AN INVESTIGATION ON THE USE OF IRANIAN TABAS REFRACTORY BAUXITE FOR MAKING OF BAUXITE REFRACTORY BRICKS AND CASTABLES

R. MARZBAN[1] , S. OTROJ[2] AND M.H Abtahi .Naieni [3]

Extended Abstract

In this research, the properties and characterization of calcined Iranian bauxite extracted from Tabas mines was evaluated. For this reason, the chemical and phase composition, physical and thermo-mechanical properties of this bauxite were studied after calcination at 1350 °C. Then, the properties of bauxite refractory brick and bauxite refractory castable containing this calcined bauxite were investigated. The physical and thermo-mechanical properties of these refractories were evaluated and were compared with refractory containing China's bauxite. The results showed that the mean amount of aluminum oxide in chemical composition of this bauxite is 60 % wt. after calcination. Besides, Iranian bauxite extracted from Tabas mines has proper amounts of alumina and other oxides that lead to formation of suitable amounts of mullite and corundum phases after calcination at 1350 °C. The calcination at higher temperatures can increase the amount of mullite phase. Besides, the bauxite refractory brick and bauxite refractory castable containing this calcined bauxite were showed the suitable properties for refractory industries and the properties of these refractories comparable to the China's one. Based on the findings of this study and also by considering the relative quality and proper storage of the mine, this type of bauxite can be used for making of high alumina refractory bauxite production containing 60-50% alumina which, has suitable properties for application.

Keywords: Bauxite; Phase composition; Physical properties; Refractory brick; Refractory castable.

.

[1]-Niru Refractory Co.
[2]- Shahrekord University
[3]- Aghigh Mining Co.

بررسی استفاده از بوکسیت معدن چاهکلار منطقه طبس ایران در ساخت آجر و دیرگداز ریختنی بوکسیتی

رضا مرزبان[1]، ساسان اطرج[2]، محمد حسن ابطحی نایینی [3]

چکیده بلند

در این تحقیق ابتدا خواص و ویژگی های نوعی بوکسیت ایرانی مربوط به معدن چاهکلار طبس پس از کلسیناسیون مورد بررسی قرار گرفت. در این ارتباط ترکیب شیمیایی و فازی و خواص فیزیکی و ترمومکانیکی بوکسیت مورد نظر پس از کلسیناسیون در دمای $^{\circ}C$ ۱۳۵۰ مورد بررسی قرار گرفت. سپس خواص آجر و دیرگداز ریختنی ساخته شده با استفاده از این بوکسیت بصورت کلسینه شده مورد ارزیابی قرار گرفت. در این ارتباط خواص فیزیکی و ترمومکانیکی آجر و دیرگداز ریختنی ساخته شده با این بوکسیت ایرانی مورد بررسی قرار گرفت و با انواع دیرگداز ساخته شده با بوکسیت چینی مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار متوسط اکسید آلومینیوم در ترکیب شیمیایی این بوکسیت پس از کلسیناسیون ۶۰ درصد وزنی می باشد. همچنین بوکسیت مربوط به معدن چاهکلار طبس علاوه بر مقدار مناسب آلومینا حاوی اکسیدهای مناسب دیگر بوده که منجر به تشکیل مقدار فازهای مناسب همانند مولایت و کوراندوم پس از کلسیناسیون در $^{\circ}C$ ۱۳۵۰ می گردد. همچنین در صورتی که این بوکسیت در دماهای بالاتر کلسینه شود، خواص مطلوب تری به لحاظ میزان فاز مولایت ایجاد خواهد کرد از طرف دیگر نتایج این تحقیق نشان داد که آجر و دیرگداز ریختنی ساخته شده با این بوکسیت ایرانی مورد نظر از خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب جهت کاربرد در صنایع دیرگداز است و قابل مقایسه با دیرگدازهای ساخته شده با بوکسیت چینی می باشد. با توجه به دست آوردهای این تحقیق و نیز با درنظر گرفتن مرغوبیت نسبی و ذخیره مناسب این معدن، استفاده از این نوع بوکسیت می تواند برای تولید دیرگدازهای آلومینا بالای حاوی ۶۰-۵۰ ٪ آلومینا و دارای خواص مناسب برای کاربرد مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بوکسیت، ترکیب فازی، خواص فیزیکی، آجر دیرگداز، دیرگداز ریختنی.

---

[1]. مدیر کنترل کیفیت و تحقیقات کاربردی – گروه صنایع فرآورده های نسوز نیرو (قدر)
[2]. استادیار دانشکده فنی دانشگاه شهرکرد
[3]. مدیر بازرگانی شرکت صنعتی معدنی سوراوجین عقیق

بررسی استفاده از بوکسیت معدن چاهکلار منطقه طبس ایران در ساخت آجر و دیرگداز ریختنی بوکسیتی

رضا مرزبان[1]، ساسان اطرج[2]، محمد حسن ابطحی نایینی[3]

چکیده

در این تحقیق ابتدا خواص و ویژگی های نوعی بوکسیت ایرانی مربوط به معدن چاهکلار طبس پس از کلسیناسیون مورد بررسی قرار گرفت. در این ارتباط ترکیب شیمیایی و فازی و خواص فیزیکی و ترمومکانیکی بوکسیت مورد نظر پس از کلسیناسیون در دمای $^{\circ}C$ ۱۳۵۰ مورد بررسی قرار گرفت. سپس خواص آجر و دیرگداز ریختنی ساخته شده با استفاده از این بوکسیت بصورت کلسینه شده مورد ارزیابی قرار گرفت. در این ارتباط خواص فیزیکی و ترمومکانیکی آجر و دیرگداز ریختنی ساخته شده با این بوکسیت ایرانی مورد بررسی قرار گرفت و با انواع دیرگداز ساخته شده با بوکسیت چینی مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بوکسیت مربوط به معدن چاهکلار طبس حاوی مقادیر مناسب آلومینا و اکسیدهای دیگر بوده که منجر به تشکیل مقدار فازهای مناسب همانند مولایت و کوراندوم پس از کلسیناسیون می گردد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که آجر و دیرگداز ریختنی ساخته شده با این بوکسیت ایرانی مورد نظر از خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب جهت کاربرد برخوردار است و قابل مقایسه با دیرگدازهای ساخته شده با بوکسیت چینی می باشد.

واژه‌های کلیدی: بوکسیت، ترکیب فازی، خواص فیزیکی، آجر دیرگداز، دیرگداز ریختنی

۱- مقدمه

بوکسیت ماده ای طبیعی و هتروژن شامل مینرال های اکسید آلومینیوم از قبیل گیبسیت، دیاسپور و بوهمیت و ناخالصی هایی همانند سیلیس، اکسید آهن، اکسید تیتانیم، کربنات ها و بعضی مواد دیگر است. در بعضی مواقع فرمول شیمیایی بوکسیت به گیبسیت نزدیک تر است. چون بوکسیت از مجموع چند مینرال تشکیل شده است باید به آن سنگ گفته شود. اسم این مینرال از اسم روستایی در جنوب فرانسه به نام له بو (به فرانسوی Les Baux) اقتباس شده است که اولین بار بشر در آنجا متوجه

وجود آلومینیم در این سنگ معدن شد. این نامگذاری توسط پیر برتیه زمین‌شناس فرانسوی انجام شد. سختی بوکسیت در مقیاس موس ۳-۱ و وزن مخصوص آن g/cm^3 ۲/۵۵-۲ است. رنگ آن نیز سفید، خاکستری، زرد و گاهی قرمز است [۳-۱]. بطورکلی شرایط تشکیل بوکسیت حرارت کم و رطوبت زیاد است که از هوازدگی سنگ های آلومینیوم دار همانند بازالت، نفلین سیانیت و یا سنگ های آهکی حاوی رس ها حاصل می گردد و معمولا پس از برداشت رگه های مرغوب معادن و انجام تغلیظ در صنعت استفاده می شود [۱]. بطورکلی به لحاظ ترکیب شیمیایی نیز بوکسیت به مخلوطی از مینرال ها با مقدار Al_2O_3 بیش از ٤٠ درصد وزنی، Fe_2O_3 کمتر از ۳۰ درصد وزنی و نسبت Al_2O_3/SiO_2 بزرگتر از یک گفته می شود. بوکسیت سنگ معدن فلز آلومینیوم بوده که عمده‌ترین منبع برای تهیه آلومینیم می باشد [٥-۳]. اما علاوه بر استفاده از بوکسیت در زمینه استخراج فلز آلومینیوم، بوکسیت در زمینه های دیرگدازها، ساینده ها، صنایع شیمیایی، متالورژیکی و سیمان ها نیز کاربرد دارد. بطورکلی بوکسیت مصرفی در صنایع دیرگداز بصورت کلسینه شده مصرف می شود [٦]. به دلیل اینکه حضور اکسید آلومینیوم باعث افزایش نقطه ذوب می شود بنابراین پایداری حرارتی بوکسیت های دیرگداز بستگی زیادی به میزان اکسید آلومینیوم در ترکیب شیمیایی شان دارد. همچنین نوع و میزان ناخالصی ها نیز بر پایداری حرارتی و ویژگی های دیگر بوکسیت تاثیر زیادی دارد. دو اکسید مهم در ترکیب شیمیایی بوکسیت ها Fe_2O_3 و TiO_2 می باشد بطوریکه مقدار Fe_2O_3 در بوکسیت های دیرگداز باید کمتر از ۲/٥ درصد وزنی و مقدار TiO_2 کمتر از ٤ درصد وزنی باشد. بطورکلی بوکسیت مصرفی در صنایع دیرگداز بصورت کلسینه شده مصرف می شود [۸-٥]. که برای این منظور کلسیناسیون در کوره های عمودی و یا دوار در محدوده دمای ١٦٥٠ تا $^{\circ}C$ ١٧٥٠ صورت می گیرد. در هنگام کلسیناسیون و در دماهای کمتر از$^{\circ}C$ ٥٠٠ هیدروکسیدهای آلومینیوم و مینرال های آبدار موجود در سنگ بوکسیت تجزیه شده و به اکسید آلومینیوم و متاکائولن تبدیل می شوند. اکسید آلومینیوم با ادامه کلسیناسیون در دمای بالای$^{\circ}C$ ١٢٠٠ به آلفا-آلومینا تبدیل می شود. متاکائولن نیز به مولایت اولیه و سیلیس آزاد تجزیه می شود. در دماهای بالاتر از $^{\circ}C$ ١٤٠٠ سیلیس آزاد در ترکیب با آلومینای تشکیل شده واکنش کرده و باعث تشکیل مولایت ثانویه می شود. همچنین حضور ناخالصی ها باعث تشکیل مقداری فاز مذاب و همچنین تیالیت می شود که منجر به انقباض ناشی از پخت و رشد کریستال های کوراندوم ترکیب می گردد. در نهایت ریزساختار نهایی بوکسیت کلسینه شده شامل کریستال های کوراندوم و مولایت، فاز آمورف (شیشه) و تیالیت خواهد بود. بطورکلی افزایش میزان فاز مولایت باعث افزایش مقاومت به شوک حرارتی و میزان دیرگدازی و بهبود خواص ترمومکانیکی می شود و برعکس فاز آمورف تاثیر منفی بر مقاومت به شوک حرارتی میزان دیرگدازی و خواص ترمومکانیکی خواهد داشت. مشخص شده است اگر نسبت Al_2O_3/SiO_2 بیش از ۲/٥ و یا مقدار Al_2O_3 بیشتر از ٦٥ درصد وزنی باشد فاز کوراندوم فاز غالب خواهد بود که توسط فاز زمینه ای حاوی مولایت، تیالیت، ترکیبات آهن و فاز آمورف اتصال خواهند داشت[١٢-۸]. کیفیت بوکسیت کلسینه شده برای مصرف بصورت سنگدانه دیرگداز از اندازه گیری خواص فیزیکی همانند چگالی بالک و درصد تخلخل و همچنین ترکیب شیمیایی، مینرالی و ریزساختاری شامل نوع درصد و نحوه توزیع فازهای مختلف معین می گردد. بوکسیت در مناطق مختلفی از دنیا یافت می‌شود اما مقدار آن در شانزده کشور زیر قابل توجه تر است: چین،

روسیه، جامائیکا، برزیل، استرالیا، آمریکا، گینه، ویتنام، هند، غنا، یونان، سورینام، سریلانکا، قزاقستان، ونزوئلا و ایران [۱۳-۱۰]. بطورکلی در ایران نیز معادن بوکسیت بسیاری کشف شده است که می توان به معادن بوکسیت شناخته شده ای همانند دوپلان، بوکان، جاجرم، دهدشت، سمنان و غیره اشاره کرد. با این حال تلاش برای کشف و شناسایی معادن جدید بوکسیت با کیفیت بالاتر ادامه دارد [۱۵-۱۳]. در این ارتباط یکی از معادن بوکسیت کشف شده واقع در معدن چاهکلار منطقه طبس است که کارهای تحقیقاتی در زمینه شناسایی ویژگی ها و استفاده از این بوکسیت در ساخت دیرگدازهای بوکسیتی در حال انجام است. در این تحقیق به شناسایی خواص و ویژگی های بوکسیت معدن چاهکلار طبس پرداخته شده و کاربرد آن در ساخت آجر دیرگداز بوکسیتی و همچنین دیرگداز ریختنی بوکسیتی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- انجام کلسیناسیون و ارزیابی ویژگی های بوکسیت معدن چاهکلار

بوکسیت مورد بررسی مربوط به معدن چاهکلار طبس می باشد که توسط شرکت معدنی صنعتی سوراوجین عقیق به بازار عرضه می شود. با رعایت نمونه برداری مناسب، مقدار بوکسیت کافی از معدن چاهکلار طبس برداشت و انتخاب شد و سپس مورد بررسی های بیشتر قرار گرفت. بدین منظور ابتدا بر روی نمونه های تهیه شده آنالیز شیمیایی صورت گرفت. سپس بوکسیت مورد نظر پس از خردایش در کوره دوار شرکت نسوز قدر (نیرو) کلسینه شد. با توجه به محدودیت دمای این کوره، عملیات کلسیناسیون در دمای °C ۱۳۲۰ انجام شد. به منظور مقایسه شرایط کلسیناسیون در کوره دوار با کوره الکتریکی، بخشی از بوکسیت خام نیز در کوره الکتریکی در دماهای ۱۳۰۰ ۱۳۲۰ و °C ۱۳۵۰ به مدت ۵ ساعت کلسینه شد. در نهایت ویژگی بوکسیت های کلسینه شده در کوره های دوار و الکتریکی و دماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در این ارتباط خواص فیزیکی همانند: چگالی بالک، چگالی ظاهری، درصد تخلخل باز و میزان جذب آب مطابق استاندارد اندازه گیری شد. همچنین میزان دیرگدازی بوکسیت کلسینه شده نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. از طرف دیگر فازهای تشکیل شده در بوکسیت کلسینه شده شناسایی شد و مقدار آنها نیز از طریق آنالیز نیمه کمی مشخص گردید. شناسایی نوع فازهای تشکیل شده توسط روش آنالیز فازی(X-Ray Diffractometer, Bruker, D8ADVANCE, Germany) صورت گرفت و از نرم افزار این دستگاه (X'Pert Highscore Plus) برای آنالیز نیمه کمی و تعیین درصد فازهای تشکیل شده استفاده شد.

۲-۲- ساخت آجر دیرگداز با استفاده از بوکسیت کلسینه شده معدن چاهکلار

با توجه به بررسی منابع مختلف فرمولاسیون مناسب جهت ساخت آجر دیرگداز انتخاب شد. بدین منظور برای ساخت آجر دیرگداز بوکسیتی از نسبت ۱۵ درصد وزنی بالکلی طبس و ۸۵ درصد وزنی

بوکسیت کلسینه شده مورد نظر بصورت دانه بندی شده استفاده شد. ترکیب مورد نظر توسط پرس صنعتی با فشار ٦٣٠ تن بصورت آجر شکل داده شد و پس از خشک شدن در کوره تونلی صنعتی با دمای ۱۳٦۰ °C به مدت ۱۰ ساعت پخت داده شد. جهت بررسی خواص آجر بوکسیتی ساخته شده خواص آن با آجر بوکسیتی ساخته شده با بوکسیت چینی مقایسه شد. در ساخت آجر بوکسیتی از ۱۸ درصد وزنی بوکسیت چینی و ٦۰ درصد وزنی شاموت سمیرم و ۲۲ درصد وزنی بالکلی طبس استفاده شد. پس از پخت خواص آجرهای ساخته شده مورد بررسی قرار گرفت و با یکدیگر مقایسه شد. خواص مورد بررسی شامل خواص فیزیکی همانند: چگالی بالک و درصد تخلخل همچنین خواص مکانیکی و حرارتی شامل: استحکام فشاری سرد، دیرگدازی تحت بار، تغییرات طولی پایدار و مقاومت به شوک حرارتی آنها اندازه گیری و با هم مقایسه گردید.

۲-۳- ساخت دیرگداز ریختنی با استفاده از بوکسیت کلسینه شده معدن چاهکلار

با توجه به بررسی منابع مختلف فرمولاسیون مناسب جهت ساخت دیرگداز ریختنی با مقدار سیمان متوسط انتخاب شد. بدین منظور برای ساخت دیرگداز ریختنی بوکسیتی از نسبت ۲۵ درصد وزنی سیمان سکار ۸۰ (لافارژ فرانسه) و ۷٤ درصد وزنی بوکسیت کلسینه شده مورد نظر بصورت دانه بندی شده و همچنین یک درصد وزنی میکروسیلیس (ازنا) استفاده شد. همچنین دانه بندی دیرگداز ریختنی مطابق فرمول آندریازن با عدد آندریازن برابر با ۰/۲۷ انجام شد. دیرگداز ریختنی با مقدار آب مناسب (۵/۵ درصد وزنی) با انجام لرزش و ویبراسیون درون قالب های استاندارد ریخته و سطح آن با فویل پوشانده شد. پس از گذشت ۲٤ ساعت قالب ها باز و نمونه ها به مدت ۲٤ ساعت در خشک کن (۱۱۰°C) نگهداری و خشک شد. به منظور بررسی خواص نمونه ها در دماهای بالا، تعدادی از آنها در دمای °C ۱۳۵۰ در کوره الکتریکی پخته و خواص آنها اندازه گیری شد. پس از پخت خواص فیزیکی همانند: چگالی بالک و درصد تخلخل همچنین خواص مکانیکی و حرارتی شامل: استحکام فشاری سرد، دیرگدازی تحت بار، تغییرات طولی پایدار و مقاومت به شوک حرارتی آنها اندازه گیری گردید.

۲-٤- روش های ارزیابی خواص آجر و دیرگداز ریختنی بوکسیتی

جهت تعیین چگالی و درصد تخلخل از روش غوطه وری مطابق با روش استاندارد (ASTM-C373-88) استفاده شد. همچنین استحکام خمشی نمونه ها نیز از طریق روش بارگذاری سه نقطه ای و مطابق با روش استاندارد (ASTM-C1161-02) اندازه گیری شد. اندازه گیری مقاومت در برابر شوک حرارتی مطابق با استاندارد ASTM C1525-04 انجام شد. در این ارتباط نمونه های مکعب مستطیل ساخته شده در داخل کوره الکتریکی با دمای °C ۱۲۵۰ به مدت ۱۵ دقیقه نگهداری شدند و بعد از کوره خارج و در داخل آب با دمای °C ۲۰ قرار داده شدند. تعداد دفعات شوک حرارتی قابل تحمل قبل از اولین ترک در سطح نمونه بعنوان معیاری از شوک حرارتی در نظر گرفته شد. دیرگدازی تحت بار (R.U.L) دیرگداز ساخته شده نیز با استفاده از دستگاه Netzsch مدل CIC-421 و تحت اعمال بار ثابت N/mm^2 ۰/۲ ارزیابی شد. در این ارتباط از نمونه های ساخته شده بصورت استوانه ای با قطر و ارتفاع cm ۵ استفاده

شد. بدین منظور دمایی که در آن کاهش ارتفاع نمونه ها به میزان ٪ ۰/۵ اتفاق افتاده بود بعنوان دمای تحمل دیرگداز ($T_{0.5}$) در نظر گرفته شد. بررسی های ریزساختاری با استفاده از میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Stereo Scan 360-Leica Cambridge بر روی سطح شکست نمونه ها انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی ویژگی های بوکسیت کلسینه شده

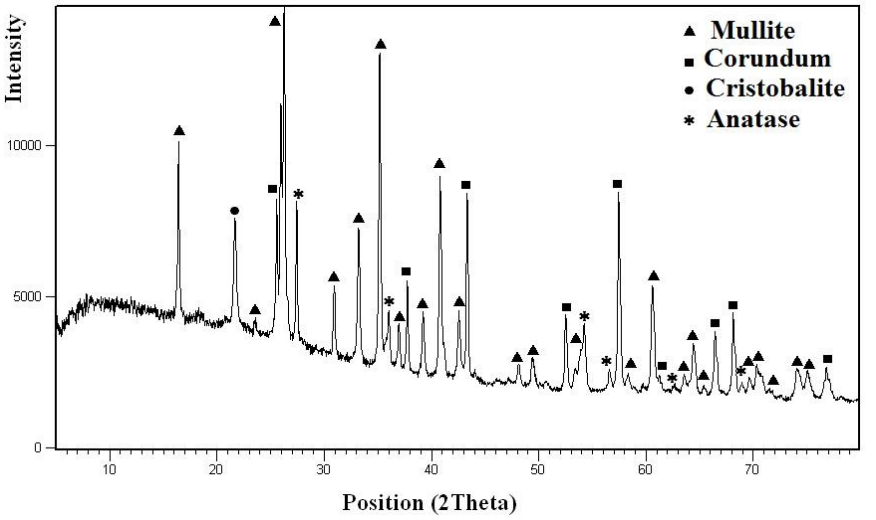
در جدول ۱ نتایج مربوط به ترکیب شیمیایی بوکسیت خام و کلسینه شده معدن چاهکلار طبس ارائه و با ترکیب شیمیایی بوکسیت چینی مقایسه شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی بوکسیت خام و کلسینه شده مربوط به معدن چاهکلار طبس

نوع نمونه	اکسید (درصد وزنی)						
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	K_2O+Na_2O	CaO+MgO	L.0.I
بوکسیت خام طبس	٥٤/٦	۳۰	۱/۷	۳/٦	<۱	<۱	۱۲/٦
بوکسیت کلسینه شده طبس	٦۲/٥	۳٤	۲/۱	٥/۲	<۱	<۱	–
بوکسیت چینی	۸۲/۹	۹/۰٦	۲/٤۱	٤/٥۲	<۱	<۱	–

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ مشخص می شود که مقدار Al_2O_3 در ترکیب شیمیایی این بوکسیت نسبتا بالا می باشد که کاربرد آن را برای ساخت دیرگدازها مطلوب می سازد. اما همانطوریکه اشاره شد دو اکسید مهم در ترکیب شیمیایی بوکسیت ها Fe_2O_3 و TiO_2 می باشد بطوریکه مقدار Fe_2O_3 در بوکسیت های دیرگداز باید کمتر از ۲/٥ ٪ و مقدار TiO_2 کمتر از ٤ ٪ وزنی باشد. نتایج جدول ۱ نشان می دهد که مقادیر اکسیدهای Fe_2O_3 و TiO_2 در ترکیب شیمیایی بوکسیت مورد نظر در حد مناسب می باشد و می تواند دیرگدازی مناسبی را نیز برای این بوکسیت فراهم کند. همچنین اشاره شده است که اگر نسبت Al_2O_3/SiO_2 بیش از ۲/٥ و یا مقدار Al_2O_3 بیشتر از ٦٥ درصد وزنی باشد فاز کوراندوم فاز غالب خواهد بود. بنابراین با توجه به نسبت Al_2O_3/SiO_2در ترکیب شیمیایی این نوع بوکسیت انتظار می رود که مقدار مناسبی از فاز کوراندوم در ترکیب بوکسیت کلسینه شده حضور داشته باشد. با توجه به مقدار Al_2O_3 در ترکیب شیمیایی می توان این نوع بوکسیت را برای ساخت

دیرگدازهای آلومینایی با مقدار ۶۰ درصد وزنی استفاده نمود. یکی از تفاوت های بوکسیت چینی در مقایسه با بوکسیت مورد بررسی مقدار آلومینای بیشتر و مقدار سیلیس کمتر در ترکیب شیمیایی آن می باشد که باعث افزایش دیرگدازی آن می شود. در شکل ۱ نتایج مربوط به آنالیز فازی بوکسیت کلسینه شده ارائه شده است.



شکل ۱ - آنالیز فازی بوکسیت کلسینه شده معدن چاهکلار طبس

نتایج شکل ۱ نشان می دهد که در ترکیب فازی بوکسیت کلسینه شده فازهای کریستالی کوراندوم مولایت کریستوبالیت و تیتانیا قابل شناسایی هستند. همچنین با توجه به وجود حالت قله ای شکل در خط پایه نتایج آنالیز فازی حضور فاز آمورف را نیز در ترکیب این نوع بوکسیت در دمای کلسینه شده می توان محتمل دانست. وجود این فاز آمورف نشاندهنده وجود ناخالصی ها در ترکیب شیمیایی این نوع بوکسیت می باشد. ناخالصی های موجود می توانند باعث ذوب شدن بخشی از سیلیس ترکیب و در نتیجه آمورف شدن آن بهنگام سرد شدن شوند. در صورتی که این بوکسیت در دماهای بالاتر کلسینه شود، خواص مطلوب تری به لحاظ میزان فاز مولایت ایجاد خواهد کرد. زیرا فاز سیلیس آمورف می تواند با آلومینای موجود در ترکیب واکنش داده و مقدار فاز مولایت بیشتری را ایجاد کند. به کمک نرم افزار درصد فازهای کریستالی موجود در ترکیب بوکسیت کلسینه شده تعیین شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲ - درصد فازهای شناسایی شده در ترکیب فازی بوکسیت کلسینه شده مصرفی

فاز کریستالی	مقدار (درصد وزنی)
مولایت	٦١
کوراندوم	٣١
آناتاز	٦
کریستوبالیت	٢

در جدول ۳ خواص فیزیکی بوکسیت کلسینه شده در دماهای مختلف ارائه شده است.

جدول ۳ - خواص فیزیکی بوکسیت کلسینه شده در دماهای مختلف

دمای کلسیناسیون (°C)	دانسیته ظاهری (g/cm^3)	دانسیه بالک (g/cm^3)	تخلخل ظاهری (%)	جذب آب (%)
۱۳۰۰	۲/۸٥	۲/٦۸	۱۱	٤/۱
۱۳۲۰	۲/۹۹	۲/۸۱	٥/۹۱	۲/۱
۱۳٥۰	۲/۹٤	۲/۷۷	٥/٥	۲
کوره دوار (حدود ۱۳۲۰ °C)	۲/۹۷	۲/۷٥	۷/٤٥	۲/۷

همچنین دیرگدازی بوکسیت کلسینه شده ارزیابی شد که عدد ۱۷٤۰ °C < بدست آمد. نتایج جدول ۳ نشان می دهد که افزایش میزان دمای کلسیناسیون باعث افزایش و بهبود خواص فیزیکی این نوع بوکسیت می شود. با توجه به محدودیت دمای کوره دوار مورد استفاده انجام کلسیناسیون در دماهای بالاتر امکان پذیر نبود. اما انتظار می رود که انجام کلسیناسیون در دماهای بالاتر باعث افزایش بیشتر چگالی و کاهش میزان تخلخل بوکسیت پس از کلسیناسیون خواهد شد. با توجه به نتایج حاصل می توان از این بوکسیت در ساخت دیرگدازهای آلومینایی با مقدار اکسید آلومینیوم ٦۰-٥۰ درصد وزنی استفاده شود.

۲-۳- ارزیابی خواص آجر دیرگداز ساخته شده با بوکسیت کلسینه شده

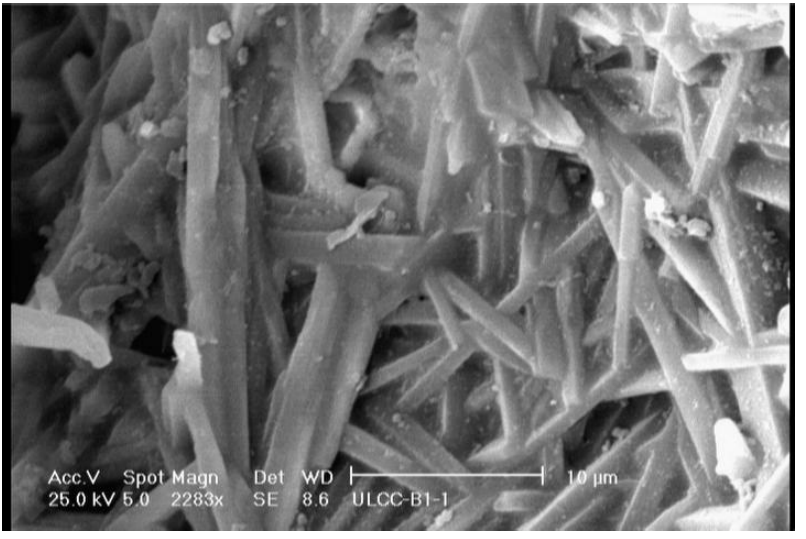
در جدول ٤ نتایج مربوط به خواص آجر دیرگداز بوکسیتی ساخته شده با استفاده از بوکسیت کلسینه شده طبس ارائه شده است.

جدول ٤ - خواص آجرهای دیرگداز بوکسیتی ساخته شده با بوکسیت طبس و بوکسیت چینی

خواص	نوع آجر	
	آجر ساخته شده با بوکسیت طبس	آجر ساخته شده با بوکسیت چینی
چگالی حجمی(g/cm^3)	۲/۳۳	۲/۳۳
تخلخل باز(%)	۱۸	۱۸
استحکام فشاری سرد (Kg/cm^2)	٦۰۰	٦۰۰
دیرگدازی تحت بار ($T_{0.5}$)	۱۳٥٥	۱۳٥٥
شوک حرارتی (تعداد شوک قابل تحمل)	۲۹	۲۹
تغییرات طولی پایدار (%)	-۰/۱۰	-۰/۱۰

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ٤ مشاهده می شود که آجر دیرگداز ساخته شده با بوکسیت معدن چاهکلار طبس از شرایط و خواص لازم جهت استفاده بعنوان آجر دارای ٥۰ تا ٦۰ درصد وزنی آلومینا

در صنایع حرارتی مختلف برخوردار است و خواص نزدیکی با آجر ساخته شده با بوکسیت چینی از خود نشان می دهد.. ریزساختار آجر دیرگداز ساخته شده با استفاده از بوکسیت کلسینه شده معدن چاهکلار طبس در شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل ۲ کریستال های سوزنی شکل مولایت در ریزساختار آجر دیرگداز دیده می شود که بخوبی رشد یافته اند و حضور آنها می تواند باعث افزایش استحکام مکانیکی و بهبود خواص ترمومکانیکی این نوع آجر دیرگداز شود.



شکل ۲ – ریزساختار آجر دیرگداز ساخته شده با استفاده از بوکسیت کلسینه شده معدن چاهکلار طبس

۳-۳- ارزیابی خواص دیرگداز ریختنی ساخته شده با بوکسیت کلسینه شده

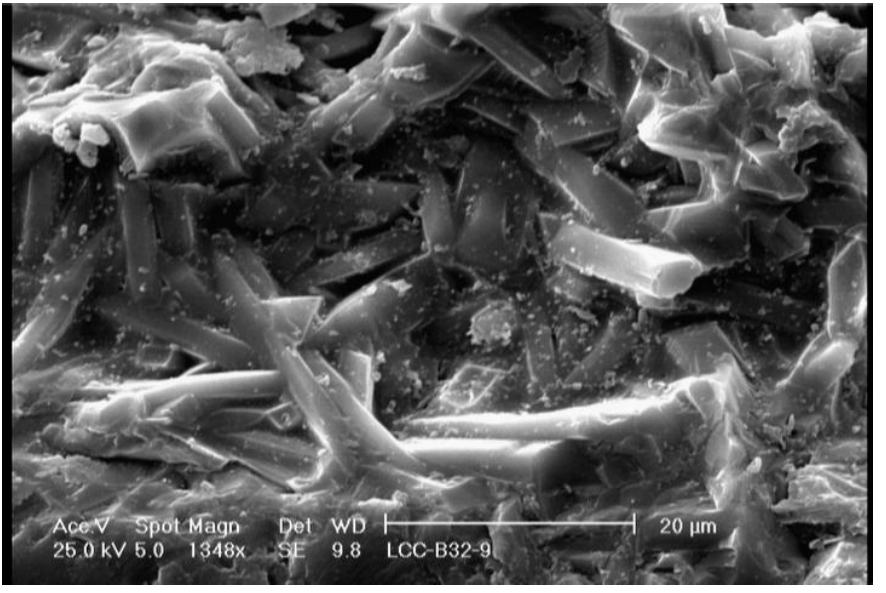
در جدول ۵ نتایج مربوط به خواص دیرگداز ریختنی بوکسیتی ساخته شده با استفاده از بوکسیت کلسینه شده طبس ارائه شده است.

جدول ۵ - خواص دیرگداز ریختنی بوکسیتی ساخته شده با بوکسیت طبس و بوکسیت چینی

خواص	نوع دیرگداز ریختنی	
	دیرگداز ریختنی ساخته شده با بوکسیت طبس	دیرگداز ریختنی ساخته شده با بوکسیت چینی

چگالی حجمی(g/cm^3)	۲/۳۰	۲/۳۰
تخلخل باز(%)	۲۱	۲۱
استحکام فشاری سرد (Kg/cm^2)	۵۵۰	۵۵۰
دیرگدازی تحت بار ($T_{0.5}$)	۱۳۳۵	۱۳۳۵
شوک حرارتی (تعداد شوک قابل تحمل)	۲۵	۲۵
تغییرات طولی پایدار (%)	-۰/۱۲	-۰/۱۲

نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان می دهد که دیرگداز ریختنی ساخته شده با استفاده از بوکسیت معدن چاهکلار طبس از خواص مناسب جهت استفاده بعنوان یک دیرگداز حاوی ۵۰ تا ۶۰ درصد وزنی آلومینا برخوردار است و خواص مشابه ای در مقایسه با دیرگداز ریختنی ساخته شده با بوکسیت چینی از خود نشان می دهد. ریزساختار دیرگداز ریختنی ساخته شده با استفاده از بوکسیت کلسینه شده معدن چاهکلار طبس در شکل ۳ نشان داده شده است. کریستال های سوزنی شکل مولایت در ریزساختار آجر دیرگداز دیده می شود که بخوبی رشد یافته اند و حضور آنها می تواند باعث افزایش استحکام مکانیکی و بهبود خواص ترمومکانیکی این نوع آجر دیرگداز شود.



شکل ۳ – ریزساختاردیرگداز ریختنی ساخته شده با استفاده از بوکسیت کلسینه شده معدن چاهکلار طبس

۴- نتیجه گیری

با توجه به بررسی های انجام شده بر روی بوکسیت معدن چاهکلار منطقه طبس مشخص گردید که این بوکسیت دارای حدود ٦٠ درصد آلومینا می باشد و پس از پخت در دمای $^{\circ}C$ ۱۳۵۰، حاوی مقادیر قابل توجهی فازهای کوراندوم و مولایت خواهد بود. همچنین در صورتی که این بوکسیت در دماهای بالاتر کلسینه شود، خواص مطلوب تری به لحاظ میزان فاز مولایت ایجاد خواهد کرد. بررسی خواص آجر و دیرگداز ریختنی ساخته شده با این نوع بوکسیت نشان داد که خواص دیرگدازهای حاصل قابل مقایسه با دیرگدازهای ساخته شده با بوکسیت های چینی می باشد. در نهایت با توجه به دست آوردهای این تحقیق و نیز با درنظر گرفتن مرغوبیت نسبی و ذخیره مناسب این معدن، استفاده از این نوع بوکسیت می تواند برای تولید دیرگدازهای آلومینا بالای حاوی ٦٠-٥٠ ٪ آلومینا و دارای خواص مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

[1] Shikano. H., "Refractories Handbook", Technical Association of Refractories, Japan, 1998, p.57-69.
[2] Gatman. B., "Bauxite Mineral Review, Ceramic Bulletin", June, 1998, p.245-252.
[3] Caballero. A., Requena. J., "Refractory Bauxite", Ceramic International, Vol. 12, 1986, p. 27-35.
[4] Russell. A., "Refractory Bauxite Changing Face of Supply", Industrial Minerals, October, 1997, p.52-67.
[5] Alp. A., Aydin. O., "Effect of Alkaline Additives on Thermal Properties of Bauxite", Journal of Thermal Analysis, Vol.53, 1998.
[6] Molin. A., Ganbari Ahari. K., "High Temperature Property Development of Bauxite Bricks", 45th Colloquium on Refractories, Aachen, 2000, p.141-146.
[7] Huang. B. Y., Mc Geen. T. D., "Secondary Expansion of Mullite Refractories Containing Calcined Bauxite and Calcined Clay", Ceramic Bulletin, Vol.67, No. 7, 1988, p.16-21.
[8] Bannerjee. S., Monolithic Refractories, A Comprehensive Handbook", American Ceramic Society, 1998, p.80-120.
[9] Yuanfen. Y., Hongchen. C., "Monolithic Refractory Based on Chinese Raw Materials", Interceram, Vol. 45, No. 1, 1996, p.52-57.
[10] Naghizadeh. R., Javadpour. J., Naeemi. M., "Feasibility Study on the Use of Iranian Bauxites in the Fabrication of Shaped Refractories and High Alumina Cement", in the Proceeding of Tehran International Conference on Refractories, 4-6 May, Tehran, Iran, 2004, p.79-84.
[11] Mc Cormick. P. G., Picaro. T. and Smith. P. A. I., "Mechanochemical treatment of high silica bauxite with lime", Mineral Engg., Vol 15, No. 4, 2002, p. 211-214.
[12] Nasr. E., Neshima. D., "High Alumina Refractories Made of Calcined Bauxite and Synthetic Alumina Mixture", Interceram, No. 5, 1981, p.85-91.
[13] C. R. Green. C. R., Wite. J., "solid solubility of TiO_2 in Mullite in the system Al_2O_3-TiO_2-SiO_2", Br. Cer. Trans. Vol. 73, No.3, 1979, p.73-75.
[۱٤] نقی زاده. ر. ، بنی طباء. ع. ، آریان پور. ف. ، پناهی. ب. ، "بررسی خواص فیزیکی شیمیایی و مینرالوژیکی بوکسیت دیرگداز ناحیه لوشان" ، مجله دانشکده فنی، جلد ۳۵ ، شماره ۲ (مهندسی مکانیک) ، ۱۳۸۷، صفحات ٤۹-٤۱ .
[۱۵] نقی زاده. ر. ، بنی طباء. ع. ، آریان پور. ف. ، "بررسی خواص فیزیکی و مینرالوژیکی بوکسیت معدن شاه بلاغی ناحیه دماوند ایران و امکان سنجی استفاده از آن در کاربردهای دیرگداز"، نشریه بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران (ویژه نامه مهندسی مواد) ، جلد ۱۹ ، شماره ۵ ، ۱۳۸۷ ، صفحات ۹۱-۸۳ .