



## بررسی زمین‌شیمی و کانه‌زایی آهن و آپاتیت برای شناخت عناصر خاکی نادر در کانسار گزستان منطقه بافق (استان یزد)

علی اکبر دهقانزاده بافقی، امیرحسین کوهساری\*، فرهاد محمد تراب

دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه یزد

(دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۹، نسخه نهایی: ۹۷/۱/۱۵)

**چکیده:** کانسار گزستان در ۱۸۵ کیلومتری یزد در کمربند فلززایی بافق - پشت بادام از سنگ‌های کربناتی، شیل، توف، ماسه‌سنگ و سنگ‌های آتشفشانی مربوط به دوره اینفراکامبرین تشکیل شده است. سنگ‌های سبز با ترکیب اسیدی تا بازی (ریولیت، داسیت تا بازالت) میزبان کانی‌سازی آهن - فسفات هستند. دگرسانی در سنگ‌های آتشفشانی، شدید و شامل دگرسانی‌های اکتینولیت، کلریتی، سیلیسی و آرژیلی است. همچنین سنگ میزبان شدیدتر دچار دگرسانی شده است. کانی‌سازی شامل اکسیدهای آهن - آپاتیت است که با کمی کوارتز، پیریت و کلسیت همراهی می‌شود. کانه‌زایی مگنتیت و آپاتیت به شکل‌های مگنتیت - آپاتیت در سنگ میزبان دگرسان شده، مگنتیت - آپاتیت پیریت‌دار، مگنتیت سیلیس‌دار، هماتیت و مگنتیت هماتیته شده قابل تفکیک است. همچنین نسبت بالای عناصر خاکی نادر سبک به سنگین (LREE/HREE) همراه با ناهنجاری منفی Eu می‌تواند نشانگر خاستگاه ماگمایی این الگو باشد. کانسار آهن گزستان مشابه با کانسار کایرونای سوئد است.

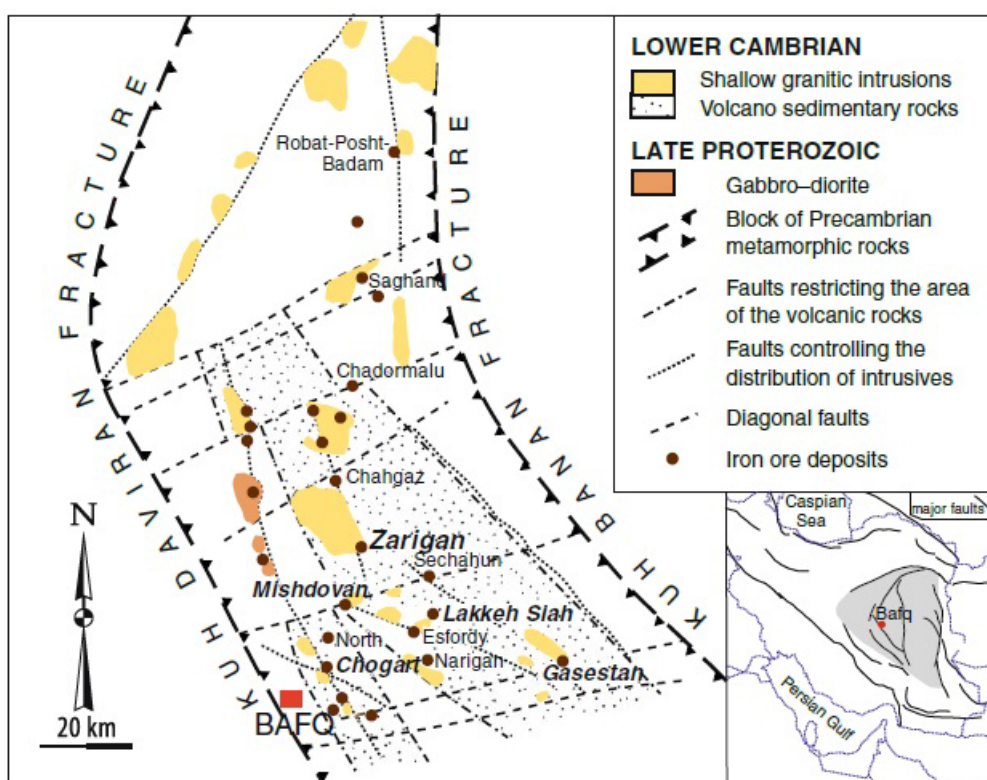
**واژه‌های کلیدی:** آهن و آپاتیت؛ عناصر خاکی نادر؛ گزستان بافق؛ کمربند فلززایی بافق - پشت بادام.

### مقدمه

آتشفشانی در خود جای داده است. در اواخر مزوزوئیک، رویدادهایی از نوع دینامیکی - گرمایی، سنگ‌های انباشته در این گودال را دچار تغییر شکل و دگرگونی کرده‌اند. کانسارهای آهن، سنگ‌های ماگمایی آپاتیت‌دار، کانسارهای سرب و روی و کانی‌سازی اورانیوم - توریوم با این رویدادها در ارتباط هستند [۴،۳].

کانسارهای اکسید آهن - آپاتیت (IOA) به عنوان رده خاصی از منابع معدنی مطرح هستند که با ذخایر بزرگی همچون کایرونا سوئد معرفی می‌شوند [۵-۱۰]. ویژگی‌های کانی‌سازی در این پهنه قابل قیاس با کایرونا سوئد است [۱۱-۱۴]. فعالیت ماگمایی منطقه بافق از نوع آهکی-قلیایی است و می‌توان آن را با فرورانش پوسته اقیانوسی قدیمی به زیر خردقاره ایران مرکزی در زمان کامبرین پیشین ارتباط داد [۱۵].

ناحیه معدنی بافق وسیع‌ترین ایالت آهن‌دار ایران در ایران مرکزی واقع است و از بافق تا رباط پشت بادام گسترش دارد. این ناحیه از شمال به رباط پشت بادام، از جنوب به زرند، از شرق به بهاباد و از غرب به بافق می‌رسد و یک کمربند فلززایی با روند شمالی - جنوبی است که در کرانه شرقی خرد قاره ایران مرکزی بین دو گسل کوهبنان و کوه دویران واقع است (شکل ۱). این منطقه دوره تکوینی در پرکامبرین پسین، با خاستگاه کافتی و فعالیت ماگمایی ویژه گوشته بارور در بستر درون قاره‌ای را طی کرده است [۲،۱]. سراسر این منطقه، در پرکامبرین و اوائل پالئوزوئیک حالت سکوماند داشت که گاه از نقش و هجوم ماگما متأثر می‌شده است. پس از اردوئیسین، در این ناحیه گودالی پدید آمده که تقریباً بطور پیوسته در حال فرونشست بوده و رسوبات آواری را به همراه سنگ‌های



شکل ۱ نقشه ساده زمین‌شناسی کمربند فلزایی بافق - پشت بادام همراه با کانسارهای آهن - آپاتیت [۱].

دیوریتی بیان شده است که این سنگ‌ها توسط توده‌های نفوذی دیوریتی قطع شده‌اند و در ارتباط با کانه‌زایی آهن هستند [۲۱].

رنگ آپاتیت‌های قرمز که در کانسار گزستان به فراوانی یافت می‌شود (شکل ۲) به دلیل وجود شبکه متراکمی از سیال‌های درگیر مایع و جامد است. بلورهای آپاتیت به صورت قطعات خرد شده هستند و آپاتیت‌های گزستان مقادیر زیادی موناژیت دارند که موناژیت‌های سبز رنگ جوان‌تر، در بین شکاف‌های آپاتیت جای گرفته‌اند [۱۲].

واحدهای سنگی منطقه وابسته به سری ریزو هستند و از سنگ‌های کربناتی، شیل، توف، ماسه‌سنگ و سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند. افزون بر سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی، سنگ‌های نفوذی به شکل استوک و دایک با ترکیب گرانودیوریت و گرانیت در بخش‌های مختلف رخمون دارند. همچنین سنگ‌هایی با ترکیب اسیدی تا بازی (ریولیت، داسیت تا بازالت) در اثر دگرسانی به رنگ سبز دیده می‌شوند و میزبان کانی‌سازی آهن و فسفات هستند [۱۶-۲۰].

با اینکه کانسارهای آهن در سنگ‌های بازالتی-آندزیتی تشکیل شده‌اند، اما تشکیل آنها در ارتباط با توده‌های نفوذی



شکل ۲ نمونه دستی از آپاتیت‌های منطقه گزستان.

اثر محلول‌های گرمایی تشکیل شده‌اند. مهمترین کانه‌های آهن موجود در این کانسار برپایه بررسی‌های میکروسکوپی شامل موارد زیر هستند:

مگنتیت: دانه‌های مگنتیت به صورت توده‌ای، رگه‌ای و پراکنده وجود دارند. گاهی این دانه‌ها با زاویه ۱۲۰ درجه در کنار هم قرار دارند که این خود یک مشخصه از مگنتیت‌های ماگمایی است [۲۳]. نکته قابل توجه مارتیتی شدن مگنتیت‌هاست که در این فرآیند هماتیت با حفظ شکل اولیه مگنتیت، جانشین آن می‌شود.

هماتیت: فراوانی آن به مراتب کمتر از مگنتیت بوده و بصورت اولیه شکل گرفته است. گاهی هماتیتی شدن در راستای شکستگی‌ها و از سطوح رخ مگنتیت شروع شده و گاهی نیز همه مگنتیت طی فرآیند مارتیتی شدن و یا به دلیل فعالیت‌های گرمایی و یا دگرسانی به هماتیت نوع ثانویه تبدیل شده است.

هیدروکسیدهای آهن (لیمونیت و گوتیت): هیدروکسیدهای آهن فرآورده دگرسانی کانی‌های هماتیت و مگنتیت بوده و ترکیب آنها از نوع گوتیت و لیمونیت است که اغلب در اطراف کانه‌ها در همراهی با کوارتز و کلسیت پرکننده فضاهای خالی رگه‌ها و درزه‌ها هستند. لیمونیت اکسید آهن آبدار به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای است که در بخش‌های سطحی کانسار دیده می‌شود.

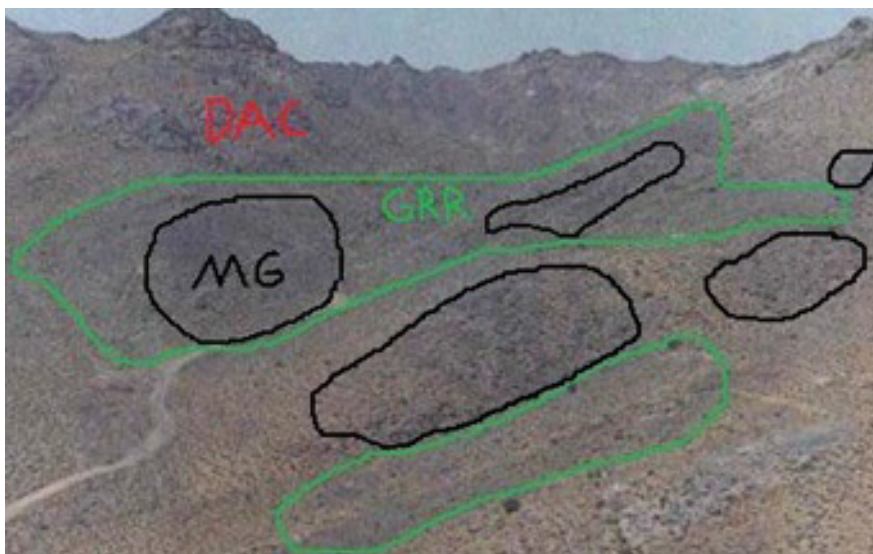
در این پژوهش، خاستگاه آپاتیت‌ها و همراهی آنها با آهن به عنوان اصلی‌ترین کانی در برگیرنده عناصر خاکی نادر در سطح منطقه بررسی می‌شود.

### روش بررسی

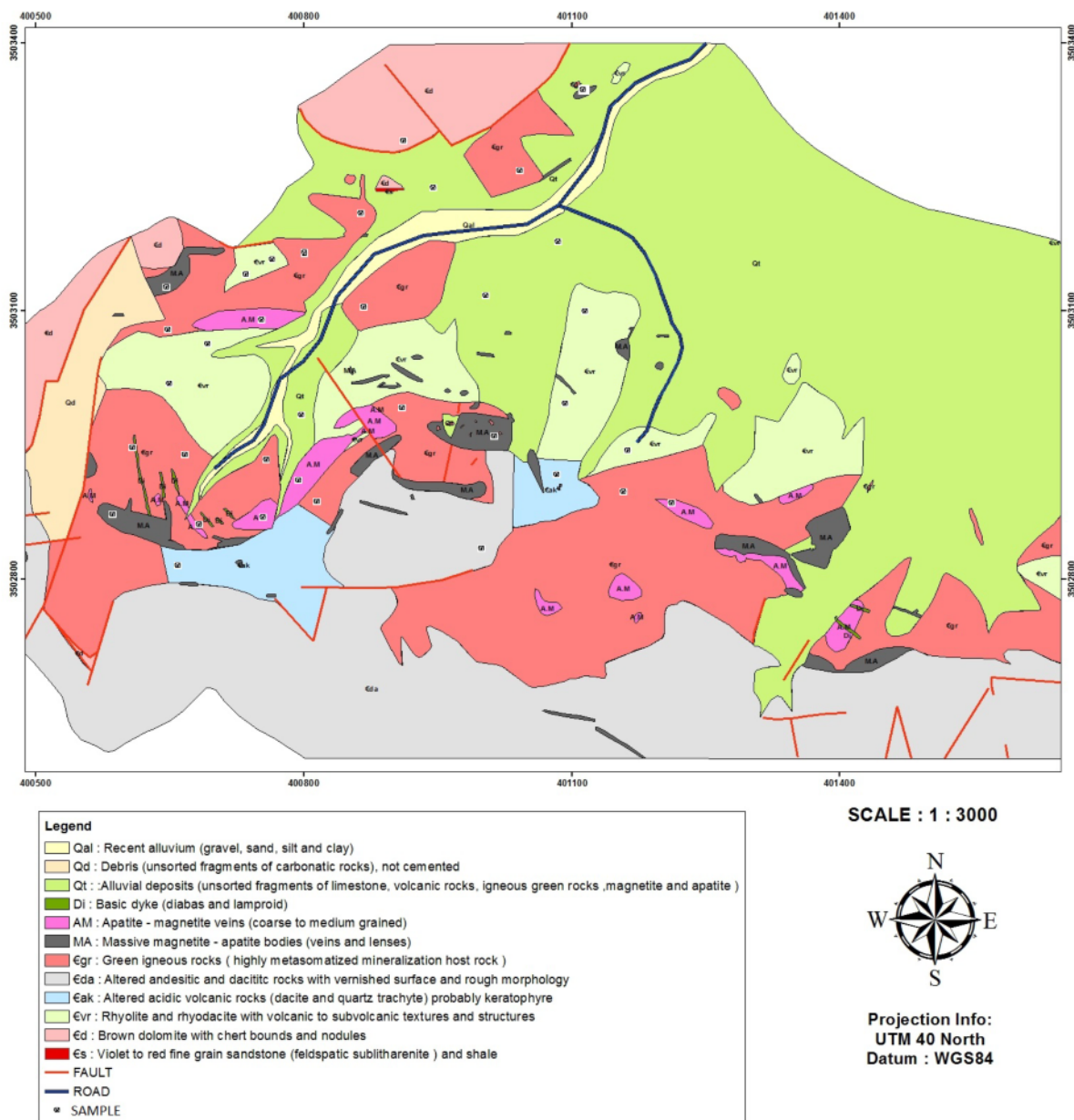
به منظور بررسی کانی‌شناسی و کانی‌نگاری، پس از جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات، بازدید صحرایی از منطقه صورت گرفت و از واحدهای مختلف سنگی (شکل ۳)، باتوجه به نقشه زمین‌شناسی (شکل ۴)، ۳۵ نمونه سطحی برداشت شد و ۹ مقطع نازک و ۲۰ مقطع صیقلی تهیه شد [۲۲]. ۹ نمونه با استفاده از طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) با دستگاه فیلیپس مدل PW1480 و ۵ نمونه به روش پلاسما جفت شده القایی (ICP) که از جمله روش‌های طیف‌سنجی اتمی است در آزمایشگاه‌های شرکت کانساران بینالود و زرآما بررسی شدند. عناصر در این روش به کمک محیط گرم پلاسما اتمی شده، سپس توسط یک طیف‌سنج نشر اتمی (AES) و یا یک طیف‌سنج جرمی (MS) آشکارسازی و کمی‌سازی می‌شوند. این روش در مقایسه با روش‌های دیگر، حساس‌تر با حد تشخیص بهتر و تکرارپذیری بالاتر است.

### بحث و بررسی

ماده معدنی در کانسار گزستان شامل مگنتیت - آپاتیت است که معمولاً با کوارتز، کلسیت و گاهی پیریت همراهی می‌شود. بلورهای پیریت پس از مگنتیت - آپاتیت همراه با کلریت و در



شکل ۳. نمایی از منطقه گزستان با واحدهای سنگ سبز (GRR)، مگنتیت (MG) و داسیت (DAC) (دید به سمت جنوب).

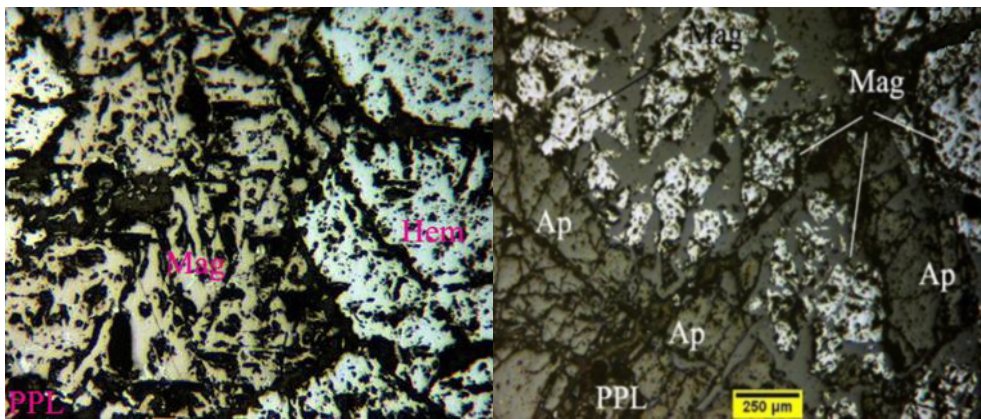


شکل ۴ نقشه زمین شناسی به مقیاس ۱:۳۰۰۰ گزستان [۲۲] به همراه موقعیت‌های نمونه برداری [۲۲].

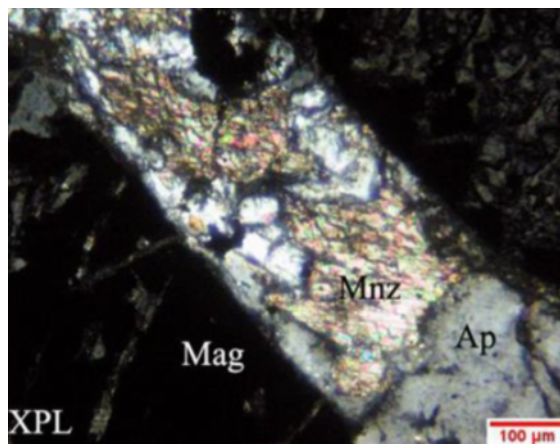
#### کانه‌زایی آهن در سنگ‌های سبز

اصلی‌ترین میزبان کانه‌زایی آهن در کانسار گزستان مجموعه سنگ‌های سبز بوده و به شکل‌های زیر قابل تفکیک هستند: مگنتیت - آپاتیت: در این نوع کانه‌زایی، کانه‌های مگنتیت و آپاتیت به شکل‌های دارینه‌ای دیده می‌شوند که این خود نشانه هم‌رشدی مگنتیت و آپاتیت است که درون سنگ سبز روی داده است (شکل ۵). بافت دارینه‌ای در کانسارهای نوع کایرونا معمول است و آنرا یکی از ویژگی‌های کانسارهای آهن ماگمایی

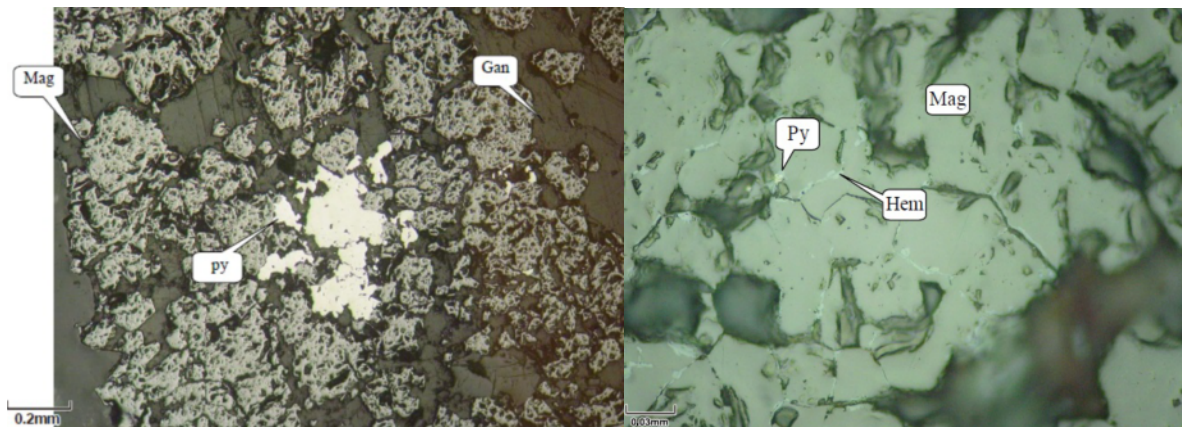
می‌دانند [۲۴]. بلورهای آپاتیت در این کانسنگ دارای میانبراه‌های موناژیتی شامل عناصر خاکی نادر هستند (شکل ۶). مگنتیت - آپاتیت پیریت‌دار: در این نوع، کانه اصلی مگنتیت است و همراه آن آپاتیت و به طور جزئی پیریت (بصورت لکه‌هایی در مگنتیت و آپاتیت) دیده می‌شود. با توجه به غالب بودن مگنتیت در منطقه و کم بودن پیریت به نظر می‌رسد که نخست مگنتیت شکل گرفته و پس از آن پیریت تشکیل شده است. از این رو، بلورهای پیریت هم داخل مگنتیت و هم در اطراف آن دیده می‌شوند (شکل ۷).



شکل ۵ کانه زایی آهن به صورت مگنتیت (Mag) و آپاتیت (Ap) به شکل دارینه‌ای.



شکل ۶ میانبار موناژیت (Mnz) در بلورهای طولی آپاتیت (Ap) در نزدیکی مگنتیت (Mag) [۲۳].

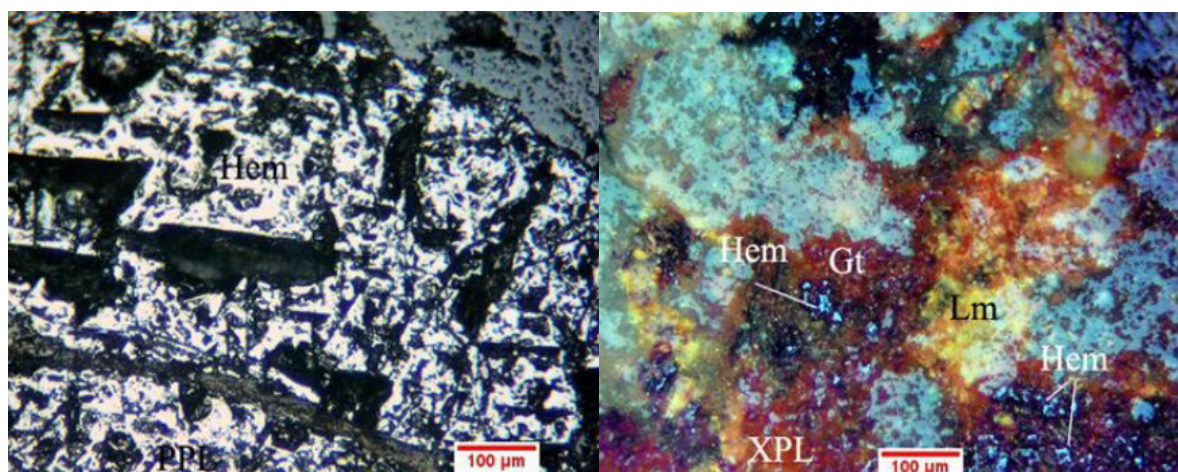


شکل ۷ بلورهای پیریت (Py) در اطراف مگنتیت (Mag) و تبدیل شدن مگنتیت به هماتیت.

هیدروکسیدهای آهن چون لیمونیت و گوتیت دگرسان شده است (شکل ۸).

مگنتیت هماتیته شده: هماتیت بصورت ثانویه فراورده تبدیل بلورهای مگنتیت به هماتیت بر اثر فرایند مارتیتی شدن است. فراوانی هماتیته‌ها احتمالاً بدلیل فعالیت‌های گرمایی یا دگرسانی صورت گرفته است.

مگنتیت سیلیس‌دار و کربنات‌دار: سیلیس و کربنات در همراهی با مگنتیت و آپاتیت وجود دارند. کانی کوارتز به شکل بلورهای ریز سوزنی شکل با کانی آپاتیت همراه بوده و گاهی جانشین آن شده است که نشانگر اولیه بودن و نیز جانشینی در مراحل دگرسانی است. هماتیت: در این نوع کانه، هماتیت بصورت اولیه بوده و به

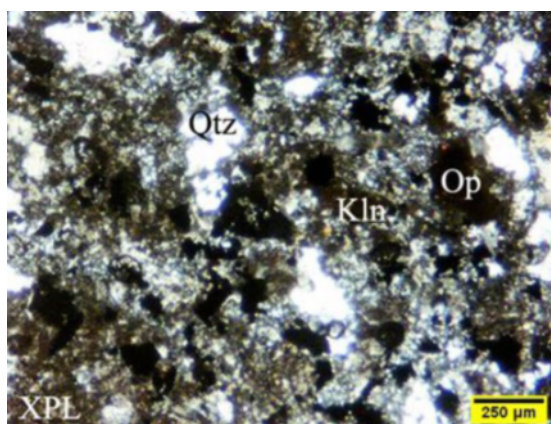


شکل ۸ کانسنگ هماتیته (Hem) که به لیمونیت (Lm) و گوتیت (Gt) دگرساز شده است.

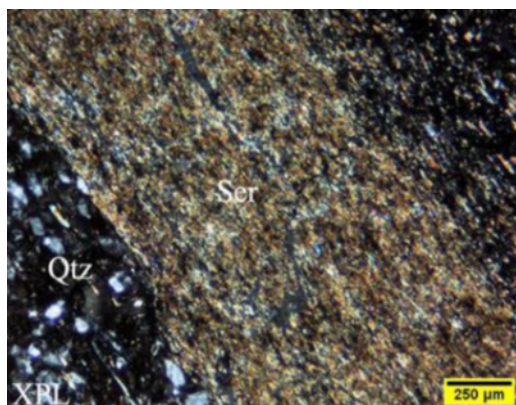
#### دگرسازی در منطقه گزستان

در اغلب کانسارهای مگنتیت - آپاتیت منطقه بافق، دگرسازی شدید سنگ دیواره دیده می‌شود. شدت این دگرسازی در بعضی از مناطق به حدی است که ترکیب سنگ‌شناسی اولیه به طور کامل محو شده است. بر اساس بررسی‌های سطحی انجام شده،

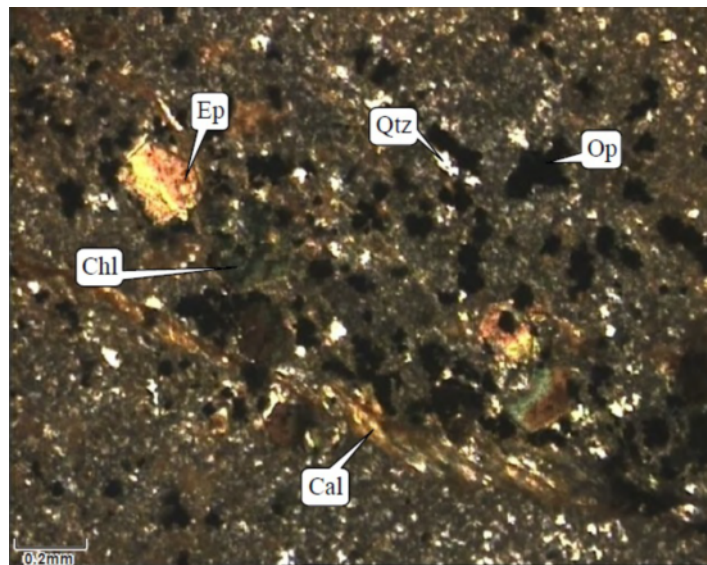
بیشترین دگرسازی‌های موجود در منطقه بر شکستگی‌ها و گسل‌های محلی و از نوع سیلیسی، کلریتی، آرزیلی و سرسیتی است که در ارتباط با کانه‌زایی بوده و در افق‌های آهن‌دار قابل مشاهده است (شکل‌های ۹ تا ۱۱).



شکل ۹ دگرسازی آرزیلی و تشکیل کانی رسی (Kln).



شکل ۱۰ دگرسازی سرسیتی و تشکیل کانی سرسیت (Ser).



شکل ۱۱ دگرسانی کلریتی و تشکیل کانی کلریت (Chl) به همراه کوارتز (Qtz)، اپیدوت (Ep) و کلسیت (Cal)

### سنگ‌شناسی

بازی هستند. وجود کانی‌های سبز رنگ اکتینولیت، کلریت و اپیدوت به این سنگ‌ها ظاهری سبز رنگ داده است. این سنگ‌ها ارتباط بسیار نزدیکی با پهنه‌های کانه‌زایی دارند و در اغلب موارد با کانه‌زایی مگنتیت و آپاتیت همراه هستند. سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانسار گزستان شامل ریولیت، داسیت تا بازالت است. نمونه سنگ بازی تجزیه شده مربوط به دایک‌های بازی منطقه است. درصد وزنی اکسیدهای عناصر اصلی به همراه توصیف سنگ‌شناسی سنگ‌های میزبان کانسار گزستان در جدول ۱ آمده است [۲۵].

به طور کلی سنگ‌های مورد بررسی در منطقه را می‌توان در ۵ گروه رده بندی کرد: ۱- سنگ‌های آتشفشانی که دارای ترکیب ریولیت، داسیت - ریوداسیت به همراه توف‌های اسیدی دگرسان شده و دارای رگه‌های مگنتیت - هماتیت هستند، ۲- سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی شامل ماسه‌سنگ توفی، توف‌های اسیدی تا حد واسط با کانه‌زایی آهن، ۳- سنگ‌های رسوبی شامل آهک، ماسه‌سنگ و دولومیت آهن‌دار (آنکریت) با میان لایه‌های چرت، ۴- دایک‌ها با ترکیب دیاباز، و ۵- سنگ‌های دگرسان شده که دارای ترکیب متنوع از اسیدی تا

جدول ۱ درصد وزنی اکسیدهای عناصر اصلی در سنگ‌های سطحی میزبان کانسار گزستان.

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
سنگ شناسی	ریولیت	ریولیت	ریولیت	داسیت	بازالت	توف	مگنتیت	ریولیت	مگنتیت
SiO <sub>2</sub>	۷۲٫۱۱	۷۰٫۴۲	۷۲٫۲۶	۶۸٫۵۲	۴۰٫۲۸	۷۶٫۶۱	۱٫۵۳	۷۱٫۴۱	۹٫۹۱
TiO <sub>2</sub>	۰٫۲۵۸	۰٫۲۰۳	۰٫۲۳۱	۰٫۸۲۲	۰٫۳۹۷	۰٫۱۶	۰٫۷۳	۰٫۲۸	۰٫۶۱
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۲٫۳۶	۱۰٫۸۶	۱۱٫۸۱	۱۵٫۱۲	۱۳٫۲۴	۱۱٫۴	۰٫۲۹	۱۲٫۶۱	۰٫۴۵
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۵٫۶۱	۹٫۰۷۱	۲٫۳۹	۵٫۷۱	۲۲٫۸۵	۱٫۶۶	۹۲٫۷۹	۳٫۶۵	۸۵٫۹۳
MgO	۰٫۹۸	۰٫۳۱	۰٫۴۲	۰٫۰۲	۹٫۴۵	۰٫۴۷	۰٫۲۴	۰٫۷۷	۰٫۳۷
MnO	۰٫۱۱۵	۰٫۰۴۲	۰٫۰۴۲	۰٫۰۰۹	۰٫۶۲	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۰۵
CaO	۰٫۳۶	۰٫۹۱	۲٫۱۵	۰٫۳۱	۱٫۶۱	۰٫۶۱	۳٫۷	۰٫۳۴	۲٫۳۷
Na <sub>2</sub> O	۳٫۲۶	۲٫۴۹	۲٫۹۲	۰٫۰۶	۰٫۱۱	۰٫۳	۰٫۱۴	۰٫۲۹	۰٫۲۵
K <sub>2</sub> O	۳٫۰۱	۴٫۲۷	۴٫۳۱	۵٫۳۹	۵٫۶۲	۶٫۴۴	۰٫۰۱	۸٫۶۸	۰٫۰۲
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰٫۱۷۸	۰٫۰۴۹	۰٫۰۲۳	۰٫۱۹۶	۰٫۱۲۸	۰٫۴۳	۰٫۳۲	۰٫۲۱	۰٫۰۴
S	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۲	۰٫۳۹۶	۰٫۰۱۲	۱٫۱۲۴	۰٫۰۱۶	۰٫۰۴۴	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۶
L. O. I	۱٫۶	۱٫۸۵	۲٫۹۱	۳٫۷	۵٫۱۳	۱٫۸۱	۰٫۱۵	۱٫۵۱	۰٫۰۶

### درجه اشباع از آلومین

بر اساس شاخص اشباع آلومینیوم [۲۶] بیشتر نمونه‌های سنگ‌های آذرین اسیدی منطقه در گستره پرآلومین و متا آلومین قرار دارند (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).

### نمودارهای تغییرات عناصر اصلی

یکی از بهترین نمودارها برای نمایش تغییرات مقدار عناصر نسبت به سیلیس در سنگ‌شناسی سنگ‌های آذرین، نمودارهای هارکر هستند که تغییرات درصد وزنی اکسیدهای عناصر نسبت به تغییرات درصد وزنی سیلیس را نشان می‌دهند [۲۷]. روندهای پیوسته تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی را می‌توان بعنوان الگویی بر روند تحولی شیمیایی ماگما در نظر گرفت و روند پراکنده شدن اکسیدها نسبت به سیلیس ممکن است ناشی از وجود بیش از یک نوع ماگما، روش نمونه‌برداری و تجزیه همراه با خطا، عدم تأثیرپذیری نسبی یک اکسید نسبت به تغییرات سیلیس، دگرسان بودن نمونه و تغییرات حجمی در اثر از بین رفتن یا تغییر فراوانی یک جزء از سنگ باشد [۲۸]. روند تغییرات اکسید عناصر اصلی نسبت به سیلیس در نمونه‌های سطحی در شکل ۱۴ نشان داده شده است. این نمودارها بیانگر افزایش اکسیدهای آلومینیوم و پتاسیم است که می‌تواند ناشی از رخداد دگرسانی پتاسیمی در منطقه باشد. وجود روند نزولی در نمودارهای تغییرات اکسید عناصر آهن و

تیتانیوم ناشی از این است که این عناصر نسبت به فازهایی که در مراحل اولیه جدایش متبلور می‌شوند بشدت سازگار هستند و در نتیجه با ادامه روند جدایش، مقدار کل آنها در مذاب باقیمانده بشدت کاهش می‌یابد و همچنین نشان می‌دهد که عناصر نامبرده از نظر زمین‌شیمیایی تمایل به حضور در فاز جامد داشته‌اند [۲۳].

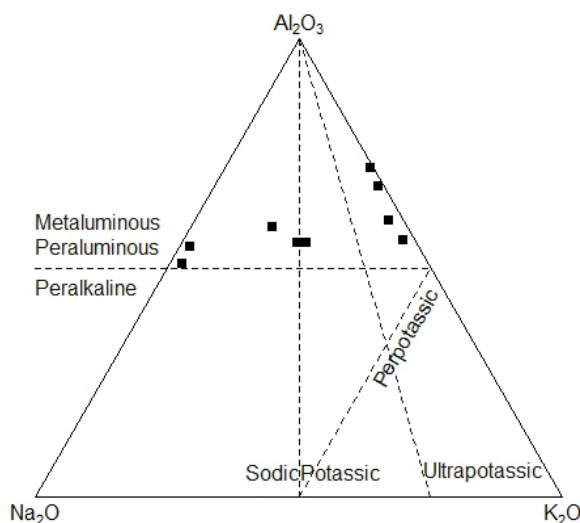
از نظر زمین‌شیمیایی تیتان و فسفر عناصری هستند که در مراحل اولیه جدایش از مذاب سیلیکاته جدا شده و به فاز جامد می‌پیوندند و می‌توان انتظار داشت که با پیشرفت دگرگونی ماگمایی، مقدار کل آنها کاهش یابد. همچنین روند کاهش آهن، فسفر و کلسیم نشان دهنده جدایش فازهای غنی از اکسید آهن به همراه آپاتیت است.

### عناصر خاکی نادر

عناصر خاکی نادر بر اساس عدد اتمی به دو دسته عناصر خاکی نادر سبک (LREE) با عدد اتمی ۵۷ تا ۶۳ تقسیم می‌شوند و عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) با عدد اتمی ۶۴ تا ۷۱ [۲۹، ۳۰].

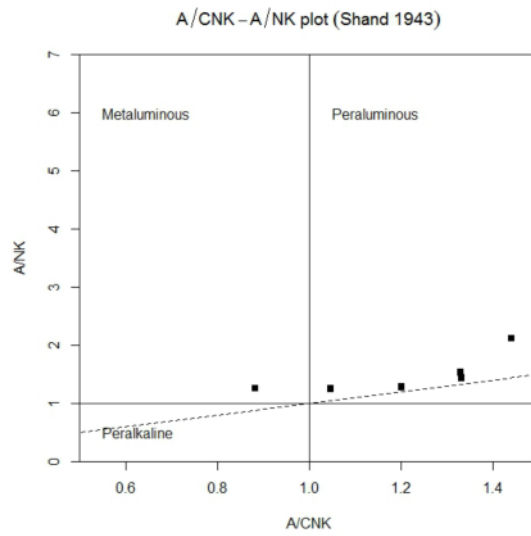
جهت بررسی تغییرات عناصر کمیاب معمولاً فراوانی آنها در سنگ با مقادیر مشابه آنها در کندریت‌ها به عنوان ماده اولیه منظومه شمسی بهنجارش می‌شود [۳۱].

Molar  $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}$  plot

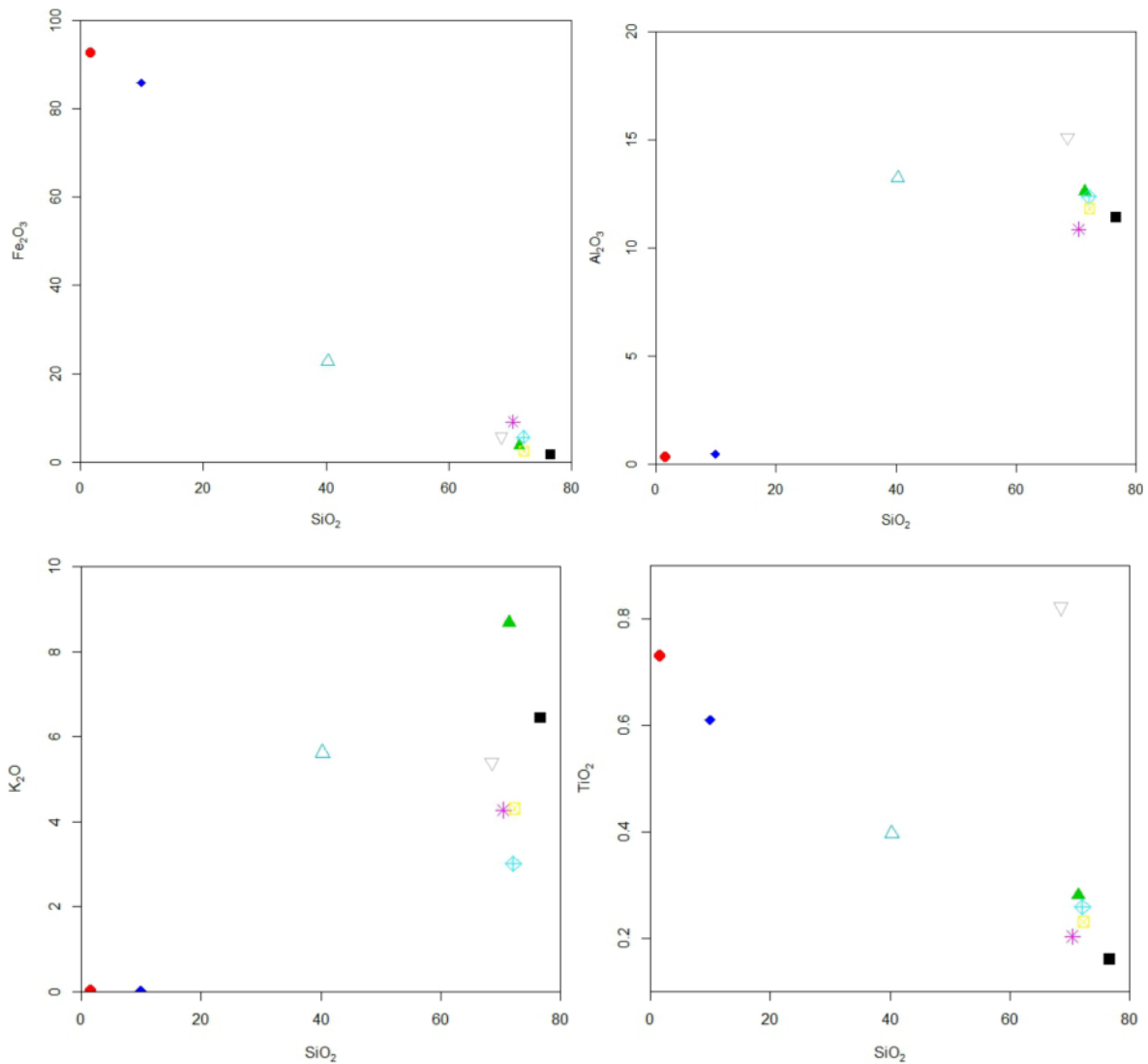


شکل ۱۲ نمودار  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{K}_2\text{O}$  برای تعیین درجه اشباع از آلومین [۲۶].





شکل ۱۳ نمودار A/NK نسبت به A/CNK برای تعیین درجه اشباع از آلومین [۲۶].



شکل ۱۴ تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی نسبت به سیلیس (نمودار هاگر).

بیانگر کانی‌سازی عناصر خاکی نادر در ارتباط با توده‌های اکسید آهن-آپاتیت باشد. هم کانسنگ آپاتیتی و هم بلورهای آپاتیت از عناصر خاکی نادر غنی شده‌اند. کانی مونازیت که در برگیرنده عناصر خاکی نادر است به صورت میانبارهای ریز در آپاتیت‌ها تشکیل شده است [۳۶-۳۲].

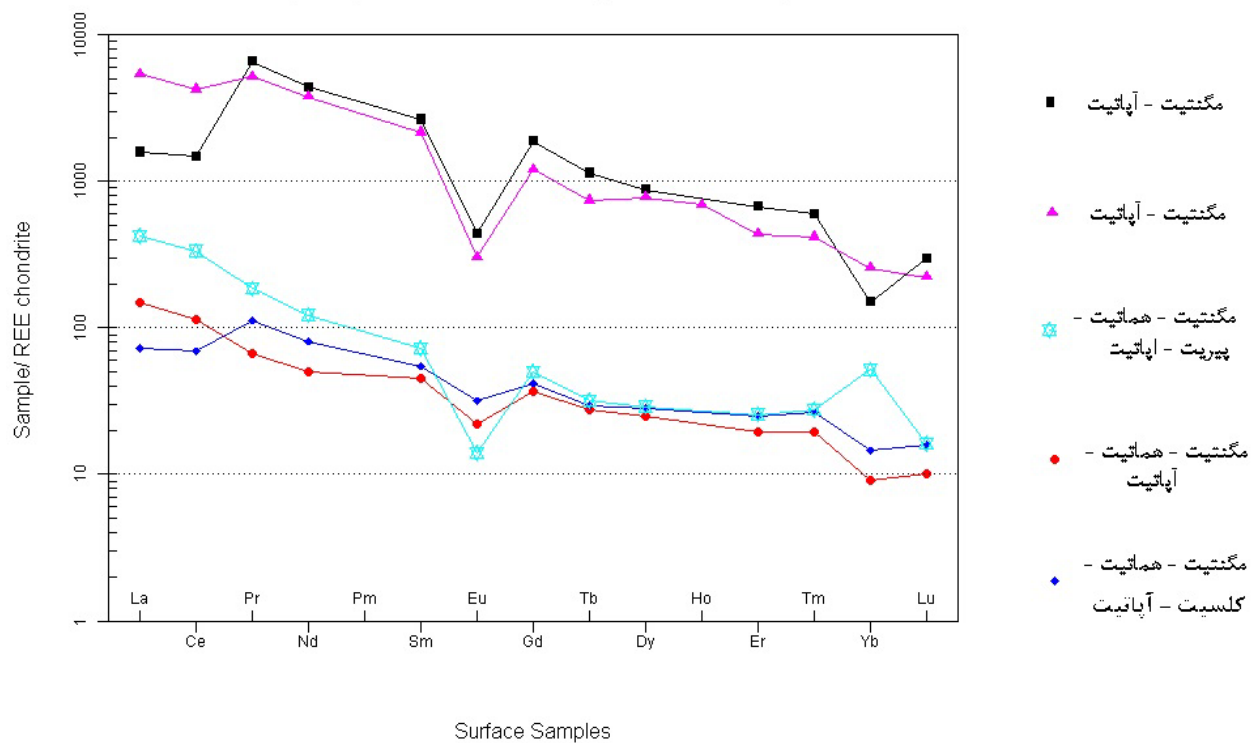
مقدار عناصر خاکی نادر در کایرونا سوئد با متوسط عناصر خاکی نادر موجود در نمونه‌های برآمده از مغزه‌های حفاری در منطقه گزستان در جدول ۳ ارائه شده است (شکل ۱۸).

نتایج بررسی عناصر خاکی نادر در نمونه‌های سطحی منطقه گزستان در جدول ۲ و نمودارهای عنکبوتی در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ آمده است. چنان که دیده می‌شود، بیشترین مقدار عناصر خاکی نادر در مگنتیت‌های آپاتیت‌دار و سنگ سبز وجود دارد. بیشترین مقدار مجموع عناصر خاکی در نمونه‌های سطحی ۰/۹ و کمترین مقدار ۰/۰۲۵ درصد است. میزان همبستگی فسفر و مجموع عناصر خاکی نادر در نمونه‌های سطحی در شکل ۱۷ آمده است. این همبستگی می‌تواند

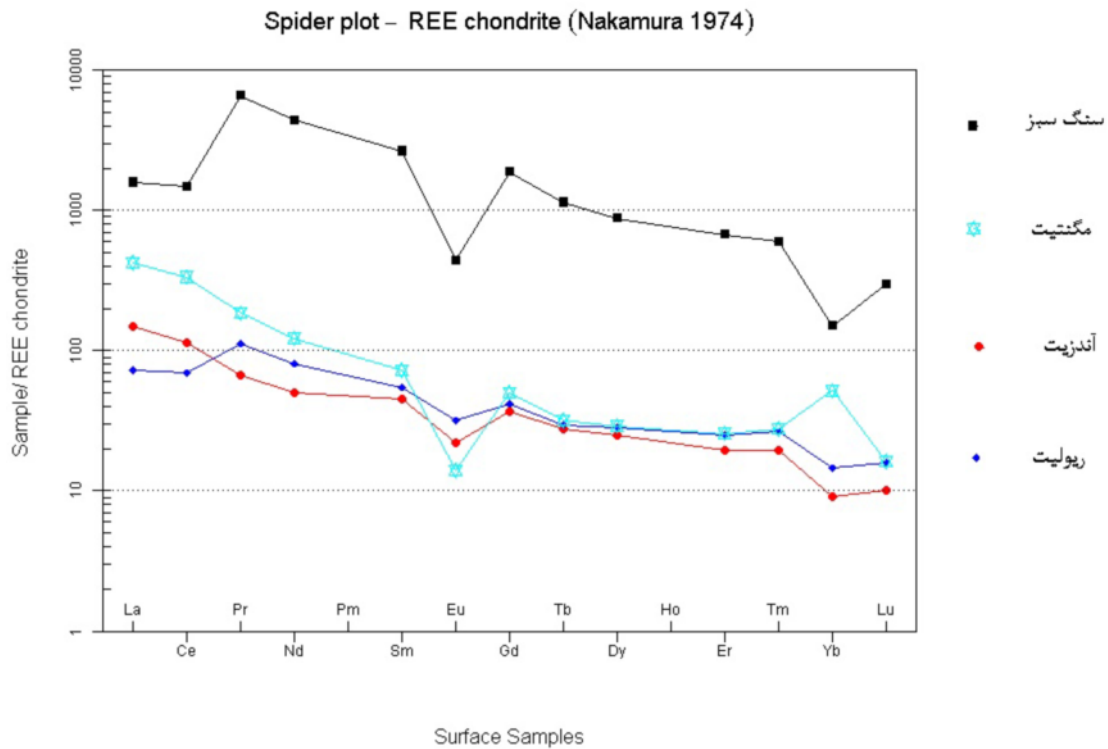
جدول ۲ نتایج بررسی عناصر خاکی نادر (ppm) در منطقه گزستان با کانی‌های دیده شده در مقاطع نازک در نمونه‌های سطحی.

کانی	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Er	Tm	Yb	Lu
مگنتیت آپاتیت	۵۲۲	۱۲۸۰	۷۳۷,۲۵	۲۷۶۴	۵۳۶,۵۳	۳۳,۸۴	۵۱۷,۶۱	۵۳,۵۱	۳۰۰,۶۴	۱۵۱,۴۹	۱۸	۳۲,۹	۱۰,۰۸
مگنتیت هماتیت آپاتیت	۴۹	۹۹	۷,۵۶	۳۱,۴	۹,۱۸	۱,۶۹	۱۰,۲۴	۱,۲۹	۸,۵۹	۴,۴۳	۰,۵۸	۲	۰,۳۴
مگنتیت هماتیت آپاتیت کلسیت	۲۴	۶۰	۱۲,۵۵	۵۰,۸	۱۱,۱۱	۲,۴۴	۱۱,۵۵	۱,۳۹	۹,۶۶	۵,۶۲	۰,۷۹	۳,۲	۰,۵۴
مگنتیت هماتیت آپاتیت پیریت	۱۴۰	۲۸۹	۲۰,۸	۷۷,۱	۱۴,۷۶	۱,۰۸	۱۳,۸۸	۱,۵	۹,۹۵	۵,۷۷	۰,۸۳	۱۱,۴	۰,۵۵
مگنتیت آپاتیت	۱۷۸۰	۳۶۷۰	۵۷۹	۲۳۸۰	۴۳۸	۲۳,۴	۳۳۲	۳۴,۸	۲۶۶	۹۸,۳	۱۲,۵	۵۶,۳	۷,۵۵

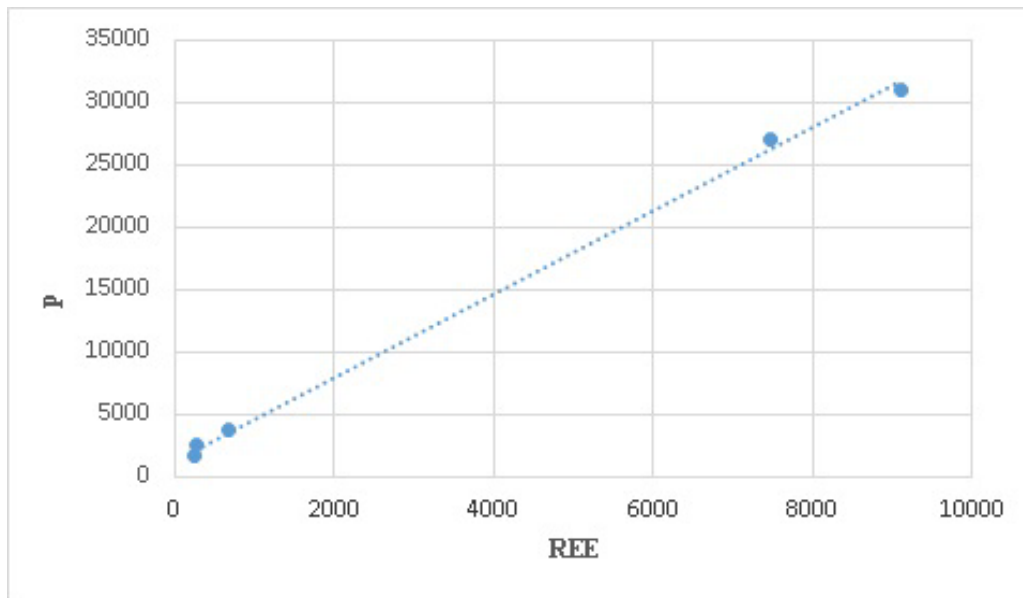
Spider plot – REE chondrite (Nakamura 1974)



شکل ۱۵ نمودار عنکبوتی عناصر خاکی نادر بر اساس نوع کانی‌سازی و بهنجارش با کندریت.



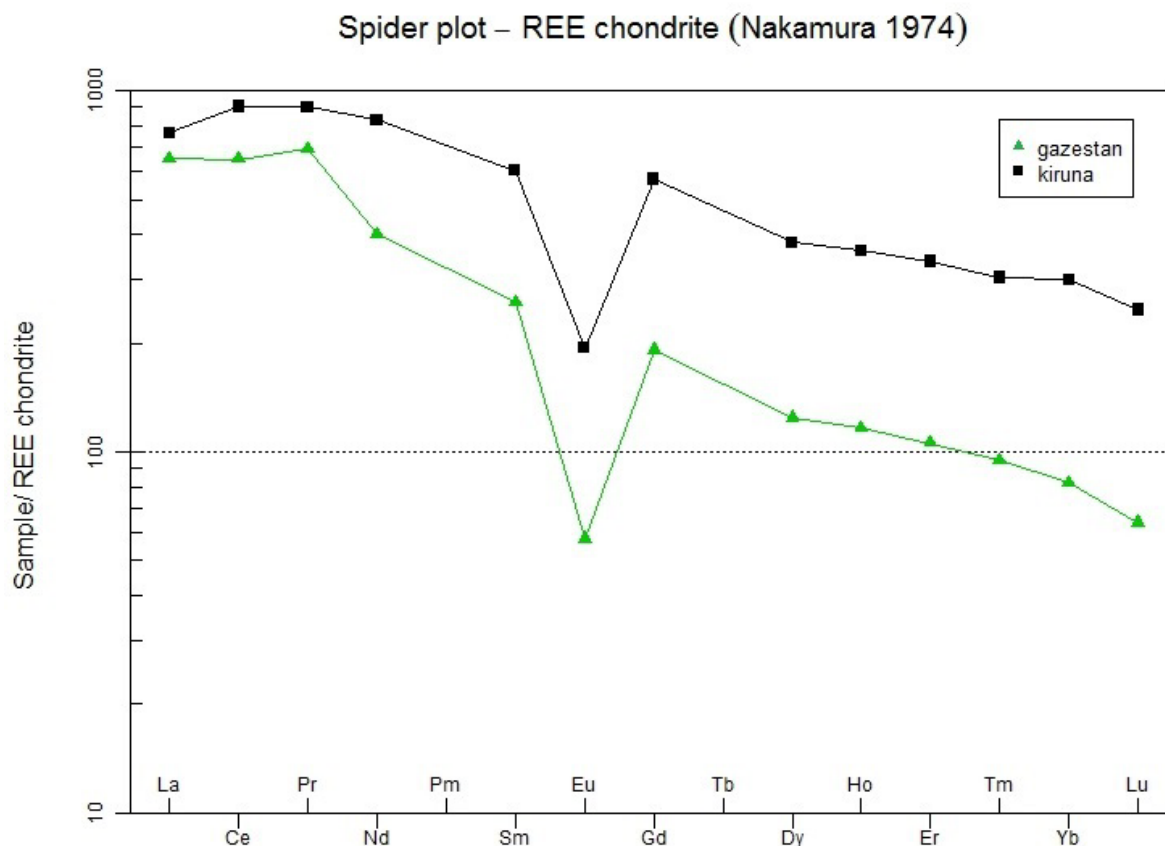
شکل ۱۶ نمودار عنکبوتی عناصر خاکی نادر بر اساس نوع سنگ و بهنجارش با کندریت.



شکل ۱۷ همبستگی بین فسفر و عناصر خاکی نادر در نمونه های سطحی در کانسار گزستان.

جدول ۳ مقدار میانگین عناصر خاکی نادر (ppm) در آپاتیت مگنتیت‌های کانسار گزستان و کایرونا سوئد [۳۷].

نمونه	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
کایرونا	۲۵۲	۷۸۲	۱۰۱	۵۲۴	۱۲۲	۱۴۹	۱۵۷	۱۳۰	۲۵۲	۷۵٫۸	۹٫۱۱	۶۵٫۸	۸٫۴۱
گزستان	۲۱۳٫۹۷	۵۵۸٫۸۴	۷۷٫۲	۲۵۲٫۳	۵۲٫۵۸	۴٫۴۱	۵۲٫۶۹	۴۲٫۵۲	۸٫۱۴	۲۳٫۷۷	۲٫۸۲	۱۸۰٫۴	۲٫۱۶



شکل ۱۸ مقایسه الگوی پراکندگی عناصر خاکی نادر در آپاتیت مگنتیت‌های کانسار گزستان و کایرونا سوئد [۳۷].

#### برداشت

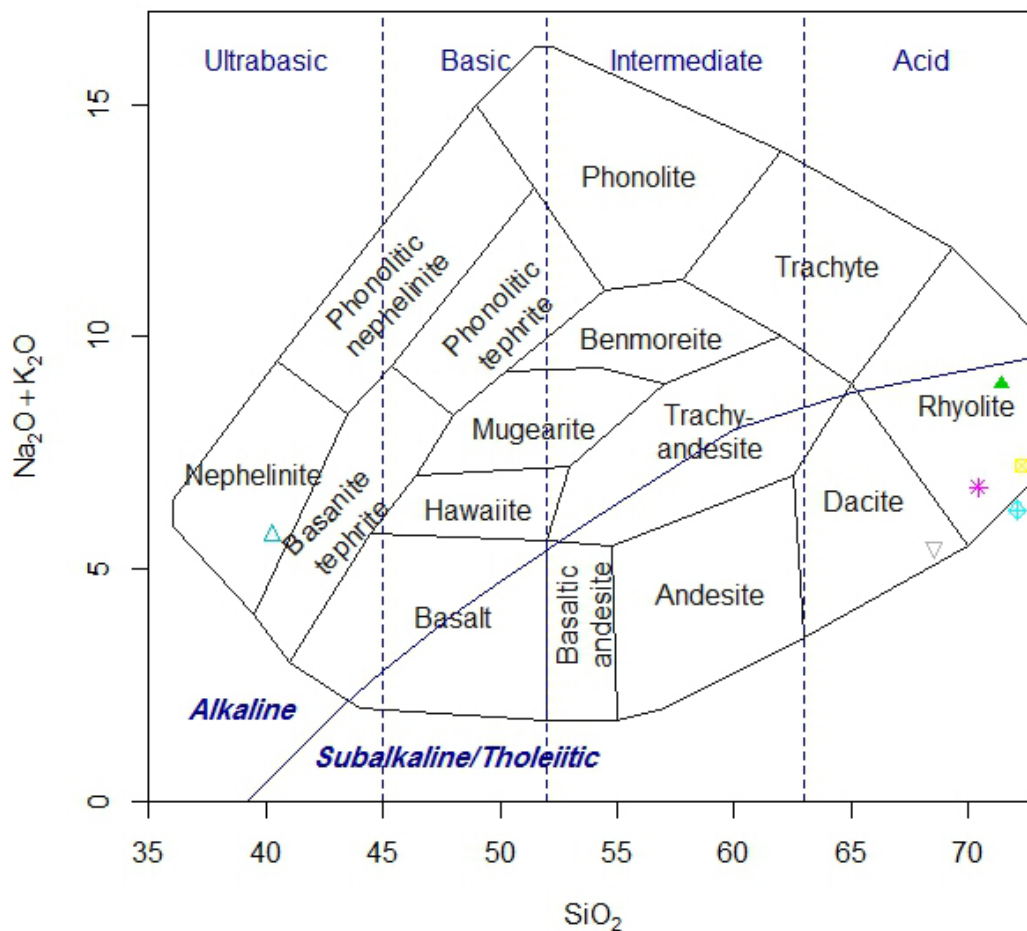
کانه‌زایی آهن به طور غالب در مجموعه سنگ سبز بوده و به شکل‌های کانسنگ مگنتیت -آپاتیت، کانسنگ مگنتیتی پیریت‌دار، کانسنگ مگنتیتی سیلیس‌دار، کانسنگ هماتیتی و کانسنگ مگنتیت هماتیتی شده قابل تفکیک است. در این کانسار، مگنتیت به صورت توده‌ای و پراکنده دیده می‌شود. هماتیت به صورت اولیه و نیز در نتیجه فرآیند مارتیتی شدن و بر اثر تبدیل مگنتیت به هماتیت وجود دارد. همچنین هیدروکسیدهای آهن مانند لیمونیت و گوتیت در نتیجه دگرسانی مگنتیت و هماتیت در این کانسار دیده می‌شود و پیریت کانی سولفیدی همراه با مگنتیت است و سایر کانی‌های غیر فلزی که اکسیدهای آهن را همراهی می‌کنند شامل آپاتیت، کلسیت و آمفیبول‌های ترمولیت-اکتینولیتی هستند. مگنتیت-آپاتیت به شکل رگه-رگچه و عدسی‌های

مگنتیت به همراه آپاتیت در مجموعه آواری- کربناتی- آتشفشانی سری ریزو به سن اینفراکامبرین جایگزین شده است. سنگ میزبان غالب این کانسار مجموعه سنگ‌های سبز هستند که به علت دگرسانی، سبز رنگ بوده و به طور عمده شامل کانی‌های ترمولیت- اکتینولیت، و در لبه، دگرسانی کلریت همراه با افق‌های آهن (مگنتیت، هماتیت و مارتیت) است.

نتایج بررسی‌های کانی‌شناسی انجام شده در کانسار گزستان بیانگر این است که سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانسار گزستان شامل ریولیت تا بازالت است. نمونه‌ها در گستره نیمه قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۱۹).

روند کاهشی آهن، فسفر و تیتانیوم نشان‌دهنده جدایش فازهای غنی از اکسید آهن به همراه آپاتیت است.

## TAS (Cox et al. 1979)



شکل ۱۹ رده بندی سنگ‌های سطحی میزبان آهن و آپاتیت.

است و در هردو غنی‌شدگی LREE/HREE و ناهنجاری منفی Eu دیده می‌شود [۴۴-۴۷].

#### مراجع

- [1] Stosch H.G., Romer R.L., Daliran F., Rhede D., "Uranium – Lead Ages of Apatite from Iron Oxide Ores of the Bafq District , East-Central Iran", Miner Deposit. Springer 46(2011) 9-21.
- [2] Forster H., Jafarzadeh A., "The Bafq Mining District in Central Iran a Highly Mineralized Infracambrian Volcanic Field", Economic Geology 89 (1994) 1697-1721.
- [3] Samani B.A., "Metallogeny of the Precambrian in Iran", Precambrian Research 39 (1988) 85-106.

بررسی الگوی توزیع عناصر خاکی نادر بیانگر این است که پراکندگی عناصر خاکی نادر در نمونه‌های آپاتیت‌دار و مگنتیت مشابه هستند که نشانه تشابه زایشی مگنتیت و آپاتیت بوده و کانسار از نوع آهن، آپاتیت مگنتیت است. همچنین غنی‌شدگی در LREE وجود دارد. تهی‌شدگی Eu نشان می‌دهد که ماگمای مادر دچار تبلور فلدسپات و جدایش آن شده است. همچنین آپاتیت‌ها از نوع فلوتور آپاتیت هستند [۳۸-۴۳]. به عقیده برخی از پژوهشگران، الگوی عناصر خاکی نادر آپاتیت‌ها مشابه با الگوی عناصر خاکی نادر آپاتیت‌های کانسار آهن نوع کایرونا بوده و فقط مقدار عناصر خاکی نادر در آنها متفاوت

Alkaline web. ru (2009).

- [13] Sabet-Mobarhan-Talab A., Alinia F., "Geology, Geochemistry, and some Genetic discussion of the Chador-Malu Iron Oxide-Apatite Deposit, Bafgh District, Central Iran", Journal of Arabian Geosciences (2015).
- [15] Orris G.J., Dunlap P., Wallis J.C., "Phosphat Occurrence and Potential in the Region of Afghanistan, including parts of China, Iran, Pakestan, Tajikestan, Turkimenstan, and Uzbekistan", U.S.Geological Survey (2015).
- [15] Torab F.M., Thesis PhD., "Geochemistry and Metallogeny of Magnetite- Apatite Deposits of the Bafq Mining District, Central Iran", Clausthal University of Technology (2008).
- [16] Sepehrirad R., Jamali M., Dorri M.B., "Gazestan ore deposit exploration", Geological survey of Iran (2008) (in persian).
- [17] Hafezian G., Jamali H., Bagheri H., "Geochemical studies of Magnetite-Apatite of Bafgh Gazestan", 1th Iranian Applied Geology Conference, Damghan University (2013) (in persian).
- [18] Hafezian G., Jamali H., "Geochemistry Origin of Magnetite- Apatite Deposits of the Gazestan, East Bafq", Petrology, Vol. 6, No. 24 (2014) 39-64 (in persian).
- [19] Afzali S., Nezafati N., Ghaderi M., Ghllamghash J., Ghassemi M., Karimi Bavandpur A., "Petrogenesis and Mineralization at Gazestan Iron Oxide -Apatite Deposit, East of Bafq, Central Iran", Scientific Quarterly Journal, Geosciences, Vol. 24, No. 93, (2014) 77-84 (in persian).
- [20] Mokhtari A., Hossen Zadeh GH., Emami M.H., "Genesis of Iron-Apatite Ores in Posht-e-Badam Block (Central Iran) using REE Geochemistry", Journal Earth Syst. Science 122 (2013) 795-807.
- [21] Oyarzun R., Oyarzún J., Ménard J.J., Lillo J., "The Cretaceous Iron belt of northern Chile: Role of Oceanic Plates, a superplume event, and a major shear zone", Mineralium Deposit 38 (2003) 640-646.
- [22] Yousefi M., "Basic and Detailed Exploration of Iron Ore Aanomalies of the Central Plateau of

- [4] Hooshmandzadeh A., "An Introduction to the Geology of the Biabanak – Bafgh area", Ministry of Mines and Metals (1988) (in persian).
- [5] Harlov D.E., Andersson U.B., Fo'rster H.J., Nystro J.O., "Apatite – Monazite Relations in the Kiirunavaara Magnetite – Apatite Ore, Northern Sweden", Chemical Geology 191 (2002) 47-72.
- [6] Kurmies I., "The Magnetite-Apatite Ore of the Kiruna District Northern Sweden", Institute of Geology, University of Mining and Technology Freiberg (2002)
- [7] Williams P.J., Barton M.D., Johnson D.A., Fontbote L., Haller A., Mark G., Oliver N.H.S., Marschik R., "Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Geology, Space-Time Distribution, and Possible Modes of Origin", Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology 100th Anniversary (2005) 371-405.
- [8] Nold J.L., Dudley M.A., Davidson P., "The Southeast Missouri (USA) Proterozoic Iron Metallogenic Province-Types of Deposits and Genetic Relationships to Magnetite-Apatite and Iron Oxide-Copper-Gold Deposits", Ore Geology Reviews 57 (2014) 154-171.
- [9] Pålsson B.I., Martinsson O., Wanhainen C., Fredriksson A., "Unlocking Rare Earth Elements From European Apatite- Iron Ores", 1st European Rare Earth Resources Conference (2014) 211-220.
- [10] Andersson U.B., Zack T., Aupers K., Blomgren H., Hogmalm J., Schulz B., Krause J., "Ages of Hydrothermal Overprints in the Kiruna Iron oxideapatite Ores as recorded in Secondary Monazite and Xenotime", Conference: International Geological Congress, At Cape Town (2016).
- [11] Mucke A., Younessi R., "Magnetite-Apatite Deposits Kiruna-type along the Sanandaj-Sirjan zone and in the Bafq area, Iran, associated with Ultramafic and Calcalkaline Rocks and Carbonatites", Mineralogy and Petrology 50 (1994) 219-244.
- [12] Nazary M., khajo M., "Mineralogy and Geochemistry of REE Minerals in Esfordi Alkali-Magmatic Phosphate Mine, Bafgh, Central Iran",

- Brecciated Se-Chahun Iron Oxide-Apatite deposit, Bafq District, Iran, Insights from Paragenesis and Geochemistry*", Chemical Geology 281(2011)253-269.
- [34] Moghaddasi S.J., "Geochemistry and Petrology of Iron Ore Deposit, Relying on the Rare Earth Elements Geochemistry, A Case Study; Chadormalu Mining, Bafq, Yazd Province, Iran", Geodynamics Research International Bulletin 3 (2015) 9-21.
- [35] Zaremotlagh S., Hezarkhani A., "The Use of Decision Tree Induction and Artificial Neural Networks for Recognizing the Geochemical Distribution Patterns of LREE in the Choghart deposit, Central Iran", Journal of African Earth Sciences Investigation and Statistical Analysis on Rare Earth Elements in Lakehsiyah deposit, Bafq (2016).
- [36] Rahimi E., Maghsoudi A., Hezarkhani A., "Geochemical District", Journal of African Earth Sciences 124 (2016) 139-150.
- [37] Frietsch R., Perdahl J., "Rare Earth Elements in Apatite and Magnetite in Kiruna-type Iron Ores and some other Iron Ore types", Ore Geology Reviews 9(1995) 489-510.
- [38] Valizadeh M., Sharifi A., "Priliminary Report on REEs in Apatite from Esfordi Iron-Apatite Ore Deposit", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, Vol.6, No.2 (1998) 73-84 (in persian).
- [39] Mishra P.P., Mohapatra B.K., Singh P.P., "Contrasting REE Signatures on Manganese Ores of Iron ore Group in North Orissa, India", Journal of Rare Earths 25(2007) 749-758.
- [40] Kolonin G.R., Shironosova G.P., "REE Distribution between Fluorite and Ore-Forming Fluid Based on Results of Thermodynamic Modeling", 414 (2007) 661-665.
- [41] Kolonin G.R., Shironosova G.P., "Influence of Acidity- Alkalinity of Solutions on REE Distribution during Ore Formation: Thermodynamic Modeling", 443 (2012) 613-616.
- [42] Cao J., Wu M., Chen Y., Hu K., Bian L., Wang L., Zhang Y., "Trace and Rare Earth Element Geochemistry of Jurassic Mudstones in Iran, Gazestan Aanomaly", Iranian Mines and Mining Industries Development and Renovation Organization (IMIDRO) (2014) (in Persian).
- [23] Eslamizadeh A., "Litho-geochemistry of Iron-Titanium- Vanadium-Phosphorus Mineralization within the Sheytur Deposit in East of Central Iran", Geochemistry Journal 3(2016) 16-25.
- [24] Nystrom J.O., Henriquez F., "Magmatic Features of Iron Ores of the Kiruna Type in Chile and Sweden: Ore Textures and Magnetite Geochemistry", Economic Geology. 89 (1994) 820-839.
- [25] Eslamizadeh A., Samanirad Sh., "Petrography and Geochemistry of the REE-bearing Fe-Oxide-Apatite Assemblages from the Sheytour Deposit East Central Iran", 3<sup>rd</sup> International Conference on Research in Engineering, Science and Technology, Batumi, Georgia (2016).
- [26] Shand S.J., "Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification and Their Relation to Ore deposits", Thomas Murby & Co., London (1943).
- [27] Harker A., "The Natural History of Igneous Rocks", Methuen & Co., London (1909).
- [28] Rollinson H.R., "Using Geochemical Data: Evaluation, Peresentation, Interperatition", Long man Group UK Limited (1993).
- [29] Seredin V.V., Dai S., "Coal deposits as Potential Alternative Sources for Lanthanides and Yttrium", International Journal of Coal Geology 94 (2012) 67-93.
- [30] CUI Y., LIU J., REN X., SHI X., "Geochemistry of Rare Earth Elements in Cobalt-rich Crusts from the Mid-Pacific M seamount", Journal of Rare Earths 27(2009) 169.
- [31] Henderson P., "Rare Earth Element Geochemistry", (1984).
- [32] Jami M., Thesis PhD., "Geology, Geochemistry and Evolution of the Esfordi Phosphate - Iron Deposit, Bafq Area, Central Iran", The University of New South Wales (2005).
- [33] Bonyadi Z., Davidson G.J., Mehrabi B., Meffre S., Ghazban F., "Significance of Apatite REE Depletion and Monazite Inclusions in the

- [45] Rajabzadeh M.A., Hoseini K., Moosavinasab Z., "Minerological and Geochemical studies on Apatites and Phosphate Host Rocks of Esfordi deposit, Yazd Province, to Determine the Origin and Geological setting of the Apatite", Journal of Economic Geology 6 (2015).
- [46] Schock H.H., "Distribution of Rare Earth and other Trace Elements in Magnetites", Chemical Geology 26 (1979) 119-133.
- [47] Wilson M., "Igneous Petrogenesis A Global Tectonic Approach", Springer Science & Business Media (1989) 485.
- the Northern Qaidam Basin, Northwest China", Chemie Der Erde - Geochemistry 72 (2012) 245-252.
- [43] Torab F.M., "Geochemistry and Radioisotope Studies for the Origin of Apatite in Iron and Apatite Deposits of the Bafq Mining District", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, Vol.18, No.3 (2010) 409-418 (in persian).
- [44] Hitzman M.W., Oreskes N., Einaudi M.T., "Geological Characteristics and Tectonic Setting of Proterozoic Iron Oxide (Cu-U-Au-REE) deposits", Precambrian Research 58 (1992) 241-287.