



## کانی‌شناسی و زمین‌شیمی عناصر خاکی نادر نهشتہ بوکسیت زرج سو، جنوب غرب رامسر، شمال ایران

محمود قاسمی<sup>۱</sup>، علی عابدینی<sup>۲\*</sup>، علی اصغر کلاگری<sup>۳</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۹۷/۲/۱۷، نسخه نهایی: ۹۷/۶/۷)

**چکیده:** نهشتہ بوکسیت زرج سو (جنوب‌غرب رامسر، استان مازندران، شمال ایران) به صورت لایه‌ها و یا عدسی‌های گسسته چینه‌سان در طول مرز بین سنگ‌های کربناتی سازند الیکا (تریاس) و شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک (ژوراسیک پیشین) گسترش یافته است. دیاسپور، کائولینیت، هماتیت، آناتاز و روتیل فازهای کانیایی اصلی در این کانسنگ‌ها هستند. از نظر بافتی، کانسنگ‌های بوکسیتی شامل بافت‌های آواری، دانه‌مدور و برشی هستند که اغلب با بعضی شکل‌های سخت‌دانه‌ای، اووئیدی و پیزوئیدی محدود همراه هستند. غلظت عناصر خاکی نادر (REE) در کانسنگ‌ها در یک نیمرخ انتخابی از نهشتہ در گستره ۱۴۹/۹۷-۳۴۸/۱۰ گرم در تن و نسبت بی‌هنجری‌های Ce/Ce\* و Eu/Eu\* به ترتیب در گستره ۶۱-۱۰۴ و ۶۴-۱۲۸ در تغییر هستند. بررسی‌ها نشان دادند که تغییر مقادیر این پارامترها توسط درجه روش هماتیت کنترل شده است. از محاسبه تغییرات جرم عناصر و بررسی روند تغییرات نسبت‌های عنصری در یک نیمرخ انتخابی از این نهشتہ آشکار شد که توزیع REE‌ها در کانسنگ‌ها تابعی از عواملی چون تغییر H p محلول‌های کانسنگ‌ساز، حضور سنگ بستر کربناتی به عنوان یک بافر فعال، رسوبگذاری همزمان با اکسیدهای فلزی و تثبیت در فازهای کانیایی نوشکل است. ضرایب همبستگی بین عناصر پیشنهاد می‌کنند که کانی‌هایی مانند هماتیت و فسفات‌های ثانویه میزبان‌های احتمالی لانتانیدها در کانسنگ‌های مورد بررسی هستند.

**واژه‌های کلیدی:** بوکسیت؛ عناصر خاکی نادر؛ کانی‌های میزبان؛ زرج سو؛ ایران.

داده است که بررسی تحرک و توزیع عناصر خاکی نادر [۶، ۷] و نقش کنترلی کانی‌ها در تثبیت لانتانیدها [۸، ۹] از موضوعات بسیار مهم برای بررسی‌های زمین‌شیمیایی کانسارهای بوکسیتی هستند.

نهشتہ‌های بوکسیتی در ایران بخشی از کمربند بوکسیت کارستی ایرانو-هیمالیا به شمار می‌روند [۲]. این نهشتہ‌ها در ایران از نظر توزیع جغرافیایی به چهار ناحیه (۱) شمال غرب ایران، (۲) سلسله جبال البرز، (۳) فلات ایران مرکزی و (۴) ارتفاعات زاگرس و از نظر زمانی به پنج مقطع زمانی (۱)

مقدمه  
بوکسیت یک ماده معدنی رسوبی غنی از مواد آلیتی است که در نتیجه هوازدگی سنگ‌های مختلف در شرایط آب و هوایی گرم و یا نیمه گرم با میزان بارش بیش از ۱۸۰۰ میلی‌متر در سال و دمای حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد، با توجه به ریخت-شناسی و زهکشی مناسب تشکیل می‌شود [۱]. طی سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی بر سیماهای کانی‌شناسی [۲، ۳] و زمین‌شیمیایی عناصر خاکی نادر [۴، ۵] ذخایر بوکسیتی در مناطق مختلف دنیا انجام شده است. نتایج این پژوهش‌ها نشان

\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۴ ۳۱۹۴۲۱۳۴، نمبر: ۳۲۷۷۶۷۰۷، پست الکترونیکی: abedini2020@yahoo.com

برخی از عناصر جزئی به همراه لانتانیدها در هر ۱۱ کانسنگ بوکسیتی جمع‌آوری شده از نیمرخ مورد بررسی، به ترتیب با استفاده از طیفسنجی انتشار اتمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-AES) با کد تجزیه‌ای ME-ICP06 و طیفسنجی (ICP-MS) با کد تجزیه‌ای جفت شده القایی (ICP-MS) با کد تجزیه‌ای جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) در آزمایشگاه شرکت ALS Chemex ME-MS81 در آزمایشگاه شرکت ALS Chemex ME-MS81 کشور کانادا اندازه‌گیری شدند. در اندازه‌گیری مقادیر عناصر حدود ۰/۵ گرم از هر نمونه با بورات لیتیم ترکیب و در اسید نیتریک رقیق شد. گستره آشکارسازی عناصر اصلی (به صورت اکسید) حدود ۰/۰۱ درصد وزنی و برای عناصر جزئی Y و Zr به ترتیب ۰/۰۱ و ۱ گرم در تن بوده است. عناصر خاکی نادر نیز در منطقه آشکارسازی بین ۰/۰۱ تا ۰/۵ گرم در تن اندازه‌گیری شده‌اند. مقادیر افت گرمایی (LOI) بوسیله تفاوت وزن نمونه‌ها پیش و پس از گرمادهی در  $1000^{\circ}\text{C}$  به مدت یک ساعت در آزمایشگاه یاد شده تعیین شدند.

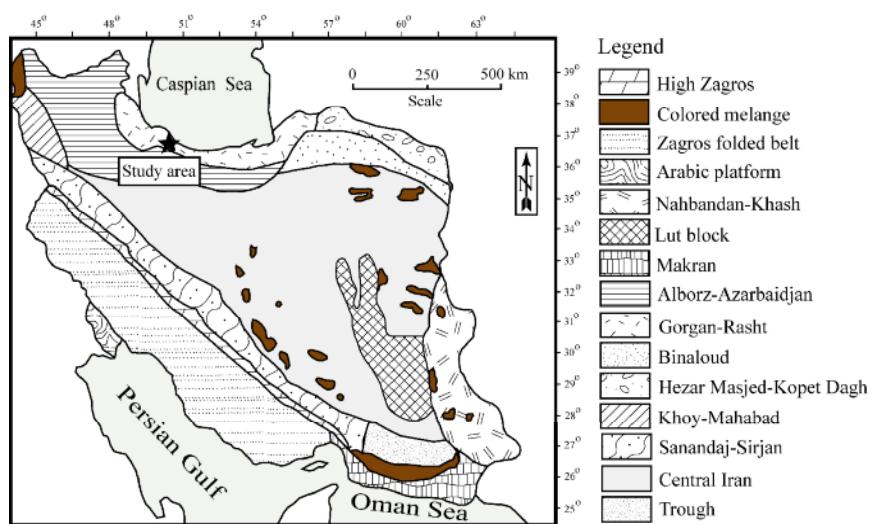
### زمین‌شناسی

منطقه زرچ سو بر اساس تقسیمات پهنه‌های زمین‌ساختی ایران بخشی از پهنه ساختاری گرگان-رشت محسوب می‌شود (شکل ۱). [۱۱]. سنگ‌های پالئوزویک پسین در منطقه زرچ سو به عنوان قدیمی‌ترین واحدهای سنگی رخمنون یافته، شامل سازندهای مبارک (کربونیفر)، دورود (پرمین پیشین)، و روتہ (پرمین پسین) هستند (شکل ۲). سازندهای مبارک از نظر سنگ‌شناسی، از سنگ آهک‌های خاکستری تیره تا سیاه رنگ با لایه‌بندی نازک تا توده‌ای تشکیل شده است. این سنگ آهک‌ها شامل رخساره‌های بیومیکرواسپارایت، بیواسپارایت و زیست آواری هستند. سازندهای دورود شامل شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های قرمز تا خاکستری رنگ بوده و دارای میان لایه‌هایی از سنگ آهک‌های ضخیم لایه است. مرز زیرین سازندهای دورود با سنگ آهک‌های سازنده مبارک گسله است. توالی رسوبی در این منطقه با تشکیلات سنگی وابسته به مژوزویک شامل سازندهای دولومیتی الیکا (تریاس)، سازندهای سنگی، شیلی و ماسه سنگی شمشک (ژوراسیک)، سازندهای آهکی تیزکوه (کرتاسه) و سنگ‌های آتش‌فشاری (بازانیت) کرتاسه ادامه یافته‌اند (شکل ۲). [۱۲].

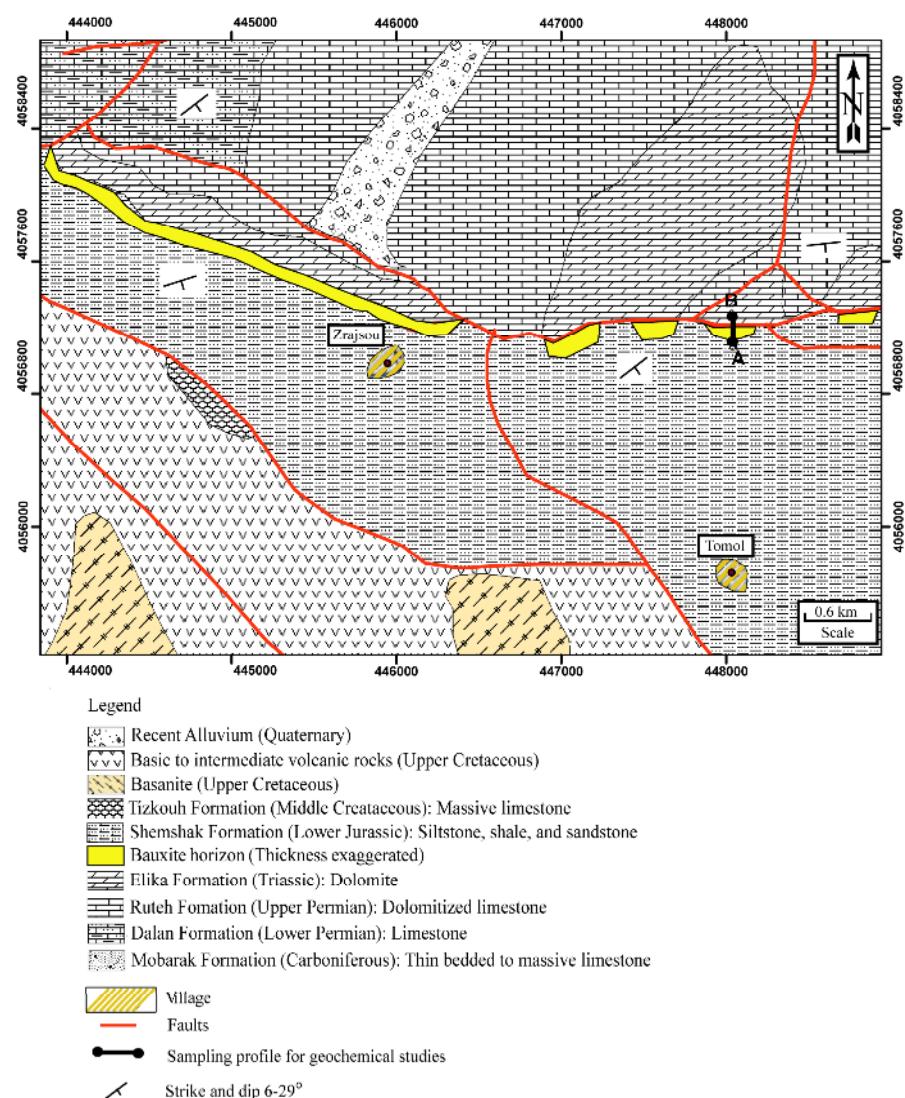
پرمین، (۲) پرمو-تریاس، (۳) تریاس، (۴) تریاس-ژوراسیک و (۵) کرتاسه میانی (تورونین-سانتونین) محدود می‌شوند [۲]. در شمال ایران، به ویژه در استان مازندران پتانسیل‌های خوبی از کانسنگ‌های بوکسیتی کارستی شناسایی شده است. بخش قابل ملاحظه‌ای از این کانسنگ‌ها در میان سنگ‌های کربناتی سازندهای سازنده الیکا (تریاس) و شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های سازنده شمشک (ژوراسیک پیشین) گسترش یافته‌اند [۱۰]. نهشته زرچ سو یکی از نهشته‌های بوکسیتی معمولی به سن تریاس-ژوراسیک است که کانسنگ‌های آن به شکل لایه‌ها و عدسی‌های گسسته چینه‌سان در میان سنگ‌های کربناتی سازنده الیکا و شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های سازنده شمشک محصور شده‌اند. این نهشته، در فاصله ۱۱۰ کیلومتری جنوب غربی رامسر در استان مازندران واقع است. با وجود بررسی‌های جامع بر بسیاری از ذخایر بوکسیتی تریاس-ژوراسیک در ایران، تاکنون سیماهای کانی‌شناسی و زمین‌شیمی عناصر خاکی نادر کانسنگ‌های این نهشته بررسی نشده است. در این پژوهش نقش کنترلی کانی‌ها و عوامل زمین‌شیمیایی موثر در توزیع و تحرک عناصر خاکی نادر و دلایل رخداد بی‌هنجری‌های Eu و Ce در کانسنگ‌های نهشته بوکسیت زرچ سو به طور جامع بررسی می‌شود.

### روش بررسی

برای انجام این پژوهش، پس از چندین مرحله پیمایش صحرایی، نیمرخی از یکی از عدسی‌های بوکسیتی به ضخامت ۱۵ متر انتخاب شد و تعداد ۱۱ نمونه از کانسنگ‌ها بر حسب تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی به ویژه رنگ با فواصل ۰/۵ تا ۱/۵ متر نمونه‌گیری گردیدند. ویژگی‌های میکروسکوپی این ۱۱ نمونه کانسنگی به ویژه بافت آنها با تهیه مقاطع نازک-صیقلی و بررسی آنها توسط میکروسکوپ دوکاره تعیین شدند. افزون بر این، فازهای کانیایی در ۸ نمونه از کانسنگ‌های نیمرخ مورد بررسی به روش پراش پرتو ایکس (XRD) توسط پراش سنج اینل (مدل ۳۰۰۰) ساخت کشور فرانسه با پرتوی CuK $\alpha$  در ۴۰ کیلو ولت و ۳۰ میلی آمپر در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور شناسایی شدند. مقادیر عناصر اصلی و



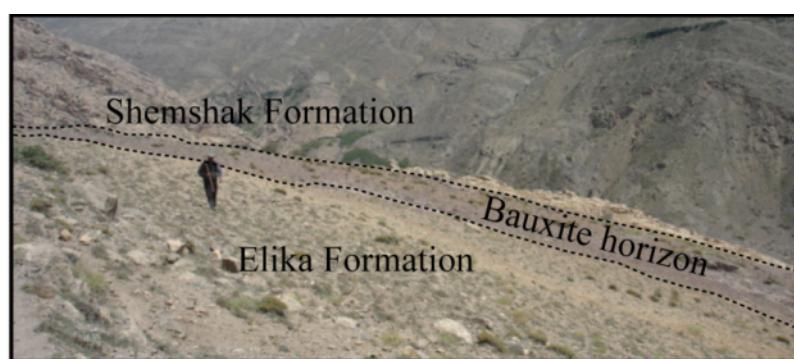
شکل ۱ جایگاه منطقه زرچ‌سو در نقشه پهنه‌های زمین‌ساختی ایران [۱۲].



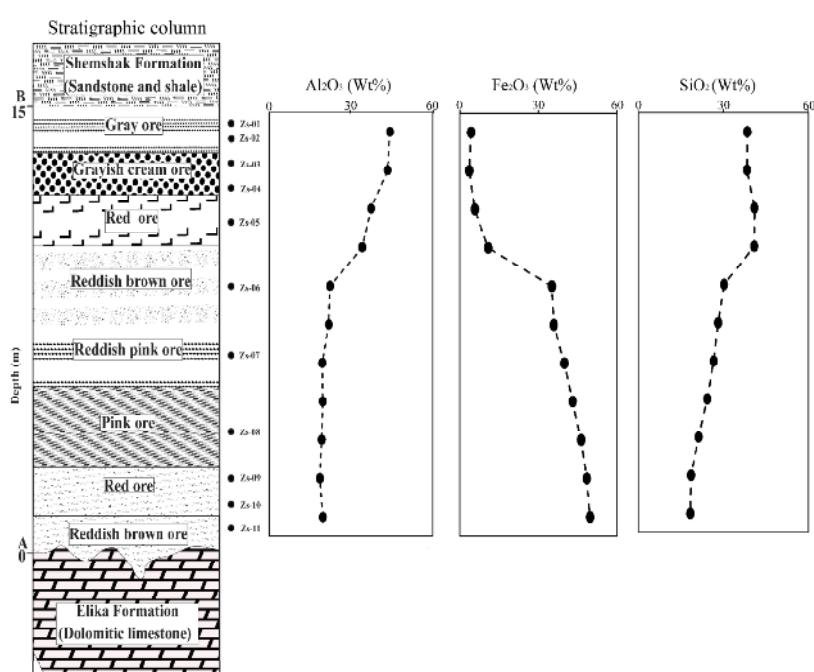
شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی.

قابل تشخیص است (شکل ۴). کانسنگ‌های کرم مایل به خاکستری حالت ترد و شکننده دارند و سطح شکست صدفی از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی آن‌هاست. کانسنگ‌های قهقهه‌ای مایل به قرمز و قرمز رنگ حالت توده‌ای دارند و شکل‌های نواری و پیزولیتی فراوان در آنها دیده می‌شود. لیمونیت‌زایی در سطح کانسنگ‌های صورتی مایل به قرمز و وجود شکل‌های اووئیدی و گرهکی در سطح کانسنگ‌های قرمز و قرمز قهقهه‌ای، تغییرات شدید رنگ در سطح کانسنگ‌های قرمز به دلیل تاثیر فرآیندهای اکسایش برونزاد و وجود آثاری از دارینه‌های منگنز در سطح کانسنگ‌های کرم مایل به خاکستری و خاکستری از مهمترین ویژگی‌های زمین‌شناسی نیمرخ مورد بررسی هستند.

بازدیدهای صحرایی نشان می‌دهند که در مرز بین سازندهای الیکا و شمشک رخمنونهای متعددی از کانسنگ‌های بوکسیتی وجود دارد (شکل ۳). این کانسنگ‌ها به صورت لایه‌ها و عدسی‌های گسسته چینه‌سان روی سنگ‌های دولومیتی سازنده الیکا گسترش یافته‌اند. روند کلی گسترش آنها شرقی- غربی است و در کل ضخامتی متغیر از ۳۵ تا ۲۰ متر دارند. با توجه به مشاهدات صحرایی و تغییر در ویژگی‌های فیزیکی چون رنگ در یک نیمرخ انتخابی از یک عدسی- بوکسیتی به ترتیب از پایین به بالا کانسنگ‌هایی به رنگ (۱) قهقهه‌ای مایل به قرمز، (۲) قرمز، (۳) صورتی، (۴) صورتی مایل به قرمز، (۵) قرمز، (۶) کرم مایل به خاکستری و (۷) خاکستری



شکل ۳ دورنمایی از افق بوکسیتی مورد بررسی در مرز بین سازنده الیکا و شمشک. (دید به سمت جنوب).



شکل ۴ نیمرخ مورد بررسی از نهشته بوکسیت زرچسو که محل نمونه‌های برداشت شده برای بررسی‌های کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی در آن با دایره‌های توپرنشان داده شده است، به همراه روند تغییرات اکسیدهای آلومینیوم، آهن و سیلیسیوم در نیمرخ مورد بررسی است.

## توزیع عناصر اصلی، نوع کانسنگ و شدت لاتریت‌زایی

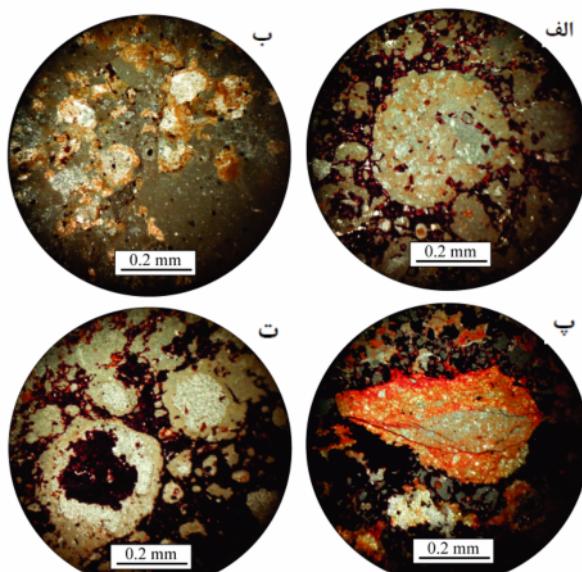
نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر اصلی در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس این نتایج،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (۴۴/۳۳٪ درصد وزنی)،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ۴۹/۷۴٪ (درصد وزنی)،  $\text{SiO}_2$  ۳۶۵-۴۹٪ (درصد وزنی)،  $\text{TiO}_2$  ۲/۳۸-۳/۶۱٪ (درصد وزنی) فراوان‌ترین اکسیدهای تشکیل دهنده کانسنگ‌ها هستند. سایر اکسیدها شامل  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{BaO}$  و  $\text{P}_2\text{O}_5$  در مقادیر کم حضور دارند و در مجموع ۱۰٪ تا ۲/۴۵٪ درصد وزنی کانسنگ‌های بوکسیتی را تشکیل می‌دهند. روند تغییرات مقادیر  $\text{SiO}_2$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در نیمرخ مورد بررسی با نزدیک شدن به سنگ بستر کربناتی کاهشی و روند تغییرات مقدار  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  به سمت سنگ بستر کربناتی افزایشی است (شکل ۴). استفاده از نمودار سه متغیره  $\text{SiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  [۱۴] نشان می‌دهد که کانسنگ‌های نهشته زرچ‌سو ترکیبی در گستره فریت، لاتریت، بوکسیت کائولینیتی و کائولینیت بوکسیتی دارند (شکل ۷ الف). همچنین، رسم مقادیر اکسیدهای اصلی در نمودار سه متغیره  $\text{SiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  [۱۵] نشان می‌دهد که نهشته مورد بررسی طی تکوین دستخوش شرایط لاتریت‌زایی متوسط و قوی شده به طوریکه طی گذر نهشته از شرایط لاتریت‌زایی متوسط به شرایط لاتریت‌زایی قوی جدایش Fe از Al و غنی‌شدگی نسبی رخ داده است (شکل ۷ ب).

## نتایج و بحث

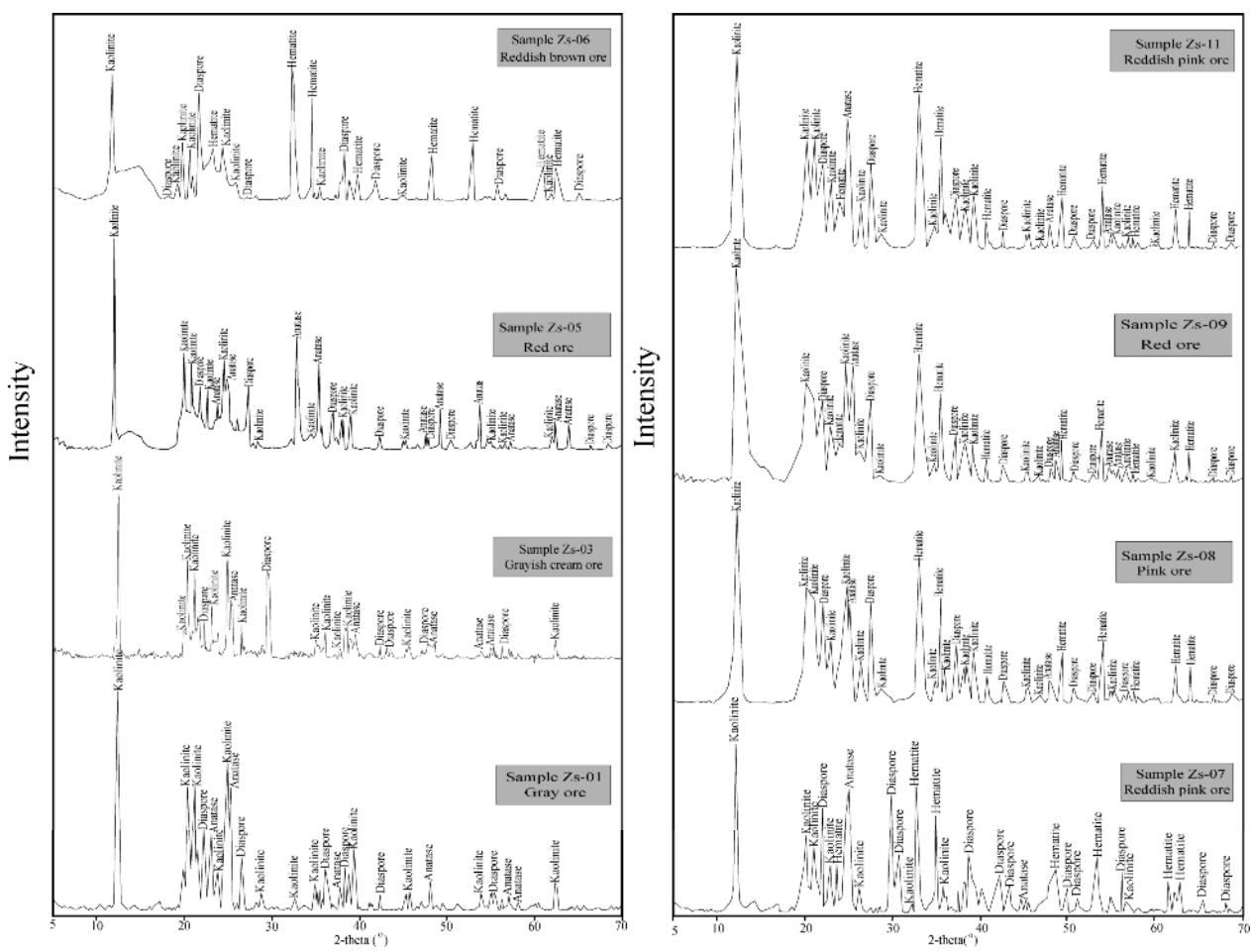
## سنگنگاری و کانی‌شناسی

بررسی‌های سنگنگاری نشان می‌دهند که کانسنگ‌های نیمرخ مورد بررسی در بردارنده شکل‌های کرمه‌سان، آواری (قطعات تخریبی) سخت‌دانه‌ای و دانه مدور هستند (شکل‌های ۵ الف تا ت). توزیع این اجزای بافت ساز موجب تشکیل بافت‌های شاخص آواری، دانه‌مدور و برشی در کانسنگ‌ها شده‌اند. از مهمترین ویژگی‌های میکروسکوپی کانسنگ‌های مورد بررسی توزیع محدود شکل‌های اووئیدی و پیزوئیدی در یک زمینه ریزدانه است. وجود بافت‌های یاد شده بیانگر نابر جازا تشکیل شدن نهشته بوکسیت زرچ‌سو است [۱۳].

طیف‌های XRD نشان می‌دهند که نهشته بوکسیت زرچ‌سو دارای کانی‌شناسی به نسبت ساده‌ای بوده و از کانی‌های دیاسپور، هماتیت، کائولینیت و آناتاز در مقادیر سنگ‌ساز تشکیل شده است (شکل ۶). از نکات قابل توجه در کانی‌شناسی کانسنگ‌های این نهشته می‌توان به فروزنی کائولینیت نسبت به دیاسپور اشاره نمود. این فروزنی آشکارا نشان می‌دهد که این نهشته از نظر درجه تکامل کانیایی به مرحله تشکیل رس‌های بوکسیتی رسیده است. افزون بر این، حضور فازهای سیلیکاتی فراوان (کائولینیت) در کانسنگ‌ها آشکار می‌کند که این نهشته از نظر تکوینی نارس بوده و طی تکامل خود از زهکشی خوبی برخوردار نبوده است.



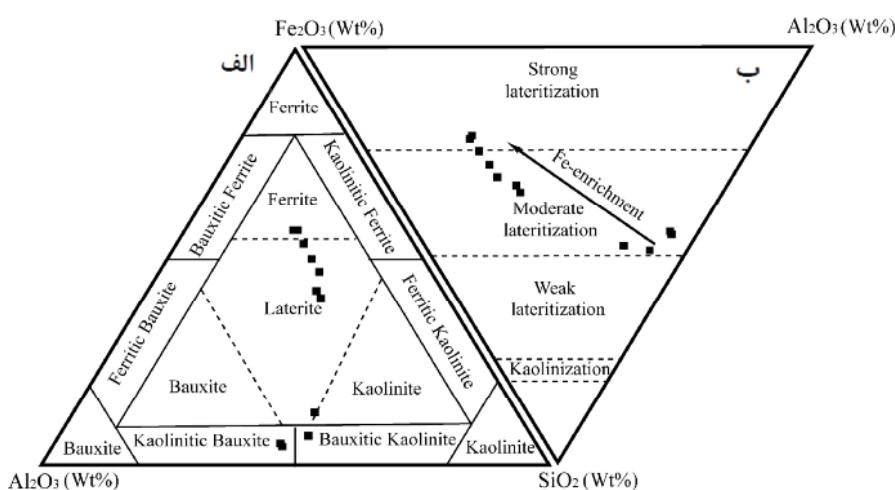
شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از شکل‌های کرم‌سان (الف)، آواری (قطعات تخریبی) (ب)، سخت‌دانه‌ای (پ)، و دانه مدور (ت) در کانسنگ‌های بوکسیتی. همه تصاویر در نور قطبیده متقطع (XPL) تهیه شده‌اند.



شکل ۶ الگوهای XRD کانسنگ‌های بوکسیتی نیمرخ مورد بررسی.

جدول ۱ نتایج تجزیه‌های شیمیایی کانسنگ‌های بوکسیتی نیمرخ مورد بررسی از نهشته زرچ سو به روش ICP-MS و ICP-AES

	Zs-01	Zs-02	Zs-03	Zs-04	Zs-05	Zs-06	Zs-07	Zs-08	Zs-09	Zs-10	Zs-11
SiO <sub>2</sub> (wt%)	۲۸.۴۱	۲۸.۲۲	۴.۹۱	۴.۸۳	۳.۰۲۲	۲۸.۱۱	۲۶.۵۵	۲۴.۲۵	۲۱.۲۲	۱۸.۵۴	۱۸.۲۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴۴.۳۷	۴۴.۴۴	۳۷.۹۱	۳۶.۱۱	۲۲.۲۲	۲۱.۸۲	۱۹.۴۴	۱۹.۶۱	۱۹.۲۲	۱۸.۵۵	۱۹.۷۴
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴.۳۱	۴.۸۵	۵.۷۴	۱.۸۱	۳۵.۱۴	۳۵.۸۸	۳۹.۹۴	۴۲.۱۰	۴۶.۳۴	۴۸.۰۱	۴۹.۷۴
CaO	۰.۱۴	۰.۱۹	۰.۲۲	۰.۲۱	۰.۱۲	۰.۱۸	۰.۲۱	۰.۱۷	۰.۱۸	۰.۱۹	۰.۲۳
MgO	۰.۲۲	۰.۲۰	۰.۱۸	۰.۲۰	۰.۱۴	۰.۱۸	۰.۱۴	۰.۱۸	۰.۱۳	۰.۱۶	۰.۱۳
Na <sub>2</sub> O	۰.۱۹	۰.۱۶	۰.۱۲	۰.۲۰	۰.۱۶	۰.۱۶	۰.۱۴	۰.۱۲	۰.۱۱	۰.۱۲	۰.۱۷
K <sub>2</sub> O	۱.۲۷	۱.۲۸	۱.۲۶	۱.۰۶	۰.۶۰	۰.۹۱	۰.۵۳	۰.۴۹	۰.۴۱	۰.۳۶	۰.۲۵
TiO <sub>2</sub>	۲.۶۱	۲.۵۱	۲.۲۲	۲.۴۲	۲.۶۴	۲.۹۵	۲.۲۸	۲.۵۹	۲.۷۴	۲.۵۶	۲.۴۵
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۷	۰.۰۸
SrO	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱
BaO	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱
MnO	۰.۰۴	۰.۰۶	۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۰۹	۰.۰۷	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۴
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰.۱۳	۰.۱۲	۰.۰۹	۰.۱۴	۰.۲۱	۰.۲۲	۰.۱۹	۰.۲۳	۰.۲۱	۰.۲۱	۰.۲۲
LOI	۷.۱۵	۸.۹۷	۱.۰۶	۸.۸۷	۸.۲۱	۸.۷۸	۱.۰۳۳	۹.۱۰	۹.۲۵	۱.۰۱	۸.۸۱
مجموع	۹۹.۹۸	۹۹.۹۶	۹۹.۸۷	۹۹.۹۸	۹۹.۹۵	۹۹.۹۹	۹۹.۹۹	۹۹.۹۹	۹۹.۹۸	۹۹.۹۸	۹۹.۹۹
Y (ppm)	۴۳.۱	۴۱.۰	۴۸.۶	۵۷.۰	۵۵.۰	۵۲.۴	۵۹.۶	۵۰.۱	۵۲.۳	۵۸.۷	۵۱.۹
Zr	۳۹۲	۴۱۰	۳۵۵	۴۰۱	۳۱۰	۲۲۵	۲۸۵	۳۰۷	۲۲۲	۲۹۹	۲۵۰
La (ppm)	۴۵۲۰	۳۸۷۰	۳۵۱۰	۲۴۴۰	۷۰۳۰	۶۸۷۰	۶۵۴۰	۶۲۲۰	۶۴۷۰	۶۸۲۰	۶۴۲۰
Ce	۵۸۴۰	۴۸۶۰	۵۴۳۰	۶۸۲۰	۱۳۵۶۰	۱۰۲۳۰	۱۴۲۳۰	۱۰۵۰	۱۰۴۵۰	۱۰۴۳۰	۱۰۲۲۰
Pr	۹.۲۵	۶.۰۵	۵.۷۹	۹.۶۱	۱۴.۸۱	۱۱.۰	۱۳.۹۶	۱۳.۴۴	۱۲.۷۵	۱۲.۷۵	۱۲.۵۴
Nd	۳۸۴۰	۴۲۳۰	۲۷.۶	۴۴.۴۰	۵۴.۸۰	۶۴.۳۰	۵۲.۴۰	۵۴.۳۰	۴۹.۲۰	۴۸.۶۰	۴۶.۵۰
Sm	۸.۹۳	۶.۶۶	۵.۴۳	۸.۸۸	۱.۷۶	۱۳.۴۶	۱.۶۶	۱.۶۱	۱۱.۷۷	۱۲.۹۹	۱۴.۰۱
Eu	۲.۳۴	۱.۷۹	۱.۳۶	۲.۱۷	۳.۰۸	۴.۱۰	۳.۱۸	۳.۳۰	۴.۰۲	۴.۷۳	۵.۰۶
Gd	۷.۰۸	۵.۷۱	۵.۷۳	۷.۲۵	۹.۹۸	۱۱.۶۲	۱.۰۶	۱۱.۸۳	۱۴.۱۷	۱۶.۰۰	۱۹.۰۷
Tb	۰.۷۲	۰.۷۷	۰.۷۸	۱.۲۲	۱.۴۵	۲.۲۷	۱.۵۱	۱.۶۰	۱.۴۷	۱.۴۵	۱.۰۲
Dy	۶.۷۸	۷.۱۸	۵.۲۱	۱.۰۶	۷.۰۵	۷.۶	۸.۱۶	۹.۲۹	۸.۷۷	۷.۳۶	۷.۶
Ho	۰.۹۵	۰.۹۳	۱.۰۵	۱.۰۵	۱.۴۶	۲.۱۵	۱.۵۰	۱.۵۷	۱.۶۸	۱.۷۴	۱.۹۱
Er	۴.۹۱	۴.۲۱	۳.۰۲	۶.۱۳	۵	۳.۸۶	۴.۵۴	۴.۳۰	۴.۲۲	۴.۵۴	۴.۲۰
Tm	۰.۵۴	۰.۴۶	۰.۵۲	۰.۵۲	۰.۶۲	۰.۴۲	۰.۵۵	۰.۵۲	۰.۴۶	۰.۶۰	۰.۸۳
Yb	۳۷۸	۳۹۸	۳۲۲	۳.۰۷	۳۷۰	۵۰۰	۳۹۲	۴.۹	۴.۲۹	۴.۵۰	۴.۸۳
Lu	۰.۵۴	۰.۴۹	۰.۴۸	۰.۴۵	۰.۵۵	۰.۵۰	۰.۵۹	۰.۵۷	۰.۵۵	۰.۵۰	۰.۵۰



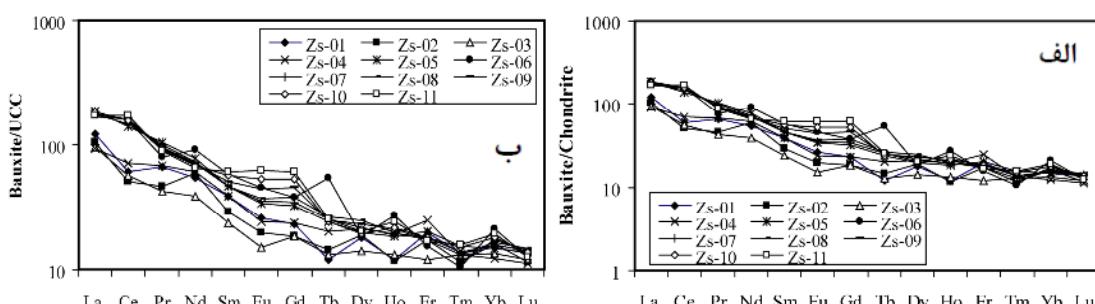
شکل ۷ جایگاه نمونه‌های مورد بررسی در (الف) نمودار سه متغیره  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$  [۱۴] که بر اساس آن فریت، لاتریت، بوکسیت کائولینیتی و کائولینیت بوکسیتی چهار نوع کانسنگ حاضر در نهشته بوکسیت زرچ‌سو هستند و (ب) نمودار سه متغیره  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$  [۱۵] که نشان از شدت لاتریت‌زایی متوسط تا قوی طی تکوین کانسنگ‌ها دارد.

کانسنگ‌ها (شکل ۸ الف) نشان از غنی‌شدگی LaREEs<sub>La-Gd</sub> ها HREEs<sub>Tb-Lu</sub> نسبت به کندریت دارد. براساس این الگو، میزان غنی‌شدگی LaREEs<sub>La-Gd</sub> ها HREEs<sub>Tb-Lu</sub> نسبت به LREEs<sub>Tb-Lu</sub> بسیار شدیدتر است. برای کانسنگ‌ها طی بهنجار کردن مقادیر لانتانیدها نسبت به ترکیب متوسط سنگ‌های پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) [۱۷] الگوهای مشابهی دیده می‌شود (شکل ۸ ب).

**الگوی توزیع REE‌ها در کانسنگ‌ها و دلایل عنصری مقایر REE‌ها در کانسنگ‌های بوکسیتی در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس این نتایج، مقدار REE‌ها در کانسنگ‌ها در گستره ۱۴۹/۹۷ تا ۳۴۸/۱۰ ppm متغیر است. در این بین، گستره تغییرات عناصر خاکی نادر سبک (LREE<sub>La-Gd</sub>) شدید ۳۴۶/۲۷-۳۱۳/۹۱ ppm و برای عناصر خاکی نادر سنگین (HREE<sub>Tb-Lu</sub>) ضعیف ۲۰/۲۱-۴۰/۲۶ ppm است (جدول ۲). الگوی توزیع REE‌های بهنجار شده به کندریت [۱۶] برای**

جدول ۲ نسبت‌های عنصری و مقادیر بی‌هنجری Eu و Ce در کانسنگ‌های بوکسیت زرچ‌سو.

	Zs-01	Zs-02	Zs-03	Zs-04	Zs-05	Zs-06	Zs-07	Zs-08	Zs-09	Zs-10	Zs-11
Eu/Eu*	۰.۹۰	۰.۸۹	۰.۷۵	۰.۸۳	۰.۹۱	۱.۰۰	۰.۹۱	۰.۹۰	۰.۹۵	۰.۹۹	۱.۰۴
Ce/Ce*	۰.۶۴	۰.۶۶	۰.۸۲	۰.۸۷	۰.۹۵	۱.۱۹	۱.۰۶	۱.۲۲	۱.۱۹	۱.۱۴	۱.۲۸
La/Y	۱.۰۵	۰.۹۳	۰.۷۲	۰.۶۵	۱.۲۷	۱.۳۱	۱.۱۰	۰.۹۶	۱.۰۴	۱.۱۶	۱.۰۴
REE <sub>Tb-Lu</sub>	۱۸۸/۰۲	۱۶۸/۵	۱۴۹/۹۷	۱۹۴/۷۲	۳۱۹/۶۶	۳۴۸/۱۰	۳۱۹/۲۵	۲۳۹/۱۴	۳۲۲/۷۸	۳۳۶/۹۱	۳۴۶/۲۷
LREE <sub>La-Eu</sub>	۱۶۲/۲۲	۱۴۴/۶۰	۱۲۹/۷۶	۱۶۶/۴۶	۲۸۹/۳۵	۳۱۳/۹۱	۲۸۷/۸۰	۲۹۵/۳۵	۲۹۷/۰۵	۲۹۹/۶۷	۳۰۶/۰۱
HREE <sub>Gd-Lu</sub>	۲۵/۳۰	۲۳/۹۰	۲۰/۲۱	۲۸/۲۶	۳۰/۳۱	۲۴/۱۹	۳۱/۴۵	۳۳/۷۹	۳۵/۲۳	۳۷/۲۴	۴۰/۲۶
(La/Yb) <sub>N</sub>	۸/۰۸	۶/۵۷	۷/۱۴	۷/۵۳	۱۲/۸۴	۸/۷۶	۱۱/۲۷	۱۰/۲۹	۱۰/۱۹	۱۰/۱۴	۸/۹۸
(LREE/HREE) <sub>N</sub>	۳/۶۱	۳/۴۰	۳/۶۱	۳/۲۱	۵/۳۶	۵/۱۶	۵/۱۴	۴/۹۱	۴/۶۷	۴/۵۲	۴/۲۷



شکل ۸ الگوی توزیع عناصر خاکی نادر بهنجار شده به (الف) کندریت [۱۶] (ب) برای نمونه‌های بوکسیت زرچ‌سو.

شده است. از سوی دیگر، افت سطح سفره آب‌های زیرزمینی سبب افزایش زمان واکنش آب‌های جوی فروروی اسیدی با کانسنگ‌ها و موجب شستشوی بخشی LREE‌ها شده است. شرایط اسیدی آب‌های جوی فرورو می‌تواند به واسطه انحلال اسید کربنیک و اسید هومیک و یا به دلیل شستشوی کانی‌های سولفیدی سنگ‌های پوشش نهشته (شیل‌ها) فراهم شود. شستشوی بخشی LREE‌ها سبب کاهش مقادیر نسبت‌های LREE/HREE<sub>N</sub> در کانسنگ‌های مورد بررسی شده است. با توجه به مطالب بیان شده به نظر می‌رسد که طی تشکیل نهشته بوکسیت زرچ سو به دلیل نوسانات شدید سطح سفره آب‌های زیرزمینی، شرایط لازم برای جدایش LREE‌ها از HREE‌ها در نیمرخ مورد بررسی به صورت ناموزون فراهم شده است. تغییرات نسبت Y/La نیز به نوبه خود نقش مهم تغییرات pH محلول‌های هوازده کننده در تمرکز REE‌ها در کانسنگ‌های بوکسیتی را آشکار می‌کند. محاسبات انجام شده نشان می‌دهد که نسبت Y/La در کانسنگ‌ها در گستره ۰,۶۵ تا ۱,۳۱ متغیر است (جدول ۲). تغییرات این نسبت نیز در نیمرخ قوی بین Y/La و LREE/HREE<sub>N</sub> (R = ۰,۷۴) (جدول ۳) به نوعی نشان دهنده نقش مهم سنگ‌های بستر کربناتی در افزایش pH محلول‌های کانسنگ‌ساز است.

بررسی‌های انجام شده بر ذخایر بوکسیتی دنیا نشان داده است که مقادیر نسبت‌های (La/Yb)<sub>N</sub> و (La/YHREE)<sub>N</sub> در کانسنگ‌های بوکسیتی با بالا رفتن pH محیط تشکیل افزایش می‌یابد [۱۸]. از طرفی، نسبت Y/La نیز به عنوان یک شاخص زمین‌شیمیایی مناسب برای تعیین مقدار pH محیط تشکیل بوکسیت‌ها معروفی شده است. مقادیر کمتر و بیشتر از ۱ برای این نسبت به ترتیب اشاره به محیط تشکیل اسیدی و قلیایی برای کانسنگ‌های بوکسیتی دارد [۱۹]. گستره تغییرات مقادیر (La/Yb)<sub>N</sub> و (La/YHREE)<sub>N</sub> در کانسنگ‌های نهشته زرچ سو در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس این داده‌ها، نسبت‌های (La/Yb)<sub>N</sub> و (La/YHREE)<sub>N</sub> در نیمرخ بوکسیتی مورد بررسی به ترتیب در گستره ۶,۵۷ تا ۱۲,۸۴ و ۳,۳۱ تا ۵,۱۴ در تغییر است. این مقادیر در نیمرخ مورد بررسی به صورت ناموزونی روندهای صعودی و یا نزولی نشان می‌دهند (جدول ۲). این رفتار غیر عادی در ذخایر بوکسیتی دیده می‌شود که طی تشکیل و گسترش خود با نوسانات شدید سطح سفره آب‌های زیرزمینی همراه شده‌اند [۶]. از آنجاکه تغییرات نسبت‌های یاد شده وابسته به pH محیط تشکیل است، از این رو طی بالا آمدن سطح سفره آب‌های زیرزمینی به واسطه انحلال سنگ‌های بستر کربناتی الیکا مقدار pH محلول‌های مسؤول هوازدگی افزایش یافته و شرایط برای تهدش است LREE‌ها فراهم شده است. به نظر می‌رسد که ترسیب LREE‌ها و تشکیل همبافت‌های پایدار HREE سبب افزایش نسبت‌های (La/Yb)<sub>N</sub> و (LREE/HREEH)<sub>N</sub> در کانسنگ‌ها

جدول ۳ ضرایب همبستگی پیرسون بین عناصر و نسبت‌های عنصری در کانسنگ‌های بوکسیتی زرچ سو.

	Si	Al	Fe	Ti	Mn	P	Zr	Eu/Eu*	Ce/Ce*	La/Y	REE	LREE	HREE	(LaYb <sub>N</sub> )	(LREE/HREEH) <sub>N</sub>
Si	۱,۰۰														
Al	-۰,۸۸	۱,۰۰													
Fe	-۰,۹۷	۰,۹۷	۱,۰۰												
Ti	۰,۸۷	۰,۹۴	-۰,۹۳	۱,۰۰											
Mn	۰,۳۰	۰,۱۰	-۰,۲۱	۰,۱۹	۱,۰۰										
P	-۰,۸۸	-۰,۹۱	۰,۹۴	-۰,۸۲	-۰,۱۸	۱,۰۰									
Zr	۰,۸۴	۰,۹۱	-۰,۹۰	۰,۹۸	۰,۱۶	-۰,۷۷	۱,۰۰								
Eu/Eu*	-۰,۸۱	-۰,۶۱	۰,۷۴	-۰,۵۴	-۰,۲۹	۰,۷۸	-۰,۵۱	۱,۰۰							
Ce/Ce*	-۰,۸۸	-۰,۹۴	۰,۹۴	۰,۸۵	-۰,۱۸	۰,۸۸	-۰,۸۲	۰,۶۵	۱,۰۰						
La/Y	-۰,۵۷	-۰,۵۲	۰,۵۸	-۰,۵۰	۰,۰۶	۰,۶۸	-۰,۵۴	۰,۷۳	۰,۴۰	۱,۰۰					
REE	-۰,۹۲	-۰,۹۵	۰,۹۷	-۰,۸۸	-۰,۱۷	۰,۹۸	-۰,۸۵	۰,۷۹	۰,۹۰	۰,۷۲	۱,۰۰				
LREE	-۰,۹۱	-۰,۹۵	۰,۹۶	-۰,۸۸	-۰,۱۵	۰,۹۸	-۰,۸۵	۰,۷۸	۰,۹۰	۰,۷۳	۰,۹۹	۱,۰۰			
HREE	-۰,۹۳	-۰,۸۶	۰,۹۳	-۰,۷۷	-۰,۳۱	۰,۹۱	-۰,۷۱	۰,۸۷	۰,۸۹	۰,۵۲	۰,۹۱	۰,۹۰	۱,۰۰		
(LaYb <sub>N</sub> )	-۰,۶۱	-۰,۷۶	۰,۷۲	-۰,۷۹	۰,۰۲	۰,۷۳	-۰,۷۸	۰,۳۷	۰,۵۲	۰,۶۴	۰,۷۵	۰,۷۶	۰,۵۳	۱,۰۰	
(LREE/HREEH) <sub>N</sub>	-۰,۶۷	-۰,۸۳	۰,۷۸	-۰,۸۰	۰,۰۴	۰,۸۳	-۰,۸۲	۰,۵۰	۰,۶۹	۰,۷۸	۰,۸۷	۰,۸۸	۰,۵۹	۰,۸۷	۱,۰۰

شده [۱۶]

$$\text{Ce/Ce}^* = \text{Ce}_N / [(\text{La}_N + \text{Pr}_N)]^{0.5}$$

$$\text{Eu/Eu}^* = \text{Eu}_N / [(\text{Sm}_N \times \text{Gd}_N)]^{0.5}$$

در این روابط، N بیانگر بهنجار شدن مقادیر عناصر La، Sm، و Gd به کندریت [۱۶] است. محاسبات انجام شده آشکار می‌کند که مقادیر Ce/Ce\* و Eu/Eu\* در کانسنگ‌های بوکسیتی زرچ سو به ترتیب در گستره ۰۶۱-۱۰۴ و ۱۲۸-۰۶۴ متغیر است. همبستگی‌های مثبت قوی REE-Eu/Eu\* (R = ۰.۹۴) و REE-Ce/Ce\* (R = ۰.۷۴) (شکل ۱۰ الف) و (شکل ۱۰ ب) پیشنهاد می‌کنند که تغییرات بی‌هنجاری‌های Eu و Ce و توسط همان سازوکارهایی انجام شده‌اند که توزیع، تحرک و مرکز REE‌ها را در کانسنگ‌ها در کنترل خود داشته‌اند. همبستگی‌های منفی قوی SiO<sub>2</sub>-Eu/Eu\* (شکل ۱۱ الف)، منفی متوسط Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Eu/Eu\* (R = -۰.۸۱) و Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Eu/Eu\* (R = -۰.۶۱) (شکل ۱۱ ب) و مثبت قوی فرآیند رویش توسط همایتیت نسبت به عملکرد فرآیند جذب سطحی توسط کائولینیت در مرکز Eu و در پی آن رخداد بی‌هنجاری Eu، د. کانسنگ‌ها ب حسته‌ت بوده است.

از آنجاکه زیرکونیوم مقاومترین و پایدارترین عنصر طبیعت در برابر فرآیندهای هوازدگی است [۲۲]، از این رو همبستگی منفی قوی بین Zr-Ce/Ce\* ( $R = -0,82$ ) (شکل ۱۲ الف) در بین نمونه‌های مورد بررسی بیانگر این نکته کلیدی است که بی‌هنجری Ce ناشی از سنگ مادر نبوده است و می‌تواند تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی محیط تشکیل نهشته بوکسیت زرچ سو را نشان دهد. وجود تنوع رنگی (قهوهای مایل به قرمز، قرمز، صورتی، صورتی مایل به قرمز، قرمز، کرم مایل به خاکستری و خاکستری) در کانسنسنگ‌های بوکسیتی در تأیید این نظر است. همبستگی‌های منفی قوی SiO<sub>2</sub>-Ce/Ce\* ( $R = -0,88$ ) (شکل ۱۲ ب)، منفی قوی Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ce/Ce\* ( $R = -0,97$ ) (شکل ۱۲ ب)، منفی قوی Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ce/Ce\* ( $R = +0,94$ ) (شکل ۱۲ پ) و مثبت قوی Eu-Toswest روبش دو عنصر Eu کانسنسنگ‌ها نیز مانند بی‌هنجری Eu توسط هماقیت کنترل شده است [۲۳] به عبارت دیگر، و Ce توسط هماقیت کنترل شده است [۲۳] به عبارت دیگر، به نظر می‌رسد که رخداد و روند تغییرات بی‌هنجری‌های Eu و Ce در کانسنسنگ‌های مورد بررسی در ارتباط با رسوبگذاری همزمان این دو عنصر توسط اکسیدهای آهن و عملکرد سنگ پستر کربناتی به عنوان یک سد زمین‌شیمیایی است [۲۴، ۲۵].

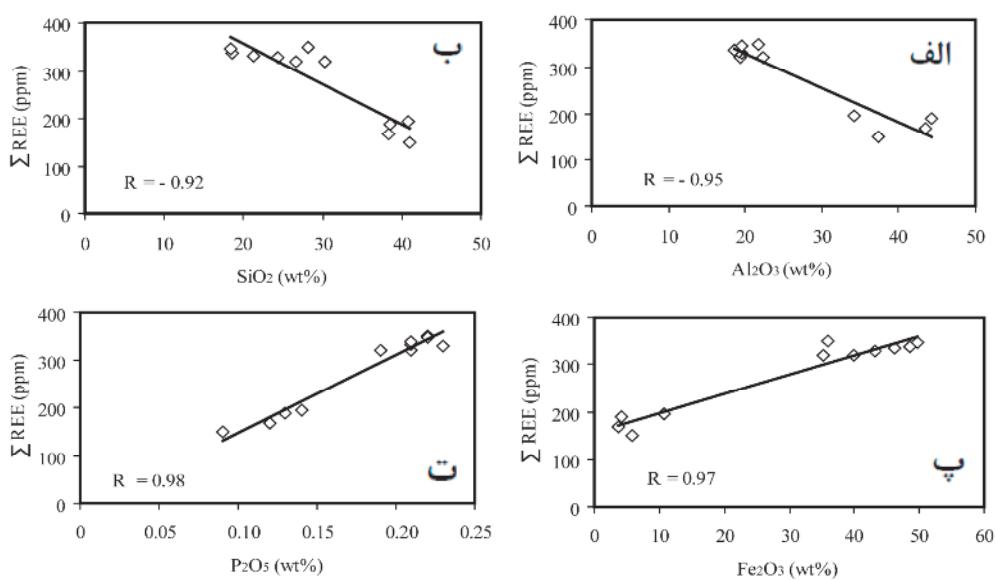
### نقش کانیایی، بر توزیع و تمیز REE‌ها

تاکنون فازهای کانیایی متعددی به عنوان میزبان‌های اصلی REE‌ها در ذخایر هوازده معرفی شده‌اند. از جمله این فازهای کانیایی می‌توان به رس‌ها، فسفات‌های ثانویه، اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز، و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن اشاره نمود [۲۱، ۲۰]. در این پژوهش، به منظور تعیین نقش فازهای کانیایی در تمرکز لانتانیدها در کانسنگ‌های بوکسیتی مورد بررسی ضرایب همبستگی پیرسون بین عناصر و نسبت-های عنصری محاسبه شد (جدول ۳). ضرایب همبستگی منفی قوی بین REE‌ها با  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $R = -0.95$ ) (شکل ۹ الف) و با  $\text{SiO}_2$  ( $R = -0.92$ ) (شکل ۹ ب) نشان می‌دهد که کانی‌های رسی (کائولینیت) نقشی در تمرکز لانتانیدها در کانسنگ‌ها نداشته‌اند. نقش اکسیدهای منگنز در تمرکز لانتانیدها در کانسنگ‌های بوکسیتی با توجه به همبستگی منفی بین REE‌ها با  $\text{MnO}$  ( $R = -0.17$ ) به طور قطعی منتفی است.

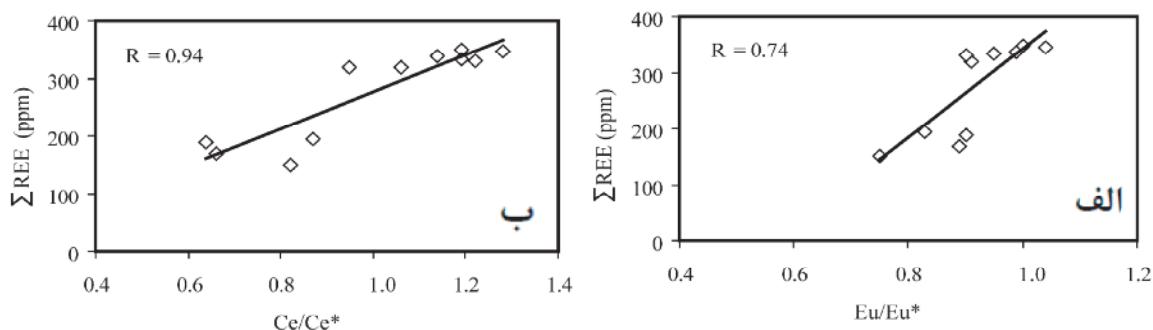
افزون بر این، همبستگی‌های قوی و مثبت بین REEها با  $(R = 0.97)$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (شکل ۹ پ) و با  $(R = 0.98)$   $\text{P}_2\text{O}_5$  (شکل ۹ ت) اشاره به آن دارند که کانی‌های هماتیت و فسفات-های ثانویه نقش کنترلی مهمی در توزیع REEها در کانسنسنگ-های بوكسیتی زرچ سو داشته‌اند. پراکندگی نمونه‌ها در دو موقعیت مجزاء در این نمودارهای دو متغیره بیانگر تاثیر متفاوت آب‌های فروروی اسیدی (با pH پایین) و آب‌های زیرزمینی (با pH بالا) بر کانسنسنگ‌های نیمرخ مورد بررسی است. با توجه به اینکه کائولینیت و هماتیت کانی‌های اصلی کانسنسنگ‌ها هستند و با در نظر گرفتن وجود همبستگی‌های REE با Fe و منفی Si و Al، می‌توان در نظر گرفت که درجه جدایش هماتیت از کانی‌های رسی مهمترین نقش را در توزیع REEها در کانسنسنگ‌ها داشته است. افزون بر این، با توجه به همبستگی‌های مثبت قوی  $(\text{La/Yb})_N = 0.72$ ،  $(\text{La/Yb})_N - \text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $(\text{La/Yb})_N - \text{P}_2\text{O}_5$  ( $R = 0.78$ ) (LREE/HREE)<sub>N</sub> -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $R = 0.72$ ) (LREE/HREE)<sub>N</sub> -  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $R = 0.83$ ) (جدول ۳) پیشنهاد می‌شود که درجه جدایش LREEها از HREEها و به عبارت دیگر، الگوی توزیع REEها در کانسنسنگ‌ها توسط چگونگی توزیع و ترسیب کانی‌های هماتیت و فسفات‌های ثانویه کنترا شده است.

تفسیر بی‌هنگاری‌های Eu و Ce در کانسنگ‌ها

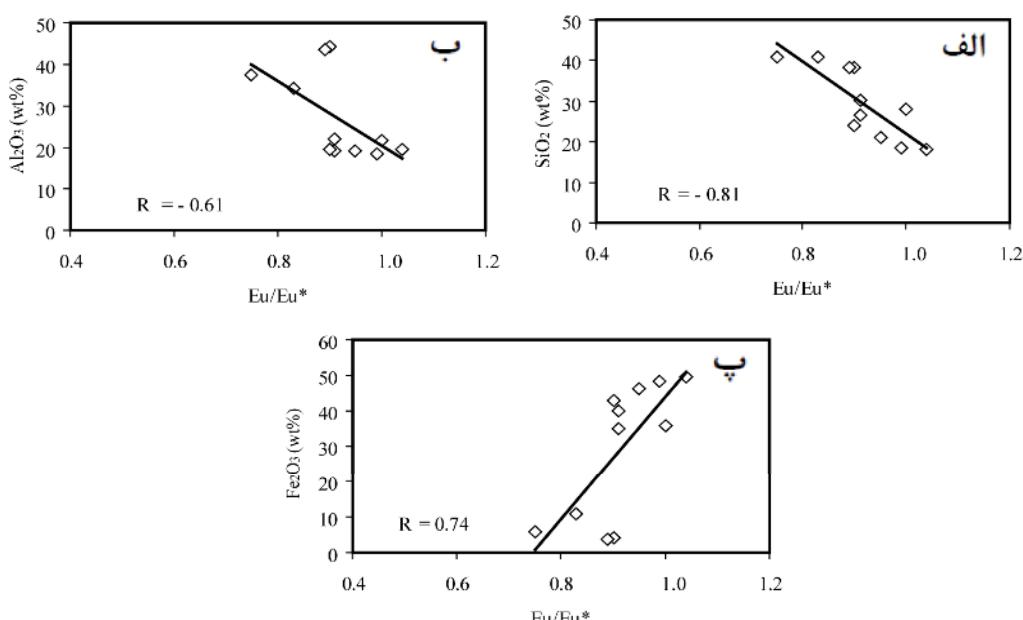
در اینجا برای محاسبه مقادیر بیهنجاری‌های Ce و Eu در کانسنتراشون‌های بودکسپیتی زرچ سو به ترتیب از روابط زیر استفاده شد:



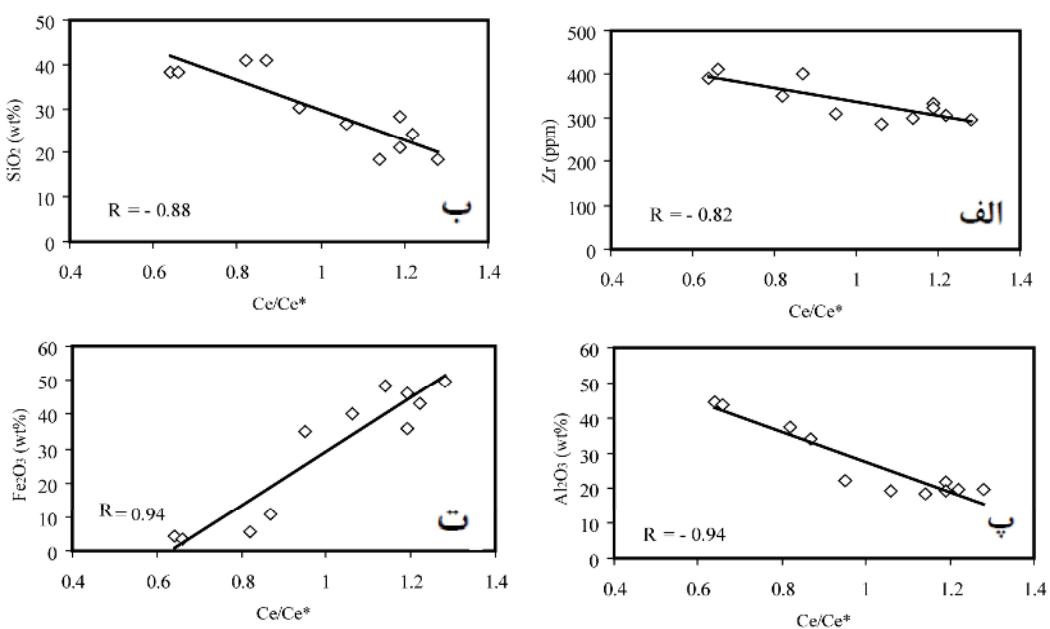
شکل ۹ نمودارهای دو متغیره تغییرات  $\sum\text{REE}$  نسبت به (الف)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (ب)  $\text{SiO}_2$ , (پ)  $\text{P}_2\text{O}_5$  و (د)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  در کانسنگ‌های بوکسیتی نیمرخ زرج سو.



شکل ۱۰ نمودارهای دو متغیره (الف)  $\sum\text{REE}-\text{Ce}/\text{Ce}^*$  و (ب)  $\sum\text{REE}-\text{Eu}/\text{Eu}^*$  برای کانسنگ‌های بوکسیت زرج سو.



شکل ۱۱ نمودارهای دو متغیره (الف)  $\text{Eu}/\text{Eu}^*\text{-Al}_2\text{O}_3$ , (ب)  $\text{Eu}/\text{Eu}^*\text{-SiO}_2$  و (پ)  $\text{Eu}/\text{Eu}^*\text{-Fe}_2\text{O}_3$  برای کانسنگ‌های بوکسیت زرج سو.



شکل ۱۲ نمودارهای دو متغیره (الف)، (ب)، (پ) و (ت) برای کانسنگ‌های بوکسیت زرچ‌سو.

۵- رخداد و تغییرات بی‌هنجاری‌های Eu و Ce در کانسنگ‌ها با درجه روبش این دو عنصر توسط کانی هماتیت در ارتباط است.

۶- توزیع REE‌ها در کانسنگ‌های بوکسیتی تابعی از عواملی چون تغییرات pH محلول‌های کانسنگ‌ساز، عملکرد سنگ بستر کربناتی به عنوان یک بافر فعال، تشییت فازهای کانی‌ای نوشکل و رسوبگذاری همزمان با عناصر اصلی است.

#### قدرتانی

نگارندگان مقاله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه ارومیه برخوردار بوده‌اند، که بدینوسیله نهایت قدردانی خود را از مسؤولین مربوطه اعلام می‌دارند. نگارندگان، همچنین از نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

#### مراجع

- [1] Bardossy G. Y., Aleva G. Y. Y., "Lateritic bauxites", Akademia, Kiado Budapest (1990) 1-646.
- [2] Abedini A., Calagari A. A., "REE geochemical characteristics of titanium-rich bauxites: the Permian Kanigorreh horizon, NW Iran", Turkish Journal of Earth Sciences 23 (2014) 513-532.
- [3] Abedini A., Calagari A.A., "Petrography, and mineralogical and geochemical control on distribution of major, minor, and trace elements in

#### برداشت

مهمترین نتایج بدست آمده از بررسی‌های کانی‌شناسی و زمین‌شیمی عناصر خاکی نادر نهشته بوکسیت زرچ‌سو به سن تریاس-ژوراسیک در جنوب غربی رامسر (استان مازندران، شمال ایران) عبارتند از:

۱- توزیع کانی‌های دیاسپور، کائولینیت، هماتیت و آناتاز در نهشته زرچ‌سو با تشکیل و گسترش چهار نوع کانسنگی شامل فریت، لاتریت، بوکسیت کائولینیتی و کائولینیت بوکسیتی همراه بوده است.

۲- حضور فازهای سیلیکاتی فراوان به صورت کانی کائولینیت در کانسنگ‌ها بیانگر نارس بودن نهشته است و حضور بافت‌های آواری، دانه‌مدور، و برشی اشاره به خاستگاه نابرجای ذخیره دارند.

۳- تغییرات نامنظم در نسبت‌های  $\text{La}/\text{Y}$  و  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$  در کانسنگ‌های مورد بررسی نشان دهنده نوسانات شدید سطح سفره آبهای زیرزمینی طی تکامل و گسترش نهشته است.

۴- الگوی توزیع REE‌ها و درجه جدایش لانتانیدها در کانسنگ‌های بوکسیتی با رسوبگذاری همزمان با هماتیت و فسفات‌های ثانویه کنترل شده است.

- [16] Taylor Y., McLennan S.M., "The continental crust: Its composition and evolution", 1st ed. Oxford, UK: Blackwell.
- [17] Rudnick R.L., Gao S., "Composition of the continental crust", In: Holland H, Turekian K, editors. Treatise on Geochemistry. 2nd ed. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier (2004) 1-64.
- [18] Braun J.J., Viers J., Dupre M., Ndam J., Muller J.J., "Solid liquid REE fractionation in the lateritic system of Goyoum, East Cameroon: The implication for the present dynamics of the soil covers of the humid tropical regions", Geochimica et Cosmochimica Acta 62 (1998) 273-299.
- [19] Crinci J., Jurkowic I., "Rare earth elements in Triassic bauxites of Croatia Yugoslavia", Travaux 19 (1990) 239-248.
- [20] Ma J., Wei G., Xu Y., Long W., Sun W., "Mobilization and re-distribution of major and trace elements during extreme weathering of basalt in Hainan Island, South China", Geochimica et Cosmochimica Acta 71 (2007) 3223-3237.
- [21] Ndjigui P.D., Bilong P., Bitom D., Dia A., "Mobilization and redistribution of major and trace elements in two weathering profiles developed on serpentinites in the Lomié ultramafic complex, South-East Cameroon", Journal of African Earth Sciences 50 (2008) 305-328.
- [22] Oh N.H., Richter D.D., "Elemental translocation and loss from three highly weathered soil- bedrock profiles in the southeastern United States", Geoderma 126 (2005) 5-25.
- [23] Mameli P., Mongelli G., Oggiano G., Dinelli E., "Geological, geochemical and mineralogical features of some bauxite deposits from Nurra (Western Sardinia, Italy): insights on conditions of formation and parental affinity", International Journal of Earth Sciences 96 (2007) 887-902.
- [24] Laskou M., Economou-Eliopoulos M., "The role of micro-organisms on the mineralogical and geochemical characteristics of the Parnassos-Ghiona bauxite deposits, Greece", Journal of Geochemical Exploration 93 (2007) 67-77.
- [25] Hill I.G., Worden R.H., Meighan I.G., "Geochemical evolution of a palaeolaterite: the Interbasaltic Formation, Northern Ireland", Journal of Geochemical Exploration 166 (2000) 65-84.
- [26] bauxitic-lateritic deposit of the NE Malekan, East-Azabaidjan province, NW Iran", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20 (2013) 89-100.
- [4] Mongelli G., Boni R., Buccione R., Sinisi R., "Geochemistry of the Apulian karst bauxites (southern Italy): Chemical fractionation and parental affinities", Ore Geology Reviews 63 (2014) 9-21.
- [5] Abedini A., Calagari A.A., "Mobilization and redistribution of major and trace elements in a lateritic profile: the Sheikh-Marut deposit, NW Iran", Arabian Journal of Geosciences 8 (2015) 10871-10882.
- [6] Abedini A., Calagari A.A. Rezaei Azizi M., "The tetrad-effect in rare earth elements distribution patterns of titanium-rich bauxites: Evidence from the Kanigorreh deposit, NW Iran", Journal of Geochemical Exploration 186 (2018) 129-142.
- [7] Monsels D.A., Bergen M.J.V., "Bauxite formation on Proterozoic bedrock of Suriname", Journal of Geochemical Exploration 180 (2017) 71-90.
- [8] Liu X., Wang Q., Zhang Q., Zhang Y., Li Y., "Genesis of REE minerals in the karstic bauxite in western Guangxi, China, and its constraints on the deposit formation conditions", Ore Geology Reviews 75 (2016) 100-115.
- [9] Beyala V. K. K., Onana V. L., Priso E. N. E., Parisot J., Ekodeck G. E., "Behaviour of REE and mass balance calculations in a lateritic profile over chlorite schists in South Cameroon", Chemie der Erde-Geochemistry 69 (2009) 61-73.
- [10] Abedini A., Calagari A. A., Mikaeili K., "Geochemical characteristics of laterites: the Alibaltalu deposit, Iran", Bulletin of the Mineral Research and Exploration 148 (2014) 69-84.
- [11] Nabavi M., "An Introduction to the Geology of Iran", Geological Survey of Iran Publication. Tehran, Iran (in Persian) (1976) 1-109.
- [12] Bahar Firouzi K., "Geological map of Iran 1:100,000 series, Javaherdeh", Geological Survey of Iran (2004).
- [13] Bardossy G. Y., "Karst Bauxites", Elsevier Scientific, Amsterdam (1982) 1-441.
- [14] Aleva, G. J. J., "Laterites: Concepts, geology, morphology and chemistry", ISIRC, Wageningen (1994) 1-165.
- [15] Schellmann, W., "On the geochemistry of laterites", Chemie der Erde-Geochemistry 45 (1986) 39-42.