

# مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب کانسنگ‌های باریم - آهن - منگنز قره‌بلاغ، خاور مهاباد، استان آذربایجان غربی

معصومه روح‌افزا<sup>۱\*</sup>، صمد علیپور<sup>۲</sup> و علی عابدینی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۲۸

## چکیده

منطقه قره‌بلاغ، در ۲۰ کیلومتری خاور مهاباد، جنوب استان آذربایجان غربی قرار گرفته است. سنگ‌های کربناتی سازند بایندور و دولومیت‌های سازند سلطانیه در این منطقه میزبان کانی‌سازی‌هایی از باریم، آهن و منگنز هستند. با توجه به مطالعات کانی‌شناسی، باریت، مگنتیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت و پیرولوزیت تجمعات کانیایی اصلی این کانی‌سازی‌ها هستند که در مقادیر کم توسط کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت و کلسیت همراهی می‌شوند. آشکارترین ویژگی ژئوشیمیایی این کانی‌سازی‌ها، تفریق به نسبت ضعیف از LREE از HREE در باریت و کانسنگ‌های آهن - منگنز، بی‌هنجاری‌های منفی Eu در کانسنگ‌های آهن - منگنز (۰/۷۶-۰/۲۶) و بی‌هنجاری‌های مثبت Eu در باریت (۷/۷-۱۰/۵۱) است. تلفیق نتایج برآمده از بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی (یافته‌های آنالیتیک و ضرایب همبستگی میان عناصر) نشان می‌دهند که عواملی همچون تغییرات در شرایط فیزیوشیمیایی محیط (Eh، pH، دما)، فعالیت لیگاند‌های کمپلکس‌ساز و حضور فازهای کانیایی فرعی (کانی‌های رسی، زیرکن، زینوتایم، و موناژیت) نقش ارزنده‌ای در پراکندگی عناصر خاکی کمیاب در طی کانه‌زایی و گسترش این کانسنگ‌ها داشته‌اند.

**کلیدواژه‌ها:** ژئوشیمی، باریم - آهن - منگنز، پراکندگی عناصر، عناصر خاکی کمیاب، کانه‌زایی، قره‌بلاغ، مهاباد.

\*نویسنده مسئول: معصومه روح‌افزا

E-mail: m\_roohafza546@yahoo.com

## ۱- پیش‌گفتار

پوشش نازکی از رسوبات هوازده پوشیده شده‌اند. مرز میان دو سازند بایندور و سلطانیه به دلیل فعالیت‌های گرمایی شدید و حضور مواد هوازده، غیر قابل تشخیص است. سنگ‌های کربناتی سازند بایندور و دولومیت‌های سازند سلطانیه در این منطقه میزبان کانی‌سازی‌هایی از باریت، آهن و منگنز به شکل رگه‌ای، رگچه‌ای و توده‌ای هستند. سنگ‌های میزبان این کانی‌سازی‌ها رنگ‌های خاکستری متمایل به قهوه‌ای بوده و آثار شدیدی از حفرات ناشی از انحلال در سطح خود دارند. در حفرات سنگ‌های یادشده گاه کانی‌هایی از آهن و منگنز همچون گوتیت (به شکل‌های قلوهای و قبری‌شکل با جلای ورنی) و لیمونیت به رنگ زرد تا قهوه‌ای و پیرولوسیت به صورت دندریتی دیده می‌شوند. عملکرد فرایندهای هوازده‌گی و سیال‌های گرمایی سبب ایجاد هماتیت‌هایی (به رنگ قهوه‌ای تا سیاه) به شکل ستاره‌ای و پراکنده همراه با آثار انحلال در سنگ‌های کربناتی شده است. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهند که روندهای گسل‌ها در این منطقه E-W، NE-SW و NW-SE بوده و با توجه به بررسی نمودارهای گل سرخی، امتداد رگه‌های کانی‌سازی‌شده منطبق با گسل‌های منطقه و شکستگی‌ها است (شکل ۳). از دید ژئومتری رگه‌های کانی‌سازی‌شده ستبرایی متغیر از ۱ تا ۳ متر و طولی با میانگین ۱۶ متر دارند.

منطقه قره‌بلاغ، به مختصات جغرافیایی ۳۶° ۵۰' ۰۳" تا ۴۵° ۵۰' ۱۶" طول خاوری و ۳۶° ۴۵' ۳۷" تا ۳۶° ۴۵' ۵۹" عرض شمالی، در فاصله ۲۰ کیلومتری خاور شهرستان مهاباد در جنوب استان آذربایجان غربی قرار گرفته است (شکل ۱). وجود کانی‌سازی‌هایی از کانسنگ‌های باریم، آهن و منگنز در درون سنگ‌های کربناتی سازند بایندور و دولومیت‌های سازند سلطانیه (اینفراکامبرین) از مهم‌ترین و چشمگیرترین سیماهای زمین‌شناسی اقتصادی این منطقه به‌شمار می‌شود. به‌رغم وجود چنین کانی‌سازی‌های گسترده، تاکنون مطالعه جامعی روی مسائل زمین‌شناسی پهنه‌های کانی‌سازی انجام نشده است. این نوشتار اطلاعات به‌نسبت جامعی از کانی‌سازی، روابط کانیایی، الگوی پراکندگی عناصر خاکی کمیاب در کانسنگ‌ها و عوامل ژئوشیمیایی موثر در توسعه آنها را ارائه می‌دهد.

## ۲- روش مطالعه

مطالعه کانسنگ‌های باریم - آهن - منگنز در منطقه قره‌بلاغ، در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده است. در بخش صحرایی پیمایش‌هایی برای بررسی ژئومتری ماده معدنی، نقش فرایندهای زمین‌ساختی در تشکیل آنها، روابط صحرایی، و در پایان، نمونه‌گیری از کانسنگ صورت گرفته است (شکل ۲). بخش آزمایشگاهی با تهیه و مطالعه ۳۲ مقطع نازک و صیقلی از سنگ‌های درونگیر و کانسنگ‌ها شروع شد. در پی آن برای بررسی‌های ژئوشیمیایی، ترکیب شیمیایی عناصر اصلی، فرعی، جزئی و خاکی کمیاب ۱۶ کانسنگ انتخابی به روش‌های دستگاهی طیف‌سنج انتشار اتمی پلاسما جفت‌شده القایی (ICP-AES) و طیف‌سنج جرمی پلاسما جفت‌شده القایی (ICP-MS) در آزمایشگاه شرکت ALS Chemex کشور کانادا تجزیه شدند.

## ۳- زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

مهم‌ترین واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه به ترتیب از قدیم به جدید شامل ریولیت‌های پرکامبرین، سنگ‌های کربناتی سازند بایندور (اینفراکامبرین) و دولومیت‌های سازند سلطانیه (اینفراکامبرین) هستند که سازندهای یادشده توسط

## ۴- مطالعات سنگ‌نگاری

سنگ میزبان کانی‌سازی‌های باریت و آهن و منگنز در محدوده قره‌بلاغ دربردارنده سازندهای ریولیتی مهاباد با برونزد بسیار کم و نیز سازندهای کربناتی بایندور و بخشی از سازند سلطانیه است. مطالعات میکروسکوپی سنگ میزبان نشان می‌دهند که کلسیت به‌همراه مقادیر کمتر کوارتز در خلل و فرج، بیشترین کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ میزبان کربناتی بایندور هستند (شکل ۴). در این مقاطع حضور رگچه‌های آهن (کانی‌های هماتیت) و جابه‌جایی آنها در امتداد شکستگی‌ها نمایان است (شکل ۴) که نشان از فعالیت زمین‌ساختی منطقه داشته است.

بررسی‌های سنگ‌نگاری نشان می‌دهند که کانی‌سازی باریت به‌عنوان یکی از فازهای کانیایی اصلی در این رگه‌ها در دو نسل متفاوت انجام شده است. باریت‌های

وجود روند‌های متفاوت در الگوی پراکندگی REEها در باریت‌ها و کانسنگ‌های آهن- منگنز (شکل ۷) نشان از تفاوت در منبع زایش آنها و شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل آنها دارد (Kupeli, 2010). وجود تغییرات در الگوی پراکندگی REE در میان کانسنگ‌های آهن- منگنز نشان‌دهنده نقش مؤثر تغییرات pH و دما در شکل‌گیری کانسنگ‌های یادشده است (Kupeli, 2010). وجود بی‌هنجاری‌های مثبت و بزرگ Eu در باریت‌ها نشان از تشکیل آنها در شرایط احیایی و دمایی تشکیل بیش از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد دارد (Fulignati et al., 1999; Parsapoor et al., 2009).

### ۳-۵. کانی‌های میزبان REE

در این مطالعه برای تعیین کانی‌های میزبان REE در کانسنگ‌های آهن- منگنز و باریت‌ها ضرایب همبستگی پیرسون (Rollison, 1993) به‌دست آمد. نتایج محاسبات (جدول‌های ۱ و ۲) نشان می‌دهند که در باریت‌ها همبستگی‌های مثبت و خوبی میان LREE با Si (۰/۷۵)، Al (۰/۶۸)، Zr (۰/۷۸) و Th (۰/۷۹) و HREE با P (۰/۷۴) وجود دارد (جدول ۲). همبستگی‌های یادشده نشان‌دهنده حضور فازهای کانیایی فرعی همچون کانی‌های آلومینوسیلیکاتی، زیرکن، مونازیت و دیگر کانی‌های فسفاتی در باریت‌ها هستند که پراکندگی REEها را در باریت‌ها در کنترل خود دارند. این محاسبات همچنین نشان می‌دهد که Fe و Mn همبستگی‌های منفی با REE دارند (جدول ۱). این مسئله نشانگر آن است که هماتیت، مگنتیت، گوتیت و پرولوزیت نقشی در تمرکز REE نداشته‌اند. وجود همبستگی‌های مثبت و متوسط تا خوب میان LREE با Al (۰/۶۳)، Si (۰/۷۵) و Zr (۰/۷۸) و HREE با P (۰/۷۴) نشان می‌دهند (جدول ۱) که رس‌ها همراه با زیرکن و کانی‌های فسفاتی به‌عنوان فازهای کانیایی فرعی نقش ارزنده‌ای در پراکندگی REE در کانسنگ‌های یادشده داشته‌اند. همبستگی مثبت و متوسط میان P با Y (۰/۶۴) نشان‌دهنده حضور زینوتایم در این کانسنگ‌ها است. وجود چنین گوناگونی‌های کانیایی در تمرکز REE در پهنه‌های کانی‌سازی مورد مطالعه بیانگر تغییرات شرایط فیزیکوشیمیایی فعالیت‌های لیگاند‌های کمپلکس‌ساز در طول سیر تکاملی سامانه گرمایی منطقه است (Henderson, 1984; Kupeli, 2010).

### ۶- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی کانی‌سازی‌های باریم- آهن- منگنز در منطقه قره‌بلاغ به شرح زیر است:  
 - سنگ میزبان کانی‌سازی‌های مورد مطالعه سنگ‌های کربناتی سازند بایندور و دولومیت‌های سازند سلطانیه هستند.  
 - از دید کانی‌شناسی، این تجمعات معدنی دربردارنده باریت، مگنتیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت، پرولوسیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت و کلسیت هستند.  
 - محیط تشکیل باریت‌ها احیایی و درجه حرارت تشکیل آنها احتمالاً بالای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد است.  
 - کانسنگ‌های آهن- منگنز و باریت‌ها از دید منبع زایشی متفاوت هستند.  
 - وجود گوناگونی‌های کانیایی در تمرکز REE در پهنه‌های کانی‌سازی مورد مطالعه بیانگر تغییرات در شرایط فیزیکوشیمیایی فعالیت لیگاند‌های کمپلکس‌ساز در طول سیر تکاملی سامانه گرمایی منطقه است.  
 - پراکندگی کانی‌های فرعی مانند فازهای آلومینوسیلیکاتی، زیرکن، مونازیت و زینوتایم در کانسنگ‌ها نقش کلیدی در پراکندگی REE در پهنه‌های کانی‌سازی داشته است.  
 - بررسی‌های انجام‌شده روی پراکندگی REE نشان می‌دهند تغییرات دمایی همراه با Eh و pH نقش ارزنده‌ای در گسترش پهنه‌های کانی‌سازی داشته‌اند.

نسل اول به‌صورت بلورهای دانه‌درشت مجزا و پرکننده فضاهای خالی در متن کانسنگ‌ها دیده می‌شوند و باریت‌های نسل دوم به‌صورت رگچه‌های هستند و باریت‌های نسل اول را قطع کرده‌اند. باریت‌ها به‌صورت بلورهای بزرگ شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، صفحه‌ای و رگچه‌ای به رنگ‌های سفید تا سفید مایل به خاکستری و گاه به شکل توده‌ای در خلل و فرج سنگ درونگیر دیده می‌شوند. گفتنی است که بلورهای باریت در برخی موارد تحت تأثیر زمین‌ساخت منطقه نمایی پلی‌سنتیکی و خمیده به خود گرفته‌اند (شکل ۵-۵). کانی‌سازی ثانویه هماتیت و مگنتیت و کالکوپیریت نیز در این کانی‌ها دیده می‌شود (شکل ۵-۵).

مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهند که کانی‌های آهن‌دار پهنه‌های کانی‌سازی مگنتیت، هماتیت و گوتیت هستند که در اثر فرایندهای جانمایی جایگزین کلسیت‌های سنگ میزبان کربناتی شده‌اند (شکل‌های ۶-۵ و ۶-۵)؛ در برخی موارد همراهی هماتیت و مگنتیت بافت مارتیتی را تشکیل داده است (شکل ۶-۵). افزون بر هماتیت و مگنتیت کانی‌های مانند پرولوزیت (به‌صورت دندریت‌های پیش‌رونده منگنز)، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت و کلسیت نیز در مقادیر کمتر در پهنه‌های کانی‌سازی حضور دارند.

## ۵- ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب در پهنه‌های کانی‌سازی

### ۵-۱. مقادیر REEها در کانسنگ‌ها

نتایج تجزیه‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهند که دامنه تغییرات REEها در باریت‌ها از ppm ۳۰/۹۶ تا ppm ۱۸۹/۳۵ و در کانسنگ‌های آهن- منگنز از ppm ۱۰۴/۳۶ تا ppm ۱۵۷۸ است. دامنه تغییرات شدید REEها در هردو نوع کانسنگ نشان از منشأ گرمایی آنها دارد (Lottermoser, 1991). به نظر می‌رسد تغییر در ترکیب شیمیایی سیال گرمایی حامل آهن و منگنز، در اثر واکنش با سنگ درونگیر کربناتی سازوکار دیگری باشد که سبب تغییر در مقادیر REE در کانسنگ‌های آهن- منگنز شده است. کانسنگ‌های آهن- منگنزی که مقادیر بالای REE دارند، احتمالاً حاصل از سیال‌های گرمایی با ماهیت اسیدی بالا هستند (Lottermoser, 1991). افزون بر آن، به نظر می‌رسد که ماهیت بالای REE در برخی از کانسنگ‌های آهن- منگنز مربوط به تشکیل اولیه این کانسنگ‌ها از سیال‌های گرمایی که تا حدی ماهیت اسیدی خود را با پیشرفت واکنش سیال‌های یادشده با سنگ میزبان کربناتی حفظ کرده‌اند و نیز فرایندهای اکسایشی که به تشکیل کانی‌های اکسیدی آهن و منگنز می‌انجامد، باشد (Jiancheng et al., 2006).

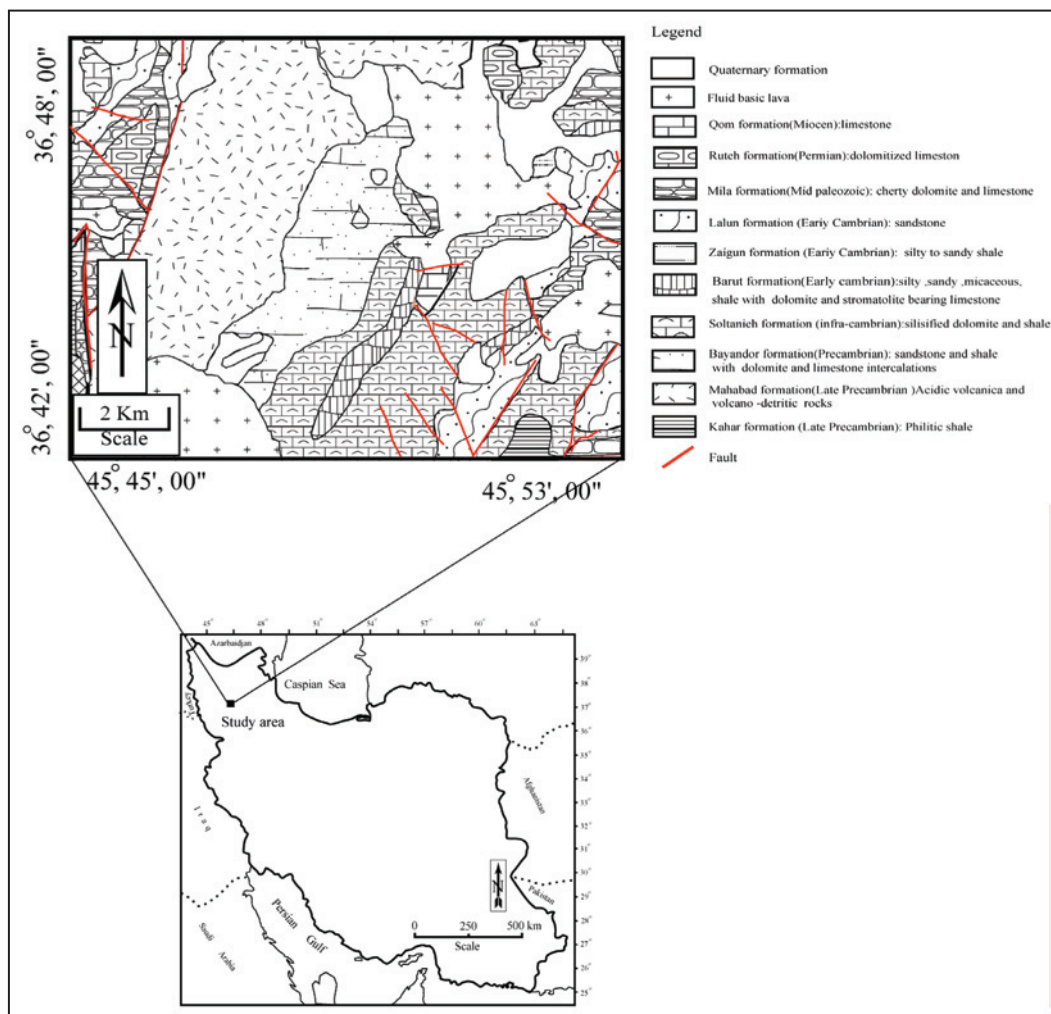
### ۵-۲. الگوی پراکندگی REE در کانسنگ‌ها و مقادیر بی‌هنجاری‌های Eu و Ce

بررسی الگوی پراکندگی REE بهنجار شده نسبت به کندریت (Taylor & McLennan, 1985) برای کانسنگ‌های آهن- منگنز نشان می‌دهد که تفریق به‌نسبت ضعیفی میان LREE و HREE همراه با بی‌هنجاری منفی Eu رخ داده است. در برخی از کانسنگ‌ها LREEها نسبت به HREEها غنی شده‌اند و در برخی دیگر روندی وارون دارند (شکل ۷-۵). بررسی الگوی پراکندگی REE بهنجار شده نسبت به کندریت (Taylor & McLennan, 1985) برای نمونه‌های باریت نشانگر تفریق به‌نسبت ضعیف LREEها از HREEها همراه با رخداد بی‌هنجاری‌های خیلی بزرگ Eu در طی تشکیل آنها است (شکل ۷-۵).

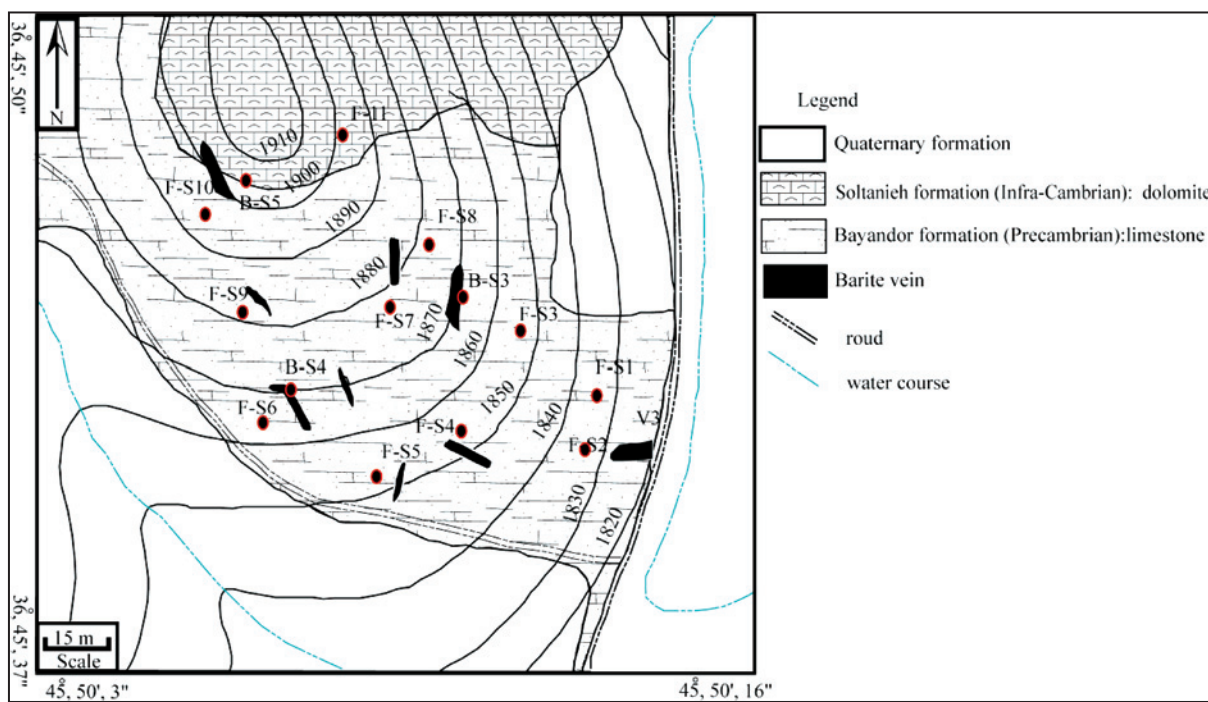
در این مطالعه افزون بر بررسی کیفی مقادیر بی‌هنجاری Eu، برای محاسبه مقادیر کمی بی‌هنجاری‌های Eu از رابطه زیر استفاده شد:

$$\delta Eu = \text{Chondrite-normalized} [(2Eu/Sm + Gd)] \quad (\text{Jiancheng et al., 2006})$$

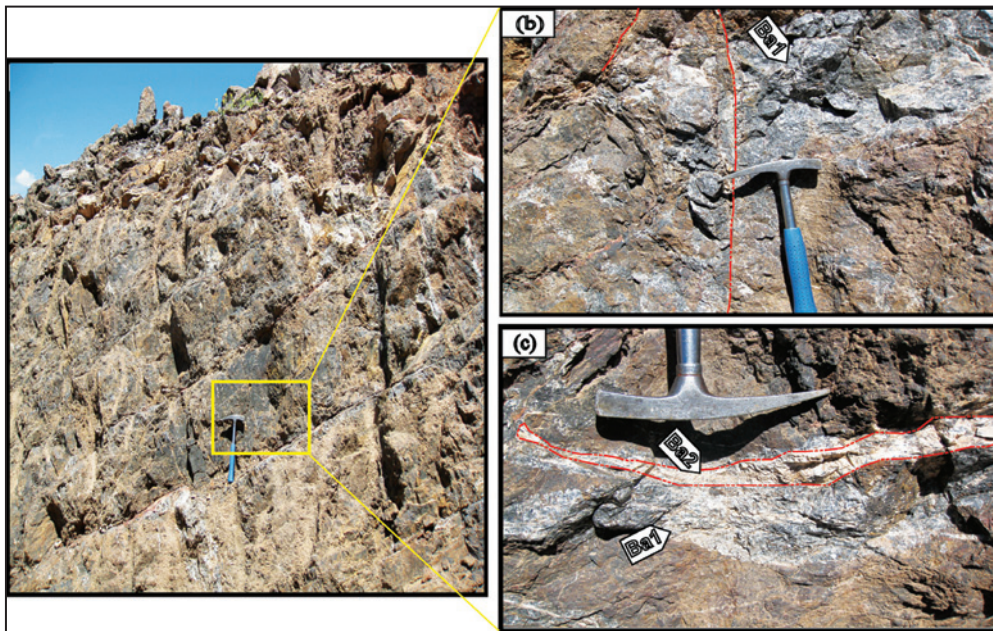
محاسبات یادشده نشان می‌دهند مقادیر بی‌هنجاری‌های Eu در باریت‌ها از ۷/۷ تا ۱۰/۵۱ و در کانسنگ‌های آهن- منگنز از ۰/۲۶ تا ۰/۷۶ متغیر است.



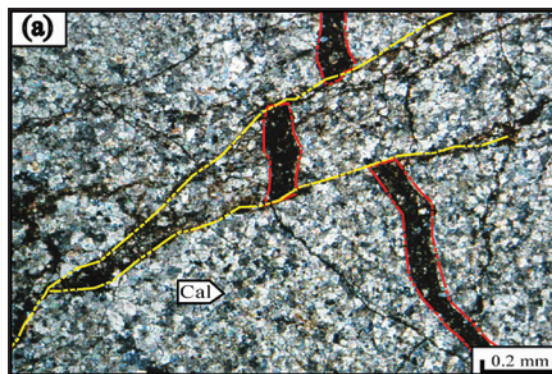
شکل ۱- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه و مناطق پیرامون محدوده قره بلاغ.



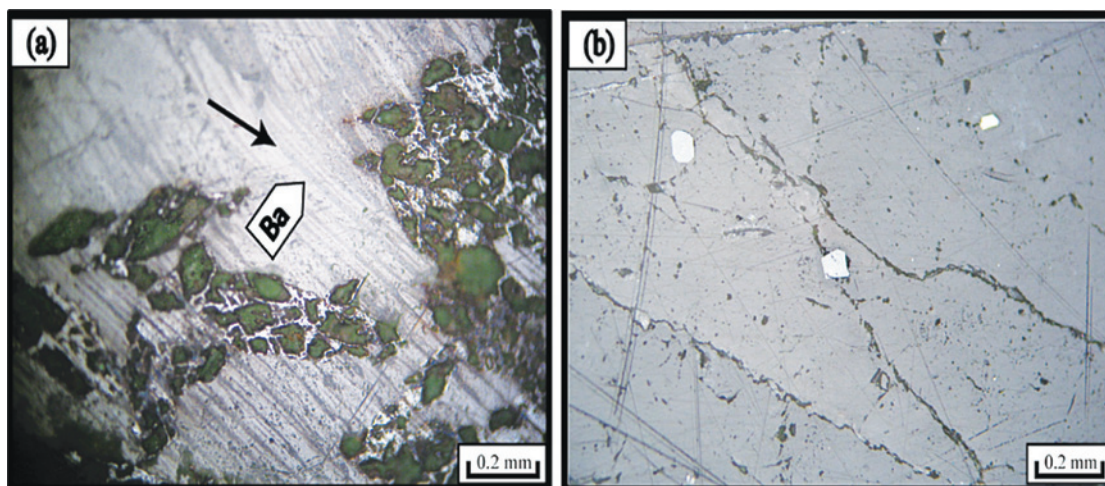
شکل ۲- نمونه برداری از رگه های باریت (B-S) و آهن (F-S).



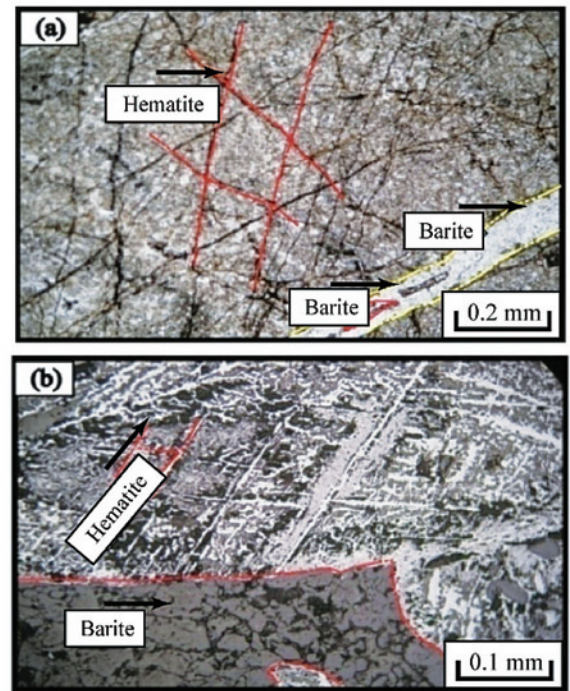
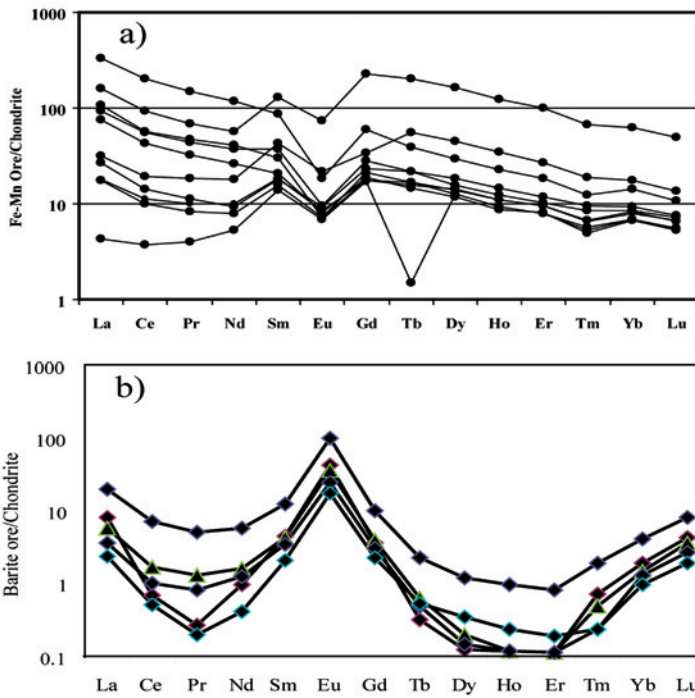
شکل ۳- مشاهدات صحرایی. (a) نمایی از سنگ میزبان کربناتی (دید به شمال)؛ (b) آثار شکستگی روی رگه‌های باریت؛ (c) کانی‌سازی دوباره باریت در امتداد شکستگی‌ها.



شکل ۴- مقطع میکروسکوپی از سنگ میزبان کربناتی محدوده قره‌بلاغ (به جابه‌جایی رگچه‌های آهن در امتداد شکستگی‌ها دقت شود).



شکل ۵- کانی‌سازی باریت و تأثیر زمین‌ساخت بر این کانی‌سازی. تصاویر در نور بازتابی و به صورت xpl گرفته شده است؛ (a) خمش و ایجاد پهنه‌بندی با نمای پلی‌سنتیک در کانی باریت (Ba) در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی؛ (b) تشکیل کالکوپیریت و کانی‌های اکسیدی آهن (مگنتیت و هماتیت) به صورت ثانویه.



شکل ۷- الگوی پراکندگی REE بهنجار شده نسبت به کندریت در کانسنگ‌های (a) آهن- منگنز و (b) باریت.

شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی از کانسنگ‌های باریم- آهن- منگنز منطقه قره‌بلاغ؛ (a) حضور ریزرگچه‌های هماتیت در امتداد رخ‌های سنگ کربناتی؛ (b) حضور باریت و هماتیت به همراه بافت مارتیتی در پهنه‌های کانی‌سازی. تصاویر در نور بازتابی و به صورت xpl گرفته شده‌اند.

جدول ۱- همبستگی برخی از عناصر در نمونه‌های آهن و منگنز محدوده قره‌بلاغ.

	Fe2O																	REE									
	SiO2	Al2O3	CaO	MnO	P2O5	Th	U	Y	Zr	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb		Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	LREE	HREE	
SiO2	1.00																										
Al2O3	.67	1.00																									
Fe2O3	.02	-.08	1.00																								
CaO	-.28	-.22	-.82	1.00																							
MnO	-.06	.14	.83	-.79	1.00																						
P2O5	.04	.00	-.59	.36	-.40	1.00																					
Th	.63	.89	-.42	.16	-.26	.23	1.00																				
U	.41	.10	.45	-.72	.25	-.04	-.04	1.00																			
Y	-.05	-.06	-.64	.43	-.57	.64	.26	.17	1.00																		
Zr	.74	.62	-.07	-.32	-.21	.12	.61	.61	.18	1.00																	
La	.78	.72	-.10	-.18	-.16	.32	.75	.37	.19	.83	1.00																
Ce	.78	.72	-.10	-.18	-.16	.32	.75	.37	.19	.83	.99	1.00															
Pr	.78	.72	-.10	-.18	-.16	.32	.75	.37	.19	.83	.99	.99	1.00														
Nd	.73	.58	-.10	-.19	-.18	.41	.65	.37	.21	.80	.95	.95	.95	1.00													
Sm	.53	.38	-.19	-.13	-.22	.64	.53	.47	.54	.68	.82	.82	.82	.90	1.00												
Eu	.18	.20	-.47	.10	-.38	.73	.43	.39	.83	.53	.49	.49	.49	.57	.82	1.00											
Gd	.34	.32	-.44	.15	-.35	.79	.57	.31	.77	.49	.65	.65	.65	.69	.90	.92	1.00										
Tb	.04	.09	-.43	.23	-.39	.71	.36	.24	.87	.34	.44	.44	.44	.49	.77	.92	.90	1.00									
Dy	-.05	-.05	-.57	.35	-.52	.71	.26	.22	.97	.24	.28	.28	.28	.31	.64	.90	.84	.95	1.00								
Ho	-.05	-.05	-.57	.35	-.52	.71	.26	.22	.97	.24	.28	.28	.28	.31	.64	.90	.84	.95	.99	1.00							
Er	-.06	.03	-.56	.26	-.46	.72	.30	.26	.92	.33	.28	.28	.28	.35	.67	.96	.85	.92	.95	.95	1.00						
Tm	-.13	-.06	-.55	.36	-.48	.76	.25	.16	.94	.19	.27	.27	.27	.32	.65	.90	.85	.96	.98	.98	.96	1.00					
Yb	-.16	-.11	-.60	.45	-.55	.77	.23	.08	.92	.17	.24	.24	.24	.31	.63	.88	.83	.94	.96	.96	.95	.99	1.00				
Lu	-.14	-.06	-.56	.36	-.51	.75	.25	.14	.88	.25	.27	.27	.27	.36	.67	.92	.83	.95	.95	.95	.95	.97	.98	.99	1.00		
LREE	.75	.68	-.19	-.07	-.23	.43	.79	.28	.25	.78	.97	.97	.97	.97	.87	.57	.74	.52	.35	.35	.36	.35	.34	.37	1.00		
HREE	-.08	.03	-.51	.26	-.43	.74	.31	.23	.89	.31	.34	.34	.34	.40	.71	.95	.87	.97	.95	.95	.98	.98	.97	.99	.42	1.00	
REE	.62	.52	-.21	-.12	-.21	.59	.66	.46	.52	.72	.87	.87	.87	.91	.98	.80	.91	.73	.60	.60	.63	.61	.57	.61	.92	.66	1.00

جدول ۲- همبستگی برخی از عناصر در باریت قره‌بلاغ.

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	MnO	P2O5	SrO	BaO	LOI	Rb	Cs	Ga	Th	Cu	Y	Zn	Mo	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	LREE	HREE	REE		
SiO2	100																																				
Al2O3	67	100																																			
Fe2O3	02	-08	100																																		
CaO	-28	-22	-82	100																																	
MgO	-20	-38	-17	46	100																																
MnO	-06	14	83	-79	-24	100																															
P2O5	04	00	-59	36	23	-40	100																														
SrO	30	28	48	-73	-51	49	04	100																													
BaO	11	23	05	-30	-74	-11	-31	24	100																												
LOI	-35	-36	-78	85	58	-83	43	-61	-20	100																											
Rb	52	85	-21	-02	-30	09	-09	-07	14	-29	100																										
Cs	46	55	-41	30	11	-33	-14	-25	06	18	68	100																									
Ga	31	74	07	-31	-49	46	-24	14	15	-56	88	41	100																								
Th	63	89	-42	16	-21	-26	23	-02	15	01	77	55	50	100																							
Cu	16	47	-56	20	-38	-20	24	-16	20	06	65	24	59	56	100																						
Y	-05	-06	-64	43	08	-57	64	46	15	52	01	-07	-19	26	39	100																					
Zn	59	34	-24	00	-13	-26	-19	-14	26	-07	58	71	38	31	42	01	100																				
Mo	-18	-03	27	-08	-23	08	-50	17	19	-07	-25	-28	-15	-05	-09	-47	-35	100																			
La	78	72	-10	-18	-35	-16	32	42	33	-23	43	27	20	75	16	19	22	-13	100																		
Ce	78	72	-10	-18	-35	-16	32	42	33	-23	43	27	20	75	16	19	22	-13	100	100																	
Pr	78	72	-10	-18	-35	-16	32	42	33	-23	43	27	20	75	16	19	22	-13	100	100	100																
Nd	73	58	-10	-19	-40	-18	41	50	28	-21	25	04	06	65	18	21	10	00	95	95	95	100															
Sm	53	38	-19	-13	-28	-22	64	33	21	-07	11	-19	-06	53	23	54	-05	-19	82	82	82	90	100														
Eu	18	20	-47	10	-08	-38	73	01	19	31	00	-19	-14	43	37	83	-13	-28	49	49	49	57	82	100													
Gd	34	32	-44	15	01	-35	79	00	03	22	16	-09	-07	57	33	77	-08	-38	65	65	65	69	90	92	100												
Tb	04	09	-43	23	-03	-39	71	-13	13	33	-08	-25	-22	36	18	87	-32	-31	44	44	44	49	77	92	90	100											
Dy	-05	-05	-57	35	06	-52	71	-31	14	48	-08	-15	-25	26	27	97	-14	-45	28	28	28	31	64	90	84	95	100										
Ho	-05	-05	-57	35	06	-52	71	-31	14	48	-08	-15	-25	26	27	97	-14	-45	28	28	28	31	64	90	84	95	100	100									
Er	-06	03	-56	26	02	-46	72	-19	16	47	-09	-22	-22	30	36	92	-19	-29	28	28	28	35	67	96	85	92	95	95	100								
Tm	-13	-06	-55	36	08	-48	76	-26	09	49	-13	-25	-29	25	25	94	-27	-36	27	27	27	32	65	90	85	96	98	98	96	100							
Yb	-16	-11	-60	45	12	-55	77	-28	05	57	-19	-26	-36	23	24	92	-31	-29	24	24	24	31	63	88	83	94	96	96	95	99	100						
Lu	-14	-06	-56	36	06	-51	75	-19	10	53	-21	-30	-35	25	24	88	-35	-21	27	27	27	36	67	92	83	95	95	95	97	98	99	100					
LREE	75	68	-19	-07	-28	-23	43	35	19	-14	39	19	14	79	22	25	13	-07	97	97	97	97	87	57	74	52	35	35	36	35	34	37	100				
HREE	-08	03	-51	26	00	-43	74	-13	15	44	-12	-27	-25	31	28	89	-30	-27	34	34	34	40	71	95	87	95	95	98	98	97	99	42	100				
5	62	52	-21	-12	-24	-21	59	28	19	-09	26	-05	05	66	29	52	05	-23	87	87	87	91	98	80	91	73	60	60	63	61	57	61	92	66	100		

جدول ۳- حد آشکارسازی (Detection Limite) عناصر خاکی کمیاب و عنصر باریتم در نمونه‌های آهن و منگنز محدوده قره‌بلاغ برحسب ppm.

Lu	Yb	Tm	Er	Ho	Dy	Tb	Gd	Eu	Sm	Nd	Pr	Ce	La	Ba	Elements
۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱	۰/۰۳	۰/۵	۰/۵	۰/۵	Detection limits

## References

- Fulginiti, P., Gioncada, A. & Sbrana, A., 1999- Rare-earth element (REE) behaviour in the alteration facies of the active magmatic-hydrothermal system of Volcano (Aeolian Islands, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 88, 325-342.
- Henderson, P., 1984- Rare earth element geochemistry. Elsevier, 8, 50p.
- Jiancheng, X., Xiaoyong, Y., Jianguo, D. & Wei, X., 2006- Geochemical characteristics of sedimentary manganese deposit of Guichi, Anhui province, China. *Journal of Rare Earths* 24, 374-380.
- 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.
- Lottermoser, B. G., 1991- Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes. *Ore Geology Reviews* 7, 25-41.
- Parsapoor, A., Khalili, M. & Mackizadeh, M. A., 2009- The behaviour of trace and rare earth elements (REE) during hydrothermal alteration in the Rangan area (Central Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 34, 123-134.
- Rollinson, H., 1993- Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific and Technical, 352p.
- Taylor, S. R. & McLennan, S. M., 1985- The continental crust: its composition and evolution. Blackwell. Oxford, 312p.

# Studies of Mineralogy and Rare Earth Elements Geochemistry of Ba-Fe-Mn Ores in Ghareh-Bolagh, East of Mahabad, West-Azarbaidjan Province

M. Roohafza <sup>1\*</sup>, S. Alipour <sup>2</sup> & A. Abedini <sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Sc., Department of Geology, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran.

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran.

Received: 2011 July 02

Accepted: 2012 January 18

## Abstract

Ghareh-bolagh area is located in 20 Km of east of Mahabad, south of West-Azarbaidjan province. Carbonate rocks of Bayandour formation and dolomites of Soltanieh formation in this area are the host of mineralizations for Barium, iron and manganese. Based upon mineralogical investigations, barite, magnetite, hematite, goethite, limonite, pyrolusite were major mineral assemblages of these mineralizations which that is accompanied by chalcocopyrite, malachite, azurite, and calcite in low amounts. The most important geochemical characteristic these mineralizations are relative weak differentiation of LREE from HREE in barite and iron-manganese ores, Eu negative anomalies in iron-manganese ores (0.26-0.76) and Eu positive anomalies in barite (7.7-10.51). Incorporation of the obtained results from investigations of field, petrographic and geochemical (analytic data and correlation coefficients between elements) indicate that factors such as changes in physicochemical conditions of environment (pH, Eh, temperature), activity of complexing ligands, and presence of minor mineral phases (clay minerals, zircon, zirconite, and monazite) played important role in distribution of rare earth elements during mineralization and development of these ores.

**Keywords:** Geochemistry, Barium-Iron-Manganese, Distribution of elements, Rare earth elements, Mineralization, Ghareh-bolagh, Mahabad. For Persian Version see pages 39 to 44

\*Corresponding author: M. Roohafza; E-mail: m\_roohafza546@yahoo.com