

کانی‌شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه نهشته بوکسیت رسی شیرین‌آباد، جنوب شرق گرگان

غلامحسین شمعانیان^{۱*} و زهرا مریدی^۲

۱. دانشیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۹/۲۹

چکیده

نهشته بوکسیت رسی شیرین‌آباد با ضخامت حدود هشت متر و طول یک کیلومتر در ۶۰ کیلومتری جنوب شرق گرگان واقع شده است. نهشته شیرین‌آباد به شکل یک افق چینه‌سان بین سنگ‌آهک‌های دولومیتی الیکا و شیل و ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک قرار دارد. مرز زیرین این افق به‌طور عمده موجی است، در حالی که مرز بالایی آن با شیل و ماسه‌سنگ‌های فرادیواره هم‌ساز و واضح است. سنگ‌های درون این افق، بافت‌های پلیتومورفیک، ریزدانه‌ای، اووئیدی و پیژوئیدی را نشان می‌دهند. تجزیه و تحلیل‌های بافتی، دو خاستگاه برج‌ازا و نبرج‌ازا را برای نهشته شیرین‌آباد نشان می‌دهد. این نهشته که دارای منطقه‌بندی درونی است و به چهار واحد مجزا قابل تفکیک است، به‌طور عمده از کائولینیت، آاناتاز، روتیل، بوهمیت، هماتیت، گوتیت و برترین تشکیل شده است. بر اساس داده‌های زمین‌شیمیایی، نهشته شیرین‌آباد محصول دگرسانی و هوازدگی سنگ‌هایی با ترکیب بازالت است. تلفیق داده‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که این نهشته در طی دو مرحله تشکیل شده است. ابتدا، مواد بوکسیتی و کانی‌های رسی بر اثر فرآیندهای بوکسیت‌زایی درج‌ازا از بازالت‌های قلیایی تشکیل شده‌اند، سپس این مواد به حفرات کارستی انتقال یافته و نهشته بوکسیت رسی شیرین‌آباد را پدید آورده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بوکسیت رسی، تجزیه و تحلیل‌های بافتی، شیرین‌آباد گرگان، کانی‌شناسی، ژئوشیمی.

مقدمه

شرایط اقلیمی حاره‌ای تا نیمه حاره‌ای با بارش متوسط سالیانه ۱/۲ متر و دمای بیش از ۲۲ °C تشکیل می‌شوند (Bogatyrev et al., 2009). این نهشته‌ها بر مبنای نوع سنگ بستر به دو گروه اصلی شامل بوکسیت‌های کارستی واقع بر روی سنگ‌های کربناتی و بوکسیت‌های لاتریتی

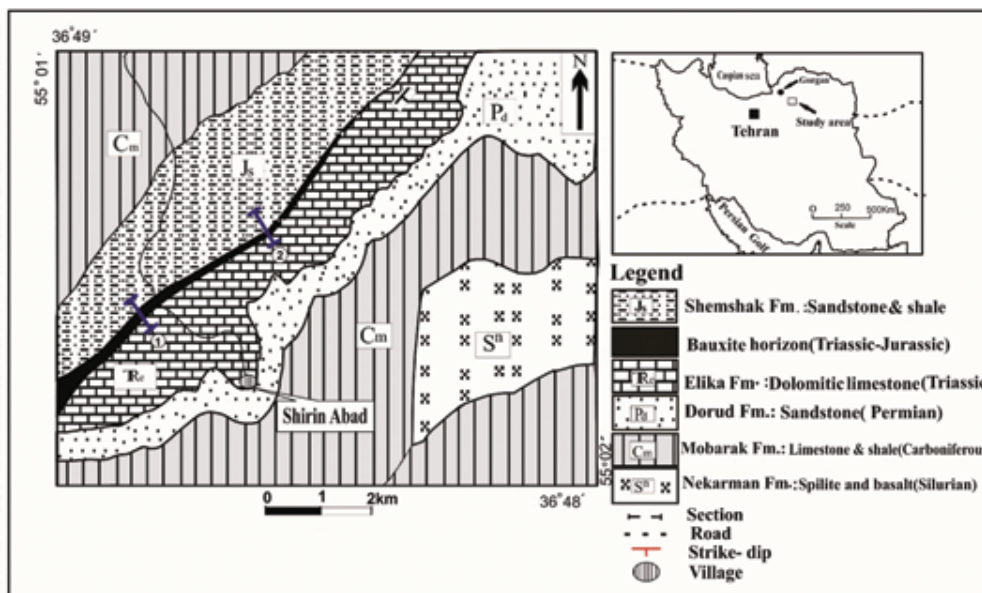
نهشته‌های بوکسیتی بیش از ۴۵/۵ درصد وزنی آلومینا و کمتر از ۲۰ درصد وزنی آهن فریک دارند (Valeton, 1972) و مهم‌ترین منبع تامین‌کننده آلومینیم هستند که از هوازدگی سنگ مادر غنی از آلومینوسیلیکات در

* نویسنده مرتبط: gh.shamanian@gu.ac.ir

به کار می‌روند (Keller and Stevens, 1983). نهشته‌های بوکسیتی ایران اغلب از نوع کارستی است و در پهنه‌های ساختاری البرز، زاگرس و ایران مرکزی پراکنده شده‌اند (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۲؛ شمعانیان، ۱۳۸۹؛ کلاگری و همکاران، ۱۳۸۲؛ Zarasvandi et al., 2008؛ Rafeie et al., 2008). پهنه البرز بر روی کمربند بوکسیتی ایران- هیمالیا قرار دارد و دارای نهشته‌های بوکسیتی متعددی است که در حد فاصل پرموتریاس و تریاس-ژوراسیک تشکیل شده‌اند. نهشته‌های بوکسیتی جاجرم، قشلاق، سیاهرودبار و شیرین‌آباد در البرز شرقی، بوکسیت‌های آبگرم در البرز مرکزی و بوکسیت‌های میاندوآب، مهاباد و سفز در البرز غربی از مهم‌ترین نهشته‌های بوکسیتی در پهنه البرز هستند. نهشته بوکسیت رسی شیرین‌آباد که با مختصات جغرافیایی $55^{\circ}10'$ طول شرقی و $63^{\circ}94'$ عرض شمالی در ۶۰ کیلومتری جنوب شرق گرگان واقع شده است (شکل ۱)، به دوره زمانی تریاس-ژوراسیک تعلق دارد. در این پژوهش، برای اولین بار ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌شناسی این نهشته بررسی و با استفاده از ویژگی‌های ژئوشیمیایی و چگونگی توزیع عناصر اصلی و جزئی درباره شرایط تشکیل و خاستگاه آن اظهار نظر شده است.

واقع بر روی سنگ‌های آلومینوسیلیکاته رده‌بندی می‌شوند (Bardossy, 1982). بوکسیت‌های کارستی برخلاف انواع لاتریتی، پیچیدگی‌های خاستگاهی زیادی دارند و ارتباط آشکاری با سنگ منشا نشان نمی‌دهند (Bardossy and Aleva, 1990). تعیین سنگ منشا این بوکسیت‌ها به‌طور عمده بر ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر از قبیل توزیع عناصر نامتحرک و نسبت بین این عناصر در نیمرخ‌های بوکسیتی استوار است (Gu et al., 2013).

اغلب نهشته‌های بوکسیتی بر اثر دو فرآیند اصلی تشکیل می‌شوند: (۱) نهشته‌های برج‌زای سرشار از آلومینیم به‌طور مستقیم از هوازدگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی سنگ منشا تشکیل می‌شوند و (۲) ابتدا نهشته‌های سرشار از کانی‌های رسی تشکیل و در ادامه با شست‌وشوی عناصر قلیایی، قلیایی خاکی و سیلیکا به نهشته‌های بوکسیتی تبدیل می‌شوند (Momade and Gawu, 2009). از این‌رو، مقدار آلومینا در نهشته‌های بوکسیتی با توجه به نوع و پیشرفت فرآیندهای بوکسیت‌زایی متفاوت و دارای کاربردهای صنعتی مختلفی است. برای مثال، بوکسیت‌های رسی و خاک‌های نسوز سرشار از آلومینا، دارای ۲۳ تا ۳۴ درصد وزنی آلومینا و ۵۰ تا ۶۰ درصد وزنی سیلیکا هستند و در تهیه آجرها و مواد نسوز



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه شیرین‌آباد که بخشی از برگه زمین‌شناسی علی‌آباد با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ است (نقشه پایه از جعفریان و جلالی، ۱۳۸۳). موقعیت محدوده و نیمرخ‌های مورد مطالعه که نمونه برداری در امتداد آن‌ها صورت گرفته به ترتیب بر روی نقشه ایران و نقشه زمین‌شناسی نشان داده شده است

در البرز را نشان می‌دهد (Berberian and King, 1981)؛ لاسمی و همکاران، ۱۳۷۹). گذر تریاس میانی به تریاس بالایی در اغلب نقاط البرز ناپیوسته بوده است و شواهدی از رویداد زمین‌ساختی سیمین پیشین را نشان می‌دهد (Nazari, 2006) که بالآمدگی و چین‌خوردگی سازند الیکا و توسعه فرآیندهای هوازدگی شیمیایی باعث کارست‌زایی در این سازند شده است (معین‌السادات و رضوی، ۱۳۷۲). وقوع فاز کششی تریاس بالایی و رخداد کافتش قاره‌ای که با خروج روانه‌های بازالتی و ملافیرها در پهنه البرز همراه بوده است (Berberian and King, 1981) سنگ‌منشا مناسبی را برای تشکیل نهشته‌های بوکسیتی در این پهنه فراهم آورده است. در منطقه شیرین‌آباد، بازالت‌های بالشی سازند سلطان میدان با سن 61 ± 4.34 Ma (Gavidel et al., 2011) قدیمی‌ترین واحد سنگ‌چینه‌ای هستند که به نخستین شکستگی سکوی پالئوزوئیک ایران نسبت داده شده است (Jenny, 1977) و توسط سازند پوشیده شده است. بر روی سازند خوش‌بیلاق سنگ‌های کربناتی سازند مبارک با سن کربونیفر قرار دارد. در منطقه شیرین‌آباد، لایه‌های ماسه‌سنگی سازند دورود به صورت موازی و همشیب بر روی سازند مبارک قرار گرفته‌اند و توسط سنگ‌آهک‌های دولومیتی سازند الیکا پوشیده شده است و اثری از سازندهای روت و نسن دیده نمی‌شود. بخش پایینی سازند الیکا با سن تریاس زیرین شامل تناوبی از شیل، سنگ‌آهک نازک تا متوسط لایه و کنگلومرای درون‌سازندی است. بخش بالایی این سازند توسط یک افق ضخیم ماسه‌سنگی از بخش پایینی جدا شده و شامل تناوبی از شیل، سنگ‌آهک دولومیتی و دولومیت است. نهشته‌های سازند الیکا در این منطقه در مقایسه با سایر نقاط البرز در یک رمپ کربناته در حاشیه شمالی و غیرفعال قاره سیمین در جنوب اقیانوس پالئوتتیس تشکیل شده است (لاسمی و همکاران، ۱۳۷۹). تأثیر فاز کوهزایی سیمین پیشین در منطقه و پس‌روی دریا در پایان تریاس پسین شرایط مناسب برای تشکیل افق بوکسیتی و سپس تشکیل رسوبات دلتایی گروه شمشک با سن ژوراسیک را پدید آورده است (شکل ۲).

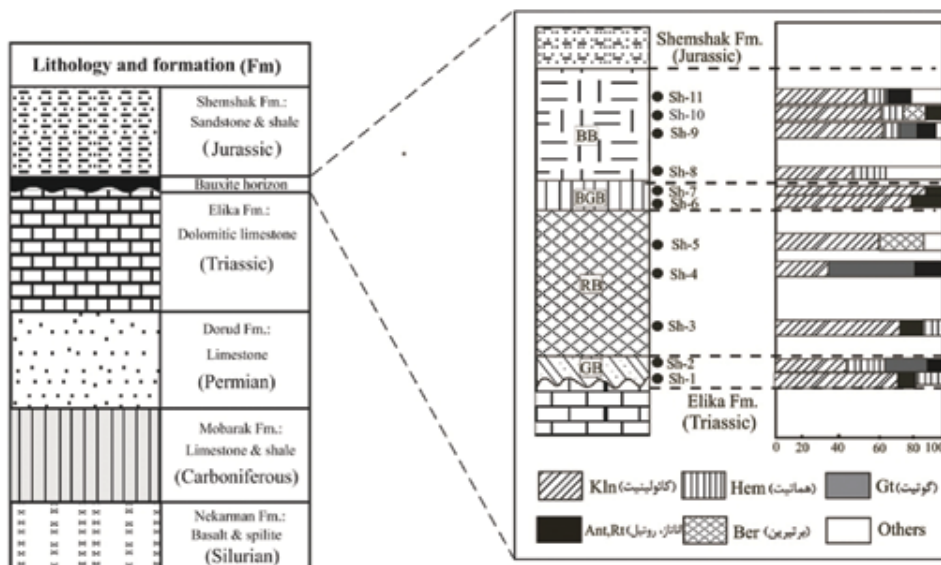
روش مطالعه

برای دستیابی به اهداف پژوهش، بررسی‌ها در دو بخش میدانی و آزمایشگاهی انجام شد. در بخش میدانی، چگونگی ارتباط نهشته با سنگ بستر و پوشش در نیمرخ‌های عمود بر لایه بررسی شد و تغییرات درونی آن از نظر رنگ، بافت و کانی‌شناسی بررسی شد. نمونه‌برداری از سنگ بستر، سنگ پوشش و افق بوکسیتی بر مبنای تغییرات درونی انجام و تعداد ۳۰ نمونه سنگی به‌صورت سیستماتیک و به روش تکه‌ای و کانالی با هدف بررسی‌های سنگ‌نگاری، کانی‌شناسی و تجزیه‌شیمیایی جمع‌آوری شد. در بخش آزمایشگاهی، هر یک از نمونه‌ها به دو بخش تقسیم شد و بخشی از آن برای تهیه مقطع نازک - صیقلی و بخش دیگر توسط یک دستگاه آسیاب تا اندازه ۲۰۰ مش پودر شد. در ادامه، تمامی مقاطع نازک-صیقلی به روش‌های مرسوم میکروسکوپی مورد بررسی‌های سنگ‌نگاری قرار گرفت. با توجه به اندازه بسیار ریز و دشواری شناسایی کانی‌ها از روش پراش پرتو ایکس (XRD) برای شناسایی کانی‌های مجهول استفاده شد. این بررسی‌ها با استفاده از دیفرکتومتر فیلیپس مدل PW 1800 انجام شد و مقادیر نیمه کمی کانی‌ها بر پایه روش (Johns et al., 1954) و با استفاده از نرم‌افزار Origin 8 محاسبه شد. برای تعیین غلظت عناصر اصلی و جزئی، تعداد ۱۲ نمونه به‌روش فلورسانس پرتو ایکس با استفاده از دستگاه XRF^۲ فیلیپس مدل PW 1480 توسط شرکت کانساران بینالود انجام شد. حد شناسایی دستگاه برای اکسیدهای TiO_2 ، P_2O_5 ، MnO ، ۰/۰۰۱ درصد، برای سایر اکسیدها ۰/۰۱ درصد و برای عناصر جزئی ۱ mg/kg بوده است.

زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی به زون ساختاری-رسوبی البرز تعلق دارد. این زون از نظر زمین‌ساختی بسیار پرتکاپو بوده است و با تظاهر فعالیت‌های ماگمایی، چین‌ها و گسل‌های متعدد با ساز و کار امتدادی و تراستی مشخص می‌شود (آق‌نابتی، ۱۳۸۳؛ Lasemi, 2001). بررسی‌های چینه‌شناسی و دیرینه جغرافیایی در پهنه البرز، پیشروی دریا در ابتدای تریاس میانی و نهشت توالی‌های کربناتی سازند الیکا

1. X-ray diffraction
2. X-ray fluorescence



شکل ۲. چپ: ستون چینه‌شناسی شمتیک از منطقه شیرین‌آباد (اطلاعات پایه از جعفریان و جلالی، ۱۳۸۳، بدون مقیاس)، راست: منطقه‌بندی درونی نهشته شیرین‌آباد و فراوانی نیمه کمی کانی‌ها در هر یک از واحدها که به روش (Johns et al. 1954) و با استفاده از نتایج پراش پرتو ایکس محاسبه شده است. کوتاه‌واژه‌ها: بوکسیت خاکستری (GB)، بوکسیت قرمز (RB)، بوکسیت سبز تیره (BGB)، بوکسیت قهوه‌ای (BB)

هیدروکسیدهای آلومینیم‌دار دارای فراوانی پایینی در نمونه‌های مورد مطالعه‌اند.

جدول ۱. مهم‌ترین کانی‌های شناسایی شده در نهشته شیرین‌آباد به روش پراش پرتو ایکس

| شماره نمونه | کانی‌های اصلی | کانی‌های فرعی |
|------------------|--|--|
| Sh ₁ | کائولینیت، موسکویت | هماتیت، آناز |
| Sh ₂ | کائولینیت، موسکویت-ایلیت، گوتیت | هماتیت، روتیل، آناز، کوارتز |
| Sh ₃ | کائولینیت، هماتیت | ایلیت، آناز |
| Sh ₄ | کائولینیت، هماتیت، موسکویت-ایلیت، گوتیت | آناز، روتیل |
| Sh ₅ | کائولینیت برترین | هماتیت، آناز، کلسیت، دولومیت، گوتیت، روتیل |
| Sh ₆ | کائولینیت، موسکویت-ایلیت | آناز، روتیل |
| Sh ₇ | کائولینیت، موسکویت-ایلیت، کوارتز | آناز، هماتیت |
| Sh ₈ | کائولینیت، موسکویت-ایلیت، هماتیت، کوارتز | آناز، ایلیت، کلسیت، دولومیت |
| Sh ₉ | کائولینیت، موسکویت-ایلیت، گوتیت | هماتیت، کلسیت، آناز، کوارتز، روتیل |
| Sh ₁₀ | کائولینیت، هماتیت، موسکویت-ایلیت | کلیت، آناز، گوتیت، روتیل |
| Sh ₁₁ | کائولینیت، موسکویت-ایلیت، گوتیت | هماتیت، روتیل، آناز، کوارتز |
| Sh ₁₂ | کائولینیت برترین | آناز، بوهمیت، هماتیت، روتیل، ایلیت، گوتیت |

نهشته شیرین‌آباد دارای منطقه‌بندی درونی است و بر پایه ویژگی‌های بافتی و ظاهری از پایین به بالا به چهار واحد بوکسیت خاکستری (GB)، بوکسیت قرمز (RB)، بوکسیت سبز تیره (BGB) و بوکسیت قهوه‌ای (BB) قابل تفکیک است (شکل ۲).

مشخصات بافتی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی

نهشته شیرین‌آباد به‌طور عمده دارای ظاهر لایه‌ای است که به طول یک کیلومتر در راستای شمال شرق- جنوب غرب گسترش دارد و دارای ضخامت شش تا ۱۰ متر است. مرز پایینی این نهشته با سنگ‌آهک‌های دولومیتی سازند الیکا موج‌سان و در برخی نقاط گسلی است. مرز بالایی آن با لایه‌های شیل و ماسه‌سنگی سازند شمشک هم‌ساز، تند و گاه گسله است. در فاصله سه کیلومتری غرب این نهشته، کانسار بوکسیت سیاه‌رودبار در همین موقعیت چینه‌شناسی قرار گرفته است که حاوی ۳۷/۵ تا ۴۷/۷ درصد Al_2O_3 است و دیاسپور و بوهمیت از کانی‌های اصلی آن محسوب می‌شود (شمعانیان، ۱۳۸۹).

بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، بافت‌های پلیتومورفیک، ریزدانه‌ای، اووئیدی، پیزوئیدی و پلتی از مهم‌ترین بافت‌های نهشته شیرین‌آباد است. کانی‌های رسی (کائولینیت و مونتموریلونیت)، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن‌دار (هماتیت و گوتیت)، اکسیدهای تیتان‌دار (آناز و روتیل)، هیدروکسیدهای آلومینیم‌دار (بوهمیت)، کانی‌های کربناتی (کلسیت، دولومیت) و کانی‌های سولفیدی (پیریت) کانی‌های تشکیل‌دهنده این نهشته است (جدول ۱).

غلامحسین شمعانیان و زهرا مریدی

وارد توده‌های بوکسیتی می‌شوند (Bardossy, 1982). به این ترتیب، به نظر می‌رسد روتیل و آناتاز موجود در واحد بوکسیت خاکستری دارای منشا آواری باشند که چگونگی تجمع آن‌ها به شرایط محلی فرسایش بستگی دارد. بافت پلیتومورفیک و نبود عناصر بافتی مثل اووئید و پیزوئید از مهم‌ترین ویژگی‌های این واحد است که نشانگر همگن بودن کلوئید اولیه و نبود هسته مناسب برای تشکیل اووئید و پیزوئید است (کلاگری و همکاران، ۱۳۸۲). براساس نتایج تجزیه شیمیایی (جدول ۲)، مقدار کمینه و بیشینه اکسیدهای SiO_2 ، Al_2O_3 و Fe_2O_3 در این واحد، به ترتیب از ۲۴ تا ۳۴/۵ درصد برای Al_2O_3 ، ۳۲ تا ۴۱ درصد برای SiO_2 و ۵/۵ تا ۲۸ درصد برای Fe_2O_3 در تغییر است.

واحد بوکسیت خاکستری (GB)

این واحد دارای تظاهر لایه‌ای و ضخامت متوسط ۳۰ سانتی‌متر است که با رنگ خاکستری مایل به سبز، تورق شیلی و خردشوندگی زیاد از سایر واحدها قابل تشخیص است. این واحد با مرز نامنظم و موج‌سان بر روی سنگ‌آهک‌های دولومیتی الیکا قرار دارد و به سمت بالا به‌طور تدریجی به واحد بوکسیت قرمز تبدیل می‌شود. کائولینیت، همتایت، آناتاز و روتیل از مهم‌ترین کانی‌های این واحد است که به روش پراش پرتو ایکس شناسایی شدند. تیتان عنصری نامتحرک است و کانی‌های نوربخت روتیل و آناتاز نمی‌توانند در بخش تحتانی توده‌های بوکسیتی ظاهر شوند. با این وجود، بخشی از این کانی‌ها به صورت آواری

جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای اصلی و عناصر جزئی در نمونه‌های مورد مطالعه

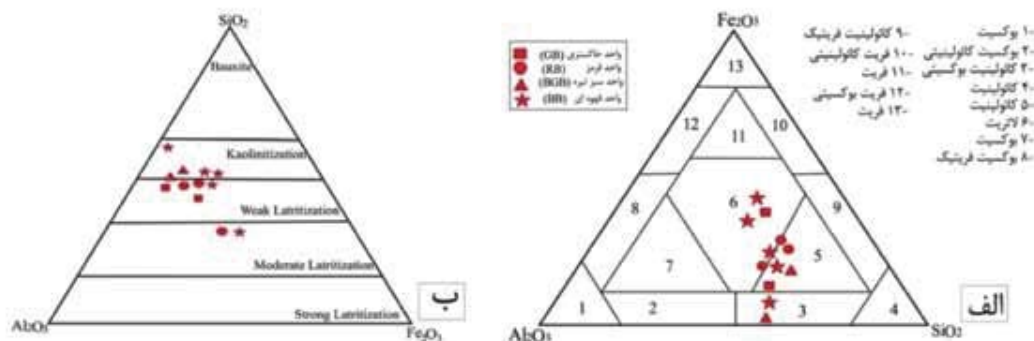
| Sample | Sh1 | Sh2 | Sh3 | Sh4 | Sh5 | Sh6 | Sh7 | Sh8 | Sh9 | Sh10 | Sh11 | Sh12 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|
| SiO ₂ (wet) | ۴۱ | ۳۱ | ۴۰ | ۳۷ | ۲۹ | ۴۱/۵ | ۴۲ | ۴۰ | ۳۹ | ۳۸ | ۳۸ | ۳۰ |
| TiO ₂ | ۲/۵ | ۲ | ۲ | ۲ | ۱/۶ | ۲/۳۳ | ۲/۱ | ۲ | ۱/۹ | ۲ | ۲ | ۱/۸ |
| Al ₂ O ₃ | ۳۴/۵ | ۲۴ | ۳۴/۵ | ۲۷ | ۲۴ | ۳۸ | ۲۶ | ۲۴ | ۳۰ | ۳۱ | ۲۶ | ۲۸ |
| Fe ₂ O ₃ | ۵/۵ | ۲۸ | ۸/۵ | ۱۶ | ۳۳ | ۱ | ۱۰/۵ | ۱۵/۵ | ۱۳ | ۱۳/۲ | ۱۶/۵ | ۲۶ |
| MnO | -/۰۰۲ | -/۰۰۱ | -/۰۰۳ | -/۰۱ | -/۰۰۲ | -/۰۰۲ | -/۰۱ | -/۰۴ | -/۰۰۳ | -/۰۶ | -/۰۸ | -/۰۶ |
| MgO | -/۸ | -/۸ | -/۶ | ۱ | ۱ | -/۶ | ۱/۴ | ۱ | ۱ | -/۶ | -/۹ | -/۷ |
| CaO | -/۴ | -/۳ | -/۳ | -/۵ | -/۳ | -/۲ | -/۸ | ۲ | -/۶ | -/۳ | -/۶ | -/۵ |
| Na ₂ O | -/۰۴ | -/۰۲ | -/۰۲ | -/۰۳ | -/۰۶ | -/۰۳ | -/۰۶ | -/۰۸ | -/۰۳ | -/۰۶ | -/۰۴ | -/۰۲ |
| K ₂ O | ۲/۷ | ۱/۱ | ۱/۷ | ۳ | -/۴ | ۲/۴ | ۳/۲ | ۳/۲ | ۲/۳ | ۱/۸ | ۳ | -/۱ |
| P ₂ O ₅ | -/۰۴ | -/۰۷ | -/۰۱ | -/۰۷ | -/۰۳ | -/۰۳ | -/۰۸ | -/۱۳ | -/۰۳ | -/۰۱ | -/۰۴ | -/۰۳ |
| L.O.I | ۱۳/۵ | ۱۲/۵ | ۱۳ | ۱۲ | ۱۰/۷ | ۱۳/۵ | ۱۴ | ۱۲/۵ | ۱۳ | ۱۳ | ۱۲/۵ | ۱۲/۵ |
| CIA | ۹۲ | ۹۴ | ۹۴/۵ | ۸۸ | ۹۷ | ۹۴ | ۸۶ | ۸۲ | ۹۱ | ۹۴ | ۸۸ | ۹۸ |
| Ba(ppm) | ۳۵۲ | ۴۶۶ | ۶۵۲ | ۶۶۲ | ۵۸۰ | ۶۳۹ | ۶۳۰ | ۷۲۸ | ۶۵۸ | ۵۷۰ | ۶۲۷ | ۶۵۸ |
| Sr | ۳۹۹ | ۲۷۳ | ۱۸۴ | ۱۹۲ | ۱۸۴ | ۶۰۰ | ۱۹۲ | ۱۳۸ | ۲۶۲ | ۱۸۰ | ۱۶۲ | ۱۶۷ |
| Cu | ۷۰ | ۲۶ | ۳۶ | ۴۳ | ۱۸ | ۶۸ | ۱۶ | ۳۱ | ۴۶ | ۴۵ | ۳۲ | ۲۹ |
| Zr | ۵۳۶ | ۲۰۸ | ۳۹۵ | ۳۰۰ | ۲۲۳ | ۶۷۹ | ۲۸۲ | ۲۱۶ | ۳۱۷ | ۳۰۴ | ۲۵۵ | ۲۹ |
| Ni | ۲۴۸ | ۱۵۸ | ۱۷۲ | ۱۷۲ | ۱۳۸ | ۱۲۷ | ۱۹۴ | ۱۲۳ | ۱۶۳ | ۱۴۲ | ۱۳۹ | ۱۳۲ |
| Pb | ۴۴ | ۱۳ | ۲۲ | ۱۴ | ۴ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۶ | ۱۹ | ۱۶ | ۱۰ |
| Cr | ۳۳۹ | ۳۲۳ | ۲۶۸ | ۲۸۷ | ۲۴۰ | ۳۴۸ | ۲۷۷ | ۲۴۶ | ۲۵۱ | ۲۲۷ | ۲۸۸ | ۳۲۵ |
| V | ۴۶۹ | ۳۱۲ | ۳۶۸ | ۳۷۴ | ۴۰۳ | ۴۴۵ | ۳۲۳ | ۳۲۹ | ۳۳۳ | ۳۸۶ | ۳۵۴ | ۳۸۵ |
| Ce | ۲۱۱ | ۱۰۲ | ۱۵۷ | ۱۶۸ | ۱۱۴ | ۱۳۴ | ۹۸ | ۱۲۰ | ۱۴۵ | ۱۴۵ | ۱۵۲ | ۱۲۸ |
| La | ۳۷ | ۲۳ | ۳۱ | ۶۵ | ۲۲ | ۴۲ | ۲۹ | ۳۴ | ۳۵ | ۴۲ | ۳۸ | ۳۷ |
| Rb | ۹۲ | ۳۲ | ۶۱ | ۸۸ | ۲۱ | ۸۳ | ۱۲۶ | ۸۹ | ۷۹ | ۷۲ | ۸۳ | ۳۴ |
| y | ۷۶ | ۳۰ | ۵۴ | ۵۴ | ۲۲ | ۸۱ | ۷۰ | ۶۰ | ۵۹ | ۴۷ | ۴۹ | ۲۲ |

تغییرات La/Y از ۰/۴۸ تا ۰/۷۶ و نشانگر محیط اسیدی در زمان تشکیل این واحد است و با مشخصات کانی‌شناسی آن همخوانی دارد (شکل ۴).

واحد بوکسیت قرمز (RB)

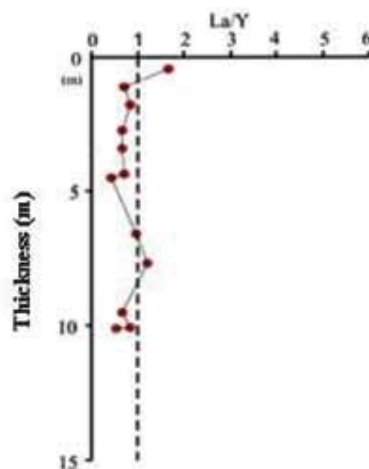
این واحد با ضخامت متوسط پنج متر بر روی واحد بوکسیت خاکستری و در زیر واحد بوکسیت سبز تیره قرار گرفته است و به دلیل رنگ قرمز آشکار، سختی بالا و حالت توده‌ای نسبت به واحدهای زیرین و بالایی قابل تفکیک است. این واحد به طور عمده از کانی‌های کائولینیت و برترین $(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{O}_3 \cdot (\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_5 \cdot (\text{OH})_4$ در بالا و هماتیت و گوتیت در پایین تشکیل شده است (شکل ۲). حضور برترین نشانگر شرایط احیا و هوازدگی ناکامل سنگ مادر، زهکشی نامناسب و یا فعال بودن منطقه از نظر زمین‌ساختی است (Bogatyrev et al. 2009) (شکل ۵- الف).

برای تعیین رخساره بوکسیتی و نوع هوازدگی از نمودارهای سه‌تایی آلو (Alleva, 1994) و (Schellmann, 1986) استفاده شد (شکل ۳). بر اساس نمودار آلو، این واحد دارای رخساره‌های کائولینیتی تا لاتریتی و بر اساس نمودار شلمن، دارای هوازدگی نوع لاتریتی‌شدن ضعیف است. برای تعیین pH محیط تشکیل نهشته‌های بوکسیتی، می‌توان از نمودار تغییرات La/Y استفاده کرد. این عناصر به روش XRF اندازه‌گیری شده‌اند که Y عنصری حساس به این روش می‌باشد و به خوبی قابل اندازه‌گیری است. اگرچه La حساسیت کمتری به روش XRF نشان می‌دهد؛ اما در مقادیر بیش از ۱۰ mg/kg از نتایج قابل قبولی برخوردار است. بر اساس نمودار تغییرات La/Y، مقادیر کمتر از یک، محیط‌های اسیدی و مقادیر بیشتر از یک، محیط‌های قلیایی را نشان می‌دهد (Maksimovic and Panto, 1991). بررسی تغییرات La/Y برای واحد بوکسیت خاکستری نشانگر



شکل ۳. الف) نمودار سه‌تایی $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (Alleva, 1994) برای تعیین نوع رخساره، ب) نمودار سه‌تایی $\text{SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Schellmann, 1986) برای تعیین نوع هوازدگی در نهشته شیرین‌آباد

بررسی‌های بافتی بر روی واحد بوکسیت قرمز نشان‌دهنده زمینه پلیتومورفیک ریزدانه‌ای و وجود عناصر بافتی متمایز شامل پلت، پیروئید، اوئید و خرده‌های آواری بوکسیتی است. خرده‌های آواری دارای اندازه ۱ تا ۲ میلی‌متر هستند (شکل ۵- ب). بخش پایینی این واحد به طور عمده حاوی پلت‌های غنی از آهن است. پلت‌ها دانه‌های گرده شده و بدون ساختار داخلی هستند که از عناصر بافتی متمایز در بوکسیت‌ها محسوب می‌شوند (Bardossy, 1982). پلت‌ها گاه خرد شده و یا دارای درز و شکاف‌های نامنظم ناشی از فرسایش هستند (شکل ۵- پ). یکی از ویژگی‌های بارز واحد بوکسیت قرمز، وجود اوئیدهای چند لامینه‌ای



شکل ۴. تغییرات نسبت La/Y در نهشته شیرین‌آباد

غلامحسین شمعانیان و زهرا مریدی

شیلی و نسبتاً خردشونده است، دارای ضخامت متوسط ۴/۵ متر است. کائولینیت، هماتیت، گوتیت، روتیل و آناتاز از مهم‌ترین کانی‌های این واحد است که به روش پراش پرتو ایکس شناسایی شدند (شکل ۲). از ویژگی‌های بافتی این واحد، زمینه پلیتومورفیک تا ریزدانه‌ای و فراوانی پلت‌های هماتیتی تا گوتیتی با فراوانی ۲۰ درصد و ابعاد بیش از دو میلی‌متر است (شکل ۵ - ج). فراوانی پلت‌ها در این واحد از شواهد نابرجازا بودن نهشته است (Nesbitt and Young, 1984). در این واحد مقدار Al_2O_3 ، SiO_2 و Fe_2O_3 به ترتیب از ۲۴ تا ۳۰ درصد برای Al_2O_3 ، ۳۰ تا ۴۰ درصد برای SiO_2 و ۱۳ تا ۲۶ درصد برای Fe_2O_3 در تغییر است. نمونه‌های مورد مطالعه در این واحد، نشان‌دهنده رخساره‌های کائولینیت بوکسیتی تا لاتریتی و هوازدگی لاتریتی‌شدن متوسط تا کائولینیتی هستند. دامنه تغییرات La/Y در این نمونه‌ها از ۰/۵۶ تا ۱/۶۸ درصد در تغییر است که نشان‌دهنده محیط تشکیل اسیدی تا قلیایی است.

خاستگاه و محیط تشکیل

تعیین سنگ منشا نهشته‌های بوکسیتی یکی از موضوعات مهم در بررسی این نهشته‌ها است که در بوکسیت‌های کارستی به دلیل نابرجا بودن مواد بوکسیتی و عدم ارتباط آشکار مکانی بین سنگ منشا و نهشته از پیچیدگی‌های بیشتری برخوردار است (Petrascheck, 1989). استفاده از شواهد میدانی و مشخصات ژئوشیمیایی عناصر جزئی مانند تعیین ضرایب انباشتگی این عناصر و نمودار دوتایی Cr-Ni از شیوه‌های رایج در تعیین خاستگاه و سنگ منشا نهشته‌های بوکسیتی است. پیاده‌سازی داده‌های ژئوشیمیایی نهشته شیرین‌آباد بر روی نمودار دوتایی Cr مقابل Ni نشان‌دهنده قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده بوکسیت‌های کارستی با سنگ منشا بازالتی است (شکل ۶).

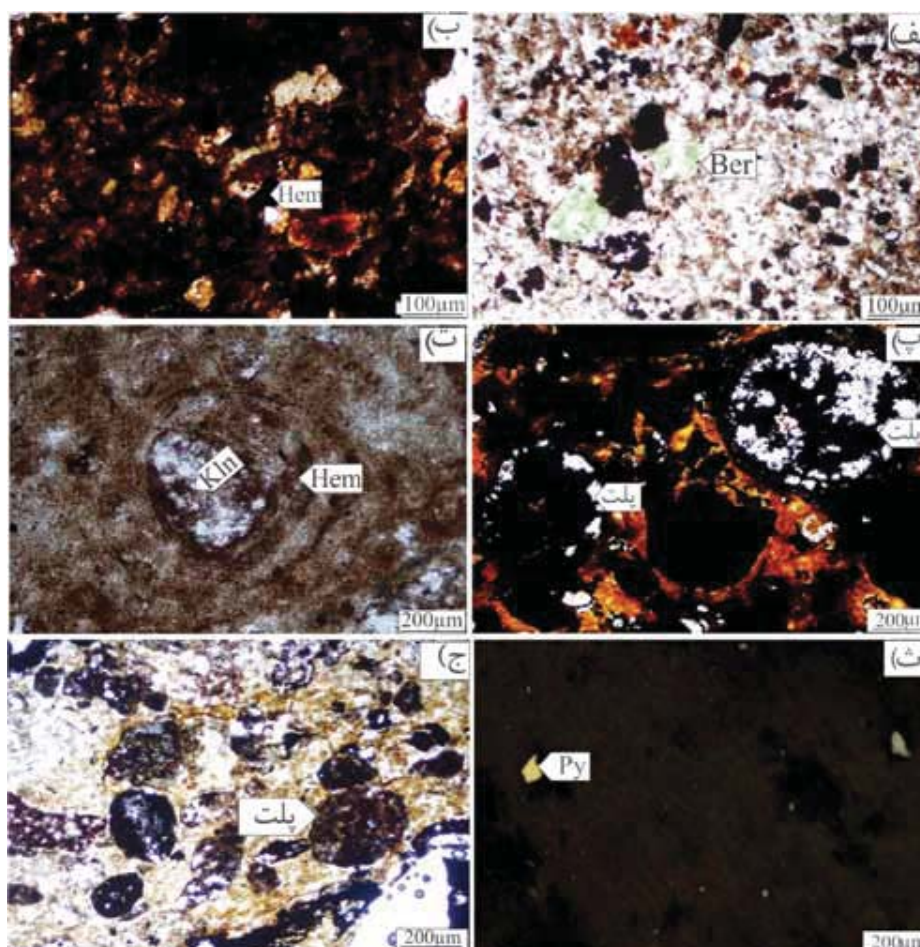
متشکل از لامینه‌های متناوب هماتیتی، گوتیتی و کائولینیتی است (شکل ۵- ت) که نشان‌دهنده تغییر شرایط اکسایش و کاهش (احیا) است (Tardy, 1993). ذرات پیریت اولیه به مقدار جزئی در بررسی‌های سنگ‌نگاری مشاهده شد (شکل ۵ - ث) که بر اثر فرآیندهای برونزاد در حال تبدیل به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن ثانویه است. مقدار Fe_2O_3 و SiO_2 ، Al_2O_3 در این واحد به ترتیب از ۲۴ تا ۳۴/۵ درصد برای Al_2O_3 ، ۲۹ تا ۴۰ درصد برای SiO_2 و ۸/۵ تا ۲۷ درصد برای Fe_2O_3 در تغییر است. نمونه‌های این واحد، رخساره کائولینیتی و هوازدگی نوع لاتریتی شدن متوسط تا کائولینیتی را نشان می‌دهند. تغییرات La/Y در این واحد از ۰/۵۷ تا ۱/۲ در تغییر است که شرایط تشکیل اسیدی تا قلیایی را نشان می‌دهد.

واحد بوکسیت سبز تیره (BGB)

این واحد دارای ضخامت متوسط ۲۰ سانتی‌متر است و با رنگ سبز تیره، تورق شیلی و خردشوندگی زیاد مشخص می‌شود که به‌طور عمده از کائولینیت، روتیل، آناتاز و بوهمیت تشکیل شده است (شکل ۲). فراوانی کائولینیت نسبت به اکسیدهای آهن و حتی نبود اکسیدهای آهن در این واحد مربوط به جاننشینی دیاژنزی کانی‌های آلومینیم‌دار توسط سیلیکا و یا آبدابی کانی‌های آلومینیم آبدار است (Karadag et al., 2009). مقدار کمینه و بیشینه Al_2O_3 در این واحد از ۲۶ تا ۳۸ درصد، مقدار SiO_2 از ۴۱/۵ تا ۴۲ درصد و مقدار Fe_2O_3 از ۱ تا ۲۶ درصد در تغییر است. نمونه‌های این واحد بین رخساره کائولینیت بوکسیتی تا کائولینیت قرار دارند. نمودار هوازدگی نیز نوع کائولینیتی را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات La/Y در این نمونه‌ها از ۰/۴۱ تا ۰/۵۱ درصد در تغییر است که نشان‌دهنده محیط تشکیل اسیدی است.

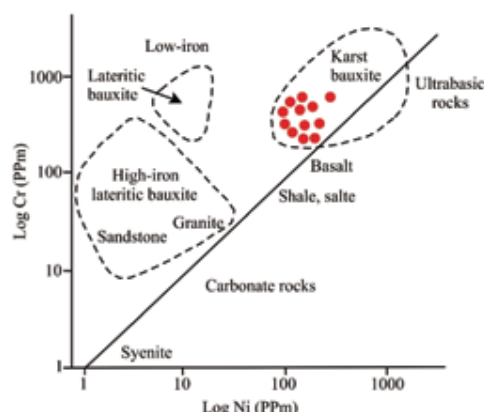
واحد بوکسیت قهوه‌ای (BB)

این واحد که دارای رنگ ظاهری قهوه‌ای، تورق



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی از بخش‌های مختلف نهشته شیرین‌آباد، الف) برترین در زمینه پلیتومورفیک، ب) ذرات و خرده‌های آواری در زمینه‌ای از هماتیت، پ) پلت‌ها یا دانه‌های گرد شده و بدون ساختار داخلی سرشار از آهن، ت) اووئید با هسته سرشار از کائولینیت، ث) ذرات پیریت افشان در نهشته شیرین‌آباد، ج) پلت هماتیته در زمینه ریزدانه‌ای. کوتاه‌واژه‌ها: برترین = Ber، هماتیت = Hem، کائولینیت = Kln، پیریت = Py. تصویر ث در نور بازتابی عادی و بقیه تصاویر در نور عبوری عادی گرفته شده‌اند

اگر چه بر اساس شواهد زمین‌شناسی، آثاری از رخنمون گدازه‌های بازالتی در منطقه مورد مطالعه مشاهده نشد، اما خروج روانه‌های بازالتی بر اثر وقوع فاز کششی تریاس بالایی و رخداد کافتش قاره‌ای در پهنه البرز گزارش شده است (Berberian and King, 1981). پیاده‌سازی نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودار سه‌تایی Ga-Cr-Zr نشانگر محدوده سنگ منشأ بازیک است (شکل ۷).

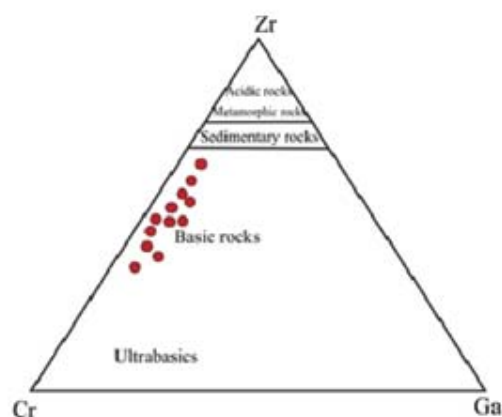


شکل ۶. نمودار تغییرات غلظت Ni در برابر Cr برای انواع نهشته‌های بوکسیتی نسبت به سنگ منشأهای متفاوت، نمودار پایه از (Mordberg, 1996). نمونه‌های شیرین‌آباد (دایره توپر)، در محدوده بوکسیت‌های کارستی با سنگ منشأ بازالتی قرار گرفته‌اند

غلامحسین شمعانیان و زهرا مریدی

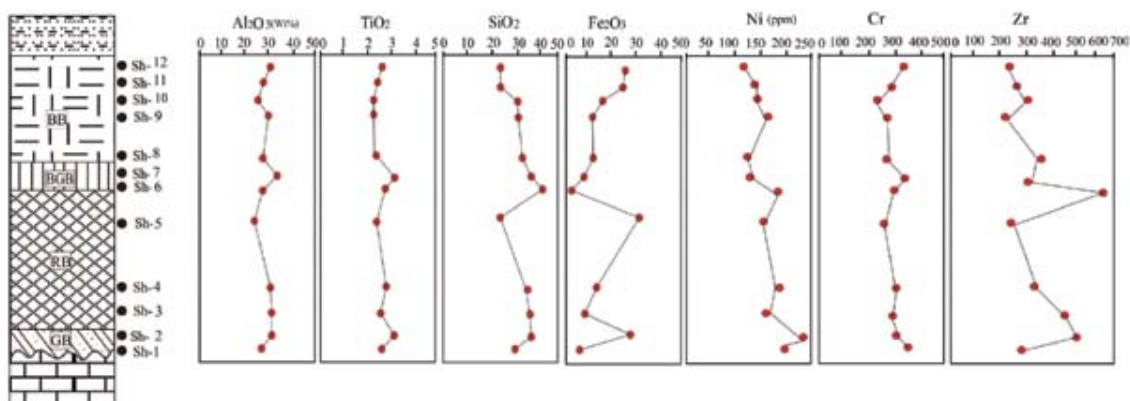
نظر کرد. روند تغییرات Al_2O_3 در نیمرخ مورد مطالعه، نشان دهنده بیشترین همانندی با TiO_2 به ویژه در واحد بوکسیتی سبز تیره است (شکل ۸).

بررسی تغییرات SiO_2 نیز روند کمابیش مشابه‌ای را با Al_2O_3 نشان می‌دهد که با حضور و فراوانی کائولینیت نبودن فرآیندهای بوکسیت‌زایی و شست‌وشوی ناقص عناصر قلیایی، قلیایی خاکی و سیلیکا است. با این حال، بررسی نمودارهای دوتایی SiO_2 ، Fe_2O_3 ، TiO_2 ، در مقابل Al_2O_3 ، نشان دهنده همبستگی مثبت ضعیف بین TiO_2 و Al_2O_3 ($R^2 = 0.33$) است (شکل ۹). از طرفی، بررسی رابطه SiO_2 و Al_2O_3 ($R^2 = 0.27$) نیز رابطه معناداری را بین آن‌ها نشان نمی‌دهد و تنها Fe_2O_3 دارای همبستگی منفی قوی با Al_2O_3 ($R^2 = 0.61$) است.

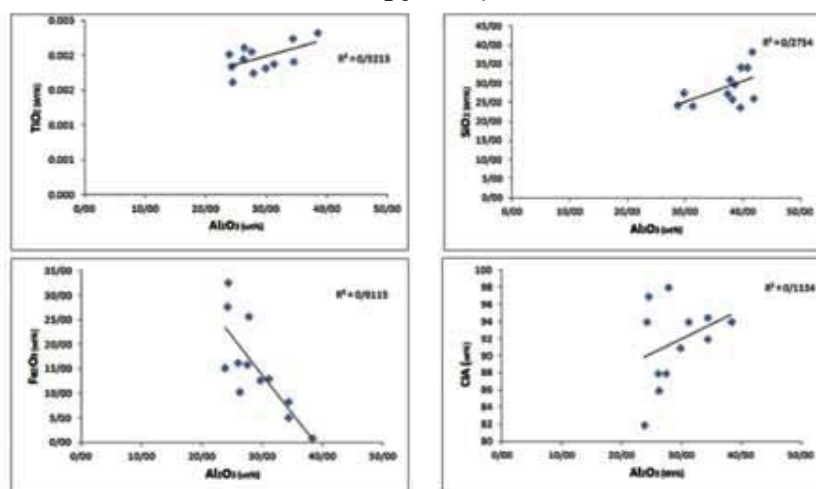


شکل ۷. موقعیت نمونه‌های شیرین‌آباد (دایره توپر) بر روی نمودار سه متغیره (Zr- Cr- Ga)، نمودار پایه از (Mordberg, 1996)

با بررسی روند تغییرات اکسیدهای اصلی مثل Al_2O_3 ، TiO_2 ، SiO_2 ، Fe_2O_3 در واحدهای افق بوکسیتی، می‌توان درباره چگونگی تاثیر فرآیندهای هوازدگی و دگرسانی اظهار

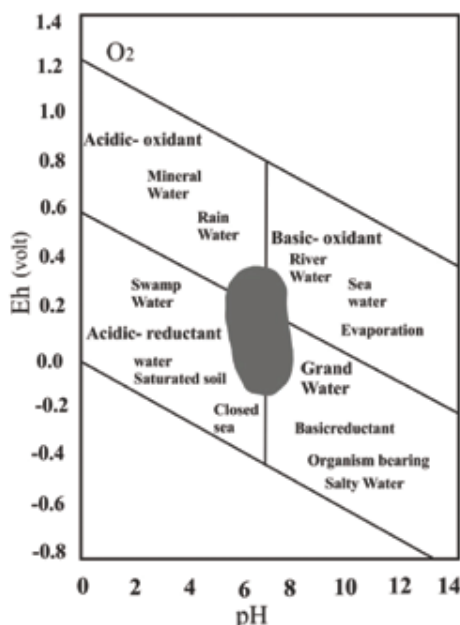


شکل ۸. تغییرات اکسیدهای اصلی (Al_2O_3 - TiO_2 - SiO_2 - Fe_2O_3) و اکسیدهای جزئی (Ni- Cr- Zr) در واحدهای سنگ چینه‌ای مختلف نهشته شیرین‌آباد



شکل ۹. بررسی همبستگی Al_2O_3 با TiO_2 ، SiO_2 ، Fe_2O_3 و CIA در نمونه‌های مورد مطالعه

و زیر سطح ایستابی تقسیم شده‌اند (Boni et al., 2013) یافته‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی نشانگر هر دو رخساره اکسیدان و احیایی در نهشته شیرین‌آباد است (شکل ۱۰). رخساره اکسیدان با حضور کائولینیت، هماتیت و گوتیت و رخساره احیایی با حضور برتیرین و پیریت مشخص می‌شود. اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در نوع نهشته‌ها در شرایط قلیایی با pH بالاتر از هفت و Eh بیشتر از ۰/۲ و کائولینیت در شرایط اسیدی با pH کمتر از شش تشکیل می‌شوند (Temur and Kansun, 2006). به‌طور کلی فراوانی این گروه از کانی‌ها تابع شرایط Eh-pH محیط در فرآیندهای هوازگی است (شکل ۱۰). با توجه به شرایط پایداری کانی‌های تشکیل‌دهنده نهشته شیرین‌آباد، این نهشته در محیطی با نوسانات پتانسیل اکسایش- احیا تشکیل شده است. تلفیق یافته‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی در نهشته شیرین‌آباد و مقایسه آن با نهشته‌های جاجرم، قشلاق و سیاه‌رودبار در البرز شرقی (جدول ۳)، نهشته‌های منطقه میان‌دوآب در البرز مرکزی (کلاگری و عابدینی، ۱۳۸۲) و نهشته‌های منطقه آبگرم در غرب ایران (Rafiei et al., 2008)، نشان‌دهنده تعلق این نهشته به گروه بوکسیت‌های کارستی است.



شکل ۱۰. نمودار Eh و pH محیط‌های طبیعی و موقعیت نهشته شیرین‌آباد (محدوده خاکستری)، نمودار پایه از (Temur and Kansun, 2006)

پایین بودن مقدار TiO_2 در بخش بالایی نیم‌رخ مورد مطالعه و نبود رابطه مثبت قوی با Al_2O_3 ، نشان‌دهنده درجه ضعیف هوازگی در مقایسه با کانسارهای بوکسیتی است. از طرفی، عدم تفکیک SiO_2 و Al_2O_3 از یکدیگر و نبود رابطه معنادار بین آن‌ها، نشانگر شست‌وشوی ناقص سیلیکا (Momade and Gawu, 2009) در نهشته شیرین‌آباد و تشکیل کائولینیت، مسکویت-ایلیت در این نهشته است که از مشخصات نهشته‌های بوکسیت رسی است (Bardossy, 1982)، این مانع توسعه فرآیندهای بوکسیت‌زایی و تبدیل کامل کانی‌های رسی به هیدروکسیدهای آلومینیم‌دار شده است.

بررسی روند تغییرات عناصر Ni (۲۴۸-۱۲۳ mg/kg) و Cr (۳۴۸-۲۲۷ mg/kg)، نشانگر جدایش Cr ، Ni و Fe_2O_3 در طی فرآیندهای هوازگی است (شکل ۸). بررسی این تغییرات در عنصر Zr (۶۷۹-۲۰۸ mg/kg)، نشان‌دهنده بیشترین مقدار آن در واحد بوکسیت سبز تیره است که پس از یک کاهش ناگهانی مجدداً به طرف پایین نیم‌رخ، روند افزایشی نشان می‌دهد (شکل ۸). زیرکن در نهشته‌های بوکسیتی، به طور عمده به صورت آواری یافت می‌شود و در طی فرآیندهای هوازگی به عنوان یک عنصر نامتحرک در بخش بالایی نیم‌رخ‌های بوکسیتی غنی‌شدگی می‌یابد (Bardossy, 1982). به این ترتیب، غلظت بیشتر Zr در بخش میانی نیم‌رخ مورد مطالعه و روند افزایشی آن در بخش پایینی نیم‌رخ را می‌توان به نحوه توزیع زیرکن و کامل نبودن فرآیندهای هوازگی نسبت داد. به طور کلی، توزیع عناصر اصلی و جزئی در نیم‌رخ‌های بوکسیتی تابع عواملی از قبیل پایداری کانی‌های حامل و تمرکزدهنده، تثبیت عناصر در فازهای نوریخت، فرآیندهای جذب سطحی، مشخصات هیدروشمیایی آب‌های زیرزمینی و مشخصات ژئوشیمیایی عناصر است (Gu et al., 2013) شاخص‌های متعددی برای تعیین شدت و ارزیابی رویدادهای هوازگی وجود دارد که به‌طور عمده بر پایه غلظت Ca، Na، Al، K بنا شده‌اند (Selvaraj and Chen, 2006).

نهشته‌های بوکسیتی از نظر شرایط محیطی به دو رخساره اکسیدان و احیایی به ترتیب واقع در بالای سطح ایستابی

غلامحسین شمعانیان و زهرا مریدی

غنی از آلومینا تبلور یافته است. در ادامه، مواد هوازده توسط آب‌های سطحی به حفره‌های کارستی سازند الیکا انتقال یافته‌اند. تغییر در وضعیت رسوب‌گذاری، زهکشی و فروشست آب‌های جوی و نوسانات سطح ایستایی، باعث تغییرات کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی و ایجاد منطقه‌بندی درونی بافتی در این نهشته شده است.

یکی از ویژگی‌های نهشته شیرین‌آباد وجود اوئیدها و پیزوئیدهایی با لامینه‌های متناوب هماتیت، گوتیت و کائولینیت است که تشکیل آن‌ها به عوامل مختلف به‌ویژه تغییرات Eh، pH و مقدار آب در محیط خاکزاد و نوسانات اقلیمی بستگی دارد. کائولینیت کانی اصلی در این نهشته است که تشکیل آن مربوط به جانمایی دیاژنزی کانی‌های آلومینیم‌دار توسط سیلیکا و یا آزدایی کانی‌های آلومینیم‌دار است (Karadag et al., 2009). بر اساس بررسی‌های بافتی و کانی‌شناسی، اوئیدها و پیزوئیدهای موجود در نهشته شیرین‌آباد از تناوب لایه‌های هماتیتی، گوتیتی و کائولینیتی تشکیل شده‌اند که دلالت بر نوسانات اکسایش-احیا و تغییر مقدار آب در محیط تشکیل نهشته دارد (Öztrük et al., 2002).

نهشته شیرین‌آباد اگرچه فاقد کیفیت لازم برای تولید آلومینا است، اما به دلیل فراوانی زیاد کائولینیت و دارا بودن رخساره بوکسیت رسی در تهیه آجرها و مواد نسوز کاربرد دارد.

منابع

- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶.
- جعفریان، م.ب. و جلالی، ع.، ۱۳۸۳. نقشه زمین‌شناسی خوش‌بیللاق با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- رفیعی، ب.، ملایی، ح.، رمضان‌پور، ح. و محسنی، ح.، ۱۳۹۲. ویژگی‌های زمین‌شناسی و زمین‌آماری نهشته‌های بوکسیت تاگویی. منطقه جاجرم، شمال شرق ایران. دو فصلنامه رسوبشناسی کاربردی، جلد ۱، ۱-۱۳.
- امینی ل.، شمعانیان غ.، رقیمی م. و جعفر زاده ر.، ۱۳۹۰. بررسی‌های کانی‌شناسی، زمین‌شناسی و پیدایشی کانسارهای بوکسیت کارستی جاجرم، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۳، ۴۲۶-۴۱۳.

جدول ۳. مقایسه نهشته بوکسیت رسی شیرین‌آباد با تعدادی از کانسارهای بوکسیتی واقع در البرز شرقی

| ویژگی | نام کانسار | فتلاق | جاجرم | سپاهرودبار | شیرین‌آباد |
|------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------|
| سنگ بستر | روته | لیکا | لیکا | لیکا | لیکا |
| سنگ پوش | لیکا | ششک | ششک | ششک | ششک |
| سن | پرمو - تریاس | تریاس پسین | تریاس پسین | تریاس پسین | تریاس پسین |
| ریخت‌شناسی نهشته | لایه‌ای | لایه‌ای تا عدسی | لایه‌ای تا عدسی | لایه‌ای تا عدسی | لایه‌ای تا عدسی |
| کانی‌های اصلی | کائولینیت، دیاپور، بوهمیت | دیاپور، بوهمیت، آتاتاز | بوهمیت، دیاپور، هماتیت | کائولینیت، هماتیت، آتاتاز | کائولینیت، آتاتاز |
| بافت‌های غالب | نودولی، پیزوئیدی | اوئیدی، پیزوئیدی | اوئیدی، پیزوئیدی | اوئیدی، پیزوئیدی | اوئیدی، پیزوئیدی |
| منبع | فرارزی و همکاران ۱۳۹۱ | امینی و همکاران ۱۳۹۰ | شمعانیان ۱۳۸۹ | این مقاله | این مقاله |

نتیجه‌گیری

تلفیق یافته‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی نشان‌دهنده قرارگیری نهشته شیرین‌آباد در گروه بوکسیت‌های کارستی است. ظاهر لایه‌ای شکل این نهشته و مرزهای مشخص و واضح آن با سنگ‌های بستر و پوشش، نشان‌دهنده نابرجازا بودن مواد هوازده و خاک‌های بوکسیتی و انتقال آن‌ها به محیط انباشت است (Herrmann et al., 2007). از طرفی، وجود ذرات و قطعات آواری بوکسیتی و پلت‌ها از شواهد بافتی نابرجازا بودن (Öztrük et al., 2002) و بافت‌های اوئیدی، پیزوئیدی و پلیتومورفیک از مهم‌ترین شواهد برجازا بودن این نهشته است (Bardossy, 1982). در منطقه شیرین‌آباد مانند سایر نقاط البرز، با پیشروی دریا در ابتدای تریاس میانی، توالی‌های کربناتی سازند الیکا نهشته شده است. رویداد زمین‌ساختی سیمین پیشین در این منطقه از یکسو باعث برپایی منطقه‌ای و توسعه فرآیندهای کارست‌زایی در سازند الیکا شده است و از سوی دیگر، باعث تشکیل گدازه‌های بازالتی و قرارگیری آن بر روی سازند الیکا شده است (Berberian and King, 1981) که به‌عنوان سنگ مادر نهشته شیرین‌آباد در معرض هوازدگی قرار گرفته است. توسعه فرآیندهای هوازدگی باعث شست‌وشوی عناصر قلیایی و قلیایی خاکی شده و با غنی‌شدگی عناصر نامتحرک انباشت‌های برجازای غنی از عناصر نامتحرک تشکیل شده‌اند. در طی این رویداد، کائولینیت از ژل‌های کلوئیدی

- Boni, M., Rollinson, G., Mondillo, N., Ballassone, G. and Santoro, L., 2013. Quantitative Mineralogical Characterization of Karst Bauxite Deposits in the Southern Apennines, Italy. *Economic Geology*, 108, 813-833.
- Ghavidel-Syooki, M., Hassanzadeh, J. and Vecoli, M., 2011. Palynology and isotope geochronology of the Upper Ordovician- Silurian successions (Ghelli and SoltanMaidan Formation) in the Khoshyeilagh area, eastern Alborz Range, northern Iran; Stratigraphic and paleogeographic implication. *Review of Palaeobotany and Palynology*, Elsevier, 164, 251-271.
- Gu, J., Huang, Z., Fan, H., Jin, Z., Yan, Z. and Zhang, J., 2013. Mineralogy, geochemistry, and genesis of lateritic bauxite deposits in the Wuchuan-Zheng'an- Daozhen area, Northern Guizhou Province, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 130, 44-59.
- Herrmann, L., Anongrak, N., Zarei, M., Schuler, U. and Spohrer, K., 2007. Factor and processes of gibbsite formation in Northern Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences*, 71, 279-291.
- Jenny, J. G., 1977. *Geologieetstratigraphie de l'Elburze Oriental entre Aliabad et Shahrud, Iran*. Thèse présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Genève, 238.
- Johns, W.D., Grim, R.E. and Bradly, W.F., 1954. Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24, 242-251.
- Karadag, M.M., Kupeli, S., Aryk, F., Ayhan, A., Zedaf, V. and Doyen A., 2009. Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortas Bauxite deposit (Seydisehir/Konya-Southern Turkey). *Chemie der Erde*, 69, 143-159.
- Keller, W.D. and Stevens, R.P., 1983. Physical arrangement of high-alumina clay types - شمعیان، غ.ح.، ۱۳۸۹. مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی نهشته‌های بوکسیت سیاه‌رودبار، استان گلستان، ایران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، دانشگاه گلستان، ۳۵.
- فرامرزی، ر. شمعیان، غ.ح.، شفیع، ب.، ۱۳۹۱. کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و خاستگاه نهشته بوکسیت قشلاق، جنوب شرق گرگان، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، ۱، ۲۹-۴۵.
- کلاگری، ع.ا.، عابدینی، ع. و موذن، م.، ۱۳۸۲. زمین‌شناسی و کانی‌شناسی افق بوکسیتی قبی در غرب میاندوآب، آذربایجان غربی. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۲، ۱۶۵-۱۸۵.
- لاسمی، ی.، جهانی، د. و کهنسال قدیم‌وند، ن.، ۱۳۷۹. بررسی سازند الیکا در غرب البرز شرقی، ناحیه غزنوی: رخساره‌ها، محیط‌های رسوبی و چین‌نگاری سکانسی. خلاصه مقالات چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تبریز، ۲۰۲-۱۹۸.
- معین‌السادات، س.ح. و رضوی ارمغانی، م.ب.، ۱۳۷۲. زغال‌سنگ. طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، کتاب شماره ۷. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۸۶.
- Aleva, G.J.J., 1994. Laterites: concept, geology, morphology and chemistry. *International Soil Reference and Information Center (ISRIC)*, Wageningen, Netherlands, 169.
- Bardossy, G., 1982. Karst Bauxites-Bauxite deposits on carbonate rocks. *Developments in Economic Geology*, Elsevier, Amsterdam, 14, 441.
- Bardossy, G. and Aleva, G.J.J., 1990. Lateritic Bauxite. *Developments in Economic Geology*, Elsevier, Amsterdam, 27, 624.
- Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Earth Science*, 18, 210 - 265.
- Bogatyrev, B.A., Zhukov, V.V. and Tsekhovskiy, Y.G., 2009. Formation conditions and regularities of the distribution of large and superlarge bauxite deposits. *Lithology and Mineral Resources*, 44, 135-151.

- in a Missouri clay deposit and implication for their genesis. *Clay and Clay Minerals*, 31, 422-434.
- Lasemi, Y., 2001. Facies analysis, depositional environments and sequence stratigraphy of the upper Pre-Cambrian and Paleozoic rocks of Iran. *Geological Survey of Iran*, 180.
 - Maksimovic, Z. and Panto, G., 1991. Contribution to the geochemistry of the rare earth elements in karst-bauxite deposits of Yugoslavia and Greece. *Geoderma*, 51, 93-109.
 - Momade, F.W.Y. and Gawu, S.K.Y., 2009. Geochemical and mineralogical characteristics of lithomargic clay types from awaso bauxite deposit, Ghana: Implications for possible industrial utilization. *Journal of Science and Technology (Ghana)*, 29, 96-106.
 - Mordberg, L.E., 1996. Geochemistry of trace element in Paleozoic bauxite profiles in northern Russia. *Journal of Geochemical Exploration*, 57, 187-199.
 - Nazari, H., 2006. Analyse de la tectonique recente et active dans l'Alborz Central et la region de Teheran: Approche morphotectonique et paleoseismologique. *Science de la terre et de l'eau*, Montpellier, 2, 247.
 - Nesbitt, H.W. and Young, G.W., 1984. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299, 715-717.
 - Öztrük, H., Hein, J.R. and Hanilci, N., 2002. Genesis of the Dogankuzu and Mortaz bauxite deposits, Turides, Turkey, Separation Al, Fe and Mn implication for passive margin metallogeny. *Economic Geology*, 97, 1063-1077.
 - Petrascheck, W.E., 1989. The genesis of allochthonous karst-type bauxite deposits of southern Europe. *Mineralium Deposita*, 24, 77-81.
 - Rafiei, B., Mollai, H. and Ghorbani, M., 2008. The genesis of Late Triassic allochthonous karst-type bauxite deposits of the Kisejin area, Ab-e-Garm district, Iran. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie- Abhandlungen*, 250, 217-231.
 - Schellmann, W., 1986. A new definition of laterite, In: Banerji, P.K. (Ed.) *Laterization processes*. Geological Survey of India, Memoir, 120, 11-17.
 - Selvaraj, K. and Chen, C.T.A., 2006. Moderate Chemical Weathering of Subtropical Taiwan: Constraints from Solid-Phase Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks. *Journal of Geology*, 114, 101-116.
 - Tardy, Y., 1993. *Petrologie des laterites et des sols tropicaux*, Masson, Paris, 461.
 - Temur, S., and Kansun, G., 2006. Geology and petrography of the Mastadagidiasporic bauxites, Alanya, Antalya, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 512-522.
 - Valetton, I., 1972. *Bauxites*, Amsterdam. Elsevier, 226.
 - Zarasvandi, A., Charchi, A., Carranza, E.J.M. and Alizadeh, B., 2008. Karst bauxite deposits in the Zagros Mountain Belt, Iran. *Ore Geology Reviews*, 34, 521-532.