪ وزنی SiO<sub>۲</sub>، میانگین ۷۶٪ وزنی Fe، میانگین ۱۱۰ ppm وزنی Ni و بدون Ti و Cr را در ساختار خود نشان می‌دهد. شواهد مینرالوگرافی و ژئوشیمیایی کانسنگ، رخداد آهن در همبری کربنات‌ها و شواهد کانیه‌های اسکارنی، گواه بر منشأ اسکارنی در کانسار کورکورا-۱ است.

کلمات کلیدی: کانی‌شناسی، شیمی مگنتیت، کانسار آهن، اسکارن، کورکورا-۱، تکاب

### مقدمه

از دیدگاه فلززایی متعلق به کمربند فلززایی ارومیه- دختر است. فعالیتهای ماگمایی گسترده در زون ارومیه- دختر اساساً در سنوزوئیک، منجر به تزریق توده‌های نفوذی متعدد در امتداد این کمربند و در نتیجه در بسیاری از موارد، باعث اسکارن‌زایی شده است که زمین‌شناسان متعددی این توده‌های اسکارنی را مورد مطالعه قرار داده‌اند (Rahgoshay et al., 2008).

منطقه شهرک در غرب ایران، شرق شهرستان تکاب از توابع استان آذربایجان غربی بین مختصات جغرافیایی طولهای ۲۰° ۳۵' و ۳۵° ۲۵' شرقی و عرضهای جغرافیایی ۳۰° ۴۷' و ۳۵° ۴۷' شمالی واقع شده است (شکل ۱). راههای دسترسی به معدن در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۳ نیز محل نمونه‌برداری از کانسار کورکورا-۱ را نشان می‌دهد. این منطقه

\*مسئول مکاتبات: mohammad@basu.ac.ir

گردد. ۳۰ نقطه از کانیه‌های اکسید آهن (مگنتیت و هماتیت  $\pm$  گوتیت) مورد آنالیز قرار گرفت که نتایج حاصل از این آنالیز در جدول ۲ آورده شده است. آنالیزها با بهره‌گیری از دستگاه الکترون میکروپروب مدل JEOL Microprobe 733-JXA می‌باشد. ولتاژ شتاب دهنده مورد استفاده 15KV، جریان 30 nA، و زمان شمارش حداکثر 30 ثانیه است. نتایج حاصل از مطالعه EPMA، در نرم افزارهای مربوطه مانند برنامه Excel 2007 پردازش و توسط نرم‌افزار CorelDRAW 5X، نمودارهای مربوطه ترسیم گردید.

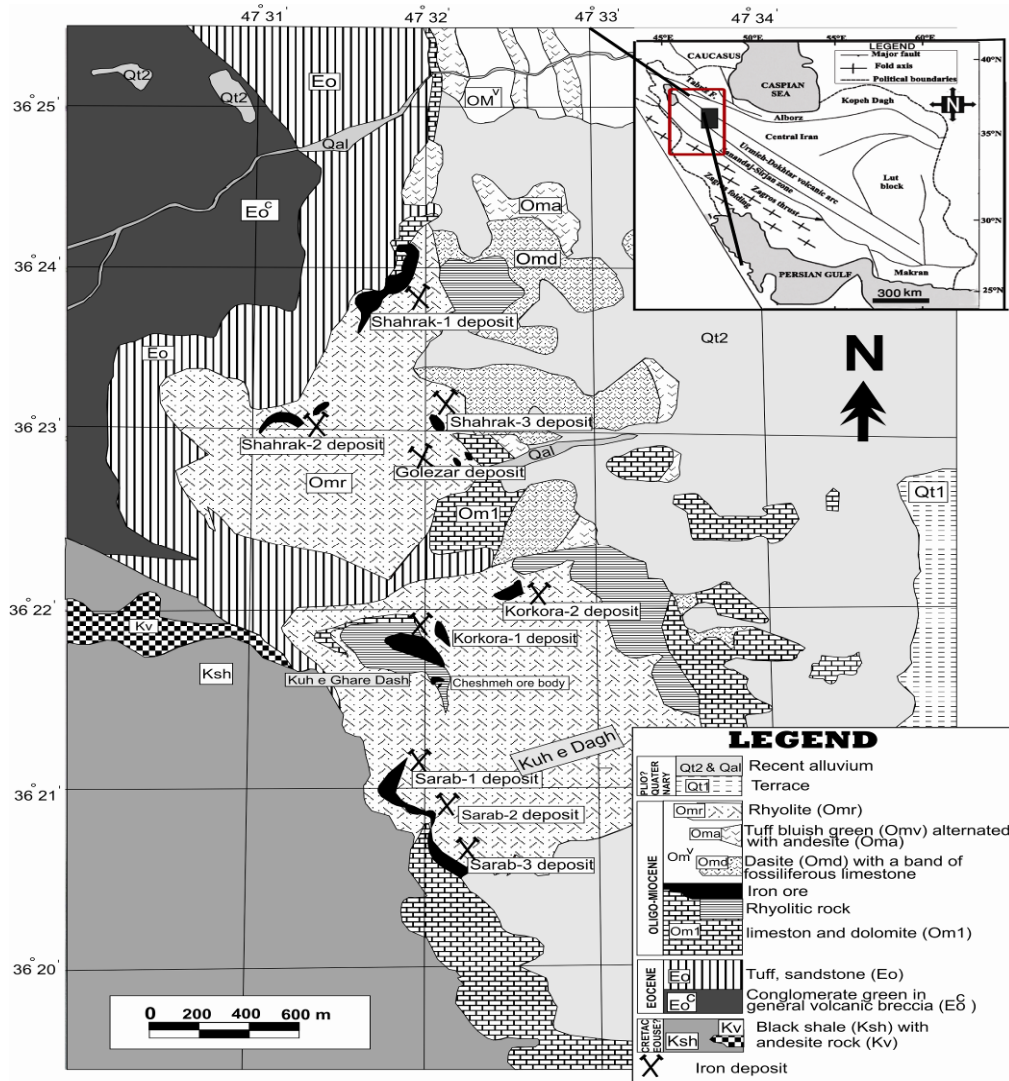
### زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده معدنی شهرک، شامل سنگهای ماسه سنگی و کنگلومراهای ائوسن و سنگهای کربناته آهکی-دولومیتی (شکل ۴-A و ۴-B) (شامل تناوبی از سنگهای آهکی نسبتاً خالص متوسط تا ضخیم‌لایه، آهکهای دولومیتی و مارنی) با سن الیگومیوسن است که بر روی واحد ماسه سنگی قرار گرفته است. سنگهای آذرین نفوذی و آتشفشانی منطقه نیز با سن میوسن دیده می‌شود. سنگهای آتشفشانی اسیدی تا حد واسط با ترکیب سنگ‌شناسی آندزیت، داسیت، ریولیت و به مقدار کمتر بازالت آندزیتی، تراکی آندزیت، سنگهای آذرآواری (توف) است. سنگهای نفوذی اکثراً به صورت دایک، سیل تا استوک‌هایی با ابعاد کوچک در منطقه شهرک یافت می‌شود در سنگهای کربناته و سنگهای آتشفشانی نفوذ کرده است و جوانتر از این واحدهاست. به جز رخنمون کوچکی از دیوریت در جنوب کورکورا-۱ (نزدیک به توده چشمه)، رخنمون دیگری از سنگهای نفوذی در کانسار کورکورا-۱ دیده نمی‌شود اما در مقاطع تهیه شده از مغزه‌های حفاری جنوب کورکورا-۱، دیوریت دیده می‌شود. بر اساس مشاهدات صحرایی و بررسیهای سنگ‌شناسی انجام شده، جای‌گیری توده‌های نفوذی با ترکیب دیوریت، گرانودیوریت و کوارتز مونزونیت در حین فعالیتهای زمین‌ساختی صورت پذیرفته و باعث دگرگونی آهکهای منطقه و دگرسانی سنگهای آتشفشانی محدوده مورد مطالعه و کانی‌سازی آهن شده است. اسکارن‌زایی در اطراف توده نفوذی با کانیهای شاخص اسکارنی رخ داده است (شکل ۴-F).

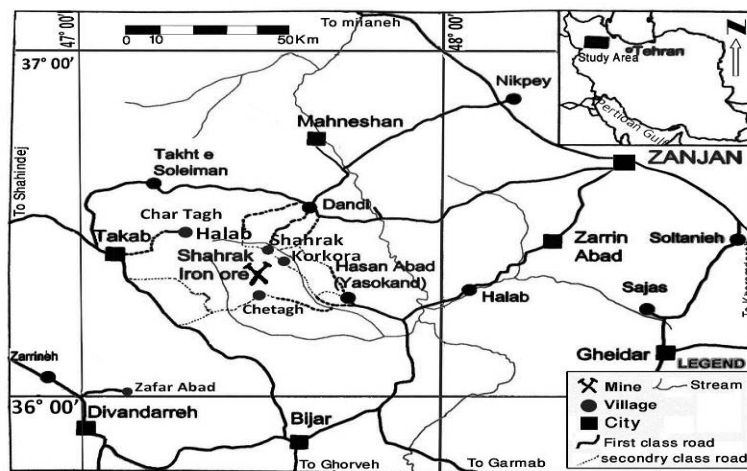
منطقه آهن شهرک شامل ۹ توده آهن رخنمون‌دار است که جدا از یکدیگر قرار دارند. مطالعات مقدماتی واکتشافی بر روی مسائل زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، اکتشافات ژئوشیمیایی و کانی‌سنگین توسط شرکت معدنی آجین به صورت کلی در قالب گزارش معدن صورت گرفته است (Pournik, 2007). شیخی (Sheikhi, 1995) و عزیزی شترخفت (Azizi, 2003) به ترتیب زمین‌شناسی اقتصادی مجموعه ۹ توده معدن شهرک و پتروزن سنگهای دگرگونی منطقه را بررسی کرده‌اند. نوشتار حاضر با تأکید بر شیمی مگنتیت در کانسار کورکورا-۱، در کنار بررسیهای سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و شرایط فیزیکیوشیمیایی، منشأ تشکیل کانسار کورکورا-۱ (یکی از مجموعه ۹ گانه) را به کمک مغزه‌های حفاری و نمونه‌های سطحی، ارائه می‌دهد. مطالعه شیمی مگنتیت از جمله مطالعات دقیقی است که در کانسارهای مهم دنیا به منظور تعیین منشأ انواع کانسارهای آهن (کایرونا، اسکارنی، BIF و IOCG) محسوب می‌شود. شیمی مگنتیت در هر یک از این نوع کانسارهای آهن متفاوت بوده و کلیدی برای شناسایی دقیق منشأ کانسارهای آهن است.

### روش مطالعه و آماده‌سازی نمونه‌ها

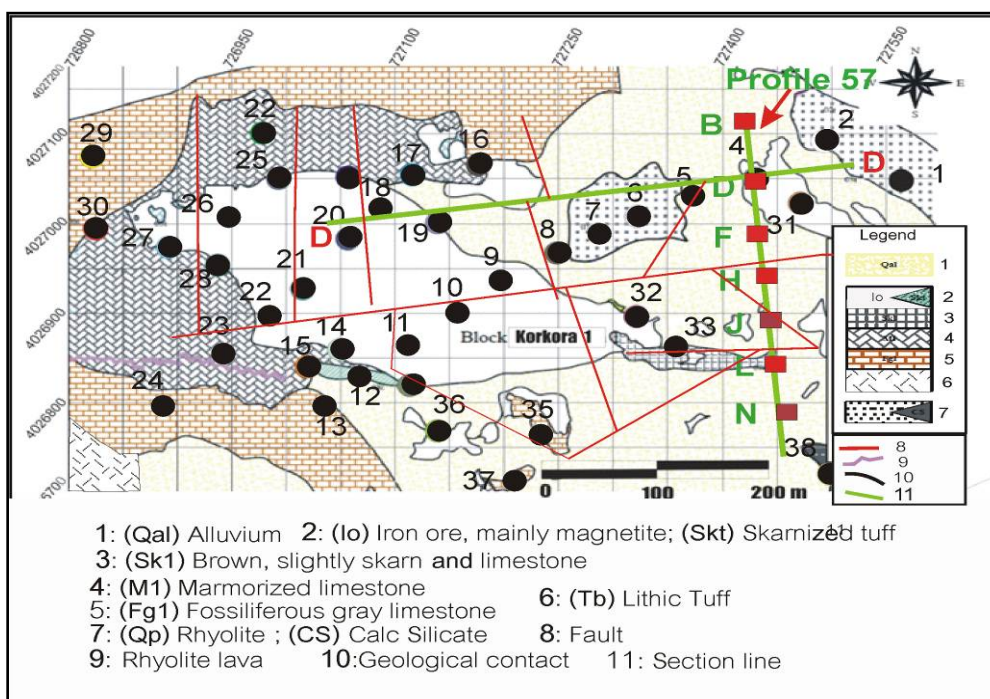
ابتدا با بررسی مغزه‌های حفاری و موقعیت قرارگیری چاهها نسبت به کانسار، یک مقطع زمین‌شناسی با راستای شمالی-جنوبی و عمود بر کانسار آهن کورکورا-۱ جهت نمونه‌برداری انتخاب گردید. ۴۰ نمونه سطحی با موقعیتهای مشخص (شکل ۳) از سنگهای آتشفشانی، کربنات‌ها و کانسنگ انتخاب شد. ۶۰ نمونه سنگی نیز از مغزه‌های حفاری برداشت و ۲۰ نمونه کانسنگ جهت مقطع نازک صیقلی در دانشگاه تربیت مدرس تهران و ۲۵ مقطع نازک سنگ در دانشگاه بوعلی سینا همدان به منظور مطالعه کانه‌نگاری و پتروگرافی کانسنگ و سنگ میزبان تهیه گردید. ۱۰ نمونه XRD از سنگ میزبان و کانه نیز در دانشگاه بوعلی سینا به منظور شناسایی کانیهای محصول دگرسان و کانسنگ انجام شد. همچنین به منظور مطالعه ژئوشیمی کانیهای گانگ سیلیکاته همراه مگنتیت و خود کانه مگنتیت و هماتیت از نمونه‌های مغزه‌های فوق، تعداد ۷ مقطع نازک صیقلی از اعماق مختلف با یک توزیع سیستماتیک انتخاب و جهت انجام آنالیز EPMA به دانشگاه نیوبرونزویک کانادا ارسال گردید تا مطالعات دقیق‌تر بر روی آنها صورت



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه شهرک (Pournik, 2007)  
 Fig. 1. Geological map of Shahrak area (Pournik, 2007)



شکل ۲. نقشه راههای دسترسی به معدن آهن شهرک  
 Fig. 2. The access road map to the Shahrak iron mine



شکل ۳. موقعیت نمونه‌برداری از کانسار آهن کورکورا-۱ در نقشه زمین‌شناسی ۱/۵۰۰۰ کانسار (Pournik, 2007) (مربعهای قرمز موقعیت چاههای حفاری که نمونه‌برداری از آنها صورت گرفته است. دایره‌های سیاه‌رنگ شماره‌گذاری شده، نمونه‌های سطحی انتخاب شده از کانسنگ و واحدهای سنگی اطراف آن است. مقطع زمین‌شناسی ۵۷ و D-D که در امتداد کانسار انتخاب شده است، در شکل دیده می‌شود).

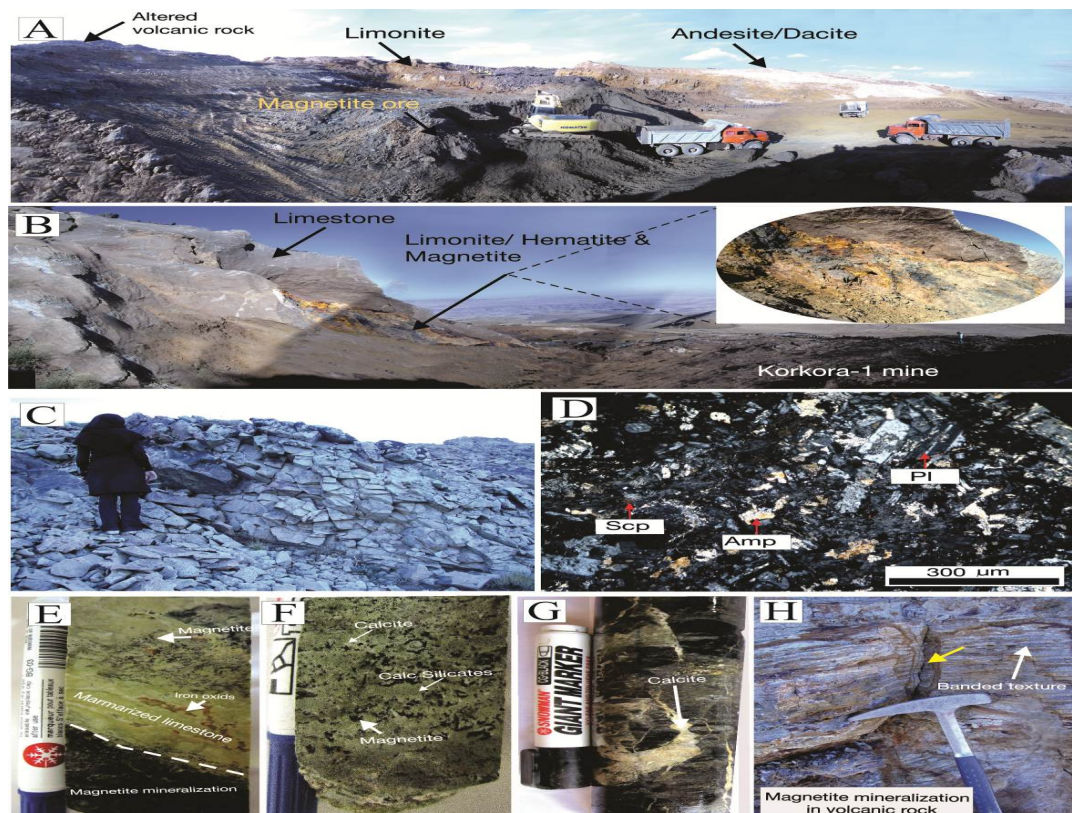
**Fig. 3.** The locations of sampling points of Korkora-1 iron deposit in 1:5,000 geological map (Pournik, 2007) (red squares are locations of boreholes that have been sampled. The numbered black circles are locations of selected surface samples of ore and rock units around it. Geological sections 57 and D-D that selected along the deposit are shown).

قسمتی بین سنگهای کربناتی و قسمتی به شکل توده‌ای درون سنگهای آتشفشانی تشکیل شده است. گسترش کانسار یک روند شرقی-غربی را نشان می‌دهد و با ذخیره قطعی ۱۲ میلیون تن دارای طول ۴۰۰ متر و عرض ۵۰ تا ۲۰۰ متر است. یکی از بافت‌های موجود در کانسار کورکورا-۱، بافت برشی و بافت نواری است که بیشتر در حاشیه کانسار دیده می‌شود. قطعات زاویه‌دار تا نیمه گرد شده از سنگ درون‌گیر توده نفوذی نیمه عمیق، در داخل زمینه‌ای از مگنتیت به چشم می‌خورد. این قطعات به شدت دگرسان شده و توسط کانیه‌های رسی، اپیدوت، کلریت و گاه اکتینولیت جانشین شده‌اند. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود کف کانسار، سنگ آهک‌های مرمری شده قرار داشته است که توده آتشفشانی در آن نفوذ کرده است (شکل ۴-E). سایر بافت‌های مشاهده شده در کانسنگ می‌توان به بافت توده‌ای، جانشینی، لایه‌ای، دانه پراکنده و پرکننده فضای خالی (شکل ۴-H) اشاره کرد.

از دیگر واحدهای سنگ چینه‌ای رخنمون‌دار در منطقه نهشته‌های کواترنر و هورنفلس‌های (در حد رخساره آلپیت-اپیدوت هورنفلس) جنوب کورکورا-۱ است (Sheikhi, 1995). فرآیندهای زمین‌ساختی در منطقه فعال بوده به طوری که واحدهای سنگی منطقه دارای درزه و شکافهای زیادی هستند (شکل ۴-G) که ناشی از گسل‌های منطقه (عمدتاً دارای روند شمال شرق-جنوب غرب و شمال غرب-جنوب شرق) است. این گسل‌ها احتمالاً نقش مهمی در هدایت محلول‌های هیدروترمال و تشکیل پاراژن‌های آب‌دار تأخیری در این منطقه داشته است. توده‌های ریولیتی و داسیتی در نیمه شرقی کانسار کورکورا-۱ با رنگ سفید در هم‌بندی با سنگ آهن قرار گرفته است (شکل ۴-C و ۴-D).

#### کانه زایی

کانه‌زایی آهن در واحدهای آهکی منطقه به صورت جانشینی و پرکننده درزه‌ها و شکستگی‌های ناشی از انحلال رخ داده است. شکل کانسار در این منطقه عدسی تا لایه‌ای است که

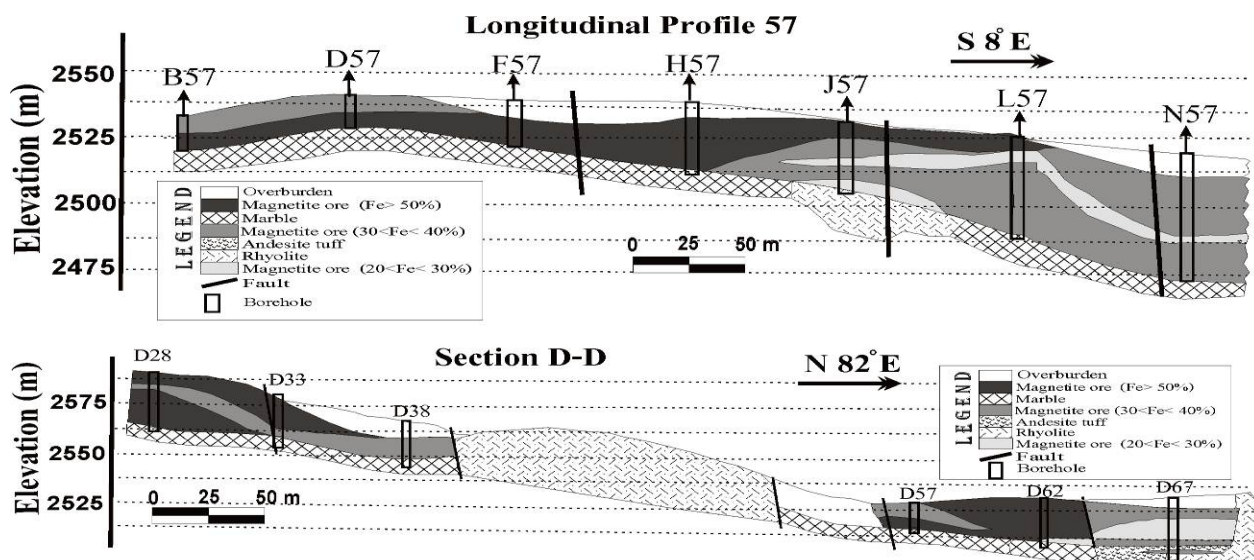


شکل ۴. تصاویر صحرایی و نمونه‌های دستی از کانسار کورکورا-۱ (Pl: پلاژیوکلاز، Amp: آمفیبول، Srp: سرپانتین). علایم اختصاری کانیها از (Whitney and Evans, 2010). A: نمای کلی از معدن کورکورا-۱ که در حال بهره‌برداری است. سنگهای آتشفشانی دگرسان شده همراه با کانی‌سازی در عکس مشخص است (دید عکس به شمال). B: ورود سیالات کانه‌ساز به درون سنگهای آهکی منطقه. حاشیه آهکها تغییر زیادی ندارد که این نشانه پایین بودن دمای محلولهای ورودی است (دید عکس به شرق). C: سنگهای آتشفشانی (داسیت) با خردشدگی شدید و آلتراسیون پروپلیتی که ساختار منشوری را در شرق کانسار کورکورا-۱ نشان می‌دهد. (دید عکس به شرق). D: حضور پلاژیوکلاز، آمفیبول و کلسیت ثانویه در سنگهای دیوریتی جنوب کورکورا-۱ با بافت گرانولار. اسفن کانی فرعی این سنگ است (نمونه در چاه حفاری AA<sub>43</sub> از عمق ۱۳ متری). E: تصویر مغزه حفاری که مرز مشخص بین آهک مرمری شده و کانی‌سازی در کربناتها را نشان می‌دهد (نمونه در چاه N<sub>57</sub> از عمق ۳۹/۵ متری). F: تصویر مغزه حفاری از کالک سیلیکاته‌های به وجود آمده طی دگرگونی سنگهای کربناته و مشاهده کانی‌سازی مگنتیت در آنها (نمونه در چاه N<sub>57</sub> از عمق ۳۶ متری). G: عملکرد تکتونیک و ایجاد بافت برشی در کربناتهای زیر کانسار کورکورا-۱ که توسط رگه‌های کلسیت پر شده است (نمونه در چاه J<sub>57</sub> از عمق ۱۸ متری). H: شکستگیهای سنگ درون‌گیر (سنگ آتشفشانی) که توسط محلولهای اکسید آهن‌دار به رنگ قرمز پر شده است.

**Fig. 4.** Photographs of field and hand specimens of Korkora-1 deposit (Pl: plagioclase, Amp: amphibole, Srp: serpentine). Abbreviations of minerals from Whitney and Evans (2010). A: Overview of Korkora-1 mine being exploited. Altered volcanic rocks associated with mineralization are seen in the picture (looking to the north), B: Entering of mineralizing fluids into the limestone rocks of the area. The margin of limestones, does not change showing low temperature solutions (looking to the East), C: Volcanic rocks (dacite) with intensive cracking up and propylitic alteration, shows prismatic structure in the east of Korkora-1 deposit (looking to the east), D: the presence of plagioclase, amphibole and secondary calcite with granular texture in the diorite rocks in south of Korkora-1. Spene is the minor mineral in this rock (sample in the AA<sub>43</sub> borehole at the depth of 13m), E: The image of core sample that show the boundary between marmarized limestone and mineralization in carbonates (sample from 39.5 m depth of N<sub>57</sub> borehole), F: The image of core sample with calc-silicates made by metamorphism in carbonate rocks and observation of the magnetite mineralization at them (sample from N<sub>57</sub> borehole at the depth of 36m), G: Tectonic activities and creation of breccia texture in the carbonate that exist under the Korkora-1 deposit, filled by veinlets of calcite (sample from J<sub>57</sub> borehole at the depth of 18m), H: The fractures of the host rock (volcanic rock) are filled by solution with red iron oxide.

شکل ۵ نشان داده شده است که با استفاده از اطلاعات حاصل از مغزه‌های حفاری رسم شده است.

کانسنگ آهن شامل دو قسمت کانسنگ هیپوزن (اکسیدی و سولفیدی) و کانسنگ سوپرژن است که به شرح هر یک می‌پردازیم. دو مقطع زمین‌شناسی از کانسار کورکورا-۱ در



شکل ۵. دو مقطع زمین‌شناسی از کانسار کورکورا-۱ که محل آنها در نقشه زمین‌شناسی شکل ۳، نشان داده شده است.

Fig. 5. Two geology sections of the Korkora-1 deposit showing their position in geological map in Fig. 3.

بافت تیغه‌ای بارزی را از خود نشان می‌دهد (شکل ۶-D). ابعاد بلورهای هماتیت به ۰/۲ میلی‌متر نیز می‌رسد. هماتیت ثانویه طی فرآیند سوپرژن و در زون‌های اکسیدی کانسنگ رخ داده است که در حواشی و بین بلورهای مگنتیت در حال دگرسانی و طی پدیده مارتیت شدن به وجود آمده است. در قسمت‌های سطحی کانسنگ، شدت هوازدگی به قدری شدید است که هماتیتها به گل اخرا تبدیل شده است و همراه با گوتیت و سایر اکسیدهای آهن آبدار است.

پیریت: فراوانترین کانی در رگه‌های سولفیدی تشکیل شده در مراحل انتهایی تشکیل کانسنگ است. سه نسل پیریت در نمونه‌های دستی و مقاطع میکروسکوپی تهیه شده از کانسار تشخیص داده شد. نسل اول، که همزمان با تشکیل مگنتیت ایجاد شده‌اند و معمولاً از حاشیه در حال تبدیل به هیدروکسیدهای ثانویه آهن (گوتیت و لپیدوکروزیت) هستند (شکل ۶-E). این نسل از پیریتها با ابعاد ۰/۱ تا ۰/۳ میلی‌متر و با اشکال نیمه‌شکل تا بی‌شکل مشخص است (شکل ۶-F). خردشدگی در این نسل از پیریتها دیده می‌شود. نسل دوم، پیریت‌های تمام شکل با ابعاد ۰/۲ تا ۱ میلی‌متر در بین مگنتیت و کانیهای گانگ کانسنگ دیده می‌شود. آنها از محل

## کانی‌شناسی و کانه‌نگاری کانسنگ

### الف) کانیهای فلزی

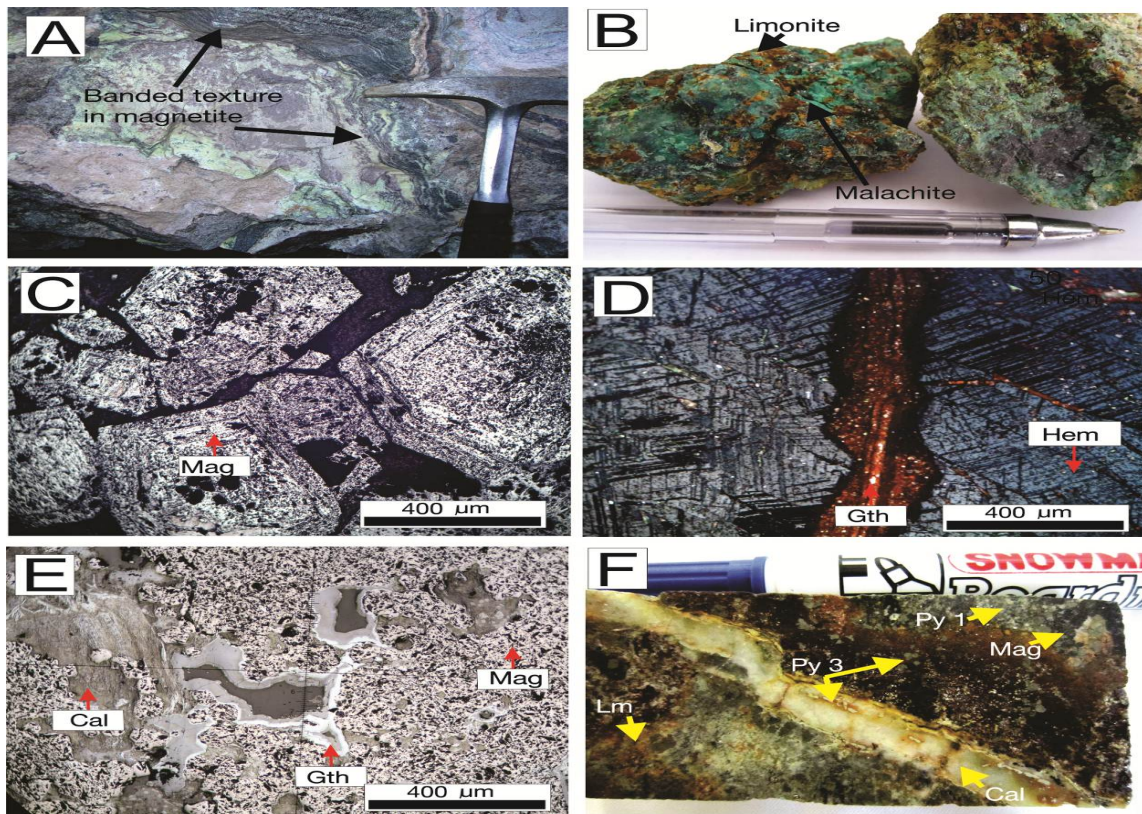
۱) کانه قالب در کانسار کورکورا-۱ مگنتیت است که همراه با هماتیت، پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت، کانیهای مس‌دار مانند مالاکیت و آزوریت (شکل ۶-B)، اکسیدهای آبدار آهن مانند گوتیت و لیمونیت دیده می‌شود. بافت عمده مگنتیت‌های کانسار، بافت جان‌شینی است. بافت نواری<sup>۱</sup> (شکل ۶-A) در نمونه‌های دستی در بخش عیار متوسط کانسنگ همراه با سنگ درون‌گیر و بافت موزاییکی و دانه پراکنده (شکل ۶-C) نیز در مقاطع میکروسکوپی و بافت نواری<sup>۱</sup> در نمونه‌های دستی در بخش عیار متوسط کانسنگ همراه با سنگ درون‌گیر نیز دیده می‌شود. این بافت از بافتهای جالب مشاهده شده در منطقه است که در کانسارهای با منشأ اسکارن شایع است.

ابعاد بلورهای مگنتیت از ۰/۲ تا ۴ میلی‌متر متغیر است که گاهی بلورهای تمام شکل آن با ابعاد ۴ میلی‌متر در نمونه‌های دستی قابل مشاهده است

۲) هماتیت در کانسنگ کورکورا-۱ به دو صورت اولیه و ثانویه دیده می‌شود. هماتیت اولیه معمولاً در بخش تحتانی کانسنگ و همراه با مگنتیت دیده می‌شود که در مقاطع میکروسکوپی،

سوم، این نسل از پیریت‌ها اغلب همراه با فازهای تأخیری مگنتیت، شکستگی‌های رگه‌ها و رگه‌چه‌ها را پر کرده است (شکل ۶-F).

شکستگی‌هایشان در حال تبدیل به کالکوپیریت بوده و اغلب درگیر با آنها در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شود. این نسل از پیریت‌ها به نسبت نسل اول سالمتر است (شکل ۶-A).



شکل ۶. تصاویر نمونه دستی و مقاطع میکروسکوپی از کانسنگ کورکورا-۱. (Mag: مگنتیت، Py: پیریت، Cal: کلسیت، Hem: هماتیت، Gth: گوتیت) علائم اختصاری کانیها از (Whitney and Evans, 2010). A: بافت نواری مگنتیت در سنگ درون‌گیر. این سنگ یک سنگ آتشفشانی است اما به علت دگرسانی شدید نام‌گذاری آن مشکل است. تأثیر تکتونیک نیز چین‌خوردگی‌های ریزی در آن به وجود آورده است. کانیهای سبزرنگ، احتمالاً تالک یا سرپانتین باشد که از محصولات دگرسانی در سنگهای آتشفشانی میزبان است. B: کانی‌سازی مس با حضور مالاکیت و آزوریت در کنار لیمونیت در منطقه کورکورا-۱. که احتمالاً محصول دگرسانی کالکوپیریت‌های کانسنگ است. C: بافت دانه‌ای از مگنتیت تمام شکل در زمینه کلسیتی که منطقه‌بندی خاصی را به علت تبدیل‌شدگی به هماتیت نشان می‌دهد. D: بافت تیغه‌ای در هماتیت. هماتیت در حال دگرسانی به گوتیت است. E: بافت کلوفرم در گوتیت‌های حاصل دگرسانی از مگنتیت‌ها. F: رگه‌های کلسیت ثانویه که کانسنگ مگنتیتی دگرسان شده به لیمونیت، را قطع کرده است. پیریت‌های نسل سوم درون رگه‌ها رشد یافته‌اند. این پیریت‌ها، پیریت‌های نسل قبلی را که در متن کانسنگ قرار گرفته‌اند، قطع نموده‌اند (نمونه در چاه J57 از عمق ۹ متری).

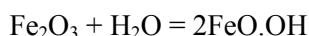
**Fig. 6.** The images of hand sample and microscopic sections of Korkora-1 deposit. (Mag: magnetite, Py: pyrite, Cal: calcite, Hem: hematite, Gth: goethite) Abbreviations of minerals from Whitney and Evans (2010). A: Banded texture of magnetite in host rock. This rock is a volcanic rock, but due to the extreme alteration, distinguishing of it is difficult. The tectonic influence has created micro-fracture in it. The green minerals maybe talc or serpentine that are the alteration products of volcanic host rocks, B: Copper mineralization and the presence of malachite and azurite along with limonite in Korkora-1, probably the product of chalcopyrite alteration, C: The grain texture in euhedral magnetite within calcite matrix, shows the zoning due to converting to hematite, D: The specular texture in hematite. Hematite is altered to goethite, E: The colloform texture in goethites that are products of the altered of magnetites, F: Secondary calcite veins that have cut magnetite ore and are altered to limonite. The third generations of pyrite have grown into veins. This pyrite has cut previous generations of pyrite that is in the ore matrix (sample from borehole J<sub>57</sub> at the depth of 9m).

گردیده است. کلریت، آمفیبول، سرپانتین، تالک و فلوگوپیت سایر کانیهای باطله کانسنگ کورکورا است. دگرسانی کانیهای آمفیبول، کلریت و پیروکسن در کورکورا-۱، موجب تشکیل سرپانتین و تالک شده است (شکل ۷-۵). عملکرد تکتونیک و تنشهای ایجاد شده سبب چرخش و رشد همزمان کلریت در سنگهای آذرین میزبان شده است (شکل ۷-۴).

#### شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسنگ

پیریت در تمام ذخایر مگنتیتی، مراحل نهایی گرمایی را نشان می‌دهد (Marschik and Spikings, 2008) که معمولاً به اکسید و هیدروکسیدهای آهن دگرسان می‌شود. حضور رگه‌هایی از کوارتز و کلسیت در سنگهای میزبان، نشانگر مرحله پایانی فعالیت سیال گرمایی است که در فضاهای خالی بین کانیهای فلزی مشخص هستند.

گوتیت معمولاً محصول هوازدگی کانیهای آهن‌دار مانند سیدریت، مگنتیت و پیریت است که در اثر عملکرد آبهای جوی، اکسیدهای آهن (هماتیت و مگنتیت) به گوتیت تبدیل شده‌اند. تبدیل هماتیت، گوتیت و اکسی هیدروکسیدهای آهن به یکدیگر وابسته به دما، pH، رطوبت، مواد آلی و ناخالصیهای موجود است (Murray, 1979; Barton and Johnson, 1996; Barton and Johnson, 2000; Ray and Guilbert and Park, 1999). شرتمن و مراد (Lefebure, 1999). گوتیت یا گوتیت در محیط را وابسته به pH (1986) حضور هماتیت یا گوتیت در محیط را وابسته به pH می‌دانند. کتلینگ و مر (Geijer, 1931) دما و فشار آب را عامل اصلی تبدیل انواع گونه‌های آهن به یکدیگر می‌دانند. پس از نفوذ آبهای سطحی و اختلاط با آب ماگمایی، درجه حرارت آب ماگمایی کاهش یافته و زمانی که به کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید، از محدوده پایداری هماتیت خارج و به محدوده پایداری گوتیت وارد شده است. بدین ترتیب هماتیت در طی واکنش زیر ناپایدار شده و گوتیت به عنوان فاز پایدار آهن در منطقه ظاهر شده است.



با توجه به pH آبهای منطقه، تبدیل اکسید آهن (هماتیت) به گوتیت در  $\text{pH} \approx 5$  و محیط اکسیدان صورت گرفته است.

همچنین مقداری از آهن بخشهای اکسیدی در آبهای گرم حل و از محیط خارج شده‌اند، که در نتیجه آن، ماده معدنی (گوتیت) دارای میزان کمتری آهن نسبت به فازهای اکسیدی است. تبدیل شدگی مگنتیت به گوتیت در مقاطع

از خصوصیات این نسل، بلورهای تمام شکل با بافت دانه اناری هستند که تجمعات زیبایی را در رگه‌ها ایجاد کرده‌اند (شکل ۷-۴). مرزهای بلوری در این نسل کاملاً سالم است و دگرسان نشده است. در شکل ۷-۵ یک نمونه از این رگه‌های پرشده از پیریت، مگنتیت، کوارتز و کلسیت نسل جدید با بافت پرکننده فضای خالی نشان داده شده است.

۴) کالکوپیریت و کانیهای مس‌دار: کالکوپیریت در مقاطع میکروسکوپی و با ابعاد ۰/۱ تا ۰/۲ میلی‌متر، درگیر با پیریت دیده می‌شود. تبدیل شدگی کالکوپیریت به کولیت در شکل ۷-۵ نشان داده شده است. در قسمتهای سطحی کانسار، این کانی به کانیهای مس‌دار از جمله مالاکیت و آزوریت دگرسان می‌شود.

۵) گوتیت: گوتیت با ساختار فرمولی (FeO.OH) از گونه‌های آب‌دار اکسیدهای آهن است که در کانسار کورکورا-۱ و سایر توده‌های معدن شهرک در شکستگیهای کانسنگ به وفور دیده می‌شود. گوتیت با بافت کلوform در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شود و با افزایش عمق به شدت کاهش می‌یابد. گوتیت با داشتن رنگ زرد از هماتیت تفکیک می‌شود و با دهیدراته شدن، تشکیل هماتیت را می‌دهد در حالی که لپیدوکروزیت (γFeO.OH) با دهیدراته شدن، ماگمیت و مگنتیت را تشکیل می‌دهد (Deer et al., 1992).

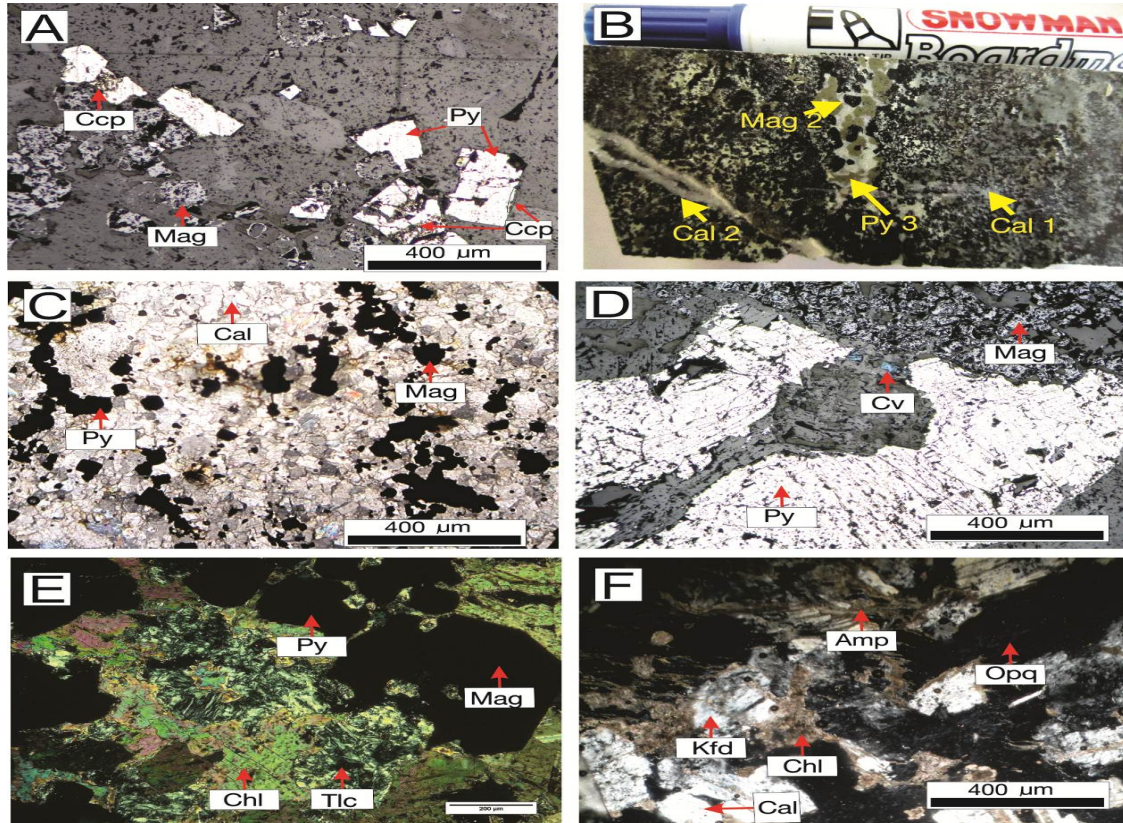
#### ب) کانیهای باطله سیلیکاته

یکی از کانیهای سیلیکاته آب‌دار همراه با مگنتیت در کانسار، اکتینولیت است که به‌صورت بلورهای سوزنی در بین بلورهای مگنتیت و سایر کانیهای باطله کانسنگ، در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شود. اکتینولیت از دگرسانی کلینوپیروکسن حاصل شده است به طوری که فقط آثار کمی از پیروکسن‌ها در برخی نقاط از مقاطع باقی مانده است. دیر و همکاران (Deer et al., 1992) کانی اکتینولیت را به عنوان یک کانی اصلی در کانسارهای آهن اسکارنی و تیپ کایرونا معرفی می‌کنند که در سنگهای میزبان به‌صورت رگه‌ای و توده‌های منظم بوده و رشد آن، همزمان با تشکیل کانسار صورت گرفته است. کلسیت از دیگر کانیهای باطله کانسنگ است که با ابعاد بلوری ۰/۲ میلی‌متر در مقاطع میکروسکوپی تا ۲ سانتی‌متر در نمونه دستی با بافت موزاییکی بین بلورهای مگنتیت قرار گرفته و کمی بعد از کانی‌زایی مگنتیت تشکیل



اسکارنزایی و دمای پایین سیالات کانه‌ساز هنگام تشکیل آن بوده است.

میکروسکوپی تهیه شده از کانسار کورکورا-۱، حضور گوتیت با بافت کلوform را نشان می‌دهد که حاکی از مراحل پایانی



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپی از بافت مگنتیت و روابط بافتی بین کانیها در کانسنگ کورکورا-۱ (Mag: مگنتیت، Py: پیریت، Cal: کلسیت، Cv: کولیت، Ccp: کالکوپیریت، Chl: کلریت، Tlc: تالک، Kfd: فلدسپار پتاسیم، Opq: کانیهای اپک). علائم اختصاری کانیها از (Whitney and Evans, 2010): A: پیریت‌های نسل دوم با بافت دانه پراکنده در زمینه سیلیکاته که از محل شکستگیها در حال تبدیل شدن به کالکوپیریت است. تصویر مغزه حفاری از سنگ میزبان دگرسان شده که در آن کلسیت نسل اول و دوم مشخص است. پیریت‌های نسل سوم با بلورهای تمام شکل و برخی به صورت توده‌ای با بافت دانه اناری، شکستگیهای کانسنگ را پر کرده است (نمونه در چاه L57 از عمق ۲۶/۷ متری). C: کانی‌سازی آهن در سنگ کربناته متبلور شده. بافت موزاییکی در کلسیت دیده می‌شود. پیریت در مراحل اولیه کانی‌سازی همزمان با مگنتیت ظاهر شده است (نور XPL). D: پیریت‌های نسل دوم در کنار مگنتیت‌های خرد شده و بلورهای ریز کولیت (محصول دگرسانی کالکوپیریت). E: بلورهای درشت مگنتیت در زمینه سنگهای آتشفشانی میزبان دگرسان شده. بلورهای رشته‌ای تالک و کلریت کاملاً مشخص است (نور XPL). F: عملکرد تکتونیک و تنشهای ایجاد شده سبب چرخش و رشد همزمان کلریت در سنگهای آذرین میزبان شده است. کانیهای اپک فضای بین بلورها را پر کرده است (نور XPL).

**Fig. 7.** Photomicrographs of texture in magnetite and relationships between minerals in Korkora-1 ore (Mag: magnetite, Py: pyrite, Cal: calcite, Cv: covellite, Ccp: chalcopyrite, Chl: chlorite, Tlc: talc, Kfd: potassium feldspar, Opq: opaque minerals). Abbreviations of minerals from Whitney and Evans (2010). A: The second generation of pyrite with disperse texture in silicate matrix that is changing to chalcopyrite along fractures, B: Image of core sample of altered host rock in which the first and second generations of calcite can be seen. The third generations of pyrite are euhedral crystals and some of them have the pomegranate seed texture, filled fractures (sample from borehole L<sub>57</sub> at the depth of 26.7m), C: Iron mineralization in crystalline carbonate rock. Mosaic texture can be seen in calcite. Pyrite appears with magnetite in the early stages of mineralization (XPL), D: The second generations of pyrite beside cracked magnetite and covellite crystals (alteration product of chalcopyrite), E: Coarse-grained magnetite in the altered host volcanic rocks matrix. Talc and chlorite crystals are clear (XPL), F: The tectonic activities and related stresses caused the rotation and simultaneous growth of chlorite in igneous host rocks. Opaque minerals fill the spaces between the crystals (XPL).

سرسیتی در سنگهای آتشفشانی منطقه رخ داده است (شکل ۹-۱). اسکارنی شدن که یک نوع دگرسانی محسوب می‌شود در واحدهای اسکارنی منطقه دیده می‌شود. در مقاطع تهیه شده از ریولیت‌های شرق کانسار کورکورا-۱، کانیهای کلریت، سرسیت، کلسیت، مسکویت و در سایر نقاط کانسار کانیهای شاخص دگرسانی مانند کوارتز، مونتموریونیت، کائولینیت، اپیدوت مشاهده می‌شود. برخی جاها مسکویت (میکا-سرسیت) جانشین کانیهای پلاژیوکلاز و فلدسپات آلکان شده است. دگرسانی کلریتی-اپیدوتی و کلسیتی در کانسنگ دگرسانی سیلیسی بیشتر به صورت رگه و رگه‌چهای در سنگ درون‌گیر و سنگهای آتشفشانی، دگرسانی اکتینولیتی در بلافصل ماده معدنی با توده نفوذی نیمه عمیق و همراه مگنتیت دیده می‌شود. از عوامل اصلی رخداد دگرسانیهای ذکر شده در اطراف کانسار، حضور گسلهای موجود در منطقه است. این گسلها معابر عبور سیالات گرمابی و آبهای جوی بوده و نقش اساسی در دگرسانی کانسنگ و سنگ درون‌گیر داشته است. همچنین تأثیر سیالات بر روی کانیهای پیروکسن، سبب تبدیل شدگی آنها و ایجاد دگرسانی اکتینولیتی است (شکل ۹-۱ B).

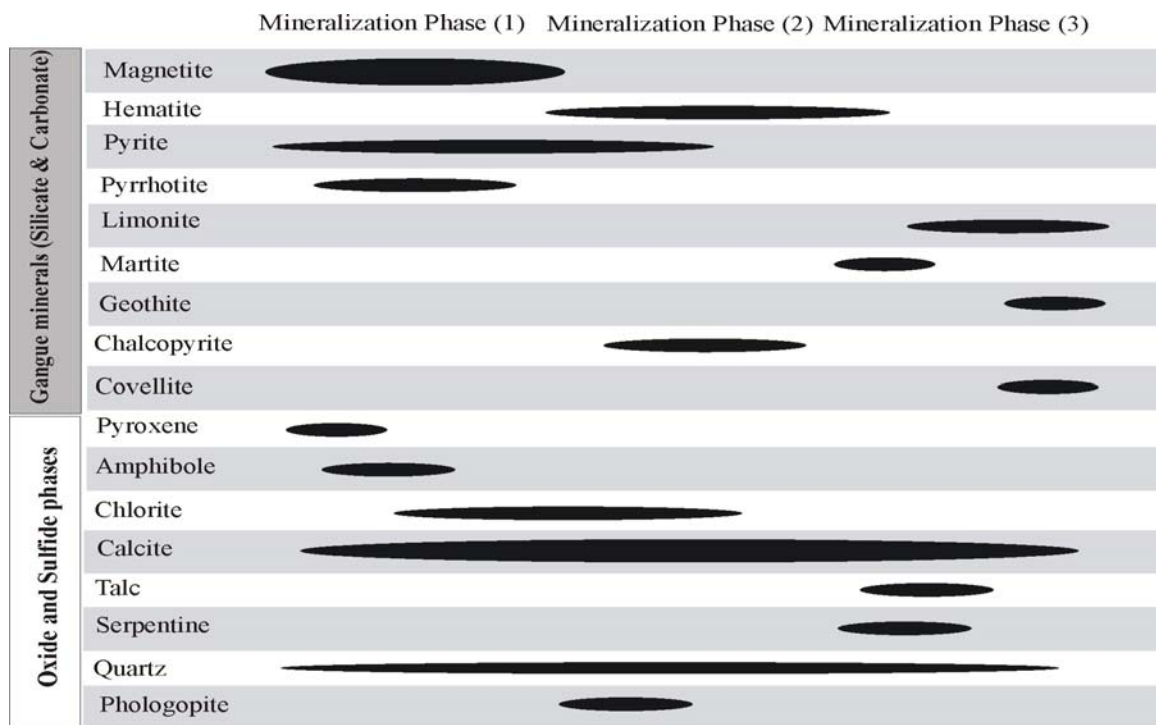
کانیهای سرپانتین، تالک و ترمولیت همراه مگنتیت در دمای پایین تشکیل شده است (Kwak, 1994). شیمی میکاهای توده چشمه (جنوب کورکورا-۱) نیز ترکیب فلوگوپیت را نشان می‌دهد (Azizi Shotorkheft, 2003)، که در کانسارهای تیپ اسکارن به وفور یافت می‌شود.

### توالی پاراژنزی

مشاهدات صحرایی و بررسی نمونه‌های دستی و میکروسکپی کانسنگ آهن کورکورا-۱، توالی پاراژنزی، تشکیل مگنتیت‌های اولیه با پیرویتیت و پیریت‌های نسل اول را در فاز اولیه نشان می‌دهد که پس از آن در فاز بعدی، مگنتیت همراه پیریت و کالکوپیریت و کانیهای اکسیدی و کربناتی ناشی از هوازدگی، در فضاهای خالی سنگ میزبان تشکیل شده است. شکل ۸ جدول پاراژنزی این کانیها را نشان می‌دهد.

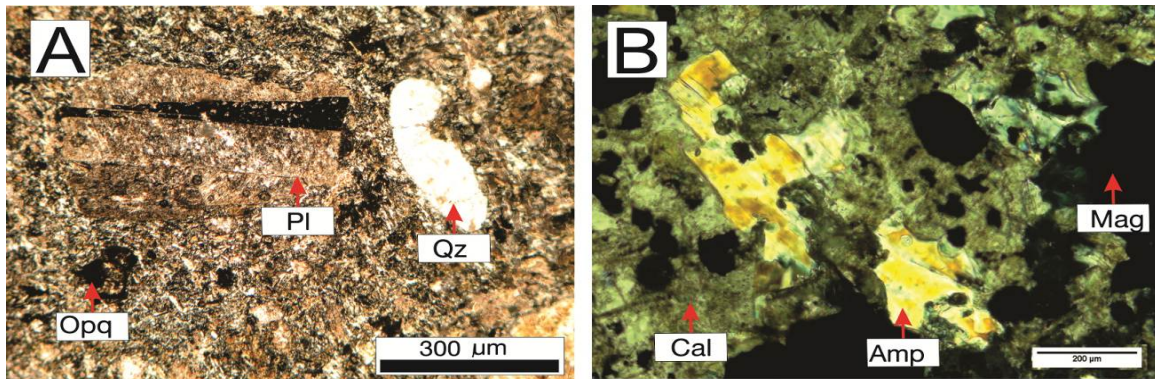
### آلتراسیون

مشاهدات صحرایی و نتایج تجزیه XRD از نمونه‌های منطقه، دگرسانیهای پروپیلیتی، سرسیتی، کلریتی، سیلیسی، اکتینولیتی و آرژیلی را نشان می‌دهد. دگرسانی پروپیلیتی و



شکل ۸. توالی پاراژنزی کانیهای اکسیدی و سولفیدی اولیه، ثانویه و کانیهای باطله سیلیکاته و کربناته در کانسار آهن کورکورا-۱

Fig. 8. Paragenetic sequence of primary, secondary oxide and sulfide minerals, and gangue minerals of silicate and carbonate in the Korkora-1 iron deposit



شکل ۹. A: دگرسانی سرسیتی شدید در پلاژیوکلاز و بافت خلیج خوردگی کوارتز، در سنگهای داسیتی کانسار کورکورا. اکسیدهای آهن در زمینه مشاهده می‌شود (نور XPL). B: کانیهای گانگ سیلیکاته در کانسنگ شامل آمفیبول و کلریت‌های دگرسان، کلسیت‌های ثانویه در کنار کانیهای مگنتیت و پیریت (نور XPL). (Mag: مگنتیت، Cal: کلسیت، Qz: کوارتز، Pl: پلاژیوکلاز، Amp: آمفیبول، Opq: کانیهای اپک). علایم اختصاری کانیها از (Whitney and Evans, 2010).

**Fig. 9.** A: Intensive sericitic alteration of plagioclase and corrosion texture in quartz in dacitic rocks in the Korkora deposit. Iron oxides can be seen in background (XPL), B: Silicate gangue minerals in the ore composed of amphibole and altered chlorite, secondary calcite beside magnetite and pyrite (XPL). (Mag: magnetite, Cal: calcite, Qz: quartz, Pl: plagioclase, Amp: amphibole, Opq: opaque minerals). Abbreviations from Whitney and Evans (2010).

آرژیلی و سیلیسی (۵) بافت‌های جانیشینی متنوع در مقاطع میکروسکوپی (۶) محدود شدن کانی‌زایی آهن به هاله‌های مجاورتی توده‌های نفوذی (۷) تغییر رنگ سنگهای آهنی سفید منطقه به رنگ قهوه‌ای (۸) تشکیل سرپانتین در سنگهای کربناته (۸) تشکیل کلریت، اکتینولیت در اثر تجزیه کالک سیلیکاته اولیه.

#### بحث

#### شیمی کانیها

مگنتیت: آنالیزهای میکروپروب از بلورهای مگنتیت کانسار کورکورا-۱ (شکل ۱۰) حضور عناصری مانند Cr, V و Ni را در ساختار آن به خوبی نشان می‌دهد. همبستگی برخی عناصر نسبت به آهن در شکل ۱۱ آورده شده است. که طبق شکل ۱۱، عناصر V, Mn, Ti و Zn همبستگی مثبت و عناصر Ni, Al, Cu, P, Mg, Si, Ca و Cr همبستگی منفی را با آهن نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که Ni, Cu, Cr, Zn و Ti بر حسب ppm بوده و بقیه عناصر بر حسب درصد وزنی هستند. مقدار متوسط MnO در مگنتیت کانسنگ کورکورا-۱ (از ۰/۱ تا ۰/۴۶٪ متغیر است) ۰/۳۳ درصد وزنی می‌باشد که با توجه عدم مشاهده کانیهای مستقل منگنز در نمونه‌های کانسنگ (طبق مطالعات XRD و بررسیهای میکروسکوپی) می‌تواند نشانگر جانیشینی  $Fe^{+2}$  توسط  $Mn^{+2}$  در شبکه

دگرسانی سوپرژن که در کانسنگ مگنتیتی دیده می‌شود، سبب تبدیل شدگی مگنتیت از حواشی و نقاط ضعف بلوری به هماتیت (مارتیت) و گوتیت شده است. حضور رگه‌چه‌های هماتیت با بافت کلوفرمی می‌تواند حاکی از نهشته شدن این فاز در دمای پایین از سیالات نهایی گرمایی در حین سرد شدن سریع سیال و ناپایداری کمپلکس‌های حمل کننده آهن باشد (Einaudi et al., 1981). عملکرد فرآیندهای تکتونیکی بر روی بلورهای مگنتیت، آنها را دچار شکستگیهای ضعیفی کرده است که پدیده دگرسانی را در بلورهای آن تسهیل نموده است. برای تشکیل هماتیت در بخشهای رویی کانسار، باید فوگاسیته اکسیژن بالا رود، که آبهای جوی یکی از منابع مهم تأمین کننده اکسیژن است که با چرخش در قسمتهای بالایی کانسار، اکسیداسیون را بر عهده دارد.

حضور تالک، کلریت (نوع کلینوکلر)، آمفیبول (نوع آنتوفیلیت) و سرپانتین دلیل محکمی برای نظریه تیپ اسکارنی منیزیمی برای کانسار آهن کورکورا-۱ می‌باشد. شواهد تقویت کننده منشأ اسکارنی برای متاسوماتیسم مجاورتی در کانسار کورکورا-۱ (شامل: ۱) همراهی کانیهای شاخص اسکارنی مانند اپیدوت، کلریت با مگنتیت، نشانه دگرسانیهای دما پایین گرمایی است. (۲) وجود مرمهرهای ترمولیت‌دار و فرسترتیدار در نزدیکی کانسار (۳) همبری تدریجی و گاه ناگهانی سنگهای آهن با کانسنگ (۴) آلتراسیون‌های سرسیتی، پروپیلیتی،

کانسارهای تیپ کاپرونا تهی‌شدگی در عناصری مانند Al, Mg و Ca نشان می‌دهد. در کانسار کورکورا، این سه عنصر افزایش و غنی‌شدگی نشان می‌دهد که با کانسارهای آهن اسکارنی تطابق دارد (شکل ۱۳-B). همچنین میانگین Mn در تیپ اسکارنی، ۰/۴ درصد و در تیپ کاپرونا ۰/۰۲ درصد است. که مقدار این عنصر در نمونه‌های کورکورا-۱، ۰/۳ درصد است که با تیپ اسکارنی تطابق خوبی دارد.

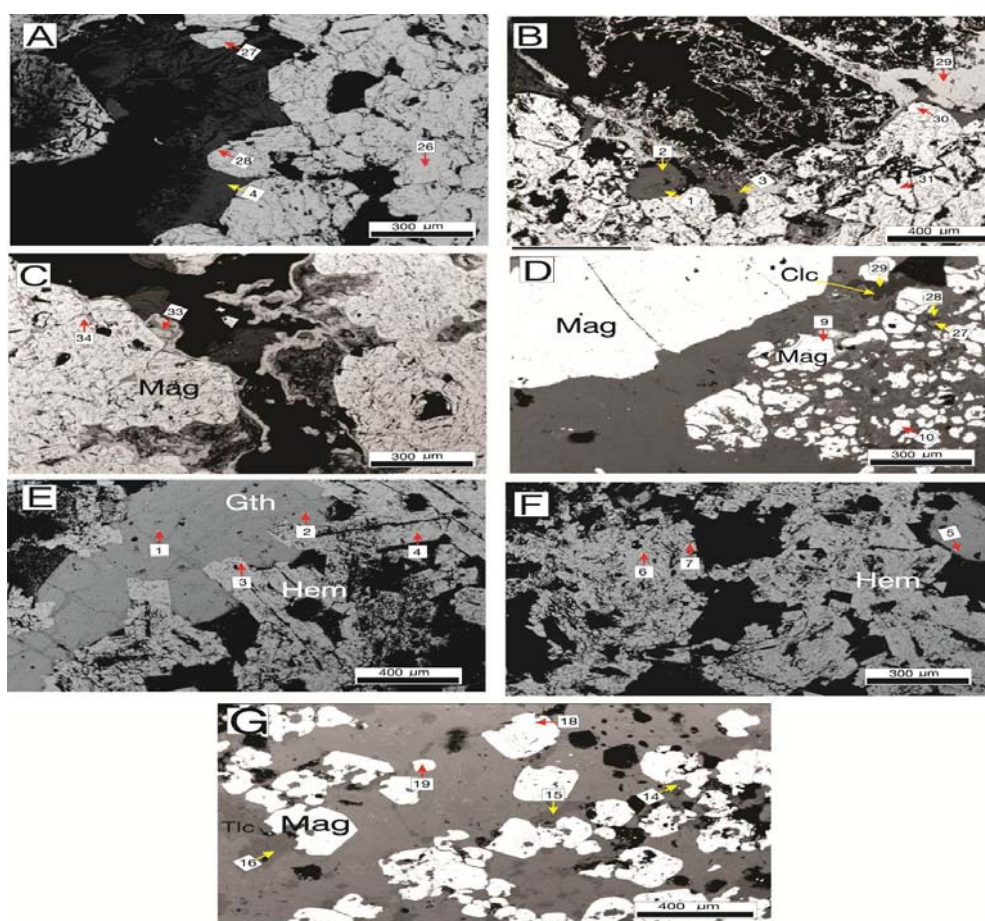
**مقایسه کانسار با چند کانسار آهن اسکارنی در ایران و جهان**  
با توجه به تشابه کانی‌شناسی، سن تقریبی تشکیل کانسار (الیگومیوسن) و سنگ میزبان (کربناته و آتشفشانی) و همچنین مقایسه کانسار آهن کورکورا-۱ با کانسارهای آهن غرب ایران از جمله آهن گلالی، باباعلی، خسروآباد و کانسارهای شمال سمنان و سنگان (جنوب مشهد)، و همچنین کانسار تکیه بالا، اسفوردی، گل گهر و بافق (شکل ۱۴) نشان می‌دهد که کانسار کورکورا-۱ در رده کانسارهای اسکارنی قرار می‌گیرد.

شوارتز و ملچر (Schwartz and Melcher, 2004)، با مطالعه گسترده بر روی شیمی مگنتیت کانسارهای آهن (کانسارهای گوتی، بوبوتی، گوبوریا و کاراکانه) فلام سنگال به این نتیجه رسیدند که مگنتیت در کانسارهای اسکارن، غلظت کمی Cr و V در مقایسه با مگنتیت در گرانودیوریت و آندزیت دارد. شوارتز و ملچر (Schwartz and Melcher, 2004)، با مطالعه بر روی مگنتیت‌های اندواسکارن کاراکانه مشاهده کردند که غلظت  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ،  $\text{TiO}_2$  و  $\text{V}_2\text{O}_5$  در مگنتیت کم است که این شاخصه‌ای برای مگنتیت‌های اسکارن و سنگهای با درجه دگرگونی کم است (Frost, 1991). غلظت  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ،  $\text{TiO}_2$  و  $\text{V}_2\text{O}_5$  در مگنتیت آذرین از گرانودیوریت کانسار بوبوتی و آندزیت کانسار گوبوریا (با منشأ آذرین) بالاتر است. در شکل ۱۵-A و B که نمودار نسبت اکسیدهای  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ،  $\text{TiO}_2$  و  $\text{V}_2\text{O}_5$  در شیمی مگنتیت کانسارهای مطالعه شده آهن رسم شده است، می‌بینیم که کانسار کورکورا-۱ بیشترین شباهت شیمیایی مگنتیت را با اگزواسکارن گوتو دارد. در جدول ۱، شیمی مگنتیت در کانسار کورکورا با سایر کانسارهای آهن مقایسه شده است و طبق مقادیر، مشاهده می‌شود بیشترین تطابق با کانسارهای منشأ اسکارنی وجود دارد.

مگنتیت باشد. همبستگی مثبت بین FeO و MnO در نمونه‌های مورد مطالعه شاهدهی بر این ادعاست (شکل ۱۱). همبستگی مثبت Zn، Ti و V، به علت جانشینی آنها با Fe و همبستگی منفی Al، احتمالاً به علت تمرکز آن در پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپار در ماگمای متبلور شده است. همچنین تمرکز Ca در پلاژیوکلازهای ماگمای اولیه سازنده کانسار، سبب همبستگی منفی در Ca نموده است. همبستگی منفی Cr نیز از نشانه‌های خصلت ماگمایی برای آهن است (Frietsch, 1984). همبستگی منفی Cu نیز می‌تواند به علت حضور کانیهای کالکوپریت و کولیت در کانسنگ مگنتیتی باشد که به علت تمرکز در این کانیها، مقدار آن در مگنتیت کاهش یافته است. مگنتیت و هماتیت در کانسار کورکورا به طور میانگین کمتر از ۰/۲۲٪ وزنی را نشان می‌دهد. بی ادوین و همکاران (Beaudoin et al., 2007)، انواع ذخایر آهن را بر مبنای تجزیه شیمیایی (مطالعات EPMA)، در کانیهای مگنتیت و هماتیت از یکدیگر متمایز کردند. رازجیگاو و نومووا (Razjigaeva and Naumova, 1992) معتقدند؛ تغییر در محیط شیمیایی کل سنگ که مگنتیت در آن شکل می‌گیرد، توسط ترکیب شیمی آن کنترل می‌گردد که گوسلین (Gosselin et al., 2007) از این تغییرات ترکیبی در شیمی مگنتیت جهت تمایز انواع کانسارهای آهن استفاده می‌کند. طبق نمودارهای تفکیک‌کننده از بی ادوین و همکاران (Beaudoin et al., 2007) (شکل ۱۲)، ویژگیهای بارز برای هر تیپ کانساری مشخص است که می‌توان به طور خلاصه چنین بیان کرد:

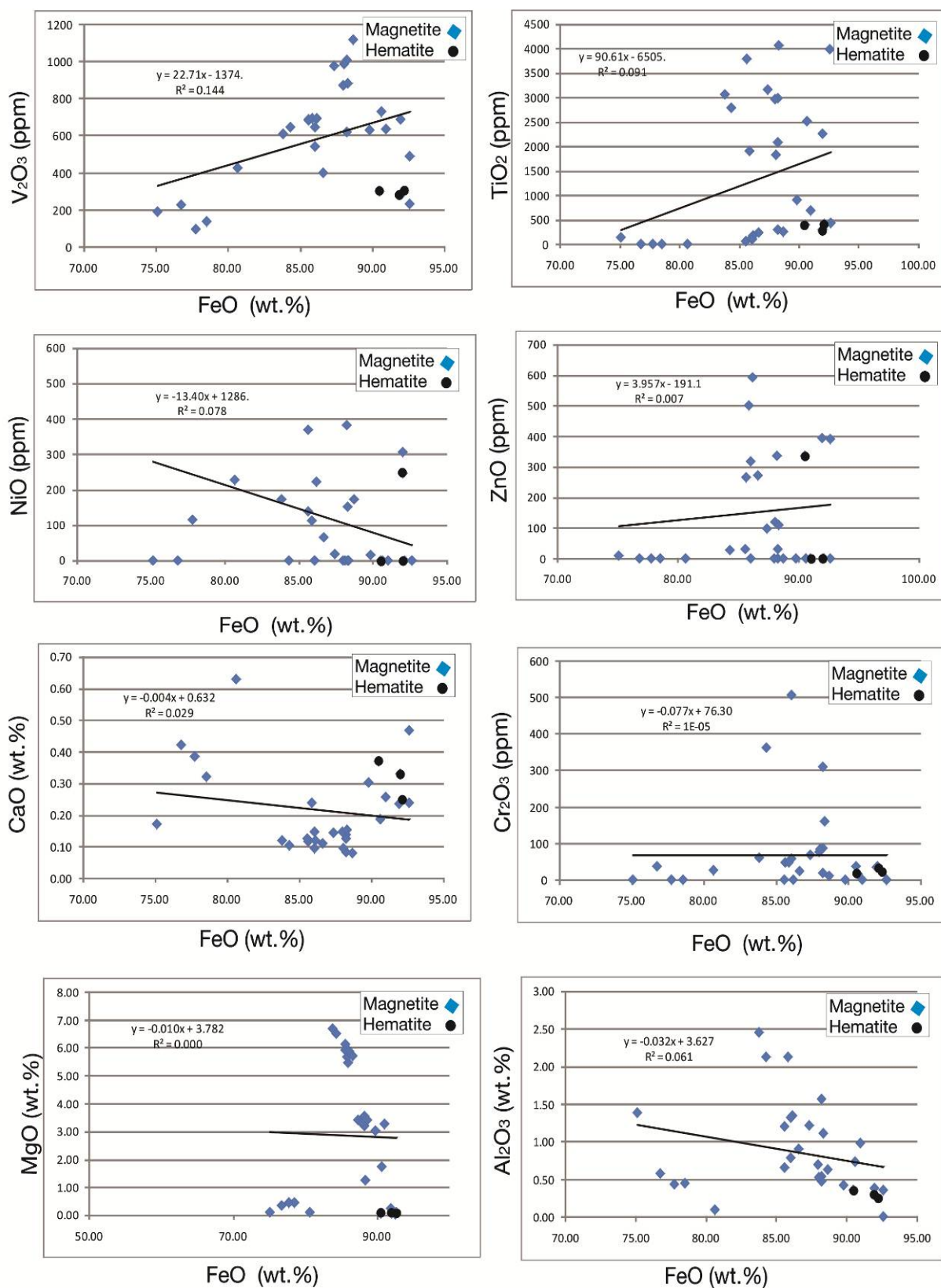
۱- شیمی مگنتیت در کانسارهای آهن تیپ کاپرونا مقدار Ti و V بالاتری نسبت به تیپ اسکارن و IOCG و مقدار Mn و Al کمتری را نشان می‌دهند. در نمونه‌های تجزیه شده از کانسار کورکورا-۱، مقدار Ti و V کم و Mn و Al زیادی را شاهد هستیم که همین امر سبب قرارگیری آنها در محدوده اسکارن می‌شود (شکل ۱۲-A و B-۱۲).

۲- کانسارهای آهن نواری (BIF) با کانسارهای اسکارنی کمی هم‌پوشانی دارند و تمایز آنها معمولاً با مقدار V کم و Cr بالا در آهن رسوبی مشخص می‌شود (Frietsch, 1973). شکل ۱۳-A تغییرات عناصر را در ساختار مگنتیت از انواع کانسارهای آهن مطالعه شده توسط بودین و همکاران (Beaudoin et al., 2007)، نشان می‌دهد. طبق شکل ۱۲،



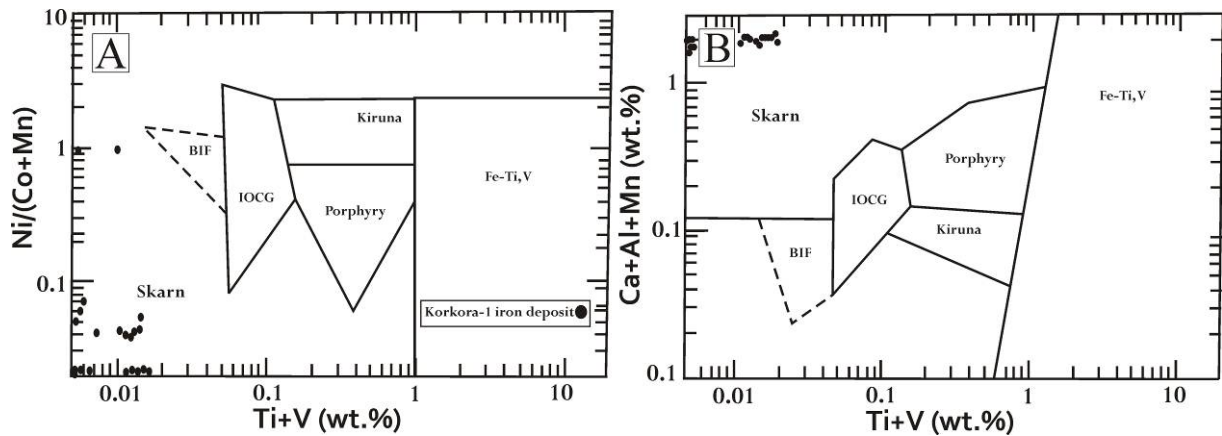
شکل ۱۰. تصاویر میکروسکوپی از بافت مگنتیت و هماتیت در کانسنگ کورکورا-۱ (Mag: مگنتیت، Hem: هماتیت، Gth: گوتیت). علایم اختصاری کانیها از (Whitney and Evans, 2010). (شماره‌های داخل مربع شماره نقاط پروب شده از کانه است که در جدول ۲ نتایج آنالیز هر نقطه آورده شده است). همگی تصاویر در نور انعکاسی می‌باشد. A: بلورهای مگنتیت با بافت توده‌ای که در حاشیه آنها کانیهای رشته‌ای گانگ سیلیکاته مشاهده می‌شود (نمونه در چاه F57 از عمق ۵ متری). B: تبدیل شدگی مگنتیت به گوتیت و هماتیت از نقاط ضعف و شکستگیها. بافت لانه زنبوری توسط گوتیت به وجود آمده است (نمونه در چاه F57 از عمق ۵ متری). C: بافت کلوفرم در گوتیت‌های حاصل دگرسانی از مگنتیت که در حاشیه مگنتیت‌ها کاملاً واضح است (نمونه در چاه D57 از عمق ۸ متری). D: بافت کاتاکلاستیک در مگنتیت‌های نسل اول که کاملاً خرد شده و نشانه عملکرد تکتونیک بعد از کانی‌سازی است. مگنتیت‌های نسل جدید سالم در گوشه چپ عکس دیده می‌شود (نمونه در چاه N57 از عمق ۴۲ متری). E: تبدیل شدگی هماتیت‌های اولیه با بافت اسپیکولار به گوتیت (نمونه سطحی). F: هماتیت‌های اولیه تحت تنش قرار گرفته‌اند که چرخش تکتونیکی را نشان می‌دهد (نمونه سطحی). G: جدیدترین نسل مگنتیت‌های منطقه با بلورهای تمام شکل در زمینه‌ای از کانیهای کلسیت و کلریت، که سالمتر از سایر نسلهاست (نمونه در چاه N57 از عمق ۴۸ متری).

**Fig. 10.** Photomicrographic images from the texture of magnetite and hematite in Korkora-1 deposit (Mag: magnetite, Hem: hematite, Gth: goethite). Abbreviations from Whitney and Evans (2010). (Numbers in the square are the numbers of probed points and the results of the analysis in these points presented at the table 2). All images are in the reflected light. A: Magnetite crystals with massive texture in which silicate gangue minerals can be seen in the margin (sample from borehole F<sub>57</sub> at the depth of 5m), B: Conversion of magnetite to goethite and hematite at the weakness surfaces and fractures. Honeycomb texture is created by goethite (sample from borehole F<sub>57</sub> at the depth of 5m), C: Colloform texture in the goethites that created by alteration in magnetite, are clear in the margins of magnetites (sample from borehole D<sub>57</sub> at the depth of 8m), D: Cataclastic texture in the first generation of magnetite, showing tectonic activities after mineralization. The new generation of fresh magnetite can be seen in the left corner of the image (sample from borehole N<sub>57</sub> at the depth of 42m), E: Conversion of the primary hematite with specular texture to goethite (surface sample), F: Primary hematites that shows the tectonic rotation, have been stressed (sample surface), G: The newest generation of the magnetite crystals with euhedral shape are in the matrix of calcite and chlorite minerals, which are fresher of other generations (sample from borehole N<sub>57</sub> at the depth of 48m).



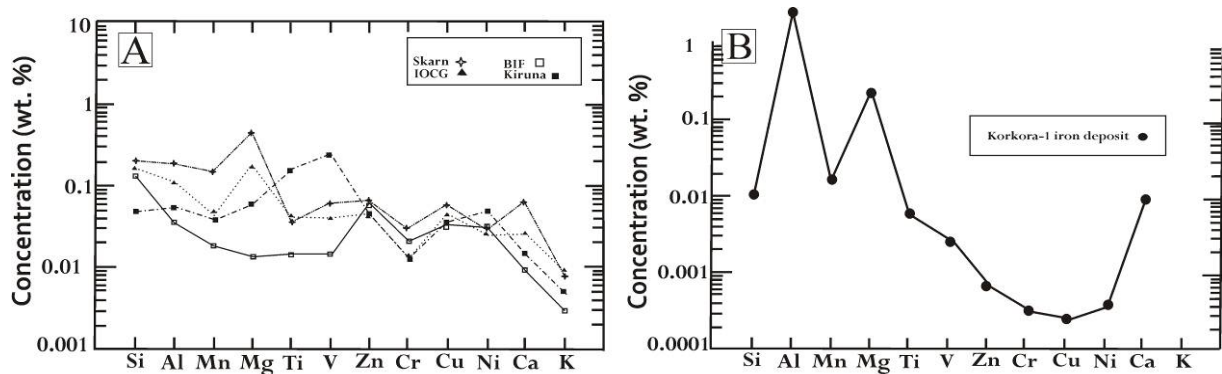
شکل ۱۱. همبستگی بین اکسید عناصر اصلی و جزئی با اکسید آهن در نمونه‌های پروب شده در مگنتیت و هماتیت از کانسار کورکورا-۱ ( $R^2$  در نمودارها رگرسیون است و  $y$  معادله خط سیاه رنگ است)

**Fig. 11.** Correlation between the major and minor oxides with iron oxide in microprobed samples of magnetite and hematite in Korkora-1 deposit ( $R^2$  is regression in the graphs and  $y$  is the equation line in black)



شکل ۱۲. A و B: نمودارهای تفکیک کننده منشأ انواع کانسارهای آهن از (Beaudoin et al., 2007). برحسب آنالیز EPMA اکسیدهای آهن (هماتیت و مگنتیت). طبق این نمودارها، نمونه‌های کانسار آهن کورکورا-۱ در محدوده اسکارن قرار می‌گیرد.

**Fig. 12.** A and B: Discrimination diagrams origin of iron deposits of Beaudoin et al. (2007), on the basis of EPMA analysis of iron oxides (hematite and magnetite). According to these diagrams, samples of Korkora-1 iron plot within the skarn.



شکل ۱۳. A: نمودار عنكبوتی مربوط به مطالعه انواع کانسارهای آهن بر مبنای غلظت یک‌سری عناصر اصلی و فرعی در کانی مگنتیت و هماتیت از (Beaudoin et al., 2007). B: نمودار عنكبوتی مربوط به نمونه‌های آنالیز میکروپروپوب مگنتیت و هماتیت کانسار کورکورا-۱ که بیشترین انطباق را با تیپ اسکارنی نشان می‌دهد.

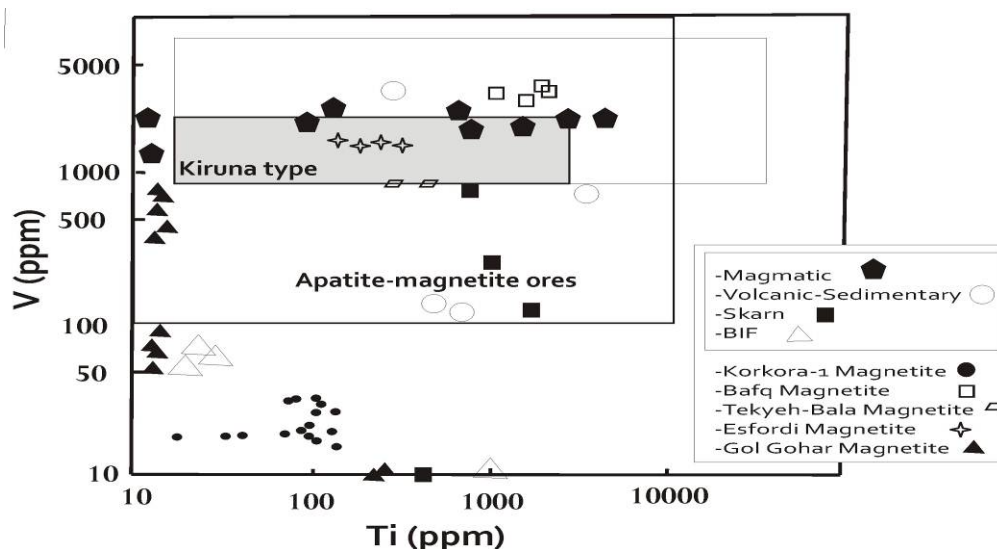
**Fig. 13.** A: Spider diagram for the different types of iron deposits on the basis of major and minor element concentrations in the magnetite and hematite minerals (from Beaudoin et al., 2007), B: Spider diagram of microprobe analyzed samples of magnetite and hematite from Korkora-1 deposit, showing highest adaptation with skarn type deposit.

آنالیزهای صورت گرفته از گوتیت‌های کانسارهای آهن مختلف دنیا، مقداری  $\text{SiO}_2$  را در ساختار خود نشان می‌دهند.

#### ارائه مدل ژنتیکی تشکیل کانسار کورکورا-۱

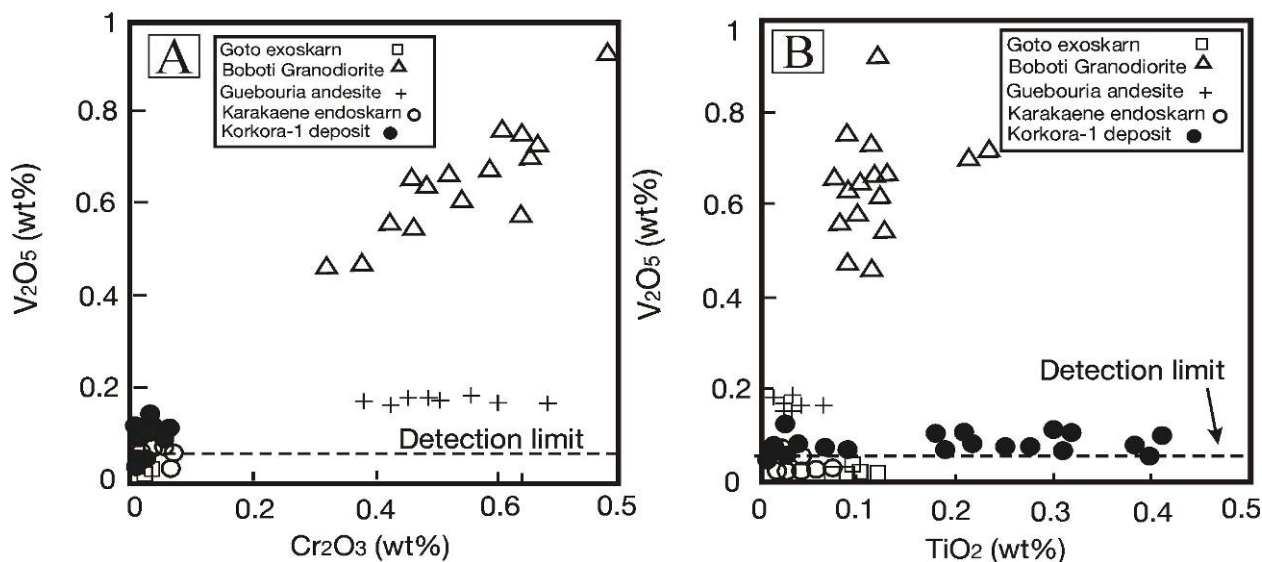
سیالات مؤثر در کانی‌سازی، طی فرآیند تفریق و تبلور توده‌های نفوذی با ترکیب عمده دیوریت تا کوارتز دیوریت، از فاز سیال ماگما جدا شده و در همبری سنگهای آتشفشانی و کربنات‌های منطقه، با تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی خود تشکیل کانسار با تیپ اسکارن نموده است.

گوتیت: با توجه به جدول نتایج آنالیزهای پروب، نقاط ۱، ۲، ۵، ۲۹ و ۳۳ گوتیت هستند که با مقدار آهن کم (میانگین ۷۶٪)، بدون عناصر Ti و V و با Ni متوسط تا نسبتاً بالا (۱۱۰ ppm) مشخص شده است. از ویژگی خاص این گوتیت‌ها حضور ۲/۵ تا ۴٪ وزنی سیلیسیم در ساختار آنهاست که طبق نظر دیر و همکاران (Deer et al., 1992) این  $\text{SiO}_2$  در طول آلودگی و اختلاط در نمونه‌ها وارد ساختار آن می‌شود و اغلب



شکل ۱۴. مقایسه نمودار تغییرات عنصر  $Ti$  در مقابل  $V$  جهت تمایز بین نهشته‌های آهن در مگنتیت‌های کانسار آهن کورکورا-۱ با کانسارهای اسفوردی (Jami, 2005)، بافق (Bonyadi et al., 2011)، تکیه بالا (Miri, 2011)، گل‌گهر (Hallaji, 1991)، محدوده کانسارهای تیپ کایرونا توسط Nystrom and Henriquez (1994) مشخص شده و ترکیب محدوده‌ها از (Loberg and Horndahl, 1983) است.

**Fig. 14.** Comparison of  $Ti$  variations against  $V$  for distinguishing between iron deposits in magnetite of Korkora-1 iron deposit with Esfordi (Jami, 2005), Bafq (Bonyadi et al., 2011), Tekyeh Bala (Miri, 2011), Gol Gohar (Hallaji, 1991) deposits. The plotted area of Kiruna type deposits determined by Nystrom and Henriquez (1994) and the composition of other areas are from Loberg and Horndahl (1983).



شکل ۱۵. مقایسه کانسار کورکورا-۱ با چندین کانسار آهن در ایالت سنغال بر اساس شیمی مگنتیت‌های آن. A: پلات وانادیم در مقابل کروم در مگنتیت‌های کانسارهای کاراکانه، بوبوتی، گوتو و گوبوریا توسط Schwartz and Melcher (2004). نمونه‌های کانسار کورکورا-۱ با کروم و وانادیم کم در نزدیکی کانسارهای اسکارنی کاراکانه و گوتو قرار گرفته است. B: نمودار عناصر وانادیم در مقابل تیتانیوم در مگنتیت از (Schwartz and Melcher, 2004). نمونه‌های کانسار کورکورا-۱ در نزدیکی کانسارهای اگزواسکارن گوتو قرار گرفته است.

**Fig. 15.** Comparison of Korkora-1 iron deposit with several states in Senegal based on magnetite chemistry. A: plots of  $V$  against  $Cr$  in magnetites of Karakanh, Boboty, Goto and Goborya deposits by Schwartz and Melcher (2004). The samples of Korkora-1 deposit with a low value of  $Cr$  and  $V$  are located near the Goto and Karakanh skarn deposits, B:  $V$  against  $Ti$  diagram in magnetite from Schwartz and Melcher (2004). Samples of Korkora-1 deposit are placed near the Goto exoskarn samples.



حدواسط و سنگهای کربناتی سازند قم. ۲) ورود آهن و سیلیس به درون سنگهای کربناتی همزمان با آغاز تبلور توده نفوذی و تشکیل کانیه‌های سیلیکاتی کلسیم دار (پیروکسن). ۳) کاهش دمای سیستم گرمایی ماگمایی (احتمالاً در اثر مخلوط شدن با آبهای زیرزمینی با منشأ جوی) و مصرف  $H^+$  سیال توسط هیدرولیز سیلیکات‌های کلسیم بی آب و به دنبال آن ناپایداری کمپلکس‌های آهن دار و نهشت کانه‌های اکسیدی (مگنتیت و هماتیت) و سولفیدی (پیریت). در این مرحله پیروکسن به فازهای کانیاپی دما پایین شامل (اپیدوت، ترمولیت-اکتینولیت، کلسیت، کوارتز و کانیه‌های مات) تبدیل می‌شود. ۴) دگرسانی پس‌رونده تأخیری سیلیکات‌های کلسیم آبدار و بدون آب با محلولهای دما پایین -  $fO_2$  بالا، به مجموعه کانیه‌های کلریت، کلسیت، کانیه‌های رسی و هماتیت.

گرمای حاصل از جای‌گیری نفوذیها در منطقه، سبب مرمرزایی شده که در کمر پایین کانسنگ با شواهد مشاهده در مغزه‌های حفاری دیده می‌شود. کانی‌سازی لکه‌های مگنتیت درون این سنگهای کربناته پخته شده رخ داده است. سیالات جوی با درجه اهمیت کمتر نسبت به سیالات ماگمایی، در کانی‌سازی نقش سازنده‌ای داشته است. به طوری که اختلاط دو سیال با هم، ضمن کاهش دمای سیال کانه‌ساز عاملی برای ته‌نشست کانه محسوب می‌شود. مطالعه سیالات درگیر در منطقه نیز حضور دو سیال سازنده کانسنگ (یکی با شوری پایین (متوسط ۱۰٪ و دیگری با شوری ۲۵ تا ۳۰٪ وزنی معادل نمک طعام) را نشان می‌دهد. با توجه به شواهد صحرایی، مطالعات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی، اسکارن کورکورا-۱ طی ۴ مرحله تقریباً پیوسته زیر تشکیل شده است. ۱) نفوذ توده کوارتز دیوریتی به همبری سنگهای آتشفشانی اسیدی تا

جدول ۱. ماکزیمم، مینیمم و میانگین درصد عناصر در کانه مگنتیت انواع کانسارهای آهن و مقایسه شیمی مگنتیت در کانسار کورکورا-۱ با انواع

شیمی مگنتیت سایر کانسارهای آهن مورد مطالعه توسط بی ادیون و همکاران (Beaudoin et al., 2007). \*NA= Not analyzed.

**Table 1.** The maximum, minimum and average of the elements in the magnetite ore in different types of iron deposits and chemical comparison of magnetite in Korkora-1 deposit with other iron deposits studied by Beaudoin et al. (2007).

\*NA = Not analyzed

Deposit Type		Si Wt %	Al Wt %	Mg Wt %	Fe Wt %	Mn Wt %	Ca Wt %	K Wt %	Cr Wt %	Zn Wt %	Cu Wt %	Ni Wt %	V Wt %
IOCG (n=11)	Mean	0.163	0.109	0.171	0.042	0.045	0.025	0.009	0.013	0.043	0.044	0.025	0.039
	Min	0.008	0.025	0.007	0.003	0.01	0.004	0.002	0.005	0.033	0.024	0.018	0.008
	Max	0.555	0.247	1.175	0.131	0.128	0.119	0.028	0.077	0.054	0.093	0.031	0.116
Kiruna (n=7)	Mean	0.047	0.053	0.057	0.154	0.037	0.014	0.005	0.012	0.047	0.034	0.048	0.238
	Min	0.01	0.018	0.005	0.009	0.014	0.011	0.002	0.008	0.04	0.023	0.02	0.062
	Max	0.119	0.1	0.191	0.431	0.101	0.022	0.01	0.018	0.065	0.064	0.116	0.479
BIF (n=4)	Mean	0.138	0.036	0.013	0.014	0.018	0.009	0.003	0.021	0.061	0.031	0.029	0.015
	Min	0.02	0.014	0.007	0.009	0.015	0.003	0.002	0.014	0.034	0.024	0.025	0.011
	Max	0.296	0.056	0.018	0.022	0.022	0.015	0.005	0.041	0.084	0.047	0.039	0.022
Skarn (n=15)	Mean	0.2	0.18	0.431	0.035	0.149	0.061	0.008	0.03	0.064	0.058	0.028	0.06
	Min	0.009	0.025	0.005	0.003	0.01	0.004	0.003	0.004	0.042	0.034	0.021	0.008
	Max	0.638	0.692	2.623	0.171	0.445	0.308	0.033	0.367	0.112	0.335	0.069	0.708
Korkora-1 iron deposit	Mean	0.023	5.32	0.023	0.0049	0.013	0.0094	NA*	0.0002	0.0006	0.0002	0.0004	0.002
	Min	0.001	3.21	0.001	0.0002	0.001	0.004	NA*	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
	Max	0.11	5.91	0.46	0.011	0.02	0.025	NA*	0.0001	0.003	0.001	0.002	0.0044

#### نتیجه‌گیری

کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت، کولیت، هماتیت و گوتیت در اثر فرآیندهای هوازگی و سوپرژن شکل گرفته‌اند. - دگرسانی‌های سرسیتی و پروپیلیتی (در سنگهای آتشفشانی)، سیلیسی، کلسیتی (در سنگهای آهکی و کانسنگ)، کلریتی-

- مهمترین کانیه‌های کانسنگ شامل مگنتیت با تیتانیم پایین، آپاتیت به مقدار بسیار اندک (به عنوان کانی فرعی)، کانیه‌های سولفیدی از جمله پیریت و کالکوپیریت است. کانیه‌های

می‌شود. ساخت و بافت نواری از جمله بافتهای جالب در کانسار مورد مطالعه است.

- نفوذ توده های دیوریتی در منطقه علاوه بر ایجاد دگرگونی مجاورتی، تشکیل کانیهای اسکارنی (اپیدوت، کلریت و گارنت) داده است.

- مقایسه کانسار با چند کانسار آهن در ایران، شباهتهای ژئوشیمی مگنتیت با کانسار تیپ اسکارنی را تأیید می‌کند.

- حضور فلوگوپیت، سرپانتین و تالک از نشانه‌های رخداد اسکارن منیزی می‌در منطقه است.

- دگرسانی و تشکیل کانیهای آهن آبدار (لیمونیت و گوتیت) نقش آبهای جوی را در ایجاد کانسار بعد از تشکیل مگنتیت، نشان می‌دهد.

اپیدوتی (در کانسنگ)، آرزیلی (در سنگهای میزبان آتشفشانی) است.

- میزان تیتانیم و وانادیم در مگنتیت‌های منطقه پایین بوده و منشأ کایرونا را در تشکیل کانسار رد می‌کند.

- هماتیت در دو نسل اولیه و ثانویه (حاصل هوازدگی مگنتیت) ایجاد گردیده و فازهای سولفیدی (غالباً شامل پیریت و کالکوپیریت و مقادیر اندکی پیروتیت، کولیت) پس از تشکیل مگنتیت به وجود آمده‌اند.

- بافت غالب در کانسنگ کورکورا-۱، بافت جانیشینی است. بافتهای تیغه‌ای در هماتیت، بافت کلوفریم و لانه زنبوری در گوتیت و بافت دانه پراکنده، توده‌ای در مگنتیت مشاهده

جدول ۲. نتایج آنالیز میکروپروب کانیهای اکسیدی (مگنتیت، هماتیت، گوتیت) در کانسار آهن کورکورا-۱

(Mag: مگنتیت، Hem: هماتیت، Gth: گوتیت). علائم اختصاری کانیها از Deer et al. (1992). همگی اکسیدها بر حسب % وزنی است.

**Table 2.** The results of microprobe analysis of oxide minerals (magnetite, hematite, goethite) in Korkora-1 iron deposit (Mag: magnetite, Hem: hematite, Gth: goethite). Abbreviations of minerals from Deer et al. (1992). All the oxides are in wt%.

Point	Mineral	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	CuO	ZnO
1	Gth	2.47	0	0	78.84	0.04	0.43	0.32	0.105	0.014	0	0.115	0	0
2	Gth	2.34	0	0.44	77.77	0.04	0.44	0.38	0.202	0.01	0	0.012	0	0
3	Mag	0.98	0.043	0.41	92.64	0	0.09	0.47	0	0.023	0	0	0	0.039
4	Hem	0.64	0.03	0.31	92.02	0.02	0.06	0.33	0	0.029	0.004	0.025	0	0
6	Hem	0.89	0.04	0.35	92.52	0.01	0.05	0.37	0	0.03	0.004	0	0.005	0.034
7	Hem	0	0.042	0.26	92.12	0.01	0.05	0.25	0	0.029	0.003	0	0	0
9	Mag	0.04	0.068	0.99	91	0.4	3.26	0.26	0	0.064	0	0	0.006	0
10	Mag	0.08	0.09	0.43	89.82	0.38	3.03	0.3	0	0.063	0	0.001	0	0
11	Mag	0.05	0.298	0.53	88.26	0.63	3.56	0.14	0	0.101	0.031	0	0	0
12	Mag	0.36	0.398	0.01	92.63	0.03	0.01	0.24	0.006	0.049	0	0	0	0
13	Mag	0.09	0.297	0.7	88	0.52	3.28	0.15	0	0.087	0.008	0	0.018	0
14	Mag	0.12	0.209	0.48	88.26	0.57	3.21	0.13	0	0.101	0.009	0.015	0	0.003
15	Mag	0.12	0.315	1.22	87.39	0.49	3.43	0.14	0.007	0.098	0.007	0.002	0.015	0.01
16	Mag	0.07	0.183	0.53	88.07	0.56	3.3	0.09	0	0.099	0.009	0	0	0.012
18	Mag	0.25	0.251	0.73	90.65	0.22	1.75	0.19	0	0.073	0.002	0	0.031	0
19	Mag	0.01	0.19	2.12	85.86	0.39	5.68	0.24	0	0.069	0.005	0.011	0.024	0.05
22	Mag	0.01	0.305	2.45	83.82	0.56	6.67	0.12	0	0.061	0.006	0.017	0	0.089
23	Mag	0.01	0.279	3.12	84.32	0.59	6.51	0.1	0	0.065	0.036	0	0	0.002
24	Mag	0.03	0.378	0.66	85.63	0.69	6.12	0.12	0	0.069	0.005	0.037	0.007	0.026
25	Mag	0.48	0.227	0.39	91.98	0.02	0.23	0.24	0	0.069	0.004	0.031	0	0.039
26	Mag	0.05	0.024	0.9	86.64	0.62	5.7	0.11	0	0.04	0.002	0.007	0	0.027
27	Mag	0.06	0.018	1.34	86.17	0.53	5.88	0.12	0	0.069	0	0.022	0.023	0.059
28	Mag	0.06	0.011	1.31	86.07	0.54	5.89	0.09	0	0.065	0.051	0	0	0
29	Gth	4013	0.013	1.38	75.11	0.28	0.1	0.17	0	0.019	0	0	0.008	0.001
30	Mag	0.03	0.006	1.21	85.59	0.53	5.91	0.12	0	0.069	0	0.014	0.018	0.003
31	Mag	0.04	0.012	0.79	86.06	0.52	5.45	0.15	0	0.054	0.006	0	0.013	0.032
33	Gth	4.32	0	0.09	80.66	0.01	0.09	0.63	0.168	0.043	0.003	0.023	0	0
34	Mag	0.03	0.031	1.57	88.24	0.67	3.33	0.08	0	0.062	0.002	0.038	0	0.034
35	Mag	0	0.025	0.62	88.7	0.63	3.4	0.08	0	0.112	0.001	0.017	0	0

### قدردانی

از شرکت صابور به خاطر پشتیبانی در انجام این کار تحقیقاتی، سپاس‌گزاری می‌شود. از مدیران و کارشناسان شرکت معادن سرمک، به‌ویژه آقای مهندس شیخی به‌خاطر همکاری و مساعدتشان تشکر و قدردانی می‌شود. از آزمایشگاه دانشگاه نیوبرنزویک به خاطر انجام EPMA و آقای دکتر دیوید لنتز نیز به خاطر حمایت از این پژوهش تشکر می‌شود.

- براساس مطالعات مینرالوگرافی کانسار، اثری از ایلمنیت، روتیل و اسپینل داخل آن کانسنگ دیده نشد. نبود این کانیه‌ها می‌تواند به علت (۱) پایین بودن غلظت عناصر Ti و Mg در ماگمای اولیه باشد. (۲) حرارت تشکیل کانسار پایین بوده است. چون کانسارهایی با کانیه‌های ذکر شده در دماهای بالای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شوند. (۳) کانسار به سرعت سرد شده است و کانیه‌های فوق فرصت تبلور نیافته‌اند.

### References

- Azizi Shotorkheft, H., 2003. Petrogenesis of contact metamorphic rocks and related Fe skarn in Shahrak area, east of Takab. M.Sc. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran, 134 pp. (in Persian with English abstract)
- Barton, M.D. and Johnson, D.A., 1996. An evaporitic-source model for igneous-related Fe-oxide (REE-Cu-Au-U) mineralization. *Geology*, 24(3): 259-262.
- Barton, M.D. and Johnson, D.A., 2000. Alternative brine sources for Fe-oxide (-Cu-Au) systems: Implications for hydrothermal alteration and metals. In: T. M. Porter (Editor), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-gold and Related Deposits: A Global Perspective. V. 1*, Australian Mineral Foundation Inc, Adelaide, pp. 43-60.
- Beaudoin, G., Dupuis, C., Gosselin, P. and Jebrak, M., 2007. Mineral chemistry of iron oxides: application to mineral exploration. In: C.J. Andrew (Editor), *Ninth Biennial SGA meeting, SGA, Dublin*, pp. 497-500.
- Bonyadi, Z., Davison, G.J., Mahrabi, B., Meffre, S. and Ghazban, F., 2011. Significance of apatite REE depletion and monazite inclusion in the brecciated Se-Chahun iron oxides-apatite deposit, Bafq district, Iran: Insights from paragenesis and geochemistry. *Chemical Geology*, 281(3-4): 253-269.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., 1992. *An introduction to rock forming minerals*. 2<sup>nd</sup> edition, Longman, Harlow, Wiley, New York, 712 pp.
- Einaudi, M.T., Meinert, L.D. and Newberry, R.J., 1981. Skarn deposits. *Economic Geology*, 75th Anniversary, 1987: 317-391.
- Frietsch, R., 1973. The origin of the Kiruna iron ores. *Geology. Foren, Stockholm Fort*, 95(4): 375-380.
- Frietsch, R., 1984. On the magmatic origin of iron ores of Kiruna type: discussion. *Economic Geology*, 79(8): 1949-1951.
- Frost, R.B., 1991. Stability of oxide minerals in metamorphic rocks. *Reviews in Mineralogy*, 25(1991): 469-487.
- Geijer, P., 1931. The iron ores of the Kiruna type: Geological distribution, geological characters, and origin. *Sveriges geologiska undersökning, Serie C, Avhandlingar och uppsatser 367, Gen.-stab. lit. anst. i distr, Stockholm*, 39 pp.
- Gosselin, P., Beaudoin, G. and Jebrak, M., 2007. Application of the geochemical signature of iron oxides to mineral exploration. *GAC-MAC Annual Meeting Program with Abstract [CD-ROM]*.
- Guilbert, J.M. and Park, C.F., 1986. *The Geology of Ore Deposits*. W.H. Freeman and Company, Oxford and New York, 985 pp.
- Hallaji, A., 1991. Study of REE mineralogy and origin of Golgohar Fe deposit (Sirjan-Kerman), M.Sc. Thesis, Tarbiat Moalem University, Tehran, Iran, 183 pp.
- Jami, M., 2005. Geology, geochemistry and evolution of the Esfordi phosphate-iron deposit, Bafq Area, central Iran. Unpublished Ph.D. thesis, University of New South Wales, Australia, 355 pp.
- Kwak, T.A., 1994. Hydrothermal alteration in carbonate-replacement deposits, ore skarns and distal equivalents. In: D.R. Lentz (Editor), *Alteration and Alteration Processes Associated with Ore-Forming Systems. Geological Association of Canada, Short Course Notes, St. Johns, Newfoundland*, 11: 381-402.
- Loberg, B.E. and Horndahl, A.K., 1983. Ferried geochemistry of Swedish Precambrian iron ores. *Mineralium Deposita*, 18(3): 487-504.
- Marschik, R. and Spikings, R., 2008. Geochronology and stable isotope signature of alteration related to hydrothermal magnetite

- ores in Central Anatolia, Turkey. *Mineralium Deposita*, 43(1): 111–124.
- Miri, M., 2011. Petrological and geochemical studies of igneous rocks of Tekyeh Bala (southeastern Kordestan) with special view on Fe mineralization. M.Sc. Thesis, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, 142 pp.
- Murray, J.W., 1979. Iron oxides. In: R.G. Burns (Editor), *Reviews in Mineralogy* 6, Marine Minerals. Mineralogical Society of America, Washington, D.C., pp. 47–98.
- Nystrom, J.O. and Henriquez, F., 1994. Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: Ore textures and magnetite geochemistry. *Economic Geology*, 89: 820–839.
- Pournik, P., 2007. Geological-Mining and Evaluation report on Fe deposit of Shahrak. 350 pp. (in Persian)
- Rahgoshay, M., Mackizadeh, M.E., Amoei Ardakani, T. and Shafaei Moghaddam, H., 2008. Study of geochemistry of garnet-vesuvianite-wollastonite-pyroxene assemblages in Hosh skarns, west of Taft (Yazd province). *Crystallography and Mineralogy Magazine of Iran*, 16(1): 31–48. (in Persian with English abstract)
- Ray G.E., Lefebure D.V., 2000. A synopsis of iron oxide  $\pm$  Cu  $\pm$  Au  $\pm$  P  $\pm$  REE deposits of the Candelaria-Kiruna-Olympic Dam family. British Columbia Ministry of Energy and Mines, *Geological Fieldwork* 1999, Paper 2000-1: 267–272.
- Razjigaeva, N.G. and Naumova, V.V., 1992. Trace element composition of detrital magnetite from coastal sediments of Northwestern Japan Sea for provenance study. *Journal of Sedimentary and Petrology*, 62(5): 802–809.
- Schwartz, M.O. and Melcher, F., 2004. The Falémé iron district, Senegal. *Economic Geology*, 99(5): 917–939.
- Sheikhi, R., 1995. Economic geology study of Shahrak Fe deposit, east of Takab. M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 161 pp. (in Persian with English abstract)
- Whitney, D.L. and Evans, B.V., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187.



## Mineralogy, chemistry of magnetite and genesis of Korkora-1 iron deposit, east of Takab, NW Iran

Mohammad Maanijou\* and Rahimeh Salemi

Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Submitted: June 10, 2013

Accepted: Oct. 21, 2013

**Keywords:** *Mineralogy, magnetite chemistry, iron deposit, skarn, Korkora-1, Takab.*

### Introduction

There is an iron mining complex called Shahrak 60 km east of Takab town, NW Iran. The exploration in the Shahrak deposit (general name for all iron deposits of the area) started in 1992 by Foolad Saba Noor Co. and continued in several periods until 2008. The Shahrak deposit comprising 10 ore deposits including Korkora-1, Korkora-2, Shahrak-1, Shahrak-2, Shahrak-3, Cheshmeh, Golezar, Sarab-1, Sarab-2, and Sarab-3 deposits (Sheikhi, 1995) with total 60 million tons of proved ore reserves. The Fe grade ranges from 45 to 65% (average 50%). The ore reserves of these deposits vary and the largest one is Korkora-1 with 15 million tons of 55% Fe and 0.64% S. The Korkora-1 ore deposit is located in western Azarbaijan and Urumieh-Dokhtar volcanic zone, at the latitude of 36°21.8', and longitude of 47°32'.

### Materials and methods

Six thin-polished sections were made on magnetite, garnet, and amphibole for EPMA (Electron Probe Micro Analysis). EPMA was performed using a JEOL JXA-733 electron microprobe at the University of New Brunswick, Canada, with wavelength-dispersive spectrometers.

### Results and discussion

Outcropped units of the area are calc-alkaline volcanics of rhyolite, andesite and dacite and carbonate rocks of Qom Formation in which intrusion of diorite to granodiorite and quartzdiorite caused contact metamorphism, alteration plus skarnization and formation of actinolite, talc, chlorite, phlogopite, quartz, calcite, epidote and marblization in the vicinity of the ore deposit.

Iron mineralization formed at the contacts of andesite and dacite with carbonates in Oligo-Miocene. The study area consists of skarn, metamorphic rocks, and iron ore zones. The shape of the deposit is lentoid to horizontal with some alteration halos. The ore occurred as replacement, massive, disseminated, open-space filling and breccia. The ore minerals of the deposit include low Ti-magnetite (0.04 to 0.2 wt % Ti), minor apatite, and sulfide minerals such as pyrite and chalcopyrite. Magnetite is the most important mineral and has 0.2 to 4 mm grain size and partly transformed into hematite, limonite and goethite. In some places, magnetite can be seen as euhedral grains in hand specimen. Supergene minerals such as chalcocite, malachite, azurite, and covellite are also present. Hematite formed as primary and secondary types in which primary type occurred in deeper parts of the ore body along with magnetite and has lamellar texture with up to 0.2 mm grain size. Meanwhile, secondary type of hematite formed from martitization along magnetite grain boundaries and fractures. In the surface area of the deposit, ore minerals strongly altered to mixtures of oxide and hydroxide minerals (ochre) like goethite, hematite, limonite and lepidochroite which changed the color of the ore body to yellow, deep orange, red and brown. Pyrite is the most important sulfide mineral and formed in three stages. In the first stage, pyrite occurred with magnetite and has 0.1 to 0.3 mm subhedral to anhedral grains which altered to oxide and hydroxide minerals. At the second stage, pyrite has 0.2 to 1 mm euhedral grains, occurred between the magnetite and gangue minerals and converting to chalcopyrite. At the third stage, pyrite with magnetite, calcite and quartz filled fractures as open-space fillings and are pretty unaltered.

\*Corresponding author's email: mohammad@basu.ac.ir

The skarn zone includes garnet, pyroxene, secondary calcite, epidote, and chlorite and the metamorphic zone includes marble. Sericitization, silicification, calcitization, chloritization-epidotization, argillitization, propylitization and actinolitization are the important alterations in the area from which chloritization-epidotization and calcitization in the ore and propylitic alteration in the volcanics are dominant.

The EPMA analytical results on 30 points on magnetite and hematite suggest that the amount of Ti and V (0.004 wt % and 0.002 wt % in average, respectively) are low in contrary to Mn and Al (0.33 wt % and 5.32 wt % in average, respectively). Therefore, it fits in the skarn ore deposit domain in Ni/(Cr + Mn) versus Ti + V and Ca + Al + Mn versus Ti + V discrimination diagrams of iron ore deposits (Beaudoin et al., 2007). High Mn in the rock samples of Korkora-1 can be resulted from substitution of Fe<sup>+2</sup> by Mn<sup>+2</sup> in magnetite structure that can be a sign of hydrothermal skarn. Titanium, Mn, V and Zn show a positive correlation and Al, Cu, Mg, P, Si, Ca, Ni and Cr show a negative correlation with Fe. According to the chemistry of magnetite and plotting them on V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> versus TiO<sub>2</sub> and V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> versus Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diagrams, it can be recognized that the samples of Korkora-1 deposit resemble exoskarn magnetite of Goto deposit. The analysis of goethite of Korkora-1 show the amount of 2.5 to 4 wt % SiO<sub>2</sub>, 76 wt % Fe, and Ni (110 ppm) without Ti and Cr in its structure.

Mineralogical and geochemical evidence from ore, occurrence of iron in contact with carbonates and skarn mineralogy such as garnet, pyroxene, secondary calcite, epidote and chlorite suggest iron skarn genesis for Korkora-1 deposit. Fluids generated from intrusive bodies like diorite and quartz-diorite with variations in physicochemical conditions, produced skarn in contact with carbonates and volcanic rocks. The

heat from intrusive bodies caused recrystallization of carbonates and formed marbles in the footwall of the deposit. Meteoric water has also less important contribution in the ore-forming fluids. Fluid inclusion studies show existing of two types of fluids, a low salinity (10 wt % NaCl equiv.) and a medium salinity (25 to 30 wt % NaCl equiv.) fluid. Mixing magmatic and meteoric waters makes decreasing in the temperatures and deposition of ore fluids. The Korkora-1 deposit formed in four stages: 1) intruding the intrusive bodies, 2) entering Fe and SiO<sub>2</sub> into Qom carbonates and forming calc-silicates, 3) mixing magmatic and meteoric fluids, hydrolysis of calc-silicates, consuming H<sup>+</sup>, instability of Fe complexes and deposition of iron oxides, 4) retrograde alterations of hydrous and non-hydrous calc-silicates with low temperature and high fO<sub>2</sub> fluids and forming chlorite, calcite, clay minerals and hematite.

#### Acknowledgements

We gratefully thank Mr. Reza Sheikhi from Saba Noor Co. who kindly helped us during the research. We also thank Professor David Lentz from University of New Brunswick for advising and supporting the research.

#### References

- Sheikhi, R., 1995. Economic geology study of Shahrak Fe deposit, east of Takab. M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 161 pp. (in Persian with English abstract)
- Beaudoin, G., Dupuis, C., Gosselin, P. and Jebrak, M., 2007. Mineral chemistry of iron oxides: application to mineral exploration. In: C.J. Andrew (Editor), Ninth Biennial SGA meeting, SGA, Dublin, pp. 497–500.