مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و هفتم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۹۸، از صفحهٔ ۷۵۵ تا ۷۶۶

انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

شیمی کانی مگنتیت و مشخصه‌های میانبارهای سیال در کانسار آهن کوه‌بابا، جنوب هشترود، شمال غرب ایران

مجید حافظ دربانی*[۱]، علی عابدینی[۱]، فرهنگ علی‌یاری[۲]، علی اصغر کلاگری[۳]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

۲- گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی ارومیه

۳- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

(دریافت مقاله: ۹۷/۸/۲۰، نسخه نهایی: ۹۷/۱۲/۴)

چکیده: کانسار آهن کوه‌بابا در ۷۰ کیلومتری جنوب شهر هشترود، استان آذربایجان شرقی، شمال غرب ایران واقع است. این کانسار، از نظر زایشی وابسته به توده‌های نفوذی گابرویی تا دیوریتی است. گابرو- نوریت و پیروکسن هورنبلند گابرو- نوریت سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی آهن هستند. دگرسانی‌های گسترده همراه با کانی‌سازی شامل پهنه‌های اکتینولیتی، کلریتی و اپیدوتی است. کانه عمده مگنتیت همراه با مقادیر اندک آپاتیت بوده که به صورت بافت‌های توده‌ای، رگه-رگچه‌ای، جانشینی، برشی و پراکنده است. نتایج تجزیه ریزپردازش الکترونی (EPMA) برای ۲۸ نقطه از بلورهای مگنتیت نشان از مقادیر نسبتاً بالای عناصری چون Al، Mn، Ti و V دارد. مقادیر اجزایی مثل TiO_2، V_2O_3، NiO و MgO در مگنتیت‌های با بافت توده‌ای بالاتر از مگنتیت‌های با بافت پراکنده و رگچه‌ای است. بررسی میانبارهای سیال اولیه در بلورهای کوارتز همزمان با کانی‌سازی با مگنتیت نشان می‌دهد که میانبارهای سیال به طور عمده از نوع دو فازی (L+V) و گاهی تک فاز گازی هستند. دمای همگن‌شدگی سیال‌های دو فازی (L+V) در گستره ۴۳۶ تا ۵۴۴ (میانگین ۵۰۵) درجه سانتی‌گراد است. بر پایه دماهای نقطه ذوب‌نهایی یخ، متوسط شوری ۱۵٫۸۲ درصد وزنی معادل نمک طعام به دست آمد. با توجه به پارامترهای اندازه‌گیری شده چون دمای همگن‌شدگی، شوری، چگالی و فشار میانبارهای سیال، عمق کانه‌سازی مگنتیت در گستره ۱٫۳ تا ۲٫۷ (میانگین ۲٫۳) کیلومتر (بر پایه فشار همه جانبه) برآورد شد. بر اساس یافته‌های EPMA و میانبارهای سیال، کانسنگ‌های آهن کوه‌بابا را می‌توان کانسارهای آهن نوع کایرونا و در زیر رده اکسید آهن- آپاتیت ضعیف رده‌بندی کرد و خاستگاه مگنتیت را می‌توان ماگمایی- گرمابی دما بالا در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: *شیمی کانی مگنتیت؛ میانبارهای سیال؛ کوه‌بابا؛ هشترود؛ ایران.*

مقدمه

بررسی شیمی کانی‌هایی چون مگنتیت توسط ریزپردازشگر الکترونی (EPMA) از روش‌های دقیقی است که در شناسایی خاستگاه و تفسیر شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسارها استفاده می‌شود. بررسی‌های انجام شده نشان داده است که عناصر فرعی و جزئی در مگنتیت می‌توانند به عنوان یک راهنمای اکتشافی ارزشمند در شناسایی و تعیین خاستگاه نهشته‌های معدنی استفاده شوند [۱-۵]. مگنتیت می‌تواند دارای طیف گسترده‌ای از عناصر از جمله Mn، Ca، Si، V، Ti، Al، و Mg باشد [۶]. نوع و مقدار تمرکز عناصر یاد شده در این کانی به عوامل فیزیکوشیمیایی تشکیل دهنده مگنتیت مانند دما، گریزندگی اکسیژن و گوگرد، میزان فعالیت سیلیکا (SiO_2) و ترکیب سیال/ مذاب بستگی دارد [۶]. روند توزیع عناصر فرعی و جزئی می‌تواند در تفکیک ماگمایی و یا گرمابی

*نویسنده مسئول، تلفن: ۳۲۹۷۲۱۳۴ (۰۴۴)، نمابر: ۳۲۷۷۶۷۰۷ (۰۴۴)، پست الکترونیکی: majid.hafez@gmail.com

بودن خاستگاه مگنتیت در کانسارهای مختلف کمک شایانی باشد [۲].

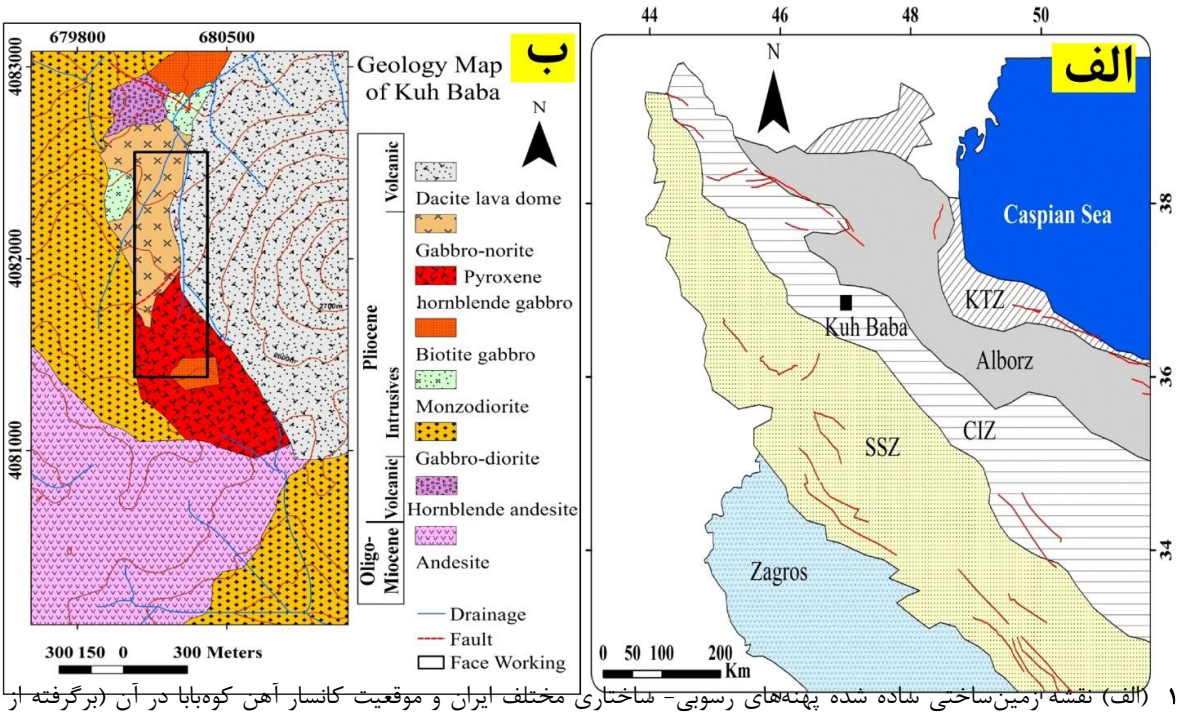
بررسی میانبارهای سیال نیز از راه‌های منحصربفرد شناسایی مراحل تشکیل کانی‌سازی‌های فلزی به ویژه آهن محسوب می‌شود. میانبارهای سیال شواهد باقیمانده از سرگذشت تشکیل کانسنگ هنگام به تله افتادن در سنگ میزبان را در اختیار می‌گذارند و از اینرو، امکان بازسازی شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسنگ را فراهم می‌نمایند [۷]. سرانجام، بررسی‌های سنگ‌نگاری و ریزدماسنجی میانبارهای سیال می‌توانند برای تعیین ویژگی‌های سیال کانه‌ساز و چگونگی تکامل کانسارها کمک باشند [۸].

ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌سازی و دگرسانی کانسار آهن کوه‌بابا همراه با برداشت‌های مغناطیس‌سنجی به منظور شناسایی عمق و گسترش ماده معدنی پیشتر به تفصیل بررسی شده است [۹، ۱۰]. تاکنون بررسی دقیق و جامعی پیرامون ویژگی‌های شیمی‌کانی و ویژگی‌های میانبارهای سیال وابسته به کانی‌سازی آهن در کوه‌بابا صورت نگرفته است. در این پژوهش، براساس نتایج برآمده از تجزیه کانی مگنتیت به روش ریزپردازش الکترونی همراه با بررسی میانبارهای سیال موجود در کانی کوارتز همزمان کانی‌سازی شده با مگنتیت، اطلاعات جامعی از ماهیت کانی‌سازی، نوع و چگونگی تشکیل کانسار آهن کوه‌بابا ارائه می‌شود.

زمین‌شناسی

کانسار آهن کوه‌بابا، به مختصات جغرافیایی ۰۱″ ۵۰′ ۳۶° تا ۱۰″ ۵۳′ ۳۶° عرض شمالی و ۱۶″ ۰۰′ ۴۷° تا ۱۶″ ۰۳′ ۴۷° طول شرقی، در ۷۰ کیلومتری جنوب شهر هشترود، استان آذربایجان‌شرقی واقع است. بر اساس تقسیمات پهنه‌های زمین-ساختی ایران [۱۱، ۱۲]، این کانسار بخشی از پهنه زمین-ساختی ایران مرکزی محسوب می‌شود (شکل ۱ الف). از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای، منطقه مورد بررسی شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های دگرگونی و رسوبی پرکامبرین، سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک، توده‌های نفوذی و آتشفشانی الگیومیوسن، گنبدهای گدازه‌ای پلیوسن و نهشته‌های جوان پلیوسن و کواترنری است [۱۳]. رخنمون‌های سنگی موجود در گستره کانسار شامل گدازه‌های آندزیتی پورفیری به سن الیگومیوسن است که توسط توده‌های نفوذی با ترکیب مافیک تا حدواسط شامل گابرو و مونزودیوریت قطع شده‌اند (شکل ۱ ب). گنبد آندزیتی- داسیتی کوه‌بابا، واحد آتشفشانی آندزیتی و نیز توده-های نفوذی یاد شده را قطع کرده و درون این مجموعه قرار گرفته است [۱۰]. واحد آتشفشانی الیگومیوسن با ترکیب آندزیت در بخش جنوب غربی کانسار کوه‌بابا رخنمون دارند. این واحد دستخوش دگرسانی‌های آرژیلی و پروپلیتی شده است.

توده‌های نفوذی شامل گابرو دیوریت، گابرونوریت، پیروکسن-هورنبلند گابرونوریت، بیوتیت گابرو و مونزودیوریت هستند. (شکل ۱ ب). گابرو دیوریت گسترده ترین واحد نفوذی در منطقه کوه‌بابا محسوب می‌شود که دستخوش دگرسانی‌های گرمابی قرار نگرفته است و کانی‌سازی آهن در آن دیده نمی‌شود. رخنمون سطحی این واحد سنگی دارای رنگ سبز روشن تا خاکستری و ساخت توده‌ای است. بافت اصلی آن دانه-ای است. گابرونوریت گسترده‌ترین واحد سنگی وابسته به کانی-سازی در رخنمون‌های سطحی کانسار کوه‌بابا بوده و از نظر رنگ و ساخت، شبیه واحد گابرودیوریت است. بافت اصلی سنگ، دانه‌ای است اما بافت‌های پوئی‌کلیتیک و ساب افتیک نیز در آن دیده می‌شوند. بخش مهمی از کانی‌سازی آهن با بافت برشی و توده‌ای در این واحد سنگی رخ داده است (شکل ۱ ب). پیروکسن-هورنبلند گابرو نوریت از نظر گسترش و فراوانی، دومین واحد سنگی مهم وابسته به کانی‌سازی آهن در گستره کانسار کوه‌بابا محسوب می‌شود. این واحد سنگی در رخنمون صحرایی، خاکستری و دارای ساخت توده‌ای است. بافت دانه‌ای بافت اصلی و پوئی‌کلیتیک دیگر بافت قابل مشاهده در این واحد سنگی است. واحد سنگی بیوتیت گابرو گسترش کمی در گستره کانسار کوه‌بابا دارد. رخنمون سطحی این واحد به رنگ خاکستری دیده می‌شود و دارای ساخت توده‌ای است. بافت اصلی دانه‌ای است و بافت پوئی‌کلیتیک نیز در آن دیده می‌شود. مونزودیوریت بخش محدودی از سنگ‌های میزبان کانسار آهن کوه‌بابا را به خود اختصاص می‌دهد. این واحد سنگی دارای رخنمون سطحی خاکستری روشن و ساخت خشن و متراکم است. بافت اصلی آن دانه‌ای است و کانی‌سازی آهن با بافت‌های پراکنده و رگچه‌ای در این واحد سنگی دیده می‌شود.



شکل ۱ (الف) نقشه زمین‌ساختی ساده شده پهنه‌های رسوبی- ساختاری مختلف ایران و موقعیت کانسار آهن کوه‌بابا در آن (برگرفته از مراجع [۱۲،۱۱] با اندکی تغییرات). علائم اختصاری به کار رفته در این شکل عبارتند از: SSZ = پهنه ماگمایی- دگرگونی سنندج- سیرجان، KTZ = پهنه ساختاری خزر- تالش- زیوه و CIZ = پهنه ایران مرکزی، (ب) نقشه زمین‌شناسی کانسار آهن کوه‌بابا (برگرفته از مرجع [۹]). موقعیت سینه کار بر آن نشان داده شده است.

روش بررسی

بررسی‌های کانه‌زایی و دگرسانی‌های گرمابی در کانسار آهن کوه‌بابا بر پایه‌ی پیمایش‌های صحرایی، تهیه نقشه زمین‌شناسی سطحی و مطالعه نمونه‌های زیرسطحی در بخش سینه کار معدن صورت گرفته است. بر این اساس، از بخش‌های مختلف دگرسانی‌های وابسته به کانی‌سازی آهن نمونه‌برداری شد. بررسی‌های کانی‌شناسی و کانه‌نگاری سنگ‌های دگرسان شده و کانسنگ آهن با تهیه و بررسی ۲۵ مقطع نازک- صیقلی توسط میکروسکوپ دوکاره انجام گرفت. سپس، بر اساس نتایج بدست آمده تعداد ۵ نمونه برای تجزیه به روش ریزپردازش الکترونی بر کانی مگنتیت در ۲۸ نقطه توسط دستگاه EPMA مدل SX100 ساخت شرکت کامکای فرانسه در شرایط ولتاژ ۱۵کیلو ولت، شدت جریان ۲۰ میلی آمپر و با قطر پرتو ۳ تا ۵ میکرون در شرکت فرآوری مواد معدنی کرج انتخاب شد.

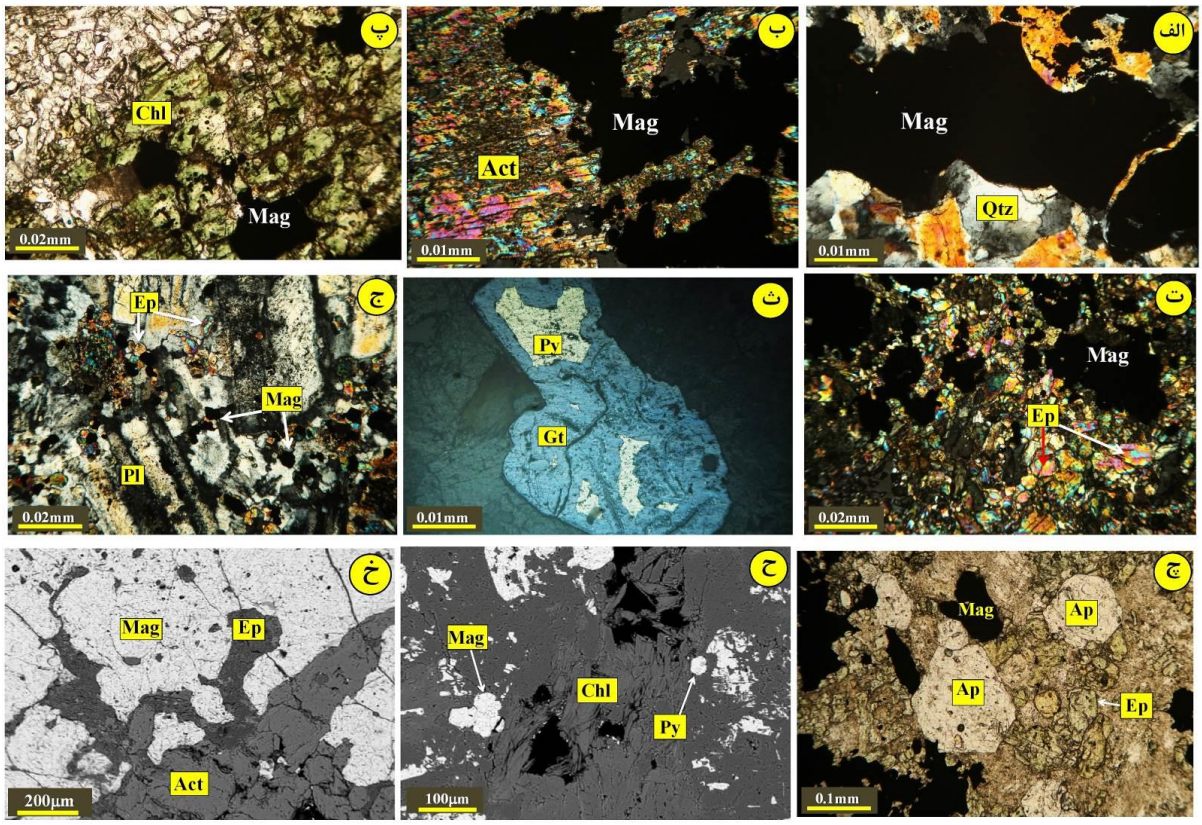
در این پژوهش، برای بررسی میانبارهای سیال، تعداد ۵ مقطع دوبر صیقل با ضخامت ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون از رگه‌های کوارتز مربوط به کانی‌سازی مگنتیت تهیه گردید. اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی بر ۴۰ عدد میانبار سیال با استفاده از دستگاه لینکام مدل THM600 با کنترل کننده گرمایی TP94 (کنترل‌گر دما برای گرمایش) و سرد کننده نوع LNP نصب شده بر میکروسکوپ زایس، در آزمایشگاه میانبارهای سیال گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است. دستگاه یاد شده با استفاده از ترکیبات استاندارد بین ۶۰۰°C و ۱۹۰°C- تنظیم شده و دقت اندازه‌گیری‌های سرمایش و گرمایش در آن حدود ۰/۵± درجه سانتی‌گراد است.

دگرسانی گرمابی و کانی سازی آهن

جایگیری ماگمای مافیکی تا حدواسط درون سنگ‌های منطقه و ورود سیال‌های غنی از آهن به این مجموعه سبب ایجاد دگرسانی‌های متنوع شده است که عمده‌ترین آنها عبارتند از دگرسانی‌های پروپلیتی، سریسیتی، سیلیسی، سوسوریتی و آرژیلی. هرکدام از این دگرسانی‌ها به تناسب فاصله از توده اصلی گسترش یافته‌اند. مهم‌ترین دگرسانی دیده شده درون توده نفوذی و در مجاورت آن، دگرسانی اپیدوتی و اکتینولیتی است که همراه با کانی‌سازی آهن به شکل توده‌ای در بخش‌های مرکزی کانی‌سازی یافت می‌شود (شکل ۲ خ). با افزایش فاصله از توده اصلی، دگرسانی‌های کلریتی و سیلیسی نیز به همراه دگرسانی اپیدوتی دیده می‌شوند. دگرسانی کلریتی واحدهای درونگیر مانند گابرو را متاثر کرده و بیشتر همراه با کانی‌سازی پراکنده آهن مشاهده می‌گردد (شکل ۲ پ). سیال‌های کانه‌ساز بر بخش‌های بالایی سنگ‌های درونگیر حدواسط اثر گذاشته و

موجب دگرسانی سریسیتی شده‌اند. با افزایش فاصله از توده‌های نفوذی و به طرف بخش‌های سطحی، از شدت دگرسانی‌های نام برده کاسته شده و در مقابل، بخش به نسبت گسترده‌ای از رخنمون سنگ‌های منطقه دستخوش دگرسانی آرژیلی شده است. دگرسانی کربناتی شدن نیز در لبه‌های کانسار دیده می‌شود.

کانی‌سازی آهن بیشتر به صورت مگنتیت رخ داده است. براساس نتایج تجزیه‌های صورت گرفته بر مغزه‌های حفاری، تغییرات Fe_T در کانسنگ‌ها در بازه‌ای از ۳٫۸۵ الی ۶۳٫۲۵ درصد وزنی متغیر است [۱۰]. کانی‌سازی مگنتیت با تشکیل و گسترش پنج نوع بافت (۱) توده‌ای و پرکننده فضاهای خالی، (۲) جانشینی، (۳) رگه- رگچه‌ای، (۴) برشی و (۵) دانه‌پراکنده همراه است بطوریکه نوع (۱) از بقیه انواع رایج‌تر است. از مرکز کانی‌سازی به سمت لبه کانسار، به‌تدریج از میزان کانی‌سازی به شکل توده‌ای کاسته شده و بر میزان کانی‌سازی به صورت رگه-رگچه‌ای افزوده می‌شود (شکل ۲ الف). مگنتیت‌های بخش‌های مرکزی کانی‌سازی با بافت‌های غالب توده‌ای و برشی، اغلب همراه با اکتینولیت دیده می‌شوند (شکل ۲ ب). با دور شدن از مرکز کانی‌سازی، مگنتیت به صورت توده‌ای و پراکنده به همراه دگرسانی‌های اکتینولیتی، کلریتی و اپیدوتی مشاهده می‌گردد (شکل‌های ۲ ب، پ، ت، ج، خ). همراهی رگچه‌های مگنتیتی، پیریتی و سیلیسی از دیگر ویژگی‌های مهم این کانسار محسوب می‌شود.

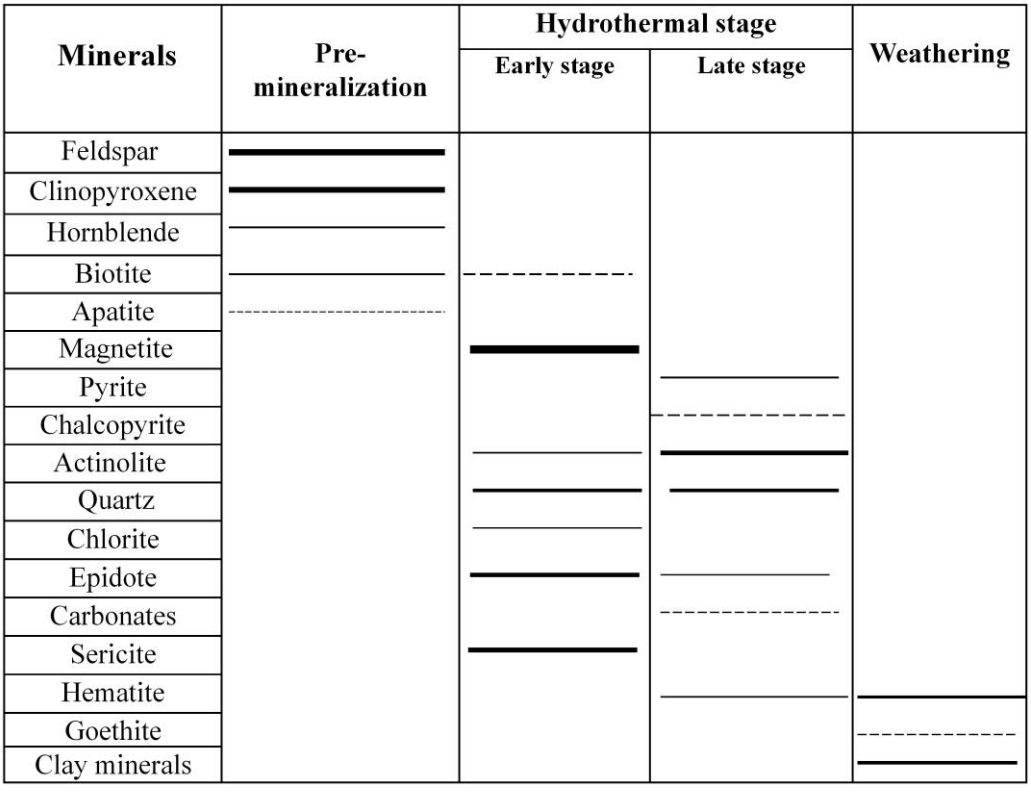


شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی با نور عبوری، بازتابی و الکترون‌های پس پراکنده (BSE) از کانی‌ها، کانه‌ها و بافت‌های مختلف کانسار آهن کوه‌بابا: (الف) مگنتیت رگچه‌ای به همراه دگرسانی سیلیسی. (با XPL)، (ب) دگرسانی اکتینولیتی همراه با کانی‌سازی که در بخش‌های درونی کانسار دیده می‌شود (باXPL)، (پ) دگرسانی کلریتی همراه با کانی‌سازی پراکنده (با PPL). (ت) دگرسانی اپیدوتی رگچه‌ای شکل همراه با کانی‌سازی پراکنده که در بخش‌های پیرامونی کانسار کوه‌بابا دیده می‌شود (با XPL)، (ث) کانه‌زایی پیریت در حال تبدیل به گوتیت با (نور بازتابی)، (ج) واحد سنگی دیوریت که دستخوش دگرسانی‌های اپیدوتی و سریسیتی شده است و کانی‌سازی پراکنده مگنتیت در آن دیده می‌شود (با XPL)، (چ) آپاتیت‌های همراه با کانی‌سازی پراکنده مگنتیت و دگرسانی اپیدوتی (با PPL)، (ح) دگرسانی کلریتی همراه با کانی‌سازی پراکنده پیریت (با BSE). و (خ) دگرسانی‌های اکتینولیتی و اپیدوتی همراه با کانی‌سازی مگنتیت (با BSE). علائم اختصاری به کار رفته عبارتند از: کوارتز= Qtz، اپیدوت= Ep، اکتینولیت= Act، مگنتیت= Mag، پیریت= Py، گوتیت= Gt، کلریت= Chl، آپاتیت= Ap و پلاژیوکلاز= Pl [۱۴].

افزون بر موارد یاد شده، نفوذ ماگما به درون سنگ‌های منطقه باعث خردشدگی شدید و ایجاد بافت برشی در کانسنگ‌های دربردارنده مگنتیت در بخشی از گستره کانسار شده است. همچنین، با کاهش شدت کانی‌سازی و افزایش فاصله از بخش اصلی ذخیره کانسار، بافت پراکنده دیده می‌شود که حجم اندکی از کانی‌سازی مگنتیت را به خود اختصاص داده است (شکل‌های ۲ ت و ج). کانی دیگری که با حجم بسیار کمتر نسبت به مگنتیت در منطقه دیده می‌شود، پیریت است. این کانی به صورت دانه‌ریز و پراکنده در لبه یا زمینه‌ای از کانی‌های دیگر و نیز به صورت رگه‌ای همراه با مگنتیت قابل مشاهده است و دگرسانی کلریتی آن را همراهی می‌کند (شکل‌های ۲ ث و ح). این کانی گاهی از لبه‌ها در حال تبدیل شدن به گوتیت است (شکل ۲ ث).

توالی همبری کانی‌ها و کانه‌ها

کانی‌های فلدسپار، کلینوپیروکسن و هورنبلند در مرحله پیش از کانی‌سازی مگنتیت و در سنگ میزبان دیده می‌شوند. کانی آپاتیت نیز با فراوانی کم مربوط به مراحل پیش از کانی‌سازی تا مراحل اولیه کانی‌سازی آهن است که در زمینه سنگ مشاهده می‌شود (شکل ۲ چ). بخش عمده کانی‌های دگرسانی شامل اکتینولیت، اپیدوت، کلریت، کوارتز و سریسیت مربوط به مرحله نخست کانی‌سازی هستند. مگنتیت نیز در مرحله نخست کانی-سازی شکل گرفته است که در بخش درونی کانسار به صورت بافت‌های توده‌ای و برشی دیده می‌شود. در ادامه با ورود محلول‌های کانه‌ساز به درون سنگ میزبان، مگنتیت به همراه هماتیت در دمای پایین‌تر در قالب رگه - رگچه و نیز به صورت پراکنده در زمینه سنگ درون‌گیر شکل گرفته است. اکتینولیت‌های پاراخاستگاه با مگنتیت، درشت بلور بوده و خود شکل هستند اما اکتینولیت‌های برآمده از دگرسانی پیروکسن دانه ریزتر و بی‌شکل هستند و در مراحل پایانی کانی‌سازی آهن تشکیل شده‌اند. پیریت نیز با فراوانی اندک طی مرحله تأخیری گرمابی و اغلب همراه با رگه‌های سیلیسی به وجود آمده است. کانی‌های هماتیت، گوتیت و کانی‌های رسی نیز مربوط به مرحله برونزادی هستند و به ترتیب از تبدیل کانی‌های مگنتیت، پیریت و فلدسپات شکل گرفته‌اند (شکل ۳).



شکل ۳ توالی همبری کانی‌ها و کانه‌ها در کانسار آهن کوه‌بابا.

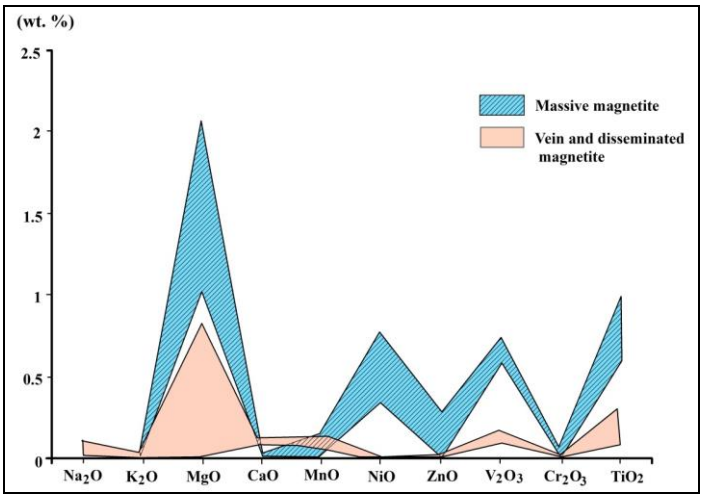
نتایج و بحث

بررسی‌های شیمی کانی مگنتیت

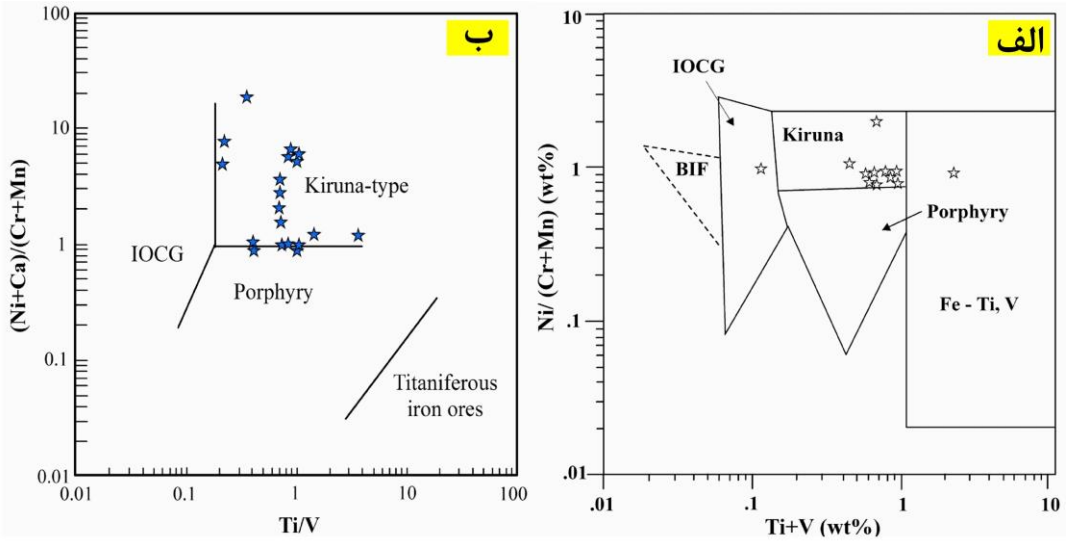
در این پژوهش ترکیب شیمی کانی مگنتیت به صورت‌های توده‌ای، رگچه‌ای و پراکنده با استفاده از تجزیه به روش ریزپردازش الکترونی (EPMA)، بررسی شده است. نتایج بدست آمده (جدول ۱، شکل ۴) نشان از حضور عناصری چون Al، V، Mg، و Mn در ساختار بلورهای مگنتیت کانسار کوه‌بابا دارند. غلظت Fe_{Total} در مگنتیت‌های مورد بررسی در گستره ۶۳٫۹۴ تا ۷۰٫۹۷ درصد وزنی در تغییر است. مگنتیت‌های با بافت توده‌ای که نزدیک به مرکز کانی‌سازی شکل گرفته‌اند، شامل مقادیر بالاتری از MgO (تا ۲٫۰۵ درصد وزنی)، TiO_2 (تا ۰٫۹۶ درصد وزنی)، NiO (تا ۰٫۹۱ درصد وزنی) و V_2O_3 (تا ۰٫۷۲ درصد وزنی) نسبت به مگنتیت‌های لبه‌ای با بافت پراکنده و رگچه‌ای هستند. مقادیر NiO و TiO_2 در مگنتیت-های با بافت‌های پراکنده و رگچه‌ای بسیار کمتر از مگنتیت‌های با بافت توده‌ای است. مقدار MnO در هر دو نوع مگنتیت تقریباً مشابه است (شکل ۴). نمودارهای دو متغیره Ni/(Cr+Mn) نسبت به Ti+V [۱۵] (شکل ۵ الف) و (Ni+Ca)/(Cr+Mn) نسبت به Ti/V [۱۶] (شکل ۵ ب) نشان می‌دهند که کانسار آهن کوه‌بابا را می‌توان در رده کانسارهای آهن نوع کایرونا و از نوع اکسیدآهن-آپاتیت ضعیف در نظر گرفت.

جدول ۱ نتایج تجزیه EPMA از ۲۸ نقطه از مگنتیت‌های کانسار آهن کوه‌بابا (بر حسب درصد وزنی).

شماره نمونه	شماره نقطه	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	V_2O_3	FeO	Fe_2O_3	MnO	MgO	ZnO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	NiO	مجموع
K-111	۱	۰٫۷۷	۰٫۶۵	۰٫۹۴	۰٫۰۴	۰٫۶۴	۳۰٫۳۲	۶۰٫۱۶	۰٫۰۳	۱٫۰۲	۰	۰٫۰۳	۰	۰	۰	۰٫۳۵	۹۴٫۹۵
	۲	۰٫۴۸	۰٫۷۵	۱٫۶۵	۰٫۰۵	۰٫۶۱	۳۰٫۵۴	۶۰٫۶۶	۰٫۰۹	۲٫۰۵	۰٫۲۷	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰٫۷۶	۹۷٫۹۲
	۳	۱٫۱۲	۰٫۳۴	۰٫۳۱	۰٫۰۲	۰٫۶۸	۳۰٫۹۴	۶۱٫۵۶	۰٫۰۴	۰٫۴۷	۰٫۰۷	۰٫۱۱	۰	۰	۰٫۰۶	۰٫۹۱	۹۶٫۶۳
	۷	۰٫۷۳	۰٫۶۹	۰٫۶	۰٫۰۵	۰٫۶۳	۳۰٫۴۰	۶۰٫۳۶	۰٫۰۶	۰٫۷۴	۰٫۰۸	۰٫۱۹	۰	۰	۰٫۰۵	۰٫۶۴	۹۵٫۲۲
	۸	۰٫۸۵	۰٫۵۴	۰٫۴۶	۰٫۰۶	۰٫۶۵	۳۱٫۱۶	۶۲٫۰۴	۰٫۰۷	۰٫۶۲	۰٫۰۹	۰٫۱	۰٫۰۸	۰	۰٫۰۱	۰٫۲۶	۹۶٫۹۹
	۱۱	۰٫۲۶	۰٫۲۸	۰٫۴۱	۰٫۰۴	۰٫۵۹	۳۱٫۰۷	۶۱٫۸۴	۰٫۰۵	۰٫۳۷	۰	۰٫۰۹	۰	۰	۰	۰	۹۵٫۰۰
K-100	۱۴	۰٫۱۳	۰٫۶	۲٫۶	۰٫۰۴	۰٫۶۹	۳۱٫۳۲	۶۲٫۴۰	۰٫۰۶	۱٫۱۹	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰٫۳۴	۹۹٫۳۸
	۱۵	۰٫۰۶	۰٫۲	۰٫۳۷	۰٫۰۵	۰٫۶۸	۳۲٫۲۵	۶۴٫۴۵	۰٫۰۳	۰٫۳۷	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰٫۳۹	۹۸٫۸۶
	۱۶	۰٫۲	۰٫۱۹	۰٫۳۲	۰٫۰۲	۰٫۶۷	۳۱٫۹۴	۶۳٫۷۸	۰٫۰۴	۰٫۳۴	۰	۰٫۰۶	۰	۰	۰	۰٫۳۹	۹۷٫۹۵
	۱۹	۰٫۹۵	۰٫۳۶	۰٫۳۴	۰٫۰۳	۰٫۶۴	۳۱٫۲۲	۶۲٫۱۷	۰٫۰۳	۰٫۴۸	۰٫۱۱	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۲	۰	۰	۹۶٫۳۶
	۲۰	۰٫۰۷	۰٫۹۶	۱٫۹۷	۰٫۰۴	۰٫۷۲	۳۱٫۱۲	۶۱٫۹۵	۰٫۱۴	۱٫۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۸٫۶۷
Kh-54	۱	۰٫۸۸	۰٫۱۲	۰٫۲۲	۰	۰٫۱۵	۳۲٫۲۳	۶۴٫۴۲	۰٫۱۸	۱٫۲۲	۰٫۰۸	۰٫۱۴	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰	۰٫۱۶	۹۹٫۸۳
	۲	۰٫۳۷	۰٫۱۵	۰٫۲۳	۰	۰٫۰۹	۳۲٫۲۸	۶۴٫۵۳	۰٫۱۸	۱٫۱۵	۰	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰	۰	۹۹٫۰۹
	۳	۱٫۰۱	۰٫۱۶	۰٫۲۹	۰	۰٫۱۳	۳۲٫۲۵	۶۴٫۴۶	۰٫۱۷	۱٫۴۶	۰	۰٫۱۷	۰٫۱۲	۰	۰	۰	۱۰۰٫۲۲
	۷	۰٫۶۲	۰٫۱۴	۰٫۲۵	۰	۰٫۱۵	۳۲٫۳۳	۶۴٫۶۴	۰٫۰۹	۰٫۸۲	۰	۰٫۱	۰٫۰۵	۰	۰	۰	۹۹٫۱۹
	۹	۱٫۹۱	۰٫۰۸	۰٫۲۴	۰	۰٫۰۹	۳۱٫۳۲	۶۲٫۳۹	۰٫۰۵	۰٫۵۴	۰	۰٫۱۱	۰٫۰۵	۰	۰	۰	۹۶٫۷۸
K-43	۱۹	۰٫۱۲	۰٫۲۶	۰٫۷۲	۰	۰٫۱۸	۳۲٫۲۸	۶۴٫۵۳	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰	۰٫۰۴	۰	۰	۰	۰	۹۸٫۳۰
	۲۰	۰٫۰۹	۰٫۱۶	۰٫۵	۰	۰٫۱۶	۳۲٫۵۲	۶۵٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۸	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۹۸٫۶۵
	۲۱	۰٫۴۱	۰٫۳	۰٫۵۴	۰	۰٫۱۵	۳۱٫۸۴	۶۳٫۵۶	۰٫۱۱	۰٫۱۴	۰	۰٫۱۱	۰٫۰۹	۰٫۰۱	۰	۰	۹۷٫۲۶
	۲۶	۰٫۱۳	۰٫۳	۱٫۳۷	۰٫۰۷	۰٫۵۷	۳۲٫۵۲	۶۵٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۲	۰	۰٫۱۸	۰٫۰۸	۰٫۰۱	۰	۰	۱۰۰٫۳۷
	۲۷	۰٫۱۲	۰٫۳۳	۰٫۷	۰	۰٫۱۸	۳۲٫۷۵	۶۵٫۵۶	۰٫۱۱	۰۰٫۰۹	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰٫۱۴	۹۹٫۹۹
	۲۸	۰٫۱۸	۰٫۴۶	۰٫۹۵	۰	۰٫۲۱	۳۱٫۷۳	۶۳٫۳۱	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۲۴	۰٫۱۱	۰٫۰۸	۰	۰	۰	۹۷٫۵۶
Kh-28	۵	۰٫۱۲	۰٫۳۲	۱٫۷۵	۰	۰٫۶۱	۳۱٫۱۱	۶۱٫۹۳	۰	۰٫۹۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۶٫۷۵
	۶	۰٫۰۶	۰٫۷۹	۱٫۱۵	۰	۰٫۶۹	۳۲٫۸۹	۶۵٫۸۹	۰	۱٫۰۵	۰٫۲۸	۰	۰	۰	۰	۰٫۳	۱۰۳٫۱۰
	۷	۰٫۱۴	۰٫۳۶	۰٫۴۲	۰	۰٫۶۱	۳۲٫۲۱	۶۴٫۳۷	۰	۰٫۴	۰٫۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۹۸٫۶۳
	۱۳	۰٫۷۲	۰٫۴۸	۰٫۶۲	۰	۰٫۵۹	۳۱٫۵۱	۶۲٫۸۱	۰	۰٫۲۲	۰	۰٫۱۱	۰	۰	۰	۰٫۲۱	۹۷٫۲۷
	۱۴	۰٫۶۲	۰٫۵۴	۰٫۴۹	۰٫۰۷	۰٫۴۷	۲۹٫۸۵	۵۹٫۱۳	۰	۰٫۲۳	۰٫۲۱	۰٫۲۳	۰	۰	۰	۰٫۱۵	۹۱٫۹۹
	۱۵	۰٫۶۳	۰٫۶۷	۲٫۲	۰	۰٫۶۵	۳۰٫۴۹	۶۰٫۵۶	۰٫۲۷	۰٫۷۹	۰	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰	۰	۰٫۲۴	۹۶٫۶۶

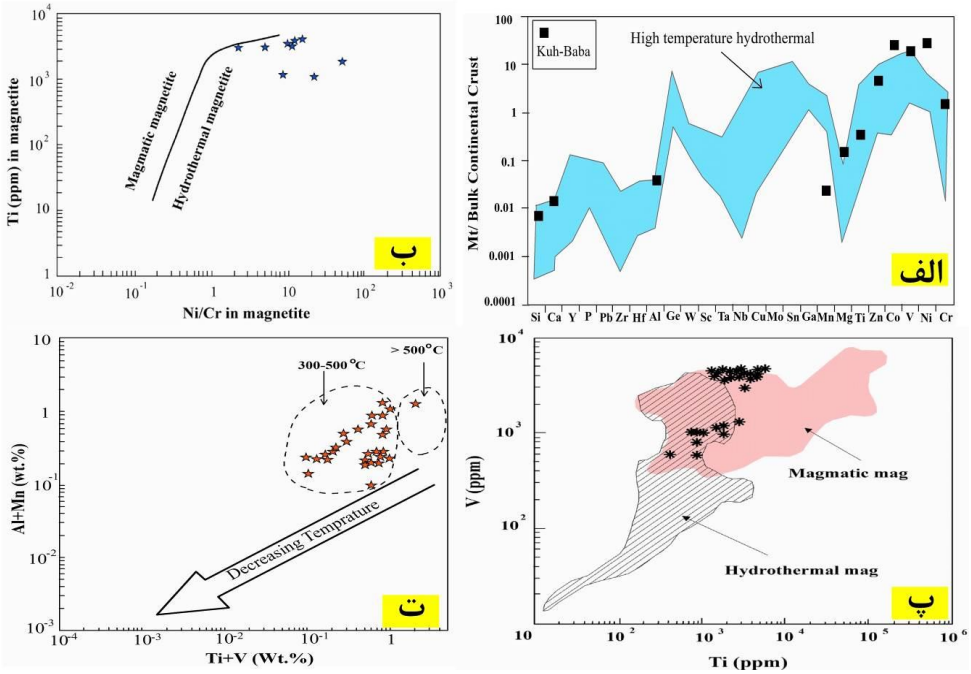


شکل ۴ مقایسه نتایج تجزیه EPMA مگنتیت‌های توده‌ای با مگنتیت‌های پراکنده و رگچه‌ای در کانسار آهن کوه‌بابا.



شکل ۵ (الف) نمودار Ni/(Cr+Mn) نسبت به Ti+V که مگنتیت‌های مورد بررسی از کانسار کوه‌بابا را بیشتر در موقعیت ذخایر نوع کایرونا نشان می‌دهد [۱۵] و (ب) نتایج تجزیه مگنتیت‌های کانسار آهن کوه‌بابا در نمودار (Ni+Ca)/(Cr+Mn) نسبت به Ti/V که در اینجا نیز اغلب نمونه‌ها در بخش کانسارهای نوع کایرونا قرار گرفته‌اند [۱۶].

مقایسه میانگین برخی عناصر فرعی و جزئی موجود در مگنتیت‌های کانسار کوه‌بابا با مقدار میانگین این عناصر در مگنتیت‌های کانسارهای گرمابی دما بالا [۲] نشان می‌دهد که الگوی توزیع عناصر در مگنتیت‌های کوه‌بابا بسیار شبیه با کانسارهای گرمابی دما بالاست (شکل ۶ الف). براساس نمودار دو متغیره Ti در برابر Ni/Cr [۱۷]، مگنتیت‌های کانسار کوه-بابا از نوع گرمابی هستند (شکل ۶ ب). رسم مقادیر Ti و V مگنتیت‌های مورد بررسی در نمودار دو متغیره Ti-V [۱۸، ۱۹] نشان می‌دهد که مگنتیت‌های کانسار کوه‌بابا در گستره ماگمایی و بخشی دیگر در گستره مشترک ماگمایی و گرمابی قرار می‌گیرند (شکل ۶ پ). نمودار دو متغیره (Ti+V) نسبت به (Al+Mn) [۳] نشان می‌دهد که مگنتیت‌های کانسار کوه‌بابا بیشتر در گستره دمایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد شده‌اند (شکل ۶ ت). از آنجا که خاستگاه کانسارهای آهن نوع کایرونا یا IOA می‌توانند ماگمایی-گرمابی باشند [۲۰، ۲۱]، براساس نمودارهای استفاده شده (شکل‌های ۶ الف-ت) می‌توان گفت که کانسار آهن کوه‌بابا بیشترین شباهت را به کانسارهای نوع کایرونا (از نوع اکسید آهن-آپاتیت ضعیف) دارد و خاستگاه مگنتیت‌ها را می‌توان ماگمایی- گرمابی دما بالا در نظر گرفت.



شکل ۶ (الف) نمودار چند عنصری [۲] که در آن گستره مگنتیت‌های گرمابی دما بالا نشان داده شده و اغلب نمونه‌های مورد بررسی در این گستره قرار می‌گیرند، (ب) نمودار دو متغیره Ti نسبت به Ni/Cr [۱۷] برای تفکیک محیط‌های ماگمایی از گرمابی، (پ) نمودار دو متغیره V نسبت به Ti [۱۹] برای تفکیک مگنتیت‌های ماگمایی از گرمابی. بر اساس نتایج EPMA، مگنتیت‌های کانسار آهن کوه‌بابا در گستره ماگمایی و گستره مشترک ماگمایی-گرمابی رسم می‌شوند و (ت) نمودار دو متغیره Ti+V نسبت به Al+Mn [۳] که نشان دهنده دمای تشکیل ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد برای مگنتیت‌هاست.

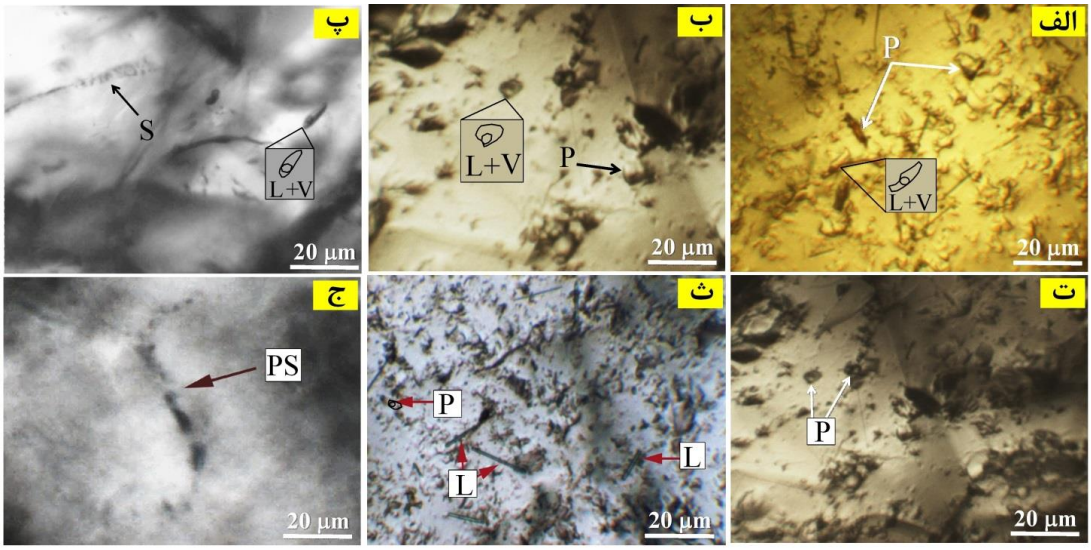
بررسی میانبارهای سیال

نتایج سنگ‌نگاری: بررسی‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال در کانسار آهن کوه‌بابا بر کانی کوارتز همزمان کانی‌سازی شده با مگنتیت صورت گرفت. از نظر ظاهری، میانبارهای سیال مورد بررسی به شکل‌های گرد، مثلثی و میله‌ای دیده می‌شوند و اندازه‌ای متغیر از ۳ تا ۱۴ میکرون دارند (شکل ۷). از نظر زمانی، در بلورهای کوارتز سه نوع میانبار سیال اولیه (P)، ثانویه (S) و ثانویه کاذب (PS) تشخیص داده شدند. بر اساس محتوای فازی موجود [۸]، سه نوع میانبار سیال اولیه در نمونه‌های برداشت شده قابل تشخیص هستند که عبارتند از: الف) دو فازی مایع- گاز غنی از مایع (L+V): که این نوع میانبارها نسبت به بقیه انواع فراوانی بیشتری دارند و به فاز مایع همگن می‌شوند و فاز مایع آنها نسبت به فاز حباب غالب است. نسبت V/L در آنها از ۱۰ تا ۱۵ درصد در تغییر است. ب) میانبارهای سیال تک فاز گازی (V) و پ) میانبارهای سیال سه فازی مایع- گاز-کانی تیره (L+V+S): که این نوع تنها در یک نمونه دیده شد که در آن فاز نوزاد جامد از نوع اکسید آهن است.

میانبارهای سیال ثانویه بیشتر در ترک‌ها و شکستگی‌های بسیار ریز که سطوح بلورهای میزبان را قطع نموده اند گسترش یافته‌اند (شکل ۷ پ)، در حالی‌که میانبارهای ثانویه کاذب در ترک‌های بسیار ریزی که فقط درون بلورهای میزبان محصور شده‌اند قابل تشخیص هستند (شکل ۷ ج). همه میانبارهای سیال دوفازی به فاز مایع همگن شده‌اند. بررسی‌های ریزدماسنجی و تعیین مقدار شوری میانبارهای سیال همه بر این نوع سیال‌ها انجام گرفته است (جدول ۲) و (شکل‌های ۷ الف تا ث).

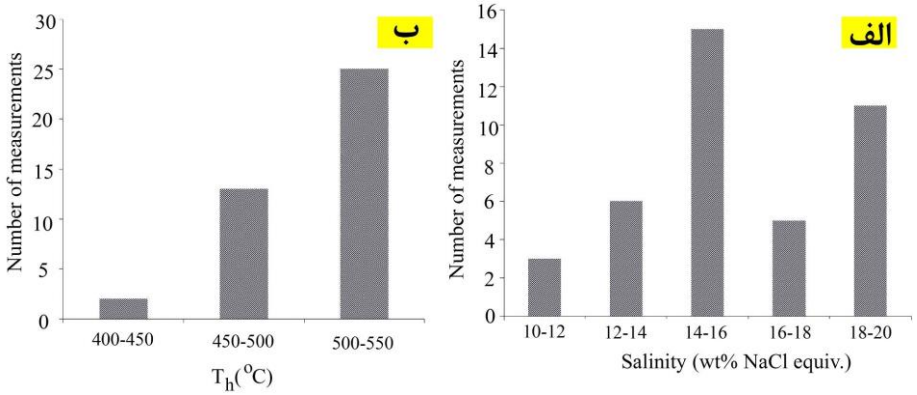
جدول ۲ داده‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال اولیه از کانی کوارتز در کانسار آهن کوه‌بابا.

شماره نمونه	فازها	T_h (°C)	T_{Fm} (°C)	T_m ice (°C)	شوری (wt % NaCl eqv.)	چگالی (gr/cm^3)
18A (1-8)	L+V	۴۳۶-۵۴۴	(-۵۴) تا (-۵۴/۷)	(-۱۳/۸) تا (-۱۴/۷)	۱۷/۶۱ -۱۸/۳۸	۰/۵۴۷ - ۰/۷۲۷
18B (1-8)	L+V	۵۲۵-۵۳۹	(-۵۳) تا (-۵۳/۷)	(-۱۵/۸) تا (-۱۵/۳)	۱۸/۸۸ -۱۹/۳۱	۰/۵۷۶ - ۰/۶۰۵
18C (1-8)	L+V	۴۸۳-۵۰۸	(-۵۳/۷) تا (-۵۳/۱)	(-۱۰) تا (-۱۰/۷)	۱۳/۹۴ -۱۴/۶۷	۰/۵۳۹ - ۰/۵۸۷
18D (1-8)	L+V	۵۰۲-۵۱۶	(-۵۳) تا (-۵۳/۷)	(-۱۱) تا (-۱۱/۹)	۱۵/۰۷ -۱۵/۹۷	۰/۵۴۱ - ۰/۵۶۹
18E (1-8)	L+V	۴۷۳-۴۹۰	(-۵۳/۱) تا (-۵۳/۷)	(-۷/۹) تا (-۸/۹)	۱۱/۵۸ -۱۲/۷۳	۰/۵۲۸ - ۰/۵۵۳

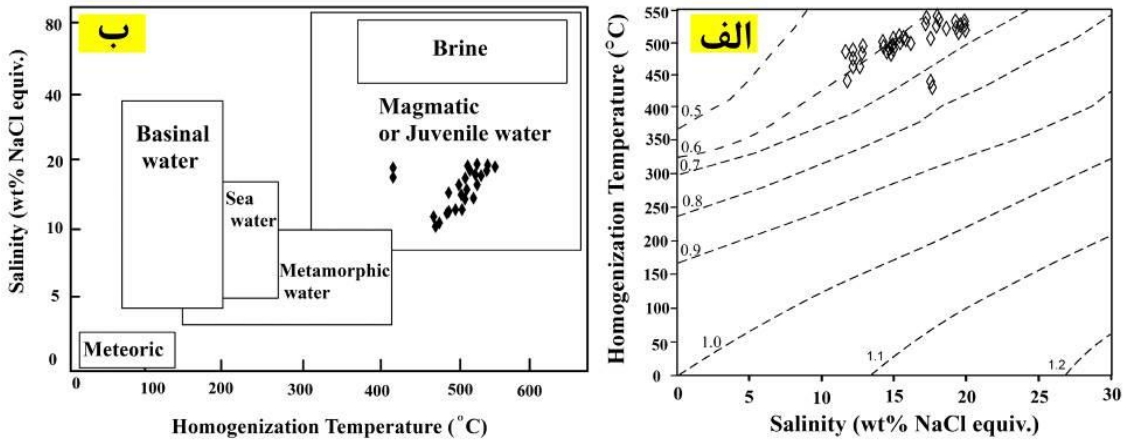


شکل ۷ انواع میانبارهای سیال دیده شده در کانی کوارتز کانسار آهن کوه‌بابا: (الف) میانبارهای سیال اولیه دو فازی (L+V) و تک فازی گازی (V)، (ب) میانبارهای سیال دو فازی (L+V)، (پ) میانبارهای سیال دو فازی و میانبارهای سیال ثانویه که در نمونه‌های مورد بررسی بسیار دیده می‌شوند، (ت) میانبارهای سیال دو فازی کوچکتر از ۵ میکرون، (ث) میانبارهای سیال تک فازی (L) که به شکل میله‌ای دیده می‌شوند؛ (ج) میانبارهای سیال ثانویه کاذب که به شکل S مانند دیده می‌شود.

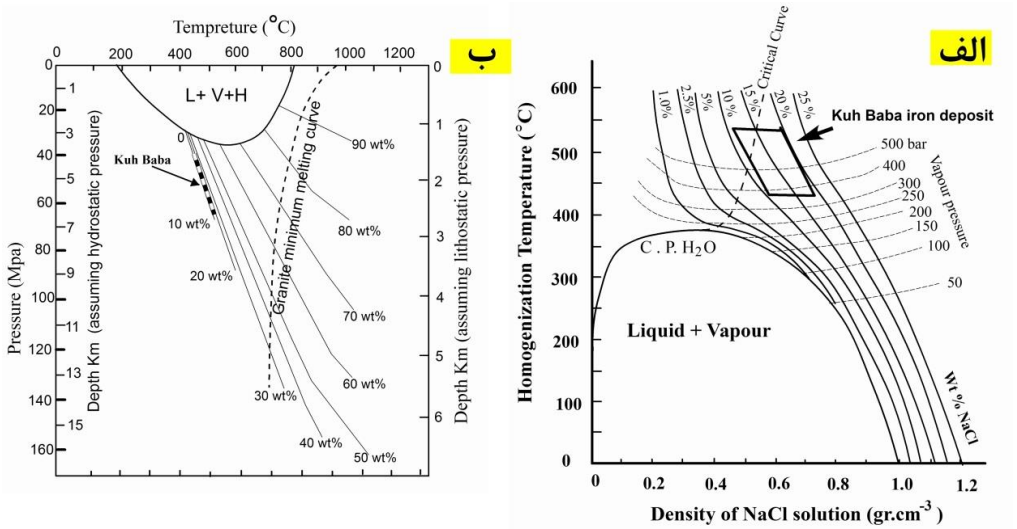
نتایج ریزدماسنجی: برای تعیین شوری، از شیوه عمل سرمایش یعنی منجمد کردن سریع و سپس گرم کردن آهسته میانبارهای سیال، استفاده شد. طی این عمل ابتدا دمای نخستین نقطه ذوب (نقطه همگدازی، T_{Fm}) و سپس دمای ذوب نهایی یخ (T_M) به دست آمدند. از آنجا که مقادیر T_{Fm} به دست آمده در گستره ۵۳- تا ۵۴- درجه سانتی‌گراد هستند، می‌توان نتیجه گرفت که سیال‌های کانه‌ساز بدون شک افزون بر NaCl مقداری $CaCl_2$ داشته‌اند. مقادیر T_M بدست آمده در گستره ۱۵٫۸- تا ۷٫۹- درجه سانتی‌گراد هستند (جدول ۲) که با توجه به معادله بودنار [۲۲] اشاره به شوری‌هایی در گستره ۱۱٫۵۸ الی ۱۹٫۳۱ درصد وزنی معادل نمک طعام دارند. بیشترین فراوانی شوری مربوط به گستره ۱۴ تا ۱۶ درصد وزنی معادل نمک طعام است (شکل ۸ الف). برای تعیین دماهای همگن شدگی، با توجه به پژوهش گلدشتاین و رینولدز [۲۳]، نمونه‌ها تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد گرم شدند. همه سیال‌های مورد بررسی طی گرمایش به فاز مایع همگن شدند. دمای همگن شدگی برای میانبارهای سیال مورد بررسی از ۴۳۶ تا ۵۴۴ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده (جدول ۲) و بیشترین فراوانی دمای همگن‌شدگی مربوط به گستره دمایی ۵۰۰ تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۲ و شکل ۸ ب). بر اساس شکل ۹ الف، چگالی میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع از ۰٫۵۷ تا ۰٫۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییر می‌کند. با توجه به شکل ۹ ب [۲۴]، عامل تشکیل رگه‌های سیلیسی- مگنتیتی که بررسی میانبارهای سیال بر آنها صورت گرفته است، به احتمال زیاد آب‌های ماگمایی (Juvenile water) بوده است. با وجود مشاهده چند میانبار سیال تک فاز گازی، یافته‌های ریزدماسنجی دیگر و یا شواهد ساختی، بافتی، و کانی‌شناسی که نشانگر فرآیند جوشش باشند در کانسنگ‌های مورد بررسی دیده نشدند. با توجه به این امر، باید در نظر گرفت که سیال‌های کانه‌دار در هنگام نهشت کانسنگ‌ها فشار همه جانبه را تجربه می‌کرده‌اند. با توجه به چگالی به دست آمده و اعمال آن در نمودار چگالی سیال نسبت به دمای همگن‌شدگی و هم‌چنین با در نظر گرفتن مقادیر شوری، می‌توان کمترین فشار سیال را به دست آورد [۲۵]. از آنجا که دماهای همگن شدگی برای میانبارهای سیال مورد بررسی از ۴۳۶ تا ۵۴۴ (میانگین ۵۰۵) درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کنند، فشارهای محاسبه شده در گستره ۳۴۰ تا ۶۸۰ (میانگین ۵۸۰) بار متغیر هستند (شکل ۱۰ الف). با توجه به فشارهای همه جانبه به دست آمده و بر پایه فشار سیال کانه‌ساز نسبت به دمای همگن‌شدگی [۲۶]، عمق‌های کانی‌سازی مگنتیت در کوه‌بابا در گستره ۱٫۳ تا ۲٫۷ (میانگین ۲٫۳) کیلومتر از سطح زمین برآورد شدند (شکل ۱۰ ب). سازوکار اصلی کانی‌سازی که باعث تغییر در شرایط سیال کانه‌دار و ناپایداری کمپلکس‌های آهن‌دار شده را می‌توان از نمودار دو متغیره شوری نسبت به دمای همگن شدگی (شکل ۱۱) بدست آورد. با توجه به روند تکاملی سیال کانه‌دار در این نمودار، کاهش دما و احتمالاً دخالت آب‌های جوی با شوری بسیار پایین عامل کانی‌سازی در کانسار آهن کوه‌بابا بوده است.



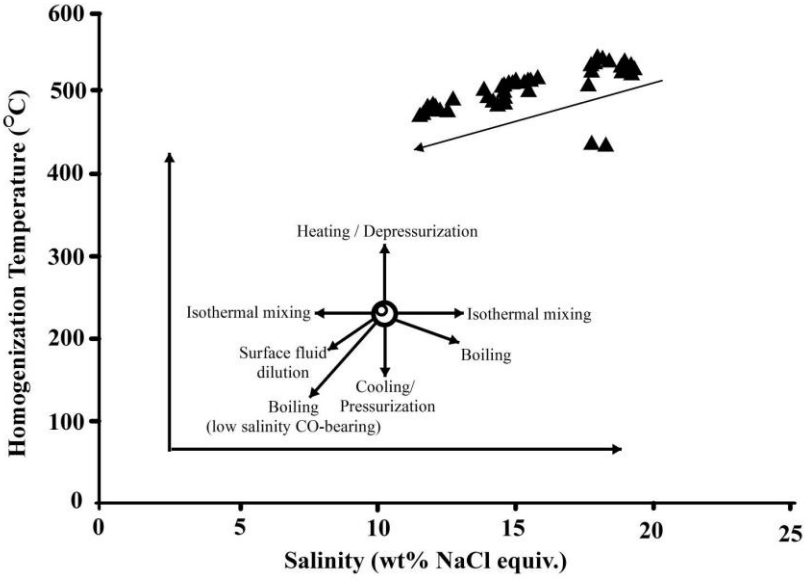
شکل ۸ (الف) نمودار دمای همگن شدگی مربوط به میانبارهای سیال در کانی سازی آهن کانسار کوه‌بابا با بیشترین فراوانی دمایی در گستره ۵۰۰ تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و (ب) نمودار شوری میانبارهای سیال بر حسب درصد وزنی با بیشترین فراوانی در گستره ۱۴ تا ۱۶ درصد وزنی معادل نمک طعام.



شکل ۹ (الف) روند تغییرات چگالی، شوری و دمای همگن شدگی سیال‌های گرمابی با فرایندهای وابسته به کانسار آهن کوه‌بابا [۷] و (ب) نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری برای تعیین خاستگاه سیال کانه ساز در کانسار آهن کوه‌بابا [۲۴]. بر این اساس، آب‌های ماگمایی خاستگاه سیال‌های کانه ساز آهن در این کانسار بوده‌اند.



شکل ۱۰ (الف) نمودار دما- چگالی با اعمال شوری برای تعیین مقدار فشار سیال که بین ۳۶۰ تا بیش از ۵۰۰ بار است [۲۵] و (ب) نمودار فشار نسبت به دمای همگن شدگی میانبارهای سیال برای محاسبه عمق کانی سازی [۲۶] (مایع = L ، گاز = V، نمک طعام = H، 1Mpa = 10 bars). خطوط پربندی ممتد درصد وزنی نمک طعام حل شده پایدار در بخش مایع سیال درگیر را نشان می‌دهند.



شکل ۱۱ روندهای مختلف تکامل سیال در نمودار دمای همگن‌شدگی شوری [۷]. بر اساس این نمودار، عامل اصلی کانی سازی آهن در کانسار کوه‌بابا به احتمال زیاد کاهش دما و ترکیب شدن با آب‌های جوی بوده است.

برداشت

مهمترین نتایج این پژوهش عبارتند از:

۱- مگنتیت‌های شکل گرفته در بخش‌های مرکزی کانسار کوه-بابا دارای بافت توده‌ای و مقادیر نسبتاً بالاتری از MgO، TiO_2، NiO و V_2O_3 نسبت به مگنتیت‌های بخش‌های پیرامونی کانسار هستند که بافت‌های پراکنده و رگچه‌ای از خود نشان می‌دهند.

۲- بر اساس نمودارهای دو متغیره Ni/Cr-Ti و Ti-V و هم-چنین نمودار توزیع عناصر فرعی و جزئی در کانی مگنتیت، خاستگاه مگنتیت‌های کانسار آهن کوه‌بابا ماگمایی تا گرمابی دما بالا ارزیابی شده است. هم‌چنین، با توجه به نمودارهای تفکیکی استفاده شده، کانسار آهن کوه‌بابا را می‌توان در رده کانسارهای آهن کایرونا نوع اکسید آهن-آپاتیت ضعیف در نظر گرفت.

۳- بیشتر میانبارهای سیال مورد بررسی در کانی کوارتز موجود در کانسنگ‌های آهن کوه‌بابا از نوع دوفازی غنی از مایع هستند و دمای همگن شدگی آنها از ۴۳۶ تا ۵۴۴ درجه سانتی‌گراد و شوری آنها از ۱۱٫۵۸ تا ۱۹٫۳۱ درصد وزنی معادل نمک طعام در تغییر است.

۴- بر پایه محاسبه چگالی و فشار میانبارهای سیال، عمق کانی سازی آهن در کانسار آهن کوه‌بابا در گستره ۱٫۳ تا ۲٫۷ کیلومتر (میانگین ۲٫۳ کیلومتر) برآورد شد.

۵- بررسی میانبارهای سیال نشان می‌دهد که کانسار آهن کوه-بابا از آب‌های ماگمایی ناشی شده و کاهش دما و آمیختگی با آب‌های جوی عامل اصلی کانی‌سازی آهن در آن بوده است.

قدردانی

نگارندگان مقاله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه ارومیه، سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) و شرکت سنگ آهن کوه‌بابا برخوردار بوده‌اند، که بدین‌وسیله نهایت سپاس و قدردانی خود را از مسؤولین مربوطه اعلام می‌دارند. نگارندگان همچنین از نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

[1] Dare S. A. S., Barnes S. J., Beaudoin G., *"Variation in trace element content of magnetite crystallized from a fractionating sulfide liquid, Sudbury, Canada: Implications for provenance discrimination*", Geochimica et Cosmochimica Acta 88 (2012) 27-50.

[2] Dare S. A. S., Barnes S. J., Beaudoin G., Méric J., Boutroy E., Potvin-Doucet C., *"Trace elements in magnetite as petrogenetic indicators*", Mineralium Deposita 49 (2014) 785-796.

[3] Nadoll P., Angerer T., Mauk J. L., French D., Walshe J., *"The chemistry of hydrothermal magnetite: A review*", Ore Geology Reviews 61 (2014) 1-32.

[4] Chung D., Zhou M. F., Gao J. F., Chen W. T., *"In-situ LA–ICP-MS trace elemental analyses of magnetite: The late Palaeoproterozoic Sokoman iron Formation in the Labrador Trough, Canada*", Ore Geology Reviews 65 (2015) 917-928.
[5] Liu P. P., Zhou M. F., Chen W. T., Gao J. F., Huang X. W., *"In-situ LA-ICP-MS trace elemental analyses of magnetite: Fe–Ti–(V) oxide-bearing mafic–ultramafic layered intrusions of the Emeishan large igneous province, SW China*", Ore Geology Reviews 65 (2015) 853-871.
[6] Nadoll P., Mauk J. L., Hayes T. S., Koenig A. E., Box S. E., *"Geochemistry of magnetite from hydrothermal ore deposits and host rocks of the Mesoproterozoic Belt Supergroup, United States*", Economic Geology 107 (2012) 1275-1292.
[7] Wilkinson J. J., *"Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits*", Lithos 55 (2001) 229-272.
[8] Roedder E., "*Fluid inclusions*", Mineral Soc Am Rev 12 (1984) 644 pp.
[9] Maghfouri S., Movahed Nia M., Hosseinzadeh M., "*Geology, mineralization, ore texture, paragenetic sequence of the Kuh-Baba IOA type iron deposit, South of Ghareh-Aghaj, Northwest of Iran*", The 34th national and 2nd international Geosciences congress, Iran (2015).
[10] Pichab Kansar Company., *"Exploration report of Kuh Baba iron ore deposit*", Ministry of industry, Mine and Trade, Iran (2012).
[11] Alavi M., *"Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran*", Geological Society of America Bulletin 103 (1991) 983-992.
[12] Aghanabati A., *"Major sedimentary and structural units of Iran (map)*", Geosciences 7 (1998) 29-30.
[13] Babakhani A. R., Ghalamghash J., *"1:100000 Geological map of Takht-E-Soleyman*", Geological survey of Iran (1996).
[14] Kretz, R., "*Symbols for rock-forming minerals*", American Mineralogist 68 (1983) 277-279.
[15] Dupuis C., Beaudoin G., *"Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types*", Mineralium Deposita 46 (2011) 319-335.
[16] Beaudoin G., Dupuis C., Gosselin P., Jebrak M., *"Mineral chemistry of iron oxides: application to mineral exploration, in Andrew, C.J. ed., Digging Deeper*", Proceedings of the Ninth Biennial SGA Meeting, Dublin 1 (2007) 497-500.
[17] Dare S. A. S., Barnes S., Beaudoin G., *"Did the massive magnetite "lava flows" of El Laco (Chile) form by magmatic or hydrothermal processes? New constraints from magnetite composition by LA-ICP-MS*", Mineral Deposita 50 (2014) 607-617.
[18] Nadoll P., Mauk J. L., Leveille R. A., Koenig A. E., *"Geochemistry of magnetite from porphry Cu and skarn deposits in the southwestern United States*", 50 (2015) 493-515.
[19] Knipping J. L., Bilenker L. D., Simon A. C., Reich M., Barra F., Deditius A. P., Wälle M., Heinrich C. A., Holtz F., Munizaga R., *"Trace elements in magnetite from massive iron oxide-apatite deposits indicate a combined formation by igneous and magmatic-hydrothermal processes*", Geochimica et Cosmochimica Acta 171 (2015) 15-38.
[20] Barton M. D., Johnson D. A., *"Evaporitic-source model for igneous-related Fe oxide–(REE-Cu-Au-U) mineralization*", Geology 24 (1996) 259-262.
[21] Rhodes A. L., Oreskes N., Sheets S., *"Geology and rare earth element geochemistry of magnetite deposits at El Laco, Chile: in Skinner, B.J., ed., Geology and ore deposits of the Central Andes*", Society of Economic Geologists, Special Publication 7 (1999) 299-332.
[22] Bodnar R. J., "*Revised equation and table for determining the freezing point depression for H_2O-NaCl solutions*", Geochimica et Cosmochimica Acta 57 (1993) 683-684.
[23] Goldstein R. H., Reynolds T. J., "*Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals*", SEPM Short Course 31. Society for sedimentary geology, United States of America (1994) 213 pp.
[24] Kesler S. E., "*Ore-forming fluids*", Elements 1 (2005) 13-18.
[25] Fisher J. R., "*The volumetric properties of H_2O-A graphical portrayal. J. Res.* ", US Geol. Surv. 4 (1976) 93-189.
[26] Fournier R. O., "*Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment*", Economic Geology 94 (1999) 1193–1212.