

The study of texture and different phases constituting the Jajarm Bauxite minerals in northern Khurassan, NE Iran

H. Mollai, A. R. Sharifiyan

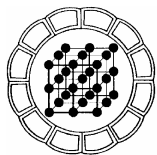
*Department of Geology, Faculty of Sciences, Islamic Azad University of Mashed
(IAUM). Iran.*

E-mail: hamollai@yahoo.com

(Received: 2/6/2005, received in revised form: 12/6/2006)

Abstract: The Jajarm Bauxite deposit 16 kilometers E-W trending and overlies the Karstic dolomite rocks of the Elika Formation. The study of texture and different phases has been carried out in order to understand the degree of crushing, particles size, condition of formation, degree of crystallization, porosity, distribution of constituent elements and beneficiation for the purpose of digestion and potential of physical beneficiation. The phase analysis indicates that the Jajarm Bauxite is typical diasporic bauxite accompanied with Kaolinite, hematite and anatase. Hard bauxite is the high quality bauxite with $\text{Al}_2\text{O}_3 > 50\%$ and $\text{SiO}_2 < 9\%$. Mineral chemistry shows that out of 58% of Al_2O_3 , 54.39% constituting diasporic structure, 1.6% is in kaolinite and 0.94% in topaz. where as out of 5.78% SiO_2 , 3.72% occurring in kaolinite structure, 1.5% as free and inactive quartz and the rest of it is located in topaz structure. The Jajarm bauxite shows a polytomorphic, micro granular texture with several secondary textural elements. The size of main minerals component are generally below 10 micron, with homogeneous matrix. Kaolinite minerals forms stacks of very thin (<0.1 micron) crystal platelets. In addition, in a very hard bauxite, separation between the crystal grains and the matrix can not be done because of similar hardness for both with closely packed space filling and in consequence of the missing defined borderlines of the grains. Based on the above studies, the Jajarm bauxite can be enriched neither by grain analysis nor by the magnetic separation. Laboratory study shows, only it can be improved by water treatment.

Key words: *bauxite, bauxite phases, bauxite texture, mineralogy, diasporic, jajarm, Iran.*



مطالعه بافت و فازهای مختلف کانیهای تشکیل دهنده بوکسیت کانسار جاجرم خراسان شمالی، شمال شرق ایران

حبیب ملائی، رضا شریفیان عطار

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد

پست الکترونیکی: hamollai@yahoo.com

(دریافت مقاله ۱۳۸۴/۳/۱۲، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۵/۳/۲۲)

چکیده: کانسار بوکسیت جاجرم به طول ۱۶ کیلومتر با جهت شرقی- غربی بر روی سطوح کارستی سازند دولومیتی الیکا رخنمون دارد. در این مقاله به منظور آگاهی از اندازه ذرات، شرایط تشکیل، درجه تبلور، تخلخل، توزیع عناصر تشکیل دهنده و نیز کانه‌آرایی، ویژگیهای بافت و فازهای تشکیل دهنده بوکسیت جاجرم مورد مطالعه قرار گرفته است. بر اساس مطالعات انجام شده بوکسیت جاجرم از نوع دیاسپوریک بوده و مهمترین کانی همراه آن کائولین، هماتیت و آنتاز است. بهترین نوع بوکسیت، بوکسیتهایی با سختی بالا با $Al_2O_3 > 50\%$ و $SiO_2 < 9\%$ است. به طور کلی در نمونه‌هایی که درصد اکسید آلومینیوم در آنها بیش از ۵۸٪ است، ۵۴٫۳۹ درصد آن در ساختار دیاسپور، ۳٫۱۶ درصد در ساختار کائولین، و ۰٫۹۴ درصد در ساختار توپاز جای دارد. از مجموع ۵٫۷۸ درصد اکسید سیلیسیم ۳٫۷۲٪ در ساختار کائولین و ۱٫۱۵٪ به صورت کوارتز و باقیمانده در ساختار توپاز جای گرفته است. بافت غالب بوکسیت جاجرم پلیتومورفیک، اندازه دانه‌های دیاسپور کوچکتر از ۱۰ میکرون و سیلیکاتها به صورت توده‌های بسیار نازک و ضخامت کمتر از ۰٫۱ میکرون هستند. یکسان بودن سختی سیمان ماتریکس زمینه با سختی دانه‌های ریزبلور دیاسپور و مشخص نبودن حاشیه بلورها از ماتریکس امکان کانه‌آرایی را ناممکن ساخته است. بررسیهای آزمایشگاهی نشان داد که فقط به روش آب رفتاری می‌توان مقداری بر کیفیت بوکسیت افزود.

واژه‌های کلیدی: بوکسیت، بافت بوکسیت، فاز کانی‌شناسی بوکسیت، دیاسپور، جاجرم، ایران.

مقدمه

با توجه به اهمیت و نقش پودر آلومینا در زندگی صنعتی جهان امروز، و کاربرد وسیع فلز آلومینیوم و محدود بودن منابع تأمین این ماده استراتژیک در ایران می‌توان به اهمیت و جایگاه ویژه کانسار بوکسیت جاجرم واقع در کوه زو پی‌برد. تولید آلومینا از بوکسیت رایج‌ترین روش در حال حاضر است. امروزه بیش از ۹۵٪ از آلومینای مورد نیاز صنایع دنیا از بوکسیت تهیه می‌شود ضمن اینکه با پیشرفت علم و فناوری روز به روز، مصرف فلز آلومینیوم در دنیا افزایش می‌یابد. برخلاف بسیاری از کشورهای دنیا، مانند هندوستان، استرالیا، یونان، گینه، جامائیکا، عربستان سعودی، و کشورهای اروپای شرقی که از ذخایر خوبی برخوردارند، کشور ایران از نظر ذخایر بوکسیت‌های صنعتی بسیار فقیر است و با توجه به مطالعات صورت گرفته تاکنون بوکسیت جاجرم تنها ذخیره بوکسیتی و بزرگترین معدن شناخته شده در ایران است. با توجه به نیاز کشور به ماده حیاتی پودر آلومینا و نیز به منظور جلوگیری از واردات بوکسیت یا پودر آلومینا و جلوگیری از خروج ارز و در نهایت رهایی از اینگونه وابستگیها، پرداختن به موضوعات مختلف بوکسیت کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. در پی مثبت بودن نتایج مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی در منطقه جاجرم، طرح تجهیز معدن و احداث کارخانه تولید آلومینا از بوکسیت از سال ۱۳۶۹ در دستور کار وزارت صنایع و معادن قرار گرفت و اولین خط تولید در فروردین سال ۱۳۸۱ به بهره‌برداری رسید.

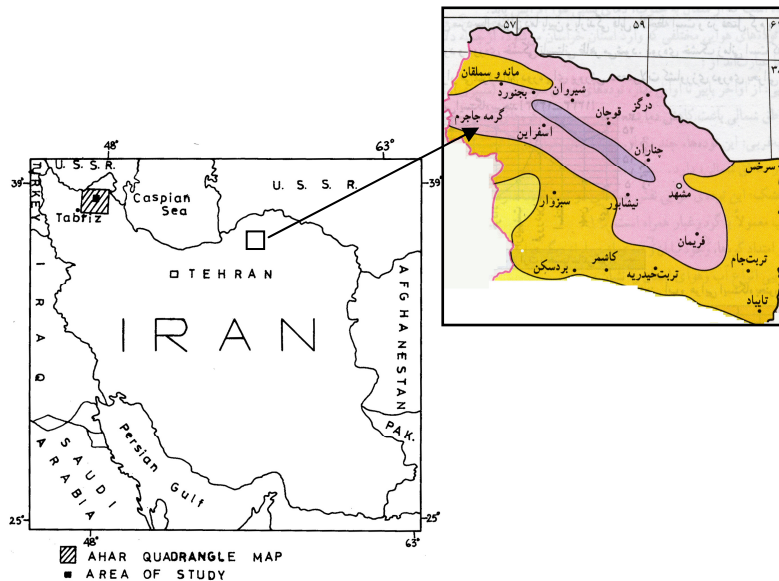
هدف و روش کار

وجود قابل توجهی از ترکیبات سیلکاته و آهن و نوع کانی بوکسیت در کانسار جاجرم در مقایسه با دیگر بوکسیت‌های جهان مانند چین، هندوستان، گینه، و غیره، وجود این ترکیبات از نقاط ضعف و مشکل‌ساز بوکسیت جاجرم محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت بافت و فازهای تشکیل دهنده بوکسیت در فراوری و تولید آلومینا، در این کار پژوهشی انواع فازهای تشکیل دهنده بوکسیت، شیمی کانی و مخصوصاً مقدار اکسید آلومینیم و سیلیسیم در کانیهای مختلف مطالعه شدند تا آگاهی کلی از ساختارهای مختلف تشکیل دهنده بوکسیت حاصل شود. به منظور آشنایی با کانه‌آرایی، بافت بوکسیت به طور دقیق مورد مطالعه قرار گرفت تا رابطه بین بافتهای کانی‌ساز و بافتهای زمینه‌ساز مشخص شود. همچنین پودر نمونه‌های حاصل از مجموعاً ۸۷۰۰ متر حفاری به وسیله ۱۰۳ گمانه، ۱۱ ترانشه و صدها چاله حفاری آتش باری با دستگاه دریل واگن طی چهار سال فعالیت مستمر تهیه شده‌اند. پس از آماده‌سازی اولیه و تهیه یک یا چند نمونه کلی از نمونه‌های جمع‌آوری شده، نمونه با دستگاه‌های نرمایش موجود در مرکز

آزمایشگاه جاجرم تا منهای مش ۲۰۰ و ۱۵۰ پودر شده و سپس عناصر اصلی بوکسیت شامل اکسیدهای سلیسیم، آهن، آلومینیوم، و تیتانیوم در مرکز تحقیقاتی کرج وابسته به وزارت صنایع و معادن و دستگاه فعال سازی نوترونی مستقر در آزمایشگاه مرکزی جاجرم آنالیز شدند. از میان نمونه‌های بالا چند نمونه به منظور تهیه استاندارد در نظر گرفته شدند که چندین بار و در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. این نمونه‌ها در فرصتی مناسب به کشور هندوستان برده شدند و در مرکز تحقیقات آلومینای جواهر لعل نهرو شهر ناگپور هند به وسیله دستگاه پرتو ایکس مدل فلیپ pw1820 با ولتاژ ۴۵ کیلو ولت و جریان ۳۵ آمپر مجهز به نرم افزار محاسباتی کمی و کیفی XDB مورد مطالعه قرار گرفت. نرم افزار مورد استفاده، دستگاه را قادر می‌سازد تا هم نوع کانی و هم درصد اکسیدهای تشکیل دهنده کانیها را به صورت کمی و کیفی آنالیز کند و این نتایج را به صورت قله‌های رنگی مختلف نمایش و نتایج را در یک جدول ارائه دهد. لازم به یادآوری است که در مدل‌های قدیمی‌تر این گونه مطالعات امکان پذیر نیست. علاوه بر مطالعات بالا شرکت آلترو مجارستانی به منظور بعضی از مطالعات تکنولوژیکی نمونه‌هایی را به روشهای گرما گرانی‌سنجی و گاهی همراه با طیف‌سنجی فرسرخ و ریزگمانه الکترونی نیز مطالعه کرده‌اند. بخشی از مطالعات میکروسکوپی مجدداً در گروه زمین‌شناسی واحد مشهد بازنگری شده است. به منظور امکان کانه‌آرایی بررسیهای آزمایشگاهی روی محصولات سرندهی به روش شستشو صورت گرفت. بدین صورت که نمونه‌ها از زیر سرندها با اندازه‌های مختلف تهیه و آنالیز می‌شدند، سپس در آزمایشگاه جاجرم آب رفتاری روی آنها صورت می‌گرفت و پس از خشک شدن دوباره بررسی می‌شدند تا تغییرات حاصله مشخص شود.

موقعیت جغرافیایی منطقه

جمعیت بخش جاجرم نزدیک به دوازده هزار نفر است. آب و هوای این ناحیه خشک و کویری و با بارندگی در حدود ۱۵۰ میلیمتر در سال است. بخش جاجرم با جاده‌های آسفالتی با شهرهای بجنورد، شاهرود و سبزوار و راه آهن تهران مشهد ارتباط دارد. ذخایر بوکسیتی جاجرم، واقع در طاق‌دیس کوه زو در ۱۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان جاجرم بین عرض جغرافیایی ۳۷/۳ درجه تا ۳۷/۲ درجه و طول جغرافیایی ۵۶/۳ درجه تا ۵۶/۳۶ درجه شرقی قرار دارد. این منطقه در جنوبی‌ترین بخش البرز شرقی و جنوب غربی حوضه تهنشستی کپه داغ قرار گرفته و از غرب و شمال غرب با کوههای گدارگز، از شرق و جنوب شرقی با کوههای اسفراین و از شمال با کوههای آلاداغ محصور شده است. کوه زو با شیب زیاد به ارتفاع ۸۰۰ تا ۹۰۰ متر از دشت جاجرم و ۱۸۰۰ متر نسبت به سطح دریا قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه جاجرم در استان خراسان شمالی و ایران .

تاریخچه مطالعاتی منطقه

زون ساختاری البرز در شمال ایران به ویژه سازند شمشک، به دلیل اهمیت اقتصادی آن همیشه مورد توجه بوده و توسط افراد مختلفی با اهداف گوناگون مورد مطالعه قرار گرفته است. اولین گزارش از منطقه توسط واله با استفاده از عکس هوایی و با مشاهده یک نقطه سیاه تهیه شد و در همان سال توسط آقایان صمیمی نمین و ملاک پور ۱۰۰ نمونه تهیه و آنالیز شد [۱، ۲]. نتایج حاصل نشان داد که Al_2O_3 بین ۴۱/۳۰ تا ۶۹/۲ درصد و SiO_2 بین ۴ تا ۱۹/۳ درصد در تغییر است. مطالعات بعدی توسط [۳] نشان داد که دامنه تغییرات بوکسیت جاجرم به مراتب بیشتر از اعداد بالاست [۴]. در رساله فوق لیسانس خود کانی شناسی بوکسیت را مورد مطالعه قرارداد و از سال ۱۹۸۳ مطالعات سیستماتیک اکتشافی از سوی وزارت صنایع و معادن آغاز شد و در حال حاضر مراحل پایانی اکتشافی خود را برای تأمین خوراک یک کارخانه ۲۸۰ هزار تنی تولید آلومینا واقع در نزدیکی معدن طی کرده است. مطالعات تکنولوژیکی از طرف شرکت مجارستانی آلترو- اف ک (Aluterve-FK) از سال ۱۹۸۵ الی ۱۹۹۰ انجام شد. [۵، ۶] مقاله‌ای در مورد ژئوشیمی و ژنز بوکسیت جاجرم ارائه دادند. مطالعاتی در مورد اکتشافات و مسائل تکنولوژیکی بوکسیت همراه با کانه‌آرائی انجام داد [۷] در تز فوق لیسانس خود روشهای مختلف استخراج بوکسیت جاجرم را مطالعه کرد [۸، ۹]. در دو مقاله جداگانه به اهمیت

ژوراسیک و نیز اهمیت اقتصادی سازند شمشک در ژوراسیک با نگاه ویژه به معادن زغال سنگ و بوکسیت پرداخته‌اند. مقاله‌ای تحت عنوان زمین‌شناسی و کانه‌آرایی ارائه نموده و در آن علت عدم کانه‌آرایی جاجرم توضیح داده شده است [۱۰، ۱۱]. در پژوهشگاه صنعت نفت مطالعات تکنولوژیکی بوکسیت را در حد آزمایشگاهی انجام دادند و امکان تهیه آلومینا با درجه خلوص ۹۸٪ را از بوکسیت جاجرم عملی دانستند [۱۲]. در رساله فوق لیسانس خود مطالعاتی مناسب در مورد اکتشاف بوکسیت کال جعفرآباد که بی‌ارتباط با بوکسیت جاجرم نیست انجام داد [۱۳]. در مقاله‌ای به ویژگیهای بوکسیت البرز و فلات مرکزی ایران برای فرایند انحلال لوله‌ای پرداخته و بوکسیت مناطق شاه‌بولاقی، ماندون و صدرآباد را به عنوان نمونه مورد بررسی قرار دادند. این بوکسیتها از نظر کانی‌شناسی مانند کانسار جاجرم و ذخیره آنها در حدود ۴۸۵۵ میلیون تن گزارش شده است. در این مقاله ذخیره بوکسیت ایران بین ۸۰ تا ۱۰۰ میلیون تن برآورد شده است در صورتی که ذخیره بزرگترین کانسار بوکسیت ایران ۲۲ میلیون تن است. [۱۴، ۱۵] در رساله‌های فوق لیسانس خود، ژئوشیمی و ژنز بوکسیت را مورد مطالعه قرار داده و برای اولین بار در حد چند نمونه به عناصر کمیاب در بوکسیت جاجرم پرداخته‌اند. به اعتقاد ایشان منشأ بوکسیت جاجرم سنگهای آتشفشانی زیر سازند شمشک‌اند. در هیچیک از این مطالعات به اهمیت بافت و فازهای تشکیل دهنده بوکسیت جاجرم پرداخته نشده است.

زمین‌شناسی منطقه

کانسار بوکسیتی جاجرم در کوه زو که بخشی از زون ساختاری البرز شرقی در شمال ایران است، رخنمون دارد. ساختار البرز نتیجه دو کوهزایی مهم است: یکی کوهزایی پرکامبرین و دیگری کوهزایی آلپی دوران مزوزوئیک است. البرز با ساختار ائوژئوسنکلینال جزئی از کمربند چین‌خوردگی آلپ است که ادامه آن در قفقاز کوچک و شمال خاوری ترکیه قابل مشاهده است [۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹].

در گستره کانسار بوکسیتی جاجرم قدیمی‌ترین تهنشستهای مربوط به سازند پادهاست که روی آن سازند خوش بیلاق قرار گرفته است. سازند دولومیتی الیکا که سنگ بستر ماده معدنی را تشکیل می‌دهد مربوط به تریاس است. سنگ بستر در اکثر نقاط در تماس با ماده معدنی، در سطح استنت شده و به رنگ صورتی یا سرخ روشن درآمده است. این تغییر رنگ نتیجه نفوذ تدریجی محلولهای آهن‌دار از ماده معدنی به درون درز و شکافهای موجود در دولومیت‌های سنگ بستر است. سازند شمشک (ژوراسیک) که تناوبی از شیل و ماسه است، سنگ پوشش یا کمر بالا کانسار را تشکیل می‌دهد. از نظر زمین‌شناسی ساختاری، منطقه مورد مطالعه شامل تعدادی تاقدیس و ناودیس با امتداد تقریبی شرقی تا شمال شرقی - جنوب غربی است. منطقه

تحت تأثیر رخدادهای زمین‌ساختی شدیدی قرار گرفته و این امر موجب تشکیل چین‌خوردگی در سازند شمشک و گسلهایی در سنگهای کربناته شده است. این امر موجب شد تا بتوان معدن بوکسیت جاجرم را با در نظر گرفتن خصوصیات ریخت‌شناسی و ساختار زمین‌ساختی از شرق به غرب به چهار بخش اصلی تقسیم‌بندی کرد که عبارتند از: سنگ تراش، تاگوئی، زو و گلبینی (به ترتیب از شرق به غرب). ریخت‌شناسی منطقه به دلیل پدیده‌های زمین‌ساختی، ناهماهنگی بسیار زیادی پیدا کرده است به طوری که در انتهای غربی کانسار از یک شیب ملایم در حدود ۳۰ درجه شروع و هر چه به سمت شرق ادامه می‌یابد، بر ارتفاع و ستیغ و نیز شیب آن اضافه شده به طوری که تا حدود ۸۰ درجه شمالی می‌رسد. در این منطقه ارتفاع ستیغ کوه زو از دشت جاجرم به ۸۰۰ تا ۹۰۰ متر می‌رسد. ماده معدنی در دو افق به نامهای A و B با دو دوره مختلف زمین‌شناسی و ترکیب کانی‌شناسی متفاوت و با امتداد شرقی-غربی به طول در حدود شانزده کیلومتر روی یال شمالی کوه زو قرار گرفته است (شکل ۲) این ساختار به شکل یک تاقدیس با دو پلانچ شرقی-غربی است که با یک تراست در همان امتداد در قالب یک مونوکلن پدیدار شده است.

افق قدیمی‌تر A در مرز بین سازند مبارک و الیکا قرار دارد. اولین مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی نشان داد که این افق از کیفیت مناسب برای تولید آلومینا برخوردار نیست. به همین جهت عملیات اکتشافی و استخراجی روی آن متوقف شد و به آن بوکسیت غیرصنعتی اطلاق شد. این بوکسیت بیشتر از نوع شیلی با درصد بالای آهن و سیلیس و مقدار کم آلومینیوم است. با توجه به آنالیز شیمیایی تعدادی از نمونه‌های این افق که در جدول ۱ آمده‌اند. اکثر نمونه‌ها دارای Al_2O_3 کمتر از ۴۰ درصد و SiO_2 بیشتر از ۲۰ درصد است.

افق بوکسیتی B که کانسار بوکسیت جاجرم را تشکیل می‌دهد، با سن تریاس بالایی روی دولومیت‌های الیکا قرار دارد. افق B در بخش غربی معدن در نتیجه یک گسل رورانده بین دولومیت الیکا تکرار شده و افق B/ نامگذاری شده است. ضخامت واقعی بوکسیت بین ۲ تا ۴۰ متر و ضخامت ظاهری آن از ۲ تا ۱۰۰ متر متغیر است که البته از کیفیت یکسانی برخوردار نیستند. این بوکسیت‌ها عموماً از بالا به پایین دربرگیرنده لایه‌های زیرند [۱، ۲، ۶].

۱- کائولن به ضخامت ۰/۷۵ تا ۰/۲۵ متر

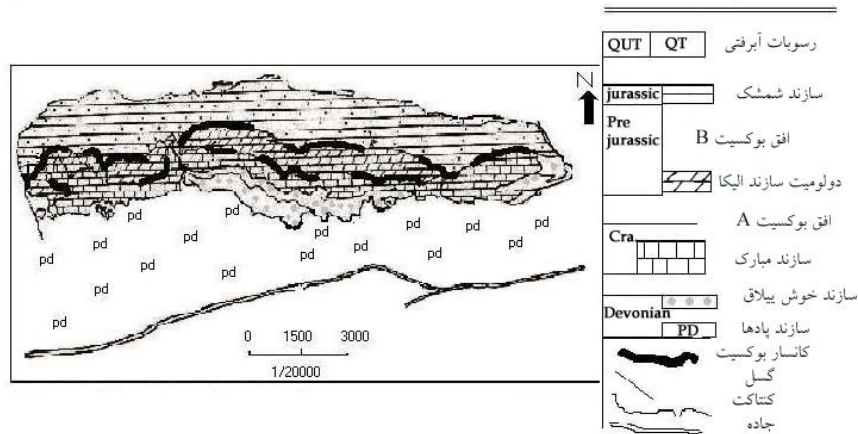
۲- بوکسیت سخت به ضخامت ۳۰ تا ۲ متر

۳- بوکسیت شیلی به ضخامت ۵ تا ۳ متر

هر چند سنگ بستر هیچ‌گونه کارستی و فرورفتگی را در سطح نشان نمی‌دهد ولی حفاریها وجود کارستهای عمیق و گاهی تا به عمق ۳۰ متر را به نمایش می‌گذارد (BH22, BH34, BH35). کیفیت بوکسیت رابطه مستقیم با ضخامت آن دارد. بهترین بوکسیتها را می‌توان در

همین کارستی مشاهده کرد به طوری که آنالیز شیمیایی درصد اکسید Al تا بیش از ۶۰ درصد و اکسید سیلیسیم تا کمتر از ۹ درصد می‌رسد [۶]. بیشتر این کارستها و فرورفتگیها در ارتباط با زمین‌ساختی منطقه است، هر چند که صفحه‌های گسلی غالباً از کانیهای کائولینیتی پوشیده شده است ولی در مجموع وجود گسلها بر کیفیت بوکسیت تاثیر مثبت داشته‌اند. آنالیز شیمیایی تعدادی از نمونه‌های بوکسیت جاجرم در جدول ۲ آمده‌اند.

راه‌نما



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی محدوده کانسار بوکسیت جاجرم (با تغییراتی بعد از گروه اکتشاف ۱۳۷۰)

جدول ۱ نتایج آنالیز افق بوکسیت A

Modulus	LiO	MgO	CaO	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₂	Fe ₂ O ₂	نمونه
۱,۰۲	۱۲,۷	۰,۳	۰,۳	۴	۳۹	۳۵,۵	۶	J1
۲,۴۲	۸,۹	۱,۲	۰,۸	۴	۱۳,۶	۳۲,۹	۳۸,۵	J2
۱,۰۱	۱۲,۴	۰,۳	۰,۴	۴	۳۵,۷	۳۶	۹,۷	J3
۱,۶۹	۱۰,۳	۰,۷	۶,۱	۲,۶	۹,۶	۱۶,۲	۵۵,۴	J4
۱,۹۸	۱۰,۸	۰,۳	۱,۲	۴,۴	۱۹,۴	۳۸,۴	۲۳,۴	J5
۱,۰۹	۱۴,۴	۰,۴	۰,۵	۴	۳۲,۲	۳۳,۴	۱۳,۸	J6
۲,۳۷	۱۱	۰,۴	۱	۴,۷	۱۵,۹	۳۷,۷	۱۸,۸	J7
۱,۶۹	۱۱,۲	۰,۳	۰,۴	۴,۸	۲۳,۵	۳۹,۸	۱۸,۵	J8
۴,۱۸	۱۳,۴	۰,۲	۴,۷	۵,۴	۱۰,۵	۴۳,۹	۲۱,۵	J9
۱,۰۵	۱۳,۸	۰,۲	۳,۶	۴	۳۴,۶	۳۱,۹	۱۱,۳	J10
۱,۲۳	۱۳	۰,۱	۴,۱	۴,۱	۲۶,۷	۳۲,۹	۱۸,۸	J11
۱,۱۴	۱۳,۷	۰,۲	۱,۲	۴,۳	۳۱,۴	۳۶,۳	۱۰,۶	J12
۱,۸۵	۱۰,۳	۰,۳	۱	۵,۷	۲۱,۷	۴۰,۱	۱۸,۸	J13
۱,۱۴	۱۵,۴	۰,۲	۰,۳	۳,۶	۳۰	۳۴,۲	۱۴,۱	J14
۱,۵	۱۲,۷	۰,۳	۲	۴,۳	۲۴,۸	۳۷,۳	۱۶,۶	J15
۲,۱۴	۱۲,۳۹	۱,۴	۰,۶	۴,۳	۱۶,۱	۳۴,۴	۳۰,۴	J16
۳,۳۳	۱۱,۳	۰,۸	۰,۶	۵,۲	۱۲,۳	۴۰,۹	۲۸,۶	J17
۲,۳۵	۹	۱	۰,۵	۶,۱	۱۳,۳	۳۱,۳	۳۸,۸	J18
-	-	۰,۵	۰,۴	۵	۲۴,۵	۴۱,۹	۱۳,۷	J19

جدول ۲ آنالیز اکسیدهای اصلی تشکیل دهنده بوکسیت جاجرم.

شماره نمونه	%Al ₂ O ₃	%SiO ₂	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%TiO ₂	%LiO
۱	۳۸٫۵۸	۲۲٫۵	۲۰٫۵	۱٫۱۷	۴٫۸۷	۱۴٫۱۳
۲	۳۹٫۲۵	۲۵٫۸۸	۹٫۸۶	۰٫۲۹	۴٫۰۶	-
۳	۳۹٫۳۲	۲۴٫۹۲	۱۹٫۵۹	۰٫۳۸	۳٫۷۴	۱۱٫۸۲
۴	۴۱٫۱	۱۹٫۷۴	۲۵٫۲	۰٫۱۲	۴٫۰۸	-
۵	۴۱٫۴۳	۴۷٫۱۸	۵٫۱۹	۰٫۶۴	۳٫۷۴	-
۶	۴۱٫۷۴	۲۸٫۴۱	۱۲٫۰۳	۰٫۴۶	۴٫۵۸	۱۴٫۱
۷	۴۱٫۸۳	۱۶٫۷۶	۲۷٫۶	۰٫۲	۳٫۹۷	-
۸	۴۱٫۹۲	۹٫۹۷	۲۵٫۱۲	۱٫۳۸	۴٫۸۴	۱۳٫۰۴
۹	۴۲٫۰۱	۲۱٫۷۵	۱۵٫۳۱	۰٫۳۷	۵٫۰۹	۱۲٫۰۱
۱۰	۴۲٫۲۵	۲۱٫۱۲	۱۶٫۷	۰٫۲	۴٫۸۸	۱۳٫۰۶
۱۱	۴۲٫۲۶	۲۰٫۹۹	۱۸٫۶۹	۰٫۷۳	۶٫۳۹	-
۱۲	۴۲٫۴۶	۲۷٫۶	۱۱٫۸۴	۰٫۳۷	۴٫۳۴	-
۱۳	۴۲٫۸۴	۲۸٫۲۷	۱۲٫۷۳	۰٫۳۶	۴٫۲۹	۱۲٫۶۶
۱۴	۴۲٫۹۹	۲۶٫۳۹	۱۶٫۶	۰٫۰۷	۵٫۳۸	-
۱۵	۴۳٫۳۳	۲۶٫۶۱	۱۴٫۵۹	۱٫۹۲	۴٫۵۵	-
۱۶	۴۳٫۸۷	۲۴٫۳۸	۱۱٫۰۸	۰٫۳۲	۵٫۰۲	-
۱۷	۴۴٫۲۸	۱۹٫۶۴	۱۴٫۲۶	۰٫۶۶	۵٫۳۳	۱۴٫۵۸
۱۸	۴۴٫۴	۱۶٫۸۶	۲۲٫۹۱	۰٫۳۵	۴٫۵۹	۱۱٫۱۵
۱۹	۴۴٫۶۳	۲۵٫۸۳	۱۰٫۴۳	۰٫۲۸	۶٫۰۳	-
۲۰	۴۴٫۷۹	۱۶٫۶۴	۱۸٫۶۷	۰٫۴۵	۵٫۲۱	۱۱٫۴
۲۱	۴۵٫۰۷	۱۴٫۰۲	۲۳٫۷۴	۰٫۴۸	۴٫۸۳	۱۱٫۲۸
۲۲	۴۵٫۲۳	۲۶٫۶	۹٫۳۸	۰٫۵۳	۵٫۰۶	۱۲٫۷۳
۲۳	۴۷٫۱۴	۲۹٫۸۶	۵٫۷۹	۰٫۱۷	۵٫۱	-
۲۴	۴۹٫۸۴	۲۳٫۹۵	۴٫۳۹	۰٫۱۵	۶٫۳۶	۱۳٫۶۶
۲۵	۵۰٫۲۱	۲۵٫۸۱	۵٫۴۵	۰٫۲۲	۶٫۴۹	۱۴٫۱۴
۲۶	۵۱٫۲۷	۲۷٫۱۴	۶٫۵۶	۰٫۲۷	۴٫۳۹	-
۲۷	۵۱٫۸۴	۱۷٫۹۸	۱۰٫۷۷	۰٫۹۷	۵٫۳۷	-
۲۸	۵۲٫۱۴	۱۷٫۴	۸٫۹۲	۰٫۱۶	۷٫۶	-
۲۹	۵۲٫۹۴	۱۰٫۵۹	۷۲٫۱۷	۰٫۶۳	۵٫۳۸	-
۳۰	۵۵٫۳	۱۷٫۹۵	۷٫۴۸	۰٫۳۹	۶٫۷۶	۱۲٫۷۹
۳۱	۵۵٫۷۲	۲۰٫۶۳	۵٫۱۷	۰٫۳۶	۶٫۴۸	۱۳٫۷۳
۳۲	۵۷٫۳۹	۱۶٫۲۶	۷٫۱۸	۰٫۶۲	۵٫۸۶	-
۳۳	۶۰٫۶	۱۴٫۹۴	۲٫۹	۰٫۴۸	۷٫۵۹	۱۲٫۴
۳۴	۶۰٫۶۸	۱۹٫۸	۱٫۸۹	۰٫۳۷	۵٫۰۲	۱۳٫۶۵

مشخصات نمونه‌های دستی بوکسیت

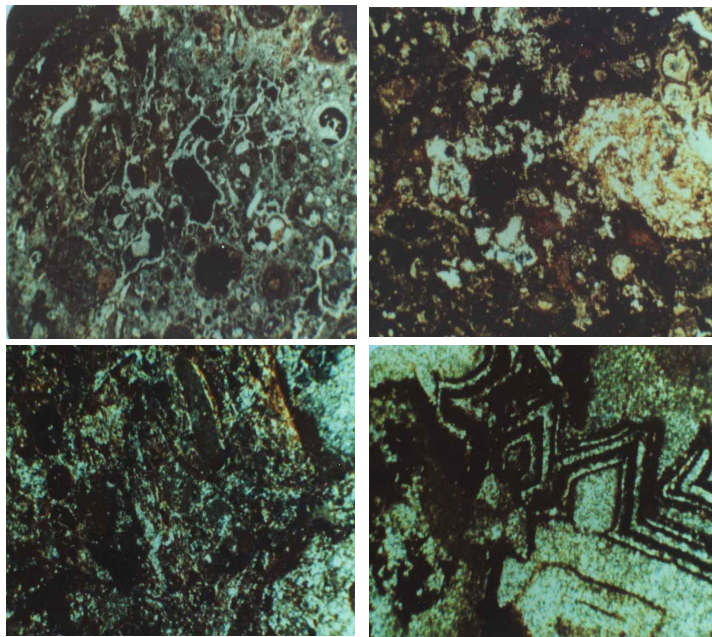
در کانسار جاجرم دو نوع بوکسیت با دو کیفیت متفاوت وجود دارند، یکی بوکسیت نرم و شیلی که اثر لایه‌بندی در آنها کاملاً دیده می‌شود. این بوکسیت دارای لمس صابونی و نرم همراه با چسبندگی شبیه کائولین است و مدتی بعد از استخراج که در معرض هوای قرار می‌گیرد از هم پاشیده شده و در دست به پودر تبدیل می‌شود. رنگ این بوکسیتها غالباً سرخ تا سرخ جگری است. از نظر کانی‌شناسی بیشتر از کائولن و هماتیت همراه با مقدار ناچیز دیاسپور تشکیل شده است. این نوع بوکسیت به عنوان بوکسیت شیلی، غیر صنعتی و باطله محسوب می‌شود و فقط به عنوان جبران کننده آهن و آلومینیوم در صنعت سیمان کاربرد دارد. نوع دیگر بوکسیت، بوکسیت سخت دیاسپوری است با لمس زبر، سطح شکست نامنظم و صدفی است. شکل شکست به سختی و بافت آن بستگی دارد؛ به طوری که اینگونه سطح شکست از ویژگی‌های بوکسیت با بافت پلیتومورفیک است. سختی آن بین ۵ تا ۶ بوده و گاهی به ۷ نیز می‌رسد و به آن بوکسیت سخت و گاهی بوکسیت صنعتی نیز گفته می‌شود که برای خوراک کارخانه به منظور تولید پودر آلومینا مورد استفاده قرار می‌گیرد. عوامل مؤثر بر سختی در بوکسیت شامل، ضخامت سنگ پوشش و کشرهای ساختاری و نوع کانی تشکیل دهنده آن است به طوری که تفاوت سختی در یک کانسار به دلیل تنوع در کانیهای تشکیل دهنده آن است [۲۰]. هرچند فرایندهای دگرگونی در بوکسیت‌های دیاسپوری مانند تاپ نا در ویتنام همراه با تبلور مجدد و بزرگتر شدن بلورها بوده است ولی این پدیده در بوکسیت جاجرم چندان مشهود نیست. بوکسیت دارای بافت توده‌ای یکدست است به طوری که تشخیص دانه‌های مستقل دیاسپور ناممکن است و در بعضی موارد پیزوئیدها بزرگتر بوده و تا حدود ۳ تا ۲ سانتیمتر دیده می‌شود [۲۱] در صورتی که در بوکسیت‌های زاگرس پیزوئیدهای کاملاً گرد قهوه‌ای تیره نسبت به زمینه کرمی کاملاً مشهود است به طوری که حفره‌های برجای مانده پس از خروج پیزوئیدها و دارای رنگ تیره‌تر در مقایسه با ماتریکس اطراف است و در موقع شکستن بوکسیت معمولاً پیزوئیدها نمی‌شکنند و یا دیرتر شکسته می‌شوند. رنگ بوکسیت بستگی به کانی‌های غالب آن مانند کانیهای آلومینیوم، آهن و سیلیس دارد. متجاوز از دوازده رنگ بوکسیت با کیفیتهای متفاوت تفکیک شده است. به طوری که رنگ بوکسیت از سفید مایل به خاکستری، خاکستری روشن تا تیره، قهوه‌ای روشن و قهوه‌ای جگری و سبز در تغییر است. زمینه‌های مختلف رنگهای سرخ به دلیل اکسایش سوپرژن هماتیت موجود در سنگ است. رنگ سبز به دلیل وجود کلریت در ساختار شاموزیت است و مقدار کم گوئتیت باعث ایجاد رنگهای مایل به زرد در بوکسیت جاجرم شده است. بهترین نوع بوکسیت به رنگ سفید کرمی تا کرمی تیره است که معمولاً دارای $Al_2O_3 > 50\%$ و $SiO_2 < 9\%$ است [۲۲]. بنا به اعتقاد [۲۰] اینگونه رنگ‌بندی از ویژگیهای بوکسیت‌های مدیترانه‌ای است.

مطالعه بافت و فازهای تشکیل دهنده بوکسیت

از آنجا که درصد استحصال آلومینا در فرایندهای تولید آلومینا رابطه مستقیم با بافت و فازهای تشکیل دهنده بوکسیت دارد لذا مطالعه بافت و شناخت فازهای تشکیل دهنده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با این مطالعات می‌توان اطلاعاتی در مورد اندازه ذرات تشکیل دهنده بوکسیت، شرایط تشکیل، درجه تبلور، تخلخل، توزیع عناصر تشکیل دهنده و نیز کانه‌آرایی آن به دست آورد. از روی مطالعه بافت می‌توان درجه خردایش بوکسیت را برای حل کردن کانیهای تشکیل دهنده، درجه فعالیت و پتانسیل غنی‌سازی فیزیکی آن را به دست آورد. بدین منظور نمونه‌های زیادی در مراکز مختلف آزمایشگاهی که قبلاً نام برده شد مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. براساس مطالعات انجام شده، در بوکسیت جاجرم بافت ائید و ماتریکس پولیتومورفیک به طور غالب همراه با بافتهای ثانویه پیروئیدی، اسپاسئوئیدی، تغییرشکل پلاستیک برشی نیز مشاهده می‌شود. علاوه بر بافتهای فوق گاهی اوقات بافتهای آواری میکروکلاستیک، آرنیتی و کنگلومرانی تشخیص داده می‌شود. ضمن اینکه ائیدها و پیروئیدها در زمینه آواری قرار گرفته‌اند [۱۵]. اندازه دانه‌های دیاسپور کوچکتر از ۱۰ میکرون و سیلیکاتها بیشتر از نوع کائولینیتی به صورت کومه‌های بسیار نازک و ضخامت کمتر از ۰/۱ میکرون است. زمینه و دانه‌های بافت‌ساز بسیار به هم فشرده و فضا در آنها کاملاً پر شده است و حاشیه بلورها از هم قابل تفکیک نیست به طوری که انتخاب یک دانه بلور امکان پذیر نیست، فقط دانه‌های بسیار ریز هماتیت از فشرده‌گی کمتری برخوردارند. شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی بوکسیت را نشان می‌دهد. بعضی مواقع مهاجرت یونهای آهن یک منطقه‌بندی بسیار زیبا را ایجاد کرده است. علاوه بر این سختی سیمان ماتریکس زمینه با سختی دانه‌های بلور ریزدانه برابر است لذا کانه آرائی با هیچ یک از روشهای معمول امکان‌پذیر نیست [۲۲]. در صورتیکه ویژگی بوکسیت در آمریکا، هند و یونان [۲۳، ۲۴] این امکان را تا حد پیلوت پلانت به روش شستشو یا جداسازی مغناطیسی فراهم کرده است.

تأثیر فازهای کانی‌شناسی بر ویژگی فرایند تولید آلومینا مورد توجه افراد زیادی بوده و هست [۲۵، ۲۶، ۲۷] نه تنها اکسیدهای اصلی بلکه در بسیاری مواقع عناصر کمیاب مانند گالیم، وانادیم، کرم، نیکل، روبیدیم، استرانسیم، زیرکونیم و غیره در بوکسیت مورد توجه افراد زیادی قرار گرفته است [۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳]. نتایج آنالیز فازها در جدولهای ۳ تا ۵ آورده شده‌اند. مطالعه فازهای کانی‌شناختی بوکسیت بر اساس XRD همراه با گرماگرانی‌سنجی اسپکتروسکوپی فرسرخ نشان داد که بوکسیت جاجرم از نوع دیاسپوریک بوده و مقداری شاموزیت به عنوان کانی فرعی و بوهمیت به صورت کمیاب آن را همراهی می‌کند. مهمترین کانی سیلیکاته همراه بوکسیت، کانی کائولین به صورت سیلیکات فعال همراه با مقداری کوارتز به عنوان سیلیس غیر فعال است. هماتیت به عنوان کانی اولیه آهن‌دار در جایگاه دوم قرار دارد، با این کانی مقدار کمی گوئیتیت و سیدریت به عنوان کانی ثانویه مشاهده می‌شود. کانی اصلی تیتانیوم در بوکسیت جاجرم آاناتاز است که مقدار کمی روتیل با آن دیده می‌شود. کانیهای

کلسیت، میکا، دولومیت، پیریت، ایلیت، هالوزیت، کوارتز، کاراندالیت، زیرکن و ژیپس نیز به صورت کمیاب دیده می‌شود. مطالعه فازهای بوکسیت نشان می‌دهد که شاموزیت جاجرم از نوع برهیرین یا شاموزیت B است و مقداری شاموزیت A آن را همراهی می‌کند. در این ترکیبات ۲ تا ۶٪ درصد آهن به وسیله آلومینیوم جانشین شده و موجب تشکیل آلوموگوئیت و آلوموهماتیت شده است. بر اساس مطالعات انجام شده به طور کلی در نمونه‌هایی که درصد اکسید آلومینیوم بیش از ۵۸٪ است ۵۴/۳۹ درصد آن در ساختار دیاسپور ۳/۱۶ درصد در ساختار کائولین و ۰/۹۴ درصد در ساختار توپاز جای دارد. از مجموع ۱۴/۷٪ اکسید آهن ۱۲٪ آن به صورت هماتیت و ۲/۷٪ به صورت گوئیتیت است و از مجموع ۶٪ اکسید تیتانیوم آناز ۵٪ و روتیل ۱٪ است در صورتی که از مجموع ۵/۷۸ اکسید سیلیسیم ۳/۷۲٪ در ساختار کائولین و ۱/۵ درصد به صورت کوارتز و باقیمانده در ساختار توپاز جای گرفته است. جدول ۳ این تغییرات را نشان می‌دهد.



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از بوکسیت سخت جاجرم در نور پلاریزه. دو تصویر بالا: الیتهای جنینی و قطعات مختلف که با سیمان کائولینیتی ثانویه به هم متصل شده‌اند. رنگ روشن تصویر سمت چپ حکایت از خروج آهن دارد. (بزرگنمایی X ۴۰). دو تصویر پائین: منطقه‌بندی لوزی شکل هماتیت همراه با پرشدگی دیاسپور و کائولینیت قابل مشاهده است. یافت پلیتومورفیک را در تصویر سمت چپ می‌توان دید. قطعات روشن‌تر خروج آهن را نشان می‌دهد (بزرگنمایی X ۱۰۰).

جدول ۳ آنالیز فازهای مختلف بوکسیت جاجرم.

اکسیدها	نوع کانی	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴
مقدار Al_2O_3 در	دیاسپور	۳۹٫۰۰	۳۵٫۶۰	۴۴٫۶۶	۵۱٫۱۰
	کراندالیت	۰۰٫۲۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰
	کائولینیت و سیلیکاتهای دیگر	۰۴٫۳۰	۰۳٫۷۰	۱۰٫۰۰	۰۵٫۲۰
	شاموزیت	۰۳٫۵۰	۰۴٫۵۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰
	هماتیت	۰۰٫۴۰	۰۰٫۲۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۲۰
	مجموع	۴۷٫۴۰	۴۴٫۰۰	۵۴٫۶۶	۵۶٫۵۰
مقدار SiO_2 در	کائولینیت و سیلیکاتهای دیگر	۰۶٫۵۰	۰۴٫۳۰	۱۱٫۷۰	۰۶٫۱۰
	شاموزیت	۰۳٫۵۰	۰۴٫۵۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰
	کوارتز	-	۰۰٫۹۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰
	مجموع	۱۰٫۰۰	۰۹٫۷۰	۱۱٫۷۰	۰۶٫۱۰
مقدار Fe_2O_3 در	گوتیت	۰۰٫۸۰	۰۰٫۷۰	۰۲٫۶۰	۰۱٫۰۰
	هماتیت	۱۵٫۰۰	۱۵٫۴۰	۰۹٫۶۰	۱۳٫۷۰
	شاموزیت	۰۶٫۴۰	۰۸٫۳۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰
	ایلیت	۰۰٫۲۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰
	مجموع	۲۲٫۴۰	۲۴٫۴۰	۱۱٫۲۰	۱۴٫۷۰
مقدار TiO_2 در	آناناز	۰۴٫۵۰	۰۳٫۷۰	۰۴٫۵۰	۰۴٫۵۰
	روتیل	۰۱٫۱۰	۰۱٫۶۰	۰۱٫۴۰	۰۱٫۳۰
	مجموع	۰۵٫۶۰	۰۵٫۳۰	۰۵٫۹۰	۰۵٫۸۰
مقدار CaO در	کلسیت	۰۰٫۶۰	۰۰٫۴۰	۰۱٫۰۰	۰۲٫۳۰
	دولومیت	۰۰٫۰۰	۰۰٫۸۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰
	کراندالیت	۰۰٫۱۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰
	مجموع	۰۰٫۷۰	۰۱٫۲۰	۰۱٫۰۰	۰۲٫۳۰
مقدار MgO در	دولومیت	ناچیز	۰۰٫۶۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰
	شاموزیت	۰۰٫۴۰	۰۰٫۷۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰
	کراندالیت	۰۰٫۱۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰	۰۰٫۰۰
	مجموع	۰۰٫۵۰	۰۱٫۳۰	۰۱٫۴۰	۰۰٫۰۰

جدول ۴ آنالیز فازهای مختلف بوکسیت جاجرم.

نمونه	دیاسپور	کائولینیت	هماتیت	گوتیت	آناناز	روتیل	توپاز	کوارتز
۳۲۷۸	۸۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۵۰	۳٫۰۰	۶٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۰٫۵۰
۳۲۷۴	۷۰٫۰۰	۱۲٫۰۰	۱٫۰۰	۳٫۰۰	۵٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰	ناچیز
Sc14	۶۵٫۰۰	۷٫۵۰	۱۵٫۰۰	۱٫۰۰	۴٫۰۰	۱٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰
Sc15	۶۴٫۰۰	۸٫۰۰	۱۲٫۰۰	۳٫۰۰	۵٫۰۰	۱٫۰۰	۲٫۰۰	۱٫۵۰
660A	۵۱٫۰۰	۱۷٫۰۰	۱۶٫۰۰	۲٫۵۰	۵٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۵۰
3070	۴۹٫۰۱	۱۲٫۰۰	۱۹٫۰۰	۲٫۰۰	۴٫۰۰	۱٫۰۰	۲٫۰۰	ناچیز
C16A	۳۹٫۰۲	۱۰	۱۵٫۰۰	۵٫۰۰	۳٫۰۰	۱٫۰۰	ناچیز	ناچیز
۳۰۳۶	۵۱٫۶	۱۱٫۷۰	۱۵٫۴۰	۴٫۰۰	۴٫۹	۱٫۶	ناچیز	۰٫۵۰
۱۵۵۰	۴۴٫۶۶	۰٫۹۷	۱۳٫۷	۳٫۰۰	۴٫۳۰	۱٫۴	۱٫۰۰	ناچیز
۳۰۴۱	۵۱٫۱	۰٫۶۱۰	۱۳٫۷	۱۰٫۰۰	۶٫۰۰	۱٫۸	ناچیز	ناچیز

جدول ۵ درصد فراوانی اکسید آلومینیوم و سیلیسیوم در کانی‌های مختلف بوکسیت

نمونه	آلومینا در				سیلیکا در			
	دیاسپور	کائولینیت	ابلیت	توپاز	کائولینیت	کوارتز	لاتریت	توپاز
۳۲۷۸	۶۸٫۸۴	۰٫۳۹		۰٫۹۴	۰٫۴۷	-	۰٫۵۰	۰٫۵۵
۳۲۷۴	۵۹٫۴۹	۴٫۷۴	۱٫۱۵	۰٫۹۴	۵٫۵۹	-	۱٫۳۶	۰٫۵۵
SC14	۵۵٫۲۵	۲٫۹۶	-	۰٫۹۴	۳٫۴۹	۲٫۰۰	-	۰٫۵۵
SC15	۵۴٫۳۹	۳٫۱۶	-	۰٫۹۴	۳٫۷۹	۱٫۵۰	-	۰٫۵۵
606A	۴۳٫۳۴	۶٫۷۱	-	۰٫۴۷	۷٫۹۱	۱٫۵۰	-	۰٫۲۸
3070	۴۱٫۶۴	۴٫۷۴	۲٫۳۱	۰٫۹۴	۵٫۵۹	-	۲٫۷۲	۰٫۵۵
C16A	۵۳٫۲۵	۳٫۱۶	-	ناچیز	۲۴٫۶۷	-	-	-
۳۰۳۶	۴۳٫۳۴	۶٫۶۱	-	ناچیز	۱۶٫۲۹	۰٫۵۰	-	ناچیز
۱۵۵۰	۵۵٫۲۶	۲٫۹۰	۱٫۲	۰٫۴۷	۲۸٫۸۶	-	-	۰٫۲۸
۳۰۴۱	۵۰٫۳۸	۳٫۶۱	۱٫۶	ناچیز	۱۸٫۶۲	-	-	ناچیز

در بوکسیت‌هایی که درصد آلومینیوم کمتر از ۴۰٪ است شرایط کاملاً فرق می‌کند. به عنوان مثال در نمونه‌هایی که درصد اکسید آلومینیوم کمتر از ۳۴٫۵۳٪ است اولاً از مقدار تیتانیوم کاسته شده و از ۶٪ به ۳٫۵۰٪ کاهش می‌یابد. ولی در عوض بر مقدار اکسید آهن و سیلیکات افزوده می‌شود. به طوری که مقدار اکسید آهن به ۲۳٫۷۸ و اکسید سیلیسیم به ۲۴٫۶۷٪ افزایش می‌یابد. از مجموع آهن ۱۳٪ به صورت هماتیت و ۱۰٫۷۸٪ آن گوئیت را تشکیل داده است.

نتایج حاصل از مطالعات بالا در جدول ۶ و ۷ آورده شده است. زمانی که در ساختار بوکسیت کانی کراندلینیت وجود دارد، مقدار اکسید آلومینیوم بین ۰٫۲ تا ۰٫۵ درصد و CaO بین ۰٫۱ تا ۰٫۳ درصد نیز در تغییر است. از تجزیه ۷۵۱ نمونه بوکسیت به روش پراش پرتو ایکس، شاموزیت در ۷۴۱ نمونه، گوئیت در ۹۶ نمونه و مگنتیت فقط در یک نمونه مشاهده شده است [۲]. شکل ۴ دو تصویر از نمودارهای XRD فوق را همراه با فازهای مربوطه به عنوان نمونه نشان می‌دهد. از ویژگی‌های دیگر بوکسیت جاجرم وجود ماتریکس کانیهای رسی بیشتر از نوع کائولینیت، ایلینیت، ایلینیت فعال و شاموزیت نسبتاً کم فعال به اضافه هالوزیت است. هالوزیت در بیش از ۲۰ نمونه مشاهده شده است که همه آنها حاوی مقداری Al_2O_3 و SiO_2 بوده و در مواردی مقداری هماتیت، کلسیت همراه اکسید منیزیم نیز مشاهده می‌شود. این کانی را می‌توان کائولینیتی در نظر گرفت که مقداری آب جذب کرده است. این ویژگی بیشتر در بوکسیت‌های با مدول ۴ دیده می‌شود. شاموزیت یک کانی آلوموسیلیکات است که دارای آهن ۲ و ۳ ظرفیتی است که در ترکیب آن Mg^{2+} نیز جای دارد و جابه‌جایی یونها به طور وسیعی در آن صورت می‌گیرد. به همین جهت نمی‌توان یک فرمول استاندارد برای آن پیشنهاد کرد. شاموزیت آلوموسیلیکاتی است که نیمی از سیلیسیم به وسیله آلومینیوم با هم‌ارایی ۴ پر شده است شبیه آنچه که در ساختار کانی آنورتیت رخ می‌دهد. به طور کلی SiO_2 در کائولین ۴۶٪ ولی در شاموزیت این مقدار فقط به ۲۰٪ می‌رسد و لایه‌های هشت‌وجهی گیبسیت با عناصر دو ظرفیتی مانند آهن، منیزیم و کلسیم پر می‌شوند. شاموزیت بر خلاف کائولین در روش بایر حتی در دمای بین ۲۵۰ - ۲۶۰ درجه سانتیگراد به صورت غیر فعال باقی خواهد ماند. مخصوصاً که در بوکسیت‌های دیاسپوریک مقداری CaO به عنوان کاتالیزور به سیستم اضافه می‌شود. در ادامه فرایند قسمتی از آهن دو ظرفیتی به آهن سه ظرفیتی تبدیل شده و ساختار بلور را از هم می‌پاشاند و موجب افزایش شاموزیت فعال در روش بایر خواهد شد ولی خوشبختانه اضافه کردن آهن به دوغاب از اکسید شدن شاموزیت جلوگیری می‌کند و اکسایش فقط در سطح صورت خواهد گرفت. این پدیده فقط موجب افزایش مقدار آهن در باطله گل سرخ می‌شود و مشکلی در فرایند تولید آلومینا ایجاد نمی‌کند ولی در عوض سیلیسیم موجود در کانیهای

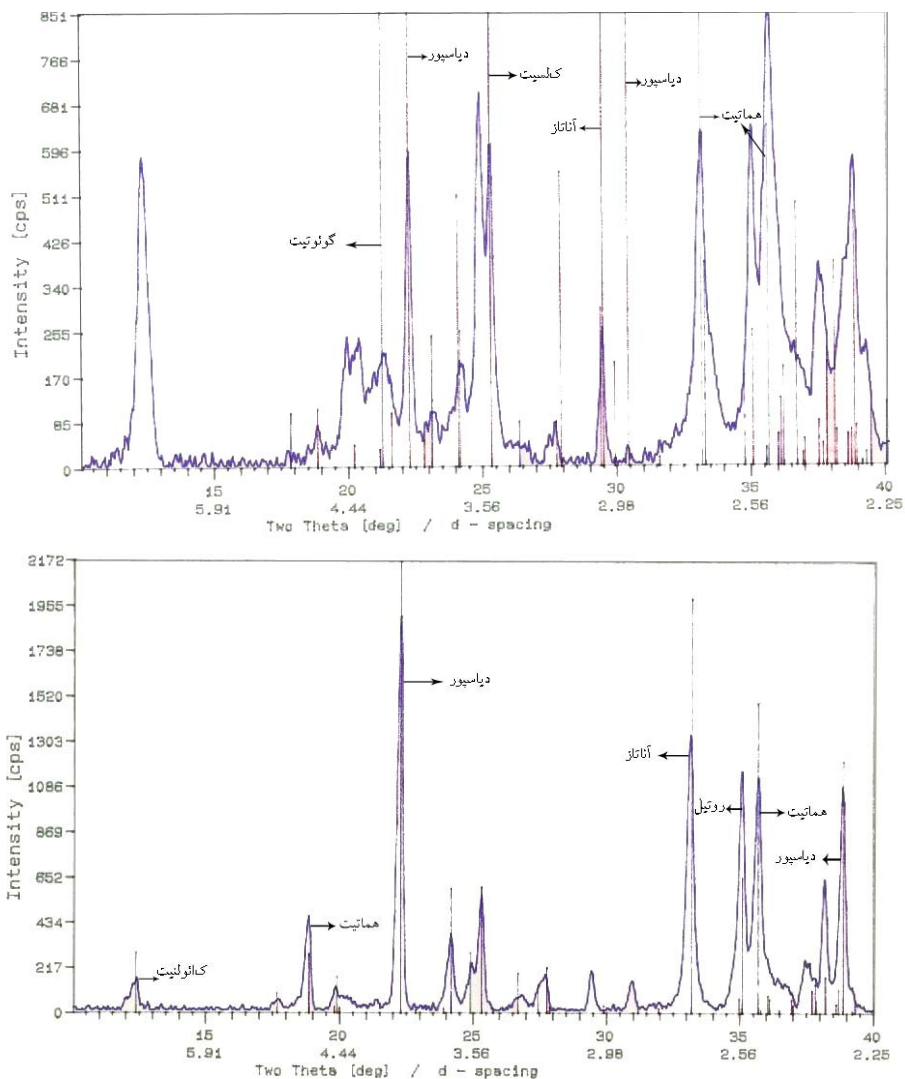
کائولینیتی موجب افزایش در مصرف سود و از دست دادن مقدار زیاد از آلومینیوم موجود در این کانیها خواهد شد، ضمن اینکه بر حجم باطله نیز افزوده می‌شود. به همین جهت کانیهای فعال کائولینیتی از کانیهای بسیار زیانبار سیستم هستند در صورتی که کانیهای آهن و تیتان فقط موجب افزایش باطله گل سرخ می‌شوند [۲۸].

جدول ۶ آنالیز فازها در ساختارهای کانیهای مختلف بوکسیت (میانگین چند نمونه با درصد اکسید آلومینیم بالا (بیشتر از ۵۰٪)).

کانی	مجموع	کلسیت	هماتیت	آاناتاز	دیاسپور	گوتیت	کائولینیت	روتیل	کوارتز	توپاز
فازها	۹۷٫۵	۱٫۰۰	۱۲٫۰۰	۵٫۰۰	۶۴٫۰۰	۳٫۰۰	۸٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۵۰	۲٫۰
Fe ₂ O ₃ %	۱۴٫۷۰		۱۲٫۰۰							
TiO ₂ %	۶٫۰۰			۵٫۰۰				۱٫۰۰		
CaO%	۰٫۵۶	۰٫۵۶								
SiO ₂ %	۵٫۷۸						۳٫۷۲		۱٫۵۰	۰٫۵۵
Al ₂ O ₃ %	۵۸٫۴۹				۵۴٫۳۹		۳٫۱۶			۰٫۹۴
F%	۰٫۳۶									۰٫۳۶
CO ₂ %	۰٫۴۴	۰٫۴۴								
H ₂ O%	۱۱٫۲۰				۹٫۶۱	۰۰٫۳۰	۱٫۱۲			۰٫۱۷
LiO%	۱۱٫۴۷	۰٫۴۴	۰۰٫۰۰		۹٫۶۱	۰۰٫۳۰	۱٫۱۲			

جدول ۷ آنالیز فازها در ساختارهای کانیهای مختلف بوکسیت (میانگین چند نمونه با درصد اکسید آلومینیم پائین (کمتر از ۴۰٪)).

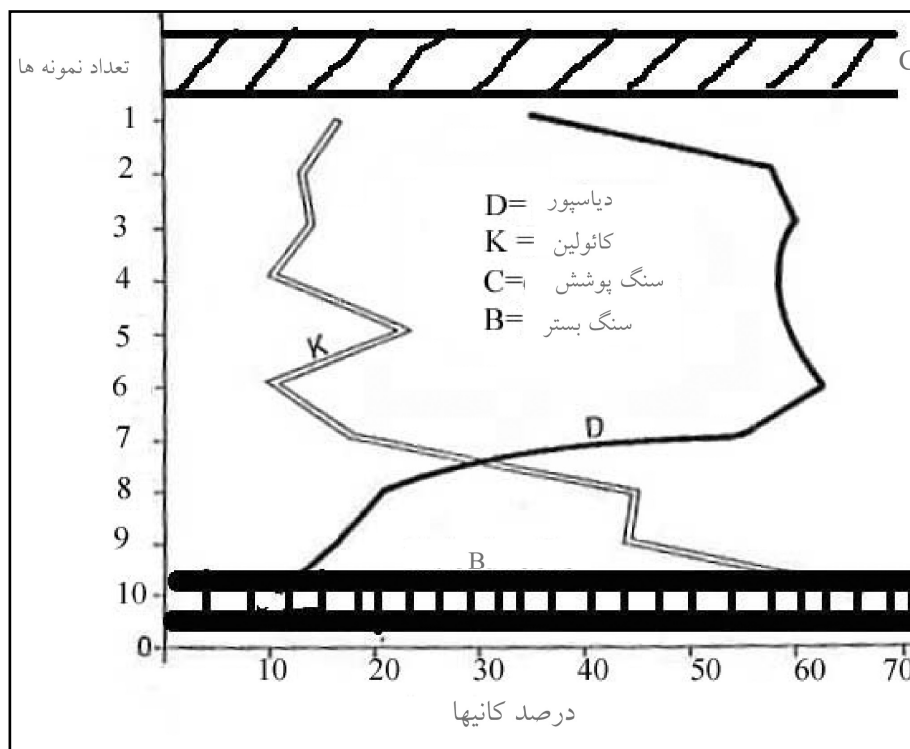
	مجموع	کلسیت	هماتیت	آاناتاز	دیاسپور	گوتیت	کائولین	روتیل
درصد فاز	۹۹٫۵	۲	۱۳	۳	۱۶	۱۲	۵۳	۰٫۵
Fe ₂ O ₃ %	۲۳٫۷۸	--	۱۳	-	-	۱۰٫۷۸	-	-
TiO ₂ %	۳٫۵	-	-	۳	-	-	-	۰٫۵
CaO%	۱٫۱۲	۱٫۱۲	-	-	-	-	-	-
SiO ₂ %	۲۴٫۶۷	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃ %	۳۴٫۵۳	-	-	-	۱۳٫۶۰	-	۲۰٫۹۳	-
CO ₂ %	۰٫۸۸	۰٫۸۸	-	-	-	-	-	-
H ₂ O%	۱۱٫۰۲				۲٫۴	۱٫۲۲	۷٫۴۰	-
LiO%	۱۱٫۹	۰٫۸۸	۰٫۰۰	۰۰٫۰۰	۲٫۴	۱٫۲۲	۷٫۴۰	-



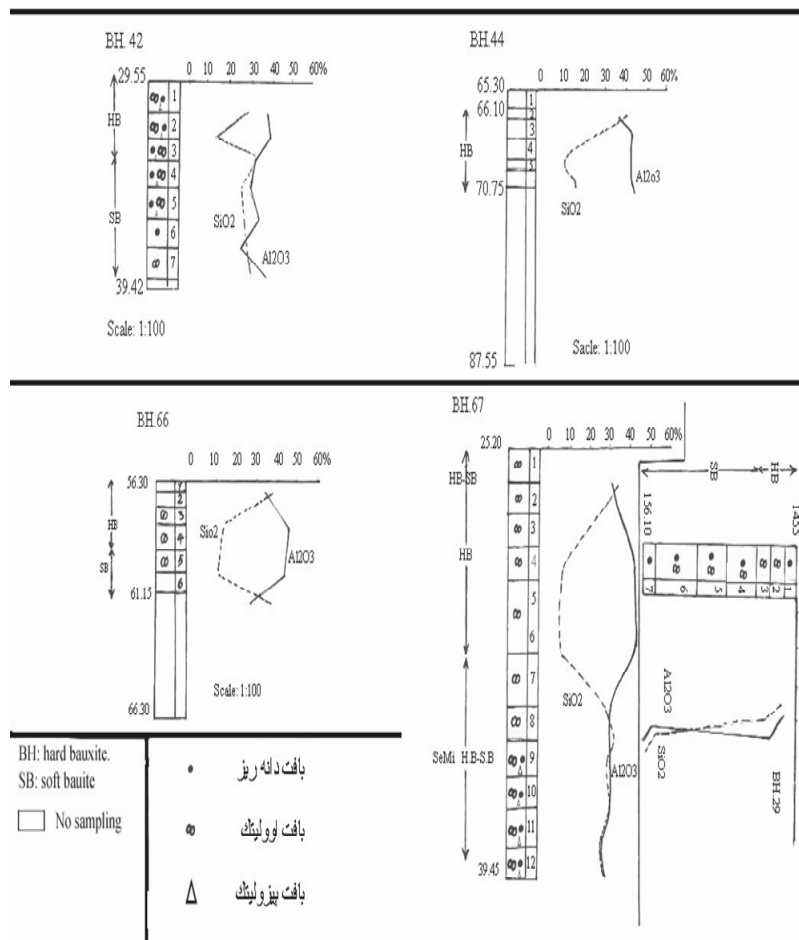
شکل ۴ نمودار XRD از نمونه‌های بوکسیت ایران (انجام شده در ناگپور هند). فازهای مختلف قابل مشاهده است.

علاوه بر مطالعات فوق به منظور درک صحیح از تغییرات بوکسیت در عمق مغزیهای حاصل از حفاری در بعضی از چاه‌ها نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این مطالعات نشان می‌دهد که اولاً درصد کائولین در سطح و قاعده ماده معدنی بالاست و در قاعده و نزدیک به سنگ بستر از افزایش چشمگیری برخوردار است (شکل ۵)، ثانیاً افزایش کانی دیاسپور از عمق ۲ متری شروع

و تا عمق ۷ الی ۸ متری ادامه دارد، با ادامه عمق دوباره بر درصد کانی کائولین افزوده می‌شود و گاهی دو فاز کانی روی یکدیگر قرار می‌گیرند (برای مثال چاه شماره ۲۹، ۴۲، ۶۷). از دیگر ویژگی‌های این نمونه علاوه بر غالب بودن بافت الیتیک همراه بودن این بافت با بافت‌های بسیار ریز و پیزولیتی است که در یک مکان قابل مشاهده‌اند (شکل ۶). هرچند که ماده معدنی بین دو فاز غنی از کانی کائولین قرار دارد ولی ماهیت این دو با یکدیگر متفاوت است. بدین معنی که بخش بیشتری از کائولین سطح محصول هوازگی سنگ پوشش است و یا به عبارتی این کائولین بعداً به سطح ماده معدنی اضافه شده است. در صورتی که کائولین در زیر ماده معدنی از خود ماده معدنی در اثر فرایند بوکسیت‌زایی از ماده اصلی تشکیل دهنده بوکسیت جدا شده و در حال خروج از سیستم است. اگرچنانچه بوکسیت زایی ادامه داشته و سنگ بستر از یک زهکشی خوب برخوردار است به مرور زمان از کائولین قاعده می‌تواند کاسته شود.



شکل ۵ نمودار تغییرات کانی دیاسپور و کائولین در عمق.



شکل ۶ نمودار خطوط متغیر دیاسپور و کائولین همراه با عمق و نوع بافت در زون ماده معدنی.

مطالعه آب رفتاری

نمونه‌های مورد نیاز به منظور مطالعات آب رفتاری از زیر سرند تهیه و سپس نمونه‌ها بین ۲ تا ۳ اینچ خرد می‌شوند. نمونه‌های آماده شده در همزن مکانیکی با اسید ۰.۵٪ شستشوی داده می‌شود. سپس نمونه در معرض هوای آزاد قرار داده می‌شوند تا کاملاً خشک گردند. نمونه‌های خشک شده دوباره مورد آنالیز قرار می‌گرفتند که نتایج میانگین دو اندازه مختلف در جدول ۸ آورده شده است. چنانکه که جدول نشان می‌دهد نتایج در اندازه‌های کمتر از ۳ اینچ به مراتب بهتر از اندازه‌های بزرگتر از ۳ اینچ است به طوری که مدول ۱.۰۵ به ۲.۵۶ رسیده و افزایشی در حدود ۲۹٪ را نشان می‌دهد. در صورتی که در نمونه‌هایی با اندازه‌های بزرگتر از ۳ اینچ تغییر مدول

کمتر از ۱ است. این مطالعات نشان داد که عملاً آنچه موجب بهبود کیفیت بوکسیت و افزایش اکسید آلومینیوم می‌شود خروج ذرات بوکسیت‌های شیلی و دیگر ناخالصی‌هاست که در زمان استخراج با ماده معدنی مخلوط شده است و نه کاهش ترکیبات سلیکاتی که در ساختار بوکسیت جای دارد.

بحث و برداشت

۱- به طور کلی دو نوع بوکسیت در کانسار جاجرم وجود دارد، یکی بوکسیت نرم یا شیلی با لمس صابونی همراه با اثرهای لایه بندی که هماتیت و کائولین ترکیبات اصلی آن است و از مقدار کمی اکسید آلومینیوم برخوردار است. دیگری بوکسیت سخت دیاسپوری با لمس بسیار زبر که بخش اصلی کانسار را تشکیل می‌دهد.

۲- فرایندهای زمین‌شناسی و زمین‌ساختی در منطقه جاجرم با فشار و دمای نسبتاً بالایی همراه بوده است. این فرایندها، شرایط تشکیل بوکسیت دیاسپوریک را به جای بوهمیت و گیبسیت فراهم کرده است. در ذخایری که تحت تأثیر زمین‌ساختی شدید قرار گرفته باشند مانند جاجرم، درصد دیاسپور به مراتب زیادتر از دیگر کانیهای بوکسیتی است. از مشخصات بارز دیاسپور رخ آن است. دیاسپور نتیجه عمل دینامتامورفیسم یا زمین‌ساختی شدید است ولی کروندوم در نتیجه دگرگونی شدیدتر به وجود می‌آید. بوکسیت دیاسپوریک ایالت میسوری آمریکا را نتیجه فشار و گرما بر روی کائولینیت و ایلیت می‌داند [۳۴]. کارستها محیطهای بسیار مناسبی را برای تشکیل بوکسیت‌هایی با ذخیره بالا و آلومینای بین ۵۰ تا ۶۰ درصد را فراهم کرده است [۲۲]. فازهای اصلی در کانسار بوکسیت جاجرم عبارتند از: دیاسپور با بافت میکروگرانولار پلیتومورفیک، هماتیت، شاموزیت، کائولینیت و کانیهای تیتانیوم که با یک رشته از کانیهای ثانویه نیز همراهی می‌شوند.

۳- اندازه دانه‌های دیاسپور که کوچکتر از ۱۰ میکرون هستند و سختی سیمان ماتریکس زمینه که با سختی دانه‌های بلور ریز دانه یکی است و انواع فازهای کانی‌شناسی که سلیکاتها بیشتر از نوع کائولینیت فعال به صورت کومه‌های بسیار نازک و ضخامت کمتر از ۰/۱ میکرون هستند. نمونه‌های مورد مطالعه بسیار به هم فشرده و فضاها کاملاً پر شده است و حاشیه بلورها از هم قابل تفکیک نیستند، به طوری که انتخاب یک دانه بلور امکان پذیر نیست. فقط دانه‌های بسیار ریز هماتیت از فشردگی کمتری برخوردارند. لذا امکان کانه‌آرایی بوکسیت جاجرم با روشهای معمول شناخته شده امکان‌پذیر نیست [۲۲] در صورتی که در بعضی معادن بوکسیت مانند بوکسیت پیزولیتی وایپا، بلورهای گیبسیت کاملاً از ماتریکس قابل تفکیک بوده و نشان می‌دهد که مرکز پیزولیت، غنی از کوارتز ولی در حاشیه آن کائولینیتها و گیبسیت تجمع یافته‌اند [۳۵]. همچنین مطالعات انجام شده روی بوکسیت منوهیدرات چکسلواکی و مجارستان نشان

داد که برای کانیهایی که دانه‌های ریز بصورت ناخالصی و دانه‌های درشت و سخت‌تر از زمینه کانی آرائی به راحتی امکان پذیر است [۳۴].

۴- بررسیهای آزمایشگاهی آب رفتاری در آزمایشگاه مرکزی جاجرم نشان داد که تنها روش مؤثر برای کانه‌آرائی آب رفتاری است؛ نتیجه آن در جدول ۸ آورده شده است. بررسیهای آب رفتاری نشان دادند که می‌توان مقداری بر کیفیت بوکسیت افزود. این مطالعات نشان داد آنچه موجب افزایش کیفیت بوکسیت می‌شود خروج ناخالصی‌ها و بوکسیت‌های شیلی است که در زمان استخراج با ماده معدنی مخلوط شده‌اند نه خروج کانی‌های سیلیکاتی موجود در ساختار بوکسیت، در عین حال با توجه به هزینه بر بودن آن یعنی خردایش بوکسیت در دانه‌بندی پیش از شستشو و مصرف بالای آب در این روش، عملاً این روش توجیه اقتصادی ندارد.

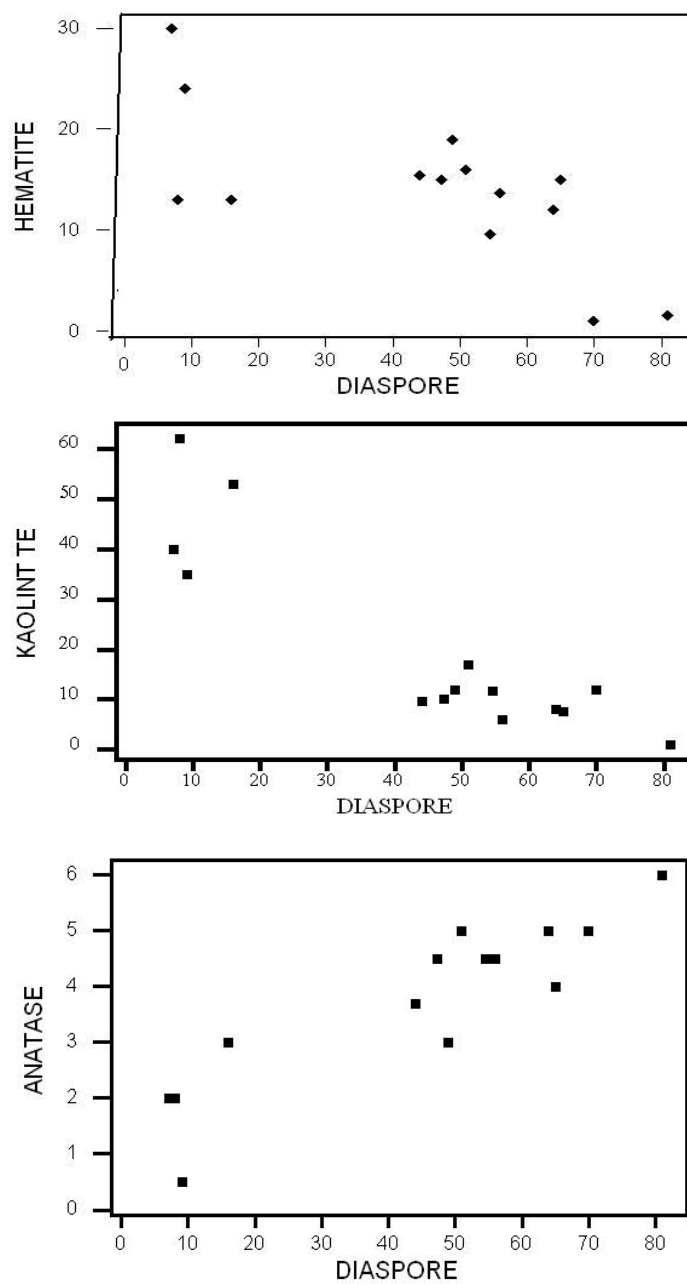
۵- دیاسپور همیشه یک رابطه تعریف شده با عناصر بی تحرک و یا متحرک اصلی تشکیل دهنده بوکسیت مخصوصاً آهن، تیتانیم و سیلیس را نشان می‌دهد. شکل ۷ این رابطه را نشان می‌دهد. در تمام نمودارها یک شکاف یا فاصله وجود دارد که به دلیل تغییرات در کیفیت بوکسیت است. این پدیده به عمق ماده معدنی نیز بستگی دارد بدین معنی که افزایش ضخامت ماده معدنی با افزایش دیاسپور و کاهش کائولین همراه است. تصاویر ۶ و ۵ این تغییرات را به خوبی نشان می‌دهد به طوری که در سطح و در نزدیکی سنگ بستر کائولن افزایش می‌یابد ولی در مرکز بر مقدار کانی دیاسپور افزوده می‌شود. مطالعه بعضی گمانه‌ها (شکل ۶) نشان می‌دهد که در سطح مقدار کانی کائولین اگر از مقدار دیاسپور بیشتر نباشد خیلی هم کمتر نیست ثانیاً کیفیت بوکسیت به طور کلی از عمق ۲ متری شروع به افزایش و این افزایش تا عمق حدود ۷ مترالی ۸ متر ادامه دارد و دوباره دو فاز بر یکدیگر منطبق می‌شوند و سپس بر مقدار کائولین به طرز چشمگیر افزوده می‌شود. از دیگر ویژگیهای این نمونه علاوه بر غالب بودن بافت الیتیک همراه بودن این بافت با بافتهای بسیار ریز و پیزولیتی است که در یک مکان قابل مشاهده هستند (شکل ۶). تشکیل بافتهای متفاوت در یک کانسار و مخصوصاً در یک مکان نشان دهنده نوسانات شرایط تشکیل بوکسیت است.

۶- هرچند ماده معدنی بین دو فاز غنی از کانی کائولین قرار دارد ولی ماهیت این دو با یکدیگر تفاوت دارد. بدین معنی که بخش بیشتری از کائولین سطح محصول هوازدگی سنگ پوشش است و یا به عبارتی این کائولین بعداً به سطح ماده معدنی اضافه شده است، در صورتی که کائولین در زیر ماده معدنی از خود ماده معدنی در اثر فرایند بوکسیت‌زایی از ماده اصلی تشکیل دهنده بوکسیت جدا شده و در حال خروج از سیستم است. اگر بوکسیت‌زایی ادامه داشته باشد و سنگ بستر از یک زهکشی خوب برخوردار باشد به مرور زمان از آن می‌تواند کاسته شود.

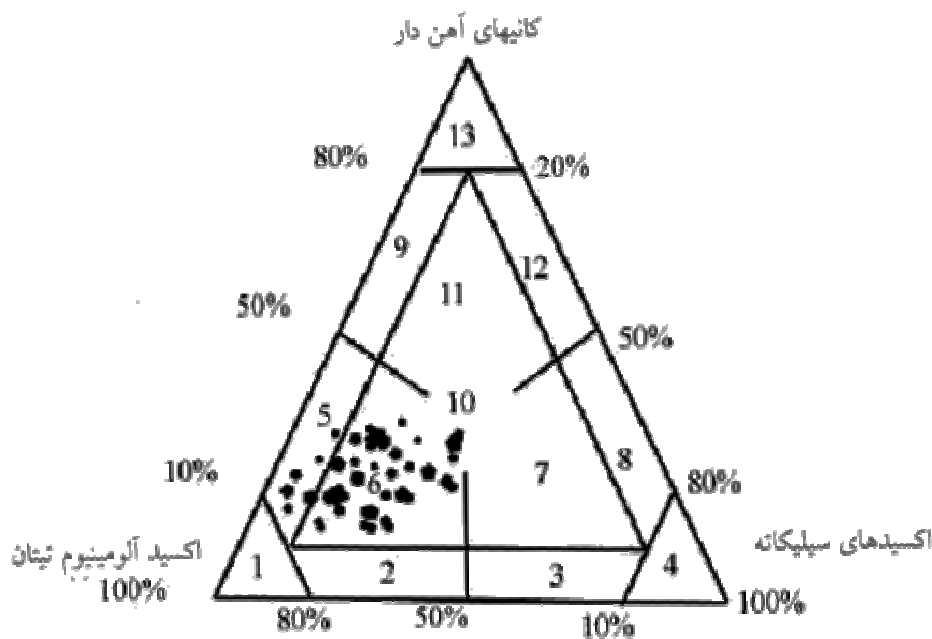
- ۷- مطالعه فازها و رسم آنها در نمودار مثلثی (شکل ۸) نشان می‌دهد که بوکسیت جاجرم از نوع بوکسیتیک و فری‌فروس یعنی یک بوکسیت با آهن و سیلیسیم بالاست.
- ۸- بافت بوکسیت جاجرم نشان دهنده یک فرآیند بسیار طولانی و آرام همراه با نوسانهای محلی است که این فرآیند از یک محیط اولیه احیا به یک محیط کم و بیش اکسیدی تبدیل شده است وجود اکسیدهای آهن سه ظرفیتی بجای آهن دوظرفیتی و عدم وجود کانی‌های پیریت و مارکاسیت مؤید این نظری است. بهترین محیط تشکیل دیاسپور، محیطی با pH بیشتر از ۷ و Eh بین صفر تا ۰٫۶ است [۲۰، ۲۷، ۳۶، ۳۷، ۳۸].
- ۹- مقایسه بوکسیت جاجرم با بوکسیت‌های نقاط دیگر دنیا مانند هند، گینه، استرالیا و غیره نشان می‌دهد که درصد SiO_2 فعال در بوکسیت جاجرم فوق العاده بالا و گاهی به بیش از ۳ برابر میانگین دیگر نقاط دنیاست. این امر علاوه بر افزایش مصرف سود سوز آور به همان نسبت موجب از دست دادن اکسید آلومینیوم نیز می‌شود ضمن اینکه این مقدار سیلیس بر سیستم‌های خردایش و نرمایش تاثیر منفی بسزائی خواهد داشت. مخصوصاً آفقهایی که تفکیک بوکسیت سخت و شیلی امکان پذیر نیست موجب اختلاط بوکسیت با کیفیت بالا و کم کیفیت می‌شود و در نهایت موجب افت شدید ماده معدنی استخراج شده خواهد شد. در صورتی که چنین مشکلاتی برای بوکسیت‌های جامائیکا، گینه و یا هندوستان و آمریکا وجود ندارد [۴۰، ۴۱، ۴۲].
- ۱۰- کانی دیاسپوری نسبت به کانیه‌های بوهمیت و گیبسیت سخت‌تر و مقاوم‌تر است لذا برای استحصال آلومینا نیاز به انرژی و سود بیشتری برای خردایش و انحلال خواهد داشت ولی کانیه‌های منوهیدرات دارای سختی کمتر و درجه انحلال پایین‌ترند [۴۳]
- ۱۱- تنها امتیاز بوکسیت دیاسپوریک بر بوکسیت‌های گیبسیتی و بوهمیتی بازدهی بهتر آن است. بر اساس بررسی‌های زمین‌ساختی با فراهم کردن شرایط مناسب فیزیکی شیمیایی بازدهی دیاسپور (۷۶ - ۷۸٪) نسبت بوهمیت و گیبسیت (۵۰٪ - ۴۰٪) است.

جدول ۸ نتایج آب رفتاری برای بوکسیت جاجرم.

	بوکسیت قبل از آب رفتاری		بوکسیت بعد از آب رفتاری			
	درصد اکسید	مدول	درصد اکسید	مدول	درصد افزایش	درصد وزن از دست‌رفته
Size>2	Al ₂ O ₃ ۳۱/۱۴	۱/۰۵	۴۰/۱۹ ۱۵/۶۹	۲/۵۶	۲۹/۰۶ ۴۷/۲۴	۳۱/۴
Size>3	Al ₂ O ₃ ۳۲/۶۶	۱/۲۳	۳۶/۰۷ ۲۱/۳۴	۱/۷۶	۱۰/۴۴ ۱۹/۴۳	۳۶/۷



شکل ۷ رابطه بین دیاسپور با کانیهای هماتیت - کائولین و آناتاز.



شکل ۸ طبقه بندی انواع بوکسیت بر مبنای نمودار مثلثی کانیهای آهن آلومینیوم و سیلیکاتی (باردوشی ۱۹۸۲) و جایگاه بوکسیت جاجرم در این طبقه بندی.

مراجع

- [۱] گروه اکتشافی جاجرم گزارش اکتشافی وزارت معادن و فلزات، "طرح تجهیز معدن و احداث کارخانه تولید آلومینا از بوکسیت"، (منتشر نشده ۱۳۷۰).
- [۲] گروه اکتشاف. گزارش اکتشافی. وزارت معادن و فلزات، "طرح تجهیز معدن و احداث کارخانه تولید آلومینا از بوکسیت"، (منتشر نشده ۱۳۷۴).
- [3] Balkay B., Samimi Namin M., "Preset state the search for bauxite in Iran", Geological Survey of Iran. (1994).
- [۴] خیری فلوریز، "بررسی تغییرات کانی شناسی در بوکسیت و نحوه تشکیل آن در زون B ماده معدنی بلوک گل بینی منطقه جاجرم"، رساله فوق لیسانس دانشکده علوم دانشگاه تهران، (۱۳۶۶).

[5] Alluterv-FKI Techno-Economic opportunity study with Bench-Scale testing of bauxite for the Islamic Republic of Iran. (1987).

[۶] ملایی حبیب، آریایی علی اصغر، عباسیان محمد، "ویژگیهای تاکدیس زو و ارتباط آن با ژئوشیمی و ژنز بوکسیت در ناحیه جاجرم (استان خراسان)", اولین سمپوزیوم زمین‌شناسی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۷۱).

[۷] بزرگ ابراهیمی ابراهیم، "انتخاب بهترین روش برای باز کردن معدن زیرزمینی در کانسار بوکسیتی جاجرم"، پایان نامه فوق لیسانس، دانشگاه تهران (۱۳۷۳).

[8] Mollai Habib., Torshizian, "*The importance of Jurassic sedimentation in the north and north east of Iran*", with special reference to the Shemshak and Mozduran Formation. 16th International Sediment logical congress, 8th - 12th July 2002 RAU University Johannesburg South Africa. (2002).

[9] Mollai Habib., "*The economic importance of Jurassic system in Iran*", with special reference of the Shemshak Formation. 6th International Symposium on Jurassic system 12-22 September 2002, Torino ,Italy. (2002)

[۱۰] ملایی حبیب، "مطالعه اکتشافی و تکنولوژیکی بوکسیت جاجرم جهت تولید آلومینا"، چهارمین سمپوزیوم معدن کاری ایران، (۱۳۷۳)، دانشگاه یزد.

[۱۱] بذرافشان علی اصغر، جلیلیان علی اکبر، قندهاریان ابولقاسم، "تهیه و تولید آلومینا از بوکسیت منطقه جاجرم"، فصلنامه تحقیق شماره ۷ (۱۳۷۱).

[۱۲] قصرانی جلال رجب، "اکتشافات مقدماتی بوکسیت جهان آباد (کال جعفر آباد)", پایان نامه فوق لیسانس دانشگاه صنعتی امیرکبیر (۱۳۷۴).

[13] Davoodi Gh., Heidar M.R., Janfada M., khabazade H., Dashtebozoeq A.R., "*Characterization of Alborz, Zagros and Central Iranian Plateau Bauxites for tub Digestion Processing*", Mining, Mining, Metallurgy Millennium. University of Vienna. Germany (2002)

[۱۴] جعفرزاده کیکانلو رضا، "بررسی کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز بوکسیت جاجرم"، پایان نامه فوق لیسانس دانشگاه شیراز (۱۳۷۹).

[۱۵] ناصری محمد، "کانی‌شناسی و ژئوشیمی بوکسیت جاجرم"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی (گرایش زمین‌شناسی اقتصادی)، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۲).

- [۱۶] آقائباتی سید علی، "زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، (۱۳۸۳) ص ۵۸۶.
- [۱۷] افتخار نژاد ج، "تفکیک بخشهای مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوزه های رسوبی"، نشریه انجمن نفت شماره ۸۲، (۱۳۵۹) ص ۱۹-۲۸.
- [۱۸] درویش زاده علی، "زمین شناسی ایران"، نشر دانش امروز (۱۳۷۰).
- [۱۹] نبوی م.ح، "دیاچهای بر زمین شناسی ایران"، (۱۳۵۵) ص ۱۰۹.
- [20] Bardoss G.Y., "Karstic Bauxites", Bauxite deposit in carbonate rocks. Pp 437 (1982).
- [۲۱] شهریار، محمد، "ذخایر بوکسیت کارستی (با بستر کربناته)"، جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران (۱۳۶۵).
- [22] Mollai Habib., "Geology, Mineralogy and Beneficiation of Jajrarm Bauxite, NW of Mashhad, Iran", International symposium, Recent Trend Beyond 2000AD, Nagpur, India 1994.
- [23] William Tedder D., "Bauxite residue fractionation with magnetic separation", Bauxite. Leonard Jacob, Jr. Editor. (1984)
- [24] Nandi A.K., "Processing low alumina bauxite", Mining Metallurgy Millennium. M3. University of Vienna. Germany. (2002)
- [25] S.Ostap Efect of bauxite Mineralogy and Processing characteristics. Bauxite proceeding of the 1984 Bauxite Symposium February 27-March1. Edited by Leonard Jacob, Jr. (1984)
- [26] Hill.V.G., Slavko Ostojic., "The characteristics and classification of bauxite", proceeding of the 1984 Bauxite Symposium February 27- March1. Edited by Leonard Jacob, Jr. (1984)
- [27] Bardoss G.Y., Aleva G.Y.Y., "Lateritic Bauxites", Akademia Bodapest 646p (1990).
- [28] Alluterv-FKI Techno-Economic teasibility study for alumina production from Alburz bauxite by the Bayer Tube digestion process Vol.1(1990).
- [29] Mutakyahwa M.K.D., Lkingura J.R., Murma A.H., "Geology and geochemistry of bauxite deposits in lushoto District", Usambara Mountains, Tanzania. J. of African Earth Sciences Valume 36pp357-369 (2003).

- [30] N.Ozlu Trace element content of Karst Bauxites and their parent Rocks in the Mediterranean Belt. journal of mineralium Deposita valiume 18 Springer Verlag (1983)
- [31] Benedetti Marc F., Aline Dia, Jean Riotte, Francois Chabaux, "*Martine Gerard et all Chemical Weathering of basaltic lava flows undergoing extreme climatic conditions: the water geochemistry record*", J. of .chemical Geology volume 20 1pages 1-17 (2003):
- [32] Noacky Mathieu D., Claparols C., Loubet M., Bernat M., N. Goncalves N: "*Weatherng of Basalts in North Parana Basin (Brazil) chemical Aspects*", Geochemistry of the Earth Surface and Mineral Formation 2nd International Symposium, July 2-8 1990, Alx en Province France. (1990)
- [33] Nyobe J.B., Nni J., On the geology and geochemistry of the Fongo Tongo Bauxite deposit-Bammhouto Mountains (Chameroon Line) Geochemistry of the Earth Surface and Mineral Formation 2nd International Symposium, July 2-8, Alx en Province France.s(1990)
- [34] Zsolt C. A., Miomir ceh D.I., "*Role of ore dressing in benefication of monohydrate bauxite*", Bauxite Symposium February 27- March1.Edited by Leonard Jacob, Jr.(1984)
- [35] Tilley-D., "*Models of bauxitic pisolith genesis : Data from Weipa Queensland*", Centre for Australian Reglith studies. (1998)
- [36] Brian Miason., "*Principles of geochemistry*", Third edition. John Willy and Sons. (1966).
- [37] Brian Miason., "*Principles of geochemistry*", Third edition. John Willy and Sons. (1982)
- [38] Valeton Bauxites Development in soil science. Vol 1. Elesevier,Amsterdam pp226 (1972)
- [39] Lancashiere Robert J., "*the chemistry and processing of Jamaican Bauxite*", The Department of Chemistry ,University of the West Indies.Mana Camus,Kingston7 Jamaica.(2003)
- [40] Indian Bureau of Mine. Bauxite Monograph. Government of India . Nagpur .India .(1992)
- [41] Otis M., Clarke Jr., "*Bauxite deposit of the United State*", proceeding of the (1984)

[42] Harben Peter W., Dickson Edward M., *"World distribution of Metal Grade Bauxite"*, Bauxite proceeding of the Bauxite Symposium February 27- March1. Edited by Leonard Jacob, Jr(1984)

[43] Csillag Z. A., Gsordas-Toth M. ch., vankovic D. I., *"Technological Evaluation of Monohydrate Bauxite"*, Bauxite proceeding of the 1984 Bauxite Symposium February 27- March1. Edited by Leonard Jacob, Jr. (1984)