Petrography and geochemistry of Ebrahim- Abad iron ore deposit (northwest Divandere, Kurdistan Province)

Afshin Akbarpour * and Morteza Kalatbari Jafari
Mineralogy and Applied Exploration department, Research institute earth sciences, GSI, Tehran, Iran

Abstract
The Ebrahim-Abad iron deposit, consisting of Paleozoic metamorphic rocks, Mesozoic plutonic bodies and metasomatic rocks, occurred in the northwest of Divandere and the Sanandaj- Sirjan structural zone.The metamorphic rocks including micaschist and marble are cut by plutonic intrusive rocks (granodiorite to milonitic and cataclastic granite). Mica schist and associated detrital sediments have been changed in the low-grade greenschist facies. Marbles and plutonic rocks have also undergone cataclastic metamorphism along shear zones. Metasomatic rocks are garnet- amphibolite to garnititic skarn composition crosscutting by magnetic veins. Iron mineralization as magnetite, chiefly occurred as lenses, veins and veinlets as well as dissimented grains. Massive, dissiminated, replacement, and network textures are the main textures of this deposit. Magnetite developed as amorphous, fine (less than 1 mm), or dissiminated. Chlorite, trermolite- actinolite, epidote, garnet, and quartz with minor clay minerals and calcite are the gangue minerals of the studied ore deposit. Iron oxide grade varies from 14 to 47 FeO%. Fe shows a negative correlation with S, and Si, Al, Mg, Mn, Ca, K oxides but positive correlation with Cr and Co. Ti/Ni+Cr and Ni/Cr diagrams point to the hydrothermal origin of the iron ore under study. The variations in the cobalt, nickel, vanadium, and titanium contents indicate that the skarn- hydrothermal origin of the Ebrahim- Abad iron deposit. It seems that the iron oxide remobilized by hot hydrothermal fluids originated from intrusive bodies and redeposited in marble, mica schist, greenschist, and skarn.

Key words: Fe-Mineralization, Geochemistry, Hydrothermal, Skarn, Ebrahim-Abad, Kurdistan

* afshinakbarpour@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.22108/ijp.2021.124932.1201

پتـــــرولوژی، سال یازدهم، شماره چهل و چهارم، زمستان ۱۳۹۹، صفحهٔ ۵۷- ۷۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۶ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۳۰

مقالهٔ پژوهشی

سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی کانسار آهن ابراهیم‌آباد (شمال‌باختری دیواندره، کردستان)

افشین اکبرپور * و مرتضی خلعتبری جعفری

گروه کانی شناسی و اکتشافات کاربردی، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

چکیده

کانسار آهن ابراهیم‌آباد در شمال‌باختری پهنهٔ ساختاری سنندج- سیرجان و شهرستان دیواندره جای دارد و دربردارندهٔ سنگ‌های دگرگونی پالئوزوییک، توده‌های آذرین درونی مزوزوییک و سنگ‌های متاسوماتیک است. سنگ‌های دگرگونی شامل میکاشیست و مرمر هستند که توده‌های آذرین درونی با ترکیب گرانودیوریت تا گرانیت کم و بیش کاتاکلاستیک و میلونیتی آنها را قطع کرده‌اند. برپایهٔ بررسی‌های سنگ‌نگاری، میکاشیست و رسوب‌های آواری همراه در حد رخسارهٔ شیست‌سبز دگرگون شده‌اند. مرمرها و توده‌های آذرین درونی نیز در امتداد پهنه‌های برشی دچار دگرگونی کاتاکلاستیک شده‌اند. سنگ‌های متاسوماتیک، ترکیب اسکارن گارنت- آمفیبول‌دار تا گارنتیت دارند و رگچه‌های منیتیت‌دار آنها را قطع کرده‌اند. کانی‌سازی آهن در این محدوده بیشتر به‌صورت منیتیت‌هایی به شکل‌های عدسی، رگه- رگچه‌ای و دانه پراکنده است. این کانسار بافت پراکنده، توده‌ای، جانشینی و شبکه‌ای دارد. منیتیت به‌صورت بی‌شکل، ریز (کمتر از ۱ میلیمتر) و یا به‌صورت پراکنده پدید آمده است. کلریت، ترمولیت- اکتینولیت، اپیدوت، گارنت و کوارتز از کانی‌های باطله هستند که گاهی همراه با کانی‌های رسی و کلسیت یافت می‌شوند. مقدار آهن در کانسنگ از ۱۴ تا ۴۷ درصدوزنی تغییر می‌کند. عنصر آهن با عنصر S و اکسیدهای SiO_2، Al_2O_3، MgO، CaO، MnO و K_2O همبستگی منفی و با کروم و کبالت همبستگی مثبت نشان می‌دهد. تفسیر نمودارهای نسبت Ti/Ni+Cr و Ti/V نشان‌دهندهٔ خاستگاه گرمابی این کانسار است. داده‌های زمین‌شیمیایی از کانسنگ منیتیت و تغییرات عنصرهای کبالت، نیکل، وانادیم و تیتانیم در آن نشان‌دهندهٔ خاستگاه اسکارنی- گرمابی است. سیال‌های داغ پدیدآمده از توده‌های آذرین درونی آهن را جابجا می‌کنند و در فاصلهٔ میان واحدهای دگرگونی مانند مرمر، میکاشیست، شیست‌سبز و اسکارن ته‌نشست کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: کانه‌زایی آهن، زمین‌شیمی، سیال گرمابی، اسکارن، ابراهیم‌آباد، کردستان

* afshinakbarpour@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.22108/ijp.2021.124932.1201

مقدمه

از دیدگاه فراوانی، عنصرآهن از مهم‌ترین فلزها در ترکیب پوسته و اصلی‌ترین عنصر در ترکیب هستهٔ زمین است. کانسار آهن ابراهیم‌آباد، از توابع شهرستان دیواندره، در استان کردستان، میان "۴۳'۵۶ °۳۵ تا "۵۱ '۵۶ °۳۵ عرض شمالی و"۰۶'۵۰ °۴۶ تا "۲۶ '۵۰ °۴۶ طول خاوری در شمال‌باختری پهنهٔ سنندج- سیرجان جای گرفته است. استان کردستان، شمار بسیاری کانسار سنگ آهن دارد که از میان آنها می‌توان سقز (شمال‌صاحب، حسن‌سالاران، درگاه‌شیخان و قهرآباد)، باختر مریوان (آسن‌آباد) باختر و شمال‌باختری دیواندره (آلیجان، توکلان و ظفرآباد)، شمال بیجار (شهرک و شریف‌کندی)، جنوب دهگلان (میمون‌آباد و کلکه) و خاور قروه (گلالی، باباعلی، خسروآباد، چرمه‌له، هزارخانی، میمنت آباد، تکیه) را نام برد (Ghorbani, 2008; Zamanian, 2016). کانی‌سازی آهن در مناطق دیواندره، قروه، همدان بیشتر از نوع آتشفشانی–رسوبی و یا اسکارنی است. Ghorbani (۲۰۰۸)، Zamanian و همکاران (۲۰۱۶) و Paydar و Rostami و همکاران (۲۰۱۰) خاستگاه کانسار پیربباعلی همدان را اسکارنی دانسته‌اند.کانسارهای گرمابی آهن به شکل رگه‌ای و یا عدسی شکل و در پی فعالیت سیال‌های گرمابی در ژرفای متفاوت پدیدار می‌شوند (Azizi *et al.*, 2009). مادهٔ معدنی اصلی در این نوع از کانسارها، منیتیت و هماتیت است (Barati and Gholipoor, 2014). کانسار آهن ابراهیم‌آباد، با همراهی کانی‌های منیتیت و مقادیر کمتری هماتیت و گوتیت به‌صورت پراکنده و عدسی شکل در سنگ میزبان (میکاشیست و مرمر) این منطقه رخنمون دارند. این کانسار اکنون در مرحلهٔ اکتشاف مقدماتی است و عیار و تناژ آن ارزیابی نشده است. این نوشتار، برپایهٔ بررسی‌های میدانی، سنگ‌شناسی و زمین‌شیمیایی اکسیدهای اصلی و عنصرهای فرعی و کمیاب منیتیت کانسار ابراهیم‌آباد آماده شده است. ارتباط زمین‌شیمی و تغییرات عنصرها با خاستگاه کانی‌سازی نیز در این مقاله بررسی شده است.

زمین‌شناسی منطقه

همان‌گونه‌که گفته شد، منطقهٔ بررسی‌شده بخشی از پهنهٔ سنندج- سیرجان است که همراه با کمان ماگمایی ارومیه- دختر و پهنهٔ زاگرس، بخش ایرانی کمربند کوهزایی تتیس یا آلپ- هیمالیا را تشکیل داده است (شکل ۱- A). پیدایش این پهنه‌های ساختاری، پیامد باز و بسته‌شدن اقیانوس نئوتتیس بوده است. پهنهٔ سنندج- سیرجان در دورهٔ تریاس- ژوراسیک، حوضه‌ای رسوبی موازی زاگرس بوده است که در بخشی از آن رسوب‌های پلیتی، پلیتی- آهکی و گاهی گریوکی و در بخشی دیگر، رسوب‌های آهکی و آذرآواری ته‌نشست می‌شده‌اند که گاه با گدازه‌های آتشفشانی همراه بوده‌اند (Braud and Bellon, 1974; Moinvaziri *et al.*, 2014). سنگ‌های آتشفشانی بیشتر ترکیب اسیدی- حد واسط و کمتر بازیک داشته‌اند. این سنگ‌ها در پایان ژوراسیک تحت‌تأثیر فاز کیمرین پسین چین خورده و دچار دگرگونی ناحیه‌ای ضعیفی شده‌اند (Mohajjel *et al.*, 2003; Azizi *et al.*, 2011; Azizi *et al.*, 2013; Moinvaziri et al., 2014). در ژوراسیک پایانی و نیز در کرتاسه، زنجیری از توده‌های آذرین درونی با ترکیب کالک‌آلکالن و آلکالن شامل گابرو، دیوریت، کوارتزدیوریت، گرانودیوریت، گرانیت همراه با مونزونیت و سیینیت در این پهنه نفوذ کرده است (شکل ۱- B) و درجهٔ زمین‌گرمایی منطقه را

افـزایش داده اسـت و ازایـن‌رو، سـنگ‌هـای اطـراف آنهـا دچـار دگرگـونی همبـری شـده‌اند (Baharifar *et al.*, 2004). فازهـای آذریـن درونـی به‌صـورت متنـاوب عمـل کـرده‌انـد، به‌گونه‌ای‌کـه برخـی تزریقـات تـا کرتاسـه بـالایی- پالئوسـن ادامـه داشـته‌اند. ازایـن‌رو، قلمـروی سنی برای تـوده‌هـای آذریـن درونـی در پهنـهٔ سـنندج- سـیرجان، از ژوراسـیک تـا کرتاسـه بـالایی- پالئوسـن دیـده مـی‌شـود (Braud *et al.*, 1974; Baharifar *et al.*, 2004; Masoudi *et al.*, 2002; Ahmadi-Khalaj *et al.*, 2007; Shahbazi *et al.*, 2010; Azizi *et al.*, 2011). کانسـار آهـن ابـراهیم‌آبـاد شـامل شـماری رخنمـون پراکنـده اسـت. سـنگ‌هـای دربرگیرنـدهٔ ایـن کانسـار را واحـدهای دگرگـونی و رسـوبی پالئوزوییـک همـراه بـا تـودهٔ آذریـن درونـیِ گرانیتی تشکیل مـی‌دهـد. کـانی‌سـازی آهـن، به‌صـورت عدسـی‌هـایی منقطـع بـا ابعـاد متفـاوت و بـا رونـد شـمال‌باختری- جنوب‌خـاوری دیـده می‌شـود. ایـن کانی‌سـازی بـا ضـخامت‌هـایی از ۰/۵ تـا ۱/۵ متـر بـه درازای ۱۰۰ متـر و عیـار ۱۴ تـا ۴۷ درصـدوزنی آهـن در محـدوده‌ای بـه بزرگـی ۰/۰۳ کیلومترمربـع پراکنـده شـده اسـت. سـنگ‌نگاری واحـدهای زمـین‌شناسـی میزبـان کانسـار آهـن ابـراهیم‌آبـاد در ادامـه شـرح داده شده است.

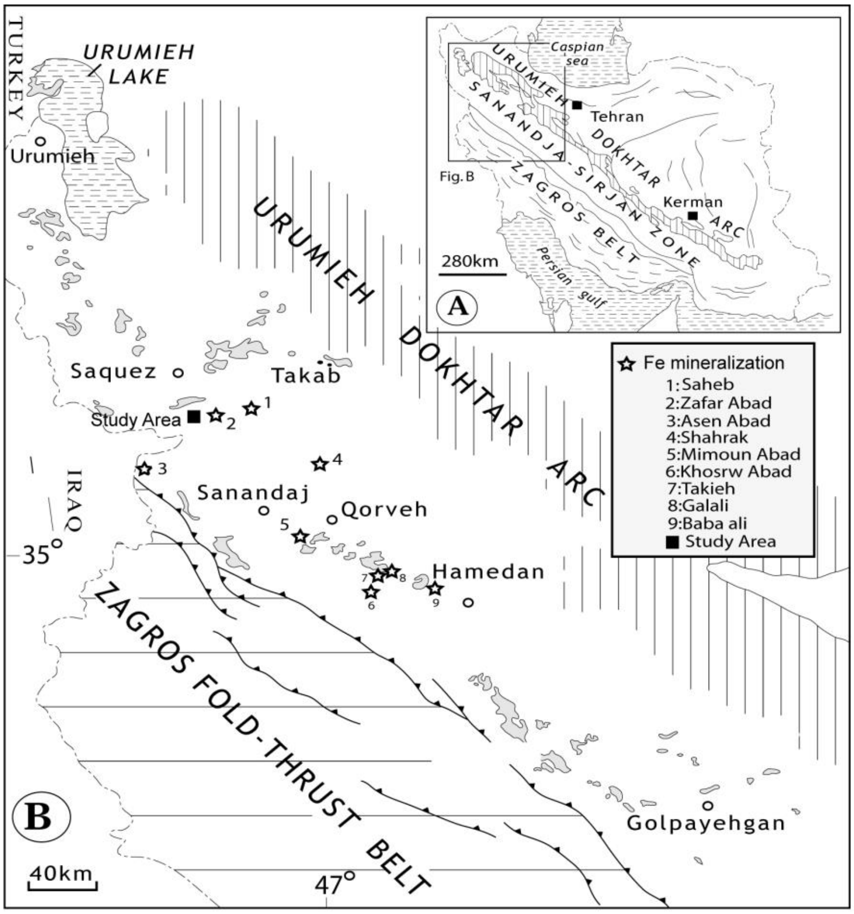
روش انجام پژوهش

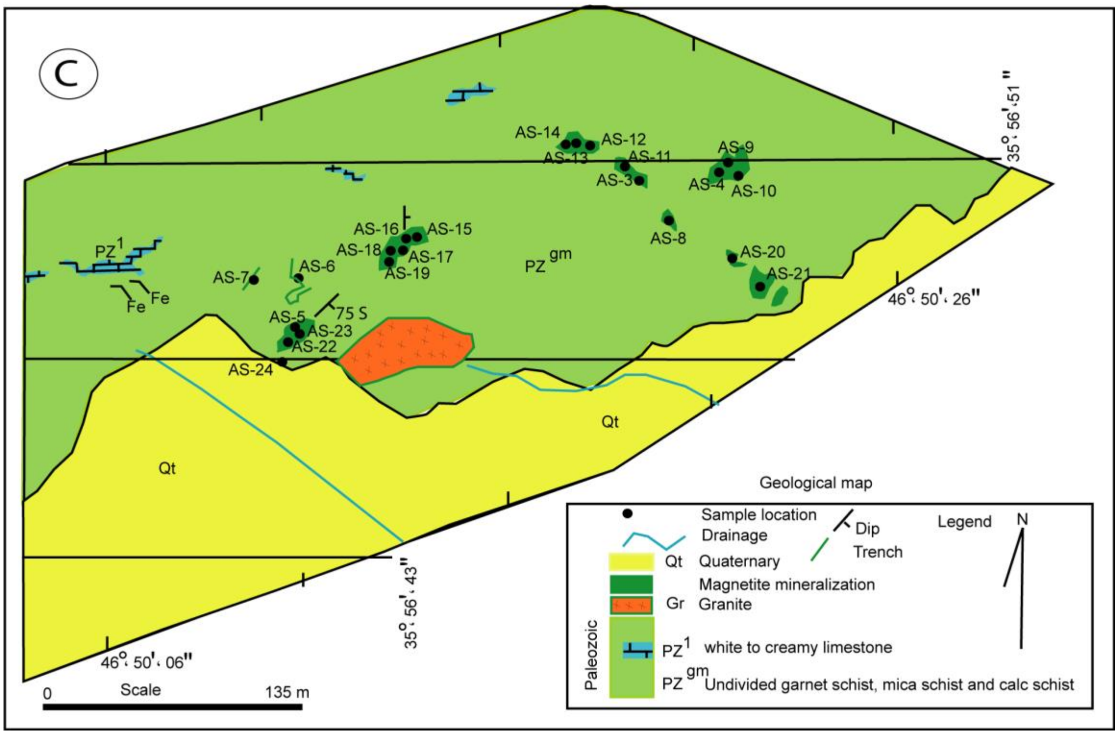
در برداشـت‌هـای صـحرایی، شـمار ۲۱ نمونـه از کانسـنگ منیتیـت و ۱۵ نمونـه از سـنگ‌هـای میزبـان کانسار برای انجام بررسی‌های سنگ‌نگاری و کانـه‌نگاری برداشت شدند. اکسیدهای اصلی و عنصـرهای فرعـی در شرکت زرآزما زنگان (شعبه زنجان شرکت زرآزما) تجزیه شدند. برای این کار، شمار ۲۱ نمونه با به‌کارگیری روش ذوب قلیـایی بـا لیتـیم متـابورات (Lithium Borate Fusion) ذوب شدند. محصول ذوب‌شده با اسید نیتریک رقیق حـل شـد و بـا دسـتگاه ICP-OES خـوانش شـد. آستانهٔ آشکارسـازی ۰/۰۱ درصـد بـوده اسـت. شـمار ۷ نمونه نیز برای اندازه‌گیری عنصرهای خـاکی کمیـاب و کمیـاب، بـا روش تیـزاب سـلطانی (Aqua Regia) آماده‌سـازی و بـا دسـتگاه ICP-OES مـدل Varian در شرکت زرآزمای زنجان تجزیه شدند.

سنگ‌نگاری واحدهای میزبان

نمونـه‌هـای بررسی‌شـده ترکیـب سـنگ‌شناسـی میکاشیسـت، اسـپاری‌دولومیتی، مرمـر، گرانودیوریـت تـا گرانیـت کـم و بـیش کاتاکلاسـتیک- میلـونیتی و متاسـوماتیک دارنـد. سـنگ‌هـای متاسـوماتیک ترکیـب اسـکارن گارنـت- آمفیبـول‌دار تـا گارنتیـت دارنـد و رگچه‌های منیتیت‌دار آنها را قطع کرده‌اند.

مرمر: در پـی تبلـور دوبـاره، مرمـر بافـت نخسـتین خـود را از دسـت داده اسـت و همـهٔ آن از کـانی‌هـای نوظهـور کربناتـه تشـکیل شـده اسـت. رگچـه‌هـای پرشـده از اسـپاری هـم در آنهـا یافـت می‌شـوند کـه ابعـادی بـزرگ‌تـر از کـانی‌هـای کربناتـهٔ زمینـه دارنـد. مرمـر بافـت گرانوبلاسـتیک تـا چلیپـایی (Decussate) دارد (شـکل‌های ۲- A و ۲- B). در ایـن نـوع بافـت، کـانی‌هـایی بیشـتر مشـارکت دارنـد کـه سـطح انـرژی آنیزوتروپـی قـوی دارنـد؛ ماننـد کربنـات، میکـا، پیروکسـن، یـا هورنبلنـد (Winter, 2014). بلورهـای کـوارتز به‌صـورت منفـرد و یـا مجتمـع، نزدیـک بـه ۱۰ تـا ۱۵ درصـدحجمیِ مقـاطع میکروسـکوپی را دربـر گرفتـه اسـت (شـکل ۲- A). انبوهـه‌هـایی از کلریـت نیـز در آنهـا دیـده شـدند. کـانی‌هـای کربناتـه جهت‌یـافتگی دارنـد و برگـوارگی را پدیـد آورده‌انـد. خـم‌شـدگی ماکـل‌هـا در کـانی‌هـای کربناتـه دیـده مـی‌شـود و مـی‌تـوان آن را پیامـد تحمـل دگرگـونی دینامیک دانست.



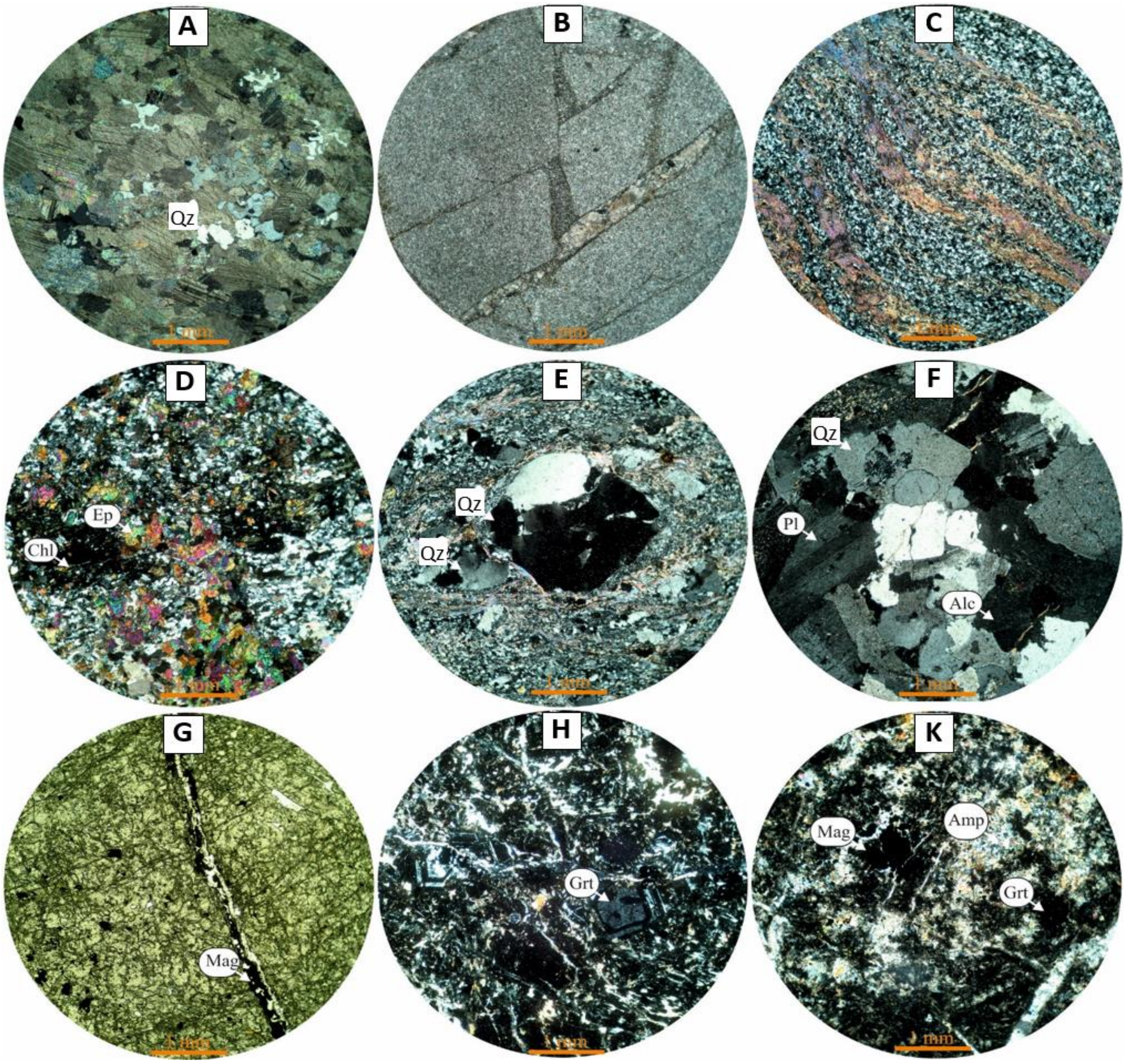


شکل۱- A) جایگاه محدودهٔ کانسار آهن ابراهیم‌آباد در شمال‌باختری دیواندره (کردستان) در نقشهٔ ایـران (Stöcklin, 1968)؛ B) موقعیـت محدودهٔ بررسی‌شده در پهنه‌های ساختاری ایران (Stöcklin, 1968)؛ C) نقشهٔ ساده‌شدهٔ محدودهٔ بررسی‌شده در مقیاس ۱:۱۰۰۰

میکاشیست: در میکاشیست برگوارگی دربردارندهٔ حوضه‌های برگوارگی و میکرولیتون است (شکل ۲- C). حوضه‌های برگوارگی برگوارگی پیوسته دارند که به‌خرج کانی‌های مسکوویت و به مقدار اندک بیوتیت تشکیل شده‌اند. حوضه‌های برگوارگی چین خورده‌اند و چین‌ها نیز دوباره دچار چین‌خوردگی شده و سیمای کنگره‌ای (Crenulation) یافته‌اند. این پدیده را می‌توان پیامد تأثیر دگریختی (Deformation) در دست‌کم دو فاز دانست. میکرولیتون‌ها بیشتر از بلورهای نوظهور کوارتز و به مقدار ناچیز فلدسپار ساخته شده‌اند که به‌صورتی متناوب با حوضه‌های برگوارگی قرار گرفته و چین خورده‌اند. تناوبی از حوضه‌های برگوارگی و میکرولیتون‌ها در میکاشیست‌های منطقهٔ بررسی‌شده نشان می‌دهد سنگ رسوبی اولیه از تناوبی از لایه‌های نازک آواری و شیل ساخته شده است. با توجه به فراوانی مسکوویت و فراوانی اندک بیوتیت و نبود گارنت در حوضه‌های برگوارگی، محیط دگرگونی آنها هم‌ارز با پهنهٔ بیوتیت در دگرگونی بارووین و هم‌ارزِ رخسارهٔ شیست‌سبز درجه پایین شمرده می‌شود (Winter, 2014).

گرانیت: مقاطع میکروسکوپی توده‌های آذرین درونی، ترکیب گرانودیوریت تا گرانیت دارند. برخی از این نمونه‌ها، بافت آذرین خود را حفظ کرده‌اند و دگریختی ندارند (شکل ۲- F). برخی دچار دگریختی خفیف شده‌اند و یا دگریختی شدید در حد میلونیتی‌شدن نشان می‌دهند (شکل‌های ۲- D و ۲- E). گرانودیوریت- گرانیت بافت گرانولار (شکل ۲- F) دارند و دربردارندهٔ کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز و آلکالی‌فلدسپار هستند. برپایهٔ ترکیب سنگ‌شناسی، مقدار پلاژیوکلاز و آلکالی‌فلدسپار متغیر است. کانی‌های فرعی، شامل مقدارهای اندک از اسفن، آپاتیت و زیرکن هستند. اپیدوت، پیستاسیت، سریسیت، کلریت و کانی‌های رسی از کانی‌های ثانویه به‌شمار می‌روند. توده‌های آذرین درونی منطقهٔ بررسی‌شده تحت‌تأثیر پهنه‌های برشی با شدت عملکرد متفاوت بوده‌اند و نشانه‌هایی از رویداد دگرگونی دینامیک در حد کاتاکلاستیک در محل حاشیه پهنه‌های برشی را نشان می‌دهند (Passchier and Trouw, 2005). در مقاطع میکروسکوپی حاشیهٔ این پهنه‌ها بافت ساروجی یا مورتار (Mortar) دیده می‌شود؛ به‌گونه‌ای‌که پرفیروکلاست‌های گرد توسط حاشیه‌ای ریز از ماتریکس ریزبلور فراگرفته شده‌اند. پورفیروکلاست‌های کوارتز خاموشی موجی یافته و گاه بقایای ماکل‌ها در پلاژیوکلازها به شکل سرنیزه‌ای درآمده‌اند.

این شواهد، در بخش‌های میانی پهنه‌های برشی، توده‌های گرانیتی- گرانودیوریتی، بافت پورفیروکلاستیک و میلونیتی نشان می‌دهند؛ به‌گونه‌ای‌که در حاشیه پورفیروکلاست‌های کوارتز سایهٔ روشن دیده می‌شود. خاموشی موجی شدید نیز در پورفیروکلاست‌های کوارتز دیده می‌شود (شکل ۲- E). نکته جالب توجه، دگرسانی کلریتی در این نمونه‌هاست که موازی برگوارگی میلونیتی جهت‌یافته‌اند. گمان می‌رود برگوارگی میلونیتی و دگرسانی کلریتی همراه آن را یک دگرسانی اپیدوتیتی (شکل ۲- D) قطع کرده است.



شـکل ۲- گزیـده‌ای از تصـویرهای میکروسـکوپی از نمونـه‌هـای برداشت‌شـده از کانسـار آهـن ابـراهیم‌آبـاد در شـمال‌باختری دیوانـدره (کردسـتان). A) مرمـر؛ B) اسـپاری دولـومیتی؛ C) میکاشیسـت بـا حوضـه‌هـای برگـوارگی و میکرولیتـون‌هـا؛ D) برگـوارگی میلـونیتی و دگرسـانی کلریتـی (Chl) همـراه آن کـه تحـت‌تـأثیر دگرسـانی اپیـدوتیتی (Ep) قـرار گرفتـه اسـت؛ E) بافـت پورفیروکلاسـتیک، سـایهٔ روشـن در حاشـیه آن و خاموشـی مـوجی در پورفیروکلاسـت‌هـای گرانیـت میلونیتی‌شـده؛ F) گرانیـت کـه دگریختـی نـدارد و دربردارنـدهٔ بلورهـای درشـت کـوارتز (Qz)، آلکالی‌فلدسـپار پرتیتی‌شـده (Alk) و پلاژیـوکلاز (Pl) اسـت؛ G) رگچـه دارای منیتیـت (دسـته سـوم) کـه اسـکارن را قطـع کـرده اسـت. در زمینـهٔ اسـکارن، منیتیـت دسـتهٔ دوم بـه رنـگ سـیاه پراکنـده‌انـد؛ H) گارنـت بـا سـاختمان منطقـه‌ای در اسـکارن؛ K) اسکارن با کانی‌های نوظهور گارنت (Grt)، آمفیبول (Amp) و منیتیت (Mag) دستهٔ اول

عملکرد پهنه‌های برشی عملکرد سـیال‌های رهاشـده از تودهٔ گرانودیـوریتی- گرانیتـی را آسـان کـرده اسـت؛ به‌گونه‌ای‌که کلریت‌ها موازی برگوارگی میلـونیتی چیـده شده‌اند. به گفتهٔ دیگر، شاید عملکرد پهنه‌های برشـی بـا نفوذ تـوده‌هـای آذریـن درونـی همزمـان بـوده اسـت و عملکرد این پهنه‌ها، بالا آمدن توده‌هـای گرانودیـوریتی-

گرانیتی را آسان کرده است. دگرسانی اپیدوتیتی را شاید بتوان پیامد یک دگرگونی پسرونده نیز دانست.

اسکارن: سنگ‌های متاسوماتیک شامل اسکارن گارنت- آمفیبول‌دار (شکل ۲- K) گاهی با تمایل گارنتیتی (شکل ۲- H) هستند که رگچه‌های منیتیت‌دار (شکل ۲- G) آنها را قطع کرده‌اند. اسکارن بافت گرانوبلاستیک دارد و دربردارندۀ بلورهای گارنت، آمفیبول و منیتیت است (شکل‌های ۲- H و ۲- K). بلورهای گارنت بیشتر به‌صورت بی‌شکل دیده می‌شوند؛ اما گاه تا نزدیک به ۸۰ درصد از مقاطع میکروسکوپی را دربرگرفته‌اند و تمایل گارنتیتی به ترکیب سنگ داده‌اند. گاهی نیز به‌صورت شکل‌دار با ساختمان منطقه‌ای دیده می‌شوند (شکل ۲- H). آمفیبول از نوع هورنبلند تا مگنزیوهورنبلند است و گاه به‌صورت ترمولیت- اکتینولیت نیز یافت می‌شود که در این حالت بیشتر آنها حاصل جانشینی آمفیبول‌های نخستین هستند.

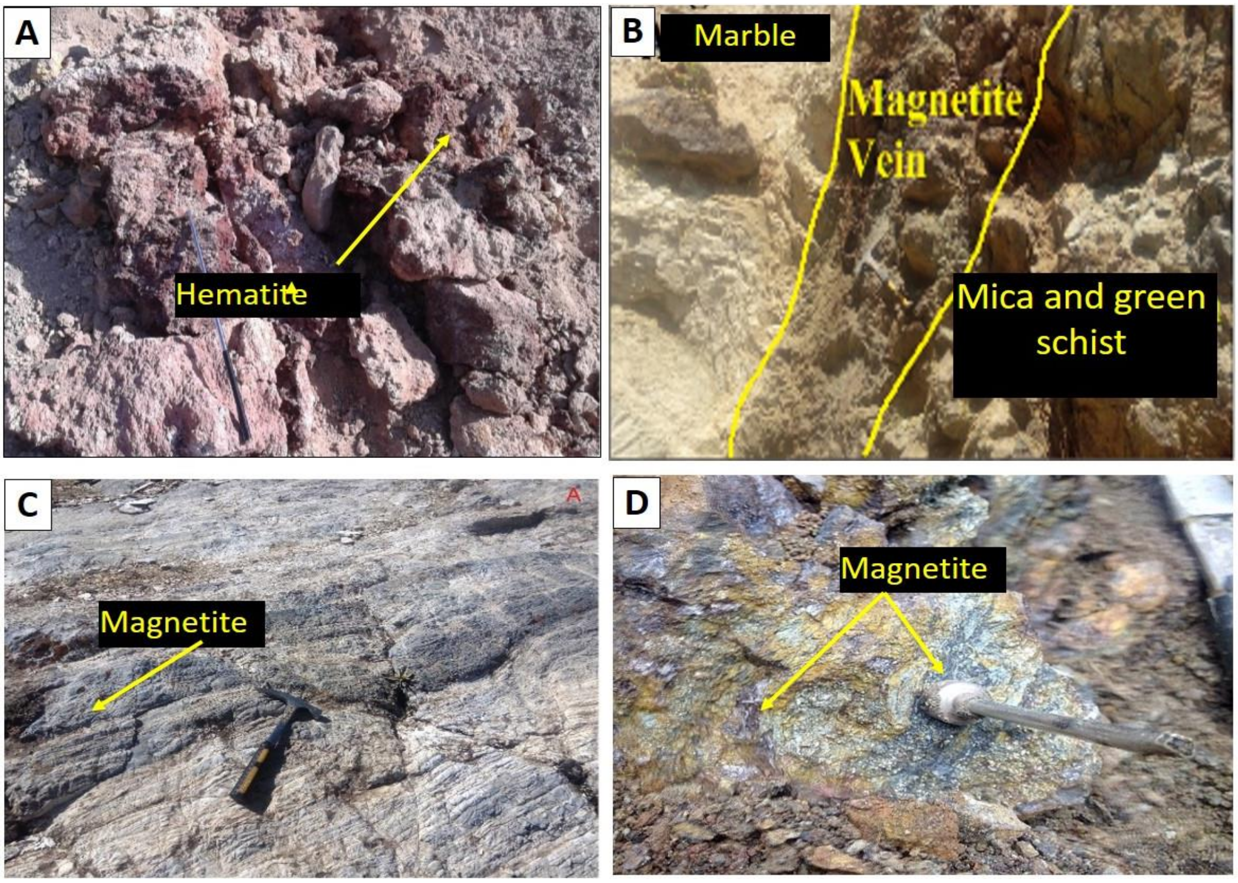
کانه‌نگاری

کانی‌زایی فلزی در منطقۀ بررسی‌شده در ارتباط با سنگ‌های دگرگونی و اسکارنی رخ داده است. کانی‌شناسی منطقۀ بررسی‌شده ساده و شامل دو دسته کانی‌های فلزی و غیرفلزی (باطله) است. مادۀ معدنی شامل منیتیت و هماتیت است که معمولاً با گارنت، کلسیت و کانی‌های سیلیکاته همراهی می‌شوند. این کانی‌ها به شکل‌های مختلف در سنگ‌های میزبان (شامل میکاشیست، شیست‌سبز، گارنت شیست، متاولکانیک و اسکارن) پدید آمده‌اند.

منیتیت: منیتیت کانۀ اصلی کانسار آهن ابراهیم‌آباد است که ساخت (structure) توده‌ای، رگه‌ای، رگچه‌ای، کارستیک (همراه مرمر) و دانه‌ای نشان می‌دهد. در مقاطعی که ساخت توده‌ای دارند، نمونۀ دستی به رنگ تیره دیده می‌شود. ساخت رگه- رگچه‌ای فراوان دیده می‌شود (شکل‌های ۳- B و ۳- D). بیشتر دانه‌ها شکل‌دار تا بی‌شکل هستند و نشانه‌های هوازدگی آشکارا روی آنها دیده می‌شود (شکل‌های ۴- A و ۴- D). منیتیت در سه دسته یافت شده است. دستۀ نخست به‌صورت بی‌شکل و با ابعاد نزدیک به ۱ میلیمتر دیده می‌شود (شکل‌های ۲- K و ۳- C). دسته دوم ابعاد ریز در حد چند دهم میلیمتر دارد و به‌صورت پراکنده در مقاطع نازک میکروسکوپی یافت می‌شوند (شکل ۲- G). دسته سوم همراه با کانی‌های نوظهور (مانند کربنات و کوارتز) و در امتداد رگچه‌ها پدید آمده است (شکل ۲- G). در این محدوده، اغلب گانگ همراه با منیتیت شامل ترمولیت- اکتینولیت و کوارتز ± کلریت ±اپیدوت ± گارنت ± مسکوویت است. کانسنگ منیتیت در محدودۀ ابراهیم‌آباد متفاوت است و از منیتیت تقریباً پرعیار تا شیست‌سبز منیتیت‌دار تغییر می‌کند (شکل‌های ۳- B و ۳- D).

هماتیت: پس از منیتیت این کانی فراوان‌ترین کانی اکسید آهن در منطقۀ بررسی‌شده است که به‌صورت ثانوی تشکیل شده است (شکل ۳- A). هنگام رویداد پدیدۀ مارتیتی‌شدن، هماتیت ثانوی از منیتیت اولیه پدید آمده است و فراوان‌ترین نوع هماتیت است. در موارد بسیاری، بلورهای منیتیت در حاشیه و مرکز در حال جایگزینی با هماتیت هستند. جایگزینی منیتیت با هماتیت (مارتیت) دگرسانی معمول است که در دما و ژرفای کم (کمتر از ۵۰ متر) رخ می‌دهد (شکل‌های ۴- B و ۴- C). در مقاطع

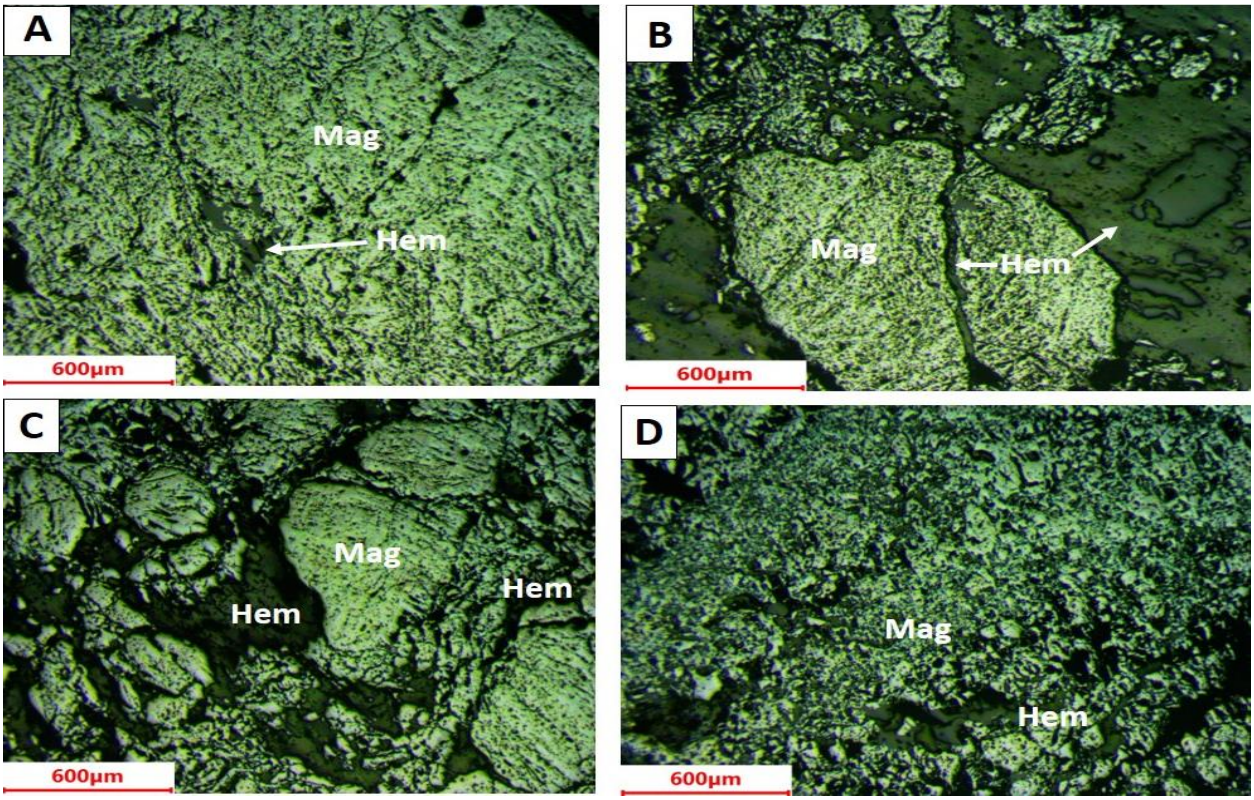
میکروسکوپی، هماتیت بافت‌های متنوعی از خود نشان می‌دهند که شامل بافت افشان و جانشینی هستند (شکل ۴- A). پیدایش هماتیت، نشان‌دهندۀ شرایط اکسیداسیون است.



شکل ۳) A) برونزد قطعات هماتیتی در محدوده کانسار آهن ابراهیم‌آباد در شمال‌باختری دیواندره (کردستان)؛ B) منیتیت به‌صورت رگه‌ای که مرمر و میکاشیست‌های این منطقه را قطع کرده است؛ C) منیتیت به‌صورت گرهک و پرکنندۀ فضای خالی در زمینۀ میکاشیست؛ D) منیتیت به‌صورت رگه-رگچه‌های نازک و پرکنندۀ فضاهای خالی

کانی‌های باطله: کوارتز، گارنت، کلسیت، آمفیبول، کلریت، اپیدوت و فلدسپار از برجسته‌ترین کانی‌های باطله در کانسار ابراهیم‌آباد هستند. کوارتز از فراوان‌ترین کانی‌های سیلیکاته باطله است که به‌صورت دانه‌درشت در گرانیت و پورفیروکلاست‌های کشیده‌شده در میکاشیست و همچنین، انبوه‌ای در مرمرهای محدودۀ بررسی‌شده دیده می‌شود (شکل‌های ۲- A، ۲- F و ۲- E). خاموشی موجی و مرز دانه‌های مضرس در هنگام تنش‌های زمین‌ساختی و تنش در کوارتزها پدید آمده است (شکل ۲- F).

کلسیت نیز به‌صورت باطله در منطقه و به‌صورت ثانوی در پی فعالیت‌های گرمابی در درز و شکاف‌های سنگ‌های دگرگونی و آتشفشانی پدید آمده است و ارتباطی با فعالیت کانی‌زایی در منطقه ندارد. کلریت و اپیدوت از دیگر کانی‌های ثانوی هستند که در پی دگرسانی از کانی‌های سیلیکاته پدید آمده‌اند. گارنت یکی دیگر از مهم‌ترین کانی‌های باطله همراه با کانی‌سازی است که در رخسارۀ شیست‌سبز همراه با منیتیت یافت شده است. این کانی با بافت موزاییکی و خردشده در واحدهای سنگی دگرگونی پیدا شد.



شکل ۴- A) کانهٔ منیتیت (Mag) با تجمعات شعاعی و سوزنی‌شکل که یک رگهٔ هماتیتی آن را قطع کرده است؛ B) دانه‌های درشت تا ریزدانهٔ بی‌شکل منیتیت (Mag) که یک رگهٔ هماتیتی آن را قطع کرده است؛ C) نمونه‌ای که از نزدیک به ۸۰ درصدحجمی منیتیت (Mag) ساخته شده است. منیتیت با ابعاد برابربا ۰/۰۱ تا بیشتر از ۱ میلیمتر، نیمه‌شکل‌دار و عموماً بی‌شکل و گاه شکل‌دار است. فرایند مارتیتی‌شدن (Mar) به‌صورت ضعیف در خمیرهٔ منیتیت دیده می‌شود. رابطهٔ میان دانه‌های منیتیت به‌علت ناهمسانی اندازه و شکل آنها پیچیده است؛ D) مارتیتی‌شدن در حاشیهٔ دانه‌های نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل و ریز دانه منیتیت (Mag)

توالی پاراژنزی

توالی‌های پاراژنزی کانی‌های مهم همراه با کانه‌زایی در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.

Mineral	Metamorphism Mineral	Prograde skarn	Retrograde skarn	Weathering
Magnetite		---	--------	
Garnet	-------	-----		
Termolite		--------------	--------	
Hematite			----------	---
Quartz	-------	----------------	----------------	
Epidote			-------	
Chlorite		--	--------------	
Calcite			--------------	--

شکل ۵- ستون پاراژنتیک کانی‌های اصلی و مهم در کانسار آهن ابراهیم‌آباد در شمال‌باختری دیواندره (کردستان)

زمین‌شیمی کانسار

۲۲ نمونه کانسنگ منیتیت تجزیه شدند (جدول‌های ۱ و ۲). در شکل ۶، روند تغییرات اکسیدها و همچنین، عنصرهای مهم دیگر نسبت به $Fe_{(t)}$ مقایسه شده‌اند. روند تغییرات اکسیدهای اصلی و گوگرد نسبت به آهن شیب منفی دارد. این ویژگی نشان‌دهندۀ جانشینی کانی‌های مختلف با سیال کانی‌ساز آهن است. مقدار تغییرات SiO_2 نسبت به Fe از ۱۵ تا ۴۳ درصدوزنی متغیر است. تغییرات Al_2O_3 نسبت به Fe از ۰/۳ تا ۴/۱۷ درصدوزنی در تغییر است.

جدول ۱- درصدوزنی اکسیدهای اصلی به‌دست‌آمده از تجزیۀ نمونه‌های کانسنگ آهن ابراهیم‌آباد در شمال‌باختری دیواندره (کردستان) به روش ICP-OES (آماده‌سازی نمونه‌ها به روش ذوب قلیایی بوده است)

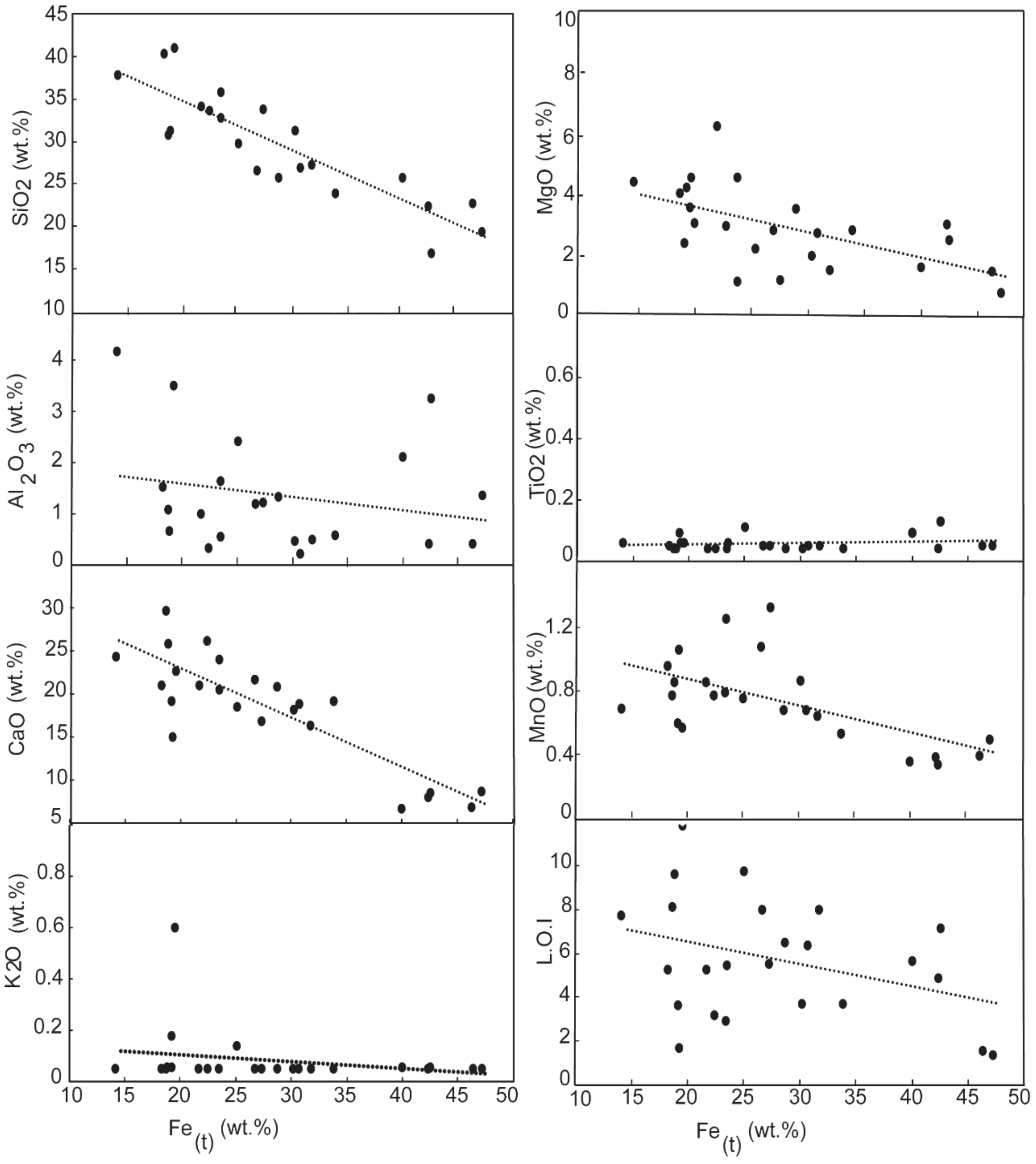
Sample No.	AS- 1	AS- 2	AS- 5	AS- 6	AS- 7	AS- 8	AS- 9	AS- 10	AS- 11	AS- 12	AS- 13
SiO_2	16.82	25.68	22.68	19.36	27.16	35.76	33.86	40.36	26.87	29.76	30.69
TiO_2	0.13	0.09	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.11	0.04
Al_2O_3	3.25	2.11	0.42	1.36	0.51	1.64	1.24	1.53	0.22	2.43	1.1
$Fe_{(t)}$	42.81	40.26	46.6	47.44	32.02	23.77	27.57	18.56	30.97	25.33	18.96
MnO	0.33	0.35	0.39	0.49	0.64	1.25	1.34	0.96	0.68	0.75	0.77
MgO	2.47	1.61	1.44	0.75	1.5	1.14	1.19	4	2.69	2.22	2.39
CaO	8.5	6.79	6.97	8.71	16.36	20.51	16.95	21.09	18.9	18.47	29.65
K_2O	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.14	0.05
S	<0.05	<0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.13	1.32	0.16	0.19	0.65
L.O.I.	7.13	5.64	1.54	1.36	8.02	5.46	5.54	5.29	6.36	9.75	8.13

جدول ۱- ادامه

Sample No.	AS- 14	AS- 15	AS- 16	AS- 17	AS- 18	AS- 19	AS- 20	AS- 21	AS- 22	AS- 23	AS- 24
SiO_2	26.6	31.28	23.92	33.65	32.75	31.21	22.29	37.83	25.2	34.15	41.05
TiO_2	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.04	0.04	0.09
Al_2O_3	1.2	0.47	0.6	0.35	0.56	0.67	0.42	4.17	1.34	1	3.5
$Fe_{(t)}$	26.96	30.45	34.1	22.69	23.72	19.14	42.59	14.39	28.97	21.94	19.48
MnO	1.08	0.86	0.53	0.77	0.79	0.85	0.38	0.69	0.68	0.85	0.59
MgO	2.81	1.96	2.79	2.96	4.54	4.22	2.98	4.39	3.5	6.2	3.53
CaO	21.64	18.14	19.26	26.17	24.03	25.92	8.08	24.3	20.82	21.09	19.25
K_2O	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
S	0.87	0.24	0.17	0.16	0.16	0.46	0.04	1.06	0.05	0.05	0.16
L.O.I.	8.01	3.71	3.71	3.16	2.9	9.6	4.84	7.74	6.48	5.23	3.65

جدول ۲- داده‌های عنصرهای کمیاب (برپایۀ ppm) به‌دست‌آمده از تجزیۀ کانسنگ آهن ابراهیم‌آباد در شمال‌باختری دیواندره (کردستان) به روش ICP

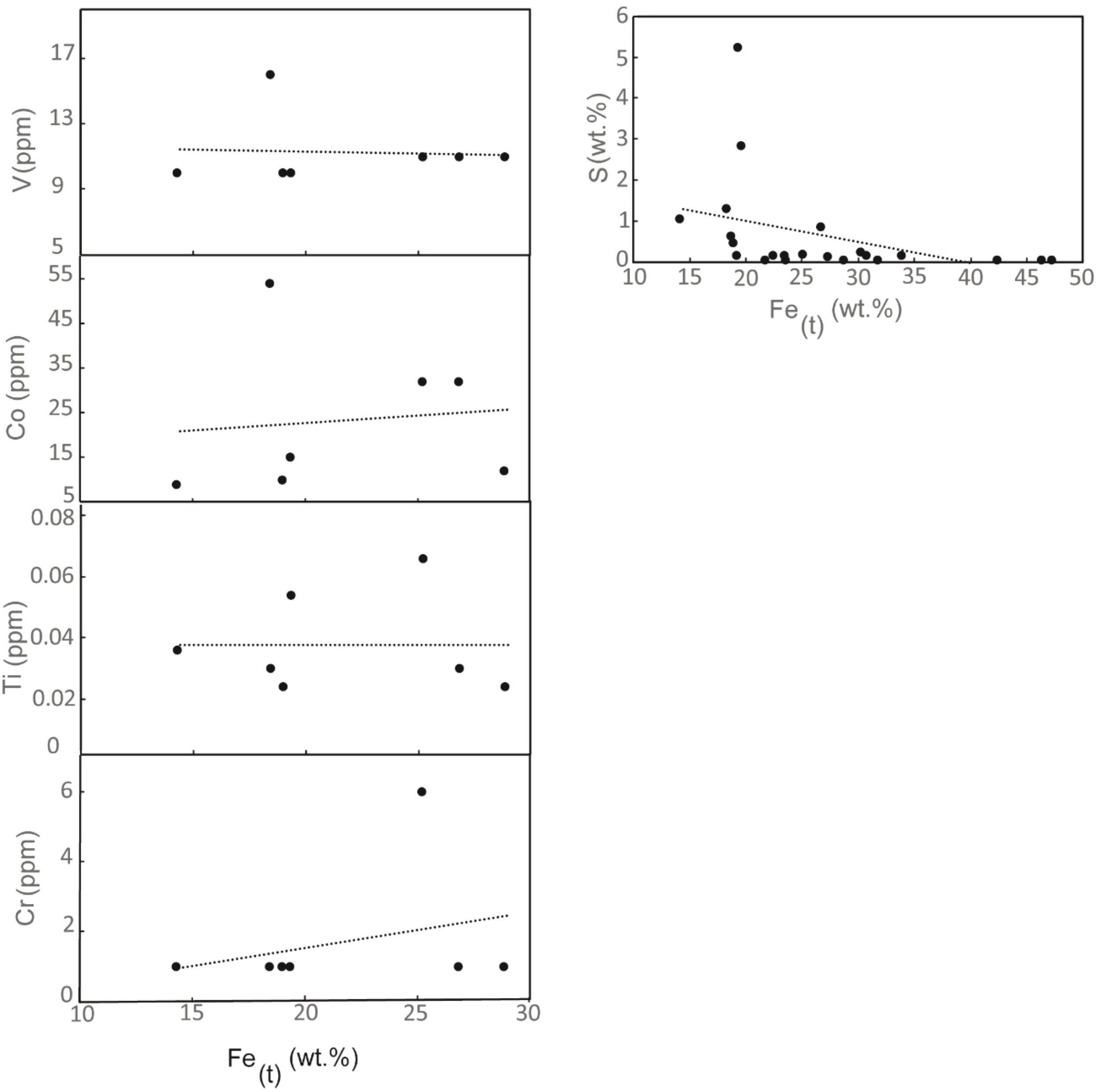
Sample No.	AS-10	AS-12	AS-14	AS-19	AS-21	AS-22	AS-24
Ni	1	4	3	1	1	1	1
Co	54	32	32	10	9	12	15
Cr	1	6	1	1	1	1	1
V	16	11	11	10	10	11	10



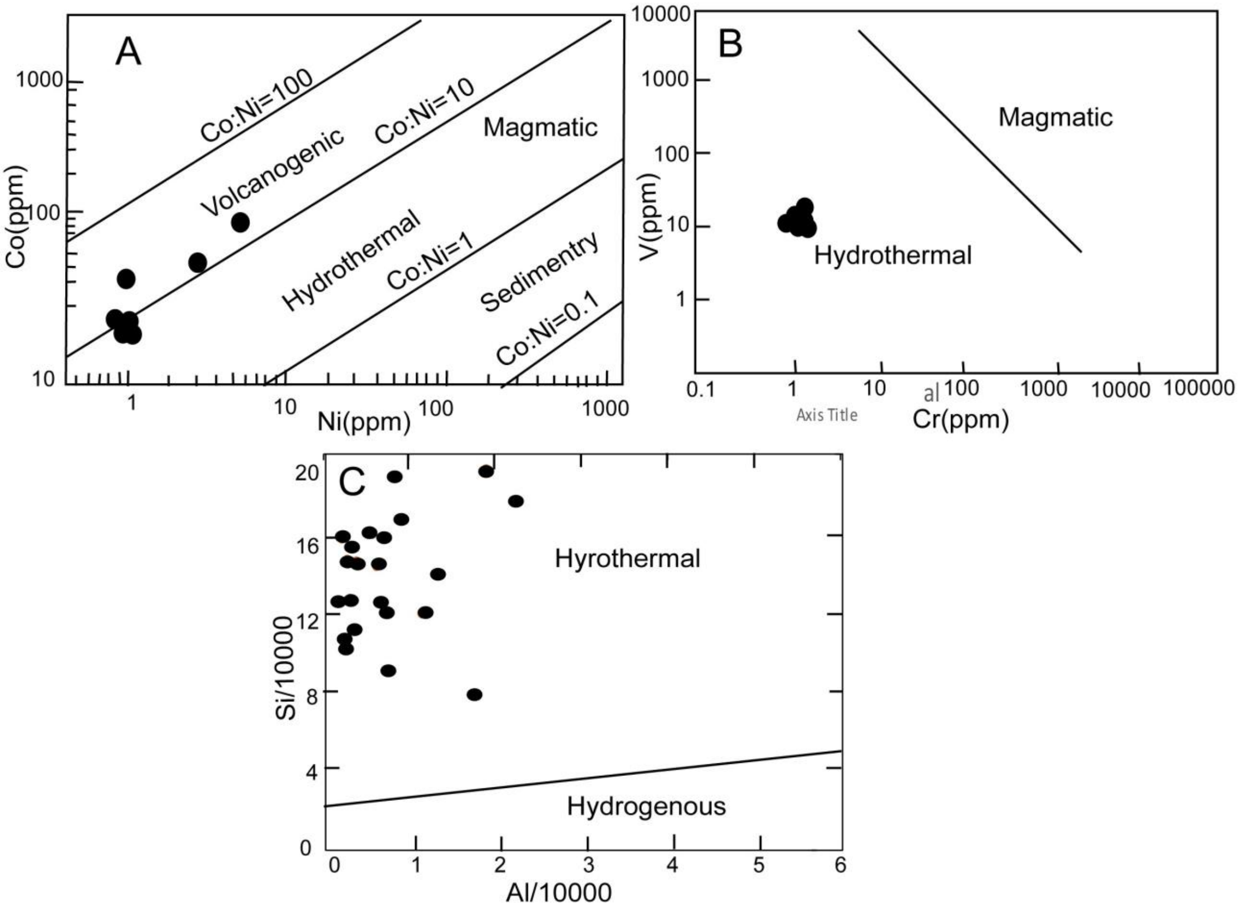
شکل ۶- نمودار تغییرات اکسیدهای اصلی دربرابر آهن

مقدار CaO از ۶ تا ۲۶ درصدوزنی در تغییر است. مقدار K_2O تغییرات ناچیزی دارد و میزان آن در نمونه های منیتیت از یک درصدوزنی کمتر است. MgO از ۰/۷ درصدوزنی تا نزدیک به ۶ درصدوزنی در نمونه‌ها تغییر می‌کند. این نکته نشان می‌دهد مقدار کانی‌های منیزیم‌دار در نمونه‌ها کم است (کلریت، اپیدوت و اکتینولیت). مقدار MgO با عیار بالاتر از یک درصدوزنی نشان‌دهندهٔ خاستگاه غیر رسوبی برای کانه‌زایی در این محدوده است. تغییرات مقدار گوگرد با

مقدارهای کمتر و بیشتر از یک درصدوزنی در شکل ۷ دیده می‌شوند. بیشتر نمونه‌ها کمتر از یک درصدوزنی گوگرد دارند. شیب منفی تغییرات گوگرد نسبت به آهن نشان‌دهندۀ کم‌بودن کانه‌های سولفیدی در سیال گرمابی خاستگاه آهن است (Parvaresh Darbandi *et al.*, 2020). مقدار کم کانه‌های سولفیدی بر اهمیت کانی‌سازی آهن در این محدوده می‌افزاید. در چند نمونه نیز تا ۵ درصدوزنی گوگرد وجود دارد که می تواند نشان‌دهندۀ خاستگاه گرمابی سال کانه‌دار آهن باشد. مقدار کم عنصرهای کبالت، نیکل و وانادیم، نشان‌دهندۀ بی‌ارتباط‌بودن کانه‌زایی با انواع کانی‌زایی ماگمایی است (شکل‌های ۸- A و ۸- B).



شکل ۷- تغییرات مقادیر عنصرهای کبالت، کروم با شیب تغییرات مثبت و گوگرد و وانادیم را با شیب تغییرات منفی نسبت به آهن



شکل ۸- نمونه‌های کانسنگ آهن ابراهیم‌آباد (شمال‌باختری دیواندره) در: A) نمودار نسبت Ni دربرابر Co و چگونگی قرارگیری منیتیت و تعیین خاستگاه کانسار (Bajwah *et al.*, 1987)؛ B) نمودار Cr دربرابر V؛ C) تغییرات نسبت Al دربرابر Si (Beaudoin and Dupuis, 2011) (ازآنجایی‌که شمار نمونه‌هایی که تنها اکسیدهای اصلی آنها تجزیه شده بودند بیشتر بود، این نمودار به‌کار برده شد)

کانی‌سازی آهن

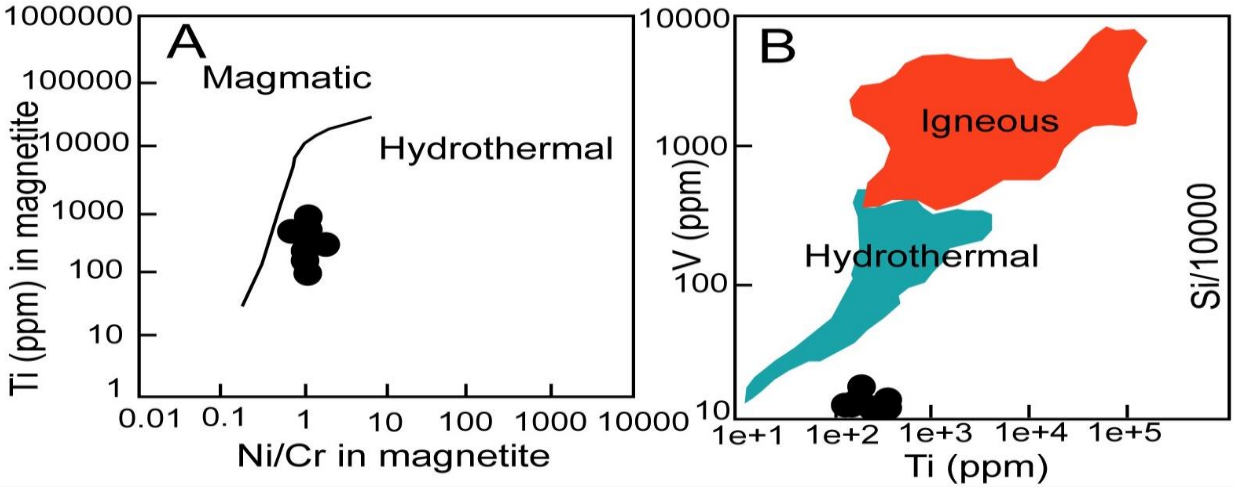
کانسار آهن ابراهیم‌آباد شامل چندین رخنمون پراکنده است. منیتیت بیشتر به‌صورت میان‌لایه و پرکنندۀ فضاهای خالی یا آغشته‌کنندۀ سنگ‌های درونگیر دیده می‌شود. همچنین، کانی‌سازی منیتیت به‌صورت رگه‌ای همراه با کوارتز نیز دیده می‌شود. نمونه‌هایی از کانی‌سازی منیتیت در بخش‌هایی از این کانسار نشان‌دهندۀ نوع اسکارنی است. حضور گارنت نشانۀ آن است. برای اثبات اندواسکارن‌بودن شواهدی از همراهی پیروکسن که در مرحلۀ متاسوماتیسم پیشرونده بایستی با گارنت وجود داشته باشند یا شواهدی که نشان‌دهندۀ همراهی کانی‌های گرانیت همراه با گارنت باشند پیدا نشده است. با ورود محلول‌های گرمابی درون سنگ‌های درونگیر، کانی‌شناسی سنگ‌ها تغییرکرده است و کالک سیلیکات‌های آبدار مانند آمفیبول پدید آمده‌اند. نشانه‌های متاسوماتیسم پسرونده با پیدایش آمفیبول و همراهی منیتیت نشان‌دهندۀ کانی‌سازی در این مرحله هستند. بخش بزرگی از کانی های کلریت، اپیدوت، کلسیت، فیلوسیلیکات‌های میکا و کانی‌های

رسـی، تحت‌تـأثیر قرارگیـری کالک‌سـیلیکات‌هـای آبـدار و بـی‌آب (پدیدآمـده در مراحـل پـس از اسـکارن‌زایی)، بـا سـیال‌های کـم دمـا، در نزدیکـی واحـدهای مرمـر و میکاشیسـت‌هـا پدیـد آمـده اسـت (شـکل ۳- B). پیـدایش کـانی منیتیـت شـاید در مرحلـهٔ متاسوماتیسـم پیشـرونده آغـاز شـده و در مرحلهٔ پسرونده بـه اوج خـود رسـیده اسـت. پیـدایش منیتیـت در دمـای ۵۵۰ درجـه سـانتیگراد روی داده اسـت (Niranen *et al.*, 2005; Zavaritsky, 1950). نبـود ولاسـتونیت فـرض دمـای پیـدایش کـانی در بیشـتر از ۵۵۰ درجـه سـانتیگراد را رد مـی‌کنـد. بـرای ته‌نشـینی بهتـر منیتیـت از محلـول کانـه‌دار، محلـول کانـه‌دار (کـه بـه نسـبت اسـیدی اسـت) بایـد خنثـی شـود. ایـن عمـل را کـانی‌هـای مصـرف‌کننده ماننـد کلسـیت، پیروکسـن و گارنـت انجـام مـی‌دهنـد. برپایـهٔ بررسـی‌های میکروسـکوپی، کـانی‌سـازی اکسـیدی متاسـوماتیک در کانسـار ابراهیم‌آبـاد، پـس از پیـدایش کالک‌سـیلیکات‌هـای بـی‌آب و اولیـه و در طـول تغییـرات بعـدی آنهـا روی داده اسـت. همراهـی کـانی‌هـای ترمولیـت- اکتینولیت با منیتیـت نشـان‌دهندهٔ کـانی‌سـازی آهـن در مرحلـهٔ متاسوماتیسـم پسـرونده اسـت و خنثی‌شـدن محـیط اسـیدی بـا پیـدایش و همراهـی کـانی‌هـای آب‌دار را نشـان مـی‌دهـد. پرشـدن فضاهای خالی در مرمـر بـا منیتیـت نیـز ایـن نکتـه را تأیید می‌کند.

بحث

کانسارهای پهنهٔ سنندج- سیرجان در سه بخش پراکنـده‌انـد (Ghorbani, 2008). بخـش جنـوبی از سـیرجان تـا اصـفهان کـه بـه داشـتن کـروم در الترامافیک‌های اسفندقه فاریاب، آهن، آهن- منگنـز در گل‌گهر، هنشک، بافت، سرب- روی، مس، در چـاه‌گـز، قنات مروان معروف هستند و با گسل درونـه از بخـش میانی جدا می‌شوند. بخش میانی که خـود بـه دو نـوار کوچک‌تر شمالی و جنوبی تقسیم می‌شود و از دیـدگاه کانی‌سازی در مقایسه با بخش‌هـای شـمالی و جنـوبی پرمایه‌تر است. بخـش شـمالی ایـن پهنـه دربردارنـدهٔ کانی‌سازی‌های آهن همه‌کسی، بابـاعلی (شـمال‌بـاختر همـدان)، شـمال سُـنقُر، گلالـی (قـروه)، ظفرآبـاد (دیواندره)، صاحب (سقز)، شهرک (بیجار) است. به باور Momenzadeh (۱۹۷۸)، کانی‌سازی آهن در این پهنه بیشتر خاستگاه رسوبی دارد؛ امـا پژوهشـگران دیگـری ماننـد Zamanin و همکـاران (۲۰۱۶)، Barati و Gholipoor (۲۰۱۴) و نیـز Paydar و Rostami و همکـاران (۲۰۱۰) بـرای کـانی‌سـازی‌هـای بابـاعلی (همدان)، گلالی (قروه) خاستگاه اسکارنی و گرمـابی را پیشنهاد کرده‌اند. با توجه به نزدیکـی کانـه‌زایـی آهـن ابراهیم‌آباد بـا دیگـر کانـه‌زایـی‌هـای آهـن در منطقـه دیواندره (ظفرآباد) و قرارگیری آن با فاصله در حاشـیهٔ تودهٔ آذرین گرانیتی، خاسـتگاه ایـن کانسـار اسـکارنی فرض می‌شود. در کانسار ابراهیم‌آباد، منیتیت، به‌صورت عدسی‌شـکل بـا واحـدهای دگرگـونی و آغشـته‌کنندهٔ سنگ بستر دیده می‌شـود. ویژگی‌هـای میکروسـکوپی کانسنگ در بخش‌هـای مختلـف کـانی‌سـازی متفـاوت اسـت. ترکیـب کـانی‌شناسـی از منیتیـت پرعیـار در مجاورت مرمر محدوده تا گارنت‌شیسـت منیتیـت‌دار و شیست‌سبز منیتیت‌دار تغییر می‌کند. دیدن حالات حد واسط میان کانسـنگ‌هـای فقیـر و سرشـار از منیتیـت نشان می‌دهد که رفتار سیال‌های داغ آهن‌دار برخاسته از توده‌های آذرین درونی منطقـه و همچنـین، حضـور رخنمون‌هایی از اسکارن همراه با ترمولیت- اکتینولیت و گارنت، پیامد عملکرد دگرگونی همبری و کانی‌سازی اسکارن در این کانسار است. بررسـی‌های زمین‌شـیمی

کانه‌زایی منیتیت و همچنین، تغییرات عنصرهای کمیاب نشان‌دهندهٔ نوع کانی‌سازی آهن اسکارنی در این منطقه هستند. از دیدگاه زمین‌شیمیایی، نسبت کبالت به نیکل در کانسارهای آهن عاملی برای شناخت خاستگاه آنهاست (Bajwah, 1987). محلول‌های گرمابی، توانایی حمل مقادیر بالایی از Ni و Co را ندارند. ازاین‌رو، مقدار کم آنها در کانسنگ، دلیلی بر حمل محلول کانه‌دار با سیالات گرمابی کم دماست (Meinert, 1995; Amraei *et al*., 2020). کانسارهای آهن با خاستگاه‌های گوناگون نسبت کبالت به نیکل متفاوتی دارند (شکل ۸- A). حضور این دو عنصر در کانسارهای آهن، به‌علت خویشاوندی شیمیایی آنها با آهن است (Ohmoto, 2003; Oksuz and Koc, 2009). در سیال‌های گرمابی، نسبت Co/Ni برابربا ۰/۲ تا ۷ است. این ویژگیِ کانسنگ آهن با خاستگاه گرمابی است (Williams *et al*., 2005; Nadoll *et al*., 2012). در هنگام رویداد جدایش بلورین ماگمایی، نسبت کبالت به نیکل در سیال‌های گرمابی افزایش می‌یابد. برپایهٔ محاسبهٔ کبالت به نیکل، تغییرات مقدار این نسبت در کانسار ابراهیم‌آباد برابربا ۸ تا ۱۲ است و نشانهٔ خاستگاه گرمابی برای کانه‌زایی است (شکل ۸- A). مقدار کم عنصرهای وانادیم و کروم در کانسارآهن ابراهیم‌آباد خاستگاه ماگمایی را برای آن مردود می‌سازد (شکل ۸- B). در شکل ۸- C نیز تغییرات سیلیس نسبت به آلومینیم نشان‌دهندهٔ خاستگاه گرمابی برای این کانسار است. در شکل ۹- A، برپایهٔ نمودار نسبت تیتانیم به نیکل و کروم نمونه‌های محدودهٔ ابراهیم‌آباد در محدودهٔ کانسارهای گرمابی جای می‌گیرند. تغییرات مقدار نسبت تیتانیم به وانادیم نیز نشان‌دهندهٔ قرارگیری نمونه‌های ابراهیم‌آباد در محدودهٔ کانسارهای گرمابی است (شکل ۹- B).



شکل ۹- کانسنگ آهن ابراهیم‌آباد (شمال‌باختری دیواندره) در: A) نمودار نسبت Ti Ni/Cr دربرابر و چگونگی قرارگیری نمونه‌های کانسنگ منیتیت و تعیین خاستگاه کانسار (Knipping, 2015)؛ B) نمودار تیتانیم دربرابر وانادیم و چگونگی قرارگیری نمونه‌های کانسنگ منیتیت و تعیین خاستگاه کانسار (Dare *et al*., 2014)

برداشت

با توجه به گسترش و پراکندگی، پیروی‌نکردن از چینه‌شناسی و تغییرات عیار منیتیت و نزدیکی آنها با نمودارهای کانسار آهن اسکارنی و بی‌شباهتی به کانسارهای رسوبی و نوع ماگمایی، فرضیهٔ اسکارنی‌بودن کانسار ابراهیم‌آباد

اثبات می‌شود. وجود منیتیت همراه با مقدار کم عنصر گوگرد در نمونه‌های این محدوده، کانی‌های کوارتز، اکتینولیت، کلریت، آلبیت، گارنت و کلسیت (که آن را همراهی می‌کنند و پیامد عملکرد دگرسانی توسط سیال‌های ماگمایی هستند) و تغییرات مقدار و اندازهٔ بلورهای منیتیت در اسکارن و واحدهای شیست دگرگونی کانسار ابراهیم‌آباد نشان‌دهندهٔ عملکرد و تأثیر سیال درآنهاست. منیتیت بیشتر به‌صورت رگه‌ای، میان‌لایه‌ای و یا آغشته‌کنندهٔ سنگ‌های درون‌گیر و پرکنندهٔ فضاهای خالی دیده می‌شود. چنین نشانه‌هایی همراه با شواهد زمین‌شیمیایی کانی منیتیت و تغییرات عنصرهای کمیاب در آنها نشان‌دهندهٔ خاستگاه ثانوی برای کانی‌سازی آهن ابراهیم‌آباد و پیدایش این کانسار با خاستگاه اسکارنی است. بدین معنی که خاستگاه آهن توسط سیال‌های داغ برخاسته از توده‌های آذرین درونی و با توجه به وجود گارنت و واحد اسکارنی منطقه و دیگر شواهد کانی‌شناسی موجود حاصل شده است.

منابع

Ahmadi-Khalaj, A., Esmaeily, D., Valizadeh, M. V. and Rahimpour-Bonab, H. (2007) Petrology and Geochemistry of the Granitoid Complex of Boroujerd, Sanandaj-Sirjan Zone, Western Iran. Journal of Asian Earth Sciences 29: 859-877. DOI: 10.1016/j.jseaes. 2006.06.005

Amraei, S., Behzadi, M. and Yazdi, M. (2020) Petrography, geochemistry and tectonic setting of mafic-ultramafic intrusion in the Bafq 15th anomaly (Iron), Central Iran. Iranian Journal of Petrology (in Persian). DOI: 10.22108/ijp.2020.123179.1178

Azizi, H., Asaharab, Y., Mehrabi, B. and Chungd, S. L. (2011) Geochronological and geochemical constraints on the petrogenesis of High-K granite from the Suffiabad area, Sanandaj-Sirjan Zone, NW Iran. Chemie der Erde 71: 363–376. DOI: 10.1016/j.chemer. 2011.06.005

Azizi, H. and Asaharac, Y. (2013) Juvenile granite in the Sanandaj–Sirjan Zone, NWIran: Late Jurassic–Early Cretaceousarc–continent collision. International Geology Review. DOI: 10.1080/00206814. 2013.782959

Azizi, H. Mehrabi, B. and Akbarpour, A. (2009) Genesis ofTertiary Magnetite–Apatite Deposits, Southeast of Zanjan, Iran. Resource Geology 59(4): 330–341 DOI: 10.1111/j.1751-3928.2009.00101.x.

Baharifar, A. A., Moinvaziri, H., Bellon, H. and Piqué, A. (2004) The crystalline complexes of Hamadan (Sanandaj-Sirjan zone, western Iran): metasedimentary Mesozoic sequences affected by Late Cretaceous tectono-metamorphic and plutonic events. Comptes Rendus Geoscience 336(16): 1443-1452. DOI: 10.1016/j.crte.2004.09.014

Barati, M. and Gholipoor, M. (2014) Study of REE behaviors, fluid inclusions, and O, S stable Isotopes in Zafar-abad iron skarn deposit, NW Divandarreh, Kordestan Province. Journal of Economic Geology 6(2): 235-254 (in Persian).

Braud, J. and Bellon, H. (1974) Donnees nouvelles sur le demaine metamorphique du Zagros (zone de Sanandah-Sirjan) au niveau de Kermanshah-Hamadan (Iran): nature age et interpretation des series metamorphiques et des ihtrusions. Evolution structurale. Rapport Universite Paris-Sud.

Bajwah, Z. U., Secombe, P. K. and Offler, R. (1987) Trace element distribution, Co: Ni ratios and Genesis of the Big Cadiairon-copper deposit, New South Wales, Australia. Mineralium deposita 22: 292-300. DOI: 10.1007/BF00204522

Beaudoin, G. and Dupuis, C. (2011) Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types. Mineralium Deposita 46: 319-335. DOI: 10.1007/s00126-011-0334-y.

Dare, S. A. S., Barnes, S. J., Beaudoin, G., Meric, J., Boutroy, E. and Potvin-Doucet, C. (2014) Trace elements in magnetite as petrogenetic indicators. Miner Deposita 49: 785–796.

Ghorbani, M. (2008), Economic Geology in Iran mines resources. Arian zamin published (in Persian)

Knipping, J. L., Bilenker, L. D., Simon, A. C., Reich, M., Barra, F., P. Deditius, A., Wälle, M., Heinrich, C. A., Holtz, F. and Munizaga, R. (2015) Trace elements in magnetite from massive iron oxide-apatite deposits indicate a combined formation by igneous and magmatic-hydrothermal processes. Geochemical et Cosmochimica Acta 171(15): 15-38. DOI: 10.1016/j.gca.2015.08.010

Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahandi, M. R. (2003) Cretaceous–Tertiaryconvergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, WesternIran. Journal of Asian Earth Sciences 21: 397–412. DOI: 10.1016/S1367-9120(02)00035-4

Masoudi, F., Yardley, B. W. D. and Cliff, R. A. (2002) Rb-Sr geochronology ofpegmatites, plutonic rocks and a hornfels in the region southwest of Arak, Iran. Islamic Republic of Iran Journal of Sciences 13(3): 249–254

Meinert, L. D. (1995) Igneous petrogenesis and skarn deposits. Geological Association of Canada, Spacial paper 40: 569-583.

Moinvaziri, H., Akbarpour, A. and Azizi, H. (2014) Mesozoic magmatism in the northwestern Sanandaj-Sirjan zone as an evidence for active continental margin. Arabian Journal of Geosciences 8: 3077-3088. DOI: 10.1007/s12517-014-1309-y

Momenzadeh, M. (1978) Pb and Zn Mineralization in cretaceous carbonate Malyier-Isfahan trend. Ph. D. thesis's, Haidelberg university, Germany.

Nadoll, P., Mauk, J. L., Hayes, T. S., Koenig, A. E. and Box, S. E. (2012) Geochemistry of Magnetite from Hydrothermal Ore Deposits and Host Rocks of the Mesoproterozoic Belt Supergroup, United States. Economic Geology 107: 1275-92. DOI: 10.2113/econgeo.107.6.1275

Niranen, T., Manttari, I., Poutianen, M., Oliver, N. and Miller, J. A. (2005) Genesis of Paleoproterozoic iron skarns in the Misi region, Northern Finland. Mineralium Deposita 40(2): 192-217. DOI: 10.1007/s00126-005-0481-0

Ohmoto, H. (2003) Nonredox transformations of magnetite-hematite in hydrothermal systems. Economic Geology 98(1): 157-161. DOI: 10.2113/gsecongeo.98.1.157

Oksuz, N. and Koc, S. (2009) Examination of sarikaya (Yozgat-Turkey) iron mineralization with rare earth element (REE) method. Journal of Rare Earths 28(1): 143-149. DOI: 10.1016/S1002-0721(09)60068-5

Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J. (2005) Microtectonics. 2nd edition, Springer, Verlag, Berlin.

Parvaresh Darbandi, M., Malekzadeh Shafaroudi, A., Azimzadeh, A. and Karimpour, H. (2020) Magnetite mineralization properties of Narm iron mine with respect to petrology and geochemistry of its adjacent gabbroic-dioritic rocks (North of Tabas, South Khorasan Province). Iranian Journal of Petrology 11(41): 103-128 (in Persian).

Rostami Paydar, G., Lotfi, M., Ghaderi, M., Amiri, A. and Vossoughi-Abedini, M. (2010) New Results on Mineralography and Crystal Chemistry of Magnetite and Pyrite at Baba-Ali & Galali Iron Deposits, West of Hamedan, Iran. Scientific Quarterly Journal Geoscience 20(77): 121-130 (in Persian).

Shahbazi, H., Siebel, W., Pourmoafee, M., Ghorbani, M., Sepahi, A. A., Shang C. K. and Vousoughi Abedini. M. (2010) Geochemistry and U–Pb zircon geochronology of the Alvand plutonic complex in Sanandaj–Sirjan Zone (Iran): New evidence for Jurassic magmatism. Journal of Asian Earth Sciences 39: 668–683. DOI: 10.1016/j.jseaes.2010.04.014

Stöcklin, J. (1968) Structure history and tectonics of Iran: A review. American Association of Petroleum 52(7): 1229-1258.

Williams, P. J., Barton, M. D., Johnson, D. A., Fontbote, L., De Haller, A., Mark, G., Oliver, N. H. S. and Marschik, R. (2005) Iron oxide copper-gold deposits: Geology, space-time distribution, and possible modes of origin. Economic Geology 100: 371-405. Doi: DOI: 10.5382/AV100.13

Winter, J. D. (2014) Igneous and Metamorphic petrology. Pearson New International Edition.

Zamanian, H. (2016) Geochemistry of rare earth elements in the Baba Ali magnetite skarn deposit, western Iran – a key to determine conditions of mineralization. Geologos 22(1): 33–47. DOI: 10.1515/logos-2016-0003

Zavaritsky, A. N. (1950) Metamorphism and Metasomatism in the Urals Pyrite Deposits. In Massive Sulphide Deposits of the Urals. Russian Academy of Sciences 7–18.