

رهیافتی ژئوشیمیایی و زمین آماری برای منشأ نهشته‌های بوکسیت سرفاریاب، استان کهگیلویه و بویراحمد، جنوب باختر ایران

فرهاد احماد^{۱*} و محمد لطفی^۲

گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان، بهبهان، ایران
دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۴/۳۱

چکیده

نهشته‌های بوکسیت سرفاریاب در فرورفتگی‌های کارستی واقع در بالای سنگ‌های آهکی سازند سروک به سن سنومانین تا تورونین زیرین، که در زیر سنگ‌های آهکی سازند ایلام به سن سانتونین قرار می‌گیرند، رخ می‌دهند. به منظور تعیین منشأ احتمالی این نهشته‌ها، چند نمونه از سازند سروک، ترازا و کانستگ بوکسیت گردآوری و از نظر ژئوشیمیایی و زمین آماری تجزیه شده‌اند. نمودارهای داده‌های شیمیایی و ضرایب همبستگی نشان می‌دهند که عناصر Al ، Ti ، Zr ، Nb ، Cr و V در حین فرایند بوکسیتی شدن نامتحرک بوده‌اند. در نمودارهای پراکنندگی عناصر Zr و TiO_2 در برابر Al_2O_3 خطوط رگرسیون از مبدأ می‌گذرند و ترازا در بین سازند سروک و بوکسیت قرار می‌گیرد. براساس این تحقیق، می‌توان اظهار کرد که سنگ منشأ نهشته‌های بوکسیت سرفاریاب، سازند سروک بوده و ترازا یک محصول حدواسط در تبدیل سنگ آهک به بوکسیت است. در نتیجه بالا آمدگی پس از تورونین، سنگ آهک سازند سروک در معرض هوازدگی کارستی قرار گرفته و لایه‌ای از خرده‌های رسی در سطح آن انباشته و به‌طور بخشی به بوکسیت تبدیل شده است. به دنبال فرونشینی، نهشته‌های بوکسیت به وسیله رسوبگذاری سنگ‌های آهکی سازند ایلام حفظ شده است. بالا آمدگی در زمان پلیوسن همراه با فرسایش بعدی، نهشته‌های بوکسیت را در وضعیت کنونی ظاهر کرد.

کلید واژه‌ها: بوکسیت، ژئوشیمی، زمین‌آمار، ترازا، سازند سروک، سرفاریاب.

*نویسنده مسئول: فرهاد احماد

۱- مقدمه

منطقه مورد مطالعه در ۴۰ کیلومتری خاور- شمال خاور شهرستان دهدشت در استان کهگیلویه و بویراحمد واقع است (شکل ۱). بیش از ۱۲۹ عدسی بوکسیت توسط شرکت Strojexport از جمهوری چک طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۴ و کارشناسان طرح بوکسیت (وزارت معادن و فلزات، ۱۳۷۳) در منطقه سرفاریاب اکتشاف شده است. ذخیره نهشته‌های بوکسیت در این بررسی‌ها بالغ بر ۳۳۰۰۰۰ تن برآورد شده است. این نهشته‌ها بخشی از کمرند نهشته‌های بوکسیت منطقه زاگرس را تشکیل می‌دهند. نهشته‌های بوکسیت در منطقه مورد مطالعه در ۴ ناحیه قرار دارند که عبارتند از: ناحیه مندان، یال شمالی تاقدیس کوه سیاه، یال شمالی تاقدیس کوه نیل و یال شمالی و جنوبی تاقدیس کوه دلف (شکل ۲). نهشته‌های موجود در یال شمالی تاقدیس کوه نیل به دلیل نبود جاده مناسب و دسترسی مشکل به آنها، در این مطالعه بررسی نشده‌اند.

در برخی از نهشته‌های بوکسیت، منبع Al مدت زمان زیادی مورد بحث بوده است (Gow & Lozej, 1993). بسیاری از بوکسیت‌ها را می‌توان از طریق بافت و ژئوشیمی به‌طور مستقیم به سنگ بستر زیرین ارتباط داد، اما برای بوکسیت‌هایی که در بالای توالی‌های سنگ‌آهک رسوبی واقع هستند، گزینه‌های بیشتری وجود دارد؛ مانند اجزای رسی سنگ‌آهک زیرین، خرده‌های بی‌سنگ انتقال یافته به وسیله رودخانه (مانند Bardossy, 1982, 1984) و نهشته‌هایی از خاکستر آتشفشانی (Bardossy, 1984; Lyew-Ayee, 1986). در همه این مدل‌ها، Al به صورت یک باقیمانده بی‌حرکت (نامتحرک) لاتریتی شدن، تمرکز می‌یابد. در نهشته‌های دیگر، Pye (1988) و Brimball et al. (1988) حمل و نقل بادی را به عنوان یک فرایند تمرکز دوباره پیشنهاد می‌کنند که بوکسیت‌های عیار بالای محلی را تشکیل می‌دهد. در ضمن تجمع بازماندی کاتسنگ‌های بوکسیت، از نظر تاریخی Al به عنوان یک عنصر نامتحرک تشخیص داده شده است (مانند، Sastri & Sastri, 1982; Valetton et al., 1987). اما تنها با این عنصر، ردیابی منشأ Al به یک نوع یا واحد

سنگی خاص امکان‌پذیر نیست (MacLean, 1990). امروزه مشخص شده است که عناصری مانند Cr و Ti ، Zr ، Nb ، Th در برخی از انواع دگرسانی گرمایی اطراف کانسارهای فلزی، نامتحرک هستند (MacLean & Kranidiotis, 1987) و توزیع آنها را می‌توان برای تشخیص سنگ‌های منشأ (MacLean & Barrell, 1993) به کار برد. بنابراین، روش‌های ژئوشیمیایی عناصر نامتحرک می‌تواند به انتخاب نوع کانسار و تشخیص سنگ‌های منشأ که عوامل مهمی در تشکیل بوکسیت هستند، کمک کنند (MacLean et al., 1997).

در این مطالعه، نشان داده می‌شود که عناصر Al ، Ti ، Zr ، Nb ، Cr و V در فرایند تشکیل نهشته‌های بوکسیت سرفاریاب نامتحرک بوده‌اند. به منظور بررسی ماهیت سنگ منشأ بوکسیت، این عناصر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲- خاستگاه زمین‌شناسی

ناحیه مورد مطالعه در منطقه زاگرس چین‌خورده قرار دارد (شکل ۱). کم‌ژرفا شدن دریا در اواخر آلیین تا سنومانین باعث رسوب مقادیر زیادی از آهک‌های کم‌ژرفای سازند سروک در پهنه وسیعی از حوضه زاگرس شده است. بالا آمدگی ناحیه‌ای در پایان سنومانین موجب فرسایش قسمت‌های بالایی آهک‌های ذخیره شده در طی آن اشکوب شده است (مطیعی، ۱۳۷۲). فرونشست حوضه، باعث ایجاد محیط‌های کم‌ژرفا و ساحلی و نهشته شدن کربنات‌های بالایی سازند سروک در طی تورونین می‌شود. بنابراین، وجود یک ناپوستگی موازی به سن پس از سنومانین در میان سازند سروک، سبب شده است تا این سازند به سروک پایینی (سنومانین) و سروک بالایی (تورونین) تقسیم شود. بالا آمدگی پس از تورونین موجب یک ایست رسوبی و ظاهر شدن بخش بالایی سازند سروک در سطح و توسعه یک فاز فرسایشی دیگر می‌شود (آقاجانی، ۱۳۸۳). رسوبگذاری کرتاسه بالایی با تنش کربنات‌های کم‌ژرفای سازند ایلام آغاز می‌شود (Stocklin & Setudehnia, 1977). سنگ‌های آهکی ایلام

از CaO (۵۴/۸۹٪) و LOI (۴۳/۳۳٪) و در مجموع ۹۸/۲۲٪ آن را تشکیل می‌دهند. Al_2O_3 (۵۳٪) و SiO_2 (۵۰٪) در مرتبه دوم قرار دارند و مجموع آنها ۱۰۳/۷ درصد می‌باشد. مقدار تشکیل‌دهنده‌های MnO ، TiO_2 ، K_2O ، Fe_2O_3 ، MgO و P_2O_5 بسیار ناچیز و مقدار کل آنها اندکی از ۰/۵ درصد بیشتر است. حضور اندک عناصر K ، Fe ، Al ، Si و Mg بیانگر وجود جزئی یک تشکیل‌دهنده رسی در سنگ‌آهک سازند سروک است. ترکیب کانی‌شناسی نورماتیو سازند سروک که با استفاده از نرم‌افزار MODAN (Paktunc, 1998, 2001) محاسبه شده است، شامل ۹۷/۴٪ کلسیت، ۱/۳٪ دولومیت، ۰/۹٪ کائولینیت، ۰/۳٪ مسکرویت (سریسیت)، ۰/۲٪ گوتیت، و ۰/۱٪ آپاتیت است. نمودارهای توزیع و منحنی‌های رگرسیون عناصر Ti و Zr در سازند سروک که همبستگی قوی با Al دارند، در شکل ۳ نشان داده شده است. این عناصر روند خطی خوبی را در مقابل Al نشان می‌دهند.

۴-۲. ترازو

در یال شمالی ناق‌دیس کوه سیاه و در مجاورت یک عدسی بوکسیتی، افقی از خاک ترارزا (Terra Rossa) با ستبرای حدود ۱۵ سانتی‌متر در بخش ستبر آن، بر روی سنگ‌های آهکی سازند سروک مشاهده می‌شود. این افق به طرف حاشیه نازک می‌شود و عدسی شکل است. ترارزا یک خاک سرخ یا سرخ مایل به زرد است که از رس یا رس سیلتی تشکیل می‌شود و شامل ۲٪ ماسه است. این خاک به‌طور معمول به صورت لایه‌هایی با ستبرای چند سانتی‌متر تا چند متر بر روی سنگ‌آهک یا سنگ دولومیت در منطقه مدیترانه یافت می‌شود (Miko et al., 1999). برخی از پژوهشگران، ترارزا را یک محصول حد واسط در تشکیل بوکسیت‌های کارستی از سنگ‌های آهکی واقع در زیر آنها در نظر می‌گیرند (Bardossy, 1982, 1984؛ Jennings, 1985؛ Myloric & Carew, 1995؛ Khardikar & Basavaiah, 2004؛ Temur, 2006؛ Karadag et al., 2006).

عناصر اصلی و کمیاب تجزیه شده در ۶ نمونه از خاک ترارزا در جدول ۲ آورده شده است. مقدار Al_2O_3 در ترارزا از ۳۷/۷۱ تا ۴۸/۶۷ درصد تغییر کرده و میانگین آن ۴۴/۸۷ درصد است. باتوجه به این که مقدار میانگین Al_2O_3 در سنگ‌آهک سازند سروک ۵۳٪ درصد است، به نظر می‌رسد که ترارزا تقریباً ۸۵ برابر غنی شده است. بالا بودن مقدار Al_2O_3 در ترارزا، نشان‌دهنده بالغ بودن آن در منطقه مورد مطالعه است. فراوان‌ترین تشکیل‌دهنده‌های ترارزا عبارتند از Al_2O_3 (۴۴/۸۷٪)، LOI (۱۷/۶۹٪)، SiO_2 (۱۵/۶۷٪)، Fe_2O_3 (۱۲/۲۳٪)، CaO (۶/۲۴٪) و TiO_2 (۲/۲۶٪) و مقدار کل آنها ۹۸/۹۶ درصد وزنی است. مقدار عناصر MgO ، MnO و K_2O در ترارزا بسیار پایین و مجموع آنها از ۱ درصد کمتر است.

ضرایب همبستگی محاسبه شده برای عناصر ترارزا در جدول ۳ آورده شده است. عناصر Al_2O_3 - MnO ، Al_2O_3 - TiO_2 ، Al_2O_3 - Cr ، Al_2O_3 - Zr ، CaO - As ، CaO - Y ، Fe_2O_3 - Pb ، K_2O - Cu ، MgO - Sn ، MnO - P_2O_5 ، MnO - TiO_2 ، TiO_2 - Cr ، TiO_2 - V ، Cr - Zr ، TiO_2 - Zr ، Co - Cr ، Co - V ، Co - Zr همبستگی ≤ 0.9 و عناصر Al_2O_3 - CaO ، Fe_2O_3 - LOI ، Fe_2O_3 - Sc ، LOI - TiO_2 ، و عناصر V - Y ، LOI - V ، LOI - Zr ، P_2O_5 - SiO_2 ، TiO_2 - Y ، Mo - Ni (ضریب همبستگی ≥ 0.9) هستند.

عناصر V ، Zr ، Nb و Cr و TiO_2 آرایش‌های خطی با همبستگی قوی را در برابر Al نشان می‌دهند. تمام این عناصر بسیار نامتحرک بوده‌اند، اما Ti بالاترین ضریب همبستگی با Al (۰/۹۶) را دارد. نمودارهای Eu ، K_2O ، SiO_2 و CaO نشان‌دهنده تحرک بزرگ مقیاس و تهی‌شدگی اساسی با افزایش مقدار Al_2O_3 هستند.

۴-۳. بوکسیت

عناصر اصلی و کمیاب تجزیه شده در ۶ نمونه از بوکسیت در جدول ۴ آورده شده

با سن سانتونین، لایه‌های سروک با سن تورونین زیرین را می‌پوشاند که تماس بین آنها یک سطح هوازدگی مشخص است (Alavi, 2004).

ستبرای سازند سروک در ناحیه مورد مطالعه بیش از ۵۰۰ متر گزارش شده است (وزارت معادن و فلزات، ۱۳۷۳)، و از آهک دانه ریز و آهک مارنی (رخساره کم‌ژرفا) با لایه‌بندی مشخص و به رنگ خاکستری روشن تا سفید مایل به خاکستری و زرد روشن تشکیل یافته است. در این منطقه، سازند ایلام از آهک‌هایی ستبر تا متوسط لایه به رنگ خاکستری تا کرم تشکیل یافته که به‌طور مستقیم بر روی سطح ناهموار (فرسایشی) سازند سروک قرار دارد. ستبرای سازند ایلام در منطقه مورد مطالعه بین ۵۰ تا ۸۰ متر متغیر است (وزارت معادن و فلزات، ۱۳۷۳).

نهشته‌های بوکسیت در منطقه سرفارایب در امتداد مرز بین سازندهای سروک (کمر پایین) و ایلام (کمر بالا) توسعه می‌یابند (شکل ۲). بالا آمدگی پس از تورونین در منطقه باعث ایجاد یک سطح فرسایش کارستی بر روی بخش بالایی سازند سروک در شرایط آب و هوایی مناسب برای تشکیل بوکسیت شده است. انحلال سنگ‌های آهکی سروک در این شرایط، افقی از باقیمانده‌های رسی را در گودال‌های کارستی بر جای گذاشته و لاتریتی شدن آنها را به بوکسیت تبدیل نموده است. فرونشینی منطقه در کرتاسه بالایی باعث رسوبگذاری سنگ‌های آهکی سازند ایلام بر روی افق بوکسیتی می‌شود. بالا آمدگی در پلیوسن همراه با فرسایش بعدی، نهشته‌های بوکسیت را در وضعیت کنونی ظاهر کرده است.

در نمونه‌های مطالعه شده به‌وسیله پراش اشعه X (XRD) از توده معدنی، بوهمیت کانی اصلی تشکیل‌دهنده بوده و غالباً بیش از ۶۵ درصد سنگ بوکسیتی را تشکیل می‌دهد. دیاسپور دیگر کانی بوکسیتی آلومینوم‌دار موجود است؛ اما مقدار آن به‌طور قابل توجهی، کمتر (بین ۴ تا ۱۴ درصد) از بوهمیت است. همایت، کائولینیت، آناتاس و کلسیت، کانی‌های فرعی و جزئی شناسایی شده در نمونه‌های مورد مطالعه هستند.

۳- روش مطالعه

۱۸ نمونه از سازند سروک، ترارزا و عدسی‌های بوکسیتی (هر یک ۶ نمونه) برای تجزیه شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب، و ۳ نمونه از نهشته‌های بوکسیت به منظور مطالعه پراش اشعه X (XRD) در حین مطالعات صحرایی انتخاب شد. در نمونه‌گیری سعی شده است نمونه‌ها از بخش‌های تازه و غیرهوازده سنگ‌ها و به‌گونه‌ای انتخاب شود که نشان‌دهنده تغییرات احتمالی ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی آنها باشد. بخش‌هایی از این نمونه‌ها، برای تجزیه به آزمایشگاه‌های مربوطه در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارسال شد. عناصر اصلی (به استثنای TiO_2 در نمونه‌های سازند سروک) و Zr در نمونه‌های ترارزا و بوکسیت به روش فلورسانس اشعه X (XRF) و عناصر کمیاب و TiO_2 در نمونه‌های سازند سروک با استفاده از روش ICP تجزیه شدند. در روش XRF حد آشکارسازی برای عناصر سبک‌تر از Fe (۰/۱٪) و برای عناصر سنگین‌تر از Fe (۰/۱٪ درصد است. در روش ICP حدود آشکارسازی بر حسب ppm (به استثنای TiO_2 که بر حسب درصد است) عبارتند از: As (0.6)، Ba (0.2)، Co (0.1)، Cr (0.2)، Cu (0.5)، Eu (0.06)، Ge (0.3)، Mo (0.1)، Nb (0.1)، Nd (0.6)، Ni (1)، Pb (0.2)، Sc (0.1)، Sn (0.3)، Sr (0.2)، TiO_2 (0.01)، V (1)، Y (0.01)، Zn (0.2) و Zr (10).

۴- ژئوشیمی

۴-۱. سازند سروک

اکسیدهای اصلی و برخی عناصر کمیاب تجزیه شده در ۶ نمونه از سازند سروک در جدول ۱ آورده شده است. فراوان‌ترین تشکیل‌دهنده‌های سازند سروک عبارتند

که در زمینه بوکسیت‌های کارستی مورد بحث بوده است، عبارتند از منبع Al و محل بوکسیتی شدن. منابع تأمین کننده Al در بوکسیت‌های کارستی عبارتند از: خرده‌های رسی و کلویدهای آلومینیومی موجود در سنگ‌های آهکی زیرین؛ سنگ‌های سیلیکو-آلومینیومی (شیست‌ها، مارن‌ها، نهشته‌های آتشفشانی و غیره) که بر روی سنگ‌های کربناتی قرار دارند و ورود Al به صورت آواری یا شیمیایی به وسیله آب یا حتی باد از نواحی لاتریتی شده مجاور. مسئله محل بوکسیتی شدن تنها به بوکسیت‌های نابرجا مربوط می‌شود (Lelong et al., 1976).

Ozturk et al. (2002) در مطالعه منشأ نهشته‌های بوکسیت Dogankuzu و Motas در ترکیه، شواهدی از قبیل میان‌لایه‌های بوکسیت و کنگلومرای آهکی، مواد بوکسیتی انتقال یافته مانند پیزولیت‌های بزرگ و شکسته شده و لایه‌های کاملاً تدریجی متشکل از پیزولیت‌های تخت شده که به صورت عدسی‌هایی در بوکسیت رخ می‌دهند را به عنوان دلایلی مبنی بر تشکیل اولیه بوکسیت در یک محل و انتقال بعدی آن به گودال‌ها و حفره‌های کارستی در نظر می‌گیرند. نبود این شواهد و هر شاهد دیگری مبنی بر انتقال و جابه‌جایی در نهشته‌های بوکسیت منطقه مورد مطالعه، نشان می‌دهد که این بوکسیت‌ها در محل فعلی خود تشکیل شده و به طور کامل برجا هستند. باتوجه به برجا بودن نهشته‌های بوکسیت و نبود سنگ‌های دگرگونی و آذرین غنی از Al در منطقه مورد مطالعه و نواحی مجاور آن، محتمل‌ترین منشأ Al برای نهشته‌های بوکسیت، خرده‌های رسی موجود در سنگ‌های آهکی واقع در زیر این نهشته‌ها (مازاند سروک) است.

به دلیل ماهیت فرسایش کارستی که در آن هوازدگی شیمیایی و فیزیکی هردو فعال هستند، معمولاً تعیین این که یک یا چند منبع از خرده‌های رسی به بوکسیت تبدیل شده‌اند، مشکل است. منابع بالقوه خرده‌های رسی عبارتند از سنگ‌های آهکی رسی دریایی کم‌زرفای زیرین، رسوبات رودخانه‌ای شسته شده از خشکی‌های مجاور در زمان هوازدگی کارستی و خاکستر آتشفشانی. عناصر نامتحرک در هر یک از این سه منبع احتمالی، توزیع متفاوتی خواهند داشت. اگر هر منبع همگن باشد، سه روند خطی مجزا برای هر زوج عنصر ایجاد می‌شود. اگر یک یا چند منبع ناهمگن باشند، یک توزیع پادبزنی یا اتفاقی داده‌ها به وجود خواهد آمد (MacLean, 1990). MacLean et al. (1997) بیان می‌کنند که در نمودار توزیع عناصر، خط رگرسیون باید مبدأ را قطع کند و ضریب همبستگی باید بزرگ‌تر از ۰/۹۰ باشد تا بتوان براساس نسبت‌های عناصر پایدار تعبیر و تفسیر متفاوتی را ارائه کرد. از آنجا که تنها یک روند بسیار خطی برای هر زوج عنصر نامتحرک وجود دارد (شکل‌های ۳ تا ۶)، ثابت می‌شود که تنها یک منبع همگن وجود دارد و با روندهای خطی سنگ‌آهک سازند سروک همخوانی دارد. رس موجود در سنگ‌آهک، یک تشکیل دهنده آواری است که به احتمال از یک منبع گسترده و متغیر مشتق و پیش از ته نشست به طور همگنی مخلوط شده است (MacLean et al., 1997).

هنگامی که سنگ‌آهک به عنوان سنگ مادر بوکسیت در نظر گرفته می‌شود، همانند دیگر کانسنگ‌های بوکسیت کارستی، بوکسیتی شدن باید از طریق یک فاز ترازا تحقق یابد. از این نقطه نظر، در مرحله آغازی، سنگ‌آهک با از دست دادن ترکیبات قلبایی، قلبایی خاکی و دی اکسید کربن مانند CaO ، MgO ، Na_2O و K_2O به ترازا تبدیل می‌شود. در طول مرحله دوم، ترکیبات دیگر مانند SiO_2 که در شرایط سطحی تا حدودی متحرک هستند، خارج شده و ترازا به بوکسیت تبدیل می‌شود (Temur, 2006). جدول ۶ ضریب غنی‌شدگی تشکیل دهنده‌های بوکسیت نسبت به ترازا و سنگ‌آهک را نشان می‌دهد. در هنگام تبدیل سنگ‌آهک به ترازا، مقدار عناصر Sr ، Cu ، CaO ، LOI ، As (ضریب غنی‌شدگی > 1)، مقدار Sr ثابت (ضریب غنی‌شدگی ≈ 1) و مقدار دیگر عناصر افزایش یافته است (ضریب

است. مقدار Al_2O_3 در بوکسیت از ۴۵/۴۲ تا ۶۱/۰۳ درصد تغییر کرده و میانگین آن ۵۵/۱۱ درصد است. میزان غنی‌شدگی بوکسیت از Al_2O_3 نسبت به سنگ‌آهک سروک حدود ۱۰۴ برابر و نسبت به ترازا ۱/۲ برابر است. فراوان‌ترین تشکیل دهنده‌های بوکسیت عبارتند از Al_2O_3 (۵۵/۱۱٪)، Fe_2O_3 (۱۷/۹۳٪)، LOI (۱۴/۱۳٪)، SiO_2 (۶/۴۴٪)، TiO_2 (۲/۷۸٪) و CaO (۲/۷۴٪) که در مجموع ۹۹/۱۳ درصد آن را تشکیل می‌دهند. نمونه MBX.2 نسبت به سایر نمونه‌های بوکسیت دارای مقدار CaO بیشتر و Al_2O_3 کمتری است که علت آن نابالغ بودن این نمونه است. مقدار تشکیل دهنده‌های P_2O_5 ، K_2O ، MgO ، MnO در بوکسیت بسیار اندک و مجموع آنها از ۰/۵ درصد کمتر است.

جدول ۵ ضرایب همبستگی محاسبه شده برای عناصر بوکسیت را ارائه می‌دهد. عناصر Al_2O_3 - TiO_2 ، Al_2O_3 - Nb ، Al_2O_3 - Zr ، LOI - CaO ، K_2O - MgO ، K_2O - Ni ، MgO - Ni ، TiO_2 - Zr ، Ba - Sc ، Ba - Y ، Co - Ni ، Eu - Nd ، Ge - Sc ، Ge - Y ، Mo - Sn ، Sc - Y و Nb - Zr دارای همبستگی قوی مثبت (ضریب همبستگی $> 0/90$) و عناصر MgO - Ni ، TiO_2 - Zr ، Ba - Sc ، Ba - Y ، Co - Ni ، Eu - Nd ، Ge - Sc ، Ge - Y ، Mo - Sn ، Sc - Y و Nb - Zr دارای همبستگی به نسبت قوی منفی (ضریب همبستگی $\geq -0/80$) هستند.

نمودارهای توزیع برخی عناصر اصلی و کمیاب بوکسیت در برابر Al در شکل ۵ نشان داده شده است. عناصر V ، TiO_2 ، Cr ، Nb و Zr رابطه خطی خوبی را در برابر Al نشان می‌دهند و بالاترین ضریب همبستگی با Al_2O_3 متعلق به Zr است. نمودارهای عناصر Nd ، CaO ، Eu ، SiO_2 ، K_2O و K_2O ضریب همبستگی با افزایش مقدار Al_2O_3 هستند. SiO_2 ضریب همبستگی نزدیک به صفر با Al_2O_3 داشته و تغییرات مقدار آن با افزایش Al_2O_3 نامنظم است. به عقیده بسیاری از پژوهشگران (MacLean et al., 1997؛ Temur, 2000؛ Mordberg, 1996؛ Hill et al., 2000؛ Temur et al., 2005) عناصر تشکیل دهنده بوکسیت را می‌توان براساس پایداری آنها در شرایط سطحی حین بوکسیتی شدن تقسیم‌بندی کرد. Al_2O_3 ، TiO_2 ، Th ، Zr و Nb را می‌توان به عنوان تشکیل دهنده‌های نامتحرک؛ Ni ، Fe_2O_3 و SiO_2 را به عنوان تشکیل دهنده‌های نیمه متحرک؛ و CaO ، MgO ، Na_2O و K_2O را به عنوان تشکیل دهنده‌های بسیار متحرک در نظر گرفت (Temur, 2006).

بوکسیت‌های واقع بر روی سنگ‌های کربناتی (بوکسیت‌های کارستی) نسبت به دیگر انواع بوکسیت‌ها، در برخی از عناصر کمیاب مانند La ، Nb ، B ، Zn ، Pb ، Y ، Ni و Th بیشتر غنی شده‌اند (Mordberg, 1993a). کم‌پایین کربناتی را می‌توان به عنوان یک سد ژئوشیمیایی در نظر گرفت که از تحرک و حذف عناصر مختلف جلوگیری می‌کند (Mordberg, 1996). از طرف دیگر، مشخص شده است که بوکسیت‌های با ترکیب کانی‌شناسی متفاوت (گیبیتی، بوهمیتی و دیاسپوری) مقادیر و نسبت‌های متفاوتی از عناصر کمیاب را دارا هستند (علت این تفاوت‌ها به وسیله Mordberg, 1993a و Bushinsky & Zakrutkin, 1978 توضیح داده شده است). بوکسیت‌های گیبیتی، به نسبت فقیر از Ni ، Zn ، Cu ، Y ، Pb ، La و Co هستند، در صورتی که بوکسیت‌های بوهمیتی و دیاسپوری غنی‌ترین بوکسیت‌ها در Cu ، Y و Zn هستند. بالاترین مقادیر Ni ، V ، Cr و Co ویژه بوکسیت‌های بوهمیتی است. بوکسیت‌های منطقه مورد مطالعه از نظر غنی بودن در V ، Y و Cr به خوبی با بوکسیت‌های بوهمیتی (داده‌های Mordberg, 1993a) مطابقت دارد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

نهشته‌های بوکسیت سرفارباب به صورت توده‌های عدسی شکل بر روی سازند آهکی سروک و درون گودال‌ها و حفرات کارستی موجود در سطح فرسایش یافته این مازند قرار دارند؛ بنابراین از نوع بوکسیت‌های کارستی هستند. دو مسئله اصلی

بوکسیت‌های مورد مطالعه باشد.

شواهد زیر نشان می‌دهد که سنگ آهک سروک می‌تواند سنگ مادر نهشته‌های بوکسیت باشد: ۱- ضریب همبستگی Al_2O_3-Zr و $Al_2O_3-TiO_2$ بزرگ‌تر از ۰/۹۰ است؛ ۲- در نمودارهای پراکندگی Al_2O_3-Zr و $Al_2O_3-TiO_2$ ، نقاط سنگ آهک، ترازا، و بوکسیت در نواحی باریک و متفاوتی جمع می‌شوند (شکل ۶)؛ ۳- در نمودارهای پراکندگی Al_2O_3-Zr و $Al_2O_3-TiO_2$ ، نقاط بسیار نزدیک به خط رگرسیون هستند و این خط از مبدأ می‌گذرد. (Liaghat et al. (2003) نیز در مطالعه منشا نهشته بوکسیت هنگام در منطقه فیروزآباد، به‌طور مشابهی نتیجه می‌گیرند که منشا Al در این نهشته، خرده‌های رسی موجود در سازند سروک واقع در زیر آن است.

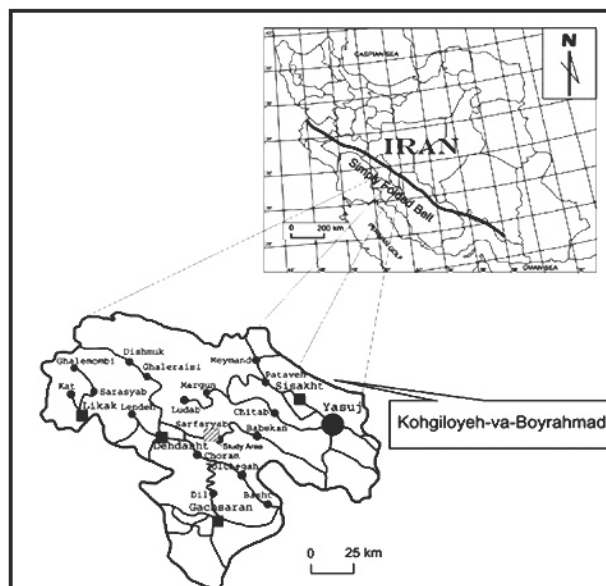
با توجه به بحث بالا، می‌توان نتیجه گرفت که هوازگی کارستی، لایه‌ای از خرده‌های رسی را در بالای سازند آهکی سروک تولید و لایه‌ای از خرده‌ها را به‌طور بخشی به بوکسیت تبدیل کرده است. نبود شواهدی مبنی بر انتقال و جابه‌جایی در نهشته‌های بوکسیت منطقه مورد مطالعه، نشان می‌دهد که این بوکسیت‌ها در محل فعلی خود تشکیل شده و به‌طور کامل برجا هستند. Al و مقادیر اندکی از $Y, V, Ti, Sn, Sc, Ge, Cr, Zr$ به‌صورت برجای مانده در هنگام لایه‌ریزی شدن در بخش بالایی نیم‌رخ هوازگی انباشته شده‌اند. بوهمیت، دیاسپور، هماتیت، کائولینیت و آناتاس کانی‌های تشکیل‌دهنده بوکسیت هستند. نمودارهای عناصر تمرکز یافته، روند‌های خطی با همبستگی بالایی را به نمایش می‌گذارند و نشان می‌دهند که این عناصر در طول فرایند تشکیل بوکسیت نامتحرک بوده و از یک منبع همگن منشأ گرفته‌اند. نسبت‌ها و توزیع عناصر نامتحرک نشان می‌دهد که ترازا و بوکسیت از سنگ‌های آهکی رسی سازند سروک در زیر منشأ گرفته است و ترازا یک محصول حدواسط در تبدیل سنگ آهک به بوکسیت است.

سیاسگزاری

این پژوهش از پشتیبانی مالی حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان برخوردار بوده است، بنابراین نگارندگان صمیمانه از همه مسئولان محترم این حوزه که امکان انجام این پژوهش را فراهم کردند، سپاسگزاری و قدردانی می‌کنند.

غنی‌شدگی < 1). در هنگام تبدیل ترازا به بوکسیت، مقدار عناصر $CaO, K_2O, SiO_2, P_2O_5, MgO, LOI$ و Zn کاهش، مقدار عناصر Ni, Mo, Bu, Sr تقریباً ثابت و مقدار دیگر عناصر افزایش یافته است. در نهایت، در تبدیل سنگ آهک به بوکسیت، میزان عناصر Cu, MgO, LOI, CaO و Zn کاهش، میزان عناصر K_2O و Sr ثابت و میزان دیگر عناصر افزایش می‌یابد. رفتار عناصر MgO و K_2O در تبدیل سنگ آهک به ترازا با رفتار این عناصر در شرایط سطحی ناهم‌هنگ است. از آنجا که شرایط محیطی برای هر کانساز می‌تواند در طول بوکسیتی شدن متفاوت باشد، ممکن است میزان پایداری عناصر در هر کانساز متفاوت باشد (Temur, 2006). همان‌گونه که Hill et al. (2000) و Morilberg (1996) خاطر نشان می‌کنند، رفتار عناصر در حین فرایند بوکسیتی شدن، بسته به عواملی مانند pH, Eh توپوگرافی، تخلخل، سیستم زهکشی و جذب تغییر می‌کند.

شکل ۷ الگوهای عناصر کمیاب بهنجار شده با شیل استرالیایی پس از آرکئن میانگین (Taylor and McLernan, 1985) (PAAS) برای سازند سروک، ترازا و بوکسیت را نشان می‌دهد. عناصر کمیاب سازند سروک، به استثنای Sr، نسبت به PAAS تهی‌شدگی نشان می‌دهند. غنی‌شدگی سازند سروک در Sr نشان‌دهنده همراهی این عنصر با کانی کلسیت است. عناصر $Pb, Co, Cu, Zn, Y, Ba, Nd$ در ترازا نسبت به PAAS تهی‌شدگی نشان داده، در صورتی که عناصر Ti, V, Cr, Ni غنی‌شدگی نشان می‌دهند. عنصر Sc در ترازا دارای خلطت مشابهی با PAAS است. عناصر Pb, Co, Cu, Zn, Ba, Nd در بوکسیت نسبت به PAAS تهی، و عناصر $Sn, Mo, Nb, Zr, Y, Cr, Ni, Sr, V, Ti, Sc, Eu$ غنی شده‌اند. عناصر $Sc, Ti, V, Cr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn$ تمرکز بسیار بالایی در بوکسیت دارند و نسبتشان بزرگ‌تر از ۲ است. عناصری مانند Ni, Cr, V, Zr, Ga که خلطت‌های قابل توجهی در بوکسیت دارند، به‌وسیله D'Argenio & Mindszenty (1995) عناصر بوکسیت دوست (Bauxitophilic) نامیده شده‌اند. میزان تمرکز عنصر بوکسیت دوست Ni در بوکسیت سرفاریاب نسبت به بوکسیت‌های دیگر، مانند بوکسیت‌های مطالعه شده توسط Karadag et al. (2006)، Liaghat et al. (2003) و MacLean et al. (1997) کمتر است. پایین بودن خلطت Ni در سنگ آهک سروک نسبت به سنگ آهک مادر بوکسیت‌های یاد شده، می‌تواند علت تمرکز کمتر این عنصر در



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

جدول ۲- غلظت‌های اکسیدهای اصلی (%) و برخی عناصر کمیاب (ppm) در نمونه‌های ترازوا.

Sample No.	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	LOI	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	As
T.R.1	48.67	2.28	11.07	0.04	17.00	0.40	0.04	0.10	17.51	2.41	1
T.R.2	48.36	5.21	15.46	0.03	16.06	0.36	0.05	0.16	11.30	2.48	3
T.R.3	44.92	6.12	16.20	0.03	15.80	0.34	0.04	0.11	13.60	2.34	3
T.R.4	37.71	11.24	8.66	0.04	20.70	0.34	0.02	0.06	19.04	1.81	5
T.R.5	44.82	4.71	13.21	0.13	17.28	0.36	0.04	0.10	16.47	2.34	3
T.R.6	44.73	7.87	8.77	0.05	19.30	0.41	0.04	0.11	16.07	2.21	5
Mean	44.87	6.24	12.23	0.05	17.69	0.36	0.03	0.10	15.67	2.26	3
SD	3.95	3.06	3.26	0.03	1.92	0.02	0.00	0.03	2.79	0.24	1
Min	37.71	2.28	8.66	0.03	15.80	0.34	0.02	0.06	11.30	1.81	1
Max	48.67	11.24	16.20	0.13	20.70	0.41	0.05	0.16	19.04	2.48	5

Sample No.	Ba	Co	Cr	Cu	Eu	Ge	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Sc	Sn	Sr	V	Y	Zn	Zr
T.R.1	39	11	685	1.0	1	6	2	26	17	63	6	20	9	219	233	5	61	592
T.R.2	36	10	663	0.5	2	7	2	26	35	73	6	9	8	302	232	9	54	592
T.R.3	32	12	675	0.5	2	12	2	23	30	73	7	9	7	225	243	11	58	592
T.R.4	33	7	380	2.0	2	4	2	20	23	46	6	25	7	261	162	33	50	370
T.R.5	31	11	553	7.0	1	10	2	25	21	94	6	14	8	238	231	5	64	518
T.R.6	31	10	569	2.0	2	1	2	25	30	74	5	19	9	375	190	25	62	518
Mean	34	10	587	2.0	2	7	2	24	26	70	6	16	8	270	215	15	58	530
SD	3	2	116	2.0	0	4	0	2	7	15	0	6	1	60	32	12	5	86
Min	31	7	380	0.5	1	1	2	20	17	46	5	9	7	219	162	5	50	370
Max	39	12	685	7.0	2	12	2	26	35	94	7	25	9	375	243	33	64	592

جدول ۳- غلظت‌های اکسیدهای اصلی (%) و برخی عناصر کمیاب (ppm) در نمونه‌های پرکسیت.

Sample No.	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	LOI	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	As	Ba
LBX.1	55.35	0.65	24.23	0.03	12.10	0.10	0.12	0.09	4.01	2.82	11	33
MRX.1	60.64	1.94	11.99	0.04	14.72	0.16	0.04	0.11	6.62	3.19	6	40
UBX.1	52.53	0.60	14.41	0.06	14.06	0.20	0.06	0.09	14.90	2.46	8	43
LBX.2	55.70	0.19	25.41	0.02	11.42	0.10	0.06	0.09	3.76	2.75	8	26
MBX.2	45.42	12.62	15.66	0.04	19.28	0.15	0.05	0.05	3.79	2.45	5	29
UBX.2	61.03	0.46	15.90	0.04	13.20	0.16	0.04	0.08	5.54	3.03	7	55
Mean	55.11	2.74	17.93	0.03	14.13	0.14	0.06	0.08	6.44	2.78	7	37
SD	5.77	4.88	5.52	0.01	2.80	0.03	0.02	0.01	4.30	0.29	2	11
Min	45.42	0.19	11.99	0.02	11.42	0.10	0.04	0.05	3.76	2.45	5	26
Max	61.03	12.62	25.41	0.06	19.28	0.20	0.12	0.11	14.90	3.19	11	55

Sample No.	Co	Cr	Cu	Eu	Ge	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Sc	Sn	Sr	V	Y	Zn	Zr
LBX.1	13	660	0.5	2	0.5	2	30	36	57	10	19	11	119	357	26	39	740
MBX.1	14	842	6.0	2	0.5	3	32	43	83	9	40	14	245	342	16	36	814
UBX.1	16	718	4.0	2	15.0	2	29	44	102	8	116	12	579	320	198	36	666
LBX.2	9	694	5.0	1	2.0	1	28	9	44	8	16	9	70	319	1	40	740
MBX.2	11	589	0.5	2	5.0	2	25	43	64	7	39	8	143	295	51	32	592
UBX.2	13	891	0.5	1	34.0	3	31	14	66	10	171	13	444	400	380	53	814
Mean	13	732	2.8	2	9.5	2	29	31	69	9	67	11	267	339	112	39	727
SD	2	113	2.5	1	13.0	1	2	16	21	1	63	2	203	36	149	7	86
Min	9	589	0.5	1	0.5	1	25	9	44	7	16	8	70	295	1	32	592
Max	16	891	6.0	2	34.0	3	32	44	102	10	171	14	579	400	380	53	814

جدول ۱- غلظت‌های اکسیدهای اصلی (%) و برخی عناصر کمیاب (ppm) در نمونه‌های سازند سروکند.

Sample No.	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	LOI	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	As	Ba
SV.1.1	0.58	54.60	0.18	0.03	43.20	0.35	0.002	0.005	0.64	0.04	6	23
SV.1.2	0.48	54.99	0.12	0.03	43.44	0.31	0.002	0.005	0.49	0.03	3	41
SV.1.3	0.45	55.04	0.17	0.03	43.40	0.32	0.003	0.005	0.43	0.03	4	10
SV.2.1	0.43	55.09	0.10	0.03	43.40	0.30	0.003	0.005	0.33	0.03	3	31
SV.2.2	0.67	54.82	0.13	0.03	43.34	0.30	0.004	0.005	0.53	0.04	1	33
SV.2.3	0.60	54.80	0.14	0.05	43.24	0.29	0.005	0.006	0.59	0.04	4	29
Mean	0.53	54.89	0.14	0.03	43.33	0.31	0.003	0.005	0.50	0.03	4	28
SD	0.09	0.18	0.03	0.00	0.09	0.21	0.001	0.000	0.11	0.00	2	10
Min	0.43	54.60	0.10	0.03	43.20	0.29	0.002	0.005	0.33	0.03	1	10
Max	0.67	55.09	0.18	0.05	43.44	0.35	0.005	0.006	0.64	0.04	6	41

Sample No.	Co	Cr	Cu	Eu	Ge	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Sc	Sn	Sr	V	Y	Zn	Zr
SV.1.1	0.5	0.8	5	0.6	0.9	0.7	2	1	1.3	2.0	0.1	0.5	273	28	1.9	59	16
SV.1.2	0.3	0.2	4	0.6	2.6	0.9	2	2	1.0	2.0	0.1	0.4	259	33	1.4	99	12
SV.1.3	0.6	1.2	3	0.7	1.9	0.8	3	1	1.0	1.8	0.1	0.4	262	31	1.6	44	10
SV.2.1	0.1	0.2	1	0.6	0.3	0.8	3	1	1.0	1.7	0.5	0.5	269	28	1.4	28	10
SV.2.2	0.2	1.9	4	0.7	0.3	0.8	3	2	1.0	1.7	0.4	0.4	253	38	0.5	39	16
SV.2.3	0.2	0.2	5	0.6	0.3	0.8	2	3	1.0	1.5	0.5	0.4	279	32	2.2	38	18
Mean	0.3	0.7	4	0.6	1.0	0.8	3.2	1.0	1.7	0.3	0.4	0.4	266	32	1.5	51	14
SD	0.2	0.7	2.0	0.9	0.0	1.1	0.1	0.1	0.2	0.0	10	4	0.5	26	4		
Min	0.1	0.2	1.0	0.3	0.7	2.1	1.0	1.5	0.1	0.4	253	28	0.5	28	10		
Max	0.6	1.9	5.0	2.6	0.9	3.3	1.3	2.0	0.5	0.5	279	38	2.2	99	18		

جدول ۳- ماتریکس همبستگی میان غلظت‌های عناصر در نمونه‌های ترازوا.

	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	LOI	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	As	Ba	Co	Cr	Cu	Eu	Ge	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Sc	Sn	Sr	V	Y	Zn	Zr	
Al ₂ O ₃	1.00																													
CaO	-0.90	1.00																												
Fe ₂ O ₃	0.51	-0.48	1.00																											
K ₂ O	-0.05	-0.18	-0.02	1.00																										
LOI	-0.79	0.77	-0.91	0.03	1.00																									
MgO	0.48	-0.38	-0.46	0.00	0.10	1.00																								
MnO	0.91	-0.73	0.64	0.01	-0.80	0.32	1.00																							
P ₂ O ₅	0.78	-0.50	0.65	-0.18	-0.71	0.16	0.93	1.00																						
SiO ₂	-0.59	0.32	-0.81	0.26	0.75	0.16	-0.81	-0.92	1.00																					
TiO ₂	0.96	-0.89	0.69	0.07	-0.90	0.29	0.95	0.81	-0.69	1.00																				
As	-0.71	0.90	-0.40	-0.04	0.66	-0.18	-0.44	-0.26	0.11	-0.67	1.00																			
Ba	0.59	-0.60	0.08	-0.40	-0.34	0.32	0.30	0.29	-0.08	0.43	-0.79	1.00																		
Co	0.79	-0.82	0.68	0.00	-0.88	0.20	0.74	0.52	-0.52	0.86	-0.63	0.26	1.00																	
Cr	0.92	-0.83	0.65	-0.22	-0.89	0.30	0.85	0.72	-0.65	0.93	-0.67	0.49	0.92	1.00																
Cu	-0.18	-0.04	-0.14	0.98	0.18	-0.01	-0.10	-0.27	0.34	-0.06	0.08	-0.48	-0.12	-0.35	1.00															
Eu	-0.53	0.83	-0.33	-0.53	0.54	-0.12	-0.33	-0.04	-0.08	-0.57	0.85	-0.39	-0.59	-0.46	-0.42	1.00														
Ge	0.24	-0.43	0.85	0.26	-0.74	-0.61	0.29	0.20	-0.40	0.45																				

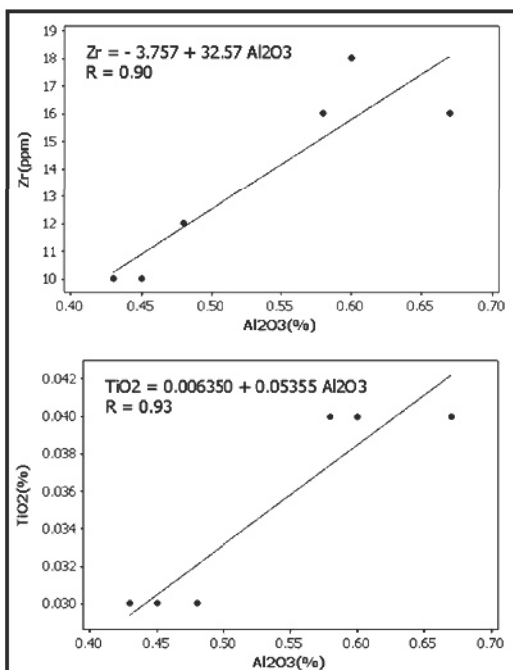
جدول ۵- ماتریکس همبستگی میان خلقت‌های عناصر در نمونه‌های بوسکیت.

	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	LOI	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	As	Ba	Co	Cr	Cu	Zn	Ge	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Sc	Sr	Zn	Sr	V	Y	Zn	Zr
Al ₂ O ₃	1.00																													
CaO	-0.73	1.00																												
Fe ₂ O ₃	-0.04	-0.28	1.00																											
K ₂ O	-0.17	0.09	-0.77	1.00																										
LOI	-0.66	0.93	-0.58	0.39	1.00																									
MgO	-0.05	0.10	-0.88	0.94	0.42	1.00																								
MnO	-0.13	-0.22	0.67	-0.29	0.39	-0.57	1.00																							
P ₂ O ₅	0.77	-0.80	-0.01	-0.03	-0.66	-0.01	0.08	1.00																						
SiO ₂	-0.02	-0.29	-0.49	0.86	-0.01	0.80	-0.16	0.27	1.00																					
TiO ₂	0.90	-0.47	-0.12	-0.31	-0.40	-0.16	-0.16	0.64	-0.31	1.00																				
As	0.35	-0.70	0.65	-0.29	0.80	-0.49	0.84	0.46	-0.01	0.17	1.00																			
Ba	0.56	-0.37	-0.55	0.54	-0.12	0.62	-0.37	0.19	0.41	0.40	-0.02	1.00																		
Co	0.13	-0.23	-0.64	0.89	0.07	0.79	-0.02	0.31	0.84	-0.02	0.07	0.61	1.00																	
Cr	0.89	-0.57	-0.42	0.15	-0.35	0.33	-0.48	0.56	0.16	0.79	-0.01	0.81	0.32	1.00																
Cu	0.31	-0.38	-0.12	0.00	-0.27	0.12	-0.33	0.69	0.33	0.22	-0.10	-0.18	0.04	0.24	1.00															
Zn	-0.53	0.49	-0.27	0.41	0.55	0.19	0.41	-0.20	0.17	-0.34	0.00	-0.23	0.43	-0.51	-0.30	1.00														
Ge	0.30	-0.26	-0.23	0.41	-0.06	0.50	-0.41	-0.19	0.28	0.09	-0.12	0.87	0.32	0.58	-0.37	-0.41	1.00													
Mo	0.54	-0.19	-0.71	0.54	0.09	0.59	-0.31	0.26	0.30	0.54	-0.09	0.88	0.68	0.76	-0.16	0.10	0.58	1.00												
Nb	0.94	-0.75	-0.11	-0.03	-0.60	0.00	0.05	0.81	0.07	0.87	0.46	0.57	0.34	0.81	0.22	-0.24	0.20	0.64	1.00											
Nd	-0.41	0.41	-0.55	0.62	0.58	0.48	0.11	-0.01	0.42	-0.26	-0.19	-0.09	0.62	-0.29	0.00	0.91	-0.35	0.25	-0.14	1.00										
Ni	0.00	-0.06	-0.78	0.94	0.27	0.93	-0.28	0.25	0.89	-0.12	-0.22	0.48	0.92	0.25	0.26	0.40	0.23	0.56	0.15	0.68	1.00									
Pb	0.75	-0.62	0.22	-0.27	0.61	-0.34	0.45	0.55	-0.24	0.74	0.71	0.36	0.13	0.50	-0.18	-0.06	0.09	0.47	0.85	-0.17	-0.17	1.00								
Sc	0.31	-0.23	-0.48	0.59	-0.02	0.67	-0.44	-0.07	0.47	0.08	-0.14	0.92	0.52	0.62	-0.26	-0.30	0.97	0.68	0.26	-0.17	0.44	0.07	1.00							
Sn	0.74	-0.55	-0.57	0.50	-0.26	0.54	-0.21	0.62	0.47	0.62	0.15	0.84	0.73	0.85	0.16	-0.04	0.48	0.90	0.83	0.16	0.63	0.56	0.60	1.00						
Sr	0.20	-0.29	-0.61	0.86	0.00	0.87	-0.35	0.13	0.84	-0.07	-0.10	0.81	0.82	0.49	0.02	-0.03	0.73	0.63	0.24	0.18	0.80	-0.04	0.95	0.68	1.00					
V	0.79	-0.57	-0.03	-0.06	-0.50	-0.02	0.04	0.32	-0.11	0.69	0.41	0.75	0.19	0.76	-0.31	-0.34	0.63	0.67	0.78	-0.41	-0.08	0.82	0.58	0.68	0.31	1.00				
Y	0.31	-0.23	-0.36	0.48	-0.07	0.54	-0.35	-0.14	0.35	0.09	-0.07	0.90	0.42	0.58	-0.38	-0.34	0.99	0.63	0.25	-0.27	0.30	0.14	0.98	0.54	0.78	0.65	1.00			
Zn	0.68	-0.54	0.10	-0.13	-0.52	-0.03	-0.14	0.13	-0.11	0.50	0.26	0.71	-0.01	0.71	-0.27	-0.68	0.79	0.45	0.54	-0.71	-0.21	0.53	0.69	0.46	0.33	0.89	0.77	1.00		
Zr	0.99	-0.72	0.00	-0.27	-0.64	-0.15	-0.10	0.73	-0.15	0.94	0.35	0.49	0.03	0.85	0.27	-0.52	0.23	0.50	0.93	-0.43	-0.10	0.78	0.22	0.67	0.07	0.79	0.23	0.66	1.00	

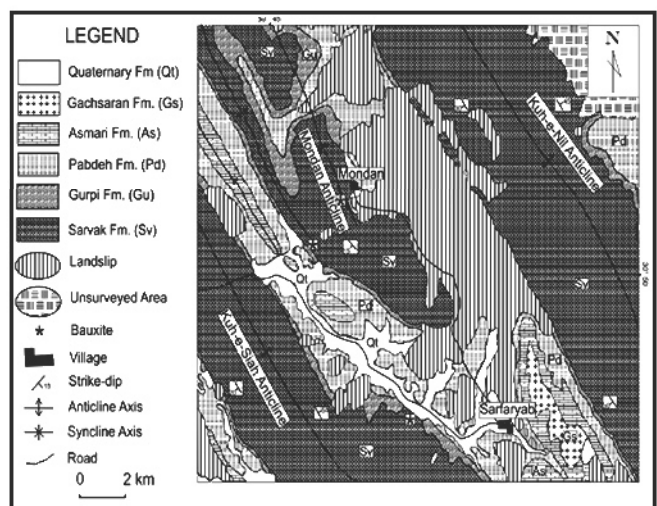
جدول ۶- ضریب همبستگی تشکیل‌دهنده‌های بوسکیت نسبت به ترازا و سنگ آهک.

	Al2O3	CaO	Fe2O3	K2O	LOI	MgO	MnO	P2O5	SiO2	TiO2	As	Ba	Co
Terra Rossa-Limestone	84.66	0.11	87.35	1.66	0.40	1.16	10	20.0	31.14	64.75	0.85	1.22	32.25
Bauxite-Terra Rossa	1.22	0.43	1.46	0.60	0.79	0.38	2	0.8	0.41	1.23	2.33	1.08	1.30
Bauxite-Limestone	103.98	0.04	128.07	1.00	0.32	0.45	20	16.0	12.88	79.42	2.00	1.32	41.93

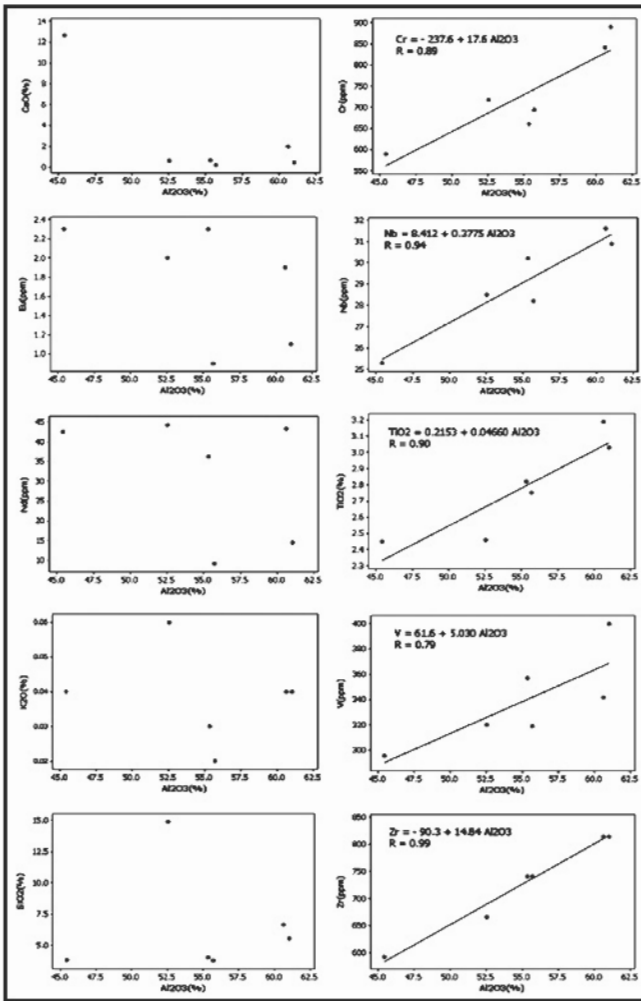
	Cr	Cu	Nb	Nd	Ni	Pb	Sc	Sn	Sr	V	Y	Zn	Zr
Terra Rossa-Limestone	782.66	0.54	9.6	15.66	66.66	3.52	57.14	18.60	1.01	6.78	10.00	1.13	37.85
Bauxite-Terra Rossa	1.24	1.40	1.2	1.19	0.98	1.50	4.18	1.37	0.98	1.57	7.46	0.67	1.37
Bauxite-Limestone	976.00	0.76	11.6	18.67	65.71	5.05	239.28	25.58	1.00	10.70	74.66	0.76	51.92



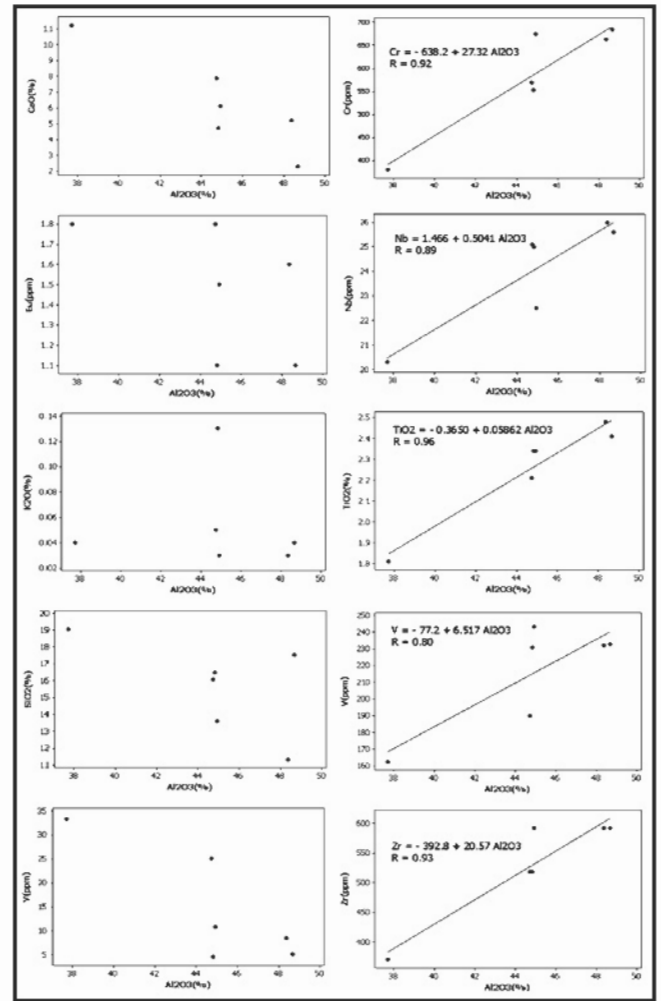
شکل ۳- نمودارهای توزیع و منحنی‌های رگرسیون عناصر سازند سروک که همبستگی قوی با Al دارند.



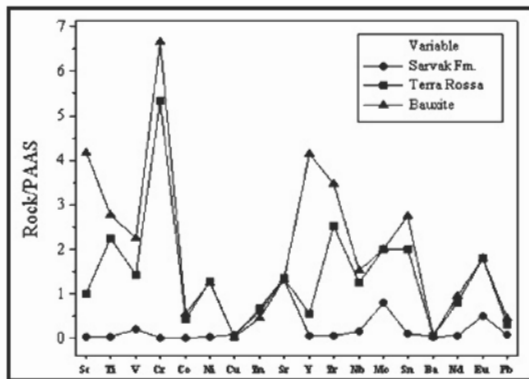
شکل ۲- بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه که موقعیت نهشته‌های بوسکیت را نشان می‌دهد. به دلیل کم بودن ستبرای سازند ایلام در منطقه، در این نقشه حدود گسترش این سازند نشان داده نشده و مجموع سازندهای سروک و ایلام با عنوان سازند سروک مشخص شده است (با تغییر از Iranian Oil Operating Companies, 1973).



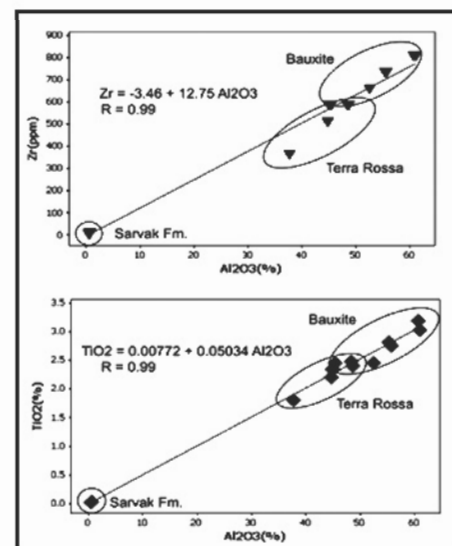
شکل ۵- نمودارهای توزیع برخی عناصر اصلی و کمیاب یوکسیت در برابر Al_2O_3 داده‌های دارای انطباق خوب نشان‌دهنده جهت عناصر نامتحرک هستند. CaO , Eu , K_2O , SiO_2 و Nd متحرک هستند و در یوکسیت تهی شده‌اند.



شکل ۶- نمودارهای توزیع برخی عناصر اصلی و کمیاب ترازا در برابر Al_2O_3 داده‌های دارای انطباق خوب نشان‌دهنده جهت عناصر نامتحرک هستند. CaO , Eu ، K_2O ، SiO_2 و Y متحرک هستند و در ترازا تهی شده‌اند.



شکل ۷- الگوهای عناصر کمیاب به‌نچهار شده با شیل استرالیایی پس از آرکن میانگین (PAAS) (Taylor and McLennan, 1985) برای سازند سروک، ترازا و یوکسیت.



شکل ۸- نمودارهای توزیع و منحنی‌های رگرسیون حاصل از ارزیابی عناصر Zr و Al_2O_3 ، TiO_2 در سازند سروک، ترازا و یوکسیت با هم‌دیگر.

کتابنگاری

آقابتی، س.ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
 مطیعی، ه.، ۱۳۷۲- زمین‌شناسی ایران (چینه‌شناسی زاگرس)، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۳۶ صفحه.
 وزارت معادن و فلزات، ۱۳۷۳- طرح تولید آلومینا از بوکسیت (ارزیابی ذخیره کانسارهای نواحی سرفاریاب، صدر آباد و سرچاه).

References

- Alavi, M., 2004- Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforland evolution, *American Journal of Science*, 304: 1-20.
- Bardossy, G., 1982- Karst bauxites; bauxite deposits of carbonate rocks, Amsterdam, Elsevier.
- Bardossy, G., 1984- European bauxite deposits. In: Jacob Leonard Jr (ed.), *Proceedings of 1984 Bauxite Symposium*, Los Angeles, California, Society of Mining Engineers, New York, 411-435.
- Brimhall, G. H., Lewis, C. J., Ague, J. J., Dietrich, W. E., Hampel, J. & Rix, P., 1988- Metal enrichment in bauxites by deposition of chemically mature aeolian dust, *Nature*, 333: 819-824.
- Bushinsky, G. I. & Zakrutkin, V. E., 1978- Geochemistry of bauxites of the South Timan, Nauka, Moscow, 122 pp. (in Russian).
- D'Argenio, B. & Mindszenty, A., 1995- Bauxites and related paleokarst: Tectonic and climatic event markers at regional unconformities, *Eclogae Geologicae Helveticae*, 88: 453-499.
- Gow, N. N., & Lozej, G. P., 1993- Bauxite, *Geosci. Can.*, 20: 9-16.
- Hill, I. G., Worden, R. H. & Meighan, I. G., 2000- Geochemical evolution of a paleolaterite: The Interbauxitic Formation, Northern Ireland, *Chem. Geol.*, 166: 65-84.
- Iranian Oil Operating Companies, 1973- Dehdasht geological compilation map, 1 : 100000.
- Jennings, J. N., 1985- Karst, The MIT Press, Massachusetts.
- Karadag, M. M., Arik, F. & Ozturk, A., 2006- A geochemical and geostatistical approach to the origin of the Catmakaya (Seydisehir - Türkiye) bauxite deposit, *Yerbilimleri*, 27 (2): 63-85, (in Turkish).
- Khadkikar, S. A. & Basavaiah, N., 2004- Morphology, mineralogy and magnetic susceptibility of epikarst-terra rossa developed in late Quaternary aeolianite deposits of southeastern Saurashtra, India, *Geomorphology*, 58: 339-355.
- Lelong, F., Tardy, Y., Grandin, G., Trescases, J. J. & Boulange, B., 1976- Pedogenesis, chemical weathering and processes of formation of some supergene ore deposits, Reprinted from: *Handbook of Stratabound and Stratiform Ore Deposits*. edited by K.H. Wolf, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Printed in The Netherlands.
- Liaghat, S., Hosseini, M. & Zarasvandi, A., 2003- Determination of the origin and mass change geochemistry during bauxitization process at the Hangam deposit, SW Iran, *Geochemical Journal*, 37: 627-637.
- Lyew-Ayee, P. A., 1986- A case for the volcanic origin of Jamaican bauxites, *Proc. Bauxite Symposium VI, 1986, J. Geol. Soc. Jamaica*, 9-39.
- MacLean, W. H., 1990- Mass change calculations in altered rock series, *Min. Dep.*, 25: 44-49.
- MacLean, W. H. & Barrett, T. J., 1993- Litho-geochemical techniques using immobile elements, *J. Explor. Geochem.*, 48: 109-133.
- MacLean, W. H. & Kranidiotis, P., 1987- Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration: Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec, *Econ. Geol.*, 82: 951-962.
- MacLean, W. H., Bonavia, F. F. & Sanna, G., 1997- Argillite debris converted to bauxite during karst weathering: evidence from immobile element geochemistry at the Olmedo Deposit, Sardinia, *Min. Dep.*, 32: 607-616.
- Miko, S., Durn, G. & Prohic, E., 1999- Evolution of terra rossa geochemical baselines from Croatia karst region, *J. Geochem. Explor.*, 66: 173-182.
- Mordberg, L. E., 1993a- Associations of trace elements in bauxites and evolution of conditions of bauxite formation. In: S. Ishihara, T. Urabe and H. Ohmoto (Eds.), *Proceedings of the 29th International Geological Congress*, 1992, *Resour. Geol. Spec. Iss.*, 15: 421-433.
- Mordberg, L. E., 1996- Geochemistry of trace elements in Paleozoic bauxite profiles in Northern Russia, *J. Geochem. Explor.*, 57: 187-199.
- Mylorie, J. E. & Carew, J. L., 1995- Karst development on carbonate islands. In: D. Budd, P.M. Harris and A. Saller. (eds.), *Unconformities and Porosity in Carbonate Strata*. AAPG Memoir, Tulsa, 63: 55-76.
- Ozturk, H., Hein, J. R. & Hanilci, N., 2002- Genesis of the Dogankuzu and Mortas Bauxite Deposits, Taurides, Turkey: Separation of Al, Fe, and Mn and Implications for Passive Margin Metallogeny, *Econ. Geol.*, 97: 1063-1077.
- Paktunc, A. D., 1998- MODAN: an interactive computer program for estimating mineral quantities based on bulk composition, *Computers & Geosciences*, 24 (5): 425-431.
- Paktunc, A. D., 2001- MODAN: a computer program for estimating mineral quantities based on bulk composition: windows version, *Computers & Geosciences*, 27: 883-886.
- Pye, K., 1988- Bauxites gathering dust, *Nature*, 333: 300-301.
- Sastri, G. G. K. & Sastri, C. S., 1982- Chemical characteristics and evolution of the laterite profile in Hazaridadar Bauxite Plateau, Madhya Pradesh, India, *Econ. Geol.*, 77: 154-161.
- Stocklin, J. & Setudehnia, A., 1977- Stratigraphic Lexicon of Iran, Ministry of Information and Tourism Press, 376 pp.
- Taylor, S. R. & McLennan, S. M., 1985- *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Oxford, Blackwell Scientific Publishing, 312 p.
- Temur, S., 2000- *Ore Deposits*, Nobel Publ., 208 pp.
- Temur, S., 2006- A geochemical approach to parent rocks of the Masatdagi diasporic bauxite, Alanya, Antalya, Southern Turkey, *Geochemistry International*, 44: 941-952.
- Temur, S., Orhan, S. H. & Kurt, H., 2005- Mass and volume change calculations of the Masatdagi (Alanya-Antalya) bauxites from Southern Turkey, *Geochem. Intern.*, 43: 202-210.
- Valeton, I., Biermann, M., Reche, R. & Rosenberg, F., 1987- Genesis of nickel laterites and bauxites in Greece during the Jurassic and Cretaceous, and their relation to ultrabasic parent rocks, *Ore Geol. Rev.*, 2: 359-404.

A Geochemical and Geostatistical Approach to the Origin of the Sarfaryab Bauxite Deposits, Kohgiluyeh-va-Boyer-Ahmad Province, SW Iran

R. Ehyae* & M. Lotfi

Geology Department, Islamic Azad University, Behbahan Branch, Behbahan, Iran

Geology Department, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

Received: 2007 September 18

Accepted: 2008 July 21

Abstract

The Sarfaryab bauxite deposits occur in karstic depressions at the top of the limestones of the Cenomanian to Lower Tertiary Sarvak Formation, which are overlain by the limestones of the Eocene Ham Formation. In order to determine the possible source rocks of the Sarfaryab bauxite deposits, a few samples were collected from Sarvak Formation, terra rossa and bauxite ore and geochemically and geostatistically analyzed. Plots of chemical data and correlation coefficients show that Al, Ti, Zr, Nb, Cr and V were immobile during the bauxitization process. In the scatter diagrams of Zr and TiO₂ versus Al₂O₃, regression lines pass through the origin and terra rossa falls between the Sarvak Formation and bauxite. Based on this research, it can be stated that the source rock of the Sarfaryab bauxite deposits is the Sarvak Formation and terra rossa is an intermediate product during limestone-bauxite transformation. Post-Tertiary uplift had exposed recently deposited limestones of the Sarvak Formation to karst weathering, and a layer of argillaceous debris accumulated on its surface and was partly converted to bauxite. Subsidence followed, and the bauxite was preserved by the deposition of limestones of the Ham Formation. Uplift in Pliocene time, with ensuing erosion, exposed the bauxite deposits to their present situation.

Keywords: Bauxite, Geochemistry, Geostatistics, Terra rossa, Sarvak Formation, Sarfaryab

For Further Verdes see pages 91 to 98

*Corresponding author: R. Ehyae; E-mail: ehyae.fahad@gmail.com