مجله زمین‌شناسی اقتصادی
سال ۱۳۹۳، شماره ۱، (جلد ۶)
صفحه ۱۶۳ تا ۱۷۶

Journal of Economic Geology
2014 No. 1 (Vol. 6)
ISSN 2008-7306

تجزیه و تحلیل عناصر بافتی در بوکسیت‌های کارستی جاجرم: ترکیب و شرایط تشکیل

الهام حبیب‌زاده، غلامحسین شمعانیان*، هادی عمرانی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱/۲۸، پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۷

چکیده

کانسار بوکسیت کارستی جاجرم در ۱۷۵ کیلومتری جنوب‌غرب بجنورد واقع شده است. این کانسار به‌شکل یک افق چینه‌سان بین دولومیت‌های تریاس و شیل و ماسه‌سنگهای ژوراسیک تشکیل شده است. در این تحقیق، عناصر بافتی بوکسیت‌های جاجرم بر پایه معیارهای ریخت‌شناسی و پیدایشی به عناصر بافتی زمینه و متمایز تقسیم شد. بافتهای پلیتومورفیک و میکروگرانولار از فراوانترین عناصر بافتی زمینه و اووئیدها، پیزوئیدها، پلت‌ها و رخدادهای ثانویه از مهمترین عناصر بافتی متمایز می‌باشند. تجزیه و تحلیلهای بافتی نشانگر هر دو خاستگاه برجازا و نابرجازا برای بوکسیت‌های جاجرم است. در مطالعات دقیق پتروگرافی دو نوع اووئیدو پیزوئید بر مبنای ویژگیهای ریختی و انتظام لامینه‌ها شناسایی شد. نوع A با لامینه‌های نازک، منظم و پیوسته مشخص می‌شود، در حالی‌که نوع B دارای لامینه‌های ضخیم، نامنظم و ناپیوسته است. اووئیدها و پیزوئیدها به‌طور عمده از تناوبی از لامینه‌های کائولینیت- هماتیت و دیاسپور- گوتیت تشکیل شده‌اند که به سمت لامینه‌های بیرونی بر مقدار Al_2O_3 افزوده می‌شود. تناوب بسیار ظریف این لامینه‌ها در اووئیدها و پیزوئیدها نشانگر نوسانات اقلیمی در فصول خشک و مرطوب است. عناصر بافتی ثانویه به‌طور عمده دارای تظاهر رگه‌چه‌ای بوده و غنی از SiO_2 و Al_2O_3 می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: *عناصر بافتی، اووئید، پیزوئید، نوسانات اقلیمی، بوکسیت کارستی، جاجرم.*

مقدمه

بوکسیت یکی از منابع اصلی آلومینیم است که بر اثر فرآیندهای هوازدگی شیمیایی و فروشست عناصر قلیایی، قلیایی خاکی و سیلیکا در شرایط سطحی قاره‌ای در دمای ۲۵ ^{o}C و در آب و هوای گرم و مرطوب با میزان بارش بیش از ۱۸۰۰ میلی‌متر در سال تشکیل می‌شود [۱ و ۲]. بنابراین، بوکسیت‌ها به‌دلیل ثبت رویدادهای اقلیمی، زیستی و خاک‌زایی [۳] می‌توانند به‌عنوان یکی از شاخصهای مناسب در بازسازی نقشه‌های دیرینه اقلیم و اظهارنظر درباره شرایط محیطی به کار روند [۴، ۵ و ۶].

مطالعات کانی‌شناسی و تجزیه شیمیایی سنگ‌کل یکی از روشهای مرسوم در مطالعه کانسنگهای بوکسیتی است که برای بررسی فرآیندهای بوکسیتی‌شدن و تعیین سنگ منشأ کاربرد دارد [۷، ۸ و ۹]. علاوه بر این، بررسی عناصر بافتی بوکسیت‌ها و تعیین ویژگیهای میکروکانی‌شناسی و میکروشیمیایی آنها دارای کاربرد زیادی در بازسازی شرایط دیرینه محیطی و دیرینه اقلیمی است [۸، ۱۰ و ۱۱]. براساس [۱۲] عناصر بافتی بوکسیت‌ها را می‌توان به دو دسته اصلی زمینه و متمایز تفکیک کرد. اووئیدها و پیزوئیدها از مهمترین عناصر بافتی متمایزند که به‌دلیل تغییرات متناوب کانی‌شناسی و شیمیایی دارای ساختار هم‌مرکز می‌باشند و می‌توانند تغییرات دوره‌ای محیطی و اقلیمی را به نمایش بگذارند [۱۳]. چگونگی تظاهر اووئیدها و پیزوئیدها و نیز تعداد و جنس هسته‌ها و لامینه‌های آنها از تنوع و پیچیدگیهای زیادی برخوردار است که طبقه‌بندی و تفسیر آنها را با دشواریهای فراوان روبه‌رو می‌سازد.

هدف اصلی این مقاله، توصیف و طبقه‌بندی عناصر بافتی به ویژه اووئیدها و پیزوئیدهای بوکسیت‌های جاجرم بر پایه

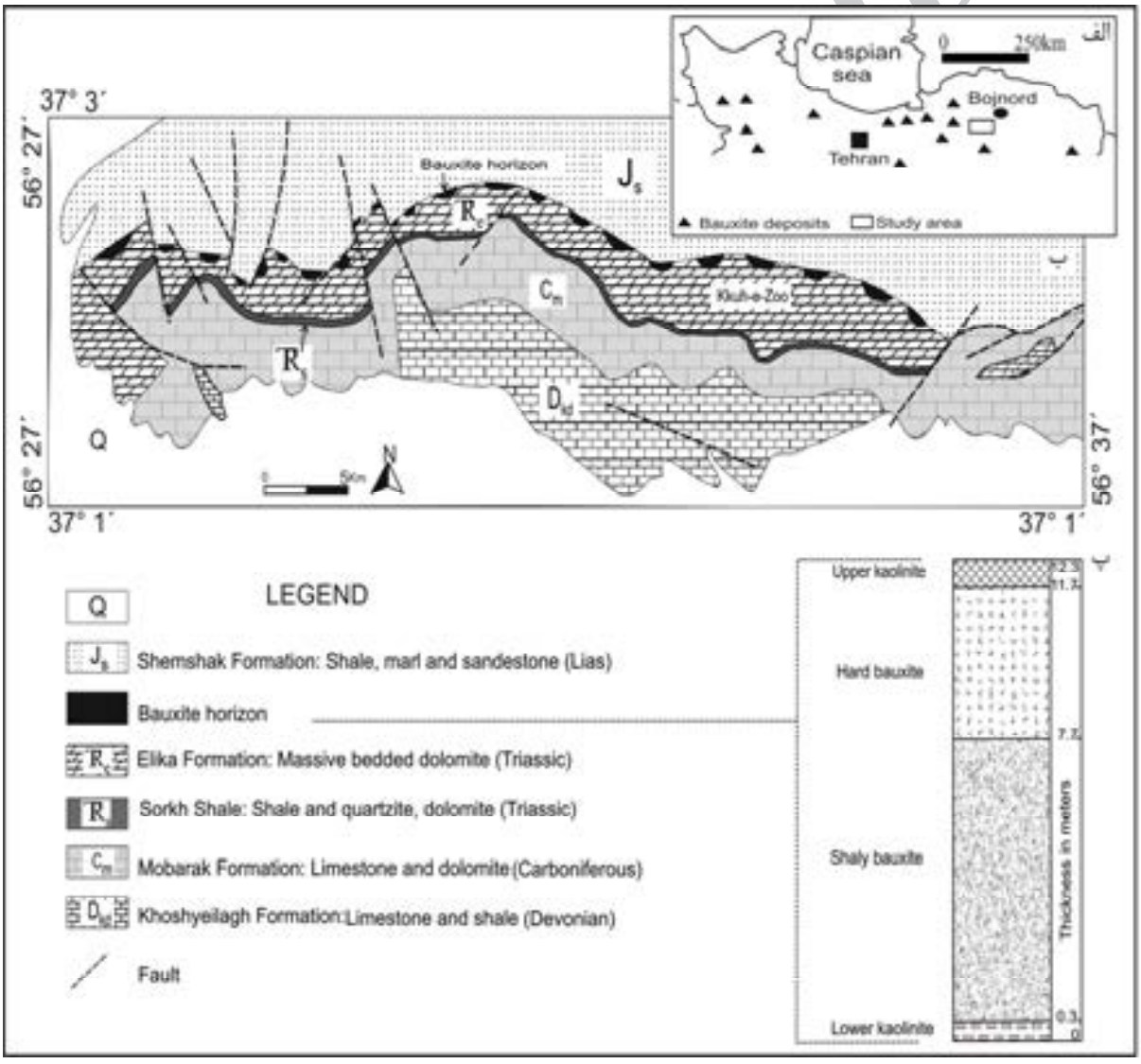
*مسؤول مکاتبات: shamanian@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مطالعات میکروکانی‌شناسی و میکروشیمیایی و به‌کارگیری نتایج آن در تفسیرهای محیطی و دیرینه اقلیمی است. کانسار بوکسیت کارستی جاجرم با موقعیت جغرافیائی '۲ °۳۷ طول شرقی و '۳۰ °۵۶ عرض شمالی در فاصله ۱۷۵ کیلومتری جنوب‌غرب شهرستان بجنورد (شکل ۱ الف) و در بخش شرقی کمربند بوکسیتی ایران- هیمالیا واقع شده است. این کانسار دارای گسترش طولی ۱۶ کیلومتر و ضخامت ۱ تا ۴۰ متر است [۱۴ و ۱۵] که برخی از ویژگیهای زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی آن توسط محققان مختلف بررسی شده است [۹، ۱۶ و ۱۷].

روش مطالعه

برای انجام این پژوهش، مطالعات در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. در بخش صحرایی تغییرات بافتی و کانی‌شناسی افق بوکسیتی در نیمرخهای عمود بر لایه بررسی شد و از هر بخش نمونه‌برداری به‌عمل آمد. در بخش آزمایشگاهی ۵۳ مقطع نازک- صیقلی به روشهای مرسوم میکروسکپی بررسی شد و کلیه عناصر بافتی و کانیهای قابل تشخیص، شناسایی و طبقه‌بندی گردید. علاوه بر این برای شناسایی کانیهای مجهول از روش پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده شد.



شکل ۱. الف) موقعیت جغرافیایی کانسار بوکسیت جاجرم (مستطیل تو خالی) در شمال ایران. موقعیت سایر نهشته‌های بوکسیتی با ستاره توپر نشان داده شده است. ب) نقشه زمین‌شناسی ساده شده کانسار بوکسیت جاجرم، نقشه پایه از [۱۷]. پ) واحدهای اصلی افق بوکسیتی در یکی از نیمرخهای مورد مطالعه.

www.SID.ir

تعیین غلظت عناصر و چگونگی تغییرات آنها و نیز بررسی ویژگیهای کانی‌شناسی در هر یک از عناصر بافتی با استفاده از میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM)[1] مدل LEO1400 در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران و نیز به‌روش XPMA[2] و با استفاده از دستگاه مدل XGT-720 در آزمایشگاه تحقیقاتی شرکت کانساران بینالود انجام گرفت. در روش اخیر، تجزیه شیمیایی نقاط توسط پرتو اشعه ایکس به ضخامت ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون انجام می‌شود و قادر به اندازه‌گیری عناصر در محدوده سدیم تا اورانیم با دقت ۰/۰۱ درصد است. با توجه به شناسایی اووئیدها، پیزوئیدها و پلت‌ها به‌عنوان مهمترین عناصر بافتی در نمونه‌های مورد مطالعه، بررسیهای تجزیه شیمیایی به‌طور عمده بر این عناصر بافتی متمرکز شد. به‌منظور تکمیل این بررسیها، تعدادی از عناصر بافتی دیرزاد از قبیل رگه‌چه‌ها، آکندگیها و پوششها نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

بحث و بررسی

زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه، از نظر زمین‌شناسی در مرز بین حوضه‌های زمین‌ساختی- رسوبی البرز شرقی، کپه‌داغ و شرق ایران قرار گرفته است [۱۷]. این منطقه از نظر زمین‌ساختی بسیار پرتکاپو بوده که با حضور چینها و گسلهای متعدد مشخص می‌شود [۱۸]. تاقدیس زو با ارتفاع ۱۸۰۰ متر از سطح دریا یکی از چینهای منطقه است که کانسار بوکسیتی جاجرم در یال شمالی آن قرار دارد. سنگ آهکها و شیل‌های سازند خوش‌ییلاق (D_{kd}) با سن دونین، قدیمی‌ترین واحد سنگ چینه‌ای رخنمون‌یافته در محدوده کانسار است که توسط سنگ آهکها و دولومیت‌های سازند مبارک (C_m) با سن کربنیفر پوشیده شده است (شکل ۱ ب). بر روی این سازند، تناوبی از شیل، دولومیت و کوارتزیت‌های منتسب به سازند سرخ‌شیل با ضخامت کم قرار دارد [۱۷] که در یک محیط کم‌عمق نهشته شده‌اند [۱۹]. بر روی سازند سرخ‌شیل، دولومیت‌های توده‌ای سازند الیکا با سن تریاس زیرین تا میانی قرار گرفته که حفره‌های کارستی آن توسط بوکسیت پر شده است. ماسه‌سنگها و شیل‌های سازند شمشک (J_s) با سن ژوراسیک تحتانی جوانترین واحدهای سنگ‌چینه‌ای محدوده کانسار است که بر روی افق بوکسیتی قرار گرفته‌اند.

توصیف ماده معدنی

افق بوکسیتی مورد مطالعه به‌طور عمده شامل توده‌های عدسی شکل و گاه لایه‌ای با امتداد عمومی شرقی – غربی است که در بین دولومیت‌های سازند الیکا با سن تریاس زیرین و شیل و ماسه‌سنگهای سازند شمشک با سن ژوراسیک‌تحتانی قرار گرفته است. مرز این افق با دولومیت‌های سنگ‌بستر موجسان و با شیل و ماسه‌سنگهای سنگ پوشش منظم است. افق بوکسیتی بر مبنای ویژگیهای کانی‌شناسی و بافتی به چهار واحد اصلی شامل کائولینیت‌پایینی، بوکسیت شیلی، بوکسیت سخت و کائولینیت‌بالایی تفکیک شده‌اند (شکل ۱ پ) [۱۶]. واحد کائولینیت‌پایینی دارای ضخامت ۲۵ تا ۱۵۰ سانتی‌متر است و از کانیهای دیکیت، ایلیت و کائولینیت تشکیل یافته است (جدول ۱).

جدول ۱. مهمترین کانیهای شناسایی شده در واحدهای اصلی افق بوکسیتی جاجرم به‌روش پراش پرتو ایکس (XRD)

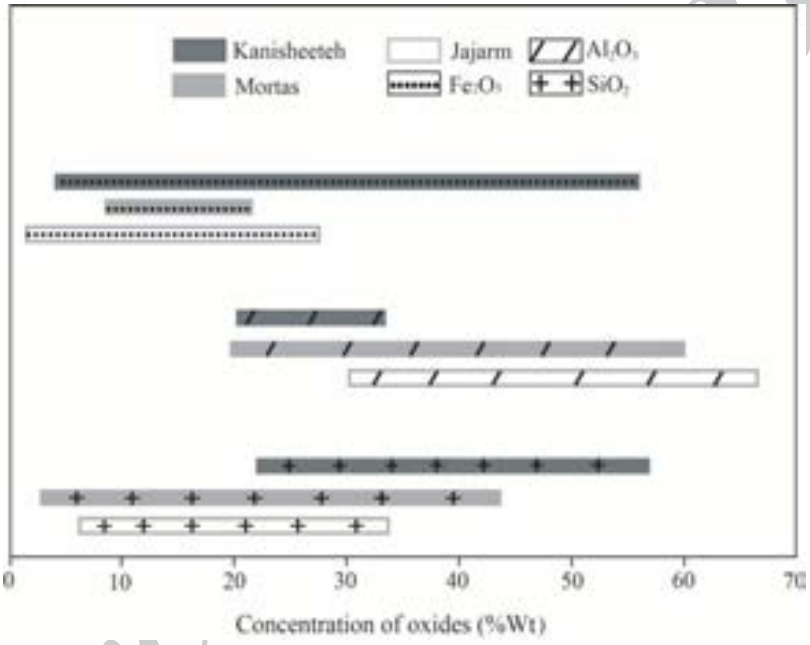
نام واحد	کانیهای اصلی	کانیهای فرعی
کائولینیت بالایی	کائولینیت، دیکیت	دیاسپور، آناتاز، کوارتز، هماتیت
بوکسیت سخت	دیاسپور، آناتاز، شاموزیت	هماتیت، گوتیت، مگهمیت،کلسیت، پیریت
بوکسیت شیلی	هماتیت، دیاسپور، آناتاز، دیکیت	هماتیت، گوتیت، مگهمیت،کلسیت، پیریت
کائولینیت پایینی	کائولینیت، دیکیت	کراندلیت، هالوئیزیت، هماتیت، کوارتز

بوکسیت شیلی با ضخامت ۳ تا ۵ متر بر روی واحد کائولینیت پایینی قرارگرفته و به‌طور عمده حاوی کانیهای هماتیت و دیکیت و به مقدار کمتر دیاسپور، آناتاز و کرانداليت است. واحد بوکسیت سخت با ضخامت ۲ تا ۳۰ متر حاوی مقادیر بالایی از کانیهای آلومینیم‌دار به‌ویژه دیاسپور بوده و دارای بیشترین اهمیت اقتصادی است. هماتیت، شاموزیت و آناتاز

1- Scanning electron microprobe
2- X-ray probe microanalysis

Archive of SID
www.SID.ir

سایر کانیهای اصلی شناسایی‌شده در این واحد می‌باشند. کائولینیت بالایی دارای ترکیب کانی‌شناسی کم و بیش مشابه با کائولینیت پایینی است که با ضخامت ۲۵ تا ۷۵ سانتی‌متر در بالاترین بخش عدسیهای بوکسیتی قرار گرفته است. بررسی نتایج تجزیه شیمیایی کل کانسنگ بوکسیتی جاجرم [۹] نشان می‌دهد که مقادیر Al_2O_3، Fe_2O_3 و SiO_2 به ترتیب از ۳۰/۰۹ تا ۶۶/۲۴ درصد برای Al_2O_3، ۱/۶۲ تا ۲۸/۸ درصد برای Fe_2O_3 و ۵/۶۹ تا ۴۳/۴۸ درصد برای SiO_2 در تغییر است. مقایسه غلظت این اکسیدها در نمونه‌های مورد مطالعه با دو کانسار بوکسیتی واقع در کمربند بوکسیتی ایران – هیمالیا شامل کانسار کانیشیته در شمال غرب بوکان [۲۰] و کانسار مورتاز در جنوب ترکیه [۲۱] نشانگر غلظت بالاتر Al_2O_3 در بوکسیت‌های جاجرم است (شکل۲). از طرفی، نسبت درصد وزنی Al_2O_3 به SiO_2 که به مدول موسوم است و به عنوان شاخص کیفیت در کانسارهای بوکسیتی مورد استفاده قرار می گیرد، از ۲/۹۵ تا ۷/۲۲ در کانسار جاجرم در تغییر است که دلالت بر کیفیت مناسب بوکسیت‌های جاجرم دارد [۹].



شکل ۲. تغییرات غلظت اکسیدهای Fe_2O_3، Al_2O_3 و SiO_2 در کانسار بوکسیت جاجرم [۹] و مقایسه آن با کانسارهای کانیشیته[۲۰] و مورتاز [۲۱].

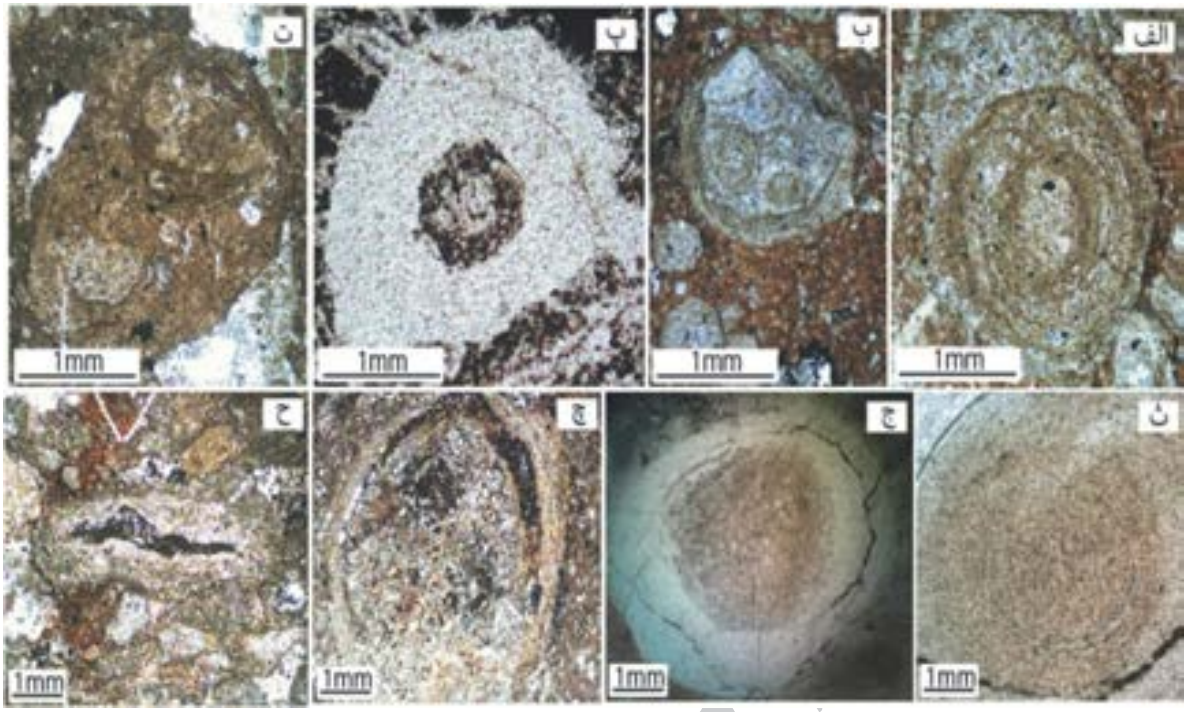
تجزیه و تحلیل بافتی

عناصر بافتی بوکسیت‌ها بر مبنای ویژگیهای ریختی و پیدایشی به دو گروه اصلی زمینه و متمایز قابل تفکیک است [۱۲]. عناصر بافتی زمینه شامل تجمعات نسبتاً ریزدانه با اندازه‌های کم و بیش یکسان است که مانند سیمانی عناصر بافتی متمایز را در برگرفته‌اند. بافتهای پلیتومورفیک[1] (شکل ۳ الف و ث) و میکروگرنولار[2] (شکل ۳ ب و چ) از فراوانترین عناصر بافتی زمینه است که در نمونه‌های مورد مطالعه شناسایی شد. این بافتها که از ذرات بسیار ریز و یکنواخت غنی از Al_2O_3 و SiO_2 تشکیل شده‌اند، دارای منشأ همزاد تا دیاژنتیک بوده و از شواهد برجازابودن بوکسیت محسوب می‌شوند [۱۲].

عناصر بافتی متمایز به‌طور عمده شامل عناصر بافتی هم مرکز، پلت‌ها و رخدادهای ثانویه است [۱۲]. اووئیدها و پیزوئیدها از عناصر بافتی هم مرکز می‌باشند که از لامینه‌های متناوب با یک یا چند هسته مرکزی تشکیل شده‌اند که به‌دلیل ثبت تغییرات محیطی می‌توانند در تفسیرهای دیرینه اقلیمی به کار روند [۱۲]. اووئیدها و پیزوئیدها از فراوانترین عناصر بافتی متمایز در بوکسیت‌های جاجرم است که به شکلهای کروی، نیمه کروی تا بیضوی تظاهر دارند.

1- Pelitomorphic
2- Microgranular

www.SID.ir



شکل ۳. تصاویر میکروسکپی از مهمترین عناصر بافتی زمینه و متمایز در بوکسیت‌های جاجرم الف) اووئیدهای ساده گروه A در زمینه پلیتومورفیک، ب) اووئید پیچیده گروه A در زمینه میکروگرانولار، پ) اووئید ساده گروه B، ت) اووئید پیچیده گروه B ث) پیزوئید ساده گروه A در زمینه پلیتومورفیک، ج) پیزوئید ساده گروه B در زمینه میکروگرانولار، چ) پیزوئید پیچیده گروه B، ح) اسپاستولیت گروهB. کلیه تصاویر در نور عادی گذرا گرفته شده‌اند.

قطر اووئیدها در جهت بیشترین طویل‌شدگی از ۰/۱ تا ۱/۹ میلی‌متر و پیزوئیدها از ۲/۶ تا ۴/۴ میلی‌متر در تغییر است. اووئیدها و پیزوئیدهای درشت‌تر اغلب دارای اشکال بیضوی شکل می‌باشند. سطح لامینه‌ها یکنواخت و دارای مرز آشکار با زمینه است.

اووئیدها و پیزوئیدهای مورد مطالعه بر مبنای ضخامت و چگونگی انتظام لامینه‌ها به دو گروه اصلی A و B [۱۰] و بر پایه تعداد هسته‌ها به دو گروه ساده و پیچیده [۲۲] تقسیم شدند (شکل۴). اووئیدها و پیزوئیدها ممکن است براثر عملکرد نیروهای فشارشی به صورت شکلهای بیضوی و کشیده موسوم به اسپاستولیت[1] تغییر شکل یابند [۱۰] که در نمونه‌های مورد مطالعه نیز شناسایی شد. اسپاستولیت‌ها نشان‌دهنده تغییر شکل اووئیدها و پیزوئیدهایی می‌باشند که در مرحله کلوئیدی بر اثر وزن طبقات متحمل تغییر شکل پلاستیکی شده‌اند و از شواهد برجازا بودن نهشته می‌باشند.

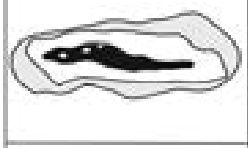
اووئیدها و پیزوئیدهای گروه A دارای لامینه‌های نازک، پیوسته و پرتعداد و گروه B دارای لامینه‌های نسبتاً ضخیم‌تر، ناپیوسته و کم‌تعداد می‌باشند. اووئیدهای گروه A و پیزوئیدهای گروه B دارای بیشترین فراوانی هستند. هسته اووئیدها و پیزوئیدها، گاه از قطعات سنگی، کانیهای آواری، هماتیت و اووئید تشکیل شده و به‌صورت یک‌هسته‌ای تا چندهسته‌ای تظاهر دارند. اووئیدهای ساده گروه A (شکل ۳ الف) دارای اندازه متوسط ۰/۳ میلی‌متر بوده و از لامینه‌های متعدد تشکیل شده‌اند. اووئیدهای پیچیده گروه A (شکل ۳ ب) از نظر مشخصات لامینه‌ها مشابه با اووئیدهای ساده گروه A هستند که دارای بیش از یک هسته می‌باشند. بر خلاف اووئیدهای گروه A، اووئیدهای ساده و پیچیده نوع B (شکل ۳ پ و ت) دارای لامینه‌های ضخیم‌تر و اندازه متوسط درشت‌تر می‌باشند.

بررسیهای بافتی نشانگر حضور پیزوئیدهای ساده گروه A و پیزوئیدهای ساده و پیچیده گروه B در نمونه‌های مورد مطالعه است.

1- Spastolite

Archive of SID

www.SID.ir

دانه‌های گرد شده با ساختار داخلی	گروه A		گروه B		اسپاستولیت
انواع ریخت‌شناسی	ساده	پیچیده	ساده	پیچیده	
اندازه متوسط (mm) اووئید	۰/۳	۰/۸	۱/۲۰	۰/۱	۱/۳۰
اندازه متوسط (mm) پیزوئید	۳	مشاهده نشد	۴/۸۰	۳/۳۰	۳/۶۰
مشخصات هسته	قطعات سنگی، کانیهای آواری، اووئید، کانیهای آهن‌دار				
مشخصات لامینه	نازک، پر تعداد، پیوسته		ضخیم، کم تعداد، ناپیوسته		

شکل ۴. انواع اووئیدها و پیزوئیدهای شناسایی شده در بوکسیت‌های جاجرم

پیزوئیدهای ساده گروه A که دارای اندازه متوسط ۳ میلی‌متر می‌باشند (شکل ۳ ث) از لامینه‌های متعدد با مشخصات کانی‌شناسی مشابه با زمینه تشکیل شده‌اند. در حالی‌که پیزوئیدهای ساده گروه B دارای اندازه متوسط ۴/۸ میلی‌متر بوده و از لامینه‌های ضخیم و ناپیوسته تشکیل شده‌اند (شکل ۳ ج). این لامینه‌ها دارای مرز آشکار با یکدیگر و زمینه می‌باشند. پیزوئیدهای پیچیده گروه B (شکل ۳ چ) که از بیشترین فراوانی نسبت به سایر انواع پیزوئیدها برخوردارند، دارای اندازه متوسط ۳/۳ میلی‌متر بوده و لامینه‌های آنها دارای بیشترین تنوع رنگی است. این پیزوئیدها اغلب تحت تأثیر فرآیندهای ثانویه قرار گرفته و شواهدی از انحلال و نهشت کانیهای دیرزاد نشان می‌دهند. در برخی نمونه‌های مورد مطالعه اسپاستولیت‌هایی مشاهده شد (شکل ۳ ح) که می‌توان آن را به ماهیت کلوئیدی کانی‌های رسی تشکیل‌دهنده اووئیدها و پیزوئیدها و تغییر شکل پلاستیکی آنها در طی رویدادهای زمین‌ساختی نسبت داد [۲۳].

بررسیهای بافتی نشانگر حضور دانه‌های گردشده بدون ساختار داخلی یا پلت[1] [۲۴] به‌عنوان یکی دیگر از عناصر بافتی متمایز در بوکسیت‌های جاجرم است. این پلت‌ها بر مبنای کانی‌شناسی و اندازه دانه‌های تشکیل‌دهنده، نوع پوشش و رگه‌چه‌های داخلی تقسیم‌بندی شدند (شکل ۵). به این ترتیب، ابتدا کلیه پلت‌ها بر پایه تغییرات کانی‌شناسی و اندازه دانه‌ها در دو گروه همگن و ناهمگن جای گرفتند و سپس هر یک از این گروهها به دو دسته با پوشش و بدون پوشش تقسیم شدند. برخی از این پلت‌ها دارای رگه‌چه‌های داخلی و برخی همگن و بدون رگه‌چه می‌باشند.

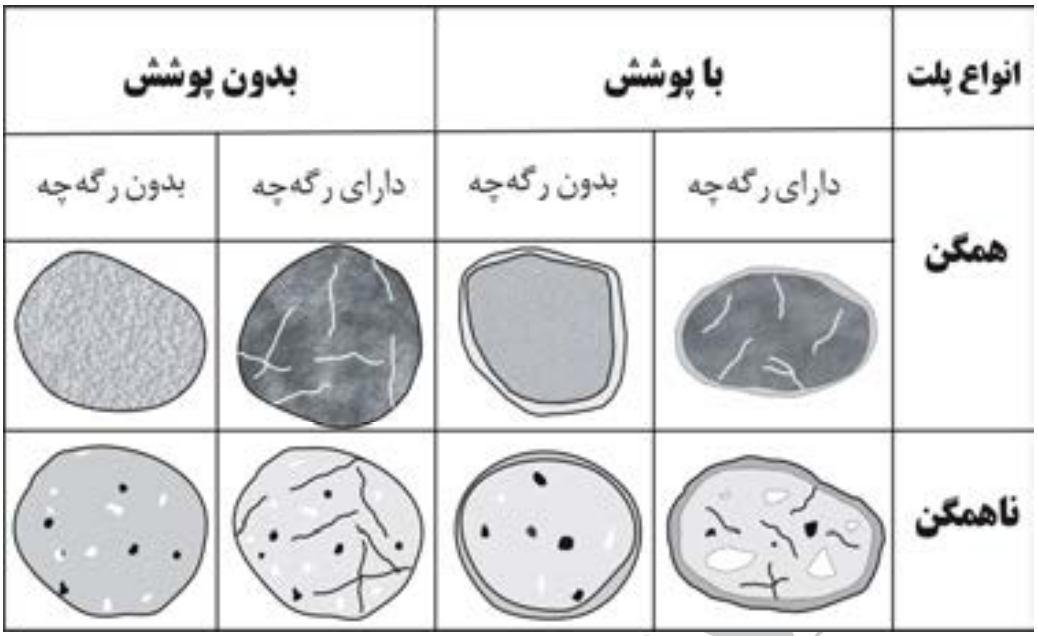
تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی در عناصر بافتی

نتایج تجزیه شیمیایی نقطه‌ای تعدادی از عناصر بافتی مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است. به‌طور کلی، بررسی روند تغییرات غلظت Al_2O_3، Fe_2O_3، CaO، SiO_2 و TiO_2 در اووئیدها و پیزوئیدها نشانگر کاهش عمومی غلظت Fe_2O_3 و CaO و افزایش غلظت Al_2O_3 و SiO_2 از هسته به سمت لامینه‌های بیرونی است (شکل ۶). با این حال، غلظت این اکسیدها در لامینه‌های مختلف و متناوب دارای روند متناوب افزایشی و کاهشی است که دلالت بر تغییرات کانی‌شناسی بر اثر تغییرات شرایط محیطی و اقلیمی در طی فرآیندهای بوکسیت‌زایی دارد. بالا بودن غلظت Al_2O_3 و SiO_2 در اووئیدهای ساده A و B (شکل ۶ الف)، نشان می‌دهد که کائولینیت یکی از کانیهای اصلی تشکیل‌دهنده لامینه‌های این اووئیدها است. غلظت Al_2O_3 در بیرونی‌ترین لامینه‌ها به بیشترین مقدار خود رسیده (۱۵/۷ درصد وزنی) و همواره روند افزایشی نشان می‌دهد.

1- Pelet

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵. تقسیم‌بندی انواع پلت‌ها بر اساس ترکیب و رخدادهای دیرزاد

جدول ۲. غلظت اکسیدهای اصلی اندازه‌گیری‌شده در تعدادی از اووئیدها و پیزوئیدهای مورد مطالعه (مقادیر برحسب درصد وزنی)

نمونه / اکسید	پیزوئید- گروه B– پیچیده						پیزوئید- گروه B - ساده				پیزوئید-گروه A - ساده		
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_1	P_2	P_3	P_4	P_1	P_2	P_3
SiO_2	۱۳/۷	۱۷/۴	۳۵/۷	۱۰/۳	۱۲/۴	۳/۳	۶۲/۳	۵۶/۴	۵۹/۸	۶۱/۶	۵۸/۱	۵۸/۵	۵۷/۰
TiO_2	۱۰/۵	۳	۰/۸	۱/۰	۴/۰	۱/۰	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۱	۰/۴	۰/۴	۰/۴
Al_2O_3	۲۱/۹	۳۹/۵	۳۷/۸	۱۵/۰	۴۷/۸	۷۴/۱	۶/۴	۵/۱	۴/۰	۱۳/۵	۵//۱	۵/۴	۸/۱
Fe_2O_3	۲۶/۰	۹/۰	۱/۸	۲۸/۹	۱۱/۸	۰/۶	۲/۸	۷/۳	۴/۱	۰/۵	۲/۸	۲/۷	۳/۰
CaO	۱۶/۷	۱۵/۸	۱۰/۵	۲۳/۳	۱۴/۸	۳/۸	۱۸/۱	۱۹/۲	۱۷/۵	۱۲/۶	۱۸/۹	۱۸/۱	۱۷/۳
K_2O	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۲

P= نقاط تجزیه شده؛ ترتیب شماره‌ها نمایانگر تجزیه از هسته به سمت حاشیه است.

ادامه جدول ۲. غلظت اکسیدهای اصلی اندازه‌گیری‌شده در تعدادی از اووئیدها و پیزوئیدهای مورد مطالعه (مقادیر برحسب درصد وزنی)

نمونه / اکسید	اووئید-گروه B - ساده		
	P_1	P_2	P_3
SiO_2	۵۷/۷	۵۴/۰	۶۱/۱
TiO_2	۰/۴	۰/۴	۰/۱
Al_2O_3	۶/۵	۸/۶	۱۵/۶
Fe_2O_3	۹/۲	۹/۸	۰/۵
CaO	۱۵/۳	۱۴/۹	۱۳/۲
K_2O	۰/۲	۰/۲	۰/۲

Archive of SID

www.SID.ir

تغییرات غلظت اکسیدهای اصلی در پیزوئیدهای ساده A و B (شکل ۶ ب) کم و بیش مشابه روند تغییرات این اکسیدها در اووئیدهای ساده A و B است. غلظت Al_2O_3 در پیزوئیدهای ساده گروه A از ۵/۱ درصد وزنی در بخش مرکزی تا ۸/۱ درصد وزنی در بیرونی‌ترین لامینه‌ها و در پیزوئیدهای ساده گروه B از ۶/۴ درصد وزنی در هسته تا ۱۳/۵ درصد وزنی در حاشیه تغییر می‌یابد. بالا بودن غلظت SiO_2 و همبستگی مثبت آن با Al_2O_3 نشانگر حضور کائولینیت به‌عنوان یکی از کانیهای اصلی موجود در لامینه‌هاست. بیرونی‌ترین لامینه‌ها توسط رگه‌چه‌های غنی از Al_2O_3 و SiO_2 قطع شده‌اند که دلالت بر حضور کائولینیت داشته و احتمالاً بر اثر فرآیندهای تراکم ژل و آب‌زدایی یا فشارهای ساختاری تشکیل شده‌اند [۱۲].

روند تغییرات اکسیدهای اصلی در اووئیدها و پیزوئیدها پیچیده از تغییرات زیادی در لامینه‌های مختلف برخوردار است (شکل ۶ پ). با این حال همانند اووئیدها و پیزوئیدهای ساده، غلظت Fe_2O_3 و CaO از هسته به سمت حاشیه دارای روند عمومی کاهش است. پیزوئیدهای پیچیده گروه B از لامینه‌های متناوب تیره و روشن تشکیل شده‌اند (شکل ۶ پ) که مقدار Fe_2O_3 در لامینه‌های تیره از ۰/۶ تا ۲۸/۹ درصد وزنی و مقدار Al_2O_3 در لامینه‌های روشن از ۲۱/۹ تا ۷۴/۱ درصد وزنی در تغییر است (جدول ۲). این داده‌ها نشانگر تغییرات کانی‌شناسی و حضور هماتیت در لامینه‌های تیره و دیاسپور در لامینه‌های بیرونی است.

بررسیهای میکروسکپی و تجزیه شیمیایی نقطه‌ای پلت‌های همگن دارای پوشش، نشانگر حضور دو نوع پلت غنی از آهن (شکل ۷ الف) و غنی از آلومینیم (شکل ۷ ب) است. پلت‌های همگن بدون پوشش به‌طور عمده غنی از آهن می‌باشند و ممکن است دارای رگه‌چه‌های نازک (شکل ۷ پ) و یا بدون رگه‌چه (شکل ۷ ت) باشند. به‌طور کلی، بالا بودن مقدار آهن در پلت‌ها به‌ویژه در بخش مرکزی آنها ناشی از قابلیت فشردگی بیشتر پلت نسبت به زمینه است که باعث مقاومت بیشتر در برابر هوازدگی و مانع از فروشست آهن می‌شود [۱۲]. بنابراین، پلت‌ها در هنگام آهن‌زدایی کانسنگ‌های بوکسیتی تمایل کمتری به آهن‌زدایی نشان‌داده و همین امر باعث بالا رفتن مقدار آهن آنها در مقایسه با زمینه می‌گردد که به‌خوبی با رنگ قرمز تیره تا سیاه مشخص می‌شود. وجود پلت‌های غنی از هماتیت و گوتیت در کانسارهای مختلف بوکسیتی توسط [۱۲] و تیلور [۲۵] گزارش شده است.

پلت‌های ناهمگن از تغییرات عنصری بیشتری برخوردارند (جدول ۳) و به‌طور عمده مخلوطی از هماتیت، گوتیت، کائولینیت، دیاسپور، روتیل و کوارتز می‌باشند که به دو صورت دارای پوشش و بدون پوشش تظاهر دارند. پوشش اطراف پلت‌های ناهمگن دارای رنگ قهوه‌ای روشن بوده و به‌طور عمده از گوتیت تشکیل شده است. این پلت‌ها ممکن است حاوی رگه‌چه‌های نازک متشکل از کائولینیت و دیاسپور (شکل ۷ ث) و یا بدون رگه‌چه باشند (شکل ۷ ج).

پلت‌های ناهمگن بدون پوشش نیز دارای دو نوع حاوی رگه‌چه (شکل ۷ چ) و بدون رگه‌چه (شکل ۷ ح) می‌باشند. رگه‌چه‌های موجود در این نوع پلت‌ها به‌طور عمده شامل کائولینیت و دیاسپور است.

عناصر بافتی ثانویه در نمونه‌های مورد مطالعه به‌طور عمده به‌صورت شکافه پرکن و با تظاهر رگه‌چه‌ای تظاهر دارند. این رگه‌چه‌ها تا چند میکرون ضخامت داشته و به‌طور عمده غنی از SiO_2 و Al_2O_3 می‌باشند. رگه‌چه‌ها انواع عناصر بافتی متمایز به‌ویژه پلت‌ها را قطع‌کرده‌اند.

برخی از رگه‌چه‌ها فقط درون عناصر بافتی دیده می‌شوند (شکل ۸ الف) که در این صورت قبل از تشکیل زمینه، تشکیل شده‌اند. در برخی از موارد، این رگه‌چه‌ها علاوه‌بر عناصر بافتی متمایز، زمینه را نیز قطع‌کرده‌اند (شکل ۸ ب، پ و ت) که نشانگر منشأ دیرزاد آنها می‌باشد [۱۲]. غلظت Al_2O_3 و SiO_2 در یکی از رگه‌چه‌های تجزیه‌شده به‌ترتیب ۲۸/۱ و ۵۳/۵ درصد وزنی است. براساس[۱۲]، رگه‌چه‌ها و عناصر بافتی ثانویه بوکسیت‌ها به‌طور عمده تک‌کانی و یا دو کانی است و اغلب شامل دیاسپور و گیبسیت در انواع تک‌کانی و دیاسپور-کائولینیت در انواع دو کانی است.

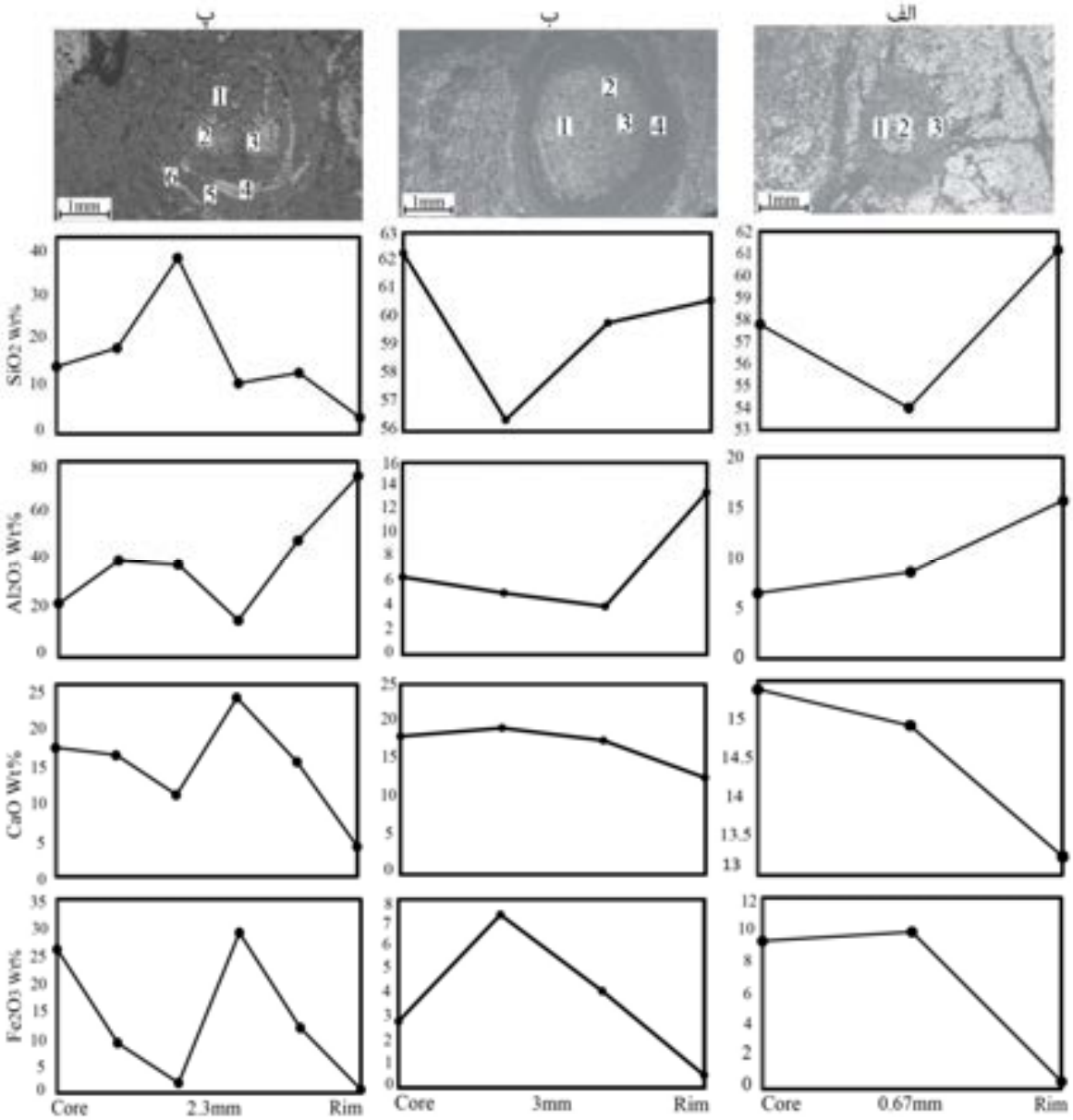
شرایط تشکیل

شواهد بافتی دلالت بر هر دو خاستگاه برجازا و نابرجازا برای بوکسیت‌های جاجرم دارد که محققان قبلی [۹، ۱۶ و ۱۷] نیز به آن اشاره داشته‌اند. بافتهای اووئیدی و پیزوئیدی که از فراوانی زیادی در نمونه‌های مورد مطالعه برخوردارند دارای خاستگاه دیاژنتیک بوده و بیانگر خاستگاه برجازای نهشته است [۱۲ و ۲۶].

Archive of SID

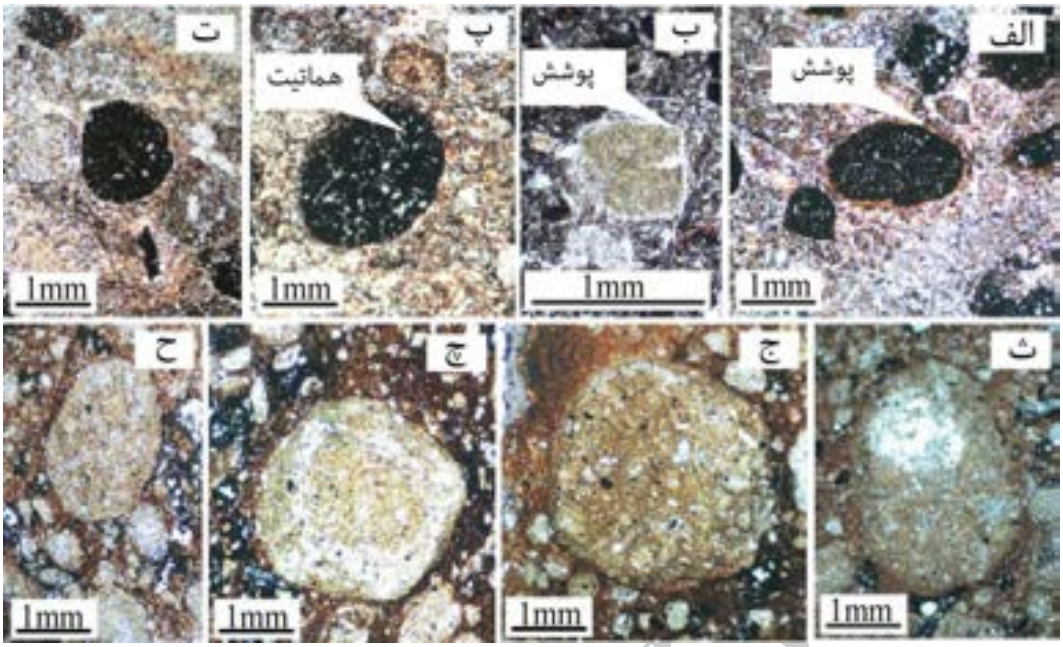
www.SID.ir

این در حالی است که وجود پلت، پیزوئیدها و اووئیدهای خردشده و نیز پیزوئیدها و اووئیدهای با اندازه و شکل متفاوت دلالت بر منشأ آواری و نابرجازابودن بوکسیت‌های مورد مطالعه دارد [۱۲، ۲۷ و ۲۸]. در بوکسیت‌های مورد مطالعه، اووئیدها و پیزوئیدها دارای شکلهای کروی تا بیضوی می‌باشند. برخی از این اووئیدها دارای لامینه‌های خرد شده‌اند ولی هسته‌های خردشده مشاهده نشد. اووئیدها و پیزوئیدهای پیچیده که در گروه B از فراوانی بیشتری برخوردارند و دارای هسته‌هایی متشکل از قطعات سنگی، کانیهای آواری، اووئیدهای ساده و کانیهای آهن و آلومینیم‌دار می‌باشند، بر اثر انتقال و جابه‌جایی مواد بوکسیتی تشکیل شده‌اند. از طرفی، برخی از اووئیدها، پیزوئیدها و پلت‌ها توسط رگه‌چه‌های شعاعی یا حلقوی قطع شده‌اند. این ویژگیها از دیگر شواهد حمل و نقل و نابرجازا بودن بوکسیت‌های جاجرم است. وجود اووئیدها، پیزوئیدها و پلت‌های فاقد رگه‌چه و آکندگیهای شکافی نشانگر نسل دیگری از عناصر بافتی متمایز است که پس از انتقال مواد بوکسیتی به حفرات کارستی، به‌صورت برجازا تشکیل شده‌اند.



شکل ۶. تصاویر Back scattered (BS) از عناصر بافتی مورد مطالعه و تغییرات اکسیدهای اصلی در اووئیدها و پیزوئیدها. الف) اووئیدساده گروه B، ب) پیزوئید ساده گروه B، پ) پیزوئید پیچیده گروه B

www.SID.ir



شکل ۷. تصاویر میکروسکپی در نور گذرا عادی از انواع پلت‌های شناسایی شده در کانسار بوکسیت جاجرم. الف) پلت همگن دارای پوشش و رگه‌چه، ب) پلت همگن دارای بوشش بدون رگه‌چه، پ) پلت همگن بدون پوشش و دارای رگه‌چه، ت) پلت همگن بدون پوشش و رگه‌چه، ث) پلت ناهمگن دارای پوشش و رگه‌چه، ج) پلت ناهمگن دارای پوشش و بدون رگه‌چه، چ) پلت ناهمگن بدون پوشش و دارای رگه‌چه، ح) پلت ناهمگن بدون پوشش و بدون رگه‌چه

جدول ۳. غلظت اکسیدهای اصلی اندازه‌گیری شده در دو نمونه پلت (مقادیر برحسب درصد وزنی)

نمونه / اکسید	پلت ناهمگن					پلت همگن	
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_1	P_2
SiO_2	۵۹/۱	۵۴/۷	۵۵/۳	۲۸/۶	۵۸/۴	۰/۴	۷/۵
TiO_2	۰/۳	۰/۴	۰/۷	۰/۹	۰/۱	۰/۹	۱/۷
Al_2O_3	۲۰/۴	۱۷/۰	۲۳/۵	۱۳/۰	۲۳/۸	۱۰/۰	۱۳/۳
Fe_2O_3	۴/۱	۱۱/۱	۳/۴	۴۵/۴	۰/۵	۸۵/۹	۷۴/۱
CaO	۱۱/۱	۱۱/۴	۰/۹	۷/۴	۰/۹	n.d.	۰/۲
K_2O	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۳	n.d.	n.d.

P= نقاط تجزیه شده؛ ترتیب شماره‌ها نمایانگر تجزیه از هسته به سمت حاشیه است.

n.d = پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه

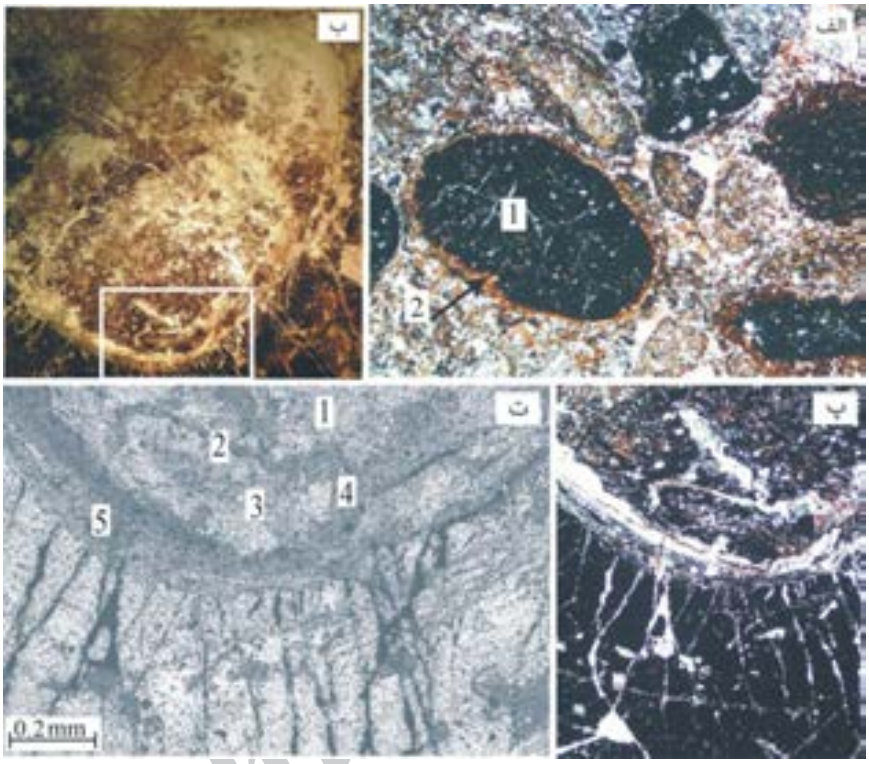
براساس مطالعات انجام‌شده، بازالت‌های قلیایی تریاس فوقانی را می‌توان به‌عنوان سنگ مادر بوکسیت‌های جاجرم در نظر گرفت [۹ و ۱۷]. به این ترتیب، هوازدگی این بازالت‌ها و توسعه فرآیندهای بوکسیتی شدن باعث شست‌وشوی عناصر قلیایی و سیلیکا و غنی‌شدگی عناصر نامتحرک و تشکیل خاکهای بوکسیتی شده است. این خاکها در یک محیط ساحلی و بر اثر نوسانات سطح آب به حفره‌های کارستی سازند الیکا انتقال یافته‌اند. نوسانات اقلیمی، تناوب در فصول خشک و مرطوب و تغییرات پیوسته شرایط احیایی و اکسیدی در این محیط باعث تشکیل لامینه‌های نازک و متناوب متشکل از کانیهای هماتیت، کائولینیت، دیاسپور و گوتیت در اووئیدها و پیزوئیدها شده است.

کانسارهای بوکسیتی از نظر محیط ژئوشیمیایی تشکیل به دو گروه وادوز واقع در بالای سطح ایستابی و فراتیک واقع در زیر

Archive of SID

www.SID.ir

سطح ایستابی تقسیم شده‌اند [۳ و ۱۲]. بوکسیت‌های وادوز با فراوانی هماتیت و گوتیت و بوکسیت‌های فراتیک با فراوانی کائولینیت، شاموزیت، پیریت و کلریت مشخص می‌شوند. وجود کانیهای دیاسپور، کائولینیت، هماتیت، شاموزیت و پیریت در بوکسیت‌های جاجرم نشانگر شواهدی از هر دو محیط وادوز و فراتیک برای تشکیل این بوکسیت‌هاست. به این ترتیب، به نظر می‌رسد بوکسیت‌های جاجرم در زون تدریجی بین این دو محیط تشکیل شده است.



شکل ۸. تصاویر میکروسکپی و Back scatter از پلت‌های مورد مطالعه. الف) پلت همگن غنی از آهن، ب) پلت ناهمگن، پ) بخشی از پلت ناهمگن که مورد تجزیه نقطه‌ای قرار گرفته است. ت) تصویر Back scattered از شکل پ. تصاویر الف، ب و پ در نور گذرای عادی گرفته شده‌اند.

وجود لامینه‌های متناوب غنی از SiO_2 و Fe_2O_3 در اووئیدها و پیزوئیدهای ساده A و B بیانگر شرایط اقلیمی گرمسیری با متوسط دمای سالیانه $30^{o}C$ و رطوبت کمتر از ۷۰ درصد است که برای تشکیل هماتیت و کائولینیت مناسب است [۲۹]. بالا بودن غلظت SiO_2 در برخی از نتایج تجزیه شیمیایی کل (شکل۲) و نیز بالا بودن غلظت این اکسید در برخی از اووئیدها و پیزوئیدهای مورد مطالعه نشانگر حضور کائولینیت به‌عنوان یکی از کانیهای اصلی بوکسیت‌های جاجرم است. کائولینیت موجود در بوکسیت‌ها دارای منشأ همزاد یا دیرزاد است [۳۰]. به این ترتیب، کائولینیت‌های موجود در زمینه و عناصر بافتی متمایز از نوع همزاد و کائولینیت موجود در رگه‌چه‌ها از نوع دیرزاد است. تشکیل کائولینیت‌های دیرزاد توسط چرخش محلولهای غنی از SiO_2 کنترل می‌شود [۳۱]. این محلولهای اسیدی می‌توانند باعث سیلیسی‌شدن هیدروکسیدهای آلومینیم و تبدیل آنها به کائولینیت شوند.

بالا بودن Al_2O_3 در اووئیدها و پیزوئیدهای پیچیده نشان‌دهنده بالا بودن a_{Al}^{3+} است که به تشکیل دیاسپور منجر شده است. قبلاً تصور بر این بوده که دیاسپور فقط در شرایط دگرگونی تشکیل می‌شود [۳۲]. اما مطالعات آزمایشگاهی جدید نشان می‌دهد که دیاسپور می‌تواند به‌طور مستقیم در محیطهای نزدیک به سطح نیز تشکیل شود [۳۳ و ۳۴]. تشکیل دیاسپور در این شرایط تابع غلظت مؤثر آلومینیم (a_{Al}^{3+}) در محلول است. از آن‌جا که $Al(OH)_4^-$ گونه غالب Al در شرایط pH خنثی است، تشکیل کانیهای

www.SID.ir

هیدروکسیدی آلومینیم را می‌توان وابسته به pH دانست [۳۵]. تغییرات pH محیط ناشی از تغییرات دوره‌ای و متناوب اقلیمهای گرمسیری خشک و مرطوب است که از اهمیت زیادی در تشکیل بوکسیت‌ها برخوردار است [۳۶ و ۳۷]. به این ترتیب، حضور هماتیت و کائولینیت در لامینه‌های اووئیدها و پیزوئیدهای مورد مطالعه بیانگر اقلیمهای گرمسیری خشک و حضور دیاسپور و گوتیت نشانگر دوره‌های گرمسیری و مرطوب است.

وجود عناصر بافتی ثانویه از قبیل رگه‌چه‌های واجد دیاسپور که با غلظت بالای Al_2O_3 مشخص می‌شوند، نتیجه انحلال و تبلور دوباره در طی مراحل دیرزاد است.

نتیجه‌گیری

بررسی عناصربافتی در بوکسیت‌های جاجرم بیانگر دو خاستگاه برجازا و نابرجازا برای این بوکسیت‌هاست. اووئیدها و پیزوئیدها از مهمترین عناصربافتی متمایز و از شواهد برجازابودن است که در نمونه‌های موردمطالعه شناسایی شد. از طرفی وجود پلت، پیزوئیدها و اووئیدهای خردشده و با اندازه متفاوت از شواهد نابرجازای بوکسیت‌های موردمطالعه است. به این ترتیب، خاکهای بوکسیتی پس از تشکیل بر روی سنگ مادر، توسط آبهای سطحی به حفرات کارستی سازند الیکا انتقال‌یافته و نهشته شده‌اند. تغییر در وضعیت رسوب‌گذاری باعث بروز تغییرات کانی‌شناسی، بافتی و تظاهر منطقه‌بندی داخلی در عدسیهای بوکسیتی شده‌است.

در میان اووئیدها و پیزوئیدهای موردمطالعه، لامینه‌های اووئیدها و پیزوئیدهای پیچیده از تغییرات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی بیشتری برخورداراست. وجود لامینه‌های بیرونی غنی از آلومینیم در این عناصر بافتی نشانگر توسعه‌یافتگی و بلوغ فرآیندهای بوکسیتی‌شدن در کانسار جاجرم است.

یکی از ویژگیهای بوکسیت‌های جاجرم وجود اووئیدها و پیزوئیدهایی با لامینه‌های متناوب هماتیت، کائولینیت و گاه دیاسپور است که تشکیل آنها به عوامل مختلف به‌ویژه تغییرات pH، Eh و مقدار آب در محیط خاک‌زاد و نوسانات اقلیمی بستگی دارد. هماتیت و کائولینیت در اقلیم گرمسیری خشک و دیاسپور در شرایط احیایی و در دوره‌های گرمسیری مرطوب تشکیل شده‌اند.

حضور دیاسپور، کائولینیت، هماتیت، شاموزیت و پیریت در مجموعه کانی‌شناسی بوکسیت‌های جاجرم نشانگر عدم وجود شرایط کاملاً وادوز یا فراتیک در تشکیل این بوکسیت‌هاست. به نظر می‌رسد این کانیها در زون تدریجی بین محیط وادوز تا فراتیک تشکیل شده‌اند. عناصربافتی ثانویه مانند رگه‌چه‌ها، درز و شکافها و پوششها به‌طور عمده توسط کائولینیت‌های دیرزاد، دیاسپور و گوتیت پرشده که نشانگر گردش محلولهای دمای پایین غنی از عناصر سازنده این کانیهاست.

منابع

[1] Bardossy G., Melfi A. J., Carvalio A., "*A Comparison of the Main Lateritic Bauxite Region of Our Globe*", in Proceedings of the 2nd International Seminar on the Lateralization Processes (1983) 15–51.

[2] Taylor G., Truswell E. M., Mcqueen K. G., Brown M. C., "*Early Tertiary paleogeography, landform evolution, and paleoclimates of the southern Monaro*", NSW, Australia. Paleogeography paleoclimatology paleoecology 78 (1990) 109-134.

[3] Valeton I., "*Saprolite bauxite facies of ferralitic duricrusts on paleosurfaces of former Pangaea*", In: Thiry M., Simon Coincon R. (Eds.), paleoweathering, paleosurfaces and Related Continental Deposits. Association of sedimentologists, Spectral Publications, Blackwell Science. Alden Press 27 (1999) 153-188

[4] Bardossy G., Aleva G. J. J., "*Lateritic bauxite*", Elsevier, Amsterdam (1990) 624 p.

[5] Price G. D., Valdes P. J., Sellwood B. W., "*Predication of modern bauxite occurrence: implications for climate reconstruction*", Paleogeography Paleoclimatology Paleoecology 131 (1997) 1-13.

[6] Bardossy G. Y., Combes P. J., "*Karst bauxites: interfingering ofdeposition and palaeoweathering*", In: Thiry, M., Simon-Coinc¸on, R. (Eds.), Palaeoweathering, Palaeosurfaces and Related Continental Deposits, Association of Sedimentologists, Special Publications, Blackwell Science, Alden Press 27 (1999) 189-206.

[۷] اسماعیلی د.، اثنی‌عشری ا.، رحیم‌پور بناب ح.، امینی فضل ع.، "*زمین‌شیمی عناصر خاکی کمیاب (REE) در کانسار بوکسیت جاجرم (شمال خاوری ایران)*"، مجله علوم زمین، شماره ۶۲ (۱۳۸۵) ص ۲-۱۳.

Archive of SID

www.SID.ir

[8] Taylor G., Eggleton R. A., Foster L. D., Tilley D. B., Le Gleuher m. & Morgan C. M., "*Nature of the Weipa Bauxite deposit, northern Australia*", Australian Journal of Earth Sciences 55 Supplement (2008) 45–70.

[۹] امینی ل.، شمعانیان غ. ح.، رقیمی م.، جعفرزاده ر.، "*بررسیهای کانی‌شناسی، زمین‌شناسی و پیدایشی کانسارهای بوکسیت کارستی جاجرم*"، مجله بلورشناسی وکانی‌شناسی ایران، شماره ۳ (۱۳۹۰) ص۴۱۳-۴۲۶.

[10] Reolid M., Abad I., Martin Garcia J. M.,"*palaeoenvironmental implications of ferruginous deposit related to a Middle-Upper Jurassic discontinuity (Prebtic Zone, Betic Cordillera, Southern Spain)*", Sedimentary Geology 203 (2008) 1-16.

[11] Horbe A., Anand R. R., "*Bauxite on igneous rocks from Amazonia and Southwestern of Australia: Implication for weathering process*", Journal of Geochemical Exploration 111 (2011) 1-12.

[12] Bardossy G., "*Karst Bauxites–Bauxite deposits on carbonate rocks*", Developments in Economic Geology, Elsevier, Amsterdam (1982) 441 p.

[13] Olóriz F., Reolid M., Rodríguez-Tovar F. J., "*Taphonomic features in Upper Oxfordian ammonite assemblages (Bifurcatus Zone) from the Navalperal section (Internal Prebetic, Betic Cordillera)*", In: Renzi, M., Pardo, M. V., Belinchón, M., Peñalver, E., Montoya, P., Márquez-Aliaga, A. (Eds.) Currents topics on taphonomy and fossilization, Col-lecció Encontres Valencia (2002) 215-222.

[۱۴] گزارش اکتشافی وزارت معادن و فلزات.، "*طرح تجهیز معدن و احداث کارخانه تولید آلومینا*"، (۱۳۷۶) ۴۳ ص.

[۱۵] شرکت آلومینای ایران.، "*معرفی مجتمع آلومینای جاجرم*"، مجله نظام مهندسی معدن، شماره ۵ (۱۳۸۸) ص ۲۶-۳۶.

[۱۶] ملائی ح.، شریفیان عطار ر.، "*مطالعه بافت و فازهای کانیهای تشکیل‌دهنده بوکسیت جاجرم، خراسان شمالی، شمال شرق ایران*"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره۲ (۱۳۸۵) ص ۳۶۶-۳۳۹.

[17] Esmaeily D., Rahimpour-Bonab H., Esna-ashari A., Kananian A., "*Petrography and Geochemistry of the Jajarm Karst Bauxite Ore Deposit, NE Iran: Implications for Source Rock Material and Ore Genesis*", Turkish Journal of Earth Sciences 19 (2010) 267-284.

[۱۸] آقانباتی ع.، "*زمین‌شناسی ایران*"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافی معدنی کشور (۱۳۸۳) ۵۸۶ ص.

[۱۹] درویش‌زاده ع.، "*زمین‌شناسی ایران*"، نشر دانش امروز (۱۳۷۰) ۹۰۱ ص.

[20] Calagari A. A., Abedini A., "*Geochemical investigations on permo - triassic bauxite horizon at Kanisheeteh, east of Bukan, west-Azarbaidjan, Iran*", Geochemical Exploration journal 94 (2007) 1-18.

[21] Karadag M. M., Kupeli S., Aryk F., Ayhan A., Zedaf V., Doyen A., "*Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortas Bauxite deposit (Seydisehir/Konya – Southern Turkey)*", Chemie der Erde 69 (2009) 143-159.

[22] Guerrak S., "*Metallogenesis of the cratonic oolitic ironstone deposits in the Bled el Mass, Azzel Matti, Ahnet and Mouydir basins, Central Sahara, Algeria*", Geol.Rundsch 76 (1987) 903-922.

[23] Cotter E., "*Diagenetic alteration of chamositic clay minerals to ferric oxide in oolitic ironston*", Journal of Sedimentary Petrology 62 (1992) 54-60.

[24] Bunshinsky G. I.,"*Geology of Bauxites*" Nedra, Moscow (1971) 416 p.

[25] Talor G., Eggleton T., "*All pisolithic bauxite deposits are transported-Really?*" Australian Regolith and Clays Conference Mildura (2012) 47-49.

[26] Petrascheck W. E., "*The genesis of allochthonous karst-type bauxite deposits of southern Europe*", Mineralum Deposita 24 (1989) 77-81.

[27] Grubb P. C. L., "*Genesis of the Weipa bauxite deposits, N.E. Australia*", Mineralum Deposita 6 (1971) 265-274.

[28] Öztrük H., Hein J. R., Hanilci N., "*Genesis of the Dogankuzu and Mortaz bauxite deposits, Turides, Turkey, Separation Al, Fe and Mn implication for passive margin metallogeny*", Economic Geology 97 (2002) 1063-1077.

[29] Tardy Y., Trolard F., Roquin C., Noveikoff A.,"*Distribution of hydrated and dehydrated minerals in latertic profiler and lanscapes*", Chemical geology 84 (1990) 133-136.

[30] Dangic A., "*Kaolinization of bauxite: a study in the vlasenice bauxite area,*

Archive of SID

www.SID.ir

Yugoslavia", Clays and Clay Minerals 33 (1985) 517-524.

[31] Oggiano G., Mameli P., "*The bauxite of North-Westhern Sardinia*" Rendiconti Semminario Facolta Scienze Universita Cagliari Supplemento 2 (2001) 59-73

[32] Gorecky Y. K., Lavrovich N. S., Lyubimov A. B., "*Bauxite*", Gosgeoltekhizdat Moscow (1949) 186 p.

[33] Ozlu N., "*New facts on diaspora genesis in the Akseki-Seydisehir bauxite deposit (Western Taures, Turkey)*", Travaux Du ICSOBA 14-15 (1985) 53-62.

[34] Argenio B., Mindszenty A., "*Bauxites and related paleokarst: Tectonic and climatic event markers at regional unconforities*", Ecologae Geologicae Helvetiae 88 (1995) 543-499.

[35] Schwertmann U., Murad E., "*Effect of pH on the formation of goetite and hematite from ferrihydrite*", Clays and Clay Minerals 31 (1983) 277-284.

[۳۶] زراسوندی ع. ر.، پورکاسب ه.، ساکی ع.، سلامب اللهی س.، "*محیط رسوبی و تعیین زایش افق بوکسیتی در کانسارهای مندان و ده‌نو، منطقه دهدشت، استان کهگیلویه و بویر احمد با استفاده از مطالعات کانی‌شناختی*" مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۱ (۱۳۹۰) ص۱۳-۱.

[37] Herrington R., Boni M., Skarpelis N., Large D.*,"Paleoclimate, weathering and ore deposits-a European perspective*", proceedings of the Ninth Biennial SGA Meeting, Dublin (2007) 1373-1376.

Archive of SID

www.SID.ir