

مطالعات کانی‌شناسی نرماتیو و زمین‌شیمی عناصر خاکی نادر نهشته بوکسیت قازانجه، جنوب شرق مهاباد، شمال غرب ایران

علی عابدینی^{*}، مسعود حبیبی مهر

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

(دریافت مقاله: ۹۵/۷/۵، نسخه نهایی: ۹۵/۹/۲۲)

چکیده: نهشته بوکسیت قازانجه (جنوب شرق مهاباد، استان آذربایجان غربی) یک نهشته رسوبی بازماندی تیپیک با سنگ درونگیر آهک دولومیتی به سن پرمین در شمال غرب ایران است. محاسبات مقادیر نرماتیو کانی‌ها با استفاده از نتایج به دست آمده از بررسی‌های XRD و XRF در یک نیمرخ انتخابی نشان می‌دهند که دیاسپور، همازیت، و پیروفلیت فازهای کانیایی اصلی این نهشته بوده و حدود ۷۱/۷۳ الی ۹۴/۶۶٪ ترکیب کانی‌شناسی کانسنگ‌ها را شامل می‌شوند. بر اساس مقادیر نرماتیو کانی‌ها، این نهشته از دو نوع کانسنگ، (۱) بوکسیت رسی و (۲) بوکسیت غنی از آهن تشکیل شده است. بر اساس بررسی‌های شیمیایی، مقادیر REE‌ها در کانسنگ‌ها در گستره‌ای از ۳۰/۱۴ تا ۳۷۹/۵۵ ppm متغیر است. مقادیر La/Y ، Eu/Eu^* ، و Ce/Ce^* در کانسنگ‌ها به ترتیب دارای گستره ۰/۳۳ تا ۳/۱۶، ۰/۵۷ تا ۱/۳۶ و ۰/۸۷ تا ۷/۰۵ هستند. ترکیب نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات لانتانیدها و نسبت‌های عنصری در نیمرخ انتخابی پیشنهاد می‌کنند که عواملی چون تغییر در شرایط فیزیکوشیمیایی محیط تشکیل (pH و Eh)، نوسانات سطح سفره آب‌های زیرزمینی، درجه کمپلکس‌شدن با لیگاندهای کربناتی، اختلاف در میزان پایداری کانی‌های حامل لانتانیدها، و کنترل کانیایی نقش مهمی در توزیع و تحرک عناصر خاکی نادر در طی تشکیل و توسعه کانسنگ‌های بوکسیتی مورد بررسی ایفا نموده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بوکسیت؛ عناصر خاکی نادر؛ کانی‌شناسی نرماتیو؛ قازانجه؛ ایران.

مقدمه

نرماتیو کانی‌ها در سنگ‌های آذرین و دگرگونی است. افزون بر این، در طی چند دهه اخیر پژوهشگران بررسی‌های زیادی بر سیمای زمین‌شیمیایی عناصر خاکی نادر در سنگ‌های به شدت هوازده (بوکسیت‌ها) در نقاط مختلف دنیا انجام داده‌اند [۹-۵]. این مطالعات نشان داده‌اند که طیف وسیعی از عوامل نظیر ترکیب سنگ مادر، pH، پتانسیل اکسایش، جذب سطحی، جذب ترجیحی توسط اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزی، نوع لیگاندهای حاضر در محیط، و ... می‌توانند نقش به سزایی در تمرکز لانتانیدها در کانسنگ‌های بوکسیتی داشته باشند.

ترکیب کانی‌شناسی محصولات حاصل از هوازدگی در محیط‌های گرم و مرطوب نظیر بوکسیت‌ها نسبت به سنگ‌های نادگرسان اولیه (سنگ‌های آلومینوسیلیکاته) بسیار متغیر و متفاوت است [۱]. در روش‌های پیشنهاد شده برای محاسبه مقادیر نرماتیو کانی‌ها در سنگ‌های آذرین و دگرگونی سالم توجهی به فازهای کانیایی حاصل از فرآیندهای دگرسانی نشده است. از این رو، روش‌های تعریف شده برای محاسبه مقادیر نرماتیو کانی‌ها در سنگ‌های محصول هوازدگی نظیر بوکسیت‌ها [۴-۱] کاملاً متفاوت از روش‌های معمول در محاسبه مقادیر

^{*}نویسنده مسئول، تلفن: ۳۲۹۷۲۱۳۴ (۰۴۴)، نمابر: ۳۲۷۷۶۷۰۷ (۰۴۴)، پست الکترونیکی: abedini2020@yahoo.com

Lu برابر با ۰/۱ ppm، و برای La و Nd برابر با ۰/۵ ppm است. مقادیر اتلاف حرارتی (LOI) به وسیله اختلاف در وزن نمونه‌ها قبل و بعد گرمادهی در ۱۰۰۰ °C به مدت یک ساعت توسط آزمایشگاه یاد شده تعیین شدند. نتایج تجزیه‌های شیمیایی در جدول ۱ ارائه شده است.

زمین‌شناسی

منطقه قازانجه بر اساس تقسیمات پهنه‌های زمین‌ساختی ایران [۱۳] بخشی از پهنه خوی-مهاباد است (شکل ۱). واحدهای سنگی حاضر در این منطقه به ترتیب قدیم به جدید عبارتند از ماسه‌سنگ‌های سازند لالون (کامبرین)، دولومیت‌های چرت‌دار و سنگ آهک‌های سازند میلا (کامبرو-اردووسین)، سنگ‌های آهکی دولومیتی شده سازند روته (پرمین پسین)، سنگ‌های کربناتی، آتشفشانی، فیلیتی، و ماسه سنگی به سن کرتاسه، سنگ‌های آهکی سازند قم (میوسن)، گدازه‌های آتشفشانی قلیایی پلیوکواترنری، و رسوبات آبرفتی دوره حاضر [۱۴] (شکل ۱).

نهشته بوکسیتی حاضر در این منطقه دارای ۱۵ رخنمون مجزاء بوده که به صورت لایه‌ها و عدسی‌های منفصل چینه‌سان در درون سنگ‌های آهکی دولومیتی شده خاکستری تیره سازند روته گسترش یافته است. لایه‌ها و عدسی‌های یاد شده دارای دو روند کلی NE-SW و N-S بوده و در مجموع طولی بالغ بر ۷/۵ کیلومتر، ضخامتی متغیر از ۳ تا ۲۸ متر و ذخیره‌ای در حدود ۲۰۰۰۰ تن را دارند. با توجه به مشاهدات صحرایی، براساس تغییرات رنگ در یک نیمرخ انتخابی از یکی از لایه‌های بوکسیتی این نهشته به ترتیب از پایین به بالا کانسنگ‌هایی به رنگ، (۱) قرمز (RBO)، (۲) قهوه‌ای (BBO)، (۳) قرمز قهوه‌ای (BRBO)، (۴) کرم مایل به سبز (GCBO)، و (۵) سبز تیره (DGBO) قابل تشخیص است (شکل ۲). کانسنگ‌های کرم مایل به سبز، سبز تیره، و قرمز قهوه‌ای نیمرخ مورد بررسی حالت ترد و شکننده و کانسنگ‌های قهوه‌ای و قرمز حالت توده‌ای دارند. لیمونیت‌زایی در سطح کانسنگ‌های قهوه‌ای، وجود شکل‌های اوئیدی و گرهکی در سطح کانسنگ‌های قرمز و قرمز قهوه‌ای، تغییرات شدید رنگ در سطح کانسنگ‌های قرمز به دلیل تاثیر فرآیندهای اکسایش برونزاد، و وجود آثاری از دندریت‌ها منگنز در سطح کانسنگ‌های قرمز و کرم مایل به سبز از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی کانسنگ‌های نیمرخ مورد بررسی هستند.

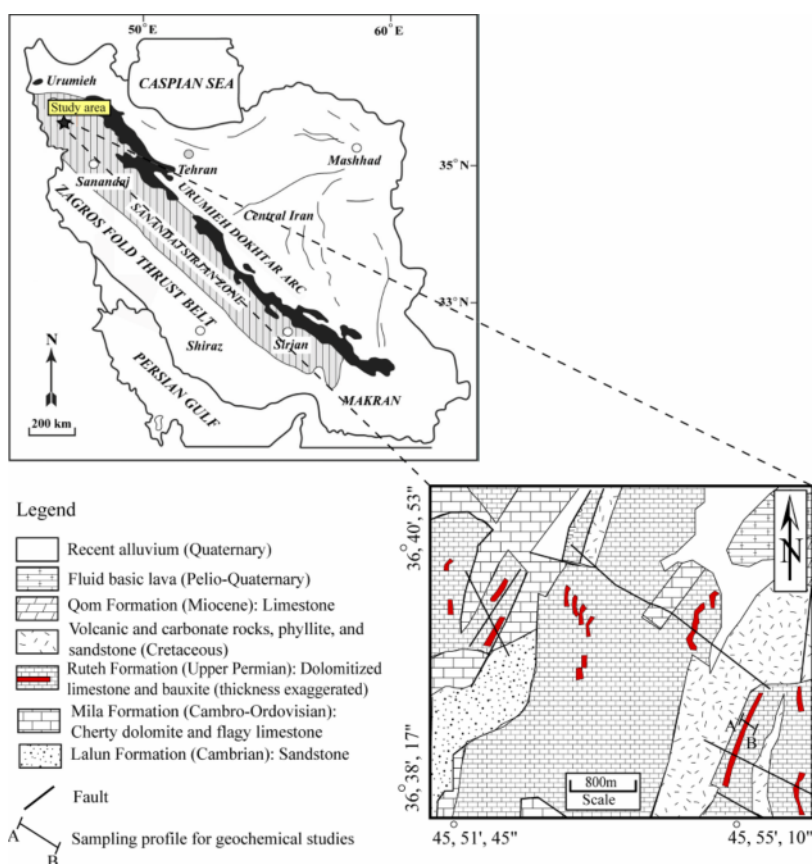
در شمال غرب ایران، به ویژه در جنوب استان آذربایجان غربی پتانسیل‌های بسیار خوبی از کانسنگ‌های بوکسیتی کارستی شناسایی شده است. بخش قابل ملاحظه‌ای از این کانسنگ‌ها در درون سنگ‌های کربناتی سازند روته تمرکز یافته‌اند [۱۰-۱۲]. نهشته قازانجه یکی از نهشته‌های بوکسیتی شاخص به سن پرمین است که کانسنگ‌های آن به شکل لایه‌ای و عدسی در درون سنگ‌های کربنانه سازند روته توسعه و گسترش یافته‌اند. این نهشته، در فاصله ۲۵ کیلومتری جنوب شرق مهاباد، جنوب استان آذربایجان غربی واقع است. با وجود بررسی‌های جامع روی تعداد زیادی از ذخایر بوکسیتی پرمین در شمال غرب ایران توسط پژوهشگران مختلف، تاکنون هیچ مطالعه‌ای پیرامون کانی‌شناسی نرماتیو و زمین‌شیمیایی عناصر خاکی نادر کانسنگ‌های این نهشته انجام نشده است. در این پژوهش، اطلاعات به نسبت جامعی از نحوه تعیین و نامگذاری انواع کانسنگ‌ها، عوامل زمین‌شیمیایی موثر در توزیع و تحرک لانتانیدها و دلایل وقوع بی‌هنجاری‌های Eu و Ce در کانسنگ‌های این نهشته ارائه می‌شود.

روش بررسی

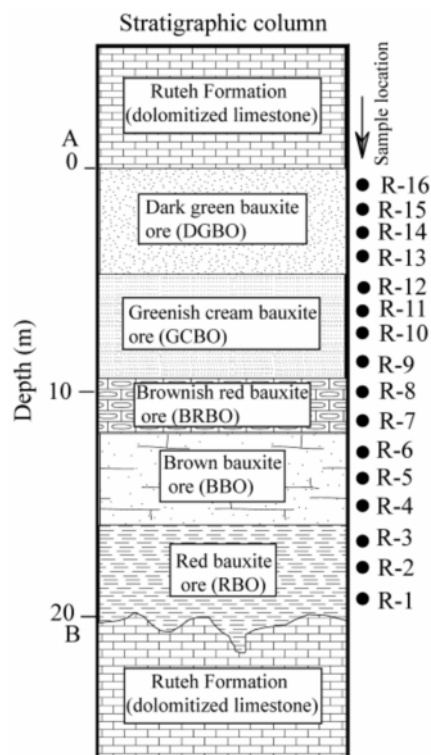
این پژوهش، در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفته است. در بخش صحرایی، پس از چندین مرحله پیمایش صحرایی، نیمرخ‌های از یکی از لایه‌های بوکسیتی به ضخامت ۲۰ متر انتخاب و تعداد ۱۶ نمونه بر حسب تغییرات در رنگ کانسنگ‌ها با فواصلی بین ۸۰ سانتی‌متر تا ۱/۵ متر نمونه‌گیری شد. برای تعیین فازهای کانیایی در کانسنگ‌های جمع‌آوری شده از نیمرخ، تعداد ۸ نمونه به صورت یک در میان انتخاب و به روش پراش پرتو X (XRD) بررسی شد. پراش‌سنج استفاده شده برای تحلیل‌های XRD متعلق به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و ساخت شرکت زیمنس (مدل ۵۰۰۰) بوده است. مقادیر عناصر اصلی، فرعی، و خاکی نادر هر ۱۶ نمونه بوکسیتی جمع‌آوری شده از نیمرخ، به ترتیب با استفاده از دستگاه XRF ساخت شرکت فیلیپس مدل PW 1480 و توسط طیف‌سنج جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) متعلق به شرکت کانساران بینالود اندازه‌گیری شدند. در بررسی‌های XRF، گستره آشکارسازی برای MnO، TiO₂، و P₂O₅ برابر با ۰/۰۰۱ در صد وزنی و بقیه اکسیدها ۰/۰۱ در صد وزنی بوده است. در بررسی‌های ICP-MS گستره آشکارسازی برای Dy، Sm، Ho، و Er برابر با ۰/۰۲ ppm، و برای Gd، Pr، Tb، Tm، Yb، و Eu برابر با ۰/۰۵ ppm، و برای

جدول ۱ نتایج بررسی‌های شیمیایی XRF و ICP-MS نمونه‌های بوکسیت قازانجه.

	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8
SiO ₂	۱۶٫۶۳	۱۵٫۵۶	۱۷٫۲۶	۱۴٫۲۶	۱۴٫۲۶	۱۷٫۳۳	۱۳٫۴۲	۱۲٫۷۱
Al ₂ O ₃	۳۰٫۵۲	۳۲٫۰۱	۳۲٫۲۶	۳۴٫۸۱	۳۶٫۱۴	۳۸٫۶۲	۳۹٫۵۵	۳۸٫۰۲
Fe ₂ O ₃	۳۸٫۷۵	۳۴٫۷۲	۳۳٫۶۱	۳۳٫۶۲	۳۰٫۱۵	۳۱٫۹۵	۲۹٫۹۰	۲۹٫۶۱
CaO	۰٫۱۹	۰٫۳۱	۰٫۱۷	۰٫۱۷	۰٫۲۵	۰٫۲۲	۰٫۱۴	۰٫۱۵
Na ₂ O	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۷	۰٫۰۲	۰٫۰۲
K ₂ O	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۳۶	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۲۳	۰٫۰۵	۰٫۰۱
MgO	۱٫۰۱	۱٫۲۹	۱٫۶۸	۰٫۱۸	۱٫۲۱	۰٫۰۷	۱٫۰۱	۱٫۰۱
TiO ₂	۳٫۳۶	۵٫۲۶	۴٫۳۶	۵٫۸۹	۷٫۲۵	۳٫۶۵	۵٫۰۱	۸٫۹۰
MnO	۰٫۱۲	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۰۱	۰٫۱۳	۰٫۰۵
P ₂ O ₅	۰٫۰۴	۰٫۱۶	۰٫۰۵	۰٫۱۲	۰٫۱۹	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵
L.O.I	۹٫۱۵	۹٫۲۶	۹٫۸۶	۹٫۸۸	۱۰٫۱۱	۷٫۴۵	۱۰٫۴۲	۹٫۳۲
Sum	۹۹٫۷۸	۹۹٫۶۷	۹۹٫۶۸	۹۹٫۷۰	۹۹٫۷۰	۹۹٫۶۴	۹۹٫۶۹	۹۹٫۸۵
La	۲۴٫۰	۵۱٫۴	۵۴٫۳	۸۲٫۷	۷۶٫۹	۱۶٫۰	۱۰٫۱	۳٫۴
Ce	۶۳٫۸	۱۴۱٫۰	۹۶٫۲	۱۳۰٫۰	۱۷۲٫۰	۶۰٫۱	۳۱٫۶	۱۳٫۸
Pr	۴٫۶۲	۱۳٫۷۰	۸٫۴۳	۱۲٫۵۰	۱۶٫۴۰	۳٫۷۱	۱٫۹۶	۱٫۱۲
Nd	۱۶٫۲۰	۵۴٫۸۰	۲۳٫۲۰	۴۱٫۴۰	۵۹٫۴۰	۱۲٫۶۰	۷٫۱۴	۵٫۱۳
Sm	۲٫۸	۱۴٫۱	۳٫۱۸	۸٫۰۷	۱۳٫۸۰	۲٫۵۸	۱٫۶۱	۱٫۶۶
Eu	۰٫۵۳	۳٫۱۷	۰٫۸۰	۱٫۸۶	۳٫۶۲	۱٫۲۱	۰٫۴۱	۰٫۴۶
Gd	۲٫۷۵	۱۲٫۲	۴٫۶۲	۸٫۹۳	۱۴٫۱۰	۲٫۷۲	۱٫۷۰	۱٫۸۶
Tb	۰٫۴۹	۲٫۰۲	۰٫۵۴	۱٫۱۶	۲٫۲۲	۰٫۴۹	۰٫۳۷	۰٫۴۹
Dy	۳٫۵۰	۹٫۲۴	۳٫۶۱	۶٫۶۵	۱۰٫۷۰	۳٫۰۰	۲٫۵۸	۲٫۹۸
Ho	۲٫۵۸	۳٫۵۴	۲٫۳۰	۳٫۷۷	۴٫۲۸	۱٫۵۷	۱٫۹۰	۱٫۶۲
Er	۰٫۸۱	۱٫۴۴	۰٫۷۶	۱٫۳۰	۱٫۷۳	۰٫۵۹	۰٫۶۰	۰٫۶۰
Tm	۰٫۳۹	۰٫۵۱	۰٫۳۶	۰٫۵۷	۰٫۵۸	۰٫۲۲	۰٫۳۰	۰٫۲۲
Yb	۲٫۳۷	۲٫۸۲	۲٫۱۶	۳٫۳۸	۳٫۳۶	۱٫۳۱	۱٫۷۸	۱٫۲۶
Lu	۰٫۳۴	۰٫۳۷	۰٫۳۲	۰٫۵۰	۰٫۴۶	۰٫۱۸	۰٫۲۷	۰٫۱۸
	R-9	R-10	R-11	R-12	R-13	R-14	R-15	R-16
SiO ₂	۲۲٫۱۶	۲۵٫۴۱	۱۵٫۶۲	۲۵٫۶۲	۱۷٫۲۴	۲۰٫۸۱	۱۵٫۹۲	۱۹٫۴۱
Al ₂ O ₃	۳۹٫۲۸	۳۸٫۴۵	۴۱٫۳۶	۴۰٫۵۲	۴۳٫۰۶	۴۶٫۰۳	۴۸٫۶۲	۵۰٫۳۶
Fe ₂ O ₃	۲۵٫۳۱	۲۳٫۲۶	۲۳٫۹۹	۲۱٫۳۳	۲۰٫۵۸	۱۷٫۶۳	۱۶٫۲۶	۱۱٫۷۸
CaO	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۱٫۹۵	۰٫۰۹	۰٫۴۴	۰٫۱۴	۰٫۳۱	۰٫۱۶
Na ₂ O	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۱۲	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۳۰	۰٫۰۹
K ₂ O	۰٫۱۳	۰٫۱۷	۰٫۸۶	۰٫۱۲	۱٫۳۹	۰٫۱۹	۱٫۱۴	۲٫۶۶
MgO	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۸۹	۰٫۰۸	۰٫۴۲	۰٫۴۵
TiO ₂	۳٫۸۷	۴٫۰۳	۳٫۹۷	۳٫۸۳	۴٫۹۶	۴٫۵۶	۴٫۳۶	۳٫۸۷
MnO	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۳
P ₂ O ₅	۰٫۰۲	۰٫۰۷	۱٫۳۳	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۹	۰٫۱۶	۰٫۰۲
L.O.I	۸٫۶۸	۷٫۹۵	۱۰٫۳۹	۸٫۰۱	۱۱٫۰۲	۱۰٫۰۶	۱۲٫۵۵	۱۰٫۸۹
Sum	۹۹٫۶۶	۹۹٫۵۲	۹۹٫۶۰	۹۹٫۷۴	۹۹٫۶۸	۹۹٫۶۲	۱۰۰٫۰۹	۹۹٫۷۲
La	۱۲٫۴	۴۲٫۰	۱۵٫۶	۳۰٫۳	۱۱٫۸	۲۹٫۵	۴٫۵	۱۴٫۷
Ce	۶۸٫۶	۱۲۱٫۰	۲۶۲٫۰	۷۸٫۳	۲۴٫۷	۶۶٫۱	۱۱٫۵	۲۶٫۵
Pr	۴٫۹۴	۱۲٫۶	۴٫۹۳	۶٫۴۷	۲٫۲۴	۸٫۸۰	۰٫۹۸	۲٫۵۶
Nd	۲۲٫۸۰	۴۹٫۸	۲۴٫۵	۲۲٫۳	۷٫۳۴	۳۴٫۸۰	۳٫۷۶	۷٫۹۸
Sm	۶٫۵۶	۱۲٫۰۰	۹٫۳۰	۳٫۶۸	۱٫۳۹	۶٫۱۲	۰٫۹۵	۱٫۴۲
Eu	۱٫۶۱	۳٫۱۰	۲٫۶۳	۱٫۲۹	۰٫۴۰	۱٫۴۰	۰٫۲۹	۰٫۳۸
Gd	۵٫۳۲	۱۰٫۶۰	۷٫۷۸	۳٫۹۱	۱٫۶۴	۴٫۷۶	۱٫۱۸	۱٫۶۴
Tb	۱٫۰۵	۱٫۸۱	۱٫۵۷	۰٫۶۱	۰٫۴۳	۰٫۸۱	۰٫۳۳	۰٫۴۵
Dy	۵٫۳۱	۹٫۳۶	۸٫۷۴	۳٫۹۳	۳٫۰۲	۵٫۰۰	۲٫۳۲	۳٫۲۱
Ho	۲٫۱۵	۳٫۸۸	۴٫۲۲	۲٫۰۱	۲٫۰۹	۲٫۴۴	۱٫۶۸	۲٫۳۳
Er	۰٫۸۸	۱٫۶۱	۱٫۶۱	۰٫۷۵	۰٫۶۹	۰٫۹۱	۰٫۵۴	۰٫۷۴
Tm	۰٫۳۰	۰٫۵۰	۰٫۵۸	۰٫۲۸	۰٫۲۳	۰٫۳۴	۰٫۲۶	۰٫۳۶
Yb	۱٫۵۳	۲٫۵۳	۳٫۲۸	۱٫۵۶	۱٫۹۸	۱٫۷۹	۱٫۶۱	۲٫۱۶
Lu	۰٫۲۱	۰٫۳۳	۰٫۴۶	۰٫۲۳	۰٫۲۹	۰٫۲۴	۰٫۲۴	۰٫۳۲



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد بررسی و موقعیت آن در نقشه پهنه‌های زمین‌ساختی ایران [۱۳].



شکل ۲ نیمرخ مورد بررسی از نهشته بوکسیت قازانجه که محل نمونه‌های برداشت شده برای بررسی‌های کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی در آن با دایره‌های توپر نشان داده شده است.

نتایج و بحث

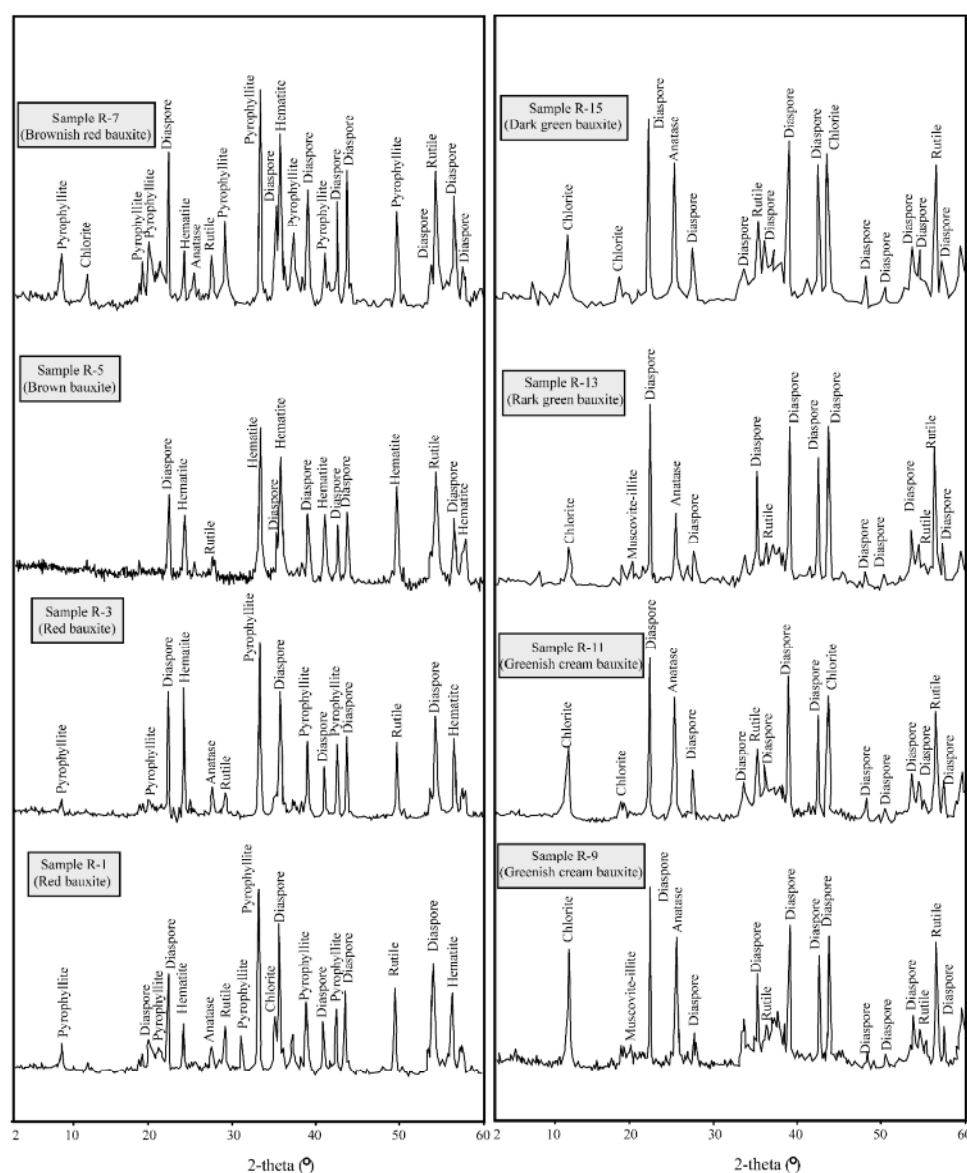
کانی‌شناسی کانسنگ‌ها

بررسی‌های XRD نشان می‌دهند که نهشته قازانجه از کانی-شناسی نسبتاً ساده‌ای برخوردار بوده و از کانی‌های دیاسپور، هماتیت، پیروفیلیت، کلریت، موسکویت-ایلیت، روتیل، و آناتاز تشکیل شده است (شکل ۳). از نکات قابل توجه در کانی-شناسی این نهشته می‌توان به همراهی دیاسپور با کلریت در کانسنگ‌های بوکسیتی سبز تیره و کرم مایل به سبز و همراهی دیاسپور با پیروفیلیت و هماتیت در کانسنگ‌های بوکسیتی قرمز و قرمز قهوه‌ای اشاره نمود. همچنین، با توجه به نتایج بررسی‌های XRD، دیاسپور و روتیل از جمله کانی‌هایی هستند

که به ترتیب به عنوان فازهای کانیایی اصلی و فرعی در کلیه کانسنگ‌های بوکسیتی حضور دارند (شکل ۳).

محاسبات مقادیر نرماتیو کانی‌ها و تعیین انواع کانسنگی در نیمرخ مورد بررسی

تاکنون روش‌های مختلفی برای محاسبات کانی‌شناسی نرماتیو در سنگ‌های به شدت هوازده مانند بوکسیت ارائه و پیشنهاد شده است [۱-۵]. در این پژوهش، از بین روش‌های یاد شده برای محاسبه مقادیر نرماتیو کانی‌ها در کانسنگ‌های بوکسیتی از روش ارائه شده توسط باردوسی و آلو [۳] استفاده شد.



شکل ۳ الگوهای XRD در نمونه‌های بوکسیتی مورد بررسی.

مهمترین نکاتی که در محاسبه مقادیر نرماتیو کانی‌ها در کانسنگ‌ها با استفاده از این روش در نظر قرار گرفته‌اند، عبارتند از:

(۱) کانی‌های استفاده شده در محاسبات نرماتیو ترکیبی آرمانی بدون هر گونه جایگزینی از نظر عنصرسنگی دارند.

(۲) در این محاسبات، فازهای بی‌شکل دارای Al ، Si و Fe موجود در این مواد که توسط بررسی‌های XRD شناسایی نشده‌اند، به صورت معادل‌های بلوری در نظر گرفته شدند.

(۳) با توجه به فرمول شیمیایی مشابه روتیل و آناتاز، در محاسبات نرماتیو امکان جداسازی این دو کانی از هم وجود نداشته است، لذا مقادیر نرماتیو ارائه شده برای این جفت کانیایی با هم در نظر گرفته شده‌اند.

(۴) باوجود عدم شناسایی فازهای کانیایی فسفردار و کلسیم‌دار توسط بررسی‌های XRD و حضور قابل ملاحظه P_2O_5 (۱/۳۳ درصد وزنی) در یکی از نمونه‌ها ($R-11$)، از ترکیب P_2O_5 و CaO برای محاسبه مقدار نرماتیو کانی آپاتیت استفاده شد.

(۵) با در نظر گرفتن موارد یاد شده و نیز مقادیر نظری اکسیدها و LOI تشکیل دهنده کانی‌ها [۳] (جدول ۲)، مقادیر نرماتیو کانی‌های دیاسپور، همتایت، پیروفیلیت، کلریت، موسکویت-ایلیت، روتیل، آناتاز، و آپاتیت در کانسنگ‌ها محاسبه شدند.

(۶) در این محاسبات، مقدار کل Fe_2O_3 گزارش شده از بررسی-های XRF به عنوان مقدار نرماتیو همتایت و مقدار کل TiO_2 گزارش شده از بررسی‌های XRF به عنوان مقدار نرماتیو مجموع روتیل و آناتاز در نظر گرفته شدند.

(۷) براساس مقادیر نظری اکسیدها و LOI کانی‌ها (جدول ۲) مقدار کل MgO و K_2O گزارش شده توسط بررسی‌های XRF در نمونه‌ها با مقدار مناسبی از SiO_2 ، Al_2O_3 و LOI ترکیب و به ترتیب در محاسبه مقدار نرماتیو کانی‌های کلریت و موسکویت-ایلیت مصرف شدند.

(۸) بعد از کسر مقدار SiO_2 ، Al_2O_3 و LOI مصرف شده در محاسبه مقدار نرماتیو کانی‌های کلریت و موسکویت-ایلیت از مقدار کل SiO_2 و Al_2O_3 گزارش شده از بررسی‌های XRF در نمونه‌ها، SiO_2 باقیمانده با مقدار مناسبی از Al_2O_3 و LOI باقیمانده ترکیب و در محاسبه مقدار پیروفیلیت استفاده شد.

(۹) در نهایت، با کسر مقادیر Al_2O_3 و LOI مصرف شده در محاسبه نرماتیو کانی‌های کلریت، موسکویت-ایلیت، و پیروفیلیت از مقدار کل Al_2O_3 و LOI گزارش شده از بررسی-های XRF در نمونه‌ها، Al_2O_3 و LOI باقیمانده با هم ترکیب و در محاسبه مقدار نرماتیو دیاسپور استفاده شدند.

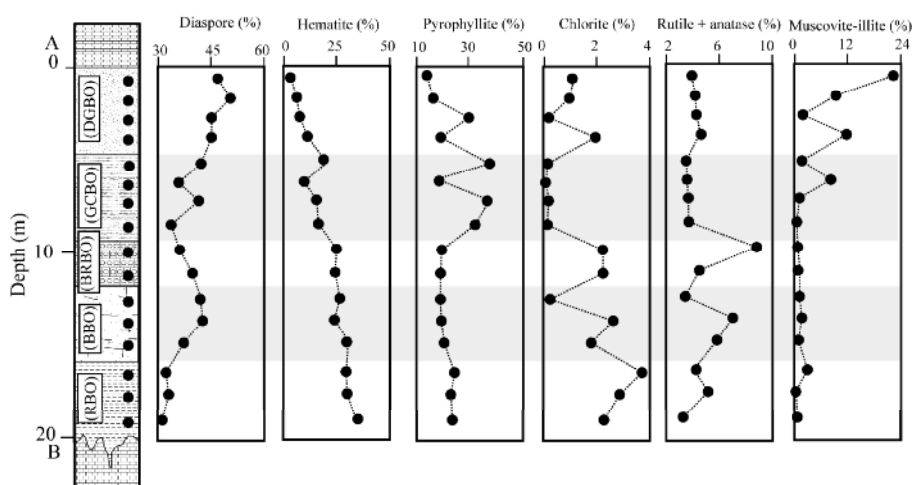
نتایج حاصل از این محاسبات در جدول ۳ و شکل ۴ ارائه شده‌اند. آنچه که از جدول ۳ و شکل ۴ قابل استنباط می‌باشد، این است که دیاسپور، همتایت، و پیروفیلیت فازهای کانیایی اصلی این نهشته بوده و تقریباً ۷۱/۷۳ تا ۹۴/۶۶٪ ترکیب کانی‌شناسی کانسنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. بررسی تغییرات مقادیر نرماتیو کانی‌ها در شکل ۴ نشان می‌دهد که اغلب کانی‌های موجود در نیمرخ مورد بررسی توزیع غیریکنواختی دارند. این توزیع غیریکنواخت کانی‌ها در نیمرخ می‌تواند در ارتباط با ناهمگنی ترکیب شیمیایی سنگ مادر (آندزیت-بازالت) و یا اختلاف در شدت فرآیند لایتریت‌زایی در طی تکوین نهشته باشد [۸]. افزون بر این، همبستگی منفی متوسط بین تغییرات مقادیر نرماتیو کانی‌های دیاسپور و همتایت ($r = -0.71$) (شکل ۵ الف) اشاره به این دارد که آهن‌زدایی یکی از پارامترهای زمین‌شیمیایی غالب در طی تکوین نهشته مورد بررسی است. همچنین، همبستگی مثبت قوی ($r = 0.98$) بین تغییرات مقادیر نرماتیو کانی‌های رسی (کلریت، موسکویت-ایلیت، و پیروفیلیت) نسبت به مجموع دیاسپور، روتیل، و آناتاز (شکل ۵ ب) نشان می‌دهد که توسعه فرآیندهای بوکسیتی شدن در فازانجه با آهن‌زدایی، تمرکز کانی‌های رسی و فازهای کانیایی اکسید تیتانیوم و آلومینای آزاد همراه بوده است. ترسیم مقادیر نرماتیو کانی‌های حاضر در کانسنگ‌ها در نمودار سه متغیره کانی‌های رسی-کانی‌های آلومینیوم و تیتانیوم دار - کانی‌های آهن‌دار [۳] نشان می‌دهد که کانسنگ‌های نیمرخ مورد بررسی دارای ترکیب بوکسیت رسی با بین‌لایه‌ای از بوکسیت غنی از آهن هستند (شکل ۶). در این بین، کانسنگ‌های سبز تیره، کرم مایل به سبز و قرمز دارای ترکیب بوکسیت رسی و کانسنگ‌های قرمز قهوه‌ای و قهوه‌ای دارای ترکیب بوکسیت غنی از آهن هستند (شکل ۶).

جدول ۲ مقادیر نظری اکسیدها و LOI کانی‌های تشکیل دهنده نهشته مورد بررسی [۳].

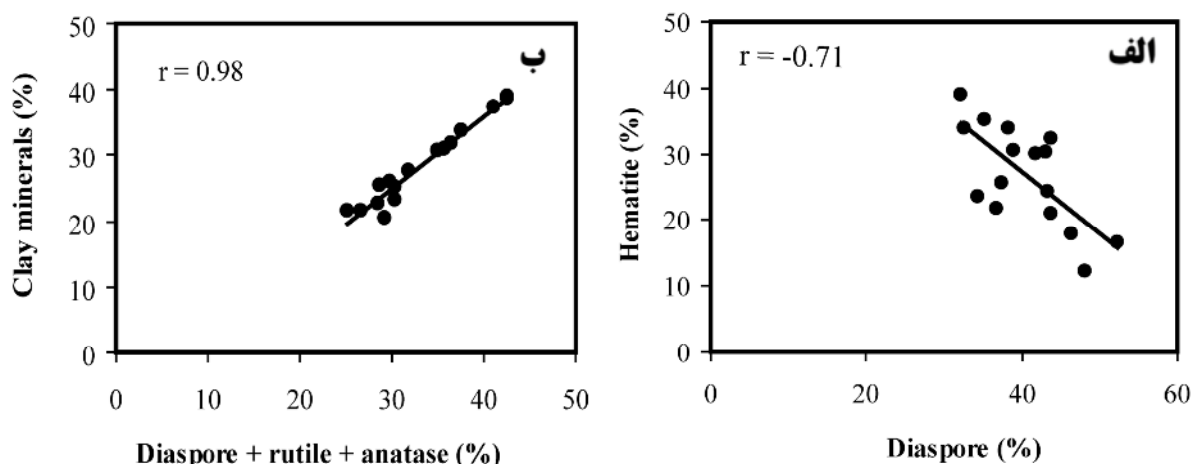
Minerals	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	LOI
Anatase	۰/۰۰	۱۰۰/۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Hematite	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰۰/۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Chlorite	۱۶/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۸/۴۰	۴۴/۱۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱/۳۵
Apatite	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳۹/۴۳	۶۰/۵۷	۰/۰۰
Muscovite-illite	۳۸/۴۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۴۵/۲۶	۰/۰۰	۱۱/۸۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۵۲
Rutile	۰/۰۰	۱۰۰/۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Diaspore	۸۵/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۵/۰۰
Pyrophyllite	۲۸/۳۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۶۶/۷۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۵/۰۰

جدول ۳ مقادیر نرماتیو کانی‌ها در کانسنگ‌های بوکسیتی قازانچه.

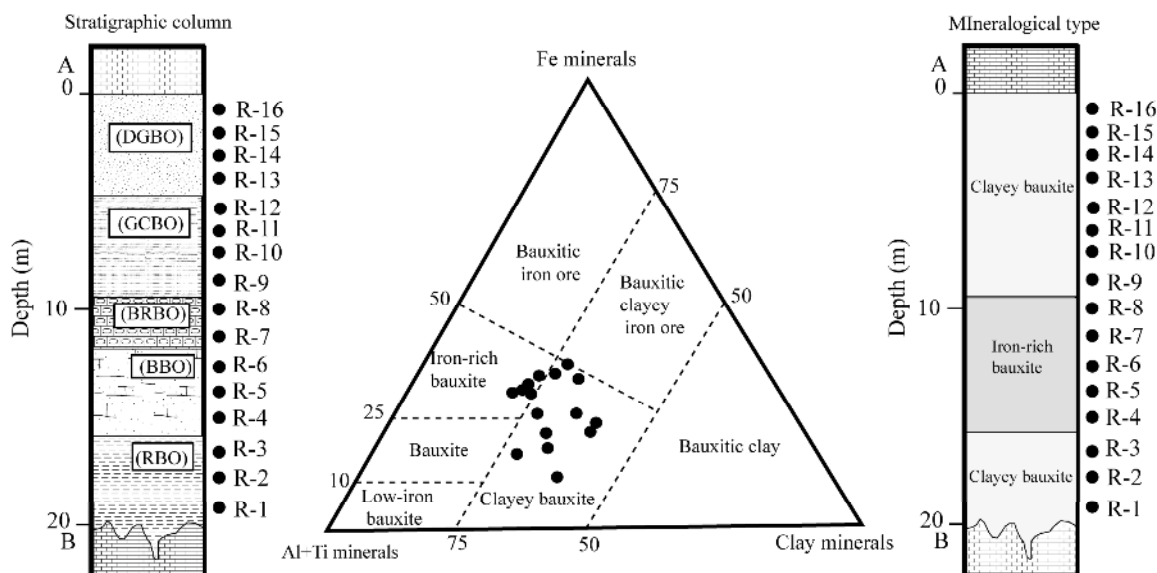
	Hematite	Diaspore	Pyrophyllite	Chlorite	Muscovite-illite	Rutile + anatase	Apatite	Sum
R-1	۳۸/۷۵	۳۱/۰۴	۲۲/۹۸	۲/۲۸	۰/۰۸	۳/۳۶	۰/۰۰	۹۸/۴۹
R-2	۳۴/۷۲	۳۴/۱۱	۲۲/۰۲	۲/۹۱	۰/۱۶	۵/۲۶	۰/۰۰	۹۹/۱۸
R-3	۳۳/۶۱	۳۱/۶۳	۲۳/۷۴	۳/۷۹	۳/۰۴	۴/۳۶	۰/۰۰	۱۰۰/۱۷
R-4	۳۳/۶۲	۳۷/۳۲	۲۰/۴۴	۱/۸۳	۰/۳۲	۵/۸۹	۰/۰۰	۹۹/۴۲
R-5	۳۰/۱۵	۳۷/۸۰	۱۹/۸۸	۲/۷۳	۰/۴۹	۷/۲۵	۰/۰۰	۹۸/۳۰
R-6	۳۱/۹۵	۴۲/۶۰	۱۹/۴۵	۰/۱۵	۱/۹۴	۳/۶۵	۰/۰۰	۹۹/۷۴
R-7	۲۹/۹۰	۴۱/۹۶	۱۸/۹۰	۲/۲۸	۰/۴۰	۵/۰۱	۰/۰۰	۹۸/۴۵
R-8	۲۹/۶۱	۴۰/۷۸	۱۸/۰۳	۲/۲۸	۰/۰۸	۸/۹۰	۰/۰۰	۹۹/۶۸
R-9	۲۵/۳۱	۳۶/۲۹	۳۲/۴۱	۰/۱۳	۱/۱۰	۳/۸۷	۰/۰۰	۹۹/۱۱
R-10	۲۳/۲۶	۳۳/۲۹	۳۷/۰۹	۰/۱۱	۱/۴۳	۴/۰۳	۰/۰۰	۹۹/۲۱
R-11	۲۳/۹۹	۴۲/۲۵	۱۸/۴۲	۰/۱۸	۷/۲۷	۳/۹۷	۳/۲۸	۹۹/۳۶
R-12	۲۱/۳۳	۳۵/۶۵	۳۷/۶۸	۰/۱۳	۱/۰۱	۳/۸۳	۰/۰۰	۹۹/۶۳
R-13	۲۰/۵۸	۴۲/۶۰	۱۷/۰۹	۲/۰۱	۱۱/۷۵	۴/۹۶	۰/۰۰	۹۸/۹۹
R-14	۱۷/۶۳	۴۵/۳۷	۳۰/۰۵	۰/۱۸	۱/۶۰	۴/۵۶	۰/۰۰	۹۹/۳۹
R-15	۱۶/۲۶	۵۱/۲۹	۱۶/۹۷	۰/۹۴	۹/۶۴	۴/۳۶	۰/۰۰	۹۹/۴۶
R-16	۱۱/۷۸	۴۷/۱۵	۱۳/۸۰	۱/۰۱	۲۲/۵۰	۳/۸۷	۰/۰۰	۱۰۰/۱۱



شکل ۴ تغییرات مقادیر نرماتیو کانی‌ها در نیمرخ مورد بررسی از نهشته بوکسیت قازانچه.



شکل ۵ (الف) نمودار دو متغیره مقادیر نرماتیو هماتیت نسبت به دیاسپور. (ب) نمودار دو متغیره مقادیر نرماتیو کانی‌های رسی نسبت به مجموع کانی‌های دیاسپور، روتیل، و آناتاز.



شکل ۶ نمودار سه متغیره کانی‌های رسی - کانی‌های آلومینیوم و تیتانیوم دار - کانی‌های آهن دار [۳] که نیمرخ مورد بررسی از نهشته بوکسیت قازانجه از دو نوع کانسنگ بوکسیت رسی و بوکسیت غنی از آهن بر اساس آن تشکیل شده است.

شیمی و الگوهای توزیع REEها در کانسنگ‌های بوکسیتی

توزیع و رفتار عناصر خاکی نادر در کانسارهای بوکسیتی توسط عواملی چون، (۱) ترکیب سنگ مادر، (۲) شرایط فیزیکوشیمیایی محیط تشکیل، (۳) گونه‌های کانیایی موجود در سنگ‌های بستر، (۴) ویژگی‌های زمین‌شیمیایی عناصر مانند قابلیت انحلال و درجه کمپلکس‌سازی با لیگاندهای مختلف و (۵) فرآیندهای دیازنتیک و دیرزاد (اپی‌ژنتیک) کنترل می‌شود [۵-۹]. مقادیر عناصر خاکی نادر در کانسنگ‌های بوکسیتی نیمرخ مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

گستره تغییرات برای $LREEs_{La-Gd}$ ها شدید (۳۴۲/۱۲ ppm - ۲۱/۹۸) و برای $HREEs_{Tb-Lu}$ ها کوچک (۷/۸۰ - ۳۷/۴۳ ppm) است. الگوی توزیع REEهای بهنجار شده نسبت به ترکیب کندریت [۱۵] برای کانسنگ‌ها در نیمرخ مورد بررسی (شکل ۷ الف) نشان از غنی‌شدگی $LREEs_{La-Gd}$ ها و $HREEs_{Tb-Lu}$ ها نسبت به کندریت دارد، با این تفاوت که میزان غنی‌شدگی $LREEs_{La-Gd}$ ها نسبت به $HRES_{Tb-Lu}$ ها شدیدتر است. این نوع الگوهای غنی‌شدگی، معمولاً در نیمرخ‌هایی دیده می‌شود که تحت تاثیر فرایندهای هوازدگی پیشرفته قرار گرفته و

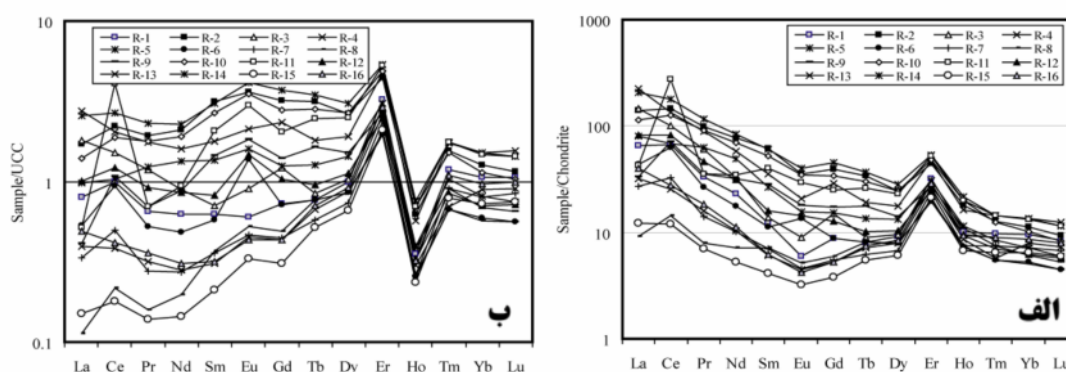
توسعه خود با نوسانات شدید سطح سفره آب‌های زیرزمینی همراه بوده‌اند. از آنجایی که تمرکز این عناصر به pH محیط تشکیل وابسته است، در طی بالا آمدن سطح سفره آب‌های زیرزمینی به دلیل انحلال سنگ‌های بستر کربناتی، مقدار pH محلول بالا رفته و شرایط برای ترسیب لانتانیدها به ویژه LREE ها فراهم می‌شود. با پایین رفتن سطح سفره آب‌های زیرزمینی و با ورود آب‌های جوی فروروی اسیدی شرایط لازم برای شستشوی جزئی این عناصر مهیا می‌شود. به نظر می‌رسد که در طی تکوین و توسعه نهشته بوکسیت قازانجه، نوسانات سطح سفره آب‌های زیرزمینی شدید بوده است، به طوری که شرایط لازم برای شستشو و یا ترسیب عناصر خاکی نادر در نیمرخ به صورت غیریکنواخت فراهم شده است. مسأله دیگری که می‌تواند نقش تعیین کننده pH را در تمرکز لانتانیدها محرز سازد، بررسی روند تغییرات نسبت La/Y نسبت به $(La/Yb)_N$ (شکل ۹ الف) و $(LREE/HREE)_N$ (شکل ۹ ب) در کانسنگ‌های مورد مطالعه است. بررسی‌ها نشان داده است که نسبت La/Y در کانسنگ‌های بوکسیتی پارامتر بسیار مناسبی برای تشخیص pH محیط تشکیل کانسنگ‌ها است. مقادیر کمتر و بیشتر از ۱ برای این نسبت به ترتیب وجود شرایط اسیدی و قلیایی در تشکیل و توسعه کانسنگ‌های بوکسیتی را نشان می‌دهد [۱۹]. نمودارهای یاد شده به وضوح همبستگی مثبت بین تغییرات $(La/Yb)_N$ و $(LREE/HREE)_N$ نسبت به La/Y را به نمایش می‌گذارند که دلیلی بر نقش مهم تغییرات pH محلول‌های کانسنگ‌ساز در توزیع و تحرک لانتانیدها در کانسنگ‌های بوکسیتی قازانجه هستند (جدول ۴).

انحلال HREEs از اهمیت بسیاری برای ایجاد الگوها برخوردار است [۱۶]. با این حال، الگوی توزیع REE‌های بهنجار شده نسبت به مقدار متوسط سنگ‌های پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) [۱۷] برای کانسنگ‌ها در نیمرخ مورد بررسی نشان می‌دهند که همه لانتانیدها در برخی از نمونه‌ها با غنی‌شدگی و در برخی دیگر با تهی‌شدگی (به جز Ho که در همه نمونه‌ها تهی‌شدگی نشان می‌دهد) همراه هستند. افزون بر این، شدت تهی‌شدگی LREE ها نسبت به HREE ها در برخی از کانسنگ‌ها بیشتر و در برخی دیگر کمتر است (شکل ۷ ب). این رفتار غیرعادی که به ندرت برای نیمرخ‌های بوکسیتی گزارش شده است، می‌تواند در ارتباط با عواملی نظیر اختلاف در پایداری کانی‌های شامل لانتانیدها، تغییر pH محلول‌های هوازده کننده از اسیدی ضعیف تا قلیایی و یا درجه تکاملی متوسط نیمرخ باشد [۱۸].

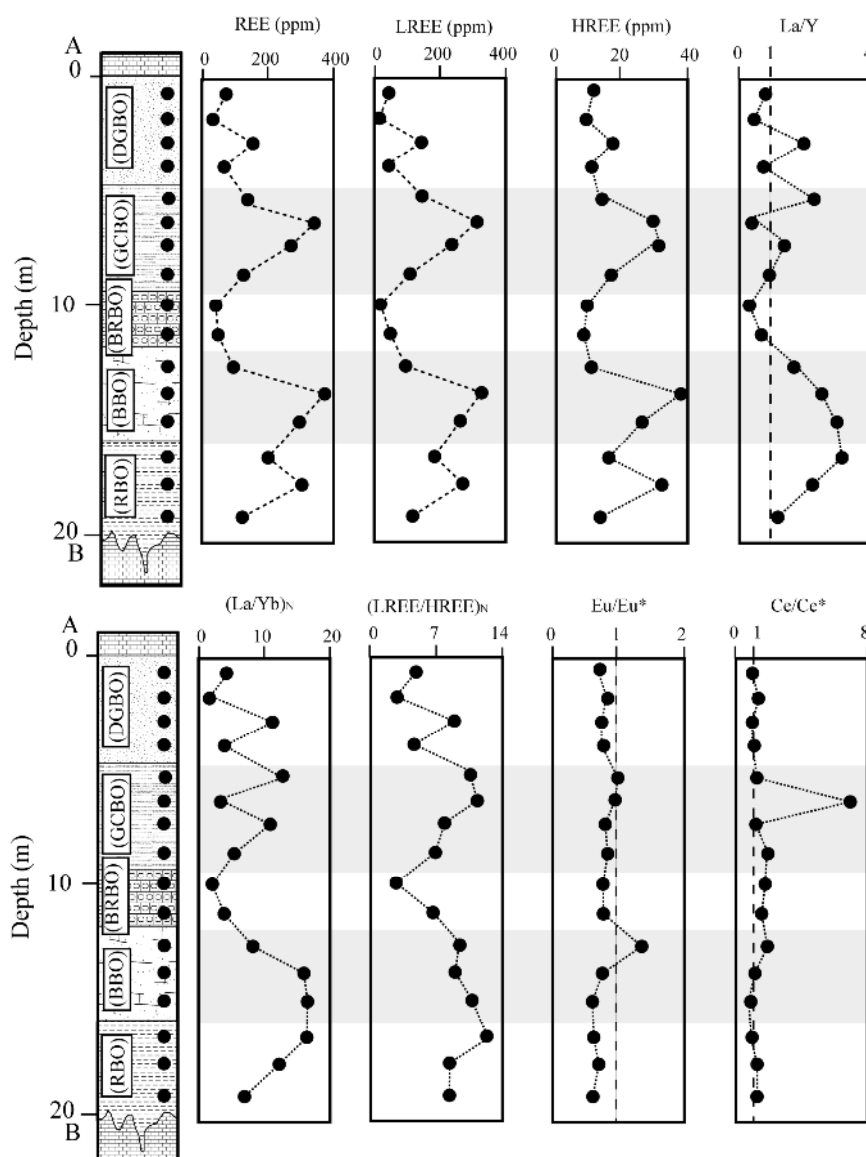
عوامل موثر در تغییرات نسبت‌های عنصری در کانسنگ‌های

نیمرخ مورد بررسی

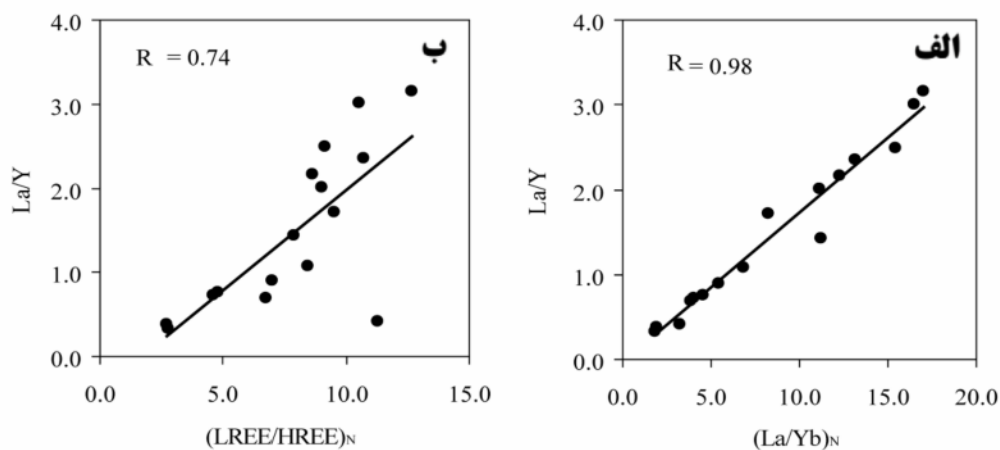
روند تغییرات REE, LREE, HREE, La/Y , $(La/Yb)_N$ و $(LREE/HREE)_N$ در نیمرخ مورد بررسی در شکل ۸ نمایش داده شده است. توزیع غیر یکنواخت این مقادیر در نیمرخ کاملاً مشهود است. معمولاً مقادیر پارامترهای یاد شده در کانسنگ‌های بوکسیتی ایجاد شده تحت شرایط اسیدی پایین است و با افزایش pH محیط تشکیل کانسنگ‌ها، این نسبت‌ها روند رو به افزایشی به خود می‌گیرند [۱۹]. در نیمرخ مورد بررسی، این مقادیر به طور غیریکنواختی روندهای افزایشی و یا کاهش‌ی به خود گرفته‌اند (شکل ۸). معمولاً چنین تغییرات نامنظمی در کانسنگ‌های بوکسیتی دیده می‌شود که در طی تکوین و



شکل ۷ الگوی توزیع عناصر خاکی نادر بهنجار شده به ترکیب کندریت [۱۵] (الف) و متوسط پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) [۱۷] (ب) برای نمونه‌های بوکسیت قازانجه.



شکل ۸ تغییرات مقادیر REE، LREE، HREE، La/Y، $(La/Yb)_N$ ، $(LREE/HREE)_N$ ، Eu/Eu^* و Ce/Ce^* در کانسنگ‌های بوکسیتی نیمرخ مورد بررسی.



شکل ۹ نمودارهای دو متغیره $La/Y - (La/Yb)_N$ (الف) و $La/Y - (LREE/HREE)_N$ (ب) برای نمونه‌های بوکسیت قازانجه.

جدول ۴ نسبت‌های عنصری نمونه‌های بوکسیت قازانجه.

	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8
LREE	۱۱۱٫۹۵	۲۷۸٫۱۷	۱۸۶٫۱۱	۲۷۶٫۵۳	۳۴۲٫۱۲	۹۶٫۲۰	۵۲٫۸۲	۲۵٫۵۷
HREE	۱۳٫۲۳	۳۲٫۱۴	۱۴٫۶۷	۲۶٫۲۶	۳۷٫۴۳	۱۰٫۰۸	۷٫۸۰	۹٫۲۱
REE	۱۲۵٫۱۸	۳۱۰٫۳۱	۲۰۰٫۷۸	۳۰۲٫۷۹	۳۷۹٫۵۵	۱۰۶٫۲۸	۶۰٫۶۲	۳۴٫۷۸
(La,Yb) _N	۶٫۸۴	۱۲٫۳۲	۱۶٫۹۹	۱۶٫۵۳	۱۵٫۴۶	۸٫۲۵	۳٫۸۳	۱٫۸۲
(LREE/HREE) _N	۸٫۴۶	۸٫۶۵	۱۲٫۶۹	۱۰٫۵۳	۹٫۱۴	۹٫۵۴	۶٫۷۷	۲٫۷۸
La/Y	۱٫۰۸	۲٫۱۶	۳٫۱۶	۳٫۰۱	۲٫۴۹	۱٫۷۲	۰٫۶۹	۰٫۳۳
Ce/Ce*	۱٫۳۶	۱٫۲۴	۰٫۹۷	۰٫۸۷	۱٫۱۰	۱٫۸۰	۱٫۵۹	۱٫۶۷
Eu/Eu*	۰٫۵۷	۰٫۷۲	۰٫۶۲	۰٫۶۵	۰٫۷۷	۱٫۳۶	۰٫۷۴	۰٫۷۸
	R-9	R-10	R-11	R-12	R-13	R-14	R-15	R-16
LREE	۱۱۶٫۹۱	۲۴۰٫۵۰	۳۱۸٫۹۶	۱۴۲٫۳۴	۴۷٫۸۷	۱۴۶٫۷۲	۲۱٫۹۸	۵۳٫۵۴
HREE	۱۶٫۷۵	۳۰٫۶۲	۲۸٫۲۴	۱۳٫۲۸	۱۰٫۳۷	۱۶٫۲۹	۸٫۱۶	۱۱٫۲۱
REE	۱۳۳٫۶۶	۲۷۱٫۱۲	۳۴۷٫۲۰	۱۵۵٫۶۲	۵۸٫۲۴	۱۶۳٫۰۱	۳۰٫۱۴	۶۴٫۷۵
(La,Yb) _N	۵٫۴۸	۱۱٫۲۲	۳٫۲۱	۱۳٫۱۲	۴٫۰۳	۱۱٫۱۴	۱٫۸۹	۴٫۶۰
(LREE/HREE) _N	۶٫۹۸	۷٫۸۵	۱۱٫۲۹	۱۰٫۷۲	۴٫۶۲	۹٫۰۱	۲٫۶۹	۴٫۷۸
La/Y	۰٫۸۹	۱٫۴۳	۰٫۴۲	۲٫۳۵	۰٫۷۳	۲٫۰۱	۰٫۳۸	۰٫۷۶
Ce/Ce*	۲٫۰۸	۱٫۲۴	۷٫۰۵	۱٫۲۷	۱٫۰۷	۰٫۹۷	۱٫۲۵	۰٫۹۵
Eu/Eu*	۰٫۸۱	۰٫۸۲	۰٫۹۲	۱٫۰۱	۰٫۷۹	۰٫۷۷	۰٫۸۱	۰٫۷۴

تفسیر بی‌هنجاری‌های Eu و Ce در کانسنگ‌ها

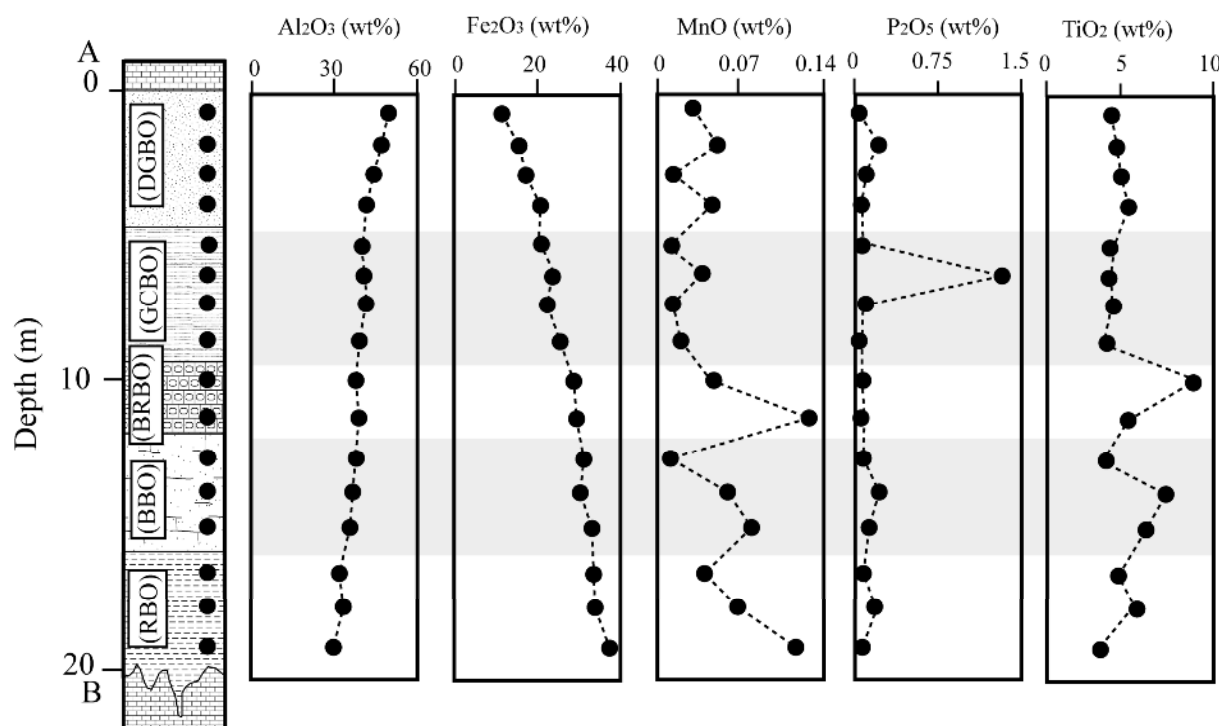
در این پژوهش، برای محاسبه مقادیر بی‌هنجاری‌های Eu و Ce در کانسنگ‌های بوکسیتی به ترتیب از روابط زیر استفاده شد [۱۵]:

$$\text{Ce/Ce}^* = 2\text{Ce}_N / (\text{La}_N + \text{Pr}_N),$$

$$\text{Eu/Eu}^* = \text{Eu}_N / [(\text{Sm}_N \times \text{Gd}_N)]^{1/2}$$

در این فرمول N مقادیر بهنجار شده عناصر La, Pr, Sm, و Gd به کندریت [۱۵] را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مقادیر Ce/Ce* و Eu/Eu* در کانسنگ‌های بوکسیتی به ترتیب در گستره ۰٫۸۷ - ۷٫۰۵ و ۰٫۵۷ - ۱٫۳۶ متغیر هستند. تغییر شدید در مقادیر بی‌هنجاری Ce در نیمرخ مورد بررسی (شکل ۸) اشاره به این دارد که افزایش پتانسیل اکسایش نقش تعیین کننده‌ای در وقوع بی‌هنجاری Ce در نیمرخ مورد بررسی داشته است [۹]. مقایسه تغییرات بی‌هنجاری Ce (شکل ۸) با تغییرات Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 و P_2O_5 (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که بزرگترین بی‌هنجاری مثبت برای Ce مربوط به نمونه‌ای از بوکسیت‌های

کرم مایل به سبز است که دارای بیشترین تمرکز P_2O_5 است. این رابطه به نوعی مبین نقش مهم کانی‌های فسفاتی ثانویه در وقوع بی‌هنجاری مثبت Ce در ذخیره مورد بررسی را آشکار می‌سازد. با توجه به افزایش مقدار Fe_2O_3 در نیمرخ مورد بررسی با نزدیک‌تر شدن به سنگ‌های بستر کربناتی که مبین افزایش pH محیط نهشت کانسنگ‌ها است (شکل ۱۰) و بی‌هنجاری منفی ضعیف Ce در برخی از کانسنگ‌های بخش پایینی نیمرخ (شکل ۸) به نظر می‌رسد که تنها دلیل منطقی برای وقوع بی‌هنجاری منفی Ce در بخش‌های پایینی نیمرخ مورد بررسی تشکیل کمپلکس‌های پایدار سربوم-کربنات در محلول‌های کانسنگ‌ساز باشد [۲۰]. بی‌هنجاری منفی قوی و مثبت ضعیف Eu در کانسنگ‌های نیمرخ مورد بررسی به ترتیب مبین دگرسانی کانی‌های فلدسپار در طی فرآیندهای هوازدگی و آزاد شدن Eu به درون محلول‌های مسئول هوازدگی، و رویش و تمرکز Eu توسط اکسیدهای آهن (هماتیت) است.



شکل ۱۰ تغییرات مقادیر TiO_2 ، P_2O_5 ، MnO ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 در کانسنگ‌های بوکسیتی نیمرخ مورد بررسی.

برداشت

مهمترین نتایج حاصل از بررسی کانی‌شناسی نرماتیو و زمین-شیمیایی عناصر خاکی نادر نهشته بوکسیت قازانجه (جنوب شرق مهاباد، شمال غرب ایران) عبارتند از:

۱- مسیر تکامل کانیایی کانسنگ‌ها که مشتمل بر پیشرفت فرآیند آهن‌زدایی و تمرکز کانی‌های رسی به همراه دیاسپور، روتیل، و آنتاز بوده است، سبب تشکیل دو نوع کانسنگ، بوکسیت رسی و بوکسیت غنی از آهن در این نهشته شده است.

۲- توزیع غیریکنواخت کانی‌ها در نیمرخ مورد بررسی ناهمگنی ترکیب شیمیایی سنگ مادر و اختلاف در شدت فرآیند لاتریت‌زایی در طی تکوین نهشته را نشان می‌دهد.

۳- رفتارهای غیر عادی در روند توزیع عناصر خاکی نادر در کانسنگ‌های مورد بررسی می‌تواند مربوط به اختلاف در پایداری کانی‌های شامل لاتنانیدها، تغییر pH محلول‌های

هوازه کننده از اسیدی ضعیف تا قلیایی و یا درجه تکاملی متوسط نهشته باشد.

۴- روند تغییرات مقادیر REE، LREE، HREE، La/Y، $(\text{La/Yb})_N$ و $(\text{LREE/HREE})_N$ در نیمرخ مورد بررسی نقش مهم تغییرات pH و نوسانات سطح سفره آبه‌ای زیرزمینی در توسعه و تکامل کانسنگ‌های نهشته را محرز می‌سازد.

۵- وقوع بی‌هنجاری مثبت قوی و منفی ضعیف Ce در نیمرخ مورد بررسی به ترتیب مربوط به حضور کانی‌های فسفاتی ثانویه و تشکیل کمپلکس‌های پایدار سریوم-کربنات در محلول‌های کانسنگ‌ساز است.

۶- دگرسانی فلدسپارهای سنگ مادر و روبش و تمرکز Eu توسط اکسیدهای آهن (هماتیت) دو پارامتر تاثیرگذاری هستند که به ترتیب نقش مهمی در وقوع بی‌هنجاری منفی قوی و مثبت ضعیف Eu در طی پیشرفت فرآیند بوکسیتی شدن در قازانجه ایفا نموده‌اند.

قدردانی

نگارندگان این مقاله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه ارومیه برخوردار بوده‌اند، لذا بدین وسیله نهایت سپاس و قدردانی خود را از مسئولین مربوطه اعلام می‌دارند. نگارندگان، همچنین از نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

- deposit (Nikšić area, Montenegro", Ore Geology Reviews 80 (2017) 406-428.
- [9] Wang X., Jiao Y., Du Y., Ling W., Wu L., Cui T., Zhou Q., Jin Z., Lei Z., Weng S., "REE mobility and Ce anomaly in bauxite deposit of WZD area, Northern Guizhou, China", Journal of Geochemical Exploration 133 (2013) 103-117.
- [10] 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.
- [11] Abedini A., Calagari A. A., "Petrography, and mineralogical and geochemical control on distribution of major, minor, and trace elements in bauxitic-lateritic deposit of the NE Malekan, East-Azarbaidjan province, NW Iran", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20 (2013) 89-100.
- [12] Abedini A., Calagari A. A., "The mineralogy and geochemistry of Permian lateritic ores in east of Shahindezh, West-Azarbaidjan province", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20 (2012) 59-72.
- [۱۳] نبوی م.ح.، "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۵۵) ص ۱-۱۰۹.
- [۱۴] افتخارنژاد ج.، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ مهاباد"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۵۵).
- [15] Taylor Y., McLennan S. M., "The continental crust: Its composition and evolution", 1st ed. Oxford, UK: Blackwell.
- [16] 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.
- [17] Rudnick R. L., Gao S., "Composition of the continental crust", In: Holland H., Turekian K., Voicu G., Bardoux M., Voicu D., "Mineralogical norm calculations applied to tropical weathering profiles", Mineralogical Magazine 61 (1997) 185-196.
- [2] Nyobe J. B., "Application of normative calculations in quantitative comparative mineralogical studies of bauxite", Ore Geology Reviews 6 (1991) 45-50.
- [3] Bardossy G. Y., Aleva G. Y. Y., "Lateritic bauxites", Akademia, Kiado Budapest (1990) 1-646.
- [4] Butt C. R. M., Zeegers H., "Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains", Handbook of Exploration Geochemistry, Elsevier, Amsterdam (1992) 1-607.
- [5] 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.
- [6] Abedini A., Calagari A. A., "REE geochemical characteristics of titanium-rich bauxites: the Permian Kanigorgeh horizon, NW Iran", Turkish Journal of Earth Sciences 23 (2014) 513-532.
- [7] 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.
- [8] Radusinović S., Jelenković R., Pačevski A., Simić V., Božović D., Holclajtner-Antunović I., Životić D., "Content and mode of occurrences of rare earth elements in the Zagrad karstic bauxite

- [19] Crinci J., Jurkowic I., "*Rare earth elements in Triassic bauxites of Croatia Yugoslavia*", Travaux 19 (1990) 239-248.
- [20] Cantrell K. J., Byrne R. H., "*Rare earth element complexation by carbonate and oxalate ions*", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 51 (1987) 597-605.
- editors. *Treatise on Geochemistry*. 2nd ed. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier (2004) 1-64.
- [18] 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.