



Research Article

Geochemistry and mineralization magnetite in Mimoun Abad (SW Dehgolan, Kurdistan)

Afshin Akbarpour* 

Mineralogy and applied exploration group, RIES in GSI, Tehran, Iran

Received: 30 Apr 2020 Accepted: 09 Oct 2020

Extended Abstract

Introduction

Kurdistan province has many iron mines, including: Saghez (Saheb and Hassan-salar), West Marivan (Asanawa), West Divandareh (Allijan, Tawakalan and Zafarabad), North Bijar (Shahrak and Sharifkandi), South Dehgolan (Mimounabad) and East Qorveh (Galalli, Khosroabad, Charmalah, Hezarkhani, Meymanatabad and Babaali). The Meymon-Abad Fe mineralization is one of the important mineralizations of Hamedan-Dehgolan zone.

Materials and Methods

In this research some samples of magnetite mineralization were taken (6 samples) for ICP-MS (GSI Lab), thin polish and thin section samples were taken (21 samples) from host rock and mineralization and 20 XRF samples were collected too (GSI Lab). One sample is selected for EPMA (Binaloud Co 20 points) and SEM (GSI 4 magnetite minerals). Overall, 57 samples were analyzed.

Results and Discussion

Ghorbani (2008) divides Sanandaj-Sirjan zone into three parts from economic, geologic and metallogenic aspects. The southern part stretches from Sirjan to Isfahan. The middle part in terms of mineralization is more important than northern and southern parts. According to Momenzadeh (1976), the zone is mostly of sedimentary origin but other researchers such as Zamanian (2016), Bartai (2013), Rostmi paidar (2009) or Pirbaba ali, Galali suggest hydrothermal and skarn genesis. Meymon-Abad mineralization is located near other Fe mineralization zones in Gorveh which is located at intrusive margins of Soufi-abad. This matter can make a skarn genesis possible. Field and analytical studies show other origins for Fe mineralization in study area.

Conclusion

Considering expansion, stratigraphy and gap relations between REE data diagrams in Magnetite mineralization and intrusive rocks, it showed limited similarities between Fe mineralization and intrusive rocks. There is limited relation between Fe mineralization in Meymon-Abad and skarn and hydrothermal deposits and this matter shows other origins for Meymon-Abad deposit, therefore sedimentary genesis is probable. High values of L.O.I in analyzed samples indicate that sedimentary genesis is probable. Micro probe analysis in magnetite minerals indicate C element and this can provide another reason for a sedimentary origin of Fe mineralization. At the margins of Sufi-abad granite rocks, there is evidence of hydrothermal origin for Fe mineralization. Mineral traces of pyrite, actinolite, chlorite, albite, calcite and garnet provide evidences of hydrothermal fluid effect in the study area. At margins of Sufi-abad percent of Fe decreases. So magnetite further from Sufi-abad is less than magnetite near Sufi-abad granite. There are fluctuations in magnetite amounts in amphibolite rocks and we can see mineral emplacement with magnetite. Magnetite has shaped interlayers and impregnated less in the host rock. The geochemical evidences of the magnetite mineral and REE variation on them show primary and secondary origins for mineralization in the Meymon-Abad ore deposit. This means that, primarily the high iron oxide bearing layers were deposited as interlayers between the Jurassic volcano sedimentary rocks and then remobilized by hot hydrothermal fluids originating from cretaceous intrusive bodies to upper horizons and re deposited. Abundant existence of epidote and actinolite, in part with garnet show a pyrometamorphic phase in this area.

Keywords: Skarn, Sedimentary, Geochemistry, Fe mineralization, Kurdistan.

Citation: Akbarpour, A., 2020. Geochemistry and mineralization magnetite in Mimoun Abad (SW Dehgolan, Kurdistan), *Res. Earth. Sci.* 11(4), (87-108) DOI: 10.52547/esrj.11.4.87

* Corresponding author E-mail address: afshinakbarpour@gmail.com



ژئوشیمی و ژنز کانسار مگنتیت میمون آباد - جنوب باختر دهگلان، کردستان

افشین اکبرپور*

گروه کانی‌شناسی و اکتشافات کاربردی، پژوهشکده علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۲/۱۱

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۷/۱۸

چکیده

کانسار آهن میمون آباد در توالی سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی ژوراسیک و توده‌های نفوذی ژوراسیک-کرتاسه در شمال زون سندنج-سیرجان رخنمون دارد. کانی‌سازی آهن بیشتر به صورت مگنتیت است که به اشکال عدسی، رگه‌ای، رگچه‌ای و نواری است. این کانسار دارای بافت پراکنده، توده‌ای، جانیشینی و شبکه‌ای است. کانی‌های همراه بیشتر آمفیبول، اکتینولیت، اپیدوت و کوارتز هستند که در بخش‌هایی با کانی‌های رسی و کلسیت همراهند. تغییرات اکسید آهن در کانسنگ بین ۳۰ تا ۹۰ درصد است. عنصر آهن با گوگرد همبستگی مثبت و با تیتانیم، منیزیم، منگنز همبستگی منفی نشان می‌دهد. وانادیم از ۱۷ تا ۱۰۷ گرم در تن متغیر است. کاهش مقدار Cr و V در این کانسار، منشا ماگمایی را برای آن مردود می‌سازد. مجموع مقادیر عناصر نادر خاکی در این کانسار بین ۲۶ تا ۲۸۳ گرم در تن است. غنی‌شدگی عناصر کمیاب سبک نسبت به عناصر کمیاب سنگین در کانسار نشانه تفریق است. براساس مقایسه پراکندگی REE، کانسار آهن میمون آباد شبیه کانسارهای آهن رسوبی است. تغییرات عناصر نادر خاکی در مگنتیت نشان‌دهنده دو منشاء اولیه و ثانوی برای کانی‌سازی آهن میمون آباد است. به این صورت که آهن ابتدا به شکل میان لایه در سنگ‌های رسوبی-آتشفشانی ژوراسیک تشکیل شده و توسط سیالات داغ حاصل از توده نفوذی، جابه جا شده و در افق‌های بالاتر تجمع نموده است. حضور اپیدوت و اکتینولیت فراوان که گاهی با گارنت نیز همراه است نشانه‌ی یک فاز پیرو متاسوماتیسم می‌باشد.

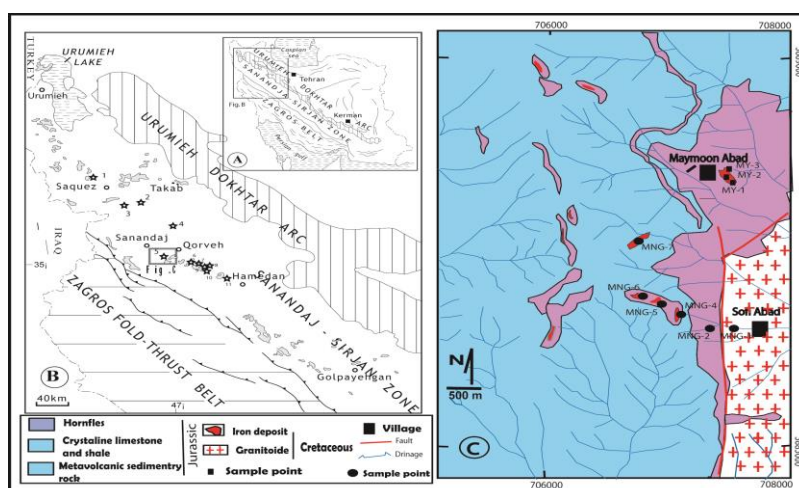
واژه‌های کلیدی: اسکارن، رسوبی، ژئوشیمی، کانه‌زایی آهن، کردستان.

مقدمه

آهن، از لحاظ فراوانی، مهم‌ترین فلز موجود در هسته زمین و دومین فلز در پوسته زمین است. معدن سنگ آهن میمون آباد از توابع شهرستان دهگلان در استان کردستان و بین $35^{\circ}11'20''$ تا $35^{\circ}03'20''$ عرض شمالی و $47^{\circ}20'54''$ تا $47^{\circ}11'20''$ طول شرقی در شمال غرب زون سنندج- سیرجان قرار گرفته است. استان کردستان دارای تعداد زیادی معادن سنگ آهن است که از جمله آنها در سقز (شمال صاحب، حسن سالاران)، غرب مریوان (آسن آباد)، غرب دیواندره (آلیجان، توکلان و ظفرآباد)، شمال بیجار (شهرک، شریف‌کندی)، جنوب دهگلان (میمون- آباد، بلوان آباد، کلکه) و شرق قروه (گلالی، باباعلی، خسروآباد، چرمه‌له، هزارخانی، میمنت آباد) را می‌توان نام برد. کانی‌سازی آهن میمون آباد از کانی‌سازی‌های مهم مگنتیت، منطقه آهن دار همدان، دهگلان است. چگونگی منشا این کانی‌سازی و همچنین ارتباط آن با توده گرانیته صوفی آباد و بررسی ژئوشیمی مگنتیت در این کانسار از جمله اهداف این تحقیق است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پهنه ساختاری رسوبی سنندج- سیرجان واقع شده است (Stocklin, 1968) (شکل ۱A). پهنه سنندج- سیرجان در تریاس و ژوراسیک حوضه‌ای رسوبی به موازات زاگرس بوده که در بخشی از آن رسوبات پلیتی، پلیتی- آهکی و گاهی گریواک و در بخشی دیگر رسوبات آهکی و آذر آوری ته نشین شده که گاهی با گدازه‌های آتشفشانی همراه بوده است (Braud, 1974). سنگ‌های آتشفشانی از لحاظ حجمی بیشتر اسیدی و حدواسط و کمتر بازیک بوده‌اند. در ژوراسیک پایانی و کرتاسه آغازین، زنجیری از توده‌های نفوذی با ترکیب کالک‌آلکان و آلکان شامل گابرو، دیوریت، کوارتز دیوریت، گرانودیوریت، گرانیت همراه با مونزونیت و سینیت در این پهنه تزریق شده است (شکل ۱B) که موجب افزایش گرادیان زمین گرمایی منطقه و دگرگونی مجاورتی سنگ‌های اطراف شد (Masoudi et al, 2002; Baharifar et al, 2004; ; Shahbazi et al, 2010; Azizi et al, 2011).



شکل ۱: (A) جایگاه محدوده مورد مطالعه در نقشه ایران (Stocklin, 1968). (B) محدوده مورد مطالعه در واحدهای زمین‌شناسی ساختمانی ایران (Stocklin, 1968). (C) نقشه ساده شده محدوده مورد مطالعه (Moinevaziri et al, 2014).

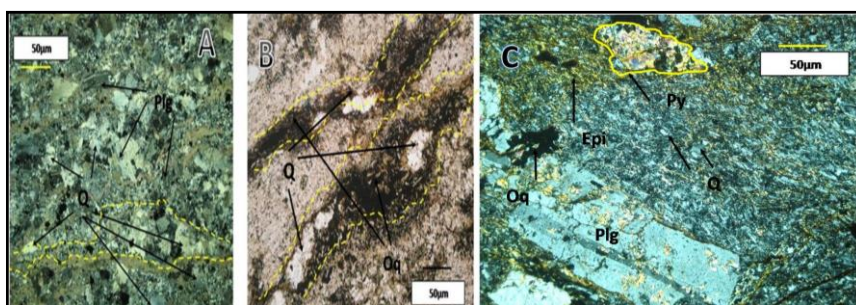
پژوهش‌های کاربردی کرج تجزیه شدند. جهت مطالعه شیمی کانی‌ها از روش آنالیز الکترون میکروپروپ (EMPA)، مدل EPMA Cameca SX100 در شرکت بینالود استفاده شده است. پراش نمونه آنالیز شده توسط دستگاه Philips PW1800 diffractometer انجام شده است و مطالعات با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی توسط دستگاه kyky-EM3900M، FESEM با EBSD در مرکز کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور بررسی شده است. در مجموع ۵۷ نمونه مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته است.

سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی ژوراسیک
این دسته از سنگ‌ها بیشتر پیرو کلاستیک و گاهی روانه با ساخت جریانی توف ریولیتی، ایگنمبریت هستند. این مجموعه دارای ضخامت در حدود ۷۵۰ متر است و در جنوب دهگلان شامل داسیت، تراکی آندزیت، تراکی داسیت، تراکی بازالت و توف‌های ریولیتی سیلیسی شده (شکل ۲A) و ایگنمبریت (شکل ۲B) است. تراکیت، تراکی داسیت و داسیت دارای سانیدین یا آلبیت، کوارتز و پلاژیوکلاز سدیک هستند.

فازهای پلوتونیک به صورت متناوب عمل کرده‌اند و بعضی از تزریقات تا کرتاسه بالایی و پالئوسن ادامه داشته و سنی از ژوراسیک تا کرتاسه بالایی و پالئوسن برای پلوتونیسیم زون سنندج- سیرجان بدست آمده است. این منطقه در فازهای فشارشی پالئوژن نیز متحمل گسل خوردگی و رورانگی شده و در بعضی نقاط، به خصوص در مرز بین پهنه‌های سنندج- سیرجان و زاگرس، رسوبات کرتاسه بر روی رسوبات میو- پلیوسن و با مرز تکتونیکی قرار گرفته‌اند.

مواد و روش‌ها

در مطالعات صحرایی تعداد ۹ نمونه از کان سنگ مگنتیت و ۱۲ نمونه از سنگ‌های در برگیرنده کانسار جهت مطالعات پتروگرافی و کانه‌نگاری برداشته شد. و همچنین تعداد ۱۰ نمونه برای مطالعات کانی‌شناسی با استفاده از دستگاه اشعه ایکس مدل D500، تعداد ۲۰ نمونه برای مطالعات تغییرات اکسیدها و عناصر اصلی و فرعی با استفاده از دستگاه (XRF) مدل SRS ۳۰۳ توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و تعداد ۶ نمونه برای تجزیه عناصر نادر خاکی با استفاده از دستگاه (ICP.MS) مدل Varian توسط مرکز



شکل ۲: مقاطع میکروسکوپی دو نوع توف آتشفشانی: (A) مقطع میکروسکوپی توف ریولیتی سیلیسی شده با بلورهای ریز پلاژیوکلاز (Plg)، کوارتز (Q)، (نورپلازیه). (B) مقطع میکروسکوپی ایگنمبریت با بخش‌های غنی از سیلیس (Q)، همراه با ذرات اپک (نور معمولی). (C) متاآندزیت مینرالیزه با مجموعه‌ای از بلورهای درشت پلاژیوکلاز (Plg)، اپیدوت (Epi)، پیروکسن (Py) در نورپلازیه (Whitney and Evans, 2010).

واحدهای سنگی کرتاسه

سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه متاآندزیت (شکل ۲C) و بازالت‌اند که در نتیجه دگرگونی به آمفیبولیت تبدیل شده‌اند و در برگیرنده اکتینولیت+آلبیت±اپیدوت±کلسیت±کوارتز هستند. توده‌های نفوذی کرتاسه از گابرو، مونزو-گابرو، مونزودیوریت، کوارتز مونزونیت، سینیت (شکل ۳) و آلکالی‌گرانیت تشکیل شده‌اند (عزیزی، ۲۰۱۱). گابرو در برگیرنده لابرادور، کلینوپیروکسن، الیون و آمفیبول است. سینیت (شکل ۳) و کوارتز سینیت‌ها از پلاژیوکلاز سدیم-دار همراه با هورنبلند، بیوتیت، کلریت، تیتانیت و اپیدوت تشکیل شده است. الکالی‌گرانیت اصلی-ترین سنگ در این منطقه است که از کوارتز و

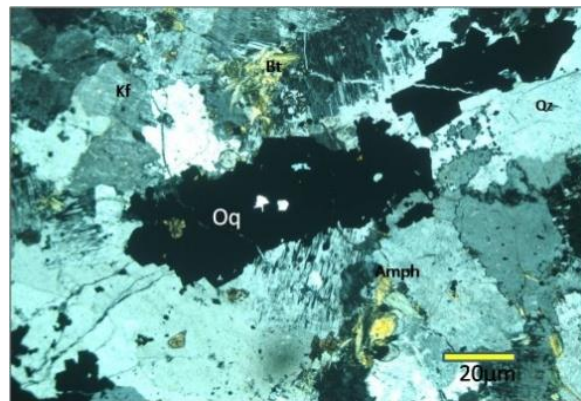
الکالی فلدسپار پرتیتی با مقدار کمی پلاژیوکلاز و مقدار کمتری از کانی‌های مافیک تشکیل شده است (رحمانی، ۱۳۸۸؛ Azizi et al, 2013).

کانه‌نگاری

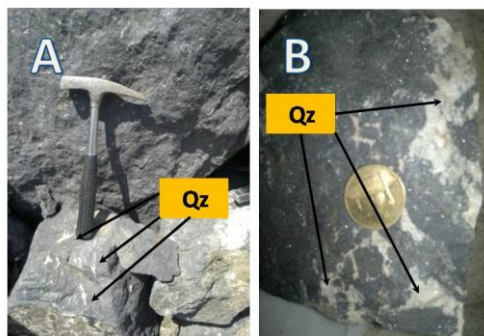
کانی‌های اکسیده و هیدروکسید در مقاطع صیقلی شامل مگنتیت، هماتیت و گوتیت هستند. پیریت به مقدار کم تنها کانی سولفیدی در میان کانیه‌زایی آهن است که در بعضی از ترانسه‌ها دیده شده است.

مگنتیت

مگنتیت کانیه اصلی، با ساخت و بافت توده‌ای، نواری، رگه، رگچه‌ای را نشان می‌دهد. مگنتیت در نمونه دستی با ساخت توده‌ای به رنگ تیره و سیاه دیده می‌شود (شکل ۴).



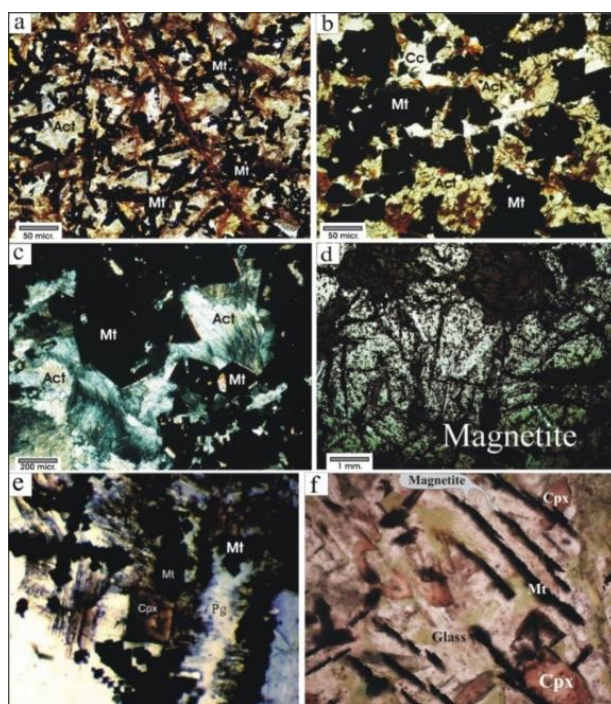
شکل ۳: مقطع میکروسکوپی سینیت که در آن بلورهای درشت اوپک (Oq به احتمال مگنتیت) فضای بین بلوری را پر کرده است با کانی‌های آمفیبول (Amph)، کوارتز (Q)، الکالی فلدسپار (Kf) (در نور پلاریزه) (Whitney and Evans, 2010).



شکل ۴: نمونه کانیه مگنتیت با ساخت و بافت توده‌ای و رنگ تیره همراه با کوارتز با رنگ روشن A و B که جهت مطالعات شیمیایی و کانی‌شناسی مورد بررسی قرار گرفته است.

دانه پراکنده، توده‌ای، برشی، جانیشینی و مارتیتی است. باطله همراه با مگنتیت شامل آکتینولیت و کوارتز \pm آلبيت \pm اپیدوت است. خصوصیات میکروسکوپی مگنتیت متفاوت است و از مگنتیت پرعیار تا آمفیبولیت مگنتیت‌دار تغییر می‌کند (شکل ۵). کانسنگ‌های فقیر از مگنتیت (شکل ۵a و d) محتوی آکتینولیت همراه با مختصری آلبيت \pm کوارتز هستند. مگنتیت به صورت اجتماعات سوزنی و شامل تعدادی بلور اوکتائدری مگنتیت است که یک نوع اجتماع یا ماکل موازی ساخته‌اند. در کانسنگ‌های غنی‌تر از مگنتیت سوزن‌های مگنتیت رشد بیشتری کرده (شکل ۵b, c, e, f) تا جایی که تقریباً ۸۰ درصد سنگ از مگنتیت و ۲۰ درصد سنگ از آکتینولیت تشکیل شده است.

ساخت نواری به شکل بین لایه‌ای با لایه‌های فقیر از مگنتیت تکرار شده است. رگه‌های مگنتیت همراه با کوارتز، اکتینولیت و اپیدوت در سنگ‌های مختلف محدوده از جمله توف‌ها و آندزیت‌ها قابل مشاهده است. با توجه به مشاهدات میکروسکوپی انجام شده، کانی‌زایی مگنتیت در دو نسل اتفاق افتاده است. مگنتیت‌هایی که دارای اشکالی از مارتیتی شدن و اغلب شکل‌دار هستند و مگنتیت-های سوزنی شکل که جزو نسل دوم است. تعدادی از دانه‌های مگنتیت اولیه، کمی مارتیتی شدن را در حواشی و بعضی از آنها مارتیتی شدن شدید را نشان می‌دهند. در برخی مقاطع مگنتیت‌های نسل اول و دوم (شکل ۵) در کنار یکدیگر هستند و اغلب مرز مشخصی ندارند. مگنتیت دارای بافت



شکل ۵: مقاطع میکروسکوپی کانسنگ آهن میمون آباد در نور عبوری (a, b و c) و نور انعکاسی (d, e و f) انواعی از آمفیبولیت یا بازالت‌های آلتره را نشان می‌دهد که دارای مجموعه‌های سوزنی مانند و متقاطع از بلورهای مگنتیت (نسل دوم) هستند. بلورهای مگنتیت در d و c رشد بیشتر یافته‌اند و اغلب شکل‌دار هستند (نسل اول). در شکل d، سنگ مادر توسط مگنتیت جانشین شده است. اشکال e و f یک بازالت است که در خمیره شیشه‌ای سنگ اجتماعات کشیده مانند یا صلیب مانند مگنتیت دیده می‌شود (Whitney and Evans, 2010).

دگرسانی

مطالعات کانی‌شناسی اشعه ایکس و بررسی‌های صحرایی و مطالعات میکروسکوپی نشان‌دهنده وقوع دگرسانی در این منطقه است. سیلیسی شدن، کربناته شدن (دولومیت و کلسیتی شدن) کلریتی و رسی شدن دگرسانی‌های محدوده هستند. مهم‌ترین دگرسانی مشاهده شده از نوع کلریتی شدن است. تشکیل کلریت از دگرسانی کانی‌های مافیک و توسط محلول‌های گرمابی صورت می‌گیرد (Niranen, 2005). کلریت از آبگیری و دگرگونی برگشتی آمفیبول‌های منطقه حاصل شده است. مقدار کانه مگنتیت در آمفیبولیت‌ها از حدود ۱۰ تا ۵۰ درصد نشان-دهنده تاثیر سیالات آهن‌دار است که می‌تواند موجبات دگرسانی و کانی‌زایی شود کانه‌زایی

مگنتیت با دگرسانی کلریتی افزایش می‌یابد. دگرسانی سیلیسی با حضور و همراهی کوارتز در بیشتر کانه‌زایی‌های مگنتیتی خود را نشان داده است. کوارتز به صورت پراکنده فضاهای خالی را پر می‌کند. آثار کوارتز توسط کانی‌شناسی با اشعه ایکس ثبت شده است (جدول ۱). وجود سیلیس در کانسنگ می‌تواند نشان‌دهنده آزاد شدن سیلیس در طول دگرسانی کانی‌های سیلیکاته در اثر تغییر و تحول آمفیبول‌ها، سیالات و محلول-های آب‌دار گرمابی حاصل از انجماد توده‌های نفوذی باشد که به صورت رگه و رگچه همراه با مگنتیت یا بدون آن واحدهای سنگی را قطع نموده است (اشکال ۲A و B). گارنت در یکی از نمونه‌ها ثبت شده است (جدول ۱).

جدول ۱: نتایج حاصل از مطالعات کانی‌شناسی با استفاده از XRD.

ردیف	کانی‌شناسی نمونه‌ها	شماره نمونه
۱	Amphibol+Magnetite+Garnet+Clay Mineral+Calcite	SMA-X9A
۲	Amphibol+Magnetite+Clay Mineral	MA-1
۳	Quartz+Magnetite+Clay Mineral	MA-5-A9
۴	Quartz+Hematite+Goethite+Dolomite	MA-2-X9A
۵	Magnetite+Quartz+Clay Mineral+Calcite+ Amphibol	SMA-2-X9A
۶	Magnetite+Quartz+Calcite+Hematite+Amphibole	SMA-3-X9A
۷	Quartz+Goethite	MA-4-AX9
۸	Calcite+Magnetite+Hematite+Clay Mineral	SMA-4-X9A
۹	Magnetite+Calcite+Quartz+Hematite+Clay Mineral	SMA-6-X9A
۱۰	Magnetite+Calcite +Hematite+Clay Mineral	SMA-5-X9A

قطر ۲۰ nA و فواصل ۱۰۰ میکرومتری با سرعت ۵۰ kv و پیک ۸۰ ثانیه برای اندازه‌گیری عناصر اصلی و کمیاب موجود در مگنتیت‌ها استفاده شده است. نمونه MNG_5 مقدار بسیار کمی کانی‌های فرومنیزیم‌دار و کلسیت دارد (جدول ۲).

شیمی مگنتیت با استفاده از مطالعات

میکروپروب و الکترون روبشی

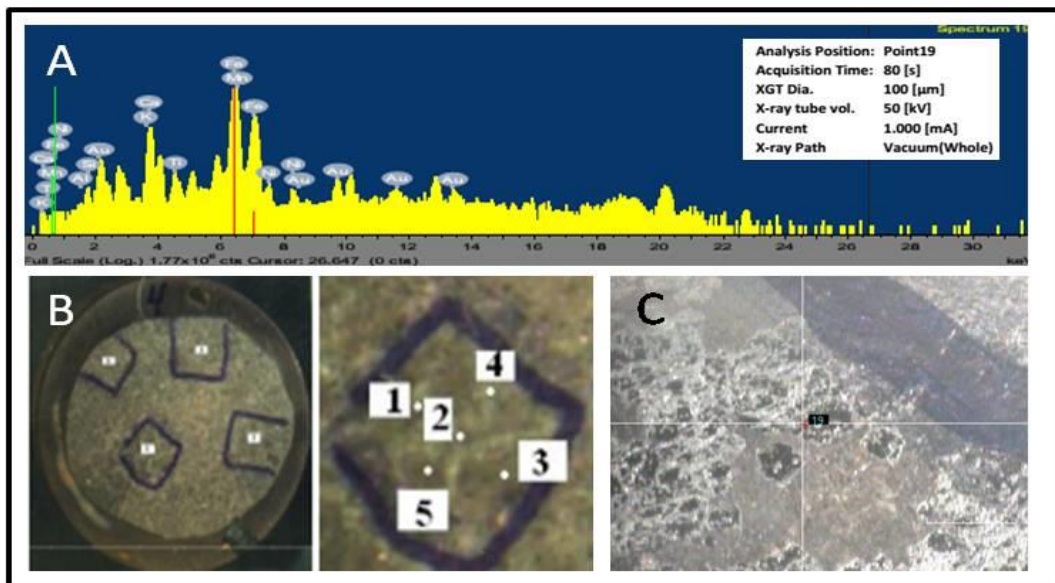
شیمی مگنتیت با استفاده از مطالعات میکروپروب: در یک نمونه مقطع صیقلی ۲۰ نقطه از ۴ کانه مگنتیت که دارای بافت متراکم و توده‌ای است توسط دستگاه الکترون میکروپروب مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۶). در این تجزیه از بیم‌های با

جدول ۲: نتایج حاصل از مطالعات کانه مگنتیت با استفاده از دستگاه میکروپروپ

	MNG_5 1(1)	MNG_5 2(1)	MNG_5 3(1)	MNG_5 4(1)	MNG_5 5(1)	MNG_5 6(2)	MNG_5 7(2)	MNG_5 8(2)	MNG_5 9(2)		
SiO ₂	0.71	0.62	1.27	1.27	1.14	2.41	1.12	0.85	1.9		
CaO	4.33	0.44	10.88	0.05	3.41	0.08	0.02	3.58	0.07		
Al ₂ O ₃	0.54	0.56	0.25	1.18	0.87	1.04	0.63	0.38	0.92		
TiO ₂	0.04	0.03	0.04	0.04	0.09	0.04	0.05	0.1	0.02		
MnO ₂	0.07	0.02	0.13	0.02	0.03	0.02	0.12	0.01	0.08		
Fe ₂ O ₃	94.3	98.24	87.37	97.42	94.46	94.94	97.56	94.57	95.87		
CuO	0.01	0.1	0.01	0.01	0.01						
V ₂ O ₅	0.01	0.01	0.06	0.02	0.01						
MgO						1.46	0.5	0.31	1.05		
NiO						0.01	0.01	0.2	0.09		
14Si	0.33	0.29	0.59	0.59	0.53	1.13	0.52	0.4	0.89		
20Ca	3.09	0.31	7.77	0.03	2.43	0.06	0.02	2.56	0.05		
13Al	0.29	0.29	0.13	0.62	0.46	0.55	0.33	0.2	0.49		
22Ti	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03	0.03	0.06	0.01		
25Mn	0.04	0.01	0.08	0.02	0.02	0.01	0.08	0.01	0.05		
26Fe	65.96	68.71	61.11	68.14	66.07	66.41	68.24	66.14	67.06		
29Cu	0.01	0.08	0	0	0						
O	30.25	30.28	30.25	30.56	30.43	30.94	30.48	30.29	30.75		
23V				0.01	0.01						
12Mg						0.88	0.3	0.18	0.63		
28Ni						0	0	0.16	0.07		
	MNG_5 10(2)	MNG_5 11(3)	MNG_5 12(3)	MNG_5 13(3)	MNG_5 14(3)	MNG_5 15(3)	MNG_5 16(4)	MNG_5 17(4)	MNG_5 18(4)	MNG_5 19(4)	MNG_5 20(4)
SiO ₂	1.32	0.68	1.07	9.93	0.65	1.51	0.79	0.57	1.18	0.66	0.61
CaO	5.53	11.05	32.1	47.91	90.66	0.91	0.28	0.67	95.49	9.3	26.71
Al ₂ O ₃	0.34	0.3	0.22	4.2	0.01	0.62	0.57	0.36	0.1	0.17	0.59
TiO ₂	0.01	0.08	0.1	0.13	0.02	0.04	0.1	0.1	0.1	0.23	0.07
Cr ₂ O ₃											
MnO ₂	0.4	0.06	1.05	1.03	0.76	0.06	0.01	0.01	1.21	0.66	0.34
Fe ₂ O ₃	91.38	87.65	65	29.91	7.88	95.83	98.19	98.28	1.98	88.76	71.64
CuO		0.01	0.08	0.01	0.01	0.01					
MgO	1.01	0.18	0.38	6.89	0.01	1.02					
NiO	0.01						0.01	0.01	0.01	0.19	0.01
K ₂ O							0.07	0.02	0.03	0.04	0.05
14Si	0.62	0.32	0.5	4.64	0.3	0.71	0.37	0.27	0.55	0.31	0.28
20Ca	3.96	7.9	22.94	34.24	64.82	0.65	0.2	0.48	68.25	6.65	19.09
13Al	0.18	0.16	0.11	2.23	0	0.33	0.3	0.19	0.05	0.09	0.31
22Ti	0.01	0.05	0.06	0.08	0.01	0.03	0.06	0.06	0	0.14	0.04
25Mn	0.25	0.04	0.66	0.65	0.48	0.04	0	0	0.76	0.41	0.21
26Fe	63.91	61.31	45.46	20.92	5.51	67.02	68.68	68.74	1.38	62.08	50.11
29Cu		0	0.07	0	0	0.01					
O	30.46	30.12	29.96	33.09	28.88	30.6	30.33	30.25	28.97	30.14	29.91
23V											
12Mg	0.61	0.11	0.23	4.16	0	0.61					
28Ni	0						0	0	0.01	0.15	0
19K							0.06	0.02	0.03	0.03	0.04

جدول ۳: نتایج حاصل از همبستگی اکسیدهای اصلی ناشی از مطالعات کانه مگنتیت با استفاده از دستگاه میکروپروپ

SiO ₂	Correlation	1.00																	
	Sig. (2-tailed)	.																	
CaO	Correlation	-0.17	1.00																
	Sig. (2-tailed)	0.48																	
Al ₂ O ₃	Correlation	0.50	0.62	1.00															
	Sig. (2-tailed)	0.02	0.00																
TiO ₂	Correlation	-0.19	0.29	-0.11	1.00														
	Sig. (2-tailed)	0.43	0.22	0.64															
MnO ₂	Correlation	0.16	0.72	-0.40	0.06	1.00													
	Sig. (2-tailed)	0.49	0.00	0.08	0.80														
Fe ₂ O ₃	Correlation	-0.08	0.92	0.47	0.18	-0.82	1.00												
	Sig. (2-tailed)	0.72	0.00	0.04	0.46	0.00													
CuO	Correlation	-0.03	0.22	-0.03	0.18	0.10	-0.17	1.00											
	Sig. (2-tailed)	0.91	0.36	0.90	0.45	0.66	0.48												
V ₂ O ₅	Correlation	0.01	0.20	0.15	0.30	-0.23	0.16	0.55	1.00										
	Sig. (2-tailed)	0.96	0.40	0.52	0.20	0.33	0.49	0.01											
MgO	Correlation	0.65	0.08	0.35	0.19	0.18	-0.07	0.08	-0.53	1.00									
	Sig. (2-tailed)	0.00	0.74	0.13	0.43	0.45	0.76	0.75	0.02										
NiO	Correlation	-0.05	0.23	-0.05	0.23	-0.12	0.21	0.91	-0.54	0.09	1.00								
	Sig. (2-tailed)	0.83	0.33	0.84	0.33	0.62	0.38	0.00	0.01	0.71									
K ₂ O	Correlation	-0.31	0.05	-0.35	0.57	-0.05	0.11	0.48	-0.28	0.46	0.45	1.00							
	Sig. (2-tailed)	0.19	0.83	0.13	0.01	0.84	0.65	0.03	0.23	0.04	0.05								
		SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	CuO	V ₂ O ₅	MgO	NiO	K ₂ O							
*	Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).																		
**	Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).																		



شکل ۶: (A) نمودار پراش تغییرات مقدار عناصر در آنالیز میکروپروب نمونه MNG-5. (B) چهار کانه مگنتیت و محل آن در مقطع صیقلی نمونه MNG-5 و نقاطی از مگنتیت که مورد آنالیز قرار گرفته اند. (C) محل دقیق نقطه شماره ۴ از کانی مگنتیت که مورد پراش قرار گرفته است.

کربنات دیده می‌شود و مقاطع میکروسکوپی تهیه شده نیز این موضوع را اثبات می‌نماید. در جایی که مگنتیت دارای رنگ تیره‌تری بوده مقدار کلسیم افزایش یافته است (شکل ۶).

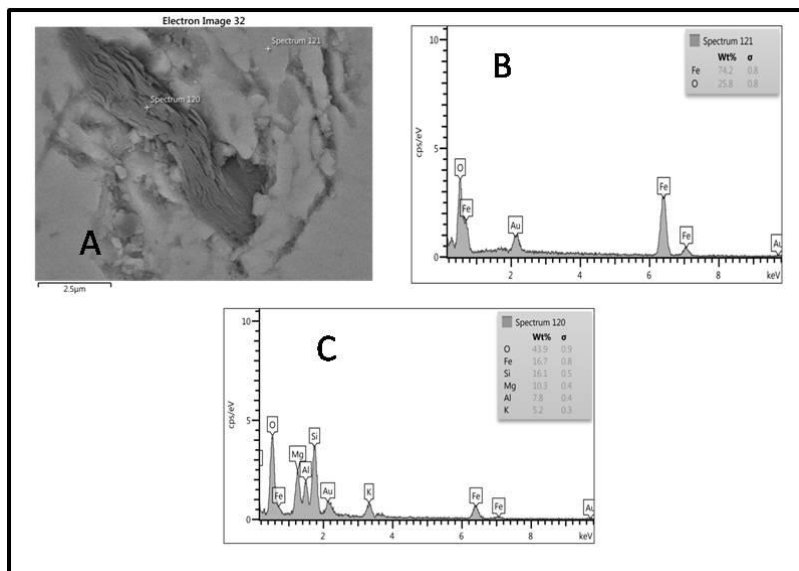
مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM): به منظور بررسی بیشتر رفتار ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب در کانی مگنتیت، نمونه مورد نظر در ۲۵ نقطه از چهار کانی مگنتیت مورد مطالعه قرار گرفته است. اسپکترم شماره ۱۳۵ ترکیبات و اذخال‌هایی از کانی کلریت را نشان می‌دهد (شکل ۷A).

نتیجه مطالعات SEM نشان‌دهنده وجود احتمالی کانی‌هایی مانند کلریت، سیدریت، گلوکونیت، کلسیت و ترکیبات منگنز در زمینه مگنتیت است. این کانی‌ها فازهایی از کانی‌های اکسیدی (مگنتیت و هماتیت)، فازهای کربناته (سیدریت) و فاز فرومنیزیم‌دار (کلریت و گلوکونیت) است. گلوکونیت نشان‌دهنده آلتره شدن بیوتیت‌های تخریبی به وسیله دیاژنز در آب‌های کم‌عمق دریاها

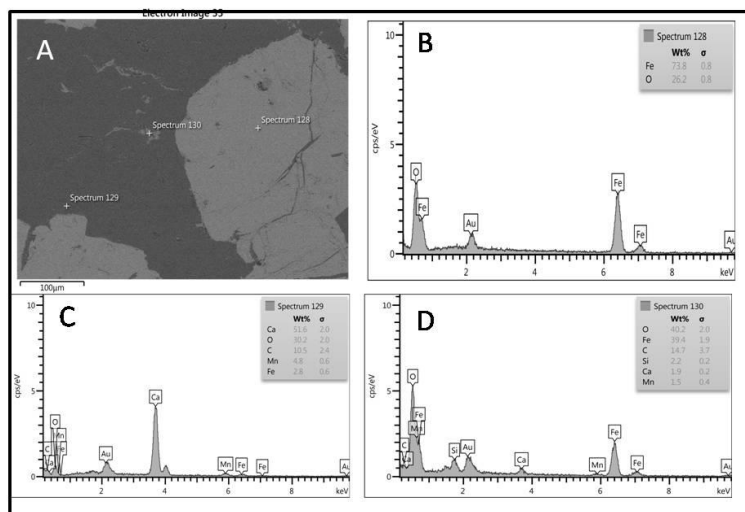
در کانه مگنتیت عناصری مانند کلسیم، استرانسیم، منیزیم و منگنز، نیکل و کبالت به دلیل شباهت‌های یونی با عنصر آهن دو ظرفیتی این قابلیت را دارند که جانشین آهن گردند. بیشترین همبستگی مثبت با سطح اعتماد بالای ۹۸ درصد در بین اکسیدهای آهن و منگنز با کلسیم است و اکسیدهای منگنز و آهن بیشترین همبستگی منفی را دارند (جدول ۲). مطالعات EPMA نشان‌دهنده کاهش کلسیم و افزایش اکسید آهن به سمت مرکز در مگنتیت است. مقدار سیلیس از مرکز به حاشیه کانی در حال افزایش است. تغییرات آلومینیم متفاوت و از روند خاصی تبعیت نمی‌کند. میزان تیتانیم کم و تغییرات آن در پروفیل‌های آنالیز شده کانی‌ها ناچیز است. مقدار منگنز از مرکز به حاشیه‌ها روند افزایشی دارد. کروم، کبالت، نیکل، وانادیم از جمله عناصری هستند که تغییرات و مقدار ناچیزی را در آنالیز میکروپروب نمونه‌ها نشان داده‌اند. مهم‌ترین عنصر همراه با مگنتیت کلسیم است که به صورت

عناصر کمیاب نیکل، وانادیم، تیتانیوم، کروم و ناخالصی‌های مزاحم گوگرد و فسفر فقیر است که دلیلی برای نبود منشا ماگمایی یا اسکارنی برای این مگنتیت‌ها است (اشکال ۸ و ۹).

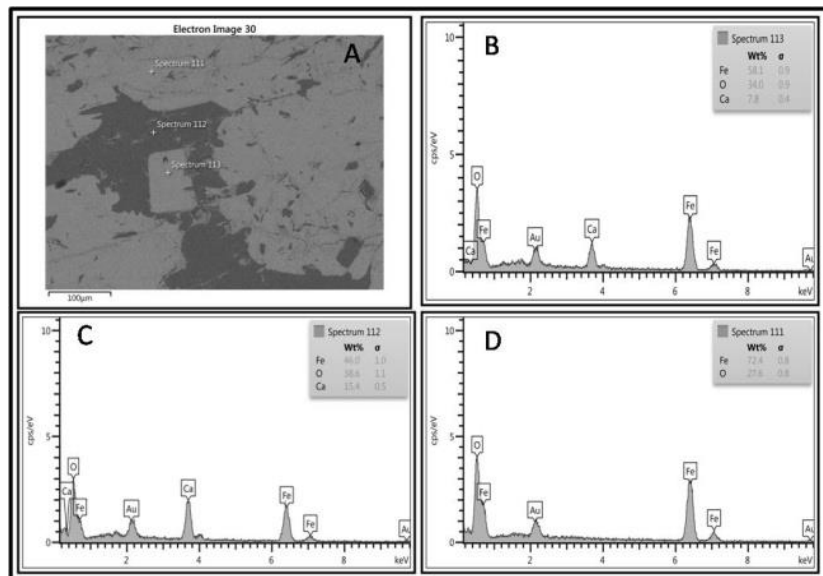
است. سیدریت که به‌طور معمول به‌صورت رگ‌های یا در مناطق کم‌عمق حاشیه دریا‌های در حال فرونشینی یافت می‌گردد، می‌تواند نشانه‌هایی از منشا رسوبی احتمالی این مگنتیت‌ها باشد. نتایج میکروپروب نشان می‌دهد که کانه مگنتیت از نظر



شکل ۷: (A) نقاط مورد بررسی با استفاده از مطالعات SEM. (B) کانه مگنتیت به صورت توده‌ای شکل و متراکم و عناصر ثبت شده آهن و اکسیژن. (C) کانی آهن و منیزیم‌دار ورقه‌ای احتمالاً (کلریت) با تغییراتی ثبت شده از عناصر اکسیژن، سیلیس، آهن، منیزیم، آلومینیوم و پتاسیم.



شکل ۸: (A) نقاط مورد بررسی به وسیله مطالعات SEM. (B) پیک‌های نشان‌دهنده عناصر مهم آهن و اکسیژن (کانه مگنتیت). (C) ترکیبات احتمالی کربناته آهن‌دار با پیک‌های مقادیر بالایی از کلسیم، اکسیژن، کربن، منگنز و آهن. (D) ترکیبات احتمالی سیلیکاته آهن‌دار با مقادیر بالای اکسیژن، آهن، کربن، سیلیس، کلسیم، منگنز.



شکل ۹: A) نقاط مورد بررسی به وسیله مطالعات SEM و تغییرات رنگ و ترکیب شیمیایی در کانه مگنتیت با توجه به افزایش مقدار کلسیم نسبت به آهن در اشکال B, C و D.

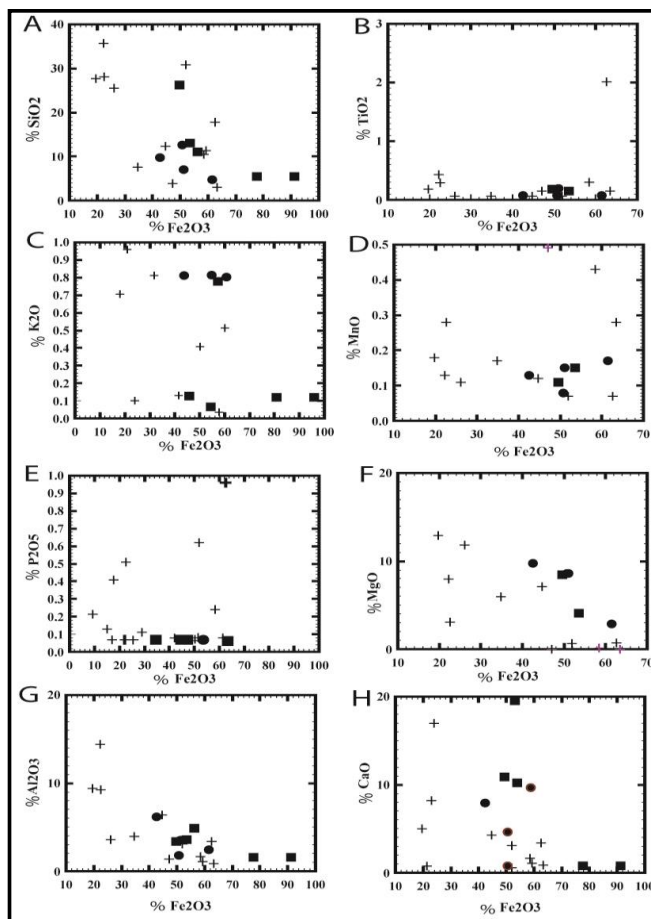
جانشینی منیزیم به جای آهن با دو بار مثبت است. تغییرات مقدار اکسید آلومینیوم از ۰/۱ تا ۱۵ و اکسید کلسیم از ۰/۶ تا نزدیک ۳۰ درصد است (شکل ۱۰). مقدار عناصر کبالت و نیکل به ترتیب ۱ تا ۲۲۶ و ۲ تا ۱۵۰ گرم در تن است. مقدار کروم و وانادیم ۷ تا ۱۰۷ گرم در تن است (شکل ۱۱).

عناصر نادر خاکی: رفتار عناصر نادر خاکی برای تعیین چگونگی و منشا تشکیل، برای کانسارهای با منشا متفاوت آذرین یا رسوبی دارای اهمیت است (Naslund et al, 2000). مجموع عناصر نادر خاکی ۲۵/۹ تا ۲۸۳/۳ گرم در تن است (جدول ۴). عناصر نادر خاکی سبک ۲۷/۵ تا ۲۶۶/۸ با میانگین ۱۲۹/۸ و عناصر نادر خاکی سنگین با ۰/۵ تا ۱۰۹/۸ و میانگین ۵۹/۹ گرم در تن است که نشان‌دهنده غنی شدگی عناصر نادر خاکی سبک نسبت به سنگین و تفریق بین عناصر سنگین و سبک است. پراکندگی عناصر REE طبق شکل ۱۲ از الگوی خاصی تبعیت نمی‌کند. روند عناصر سبک مانند لانتانیم و سریم با

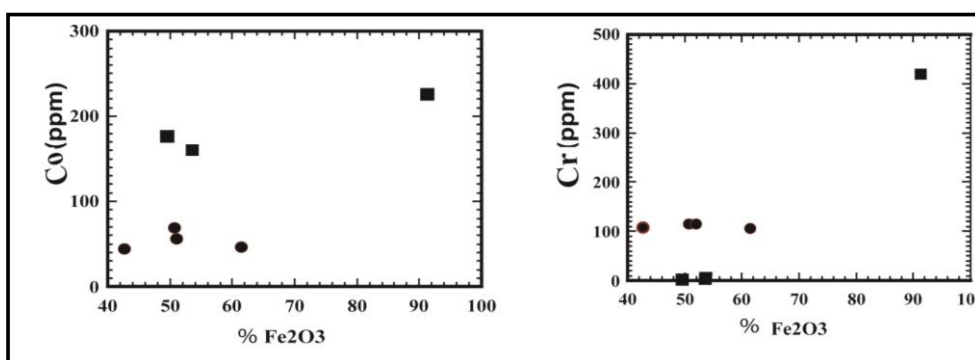
ژئوشیمی کانسار: بررسی نتایج تجزیه نمونه‌های کانسار در جدول ۴ نشان می‌دهد که مقدار اکسید آهن کل در نمونه‌های برداشت شده از ۳۰ تا ۹۰ درصد است. سیلیس در نمونه‌ها از ۳ تا ۳۸ درصد است. تیتانیم در نمونه‌های کانسنگ از ۰/۱ تا ۲/۰۱ درصد است. روند تغییرات بین تیتان و آهن منفی است (شکل ۱۰). تیتانیوم معمولاً در ساختار مگنتیت وارد می‌شود. اکسید پتاسیم از حدود ۰/۰۲ تا ۴ درصد متغیر است. منگنز در کانسنگ از ۰/۰۱ تا ۰/۵ درصد است و همبستگی بین اکسیدهای آهن و منگنز منفی است. مقدار فسفر از ۰/۱ تا ۰/۹۶ درصد است که نشان‌دهنده نبود کانه‌های فسفات‌دار در کانه‌زایی این کانسار بوده و تغییرات مقدار فسفر نسبت به آهن تا حدودی ثابت است. اکسید منیزیم از ۰/۷۱ تا ۱۲/۸۷ درصد است. افزایش مقدار اکسید منیزیم می‌تواند ناشی از وجود احتمالی کانی‌های فرومنیزیم از جمله آمفیبول و دولومیت باشد. روند تغییرات اکسید منیزیم نسبت به آهن دارای شیب منفی است که نشان‌دهنده نبود احتمالی

این نمودار غنی‌شدگی مثبت Ce و منفی Eu مشاهده می‌شود (شکل ۱۲).

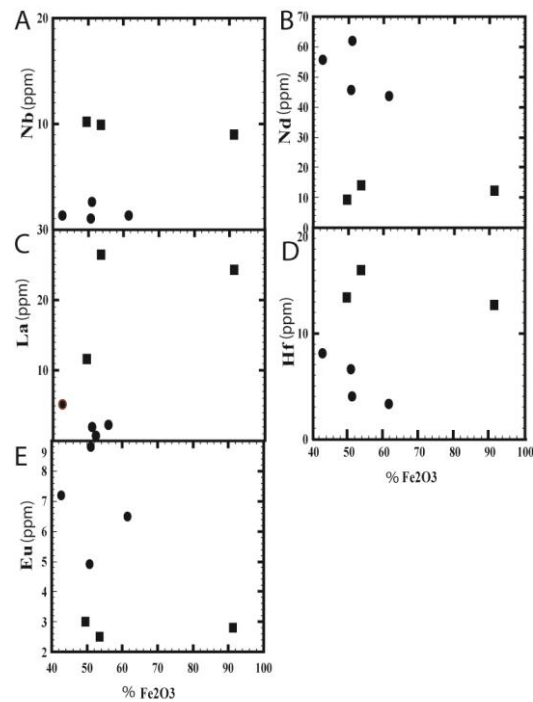
کاهش و عنصر Pr با افزایش روبرو است. عناصری مانند Lu و Yb با روند افزایشی روبرو هستند. در



شکل ۱۰: نمودارهای (A تا H) تغییرات مقدار اکسیدهای اصلی TiO_2 , K_2O , MnO , P_2O_5 , MgO , Al_2O_3 , CaO نسبت به Fe_2O_3 را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: تغییرات مقدار کبالت و کروم نمونه‌های کانسنگ آهن نسبت به تغییرات اکسید آهن، براساس این دو نمودار نتایج نمونه‌ها در دو بخش قابل تقسیم است.



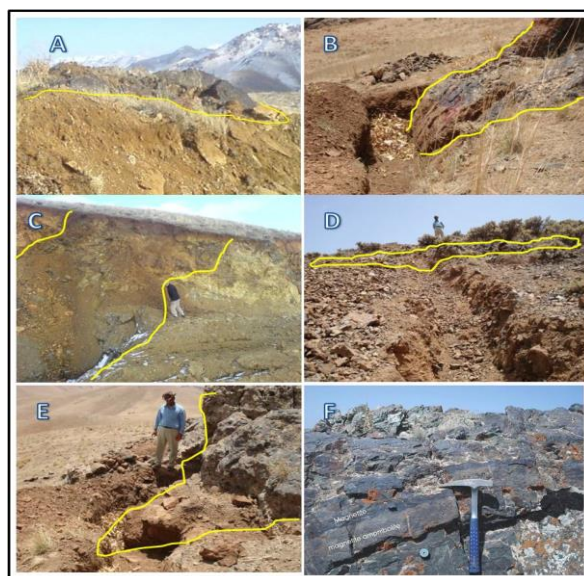
شکل ۱۲: تغییرات مقدار عناصر REE نسبت به مقدار درصد اکسید آهن، نمودارهای (A تا E)، براساس این دو نمودار نمونه‌ها در دو بخش قابل تقسیم است.

است. آثار لایه‌بندی را می‌توان در تعدادی از این عدسی‌ها با دور شدن از توده نفوذی صوفی‌آباد مشاهده کرد. مگنتیت دارای ساخت و بافت توده-ای، نواری، رگه‌ای و دانه‌ای جانیشینی است (اشکال ۱۳ و ۱۴). مگنتیت بیشتر به صورت میان لایه و یا آغشته کننده سنگ‌های درونگیر دیده می‌شود.

ژنز کانسار: کانسار آهن میمون‌آباد دارای تعداد زیادی عدسی پراکنده و منقطع با اندازه‌های متفاوت و دارای روند شمال‌غرب - جنوب‌شرق و ضخامت‌هایی از ۰/۵ تا ۳ متر در طول ۲ کیلومتر با عیار ۳۰ تا ۷۰ درصد اکسید آهن بوده که در محدوده‌ای به وسعت ۶ کیلومتر مربع پراکنده



شکل ۱۳: عدسی‌های مگنتیت را در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد (شکل بالا، دید به سمت شمال‌غرب) و شکل پایین روند و رخمون‌های کانی‌سازی مگنتیت را در محدوده مورد مطالعه به نمایش می‌گذارد (دید به سمت شمال).



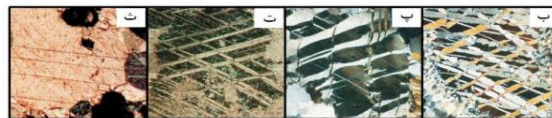
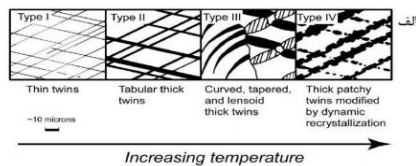
شکل ۱۴: (A) یک عدسی مگنتیت دید به سمت شمال شرق، (B) یک عدسی مگنتیت بریده شده با سنگ در برگیرنده متاولکانیک و شیل تریاس - ژوراسیک که توسط ترانشه بریده شده است (دید به سمت غرب)، (C) آثاری از کانی سازی هماتیت، گوتیت، لیمونیت به شکل عدسی شکل در یک ترانشه دید به سمت شمال شرق. (D) عدسی مگنتیت بریده شده توسط ترانشه و نبود ادامه و گسترش کانی سازی مگنتیت در عمق دید به سمت شمال غرب. (E) عدسی مگنتیت بریده شده به وسیله ترانشه و منقطع بودن کانی سازی مگنتیت در محدوده مورد مطالعه دید به سمت غرب. (F) توالی کانی سازی مگنتیت با مگنتیت - آمفیبولیت ها در محدوده مورد مطالعه دید به سمت غرب.

است. آثاری از متاسوماتیسم پسرونده با تشکیل شدن آمفیبول و همراهی مگنتیت نشان دهنده کانی سازی در این مرحله است. بخش زیادی از کانی های کلریت، کلسیت، میکا و کانی های رسی تحت تاثیر کالک سیلیکات های آب دار و بدون آب تشکیل شده در مراحل بعد اسکارن زایی، توسط سیالات حرارت پایین در نزدیکی توده نفوذی صوفی آباد به وجود آمده است. مطابق شکل ۱۵ قسمتی از رخ های کلسیت توسط مگنتیت پر شده و درجه حرارت تشکیل مگنتیت در نمونه های مقاطع میکروسکوپی نشان دهنده تبعیت از تیپ دوم و حرارت پایین (شکل ۱۶) است. آثاری از آمفیبول های سری آنتوفیلیت را در شکل ۱۶ می توان مشاهده کرد که غالباً به صورت فیبری شکل ورقه ای و به رنگ های روشن و گاهی متمایل به سبز دیده می شوند این کانی خاص سنگ های

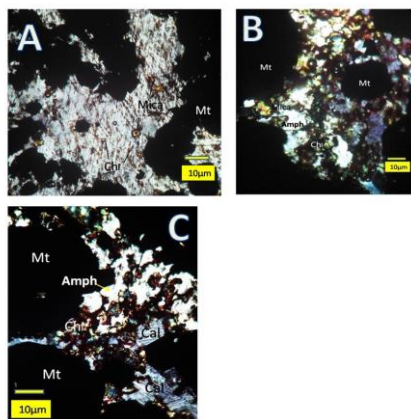
مگنتیت کمتر به صورت پرکننده فضاهای خالی مشاهده می گردد. به صورت رگه ای همراه با سیلیس دیده می شود. نمونه هایی از کانی سازی مگنتیت در بخشی از این کانسار نشان دهنده نوع اسکارنی است. دلیل این موضوع را می توان در شکل ۱۶ مشاهده کرد. حضور گارنت در یک نمونه (جدول ۲) و شکل ۱۶ می تواند نشان دهنده احتمالی بخش آندواسکارن (همراهی گارنت با آمفیبول) باشد. شواهدی از همراهی پیروکسن در مرحله متاسوماتیسم پیشرونده با گارنت دیده نشده، و همراهی کانی های گرانیته همراه با گارنت برای اثبات آندواسکارن بودن یافت نشده است. ورود محلول های هیدروترمال به درون سنگ های درونگیر، در نزدیکی توده نفوذی صوفی آباد کانی شناسی سنگ ها را تغییر داده و موجب پیدایش کالک سیلیکات های آب دار مانند آمفیبول شده

مشاهده نشده است. جهت ته‌نشینی بهتر مگنتیت از محلول کانه‌دار، محلولی که نسبتاً اسیدی است، باید خنثی شود، این عمل توسط کانی‌های مصرف‌کننده کلسیت، پیروکسن و گارنت صورت می‌گیرد. طبق مطالعات میکروسکوپی، کانی‌سازی اکسیدی متاسوماتیک در کانسار میمون آباد، پس از تشکیل کالک‌سیلیکات‌های بی‌آب اولیه و در طول تغییرات بعدی آنها صورت گرفته است. همراهی آمفیبول با مگنتیت نشان‌دهنده کانی‌سازی آهن در مرحله متاسوماتیسم پیش‌رونده است و جانیشینی کانی آمفیبول توسط مگنتیت هم‌تاییدی بر این موضوع می‌باشد (حاشیه توده نفوذی صوفی‌آباد).

دیگرگونی است و احتمال دارد از تجزیه پیروکسن ناشی شده باشد. تشکیل کانی مگنتیت در آخرین مرحله متاسوماتیسم پیش‌رونده شروع شده و در مرحله پس‌رونده آغازین به اوج خود می‌رسد. پیدایش مگنتیت در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد است. این مسئله نشان‌دهنده تشکیل مگنتیت همراه با گارنت-اسکارن (۵۵۰ درجه سانتیگراد) بوده و در مراحل متاسوماتیسم پیش‌رونده است (Zavaritsky, 1950). عدم وجود ولاستونیت نشان‌دهنده دمای تشکیل کانی‌سازی کمتر از ۵۵۰ درجه سانتیگراد است. شواهد مناسبی از متاسوماتیسم پیش‌رونده به دلیل نبود پیروکسن و همراهی با گارنت و مقدار کم گارنت در محدوده



شکل ۱۵: روند تغییرات میزان درجه حرارت و تاثیر آن در ماکل‌های کلسیت در اسکارن‌های آهن (بورکار، ۱۹۹۳).



شکل ۱۶: (A) کلسیت (Cal) همراه با بلورهای مسکویت و کلریت (Chl) در زمینه‌ای از مگنتیت (Mt) با بزرگنمایی ۶۰ برابر در نور پلاریزه. (B) آمفیبول (Amph) و کلریت در زمینه متشکل از مگنتیت با بزرگنمایی ۱۶۰ برابر در نور پلاریزه. (C) آمفیبول (Amph)، کلسیت (Cal)، کلریت (Chl) در زمینه مگنتیت (Mt) با بزرگنمایی ۱۶۰ برابر در نور پلاریزه. (Whitney and Evans, 2010).

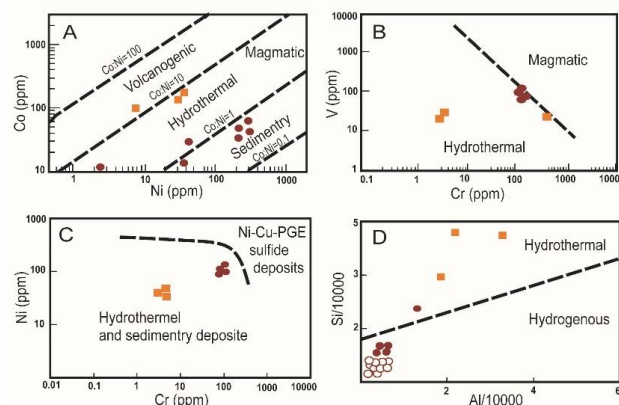
بحث و نتایج

قربانی (۱۳۸۷) از دیدگاه زمین‌شناسی اقتصادی و پراکندگی کانسارها زون سندج - سیرجان را به سه بخش زیر تقسیم می‌کند. بخش جنوبی از سیرجان تا اصفهان که به داشتن کروم در اولترامافیک‌های اسفندقه فاریاب، آهن، آهن منگنز در گل‌گهر، هنشک، بافت، سرب - روی، مس، در چاه‌گز، قنات مروان که توسط گسل درونه از بخش میانی جدا می‌شود. بخش میانی خود به دو نوار کوچک‌تر شمالی و جنوبی تقسیم می‌شود و از نظر کانی‌سازی در مقایسه با بخش‌های شمالی و جنوبی پرمایه‌تر است. در این بخش، مناطق کانسنگ‌دار زیر را می‌توان نام برد: کمربند سرب و روی‌دار ملایر - اصفهان، منطقه فلززایی شمس‌آباد کانی‌سازی‌های طلا (آستانه)، آهن شمس‌آباد، قلع ده‌حسین، منطقه معدنی طلای موته. بخش شمالی این زون دارای کانی‌سازی آهن (معدن آهن همه‌کسی شمال همدان، آهن شمال سنقر، گلالی قروه، ظفرآباد دیواندره، آهن صاحب سقر، آهن شهرک بیجار)، طلا - آنیتموان (معدن داشکسن) است. براساس نظر مومن زاده (۱۹۷۶) کانی‌سازی‌های آهن در این زون بیشتر دارای منشا رسوبی است اما محققین دیگری مانند زمانیان (Zamanian et al, 2016)، براتی (۱۳۹۲)، رستمی پایدار (۱۳۸۸) برای کانی‌سازی‌های پیر-باباعلی همدان، گلالی قروه منشا اسکارنی و هیدروترمال را مطرح نموده‌اند. با توجه به نزدیکی کانه‌زایی آهن میمون‌آباد به دیگر کانه‌زایی‌های آهن منطقه قروه و قرارگیری آن در حاشیه توده نفوذی گرانیته صوفی‌آباد ممکن است منشا اسکارنی برای این کانسار فرض شود. اما شواهد صحرائی و آزمایشگاهی این موضوع را با چالش روبرو کرده است. در کانسار میمون‌آباد، مگنتیت،

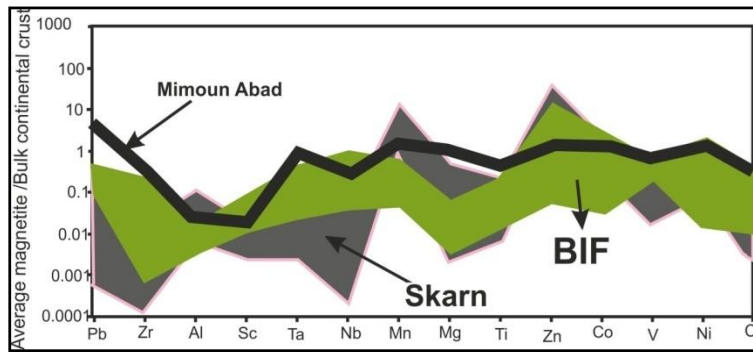
به‌صورت میان‌لایه با توفها و آغشته کننده سنگ بستر، دیده می‌شود. خصوصیات میکروسکوپی کانسنگ در بخش‌های مختلف کانی‌سازی با دور شدن از توده نفوذی صوفی‌آباد متفاوت است. ترکیب کانی‌شناسی از مگنتیت خالص تا آمفیبولیت مگنتیت‌دار و مگنتیت - هماتیت تغییر می‌کند. مشاهده حالت حد واسط بین کانسنگ - های فقیر و سرشار از مگنتیت نشان می‌دهد که میکروولیت‌های مگنتیت (هسته‌های اولیه) موجود در سنگ‌های بازیگ و حد واسط و توفیت‌های آهن‌دار تریاس - ژوراسیک، بر اثر عملکرد سیالات داغ آهن‌دار تولید شده از توده‌های نفوذی منطقه و همچنین حضور رخنمون‌هایی از اسکارن و هورنبلندهای مخصوص ناشی از عملکرد دگرگونی مجاورتی، رشد مجدد کرده و به کانسنگ سرشار از مگنتیت تبدیل گشته‌اند. هر چند شواهدی از شستشوی واحدهای سنگی دارای مگنتیت و رسوب مجدد مگنتیت وجود دارد، نبود تطابق نمودارهای عناصر نادر، چینه‌بندی، گسترش کانی‌سازی آهن نشان‌دهنده احتمالی منشا دیگری نیز برای کانی‌سازی آهن است. نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمی کانه‌زایی مگنتیت و همچنین تغییرات عناصر نادر خاکی نشان‌دهنده احتمالی دو تیپ کانی‌سازی آهن در این منطقه است. از نظر ژئوشیمی نسبت کبالت به نیکل در کانسارهای آهن می‌تواند عاملی برای شناخت منشا آنها باشد (Bajwah, 1987). محلول‌های گرمابی توانایی حمل مقدار بالایی از Ni و Co را ندارند بنابراین مقدار پایین آنها در کانسنگ دلیلی بر حمل محلول کانه‌دار با سیالات گرمابی دمای پایین است (Meinert et al, 1995). کانسارهای آهن با منشاهاى مختلف دارای نسبت کبالت به نیکل متفاوتی هستند. اگر نسبت Co/Ni بین ۰/۱

عنصر وانادیم و کروم در کانسار آهن میمون آباد، منشا ماگمایی را برای آن مردود می‌سازد (شکل ۱۷B) استرانسیم و یوروپیم از جمله عناصری هستند که تغییرات آن‌ها در سنگ‌ها و انواع مختلف کانسارهای آهن استفاده می‌شود (Belousova et al, 2002). میزان غلظت عنصر Eu در انواع کانسارهای آهن کاملاً متفاوت است. سیالات گرمایی نسبت به این عنصر غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۱۹A). در محدوده مورد مطالعه این عنصر تهی شدگی نشان می‌دهد (Naslund et al, 2000). در شکل ۱۸ الگوی پراکندگی عناصر کمیاب و فرعی که به کندریت نرمالیز شده، آورده شده است. طبق آنچه در نمودار مشاهده می‌شود، نمونه‌های مربوط به کانسار میمون‌آباد تهی شدگی در عناصر با قدرت بالا (HFSE) مثل Zr, Al و Sc نشان می‌دهند و این از ویژگی‌های کانسارهای گرمایی است (Zhiwei; Azizi et al, 2009 et al, 2004؛ کریمی، ۱۳۹۱؛ کوهستانی و همکاران، ۱۳۹۴).

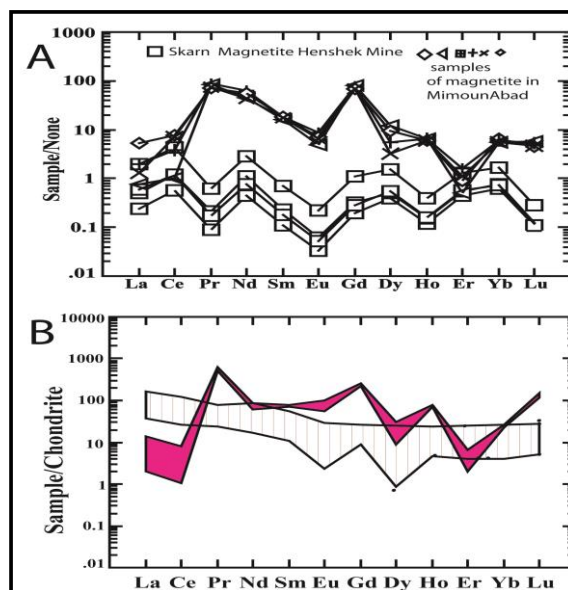
تا ۱ باشد، منشا آهن رسوبی، اگر بین ۱ تا ۱۰ باشد منشا آهن هیدروترمال و اگر این نسبت ۱۰ تا ۱۰۰ باشد منشا آتشفشانی برای کانسارهای آهن در نظر گرفته می‌شود. در کانسارهای آهن دارای منشا ماگمایی، نسبت Co/Ni ۱ تا ۱۰ است با این تفاوت که مقدار نیکل در این نوع کانسارها بالاتر از ۲۰۰ گرم در تن است. حضور این دو عنصر در کانسارهای آهن به دلیل خویشاوندی شیمیایی آن‌ها با آهن است. در سیالات گرمایی نسبت Co/Ni بین ۰/۲ تا ۷ است، که یک خاصیت در کانسنگ آهن با منشا گرمایی است (Williams et al, 2005). طی تفریق ماگمایی در سیالات گرمایی نسبت کبالت به نیکل افزایش می‌یابد. براساس محاسبه کبالت به نیکل تغییرات مقدار این نسبت در دو بخش کانسار میمون‌آباد قابل تفکیک است. حد فاصل ۰/۳۸ تا ۰/۴۶ و ۴/۴ تا ۴/۷ نشان‌دهنده دو منشا پیدایش متفاوت برای کانه‌زایی است (شکل ۱۷A). بخشی از نمونه‌ها دارای منشا رسوبی و تعداد دیگری دارای منشا هیدروترمال می‌باشند (شکل ۱۷A).



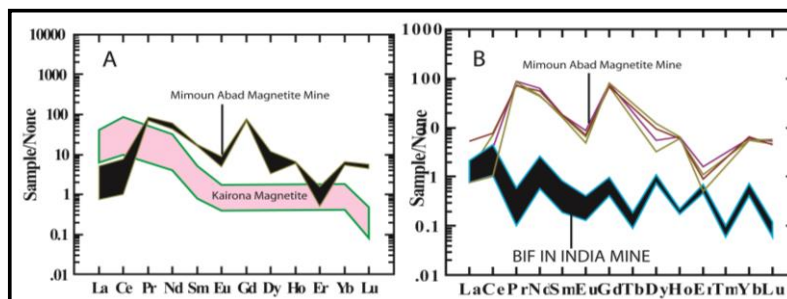
شکل ۱۷: A) نمودار نسبت Co در مقابل Ni و چگونگی قرارگیری نمونه‌های کانسنگ مگنتیت و تعیین منشا کانسار که نشان‌دهنده دو نوع کانی‌سازی مگنتیت در سیستم رسوبی (دایره) و هیدروترمال (مربع) می‌باشد (Bajwah, 1987). B) نسبت V در مقابل Cr که نشان‌دهنده قرارگیری و شکل‌گیری دو تیپ کانی‌سازی است. C) نسبت Co به Ni و عدم وجود ارتباط بین کانی‌سازی با تیپ کانه‌زایی ماگمایی مگنتیت. D) تغییرات نسبت Al به Si و قرارگیری بیشتر نمونه‌ها در محدوده کانسار آهن با منشا رسوبی است (با توجه به تعداد بیشتر نمونه‌هایی که فقط از آنالیز شیمی تر برخوردار بوده‌اند از این نمودار استفاده شده است).



شکل ۱۸: الگوی پراکندگی عناصر کمیاب در کانسنگ آهن میمون آباد نسبت به کانی سازی اسکارن و BIF (Bhattacharya et al, 2007).



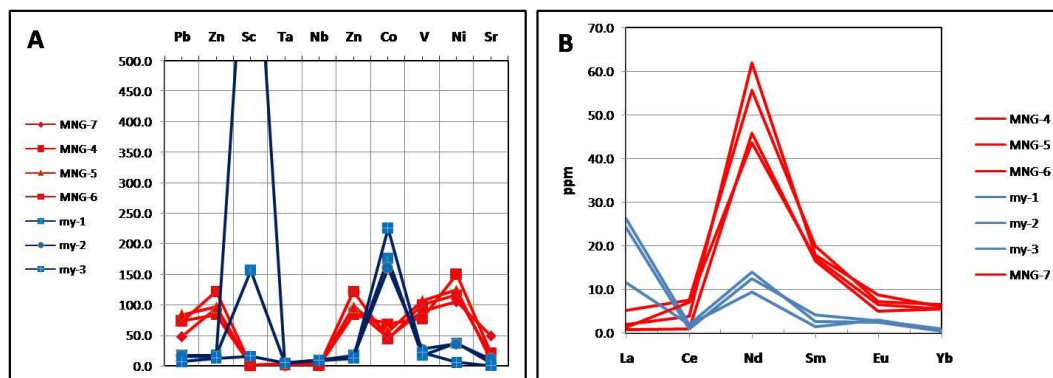
شکل ۱۹: (A) مقایسه تغییرات مقدار عناصر نادر خاکی مگنتیت میمون آباد و مقایسه آن با کانه زایی مگنتیتی هنشک استان فارس و عدم مشابهت تغییرات عناصر در این دو نوع کانسار. (B) الگوی پراکندگی REE در واحدهای نفوذی میمون آباد نرمال شده به کندریت C1، و مقایسه آن با نمونه های کانسنگ آهن میمون آباد (Niranen et al, 2005).



شکل ۲۰: (A) مقایسه الگوی پراکندگی REE در کانسنگ آهن میمون آباد با کانسارهای آهن تیپ ماگمایی (کایرونا) (Frietsch and Pandal, 1995). (B) الگوی پراکندگی عناصر REE در کانسنگ آهن میمون آباد نسبت به کانه زایی نوع BIF (Bhattacharya et al, 2007).

با توجه به نوع سنگ واکنش دهنده، دارای الگوهای نسبتاً متغیری هستند. اما از لحاظ غنی شدگی از LREE و تهی شدگی از HREE به کانسارهای با منشا ماگمایی شباهت دارند. شباهت کمی بین الگوی عناصر کمیاب برای کانسارهای آهن اسکارنی با کانسنگ میمون آباد (نمونه‌های گرفته شده از بخش احتمالی رسوبی) دیده می‌شود و تفاوت‌های بسیار زیادی دارند (شکل ۱۸). تغییرات عناصر کمیاب و عناصر نادر را می‌توان در شکل ۲۱ در دو نوع کانی‌سازی آهن میمون آباد مشاهده کرد.

شکل ۲۰: الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در کانسنگ مگنتیتی آهن رسوبی را نشان می‌دهد. آنومالی منفی Eu و مثبت Ce از مشخصه‌های بارز کانسارهای آهن رسوبی است. وجود آنومالی منفی Eu و مثبت Ce همراه هم در کانسارهای رسوبی نشان‌دهنده این است که کانسنگ به صورت رسوبگذاری شیمیایی و زیردریایی نهشته شده است. از دیگر ویژگی‌های این کانسارها، غنی شدگی HREE نسبت به LREE می‌باشد که دارای تشابه تقریبی با الگوی توزیع REE در این کانسار است. کانسارهای آهن اسکارنی به‌طور کلی



شکل ۲۱: (A) مقایسه الگوی پراکندگی عناصر کمیاب در انواع مختلف کانسنگ آهن میمون آباد (دو تیپ مختلف سنگ آهن نزدیک به توده نفوذی صوفی آباد با کد my و با فاصله از توده نفوذی با کد MNG). (B) مقایسه الگوی پراکندگی REE در تیپ‌های مختلف کانسنگ آهن میمون آباد (دو نوع مختلف سنگ آهن نزدیک به توده نفوذی صوفی آباد با کد my و با فاصله از توده نفوذی با کد MNG).

نتیجه‌گیری

با توجه به گسترش، تبعیت از چینه‌شناسی، نبود هماهنگی روند نمودار داده‌های عناصر نادر خاکی در نمونه‌های مگنتیت کانسار با سنگ‌های نفوذی منطقه و تبعیت تغییرات مقدار عناصر و نزدیکی آنها با نمودارهای کانسار آهن رسوبی و وجود شباهت‌های محدود با کانسارهای اسکارنی و هیدروترمال و تیپ ماگمایی تا حدودی فرضیه رسوبی بودن کانسار میمون آباد اثبات می‌شود. مقدار بالای L.O.I در آنالیز نمونه‌ها می‌تواند نشانه

احتمالی دیگری از منشا رسوبی باشد که با تغییرات عناصر موجود در مگنتیت با استفاده از میکروپروب و وجود اثراتی از ترکیبات رسوبی از جمله کربن در کانه همخوانی دارد. از طرفی وجود مگنتیت با کانی‌های سولفیدی در بخشی از محدوده مورد مطالعه (پیریت) و کوارتز، آکتینولیت، کلریت، آلبیت، کلسیت و گارنت که آن را همراهی می‌کنند و ناشی از عملکرد دگرسانی توسط سیالات ماگمایی هستند در حاشیه توده نفوذی گرانیته صوفی آباد و تغییرات

نشاندهنده دو منشا اولیه و ثانویه برای کانی‌سازی آهن میمون‌آباد است. آهن ابتدا به صورت میان لایه با سنگ‌های رسوبی-آتشفشانی تریاس-ژوراسیک رسوب حاصل کرده (منشاء رسوبی) و سپس در کرتاسه توده نفوذی صوفی‌آباد با توجه به وجود گارنت و واحد اسکارنی منطقه و دیگر شواهد کانی‌شناسی موجود، منشا اسکارنی برای تجمع و تراکم مگنتیت حاصل شده است.

عزیزی، دکتر جلیل قلمقاش با راهنمایی‌های ارزنده به انجام این پروژه تحقیقاتی کمک شایانی داشته‌اند که صمیمانه از آنها سپاس‌گزاری می‌نمایم.

کانسنگ آهن باباعلی و گلالی، باختر همدان، ایران، فصلنامه علوم زمین، سال بیستم، شماره ۷۷، ص ۱۲۱-۱۳۰.

-براتی، م.، ۱۳۹۲. کانی‌شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانسار آهن ظفرآباد کردستان با استفاده از داده‌های عناصر جزئی و نادر خاکی کانی مگنتیت، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۵، شماره ۲، ص ۲۳۵-۲۵۴.

-کوهستانی، ح.، ابراهیمی، م. و شهیدی، ا.، ۱۳۹۴. بررسی تیپ و خاستگاه کانه‌زایی آهن در رخداد معدنی مسگر با استفاده از داده‌های سنگ-شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی، زمین-شناسی اقتصادی، دوره ۷، شماره ۱۱۱، ص ۱-۱۲۷.

-Azizi, H., Asaharab, Y., Mehrabic, B. and Chungd, S.L., 2011. Geochronological and geochemical constraints on the petrogenesis of High-K granite from the Suffiabad area,

مقدار و اندازه بلورهای مگنتیت در آمفیبولیت از نظر عیار نشان دهنده عملکرد و تاثیر سیال در آنها است. در محدوده مگنتیت بیشتر به صورت میان لایه‌ای و یا آغشته کننده سنگ‌های درون-گیر دیده می‌شود و کمتر می‌توان مگنتیت را به صورت پرکننده فضاهای خالی مشاهده کرد. چنین نشانه‌هایی همراه با شواهد ژئوشیمیایی کانی مگنتیت و تغییرات عناصر نادر خاکی در آنها

سپاس‌گزاری

در این مقاله افراد مختلفی به نگارنده کمک نموده‌اند که لازم است از آنها سپاس‌گزاری نمایم. آقایان دکتر حسین معین وزیری، دکتر حسین

منابع

-مومن زاده، م.، ۱۹۷۶. کانی‌سازی سرب و روی در کربنات‌های کرتاسه محور ملایر-اصفهان، تز دکتری، دانشگاه هایدلبرگ، آلمان.

-قربانی، م.، ۱۳۸۷. زمین‌شناسی اقتصادی کانسارها و نشانه‌های معدنی ایران، انتشارات آراین زمین، ۵۷۰ ص.

-رحمانی، م.، ۱۳۸۸. پتروگرافی، پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های نفوذی جنوب دهگلان (شرق قروه)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد پترولوژی، دانشکده علوم دانشگاه تهران، ۱۳۷ ص.

-رستمی، ق.، لطفی، م.، قادری، م.، امیری، ا. و وثوقی عابدینی، م.، ۱۳۸۸. یافته‌های جدید کانه-نگاری و کریستال شیمی مگنتیت و پیریت در

Sanandaj-Sirjan Zone, NW Iran, *Chemie der Erde* 71, p. 363-376.

-Azizi, H. and Asaharac, Y., 2013. Juvenile granite in the Sanandaj-Sirjan Zone, NW Iran: Late Jurassic-Early

- Cretaceous arc-continent collision, *International Geology Review*.
- Azizi, H., Mehrabi, B. and Akbarpour, A., 2009. Genesis of Tertiary Magnetite-Apatite Deposits, Southeast of Zanjan, Iran. *Resource Geology*, v. 59(4), p. 330-341.
- Baharifar, A.A., Moinevaziri, 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. *C.R. Geoscience* (in review).
- Braud, J. and Bellon, H., 1974. Données nouvelles sur le domaine métamorphique du Zagros (zone de Sanandaj-Sirjan) au niveau de Kermanshah-Hamadan (Iran): nature, âge et interprétation des séries métamorphiques et des intrusions: évolution structurale. *Rapport Université Paris-Sud*.
- Bajwah, Z.U., Secombe, P.K. and Offler, R., 1987. Trace element distribution, Co: Ni ratios and Genesis of the Big Cadi iron-copper deposit, New South Wales, Australia, *Mineralium deposita*, v. 22, p. 292-300.
- Bhattacharya, H.N., Chakraborty, I. and Ghosh, K., 2007. Geochemistry of some banded iron-formations of the archaean supracrustals, Jharkhand-Orissa region, India. *Journal of Earth System Science*, v. 1163, p. 245-259.
- Belousova, E.A., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y. and Fisher, N.I., 2002. Apatite as an indicator mineral for mineral exploration: trace-element compositions and their relationship to host rock type, *Journal of Geochemical Exploration*, v. 76, p. 45-69.
- Burkhard, M., 1993. Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress strain markers and indicators of tectonic regime: a review". *Journal of Structural Geology*, v. 15, p. 351-368.
- Frietsch, R. and Pendahl, J.A., 1995. Rare earth elements in apatite and magnetite in kiruna-type iron ores and some other iron types, *Ore Geology Reviews*, v. 9, p. 489-510.
- Masoudi, F., Yardley, B.W.D. and Cliff, R.A., 2002. Rb-Sr geochronology of pegmatites, plutonic rocks and a hornfels in the region southwest of Arak, Iran. *Islamic Republic of Iran Journal of Sciences*, v. 13(3), p. 249-254.
- Meinert, L.D., 1995. Igneous petrogenesis and skarn deposits, *Geological Association of Canada, Special paper*, v. 40, p. 569-583.
- Moinevaziri, 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*, v. 8, p. 3077-3088.
- Niraneen, T., Manttari, I., Poutanen, M., Oliver, N. and Miller, J.A., 2005. Genesis of Paleoproterozoic iron skarns in the Misi region, Northern Finland, *Mineralium Depositata*, v. 40(2), p. 192-217.
- Naslund, H.R., Aguirre, R., Dobbs, F.M., Henriquez, F.J. and Nystrom, J.O., 2000. The origin, emplacement, and eruption of ore magmas, IX Congreso Geológico Chileno, *Sociated geologica de chile*, v. 2, p. 135-139.
- 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*, v. 39, p. 668-683.
- Stocklin, J., 1968. Structure history and tectonics of Iran: A review: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 52(7), p. 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*, v. 100, p. 371-405.
- Whitney, D. L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals, *American mineralogist*, v. 95(1), p. 185-187.
- Zamanian, H., 2016. Geochemistry of rare earth elements in the Baba Ali magnetite skarn deposit, western Iran – a key to determine conditions of mineralization, *Geologies* v. 22(1), p. 33-47.
- Zavaritsky, A.N., 1950. Metasomatism and metamorphism in the pyrite deposits of the Urals, *International Geological Congress*.
- Zhiwei, B., Zhenhua, Z., Jayanta, G., Anthony, E. and Jones, W., 2004. HFSE, REE and PGE geochemistry of three sedimentary rock-hosted disseminated gold deposits in southwestern Guizhou Province, China, *Geochemistry Journal*, v. 38, v. 363-381.

جدول ۴: نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت به روش ICP-OES برای کد نمونه‌های my (آزمایشگاه شرکت بینالود) و آنالیز ICP-MS (آزمایشگاه کاربردی سازمان زمین‌شناسی مرکز کرج) برای کد نمونه‌های MNG (مقادیر بر حسب ppm است).

	Zg-3	Za-8	Za-7	Za-10	Sma-5	Sma-4	Sma-3	Sma-2	Sma1	MNG-7	MNG-4	MNG-5	MNG-6	MNG-1	MNG-2	DS-1	ES-3	MA-1	MA-5	ZA-8	ZG-3	My-1	My-2	My-3
SiO2	51.57	2.99	10.49	3.9	19.21	12.29	7.59	25.46	27.7	28.07	4.50	6.53	9.12	77.38	11.04	5.47	35.7	35.67	2.99	51.57	26.29	12.99	5.47	
Al2O3	12.04	0.86	1.63	1.39	0.07	0.07	0.07	0.18	9.25	2.33	1.75	3.29	5.82	13.74	15.96	4.85	1.56	12.27	14.39	0.86	12.04	3.38	3.6	1.56
Fe2O3	9.72	68.41	58.5	47.1	29.04	34.72	26.03	19.62	22.59	57.73	49.38	47.74	39.96	1.07	9.64	56.17	77.68	14.93	22.16	63.41	9.72	49.6	53.5	91.26
FeO	3.57	28.52	26.06	21.1	12.17	19.55	14.07	16.92	16.41	17.45	23.82	19.24	22.94	-	-	15.99	13.6	13.65	9.92	28.52	3.57	-	-	-
CaO	5.87	3.19	1.83	25.3	0.12	0.13	17.21	7.53	4.98	14.86	8.67	11.39	6.66	0.66	8.55	10.28	0.62	7.22	0.78	3.19	5.87	11.43	23.2	0.62
MgO	-	0.017	0.15	0.005	6.19	7.08	5.94	11.84	0.28	3.06	2.71	8.37	4.51	9.16	2.57	4.95	-	6.63	7.93	0.017	-	8.49	4.13	-
Ni2O	4.5	-	-	-	0.12	0.13	0.07	0.11	0.44	-	-	-	-	5.57	2.72	0.29	0.51	0.67	0.07	-	4.5	0.07	0.05	0.15
K2O	1.7	-	-	-	0.17	0.13	0.07	0.11	0.07	1.18	-	-	-	0.86	2.65	0.05	0.12	1.92	3.28	-	1.7	0.14	0.08	0.12
P2O5	-	0.06	0.24	0.07	0.11	0.07	0.07	0.07	0.51	-	-	-	-	< 1	0.42	-	-	0.13	0.07	0.06	-	-	-	-
TiO2	-	0.15	0.3	0.15	0.07	0.07	0.07	0.18	0.29	-	-	-	-	0.25	1.09	-	0.4	0.43	0.15	-	-	0.19	0.15	-
MnO	-	0.28	0.43	0.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L O I	-	-	-	-	13.26	5.02	15.92	3.38	5.68	-	6.00	2.40	6.46	5.94	0.14	2.34	-	-	5.12	4.67	-	-	-	-
Total	88.97	99.48	98.63	99.51	80.53	95.80	96.24	77.79	96.66	99.54	99.04	99.48	99.31	99.95	99.92	98.67	99.56	93.52	99.82	103.87	88.97	99.59	97.70	99.18
B a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.0	1.0	3.8	7.6	2.4	418.3	-	-	-	-	-	-	-	2.0	2.1
C e	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45.9	68.9	56.2	44.3	1.5	24.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105.8	115.5	114.5	107.2	107.1	64.4	-	-	-	-	-	-	176.1	160.2	225.8
C r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.8	1.5	0.6	2.0	23.1	99.7	-	-	-	-	-	-	2.4	3.2	419.9
C u	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3	11.9	5.5	9.4	2.8	0.3	-	-	-	-	-	-	6.9	6.1	16.3
D y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	0.5	1.6	0.9	1.3	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.5	4.9	8.8	7.2	1.2	2.5	-	-	-	-	-	-	3.0	2.5	2.8
E u	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105.0	107.6	120.8	123.0	19.9	21.8	-	-	-	-	-	-	2.2	2.2	2.2
G a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	69.4	79.6	78.2	68.9	0.7	7.3	-	-	-	-	-	-	11.6	26.4	24.3
G d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	2.5	3.9	2.0	2.1	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G e	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3	6.6	4.0	8.1	4.7	9.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H f	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.0	6.5	6.5	5.9	0.2	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	0.8	2.0	5.2	1.5	60.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.9	0.5	2.7	7.0	1.3	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	3.1	2.3	3.6	2.7	11.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L i	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.7	5.8	5.2	4.5	0.1	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L u	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.9	0.5	2.7	7.0	1.3	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	1.0	2.6	1.3	6.9	28.2	-	-	-	-	-	-	12.7	14.7	10.9
N b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43.6	45.7	61.9	55.7	14.2	61.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105.2	149.8	124.8	116.5	2.9	45.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N i	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48.1	73.5	84.0	73.0	2.3	2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75.6	84.7	85.8	71.3	0.6	10.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.3	1.8	7.3	6.0	12.9	149.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.16	224.7	19.7	2.1	14.7	2.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	1.1	0.9	0.9	0.5	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.2	16.4	17.9	20.0	0.1	13.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S c	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35.3	43.2	39.2	34.7	0.5	3.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49.4	21.6	10.2	17.8	51.3	504.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S n	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0.1	3.4	3.0	2.4	2.7	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	116.5	118.3	121.6	126.1	10.6	17.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.1	2	4.9	6.2	2594	10369	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	69.6	83.5	79.9	72.1	1.5	6.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T i	-	-	-	-	-	-	-	-	-	89.8	77.4	107.3	100.5	34.3	318.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.2	2.5	16.7	14.5	7.0	33.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.5	5.5	6.1	6.5	1.0	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	94.1	84.3	96.6	122.0	12.4	65.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36.6	26.4	34.6	89.0	41.5	35.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Z n	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Z r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-