

نوع همبستگی عناصر جزئی و نادر خاکی با کانی‌های مزاحم فسفاته در معدن شماره ۱ گلگهر سیرجان

تاریخ دریافت مقاله: اسفند ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش مقاله: اردیبهشت ۱۴۰۲

رضا جلیلی سنبل آبادی^۱، مسعود عسکری^۲، بابک طلایی^۳

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه.

^۲ کارشناس ارشد شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر سیرجان، کرمان.

^۳ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه.

نام نویسنده مسئول:

رضا جلیلی سنبل آبادی

چکیده

شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر در جنوب غربی شهرستان سیرجان و در حاشیه زون دگرگونی- ماگمایی سنندج-سیرجان واقع شده است. معدن گل‌گهر درون کمپلکس دگرگونی گل‌گهر به سن احتمالی پرکامبرین- پالئوزوئیک زیرین قرار دارد. کانه اصلی و با ارزش این معدن مگنتیت است و هماتیت به صورت ثانویه از اکسیداسیون مگنتیت با مقادیر کمتر ایجاد شده است. کانه مگنتیت اولیه بوده و کانه‌های هماتیت، لیمونیت، مارتیت و گوتیت سوپرژن و ناشی از دگرسانی می‌باشند. سایر کانی‌های فلزی شامل لودویگیت، پیریت، پروتیت، پنتلانیدیت، کالکوپیریت، بورنیت و کوولیت است. متوسط مقدار آهن آن ۵۷/۲ درصد می‌باشد. REE ها با یکدیگر همبستگی مثبت و معناداری دارند. همبستگی‌های مثبت و متوسط برخی از LREE ها مانند (۰/۷۷La)، (۰/۸۰Ce) و (۰/۸۴Nd) با P می‌تواند نشانگر حمل عناصر نادر خاکی در کانی‌های فسفاته مانند موناژیت و آپاتیت باشد. لازم به توضیح است که کانی‌های فسفاته نام برده جزء کانی‌های مزاحم در معدن شماره ۱ بوده و فسفر عنصر مزاحم می‌باشد. نمونه‌های مگنتیت دارای آنومالی منفی Eu و آنومالی مثبت Ce می‌باشند که آنومالی منفی Eu بیانگر شرایط اکسیداسیون در معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر است.

کلمات کلیدی: سنگ آهن، گل‌گهر، سیرجان، ژئوشیمی، عناصر نادر خاکی.

مقدمه

شرکت معدنی و صنعتی گل گهر در طول جغرافیایی $۵۵^{\circ} ۱۶'$ تا $۵۵^{\circ} ۲۶'$ و عرض جغرافیایی $۲۹^{\circ} ۰۳'$ تا $۲۹^{\circ} ۱۰'$ در جنوب غربی شهرستان سیرجان در شش توده معدنی واقع شده است که دارای بیشترین ذخیره سنگ آهن در کشور تقریباً تا یک میلیارد و دویست و شصت میلیون تن ذخیره می‌باشد. در نمونه‌های معدن شماره ۱ سنگ آهن گل گهر با توجه به آنالیزهای ICP-MS مقادیر Fe_2O_3 به طور میانگین $۸۶/۰۴$ می‌باشد که مقادیر اکسید آهن از $۷۱/۵wt\%$ تا $۹۳/۳$ متغیر می‌باشد. مقادیر بالای آهن را می‌توان به کانی‌سازی اکسید آهن به صورت کانی‌های اکسیدی مگنتیت و هماتیت تحت شرایط اکسیدان نسبت داد. مقادیر بالاتر اکسید آهن در سنگ میزبان سیلیکاته به دلیل کانه‌سازی ثانویه آهن در شکستگی‌های سنگ میزبان به شکل رگه و رگچه می‌باشد. کمپلکس گل گهر قدیمی‌ترین واحد سنگی منطقه را تشکیل می‌دهد که شامل سنگهای اولترامافیک سرپانتینی، گابروهای دگرگونی، مرمرهای دولومیتی، میکاشیست، گنایس، آمفیبولیت، آمفیبولیت گارنت‌دار و کوارتزیت است (سبزه‌ای، ۱۳۷۴). سنگهای در برگیرنده این معدن شامل شیست‌های سریستی کوارتزار، شیست سبز و یا سنگهای دگرگونی-آتشفشانی دوران پروتروزوئیک بالایی-پالئوزویک زیرین می‌باشد.

روش مطالعه

این مطالعه در سه بخش کتابخانه‌ای، صحرایی و آزمایشگاهی انجام گردیده است. در بخش صحرایی، پیمایش‌هایی جهت شناخت واحدهای سنگ شناختی منطقه، ژئومتری ماده معدنی و ارتباط آن با سنگ‌های میزبان و مشخصات میکروسکوپی نمونه‌های معدنی مگنتیت (کانسنگ معدن) صورت گرفت. با توجه به مطالعات صحرایی به منظور انجام مطالعات میکروسکوپی و ژئوشیمی، پس از بررسی لاگهای حفاری و نقشه‌های زمین‌شناسی در بخش کتابخانه‌ای به جهت تعیین و بررسی تغییرات لیتولوژی آنها، نمونه برداری از مغزه‌های حفاری حاصل از ۶ حلقه چاه، با شماره‌های ۳۱۱۷ (۷ نمونه)، ۳۱۲۰ (۷ نمونه)، ۳۱۰۹ (۳ نمونه)، ۳۱۰۷ (۳ نمونه)، ۳۰۱۸ (۲ نمونه) و ۳۰۴۰ (۲ نمونه) برای انجام آزمایشات با استفاده از روش ICP-MS از کانسنگ معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل گهر انجام شد.

به جهت انجام مطالعات آزمایشگاهی، تعدادی از این نمونه‌ها جهت تهیه مقاطع میکروسکوپی، صیقلی، نازک صیقلی و دو بر صیقل انتخاب و برای تهیه به شرکت کانساران بینالود فرستاده شد و هم‌چنین تعدادی از آنها نیز به جهت بررسی و تعیین فازهای کانیایی نامشخص جهت انجام آنالیزهای پراش پرتو X (XRD) در مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران در کرج مورد تجزیه قرار گرفت و ۲۵ نمونه نیز جهت بررسی عناصر اصلی، جزئی و عناصر نادر خاکی با استفاده از روش ICP-MS به خارج از کشور و به شرکت ALSCEMEX کانادا ارسال شد تا مورد تجزیه قرار گیرند.

زمین شناسی منطقه

محدوده معدن در چهارگوش $۱/۱۰۰۰۰$ گل گهر در زیر پوششی از آبرفت‌های کواترنر قرار دارد. کمر بند سندنج-سیرجان در مجموعه ساختاری قرار دارد که حاصل عملکرد پیچیده‌ای از جدایش مزوزوئیک آغازین بلوک قاره ای ایران از سرزمین گندوانا است که بعداً به وسیله ی فرو رانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر پوسته ایران و عربی رانده شده است. (عسگری، ۱۳۸۶). سنگهای پالئوزوئیک شامل کمپلکس گل گهر بوده که این مجموعه قدیمی‌ترین مجموعه دگرگونی این منطقه را تشکیل می‌دهد. ذخایر ۶ گانه سنگ آهن گل گهر در این کمپلکس دگرگونی قرار گرفته است که بخش تحتانی این کمپلکس شامل تناوبی از گنایس، میکاشیست، آمفیبولیت و کوارتزیشیت می‌باشد. که در مواردی گدازه‌های اولترامافیک نیز دگرگون شده است (حلاجی، ۱۳۷۰). از نظر ساختاری در ناحیه معدن گل گهر ۴ سری گسل عمده وجود دارد که از آن میان گسل‌های شمال باختری - جنوب خاوی و گسل‌های شمالی- جنوبی بارزتر هستند. (عسگری ۱۳۸۶). سنگهای تشکیل دهنده منطقه بیشتر بصورت کمپلکس متامورفیک شامل سنگهای فیلیت، شیست، آمفیبولیت، گنایس، مارن‌ها و سایر سنگهای دگرگونی است که همراه با گرانیت در منطقه مشاهده می‌شود (سبزه‌ای، ۱۳۷۴).

بحث و نتیجه گیری**زمین شیمی عناصر جزئی در نمونه‌های معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل گهر**

عناصر TTE (Trans- transition elements) شامل Zn, V, Ni, Cu, Cr, Co می‌باشند (Jenner, 19). V^{+3} به راحتی می‌تواند جایگزین Fe^{+3} در شبکه کانی‌های هماتیت و گوتیت شود (Schwertmann and Pfab, 1996). در اکثر نمونه‌های آنالیز شده معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل گهر، نیکل زیر حد تشخیص دستگاه (ppm) 5 D.L است که بیشترین درصد آن در نمونه‌های R_{21} و R_{23} است. این نمونه‌ها در اعماق ۳۸۸/۴ و ۲۹۶/۶ متری است. بیشترین مقدار نیکل مربوط به کانسنگ آهن ماگمایی شمال فنلاند (۲۸۰ ppm) و کمترین مقدار مربوط به تیپ متاسوماتیکی تاپورووا در شمال فنلاند (۲۲۰ ppm < است (فریتش، ۱۹۷۰). متوسط نیکل در نمونه‌های اسکارن um-Nar مصر، ۲۵/۵ ppm است. (ال هابک، ۲۰۰۴) با مقایسه مقدار عنصر نیکل در معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل گهر با کانسارهای تیپ اسکارنی و متاسوماتیکی متوجه شباهت این معدن به تیپ‌های اسکارنی و متاسوماتیکی می‌شویم. درصد Ni در نمونه‌ی تجزیه شده به روش ICP-MS بالا و حدود ۳۴ ppm است. مقادیر کبالت در نمونه‌ها بین ۲/۳ ppm تا ۲۲۹ ppm متغیر است، البته شایان ذکر است که اغلب نمونه‌ها دارای مقادیر کمتر از ۳۷ ppm است. بیشترین مقدار Co مربوط به نمونه‌ی R21 در عمق ۲۹۴/۶ متری بوده و کمترین مقدار مربوط به نمونه‌ی R16 می‌باشد که در عمق ۱۷۰ متری واقع است. مقدار متوسط کبالت ۲۴/۳ ppm است. بیشترین مقدار کبالت مربوط به کانسارهای کنتاکت پنوماتولیتی است که تا ۵۰۰ ppm می‌رسد (همگن و آلبرت، ۱۹۵۴). نیستروم و هنریکز (۱۹۹۴) مقدار میانگین کبالت را برای کانسنگ کایرونا و ال لاکوشیلی به ترتیب (ppm) ۱۴۰ و ۲۰ ppm گزارش کرده‌اند. طبق نظر فریتش (۱۹۷۰) مقادیر میانگین کبالت برای کانسنگ آهن آپاتیتی (ppm) ۱۲۰ و برای کانسارهای اسکارن مگنتیتی شمال سوئد ۸۰ ppm است. درصد میانگین کبالت اسکارن um-Nar را ال هابک ۱۴/۲ ppm گزارش کرده است. می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به مقادیر کبالت در معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل گهر، این کانسار به کانسارهای تیپ اسکارن شباهت بیشتری دارد. در بین نمونه‌های تجزیه شده به روش ICP-MS درصد کبالت در نمونه‌ی R_{21} ، ۲۲۹ ppm است. همچنین از آنجا که مقدار گوگرد این نمونه در عمق ۲۹۶/۶ متری برابر با ۶/۰۲۳ درصد بالاترین مقدار در نمونه‌ها می‌باشد. پس احتمال تشکیل فازهای سولفیدی بیشتری از جمله پیریت، پیروتیت وجود دارد و این احتمال هم می‌رود که نیکل و کبالت در داخل این فازهای سولفیدی حضور داشته باشند. از آنجا که شعاع کروم به شعاع Fe^{+3} نزدیک است و الکترون‌گاتیوتیه آن از Fe^{+3} کمتر است، بنابراین می‌تواند جایگزین Fe^{+3} در شبکه‌ی مگنتیت شود. مقدار کروم در لیتوسفر فوقانی ۹۰ ppm است (شاو، ۱۹۶۴). مقدار عنصر کرم در نتایج تجزیه ICP-MS [D.L: ۱۰ (ppm)] کمتر از حد تشخیص دستگاه است. مقدار کروم موجود در کانسارهای چینه‌ای شمال سوئد تقریباً بیش از سایر تیپ‌ها به ۱۲۰۰ ppm می‌رسد و در تیپ‌های اسکارن و متاسوماتیزمی شمال سوئد به ترتیب ۲-۴۰ ppm و ۱۳۰ ppm است. نیستروم و هنریکز (۱۹۹۴) و پاراک (۱۹۷۵a) و فریتش (۱۹۷۰) مقدار متوسط کروم در ال لاکو (ماگمایی) و کایرونا به ترتیب ۱۰ ppm و ۱۱ ppm گزارش کرده‌اند. با مقایسه‌ی مقادیر کروم بین کانسارهای رسوبی و ماگمایی به تفاوت قابل ملاحظه‌ای از مقادیر کروم بین این دو تیپ کانسار روبرو می‌شویم و می‌توان نتیجه گرفت که کانسارهای آهن رسوبی با مقدار بالاتر کروم نسبت به کانسارهای ماگمایی مشخص می‌شوند. نفوذ برخی عناصر پایداری شبکه‌ی مگنتیت و خواص آن را تغییر می‌دهد - Mn, Ti، موجب افزایش پایداری شبکه‌ی مگنتیت می‌شود و همچنین عناصر Mg, Ni, Al, Cr, Co باعث کاهش پایداری شبکه‌ی مگنتیت می‌شود (ناکولد، ۱۹۹۶؛ باستا، ۱۹۵۷). با جانشینی کم NiO به جای FeO اشاره کرد و تشکیل اکسلوشن تیتان به صورت کانی ایلمنتیت و آلوپسنیل درون مگنتیت را نتیجه کاهش حرارت کم درون سنگ‌های نفوذی می‌داند. راهدور (۱۹۸۰). Cr, V, Ti به میزان قابل توجهی وارد شبکه‌ی مگنتیت می‌شوند. عناصر HFSE (High- Field Strength Elements) به دلیل مقاومتشان به هوازدگی، کانیهای ویژه‌ای می‌باشند (Panahi et al., 2000) این عناصر شامل Hf, Nb, Ta, Ti, Zr, P می‌باشد (Kupeli, 2010)، عناصر HFSE می‌تواند توسط محلولهای مختلف انتقال یابند و تحرک HFSE توسط تعدادی فاکتور مانند فشار- درجه حرارت، pH و شیمی محلول کنترل می‌شود (Jiang et al., 2005) در نمونه‌های معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل گهر عناصر بی تحرک از قبیل Al, Zr, Y, Th,

Hf, Nb, Ti همبستگی مثبت قوی با یکدیگر نشان نمی دهند به استثنای Zr با Hf. همبستگی خیلی خوب بین Hf با Zr (۰/۸۹) نشان دهنده این است که کانی زیرکن نقش تعیین کننده و مهمی در تثبیت و غنی‌شدگی Hf در کانسنگ گل گهر داشته‌است. همبستگی‌های مثبت و متوسط بین Nb با Ti (۰/۶۵) نشان می‌دهد که احتمالاً اکسیدهای تیتانیوم‌دار با توجه به ترکیب شیمیایی خود نقش بارزی در تثبیت و غنی‌شدگی Nb در کانسنگ گل گهر داشته‌اند. همبستگی‌های مثبت و ضعیف تا متوسط بین Al با Ga (۰/۶۸) موید این مهم است که Ga جانشین آلومینیوم در کانیهای آلومینیوم دار شده است. (Fernández-Caliani and Cantano, 2010). با توجه به همبستگی مثبت و ضعیف بین Y و P (۰/۵۹) به نظر می‌رسد که کانی‌های فسفاتی نظیر چورچیت و زینوتاچیم تا حدودی نقش مهمی در تثبیت Y در سیستم ایفا نموده‌اند. لازم به ذکر است که بر اساس اسمیت (Smith et al., 2004) گارنت‌ها می‌توانند در Y_2O_3 غنی‌شدگی نشان دهند.

زمین شیمی عناصر نادر خاکی REE ها در معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل گهر

الگوی پراکنش REE ها در معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل گهر با توجه به داده های شیمیایی مقدار ΣREE در نمونه های مورد مطالعه از ۰.۹۳ تا ۱۴۴.۳ ppm تغییر داشته و میانگین ΣREE نمونه های مورد مطالعه در حدود ۱۳.۸۹ ppm می باشد. پس از بررسی و مطالعه همبستگی رتبه ای اسپیرمن محرز شد که عناصر نادر خاکی با عناصر جزئی و اصلی همبستگی در خور توجه ندارند و عناصر نادر خاکی فقط با یکدیگر و با فسفر همبستگی معنا داری دارند و به احتمال فراوان این عدم وجود همبستگی با عناصر اصلی و جزئی به دلیل این باشد که منطقه ی معدنی دچار ۲ فاز تکتونیکی و همچنین ۲ مرحله ی دگرگونی (باتوجه به مطالعات کانی شناسی) و عدم جود تعادل در دگرگونی، شده است و لازم به ذکر است که در معدن گل گهر ۲ عنصر فسفر و گوگرد جزء عناصر مزاحم می باشند. مقدار ΣREE در کانسنگ آپاتیتی کایرونا در سوئد بین ۲۰۰۰ تا ۷۰۰۰ ppm و نسبت تفریق LREEs به HREEs در این کانسنگ ضعیف تا متوسط و بی هنجاری یوروپیوم منفی گزارش شده است که الگوی REE در معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل گهر بسیار به این معدن شباهت دارد که می تواند نشان دهنده ی منشاء یکسان این دو کانسار باشد. با توجه به آنالیزهای شیمیایی فراوانی ΣREE در معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل گهر به ترتیب زیر است:

Ce>La>Nd>Pr>Gd>Sm>Dy>Er>Yb>Ho>Tb>Eu>Lu>Tm

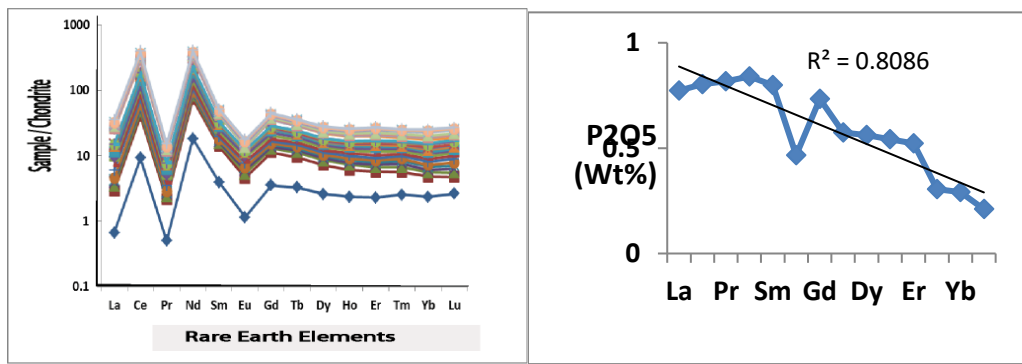
$\Sigma LREEs$ برابر با ۳۰۳.۴۳ ppm و $\Sigma HREEs$ برابر با ۴۳.۶۸ ppm می باشد که غنی شدگی عناصر نادر سبک نسبت به سنگین را نشان می دهد و به احتمال فراوان می تواند ناشی از ذوب بخشی کم مواد گوشته ای، ذوب محدود گوشته غنی شده و یا محصول فرایند نهایی تبلور بخشی در ماگماتیسم باشد. (پایدار و همکاران، ۱۳۸۶). تمام نمونه های مگنتیت دارای آنومالی منفی یوروپیوم Eu و آنومالی مثبت سریم Ce می باشند که نشان دهنده ی شرایط اکسیداسیون در معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل گهر است (ترا بیان، ۱۳۸۶). والگوی پراکنش عناصر خاکی کمیاب به وضوح غنی شدگی عناصر کمیاب خاکی سبک نسبت به عناصر کمیاب خاکی سنگین را نشان می دهد (شکل ۲).

کانی های میزبان REE ها در معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل گهر

RREE ها با یکدیگر همبستگی مثبت و معناداری دارند. همبستگی‌های مثبت و متوسط برخی از LREE مانند La (۰/۷۷) و Ce (۰/۸۰) و Nd (۰/۸۴) با p می‌تواند نشانگر حمل عناصر نادر خاکی در کانی های فسفاتمانند، موزائیت و آپاتیت باشد (2010 Bonyadi). (شکل-۳). آپاتیت میزبان خوبی برای عناصر نادر خاکی می باشد (رستمی و همکاران، ۱۳۸۸). آپاتیت، میزبانی مناسب و مهمی برای عناصر نادر خاکی در محیط های ژئوشیمیایی مختلف است. فرمول کلی آپاتیت $A_5(XO_4)3Z$ می باشد. فراوانی REE در آپاتیت به وسیله یون Ca^{2+} کنترل می شود. جانشینی متقابل بین یون های با ظرفیت های متفاوت باید با موازنه اختلاف بار الکتریکی همراه باشد. (رستمی و همکاران، ۱۳۸۸). مقایسه و نسبت دوتایی عناصر کمیاب کانسار گل گهر با کانسارهای

معروف دنیا بیانگر شباهت زیاد این کانسار با سه تیپ استراتیفاید، کنتاکت پنوماتولیتیک و اسکارن است (حلاجی و یعقوب پور، ۱۳۷۳).

متوسط غلظت Fe_2O_3 در نمونه‌های تجزیه شده به روش ICPMS ۸۶/۰۴ درصد است و تغییرات آهن با افزایش عمق تغییرات نامنتقی نشان می‌دهد. بالاترین مقدار اکسید آهن در این نمونه‌ها در عمق ۳۷۰ متری برابر ۹۳/۳ درصد است و کمترین مقدار نیز در عمق ۲۰۵/۵ متری برابر ۷۱/۵ درصد است. RREE ها با یکدیگر همبستگی مثبت و معناداری از جمله همراهی عناصر نادر خاکی با هم دارند. همبستگی‌های مثبت و متوسط برخی از LREE مانند $La(0/77)$ و $Ce(0/80)$ و $Nd(0/84)$ با p می‌تواند نشانگر حمل عناصر نادر خاکی در کانی‌های فسفات‌مانند، مونازیت و آپاتیت باشد لازم به توضیح است که کانی‌های فسفات‌مانند برده جزء کانی‌های مزاحم در معدن شماره ۱ بوده و فسفر نیز عنصر مزاحم می‌باشد. نمونه‌های مگنتیت دارای آنومالی منفی یوروپیم Eu و آنومالی مثبت سریم Ce می‌باشند که آنومالی منفی یوروپیم نشان دهنده شرایط اکسیداسیون در معدن شماره ۱ شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر سیرجان است. (شکل ۲).



(شکل-۲) - نمودار الگوی پراکنش عناصر نادر خاکی

(شکل-۳) - نمودار ضریب همبستگی عناصر نادر خاکی نسبت به اکسید فسفر

منابع و مراجع

- [۱] بابکی، ا.، ۱۳۸۳. پیدایش کانسار سنگ آهن گل گهر. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- [۲] ترابیان، س.، ۱۳۸۶. کانه زایی و ژنز آنومالی معدن ۳ گل گهر سیرجان با تکیه بر عناصر جزئی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۳۰ ص.
- [۳] حلاجی، ا.، ۱۳۷۰. مطالعه کانی شناسی عناصر کمیاب و منشا کانسار گل گهر. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- [۴] عسگری، م.، ۱۳۸۷. بررسی توزیع ابعادی، نوع درگیری و خصوصیات کانی شناسی کانسنگ و باطله در معدن شماره ۱ مجتمع سنگ آهن گل گهر، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی شیراز، ۱۵۲ ص.
- [۵] غیاثوند، ع.، ۱۳۸۴. کانی شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانسارهای آهن شمال سمنان
- [۶] رستمی پایدار، ق. لطفی، م. قادری، م. امیری، آ. وثوقی، م. ۱۳۸۸. یافته های جدید کانه نگاری و شیمی بلور
- [۷] مگنتیت در کانسارهای آهن بابا علی و گلالی، باختر همدان، ایران، مجله علوم زمین شماره ۷۷، صفحه ۱۲۱ تا ۱۳۰.
- [۸] نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ گل گهر، سازمان زمین شناسی کشور ۱۳۷۶.
- [۹] یعقوب پور، ع.، ۱۳۸۳. اصول زمین شناسی ذخایر معدنی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۴۲۲ صفحه.
- [10] Basta, E.Z., 1957, Acurate determination of the cell demisson of magnetite Mineral, Mag. 31, pp. 431-442.
- [11] Bonyadi, Z. , Davidson, G.J. , Mehrabi, B. , Meffre, S. , Ghazban, F. , 2010, Significance of apatite REE depletion and monazite inclusions in the brecciated Se–Chahun iron oxide–apatite deposit, Bafq district, Iran: Insights from paragenesis and geochemistry 16, pp.253-269.
- [12] El habaak, G.H., 2004, Pan, African skarn deposits related to banded iron formation UM-Nar area, Central eastre desert, Egypt, African earth Science .pp.199-221.
- [13] Frietsch, R., 1970, Trace element in magnetite and hematite mainy from northern Sweden, Sveriges, Geol, Unders. Ser. C., 646.
- [14] Fernández-Caliani, I.C., Cantano, M., 2010. Intensive kaolinization during a lateritic weathering in Southwest Spain: Mineralogical and geochemical inferences from a relict paleosol. Catena 80, 23- 33.
- [15] Hegemann, F. & Alberecht, F., 1954, Zur Geochemie Oxischer Eisenerzechmie, e.d.erd 17, 81-103.
- [16] Jenner, G.A., 1996, Trace element geochemistry of igneous rocks: geochemical nomenclature and analytical geochemistry, In: Applications for Massive Sulfide Exploration Short Course Notes, Geological Association of Canada, 12 , 51–77.
- [17] Jiang, S.Y., Wang, R.C., Xu, X.S., Zhao, K.D., 2005. Mobility of high field strength elements (HFSE) in magmatic and submarine-hydrothermal systems. Physical Chemical Earth 30, 1020–1029.
- [18] Kupeli, S., 2010. Trace and rare-earth element behavior during alteration and mineralization in the Attepe iron deposits (Feke-Adana, southern Turkey. Journal of Geochemical Exploration 105, 51-74.
- [19] Michard, A., 1989. Rare earth element systematic in hydrothermal fluids. Geochim. Cosmochim. Acta 53, 745–750.
- [20] Nockold, S.R., 1966, The behaiour of some elements during fractional crystallization of magma, Geochem Cosmoche. Acta, 30, 276-278.
- [21] Nystrom, J.O., Henriquez, F., 1995, Magmatic features of iron ore of the kiruna type in the Sweden. V.74, pp.21-35.
- [22] Panahi, A., Young, G.M., Rainbird, R.H., 2000. Behaviour of major and trace elements (including REE) during paleoproterzoic pedogenesis and diagenetic
- [23] Parak, T., 1975a, the origion of kiruna iron ores, Svering Geologiska under so king, No.C 709, 209P.
- [24] Ramdohr, P., 1980, The ore minerals and their intergrowth, 2nd Ed., pergamon, press, 1207pp.
- [25] Shaw, D.M., 1964, Interpretation Geocheique des elements en trace dans Les roches crisallines, Masson, Paris.
- [26] Smith, M.P., Henderson, P., Jeffries, T.E.R., Long, J. & Williams, C.T. 2004. The rare earth elements and uranium in garnets from the Beinn an Dubhaich aureole, Skye, Scotland, UK: constraints on processes in a dynamic hydrothermal system. Jornal of Petrology 45, 457