

زمین‌شیمی عناصر نادر خاکی نهشته بوکسیت درزی‌ولی، شرق بوکان، استان آذربایجان غربی، شمال غرب ایران

مریم خسروی^۱، علی عابدینی^{۱*} و صمد علیپور^۱

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

* abedini2020@yahoo.com

دریافت: ۹۱/۱/۲۶ پذیرش: ۹۱/۳/۲۲

چکیده

نهشته بوکسیت درزی‌ولی بوکان (جنوب استان آذربایجان غربی، شمال غرب ایران) به شکل لایه‌ها و عدسی‌های منفصل چینه‌سان در درون سنگ‌های کربناتی سازند روته (پرمین بالایی) توسعه یافته است. بر اساس ویژگی‌های فیزیکی، در یکی از لایه‌های ملاحظه شده از این نهشته، چهار تیپ بوکسیت تشخیص داده شده است که به ترتیب از پایین به بالا شامل (۱) کانسنگ قرمز قهوه‌ای، (۲) کانسنگ کرم مایل به سبز، (۳) کانسنگ سبز مایل به خاکستری و (۴) کانسنگ سبز تیره می‌باشند. بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری، کانسنگ‌های این نهشته حاوی بافت‌های پلیتومورفیک، برشی دروغین، جریان‌ی-کلومورفی، پیژوئیدی، نودولار، اوئیدی و کلاست‌های نابرجا می‌باشند. یافته‌های کانی‌شناسی نشان می‌دهند که کانی‌های اصلی سنگ‌ساز کانسنگ‌های بوکسیتی شامل دیاسپور، بوهمیت، پیروفیلیت، ایلیت، گوتیت، هماتیت، شاموزیت، کائولینیت، روتیل، آناز، موسکویت، کلسیت، دولومیت، کلریت، کرونوم و کوارتز هستند. حضور مقادیر بالای کانی‌های سیلیکاتی دلالت بر نارس بودن و سیستم زهکشی ضعیف در طی تکوین این نهشته دارد. الگوی توزیع REEs (به‌هنگام شده به کندریت) تفریق و غنی‌شدگی LREEs نسبت به HREEs و بی‌هنگامی‌های منفی Eu را در طی فرآیندهای بوکسیتی شدن نمایش می‌دهند. محاسبات شاخص هوازدگی مطلق با فرض Th به عنوان عنصر شاخص بی‌تحرك و پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) به عنوان سنگ مادر همراه با الگوی تغییرات بی‌هنگامی Ce و نسبت‌های (LREEs/HREEs)_N و (La/Yb)_N در نیمرخ مورد مطالعه نشان می‌دهند که تغییرات pH، کنترل کانیایی، جذب سطحی، روبش و ناهمگنی پروتولیت نقش مهمی در توزیع REEs در کانسنگ‌های این نهشته ایفا نموده‌اند. ضرایب همبستگی بین عناصر پیشنهاد می‌کنند که تمرکز و توزیع REEs در کانسنگ‌ها توسط کانی‌های ایلیت، موسکویت، و فسفات‌های ثانویه کنترل گردیده است.

واژه‌های کلیدی: بوکسیت، زمین‌شیمی، عناصر نادر خاکی، درزی‌ولی، بوکان

مقدمه

غربی است که تا سال ۱۳۸۹ مطالعه جامعی در خصوص سیماهای کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی تیپ‌های مختلف کانسنگی آن انجام نشده است. در این سال خسروی [۱۱] مبادرت به بررسی این ویژگی‌ها نمود که بخشی از نتایج حاصل به طور مقدماتی توسط مولفین [۱۲ و ۱۳] ارائه شده است. بر اساس بررسی‌های خسروی [۱۱] بخش‌های فقیر از آهن این نهشته دارای عیار Al_2O_3 در حدود ۴۰ درصد و حداقل ذخیره‌ای در حدود ۲۰۰۰۰۰ تن می‌باشد. در این مطالعه سعی شده است با تکیه بر شواهد صحرائی، کانی‌شناسی آنالیزی، سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی اطلاعات جامع و کاملی از عوامل و فاکتورهای دخیل در تحرك، توزیع و تمرکز عناصر نادر خاکی در طی

جنوب استان آذربایجان غربی با محوریت بوکان- شاهین‌دژ از دیرباز به دلیل وجود پتانسیل‌های مناسبی از ذخایر لاتریتی، بوکسیتی و کائولینیتی با مقاطع زمانی پرمین، پرمو-تریاس، تریاس و تریاس-ژوراسیک مورد توجه پژوهشگران مختلف بوده است [۱-۱۵]. نتایج پژوهش‌های یاد شده نشان می‌دهند که نهشته‌های کائولینیتی و بوکسیت‌های فقیر از آهن این منطقه از شمال غرب ایران قابلیت کاربرد در صنایع دیرگداز و تهیه سیمان را دارا هستند و عوامل زمین‌شیمیایی متعددی در تکوین آن‌ها ایفای نقش نموده‌اند. نهشته بوکسیت درزی‌ولی، واقع در ۲۰ کیلومتری شرق شهرستان بوکان، یکی از ذخایر بازمانی تیپیک به سن پرمین در جنوب استان آذربایجان

تشکیل و تکوین کانسنگ‌های این نهشته و جنبه‌های ژنتیکی آن‌ها ارائه شود.

روش مطالعه

پس از پیمایش‌های لازم جهت آشنایی با واحدهای سنگی و تشخیص روابط صحرائی نیم‌رخ در عرض یکی از لایه‌های بوکسیتی که بیش‌ترین تغییرات فیزیکی را نشان می‌داد، انتخاب و نمونه‌گیری از آن به شکل سیستماتیک به تعداد ۱۵ نمونه با فواصل تقریبی ۰/۵ متر انجام گردید. افزون بر این، تعداد ۵۰ نمونه سنگی در جهت امتداد لایه‌ها و عدسی‌های بوکسیتی به شکل پراکنده برداشت گردیدند. پس از بررسی ویژگی‌های مزوسکوپیکی نمونه‌های برداشت شده، تعداد ۱۹ نمونه از آن‌ها انتخاب و برای تعیین فازهای کانیایی نامشخص به روش آنالیز پراش پرتو X (XRD) (با استفاده از دیفراکتومتر SIMENS مدل D-5000) به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارسال گردیدند. هم‌چنین از بین نمونه‌های برداشت شده، تعداد ۲۰ نمونه انتخاب و با تهیه مقاطع نازک-صیقلی توسط میکروسکوپ مطالعه گردیدند. پس از این مرحله، هر ۱۵ نمونه برداشت شده از نیم‌رخ انتخابی جهت تعیین مقادیر عناصر اصلی، فرعی، جزئی و نادر خاکی به ترتیب به روش‌های طیف سنج انتشار اتمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-AES) و طیف سنج جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) به آزمایشگاه شرکت Chemex کشور کانادا ارسال گردیدند. مقادیر LOI نمونه‌ها با اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها قبل و بعد از حرارت دادن (۱۰۰۰ درجه به مدت یک ساعت) توسط شرکت مذکور تعیین شدند.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

نهشته بوکسیت درزی ولی به مختصات جغرافیایی $46^{\circ}20'51''$ تا $46^{\circ}23'53''$ طول شرقی و $36^{\circ}30'00''$ تا $36^{\circ}32'53''$ عرض شمالی، بخشی از ایالت کوچک بوکسیتی به سن پرمین در جنوب استان آذربایجان غربی می‌باشد. بارزترین واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه به ترتیب از قدیم به جدید شامل سازندهای ماسه‌سنگی، شیلی، کربناتی روت (پرمین بالایی)، شیلی، ماسه‌سنگی شمشک (ژوراسیک)،

کنگلومرایی، ماسه‌سنگی (کرتاسه زیرین)، آهکی میکروکریستالیزه (کرتاسه بالایی) و تراس‌های قدیمی پلیوکواترنری می‌باشند (شکل ۱). سنگ‌های کربناتی روت در این منطقه به شدت کریستالیزه بوده و به عنوان سنگ درونگیر لایه‌ها و عدسی‌هایی از بوکسیت عمل نموده‌اند. از لحاظ سنگ‌شناسی این سنگ‌ها شامل آهک‌های دولومیتی و دولومیت‌های خاکستری روشن تا تیره رنگ بوده و حاوی رگه‌ها و رگچه‌هایی از کلسیت به همراه باندها و نودول‌های چرت می‌باشند. کلیه لایه‌ها و عدسی‌های بوکسیتی در این منطقه با سنگ درونگیر خود مرز کاملاً مشخصی دارند. مطالعات صحرائی نشان می‌دهد که لایه‌ها و عدسی‌های بوکسیتی به دلیل قرارگیری در یال یک چین در مقیاس ناحیه‌ای به همراه سنگ‌های درونگیر خود شدیداً "تکتونیزه شده‌اند. در یکی از لایه‌های بازماندی مورد مطالعه، با توجه به تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی نظیر رنگ، سختی و بافت، چهار تیپ کانسنگ تشخیص داده شد که به ترتیب از پایین به بالا به شامل کانسنگ‌های (۱) بوکسیت قرمز قهوه‌ای^۱ (BRB)، (۲) بوکسیت کرم مایل به سبز^۲ (GCB)، (۳) بوکسیت سبز مایل به خاکستری^۳ (GGB) و (۴) بوکسیت سبز تیره^۴ (DGB) می‌باشند (شکل ۲). از مهم‌ترین اختلافات اساسی در ویژگی‌های فیزیکی این کانسنگ‌ها می‌توان به گسترش فراوان نودول‌های آهن و عملکرد فرآیندهای اکسایش سوپرز در بوکسیت‌های قرمز قهوه‌ای و توسعه شدید بافت‌های پلیتومورفیک در مقیاس مزوسکوپیکی در کانسنگ‌های بوکسیت کرم مایل به سبز، سبز مایل به خاکستری و سبز تیره اشاره نمود. با توجه به عدم قطعات تخریبی و لایه‌بندی تدریجی و مورب در لایه‌ها و عدسی‌های بازماندی، عدم لامیناسیون در کانسنگ‌ها، و عدم وجود بافت‌های کنگلومرایی، آگلومرایی و برشی می‌تواند استنباط نمود که لایه‌ها و عدسی‌های بوکسیتی مورد مطالعه از یک منشأ تقریباً "برجاسا برخوردار هستند.

¹ Brownish Red Bauxite

² Greenish Cream Bauxite

³ Greyish Green Bauxite

⁴ Dark Green Bauxite

نتایج و بحث

پetroگرافی و کانی‌شناسی

در این مطالعه، با توجه به ریز بلور بودن کانی‌های سازنده کانسنگ‌ها، مطالعات میکروسکوپی عمدتاً برای تعیین وضعیت بافتی و ژنتیکی نهشته صورت گرفته و برای تشخیص کانی‌ها از آنالیزهای پراش پرتو X (XRD) استفاده شده است. مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که کانسنگ‌های مورد بررسی حاوی بافت‌های پلیتومورفیک، جریان-کلوئیدی (شکل ۳- الف)، برشی دروغین (شکل ۳- ب)، پیزوئیدی، نودولار و اوئیدی می‌باشند. حضور بافت‌های پلیتومورفیک، جریان-کلوئیدی، برشی دروغین پیزوئیدی، نودولار و اوئیدی در کانسنگ‌ها دلالت بر نحوه تشکیل برج‌های این نهشته دارد [۱۶]. عملکرد فشارهای دینامیکی، آبدی کلونیدها و تبلور مجدد آنها و دیانز موجبات تشکیل بافت برشی دروغین و جابجایی کلونید اولیه ناشی از هوازدگی سنگ مادر طی عملکرد فرایندهای سوپرژن موجبات تشکیل بافت جریان-کلوئیدی در این کانسنگ‌ها را فراهم نموده است [۱۶]. وجود بافت پلیتومورفیک در کانسنگ‌ها می‌تواند نشانگر بوکسیتی شدن غیرمستقیم سنگ مادر باشد [۱۷]. حضور پوشش‌های ثانویه با ترکیب نامشخص دور کانی‌های هماتیت (شکل ۳- پ) مبین نقش موثر فرایندهای دیاژنتیک انتهایی و یا اپی‌ژنتیک در تکوین کانسنگ‌ها می‌باشد [۱۸]. توسعه بافت‌های نودولار در کانسنگ‌ها بویژه کانسنگ‌های قرمز قهوه‌ای تغییر مداوم سطح آب‌های زیرزمینی، تغییرات در فعالیت آب در محیط خاک‌زاد و نوسانات آب و هوایی در طی تکوین لایه‌ها و عدسی‌های بوکسیتی را نشان می‌دهد [۱۹، ۲۰ و ۲۱]. با توجه به تشکیل کنکرسین‌هایی چون نودول‌ها و اوئیدها در کانسنگ‌ها می‌توان استنباط نمود که تغییرات آب و هوایی در دو مرحله مختلف به ترتیب، (۱) پرپود نسبتاً طولانی مدت با آب و هوای استوایی غالباً مرطوب و (۲) تناوب آب و هوای کوتاه مدت خشک و مرطوب در طی تشکیل این نهشته حکمفرما بوده است [۲۱]. توسعه ساختارهای سایه فشاری در کانسنگ‌ها نشان از عملکرد فشارهای تکنونیک و استرس‌های ساختاری بر روی نهشته دارند. وجود کلاست‌های نابرجا (شکل ۳- ت) در برخی از کانسنگ‌ها بویژه کانسنگ‌های بوکسیت قرمز

قهوه‌ای نشان می‌دهد که برخی از لایه‌ها و عدسی‌های بوکسیتی محتمل جابجایی‌های فیزیکی اندکی شده‌اند. آنالیزهای پراش پرتو X (XRD) نشان می‌دهند که کانی‌های دیاسپور، بوهمیت، کروندوم، هماتیت، گوتیت، روتیل، آناتاز، پیروفیلیت، ایلیت، شاموزیت، کائولینیت، موسکویت، کلریت، کوارتز، کلسیت و دولومیت تشکیل دهنده‌های اصلی تجمعات کانیایی کانسنگ‌ها می‌باشند (جدول ۱). بررسی‌ها نشان می‌دهند که از سمت کانسنگ‌های سبز تیره به کانسنگ‌های قرمز قهوه‌ای کانی‌های دیاسپور، بوهمیت و رس‌ها جای خود را به کانی‌های آهن‌دار نظیر هماتیت می‌دهند. حضور مقادیر بالایی از کانی‌های سیلیکاتی در کانسنگ‌ها حکایت از آن دارد که نهشته مورد مطالعه از نظر تکوینی نارس بوده و در طی مراحل تشکیل و تکامل خود از هوازدگی سنگ‌های اولیه، از زهکشی خوبی برخوردار نبوده است.

زمین‌شیمی عناصر نادر خاکی

الگوی توزیع REEs در کانسنگ‌ها

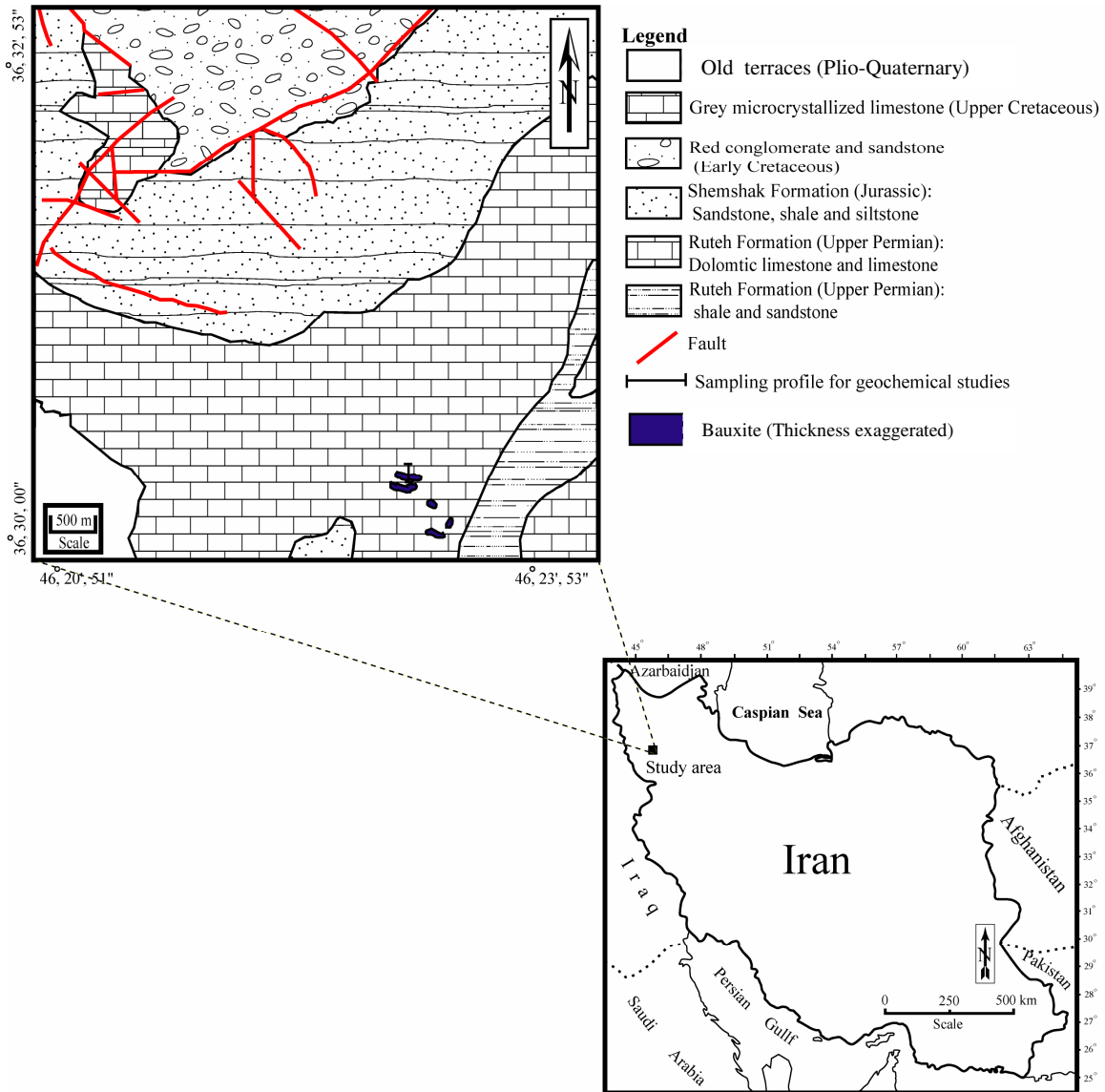
با توجه به نتایج آنالیزهای شیمیایی، متوسط ترتیب فراوانی عناصر نادر خاکی در کانسنگ‌های این نهشته به صورت

Ce>La>Nd>Pr>Sm>Gd>Dy>Eu>Er>Yb>Tb>Ho>Lu>Tm (جدول ۲). دامنه تغییرات برای LREEs (La-Gd) خیلی شدید (۷۱۹-۱/۸۱) و برای HREEs (Tb-Lu) متوسط (۴۰/۵-۰/۲۳) می‌باشد. الگوی توزیع REEs به‌همچرا شده نسبت به کندریت [۲۲] برای کانسنگ‌های بوکسیتی مورد مطالعه نشان از تفریق و غنی‌شدگی LREEs (La-Gd) نسبت به HREEs (Tb-Lu) همراه با رخداد بی‌هنجاری‌های منفی ضعیف Eu دارد (شکل ۴).

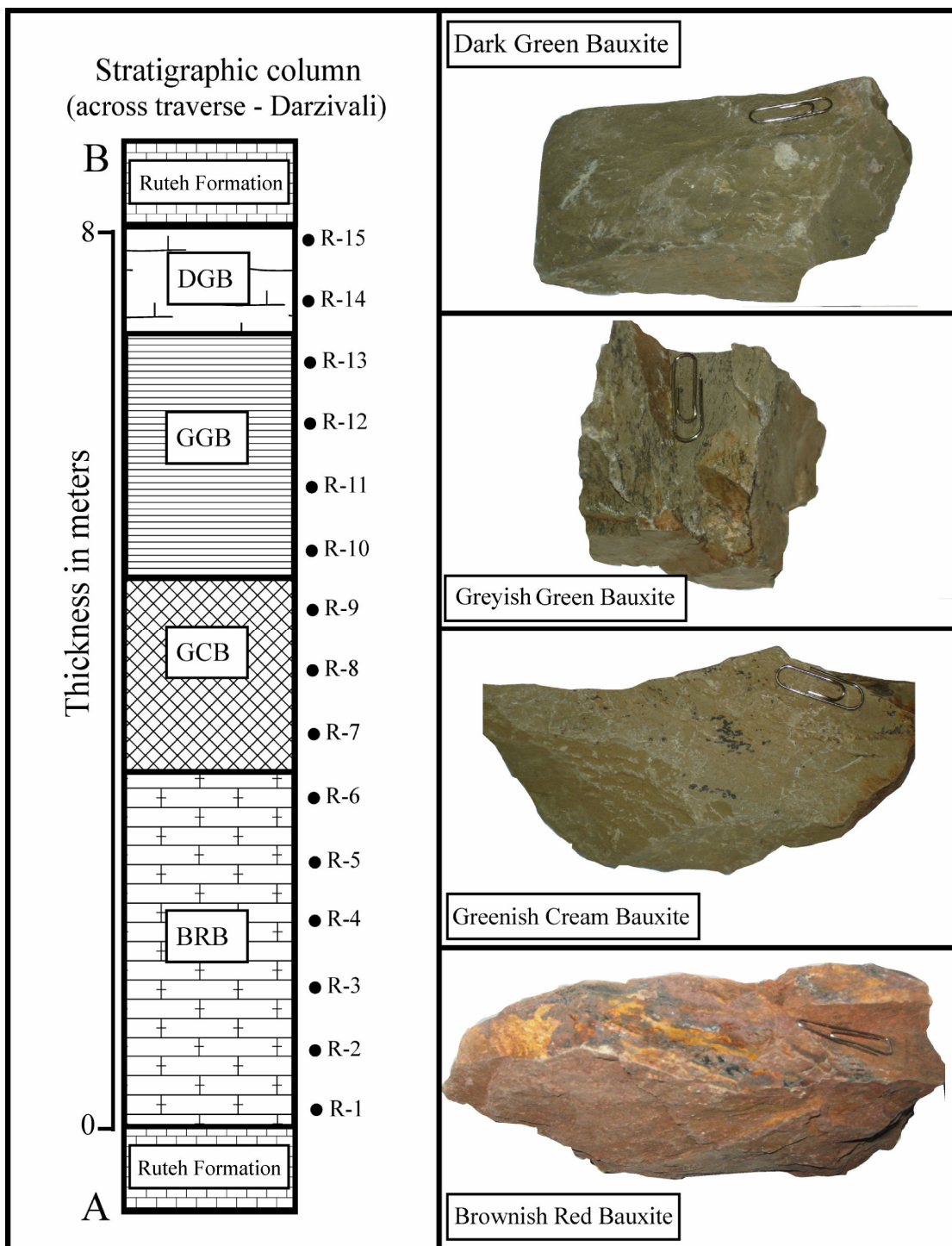
الگوی توزیع REEs و به‌ویژه مقادیر آنومالی Eu در مواد هوازده و کانسنگ‌های بازماندی به‌عنوان نشانگرهای مهمی برای تعیین سنگ‌های منشأ پذیرفته شده‌اند [۲۳]. معمولاً سنگ‌های آذرین بازیک در طی فرایندهای هوازدگی تفریق ضعیف LREEs از HREEs همراه با رخداد آنومالی منفی ضعیف یا بدون آنومالی Eu را متحمل می‌شوند و سنگ‌های آذرین فلسیک الگوهای تفریق شدیدتر LREEs از HREEs همراه با رخداد بی

کانسنگ‌های مورد مطالعه به ارث رسیده از یک پروتولیت بازیک برای نهشته می‌باشد.

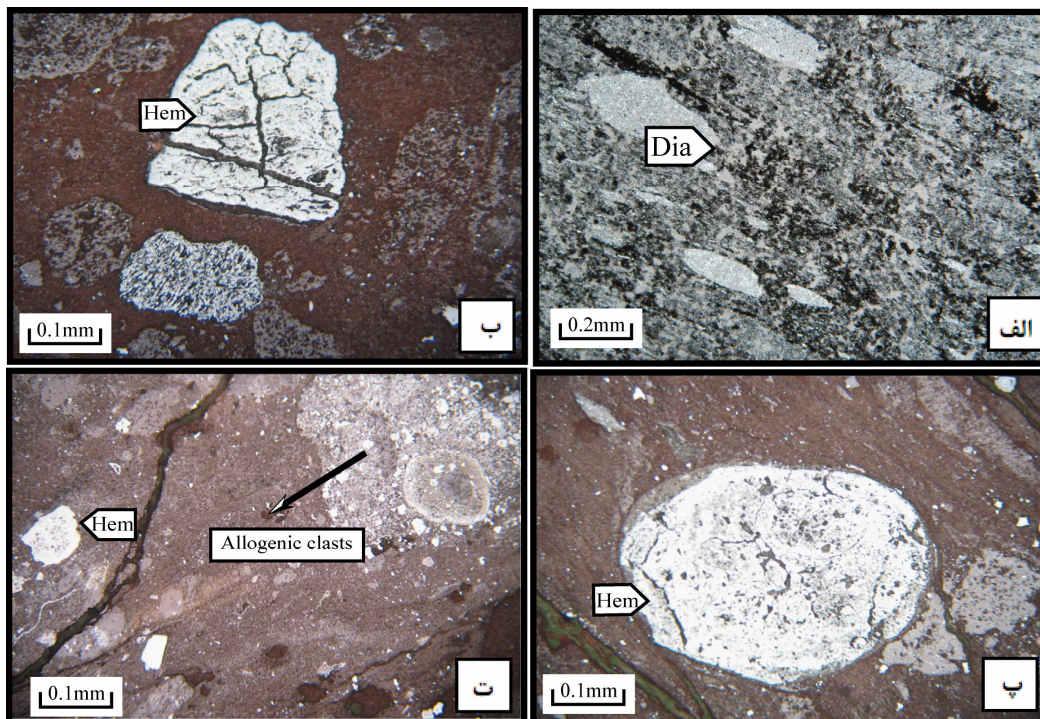
هنجاری منفی شدید Eu را نشان می‌دهند. با توجه به این ویژگی‌ها، تفریق و غنی‌شدگی نسبتاً ضعیف LREEs نسبت به HREEs همراه با رخداد بی‌هنجاری‌های منفی ضعیف Eu دلالت بر منشاء بازیک برای کانسنگ‌های مورد مطالعه دارد. به عبارت بهتر الگوی تغییرات REEs در



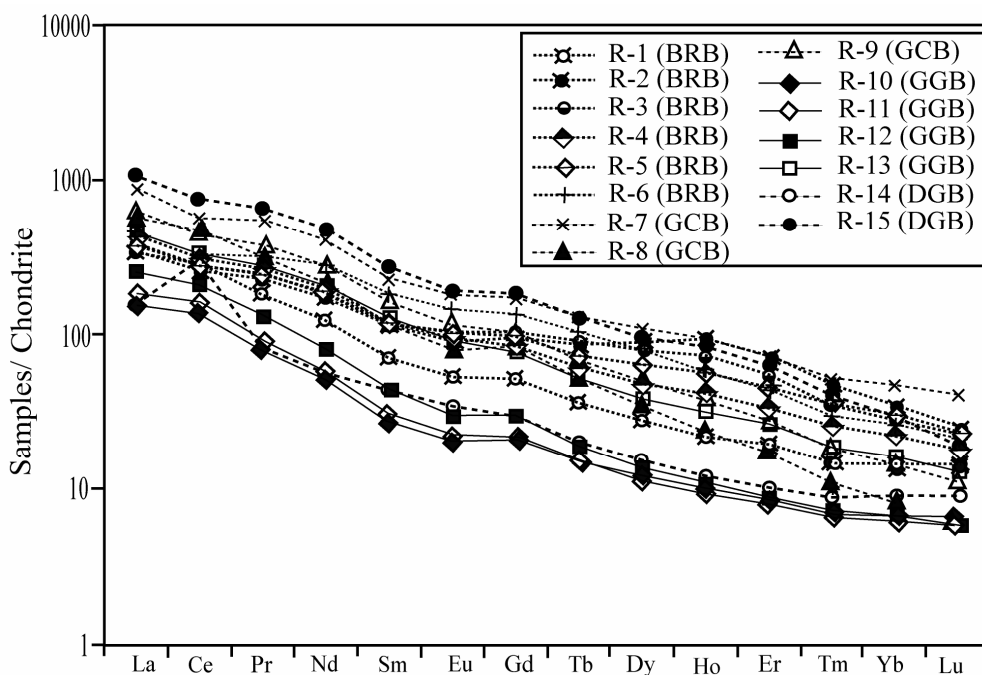
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت لایه‌ها و عدسی‌های بوکسیتی و نحوه توزیع آن‌ها در سنگ‌های کربناتی سازند روتنه.



شکل ۲- ستون چینه‌شناسی پروفیل مورد مطالعه در نهشته بوکسیت درزی‌ولی به همراه نمونه‌های دستی از کانسنگ‌های مورد مطالعه که در آن محل نمونه‌های برداشت شده جهت آنالیزهای زمین‌شیمیایی نشان داده شده است.



شکل ۳: تصاویر میکروسکوپی از کانسنگ‌های بوکسیتی درزی‌ولی. الف) بافت جریان‌ی - کلومورفی در کانسنگ بوکسیت قرمز قهوه‌ای. نور xpl. ب) بافت برشی دروغین در کانسنگ بوکسیت قرمز قهوه‌ای. نور xpl. پ) وجود پوشش‌های ثانویه با ترکیب نامشخص در اطراف کانی‌های هماتیت. نور xpl. ت) کلاست‌های نابر جا در کانسنگ بوکسیت قرمز قهوه‌ای. نور xpl. علائم اختصاری بکار رفته عبارتند از: Hem: هماتیت، Dia: دیاسپور و Hem: هماتیت



شکل ۴- الگوی توزیع REEs به هنجار شده به کندریت در کانسنگ‌های مورد مطالعه. علائم اختصاری به کار رفته عبارتند از: BRB= بوکسیت قرمز قهوه‌ای، GCB= بوکسیت کرم مایل به سبز، GGB= بوکسیت سبز مایل به خاکستری و DGB= بوکسیت بز تیره.

محاسبات شاخص هوازُدگی مطلق

در این مطالعه برای تخمین درجه تحرک عناصر نادر خاکی در کانسنگ‌ها از روش محاسبات شاخص هوازُدگی مطلق [۲۴] استفاده شده است:

$$\%Change = [(E_{Ore}/I_{Ore}) / (E_{UCC}/I_{UCC}) - 1] \times 100$$

در فرمول مذکور E و I به ترتیب بیانگر فراوانی عنصر مورد نظر در کانسنگ بوکسیتی و عنصر شاخص بی‌تحرک انتخابی را نشان می‌دهد. شاخص هوازُدگی مطلق کارایی بسیار بالایی برای محاسبه تحرک و غنی‌شدگی عناصر در مواد شدیداً هوازده دارد [۲۵]. در این روش از یک عنصر بی‌تحرکی که کمترین تغییرات را در طی فرایندهای دگرسانی و هوازُدگی دارد، استفاده می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد عناصری نظیر Nb، Ti، Zr، Al، Th و Hf تحت فرایند هوازُدگی بی‌تحرک بوده، و در محاسبات تغییرات جرم به عنوان عناصر شاخص بی‌تحرک استفاده می‌شوند [۲۶]. در این بررسی از ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) [۲۷] به عنوان سنگ مادر و Th به عنوان عنصر شاخص بی‌تحرک برای محاسبه درجه تحرک REEs در طی تکوین کانسنگ‌ها استفاده شده است.

نتایج محاسبات شاخص هوازُدگی مطلق بیانگر این مطلب است که REEs رفتار متغیری در طی فرایندهای بوکسیتی شدن در این منطقه از خود نشان می‌دهد، به طوریکه محدوده تهی‌شدگی و غنی‌شدگی در بین کانسنگ‌های بوکسیتی از ۶۹/۷۲- تا ۷۷۵/۰۵٪ متغیر است (جدول ۳، شکل ۵ الف و ب). معمولاً REEs در pH های پایین شسته شده و در pH های بالا رسوب می‌دهند [۲۸]. با توجه به وجود دو روند کاهش و افزایشی برای REEs در کانسنگ‌ها می‌توان تغییرات pH محلول‌های هوازده کننده را به عنوان یکی از پارامترهای اساسی کنترل کننده توزیع، تحرک و تثبیت REEs در کانسنگ‌ها در نظر گرفت. عملکرد این پارامتر بدین صورت بوده است که در pH های پایین محلول‌های هوازده کننده فرورو در اثر انحلال اسید کربنیک و اسید هومیک در خودشان و افزایش H⁺ موجبات شستشوی REEs از سیستم و pH های بالا به واسطه بافرینگ محلول‌های هوازده کننده فرورو توسط سنگ بستر کربناتی سبب تثبیت و غنی‌شدگی REEs در کانسنگ‌ها شده‌اند [۲۹]. از آنجایی که رویندها و جذب کننده‌ها عملکرد بهتری در pH های بالا

دارند [۲۹]، می‌توان استنباط نمود که دو فرایند روبش و جذب سطحی نقش ارزنده‌ای در توزیع و تثبیت REEs در کانسنگ‌ها به ویژه در کانسنگ‌های بوکسیت قرمز قهوه‌ای ایفا نموده‌اند.

تغییرات نسبت‌های (La/Yb)_N و (LREE/HREE)_N در کانسنگ‌های پروفیل مورد مطالعه

در این پژوهش برای بررسی تغییرات (LREE/HREE)_N و (La/Yb)_N در کانسنگ‌های پروفیل مورد مطالعه به ترتیب از روابط زیر استفاده گردید:

$$(LREEs/HREEs)_N = [(LREEs/HREEs)_{Ore} / (LREEs/HREEs)_{Chondrite}]$$

$$(La/Yb)_N = [(La_{Ore}/La_{Chondrite}) / (Yb_{Ore}/Yb_{Chondrite})]$$

محاسبات انجام شده نشان می‌دهند که بازه (LREEs/HREEs)_N از ۸/۸۴ تا ۴۰/۹۹ و (La/Yb)_N از ۱۰/۰۶ تا ۶۸/۵۷ متغیر می‌باشد. مقایسه نحوه تغییرات مقادیر (LREEs/HREEs)_N (شکل ۶- الف) و (La/Yb)_N (شکل ۶- ب) در پروفیل مورد مطالعه حاکی از آن است که مقادیر تفریق و غنی‌شدگی LREEs نسبت به HREEs در بخش‌های فوقانی (بوکسیت‌های سبز تیره، کرم مایل به سبز و سبز مایل به خاکستری) با یک روند تقریباً نامنظم بیشتر از کانسنگ‌های بوکسیت قرمز قهوه‌ای است. معمولاً با افزایش pH محلول‌های هوازده کننده HREEs کمپلکس‌های با ثبات بیشتری با لیگندهای مختلف ایجاد می‌کنند که این مسئله موجبات تفریق LREEs از HREEs را در کانسنگ‌های بازماندی فراهم می‌آورد [۳۰]. با در نظر گرفتن این نکته، انتظار بر این است که میزان تفریق و غنی‌شدگی LREEs نسبت به HREEs در کانسنگ‌های بوکسیت قرمز قهوه‌ای به دلیل قرارگیری در محل کنتاکت با سنگ بستر کربناتی بیشتر از بقیه کانسنگ‌ها باشد. این در حالی است که نتیجه کاملاً عکس آن است. تنها دلایل منطقی بر پایین بودن درجه تفریق LREEs از HREEs در کانسنگ‌های قرمز قهوه‌ای را می‌توان ناهمگنی در ترکیب پروتولیت نهشته و حضور HREEs در شبکه کانی‌های مقاوم در برابر هوازُدگی ذکر نمود.

تفسیر بی‌هنجاری‌های Ce و Eu در کانسنگ‌ها

در این مطالعه برای محاسبه مقادیر بی‌هنجاری‌های Ce و Eu در کانسنگ‌های مورد مطالعه به ترتیب از روابط زیر استفاده گردید:

$$\text{Ce Anomaly} = (2\text{Ce}_N)/(\text{La}_N + \text{Pr}_N) \quad [۳۱]$$

$$\text{Eu Anomaly} = (\text{Eu}_N) / (\sqrt{\text{Sm}_N \times \text{Gd}_N}) \quad [۳۲]$$

در روابط یاد شده حرف N به‌هنجار شدن عناصر مربوطه به ترکیب کندریت [۲۲] را نشان می‌دهد. محاسبات انجام شده نشان می‌دهند که بازه تغییرات بی‌هنجاری Ce از ۰/۸۱ الی ۲/۴ و بی‌هنجاری Eu از ۰/۸۱ الی ۰/۹۴ در کانسنگ‌ها متغیر است. بررسی تغییرات بی‌هنجاری Ce در کانسنگ‌ها نشان می‌دهد که مقادیر بی‌هنجاری Ce در کانسنگ‌های بوکسیت سبز تیره نسبت به بقیه کانسنگ‌ها یک روند افزایشی ناگهانی نشان می‌دهد (شکل ۶-پ). مطالعات انجام شده نشان داده است که رفتار Ce در طی فرایندهای هوازدگی شدیداً به تغییرات pH و Eh

وابسته می‌باشد [۳۲ و ۳۳]. به نظر می‌رسد دلیل رخداد بی‌هنجاری مثبت Ce در کانسنگ سبز تیره اکسیداسیون Ce^{3+} به Ce^{4+} در طی فرآیندهای بوکسیتی شدن باشد [۳۴ و ۳۵]. با توجه به بالا بودن مقادیر کانی‌های سیلیکاته رسی در بخش‌های بالایی پروفیل به نظر می‌رسد علاوه بر احتمال تشکیل کانی سریانیت $[(\text{Ce}^{+4}, \text{Th})\text{O}_2]$ ، جذب سطحی توسط رس‌ها نیز می‌تواند نقش موثری در ایجاد بی‌هنجاری مثبت Ce داشته باشد [۳۱ و ۳۶]. تنها دلیل منطقی برای رخداد بی‌هنجاری منفی Ce در کانسنگ‌ها را می‌توان به کمپلکس شدن Ce با لیگندهای کربناتی نسبت داد [۲۹]. دامنه باریک تغییرات بی‌هنجاری Eu (۰/۸۱ - ۰/۹۴) در پروفیل مورد مطالعه (شکل ۶-ت) به دلیل عملکرد Eu/Eu^* به عنوان یک شاخص زمین‌شیمیایی حفظ شده در طی فرایندهای بوکسیتی شدن می‌باشد [۳۷ و ۳۸].

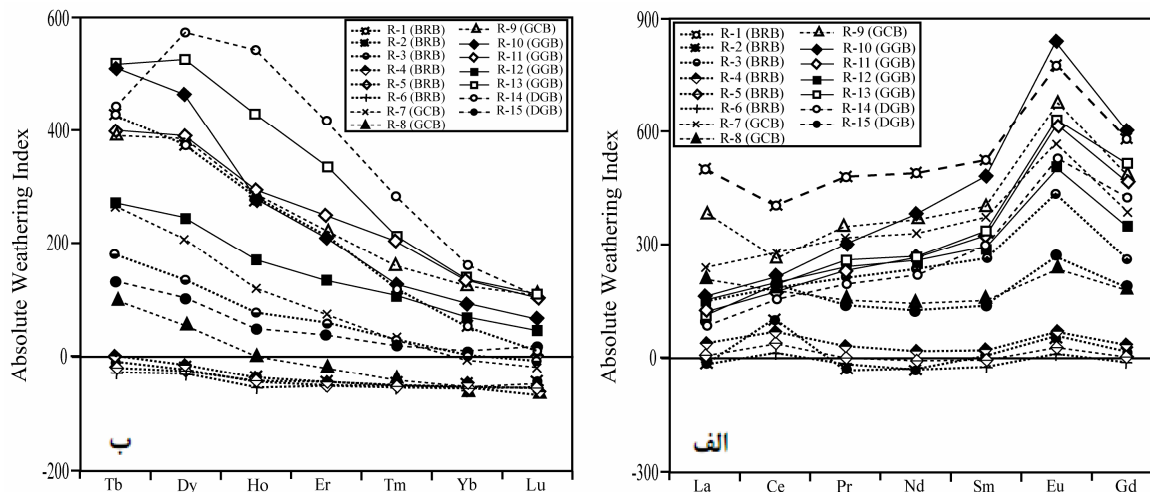
جدول ۱- نتایج آنالیز پراش پرتو X (XRD) کانسنگ‌های مورد مطالعه.

شماره نمونه	نوع کانسنگ	فازهای کانیایی اصلی	فازهای کانیایی فرعی و جزئی
R-14	سبز تیره	کلریت، کائولینیت، دیاسپور، آنتاز و کلسیت	روتیل
D-12	سبز مایل به خاکستری	پیروفیلیت، دیاسپور، روتیل و آنتاز	موسکویت، کائولینیت و کوارتز
D-16	سبز مایل به خاکستری	پیروفیلیت، دیاسپور و آنتاز	کائولینیت، روتیل، موسکویت و کوارتز
D-18	سبز مایل به خاکستری	پیروفیلیت، بوهمیت، کائولینیت و دیاسپور	آنتاز، روتیل و موسکویت
D-21	سبز مایل به خاکستری	کائولینیت، پیروفیلیت و دیاسپور	آنتاز، موسکویت و کوارتز
D-25	سبز مایل به خاکستری	پیروفیلیت، دیاسپور، روتیل و آنتاز	کروندوم، موسکویت و کائولینیت
D-31	سبز مایل به خاکستری	پیروفیلیت، کائولینیت و دیاسپور	آنتاز، روتیل، موسکویت و کوارتز
D-33	سبز مایل به خاکستری	پیروفیلیت، دیاسپور، روتیل و آنتاز	موسکویت، کائولینیت و کوارتز
D-35	سبز مایل به خاکستری	پیروفیلیت، کائولینیت و بوهمیت	دیاسپور و کوارتز
D-37	سبز مایل به خاکستری	پیروفیلیت، بوهمیت، آنتاز و دیاسپور	روتیل و کائولینیت
R-12	سبز مایل به خاکستری	پیروفیلیت، دیاسپور، کوارتز و کلسیت	کلریت، دولومیت و روتیل
D-39	کرم مایل به سبز	پیروفیلیت، کائولینیت، آنتاز و روتیل	بوهمیت، موسکویت و کوارتز
D-40	کرم مایل به سبز	پیروفیلیت، کائولینیت، آنتاز و روتیل	بوهمیت، موسکویت و کوارتز
R-8	کرم مایل به سبز	پیروفیلیت، ایلیت، دیاسپور، کلسیت، روتیل و کوارتز	کلریت و دولومیت
D-42	قرمز قهوه‌ای	دیاسپور، هماتیت، شاموزیت، کائولینیت، آنتاز، روتیل و گوتیت	پیروفیلیت، کلسیت، بوهمیت و کوارتز
D-45	قرمز قهوه‌ای	دیاسپور، هماتیت، شاموزیت، کائولینیت، روتیل، آنتاز و گوتیت	پیروفیلیت، بوهمیت، کوارتز و کلسیت
D-47	قرمز قهوه‌ای	دیاسپور، هماتیت، شاموزیت، کائولینیت، پیروفیلیت، روتیل و آنتاز	گوتیت، بوهمیت، کلسیت و کوارتز
D-49	قرمز قهوه‌ای	دیاسپور، هماتیت، شاموزیت، کائولینیت، آنتاز و روتیل	گوتیت، پیروفیلیت، کلسیت، بوهمیت و کوارتز
R-4	قرمز قهوه‌ای	پیروفیلیت، ایلیت، هماتیت و دیاسپور	کلریت و کوارتز

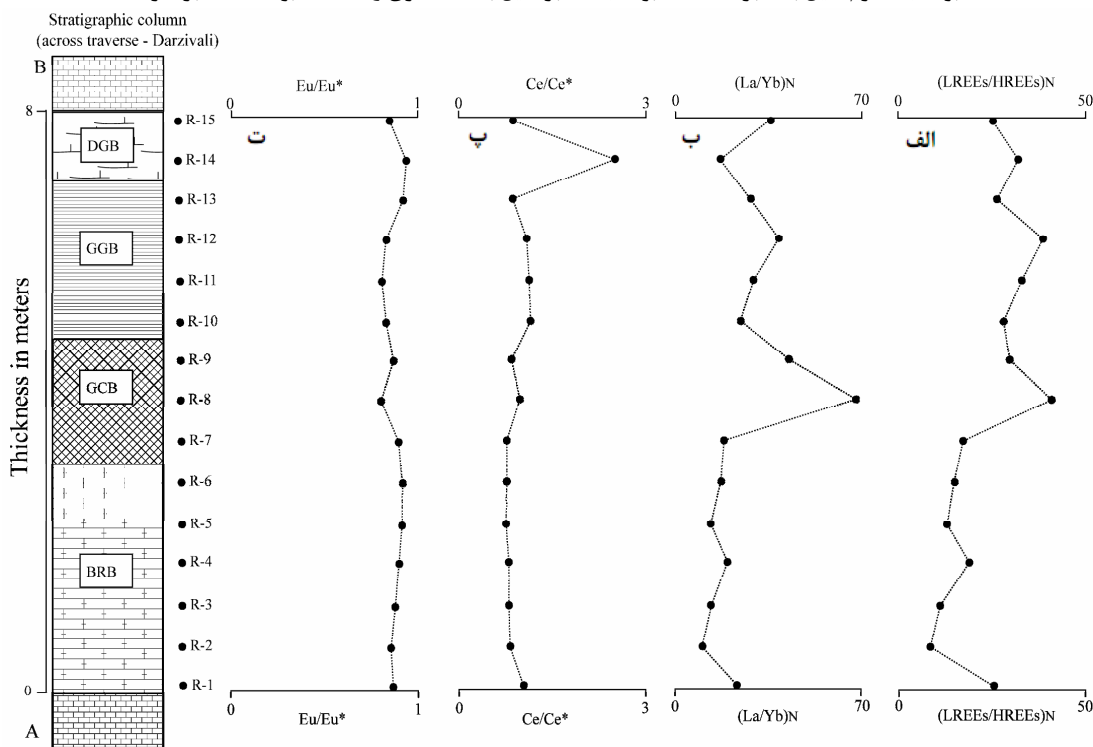
جدول ۲- نتایج آنالیزهای شیمیایی ICP-AES و ICP-MS عناصر اصلی، فرعی، جزئی و نادر خاکی در کانسنگ‌های بوکسیتی درزی‌ولی. مقادیر اکسیدها بر حسب درصد وزنی و مقادیر عناصر نادر

خاکی بر حسب mg/kg می‌باشند.

	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8	R-9	R-10	R-11	R-12	R-13	R-14	R-15
	BRB						GCB			GGB			DGB		
SiO ₂	۴۵/۸۰	۱۲/۶۰	۴۴/۱۰	۴۵/۴۰	۴۵/۳۰	۴۵/۳۰	۴۴/۴۰	۴۶/۳۰	۴۴/۸۰	۲۶/۰۰	۲۲/۸۰	۲۹/۹۰	۳۲/۳۰	۳۱/۵۰	۲۲/۸۰
Al ₂ O ₃	۳۸/۷۰	۴۲/۰۰	۳۷/۶۰	۳۸/۷۰	۳۸/۹۰	۳۸/۲۰	۳۷/۱۰	۳۶/۶۰	۳۸/۰۰	۳۲/۷۰	۲۹/۴۰	۳۰/۰۰	۲۹/۰۰	۲۹/۹۰	۳۸/۴۰
Fe ₂ O ₃	-/۳۸	۲۴/۳۰	۱/۰۴	-/۸۹	-/۵۹	۱/۱۶	۱/۲۵	۱/۷۸	-/۳۷	۲۱/۳۰	۲۲/۳۰	۲۱/۲۰	۱۹/۵۵	۲۰/۳۰	۱۹/۰۰
CaO	-/۳۱	-/۳۵	-/۱۳	-/۰۹	-/۰۸	-/۰۷	-/۱۱	-/۰۹	-/۱۵	-/۲۳	-/۱۳	-/۱۸	-/۲۳	-/۲۵	-/۱۸
MgO	-/۰۶	۱/۷۰	-/۱۱	-/۰۶	-/۰۴	-/۰۷	-/۰۸	-/۱۳	-/۰۶	-/۴۷	-/۲۲	-/۴۱	-/۲۵	-/۱۸	-/۳۰
Na ₂ O	-/۱۸	-/۱۰	-/۱۰	-/۰۹	-/۰۹	-/۱۱	-/۱۰	-/۰۶	-/۱۰	-/۱۲	-/۱۳	-/۱۵	-/۱۵	-/۰۶	-/۰۶
K ₂ O	-/۹۴	</۰۰۱	-/۱۴	-/۱۸	-/۱۰	-/۱۰	-/۲۱	-/۱۲	-/۹۷	۱/۱۴	۱/۴۶	۱/۱۲	۱/۴۴	-/۸۳	-/۸۳
TiO ₂	۵/۵۱	۷/۱۴	۸/۰۷	۶/۵۹	۶/۶۸	۷/۵۱	۷/۰۶	۷/۰۳	۶/۵۰	۵/۶۹	۵/۵۰	۶/۰۳	۵/۳۲	۴/۷۶	۶/۴۳
MnO	</۰۰۱	-/۰۲	</۰۰۱	</۰۰۱	</۰۰۱	</۰۰۱	</۰۰۱	</۰۰۱	</۰۰۱	-/۰۱	-/۰۱	-/۰۱	-/۰۱	-/۰۱	-/۰۱
P ₂ O ₅	-/۵۵	-/۳۲	-/۴۰	-/۱۵	-/۱۰	-/۰۹	-/۴۳	-/۳۱	-/۶۲	-/۸۷	-/۶۳	-/۶۵	-/۷۲	-/۹۷	-/۵۹
LOI	۸/۰۰	۹/۵۸	۷/۳۹	۷/۷۲	۷/۷۸	۷/۶۵	۸/۲۹	۷/۸۳	۸/۵۹	۸/۹۳	۶/۹۹	۷/۸۶	۸/۵۷	۸/۲۶	۸/۸۱
SUM	۱۰۰/۲۳	۹۹/۱۱	۹۹/۰۸	۹۹/۸۷	۹۹/۶۶	۱۰۰/۲	۹۹/۰۳	۱۰۰/۱۵	۱۰۰/۲۹	۹۷/۳۶	۹۹/۵	۹۷/۵۱	۹۷/۴۶	۹۷/۰۷	۹۷/۴۱
Zr	۵۷۴	۸۰۷	۵۹۵	۴۹۵	۵۲۰	۵۸۷	۵۷۴	۶۲۷	۶۶۹	۴۹۶	۴۸۲	۴۹۹	۴۳۴	۴۳۶	۵۱۳
Y	۱۳۹/۰	۱۸/۹	۵۶/۵	۲۰/۰	۱۸/۱	۱۸/۰	۶۲/۶	۳۵/۸	۱۶۰/۵	۱۰۰۳/۰	۱۱۴/۰	۷۹/۵	۱۳۸/۰	۱۸۲/۵	۳۹/۸
Ba	۵۴۰/۰	۴۲/۰	۴۶۸/۰	۱۱۲/۵	۶۸/۲	۶۲/۰	۵۳۵/۰	۳۸۵/۰	۸۸۱/۰	۱۰۰۵۰/۰	۱۱۵۰/۰	۸۸۸/۰	۱۶۶۵/۰	۱۱۹۰/۰	۴۱۷/۰
Hf	۱۴/۷	۱۹/۸	۱۵/۷	۱۲/۴	۱۳/۴	۱۵/۱	۱۵/۲	۱۶/۳	۱۷/۴	۱۲/۳	۱۱/۷	۱۳/۰	۱۰/۷	۱۰/۸	۱۱/۳
Th	۲۳/۹۰	۲۳/۹۰	۱۸/۴۵	۱۹/۵۵	۱۸/۳۵	۲۰/۲۰	۱۸/۴۵	۲۵/۴۰	۲۵/۵۰	۱۶/۹۰	۱۵/۶۵	۱۶/۹۵	۱۴/۷۰	۱۵/۷۵	۱۶/۰۵
Nb	۱۴۷/۵۰	۱۵۲/۵۰	۱۶۱/۰۰	۱۳۶/۵۰	۱۴۳/۰۰	۱۶۱/۰۰	۱۵۷/۰۰	۱۶۸/۰۰	۱۷۳/۰۰	۸۰/۶۰	۷۹/۲۰	۸۲/۴۰	۸۸/۵۰	۹۴/۲۰	۹۴/۹۰
La	۴۰/۱۰	۵۷/۸	۱۶۸/۵	۹۴/۳	۶۹/۹	۵۸/۳	۲۲۷/۰	۲۰۶/۰	۳۲۵/۰	۱۷۴/۰	۱۴۷/۰	۱۷۰/۰	۱۴۱/۰	۱۷۷/۵	۱۲۶/۵
Ce	۷۱۹	۲۸۶	۳۱۴	۲۰/۱	۱۵۴	۱۳۳	۴۱۷	۴۲۴	۵۵۵	۳۱۷	۲۵۵	۳۰/۱	۲۶۰	۲۴۲	۲۸۳
Pr	۹۱/۲	۱۱/۵	۳۸/۷	۱۷/۱	۱۲/۵	۱۰/۷	۵۱/۳	۴۲/۰	۷۵/۹	۴۵/۶	۳۴/۶	۳۸/۷	۳۴/۹	۳۰/۹	۲۵/۸
Nd	۳۴۳/۰	۴۰/۴	۱۴۹/۵	۵۶/۳	۴۰/۸	۳۵/۰	۱۹۲/۰	۱۴۷/۵	۲۸۹/۰	۱۹۶/۵	۱۳۹/۵	۱۴۷/۵	۱۳۱/۵	۱۲۲/۵	۸۷/۸
Sm	۶۲/۸	۱۰/۲۰	۲۸/۴	۹/۸۴	۷/۱۱	۶/۴۴	۳۶/۵۰	۲۶/۶۰	۵۳/۷۰	۴۱/۳۰	۲۷/۷۰	۲۷/۷۰	۲۶/۶۰	۲۵/۶۰	۱۶/۳۵
Eu	۱۷/۲۰	۳/۱۲	۸/۱۳	۲/۷۰	۱/۹۳	۱/۸۱	۱۰/۱۵	۷/۰۷	۱۶/۳۵	۱۳/۰۵	۹/۲۵	۸/۵۳	۸/۸۸	۸/۱۵	۴/۸۹
Gd	۵۷/۶	۹/۴۲	۲۳/۹	۹/۲۹	۶/۸۷	۶/۳۰	۳۱/۸	۲۴/۹	۵۲/۶	۴۱/۹	۳۱/۲	۲۷/۴	۲۲/۱	۲۹/۴	۱۶/۲۰
Tb	۷/۵۷	۱/۲۳	۳/۱۰	۱/۱۴	-/۸۹	-/۸۸	۴/۰۸	۳/۰۲	۷/۵۶	۶/۲۳	۴/۶۶	۳/۷۶	۵/۴۰	۵/۰۹	۲/۲۱
Dy	۳۷/۰۰	۵/۸۹	۱۴/۳۵	۵/۲۰	۴/۳۴	۴/۴۵	۱۸/۵۵	۱۲/۸۵	۴۰/۵۰	۳۱/۳۰	۲۵/۱۰	۱۹/۱۵	۳۰/۲۰	۳۴/۷۰	۱۰/۶۵
Ho	۶/۷۶	-/۹۸	۲/۴۹	-/۸۷	-/۷۵	-/۷۸	۲/۰۰	۱/۸۶	۷/۲۹	۴/۸۲	۴/۶۲	۳/۴۴	۵/۸۳	۷/۵۷	۱/۷۷
Er	۱۵/۹۰	۲/۵۳	۶/۴۴	۲/۲۰	۲/۰۲	۲/۰۵	۶/۸۴	۴/۲۱	۱۷/۶۰	۱۱/۲۵	۱۱/۷۵	۸/۵۷	۱۳/۷۵	۱۷/۵۰	۴/۷۴
Tm	۱/۶۳	-/۳۵	-/۷۴	-/۳۸	-/۲۷	-/۲۷	۱/۷۱	-/۴۲	۲/۰۴	۱/۱۷	۱/۴۷	۱/۰۸	۱/۳۹	۱/۸۶	-/۵۹
Yb	۷/۴۲	۲/۳۰	۳/۹۷	۱/۶۴	۱/۶۱	۱/۶۱	۳/۵۹	۲/۰۳	۱۱/۸۵	۶/۷۰	۷/۷۷	۵/۷۹	۷/۱۶	۸/۵۶	۳/۶۳
Lu	-/۷۸	-/۳۷	-/۴۹	-/۲۳	-/۲۳	-/۲۶	-/۴۳	-/۲۳	-/۲۶	-/۸۴	-/۹۶	-/۷۵	-/۹۳	-/۹۶	-/۵۶
(La/Yb) _N	۳۶/۵۱	۱۶/۹۸	۲۸/۶۷	۳۸/۸۱	۲۹/۳۳	۲۴/۴۶	۴۲/۷۲	۶۸/۵۶	۱۸/۵۳	۱۷/۵۴	۱۲/۷۸	۱۹/۸۳	۱۳/۳۰	۱۰/۰۶	۲۳/۵۴
(LREE/HREE) _N	۴۲/۹۳	۵۲/۰۲	۴۵/۹۹	۷۲/۵۰	۶۲/۲۰	۵۱/۸۳	۵۱/۸۷	۷۳/۷۶	۳۰/۲۸	۲۵/۱۵	۲۲/۴۰	۳۳/۵۸	۱۹/۰۴	۱۴/۸۵	۴۵/۸۸
Eu/Eu*	-/۸۴	-/۹۴	-/۹۲	-/۸۳	-/۸۱	-/۸۴	-/۸۸	-/۸۱	-/۹۱	-/۹۳	-/۹۳	-/۹۱	-/۹۰	-/۸۸	-/۸۹
Ce/Ce*	-/۸۶	۲/۴	-/۸۹	۱/۱۱	۱/۱۵	۱/۱۸	-/۸۸	۱/۰۳	-/۸۱	-/۸۲	-/۸۲	-/۸۵	-/۸۵	-/۸۹	۱/۱۲



شکل ۵- نمودارهای تحرک عناصر نادر خاکی، الف) La، Ce، Pr، Nd، Sm، Eu و Gd و ب) Tb، Dy، Ho، Er، Tm، Yb و Lu در کانسنگ‌های بوکسیت درزی‌ولی محاسبه شده براساس شاخص هوازدگی مطلق، فرض Th به عنوان عنصر شاخص بی‌تحرک و ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) به عنوان مواد مادر. علائم اختصاری به کار رفته عبارتند از: BRB= بوکسیت قرمز قهوه‌ای، GCB= بوکسیت کرم مایل به سبز، GGB= بوکسیت سبز مایل به خاکستری و DGB= بوکسیت سبز تیره.



شکل ۶- تغییرات نسبت‌های الف) $(LREEs/HREEs)_N$ ، ب) $(La/Yb)_N$ ، پ) بی‌هنجاری Ce و ت) بی‌هنجاری Eu در پروفیل مورد مطالعه. علائم اختصاری به کار رفته عبارتند از: BRB= بوکسیت قرمز قهوه‌ای، GCB= بوکسیت کرم مایل به سبز، GGB= بوکسیت سبز مایل به خاکستری و DGB= بوکسیت سبز تیره.

کانی‌های میزبان عناصر نادر خاکی

آنالیزهای پراش پرتو X (XRD) تنها فازهای کانیهایی را شناسایی کرده‌اند که فراوانی بالای ۰.۴٪ داشته، لذا کانیهایی دیگری نیز می‌توانند میزبان REEs در کانسنگ‌های مورد مطالعه باشند که توسط آنالیزهای پراش پرتو X شناسایی نشده‌اند. در این بررسی به منظور تعیین کانیهای میزبان احتمالی REEs در کانسنگ‌ها مبادرت به محاسبه ضرایب همبستگی خطی بین عناصر نادر خاکی با برخی از عناصر اصلی، فرعی و جزئی انتخابی گردیده است (جدول ۴). همبستگی‌های منفی و ضعیف تا متوسط بین REEs با Al (۰/۰۵- الی ۰/۶۰-) و منفی و مثبت ضعیف بین REEs با Si (۰/۴۰- الی ۰/۲۹) نشان می‌دهند که کانیهایی رسی همراه با دیاسپور و بوهمیت نمی‌توانند میزبانانی برای REEs در نهشته باشند. همچنین همبستگی‌های منفی و مثبت ناچیز Mn با LREEs (۰/۳۹- الی ۰/۰۴)، و مثبت و ضعیف با HREEs (۰/۱۲ الی ۰/۲۷) حکایت از آن دارند که اکسیدهای منگنز نمی‌توانند نقشی در توزیع و تثبیت REEs در کانسنگ‌ها داشته باشند. همبستگی‌های منفی و ضعیف Fe با LREEs (۰/۰۱- الی ۰/۲۸-) و همبستگی‌های مثبت و ناچیز Fe با HREEs (۰/۰۱ الی ۰/۲۴) نشان از عدم نقش کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن در تمرکز REEs دارد. همبستگی‌های مثبت و ضعیف تا خوب K با LREEs (۰/۲۳-۰/۷۶)، و مثبت و خوب با HREEs (۰/۷۶ >) حکایت از نقش مهم میزبانی کانیهایی موسکویت و ایلیت در تمرکز REEs به ویژه HREEs در نهشته دارد. همبستگی‌های منفی و مثبت ناچیز Ti با LREEs (۰/۰۱ <)، و منفی و متوسط تا خوب با HREEs (۰/۶۵ <) نشان می‌دهد که کانی‌هایی نظیر روتیل و آاناتاز نقشی در میزبانی REEs در کانسنگ‌ها ندارند. زیرکن از نظر شیمیایی پایدارترین کانی در طی فرایندهای هوازدگی محسوب می‌شود [۳۹] و می‌تواند به عنوان حامل و کنترل کننده توزیع HREEs در سیستم‌های هوازده و دگرسان شده عمل نماید [۳۵]. با توجه به همبستگی‌های منفی Zr با HREEs (۰/۲۳ <)، زیرکن نمی‌تواند نقشی در تمرکز HREEs در کانسنگ‌های مورد مطالعه داشته باشد. همبستگی‌های مثبت و متوسط تا خوب P با LREEs (۰/۵۳ الی ۰/۷۱) و مثبت و خوب با HREEs (۰/۷۴ >) حکایت از نقش مهم کانیهای فسفاتی ثانویه در تمرکز

REEs دارد. همبستگی مثبت و خوب Y با P (۰/۸۵) می‌تواند دلیلی بر حضور احتمالی کانیهای فسفاتی چورچیت [(YPO₄.H₂O)] [۴۰] و زینوتایم [(YPO₄)₂] [۲۳] در کانسنگ‌ها باشد. همبستگی‌های مثبت و متوسط تا خوب P با برخی از LREEs مانند La، Ce و Nd (۰/۶۴) الی ۰/۷۳) می‌تواند نشانگر حضور احتمالی کانیهای فسفاتی نظیر مونازیت و رابدوفان در کانسنگ‌های مورد مطالعه باشد [۴۱]. Ba که رفتار کاملاً متغیری در طی فرایندهای هوازدگی از خود نشان می‌دهد، همبستگی‌های مثبت و متوسط تا خوبی با LREEs (به جزء Ce) (۰/۶۳) الی ۰/۷۶) در کانسنگ‌ها دارد. این مسئله می‌تواند دلیلی بر حضور احتمالی کانیهای فسفات آلومینیوم‌داری مانند گورسکسیت [(BaAl₃(LREE,PO₄)₂(OH)₅.H₂O)] [۴۲] در کانسنگ‌های مورد مطالعه باشد.

نتیجه‌گیری

مهمترین نتایج حاصل از مطالعات سنگ نگاری و زمین-شیمی عناصر نادر خاکی نهشته بوکسیت درزیولی عبارتند از:

۱- کانسنگ‌های بوکسیتی درزیولی به شکل عدسی‌ها و لایه‌های منفصل چینه‌سان در درون سنگ‌های کربناتی سازند روته (پریمین بالایی) گسترش و تکامل یافته‌اند. عملکرد فرایندهای هوازدگی موجبات تشکیل کانی‌های دیاسپور، بوهمیت، کزندوم، همتایت، گوتیت، روتیل، آاناتاز، پیروفیلیت، ایلیت، شاموزیت، کائولینیت، موسکویت، کلریت، کوارتز، کلسیت و دولومیت را در کانسنگ‌های این نهشته فراهم نموده است.

۲- شواهد سنگ نگاری نشان می‌دهد که این نهشته از یک ژنز برجزا برخوردار بوده، هر چند که در برخی از بخش‌ها متحمل جابجایی‌های اندکی شده است. با توجه به این مطالعات به نظر می‌رسد که فرایندهای دیاژنتیک همراه با عواملی چون نوسانات سطح سفره آب‌های زیرزمینی، تغییرات در فعالیت آب در محیط تشکیل نهشته و نوسانات آب و هوایی نقش ارزنده‌ای در توسعه کانسنگ‌های بوکسیتی در این منطقه از شمال غرب ایران ایفا نموده‌اند.

کننده توزیع REEs در نهشته بوکسیت درزی ولی می باشند.

تشکر و قدردانی

نگارندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه ارومیه برخوردار بوده‌اند، لذا شایسته است نهایت سپاس و قدردانی خود را ابراز دارند. نگارندگان همچنین از نظرات و پیشنهادات ارزنده سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

۳- الگوی توزیع REEs، درجه تفریق نسبتاً ضعیف از LREEs و HREEs و بی‌هنجاری منفی ضعیف Eu دلالت بر منشاء بازیک کانسنگ‌های بوکسیتی دارد.

۴- یافته‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهند که ایلیت، موسکویت و کانی‌های فسفات‌دار ثانویه میزبانان احتمالی REEs در این نهشته می‌باشند.

۵- نتایج به دست آمده از بررسی‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهند که فرایندهایی مانند تغییرات در pH محلول‌های هوازه کننده، عملکرد فرایندهای جذب سطحی و روبش، حضور در شبکه کانی‌های مقاوم در برابر هوازدگی، ناهمگنی پروتولیت، و بافرینگ محلول‌های هوازه کننده توسط سنگ بستر کربناتی مهم‌ترین فاکتورهای کنترل

جدول ۴- ضرایب همبستگی خطی بین عناصر نادر خاکی با برخی از عناصر اصلی، فرعی و جزئی در نمونه‌های بوکسیت درزی ولی. مقادیر ضرایب همبستگی بالای ۰/۶ به صورت ایتالیک مشخص شده‌اند.

	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Zr	Y	Ba
La	-۰/۳۳	۰/۲۹	-۰/۳۹	-۰/۲۸	۰/۵۰	-۰/۲۳	۰/۶۸	۰/۱۳	۰/۶۳	۰/۶۹
Ce	-۰/۰۵	۰/۱۰	-۰/۲۳	-۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۰۱	۰/۶۴	۰/۴۶	۰/۴۴	۰/۲۱
Pr	-۰/۳۲	۰/۲۱	-۰/۳۱	-۰/۲۶	۰/۵۱	-۰/۲۴	۰/۷۳	۰/۱۲	۰/۶۶	۰/۵۱
Nd	-۰/۳۱	۰/۱۶	-۰/۳۵	-۰/۲۴	۰/۵۴	-۰/۲۴	۰/۵۵	۰/۱۰	۰/۶۷	۰/۶۳
Sm	-۰/۳۳	۰/۰۲	-۰/۲۵	-۰/۱۲	۰/۶۰	-۰/۲۸	۰/۵۳	۰/۰۹	۰/۷۲	۰/۶۷
Eu	-۰/۴۴	-۰/۰۶	-۰/۰۸	-۰/۰۱	۰/۷۵	-۰/۵۲	۰/۶۸	-۰/۱۲	۰/۸۵	۰/۷۳
Gd	-۰/۴۸	-۰/۰۴	۰/۰۴	-۰/۰۱	۰/۷۶	-۰/۵۹	۰/۷۱	-۰/۱۷	۰/۸۸	۰/۷۶
Tb	-۰/۵۰	-۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۷۸	-۰/۶۵	۰/۷۸	-۰/۲۳	۰/۹۴	۰/۸۱
Dy	-۰/۵۳	-۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۷۷	-۰/۶۶	۰/۸۱	-۰/۲۲	۰/۹۷	۰/۸۳
Ho	-۰/۶۰	-۰/۱۷	۰/۲۷	۰/۱۰	۰/۷۶	-۰/۷۱	۰/۸۵	-۰/۳۰	۰/۹۹	۰/۸۷
Er	-۰/۵۸	-۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۰۷	۰/۷۹	-۰/۷۱	۰/۸۴	-۰/۲۹	۰/۹۹	۰/۸۶
Tm	-۰/۵۶	-۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۷۹	-۰/۷۰	۰/۸۳	-۰/۲۸	۰/۹۸	۰/۸۶
Yb	-۰/۵۵	-۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۸۰	-۰/۷۱	۰/۸۵	-۰/۳۰	۰/۹۶	۰/۸۵
Lu	-۰/۵۹	-۰/۴۰	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۸۲	-۰/۷۱	۰/۸۷	-۰/۳۶	۰/۹۰	۰/۸۵

منابع

- [۱۰] عابدینی، ع.، کلاگری، ع.ا (۱۳۹۰) مطالعات کانی‌شناسی نورماتیو و ژئوشیمی عناصر کمیاب خاکی افق بازماندی پرمین در شمال خاور ملکان، استان آذربایجان شرقی. مجله علوم زمین، شماره ۸۰، ص ۱۵۵-۱۶۲.
- [۱۱] خسروی، م (۱۳۸۹) ژئوشیمی کانسنگ‌های بوکسیتی-لاتریتی درزی‌ولی، شرق بوکان، استان آذربایجان غربی. رساله کارشناسی ارشد دانشگاه ارومیه، ۱۱۵ص.
- [۱۲] خسروی، م.، علیپور، ص.، عابدینی، ع (۱۳۸۹) کانی-شناسی و منشاء نهشته‌های بوکسیتی-لاتریتی درزی‌ولی، شرق بوکان، استان آذربایجان غربی. نخستین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۳۵-۴۱.
- [۱۳] خسروی، م.، عابدینی، ع.، علیپور، ص (۱۳۸۹) ژئوشیمی کانسنگ‌های بوکسیتی-لاتریتی درزی‌ولی، شرق بوکان، استان آذربایجان غربی. چهاردهمین همایش انجمن زمین-شناسی ایران و بیست و هشتمین همایش سازمان زمین-شناسی و اکتشافات معدنی کشور، دانشگاه ارومیه، ص ۱۱۵-۱۲۰.
- [14] Calagari, A.A., and Abedini, A (2007) Geochemical investigations on Permo-Triassic bauxite deposit at Kanisheeteh, east of Bukan, Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 94, 1-18.
- [15] Calagari, A.A., Kangrani, F., and Abedini, A (2010) Geochemistry of minor, trace and rare earth elements in Biglar Permo-Triassic bauxite deposit, Northwest of Abgarm, Ghazvin Province, Iran. *Journal of Sciences Islamic Republic of Iran*, 21, 225-236.
- [16] Bardossy, G (1982) Karst Bauxites: Bauxite deposits on carbonate rocks. Elsevier, Amsterdam, 441p.
- [17] Boulange, D (1984) Les formation bauxitiques de Cote d'Irove, *Travaux et documents d'ORSTOM*, Paris.
- [18] Bardossy, G., and Aleva, G.J.J (1990) Lateritic Bauxites. Elsevir Scientific Publication, Amsterdam, 646p.
- [19] Valetton, I (1972) Bauxites. Elsevier, 226p.
- [20] Tardy, Y., and Nahon, D.B (1985) Geochemistry of laterites. Stability of Al-goethite, Al-hematite and Fe³⁺-kaolinite in bauxites and ferricretes, An approach to the mechanism of concretion formation. *American Journal of Science*, 285, 865-903.
- [21] Mongelli, G (2002) Growth of hematite and boehmite in concretions from ancient karst bauxite: clue for past climate. *Catena*, 50, 43-51.
- [22] Boynton, W.V (1984) Geochemistry of REEs: Meteorite studies. In: Henderson P. (ed.), Rare earth element geochemistry, Elsevier, 63-147.
- [۱] عابدینی، ع (۱۳۸۷) بررسی کانی‌شناسی، ژئوشیمی و وزن نهشته‌های بوکسیتی-لاتریتی پرمین تا تریاس در شمال غرب ایران. رساله دکتری گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز، ۱۸۴ص.
- [۲] عابدینی، ع.، کلاگری، ع.ا.، حاج‌علیلو، ب.، جهانگیری، ا (۱۳۸۷) مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی در نهشته پرمو-تریاس شمال‌خاوری بوکان، شمال-باختری ایران، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۳، ص ۴۵۹-۴۷۲.
- [۳] کلاگری، ع.ا.، عابدینی، ع.، مؤذن، م (۱۳۸۲) زمین‌شیمی و کانی‌شناسی افق بوکسیتی قپی (غرب میان‌دواب-آذربایجان غربی). مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱۱، ص ۱۶۷-۱۸۴.
- [۴] کلاگری، ع.ا.، عابدینی، ع.، مؤذن، م (۱۳۸۳) سنگ‌های دیابازی به عنوان منشأ عمده افق بوکسیتی پرمو-تریاس در قپی، غرب میان‌دواب، آذربایجان غربی، ایران. مجله علوم پایه دانشگاه تربیت معلم تهران، شماره ۲، ص ۳۸۷-۴۰۰.
- [۵] عابدینی، ع.، کلاگری، ع.ا.، حاج‌علیلو، ب (۱۳۸۷) ویژگی-های زمین‌شناسی-کانی‌شناسی و ژئوشیمی عناصر کمیاب در نهشته بوکسیت آجاجری. جنوب شاهین دژ، شمال غرب ایران. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲، ص ۳۴۱-۳۵۶.
- [۶] عابدینی، ع.، کلاگری، ع.ا (۱۳۸۸) بررسی فاکتورهای کنترل‌کننده توزیع عناصر جزئی (شامل عناصر نادر خاکی) در طی فرایندهای بوکسیتی شدن در کانی‌شسته، شرق بوکان، شمال غرب ایران. مجله علوم زمین، شماره ۷۲، ص ۱۴۵-۱۵۴.
- [۷] عابدینی، ع.، کلاگری، ع.ا (۱۳۸۹) ژئوشیمی کانسنگ‌های بوکسیتی-لاتریتی جوانمرد، شمال خاور بوکان، استان آذربایجان غربی. مجله زمین‌شناسی ایران، شماره ۱۵، ص ۲۹-۳۸.
- [۸] عابدینی، ع.، کلاگری، ع.ا (۱۳۸۸) کانی‌شناسی و خاستگاه نهشته‌های بوکسیتی پرمین در شمال سقز، استان کردستان. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۴، ص ۵۰۳-۵۱۸.
- [۹] عابدینی، ع.، کلاگری، ع.ا (۱۳۹۰) مطالعات ژئوشیمیایی نهشته‌های بوکسیتی-کانولینیتی پرمین در شمال سقز، استان کردستان. مجله علوم زمین، شماره ۷۹، ص ۳۳-۴۰.

- of formation and parental affinity. *International Journal of Earth Sciences*, 96, 887–902.
- [33] Braun, J.J., Pagel, M., Muller, J.P., Bilong, P., Michard, A., and Guillet, B (1990) Ce anomalies in lateritic profiles. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 781–795.
- [34] Nyakairu, G.W.A., Koeberl, C., and Kurzweil, H (2001) The Buwambo kaolin deposit in Central Uganda: Mineralogical and chemical composition, *Geochemical Journal*, 35, 45–256.
- [35] Compton, S.J., White, A.R., and Smith, M (2003) Rare earth elements behaviour in soils and salt pan sediments of a semiarid granitic terrain in the Western Cape, South Africa. *Chemical Geology*, 201, 239–255.
- [36] Yang, Z (1987) Clay minerals in the HEE-weathering crust, Longnan, Jiangxi. *Scientia Geologica Sinica*, 22, 1-70.
- [37] Mongelli, G (1997) Ce anomalies in the textural components of Upper Cretaceous karst bauxites from the Apulian carbonate platform (southern Italy). *Chemical Geology*, 140, 69–79.
- [38] Liu, X., Wang, Q., Deng, J., Zhang, Q., Sun, S., and Meng, J (2010) Mineralogical and geochemical investigations of the Dajia Salento-type bauxite deposits, western Guangxi, China: *Journal of Geochemical Exploration*, 105, 137–152.
- [39] Oh, N.H., and Richter, D.D (2005) Elemental translocation and loss from three highly weathered soil-bedrock profiles in the southeastern United States. *Geoderma*, 126, 5–25.
- [40] Wang, Q., Deng, J., Liu, X., Zhang, Q., Sun, S., Jiang, C., and Zhou, F (2010) Discovery of the REE minerals and its geological significance in the Quyang bauxite deposit, West Guangxi, China, *Journal of Asian Earth Sciences*, 39, 701–712.
- [41] Roy, P.D., and Smykatz-Kloss, W (2007) REE geochemistry of the recent playa sediments from the Thar Desert, India: An implication to playa sediment provenance. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 67, 55–68.
- [42] Costa, M.L. and Araujo, E.S (1996) Application of multi-element geochemistry in Au-phosphate-bearing lateritic crusts for identification of their parent rocks. *Journal of Geochemical Exploration*, 57, 257–272.
- [23] Gonzalez-Lopez, J.M.G., Bauluz, B., Fernández-Nieto, C., and Oliete, A.Y (2005) Factors controlling the trace element distribution in fine-grained rocks: The Albian kaolinite-rich deposits of the Oliete Basin (NE Spain). *Chemical Geology*, 214, 1–19.
- [24] Nesbitt, H.W., and Markovics, G (1997) Weathering of granodioritic crust, long-term storage of elements in weathering profiles, and petrogenesis of siliciclastic sediments, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, 1653–1670.
- [25] Duzgoren-Aydin, N.S., Aydin, A., and Malpas, J (2002) Re-assessment of chemical weathering indices: case study on pyroclastic rocks of Hong Kong. *Engineering Geology*, 63, 99–119.
- [26] Wimpenny, J., Gannoun, A., Burton, K.W., Widdowson, M., Jamed, R.H., and Gilason, S.R (2007) Rhenium and osmium isotope and elemental behaviour of India, *Earth and Planetary Science Letters*, 261, 239–258.
- [27] Taylor, S.R. and McLennan, S.M (1985) *The continental crust: Its composition and evolution*, Blackwell, Oxford, 312p.
- [28] Patino, L.C., Velbel, M.A., Price, J.R., and Wade, J.A (2003) Trace element mobility during spheroidal weathering of basalts and andesites in Hawaii and Guatemala. *Chemical Geology*, 202, 343–364.
- [29] Muzaffer-Karadağ M, Küpeli S, Arýk F, Ayhan A, Zedef V, and Döyem A (2009) Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortaş bauxite deposit (Seydişehir/Konya–Southern Turkey). *Chemie der Erde-Geochemistry* 69, 143–159.
- [30] Muchangos, A.C (2006) The mobility of rare earth and other elements in process of alteration of rhyolitic rocks to bentonite (Lebombo Volcanic Mountainous Chain, Mozambique). *Journal of Geochemical Exploration*, 88, 300–303.
- [31] Ma, J., Wei, G., Xu, Y., Long, W., Sun, and W (2007) Mobilization and re-distribution of major and trace elements during extreme weathering of basalt in Hainan Island, South China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, 3223–3237.
- [32] Mameli, P., Mongelli, G., and Dinelli, E (2007) Geological, geochemical and mineralogical features of some bauxite deposits from Nurra (western Sardinia, Italy): Insights on conditions