

مطالعات امکان‌سنجی حذف کلسیم از بوکسیت جاجرم

سید محمد جواد کلینی^{*۱}؛ محمود عبداللهی^۲؛ رضوان خرمالی^۳

- ۱- دانشیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس، Koleini@modares.ac.ir
- ۲- دانشیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس
- ۳- کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت ۲۵ اسفند ۱۳۸۶، پذیرش ۳ خرداد ۱۳۸۸)

چکیده

در این تحقیق امکان حذف کلسیم از سنگ معدن بوکسیت جاجرم با استفاده از روش لیچینگ اسیدی به‌منظور غنی‌سازی بوکسیت جهت مصرف در صنایع دیرگداز مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از آنالیزهای شیمیایی AA، XRF و XRD یک نمونه از سنگ معدن بوکسیت جاجرم نشان داد که نمونه بوکسیت از نوع دیاسپوری بوده و کلسیم موجود در نمونه نیز از نوع کانی کلسیت است و کانی‌های همراه دیگر هماتیت، کوارتز و آنازاس می‌باشند. ابتدا آزمایش‌های اولیه جهت تعیین شرایط بهینه کلسیناسیون انجام گرفت. مشخص شدن دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۶۰ دقیقه بعنوان شرایط بهینه کلسیناسیون، آزمایش‌های لیچینگ توسط اسید کلریدریک انجام گرفت و دمای ۹۰°C، مدت زمان ۳۰ دقیقه، غلظت اسید ۳M، درصد جامد ۱۵، سرعت هم‌زدن ۳۰۰rpm و ابعاد ۱۵۰-۵۰۰ میکرون به عنوان شرایط بهینه لیچینگ بدست آمدند. نتایج حاصل نشان داد که دمای لیچینگ و غلظت اسید تاثیر بسزایی در میزان حذف کلسیم دارند. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط بهینه کلسیناسیون و لیچینگ می‌توان ۹۵/۴۵ درصد کلسیم موجود در نمونه بوکسیت را حذف کرد و عیار کلسیت در کنسانتره را از ۱/۱ به ۰/۰۵ درصد کاهش داد.

کلمات کلیدی

بوکسیت، کلسیناسیون، لیچینگ توسط اسید کلریدریک، کلسیم‌زدایی، جاجرم.

* عهده‌دار مکاتبات

۱- مقدمه

میزان انحلال کلسیم را در تمامی آزمایش‌ها بیش از ۹۵ درصد برشمرده‌اند [۵].

در مطالعات کلسیم‌زدایی یکی از موثرترین پارامترها، شرایط حرارتی است که بوکسیت در آن کلسینه می‌شود و برای عملیات کلسیناسیون قبل از فرآیند لیچینگ می‌توان مزایای زیر را برشمرد [۶]، [۷]:

۱- کانسارهای کم‌عیار بوکسیت دارای مقادیر زیادی کانی آلومینو سیلیکات و بالطبع ترکیب SiO_2 می‌باشند، لذا انحلال این ترکیب‌ها و کانی‌ها در اسید، تولید ژل سیلیسی می‌نماید و فیلتراسیون و مراحل بعدی فرآوری را با مشکل مواجه می‌سازد. بنابراین پس از خردایش، ماده معدنی در دمای 900°C حرارت داده می‌شود تا هم آب خود را از دست دهد و هم با تغییر ترکیب، انحلال کانی‌های آلومینو سیلیکات در اسید به حداقل ممکن برسد.

۲- زمان خردایش برای نمونه‌های کلسینه شده کمتر می‌شود.

۳- انرژی مصرفی جهت خردایش نمونه‌های کلسینه شده در حدود ۲۸ درصد نسبت به نمونه‌های خام کاهش می‌یابد.

۴- انجام عملیات کلسیناسیون باعث کاهش جرم نمونه می‌گردد. این کاهش جرم در اثر آزاد شده گاز CO_2 ، مواد فرار و حذف آب می‌باشد که باعث افزایش عیار سایر کانی‌ها در نمونه می‌شود.

در این تحقیق امکان انحلال کلسیم از بوکسیت کم‌عیار به کمک روش لیچینگ اسیدی شامل مراحل کلسیناسیون و لیچینگ نمونه با استفاده از اسید کلریدریک بررسی می‌شود و عوامل موثری که مورد مطالعه قرار گرفتند عبارت از دما و زمان کلسیناسیون، دما و زمان لیچینگ، غلظت اسید، درصد جامد، سرعت هم‌زدن و دانه‌بندی بودند.

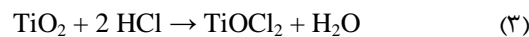
۲- نمونه

نمونه از سنگ معدن بوکسیت جاجرم تهیه گردید. کانسار بوکسیت جاجرم شناخته شده‌ترین ذخیره بوکسیت در ایران است که به لحاظ بالا بودن مقدار بوکسیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این کانسنگ در استان خراسان شمالی و در شهرستان جاجرم واقع است. جاجرم در ۱۷۵ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان بجنورد و در حاشیه شمالی دشت کویر قرار دارد [۸]. نتایج آنالیز شیمیایی AA، ICP و XRF نمونه در جدول ۱ نشان داده شده است.

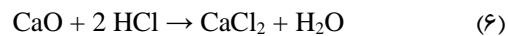
کاهش کلسیم در ذخایر بوکسیتی از این نظر حائز اهمیت است که امکان استفاده از ذخایر بوکسیتی را در صنایع دیرگداز که نیازمند $0.1\% \text{CaO}$ می‌باشند، فراهم می‌آورد [۱].

حذف کلسیم توسط محلول اسید کلریدریک دارای این مزیت است که باعث انحلال انتخابی کانی‌های موجود در بوکسیت در نرخ‌های مناسب می‌گردد (از جمله کانی‌های آهن، نیکل، کروم، وانادیم و کربنات‌های آهن، کلسیم و منیزیم) [۲].

واکنش‌های عمده‌ای که طی فرآیند لیچینگ بدون عملیات کلسیناسیون انجام می‌پذیرند عبارتند از [۱]:



واکنش‌های ۱ و ۲ در فرآیند لیچینگ بوکسیت بسیار حائز اهمیت می‌باشند. واکنش‌های ۳، ۴ و ۵ نیز در شرایط لیچینگ انجام می‌پذیرند، لیکن به سبب میزان کم CaCO_3 ، TiO_2 و MgCO_3 این واکنش‌ها کمتر مورد ملاحظه قرار گرفته‌اند. قابل ذکر است که در شرایط فرآیند لیچینگ با عملیات کلسیناسیون CaCO_3 با از دست دادن CO_2 به CaO تبدیل شده و واکنش ۴ بصورت ذیل بیان می‌شود:



تحقیقات بسیاری جهت بررسی امکان حذف کلسیم از بوکسیت کم‌عیار به انجام رسیده است. برخی محققان بازیابی تمام کلسیم از بوکسیت را گزارش کرده‌اند [۳]، [۴]. مطالعات نشان دادند که حذف کلسیم از بوکسیت سریع‌تر از حذف آهن از بوکسیت و در یک دوره زمانی کوتاه در اسید رقیق است. همچنین طبق برخی از آزمایش‌های انجام شده در دمای 70°C ، غلظت اسید کلریدریک 4M ، دانه‌بندی $250\text{--}125\ \mu\text{m}$ و میزان جامد ۲۵ گرم بر لیتر با سرعت هم‌زدن $600\ \text{rpm}$ ، میزان انحلال کلسیم ۱۰۰ درصد می‌باشد [۴]. برخی از محققان میزان کلسیم و آهن نمونه‌ای از بوکسیت را برای تولید بوکسیت سینتره شده، توسط لیچینگ اسیدی کاهش داده‌اند. این محققان انحلال کلسیم را سریع‌تر از انحلال آهن دانسته و

۲۵۰ میکرون خرد شدند. آزمایش‌های لیچینگ در داخل بنماری مدل NB-320L و در راکتور پیرکس لیچینگ ۸۰۰ میلی‌لیتری با اسید کلریدریک ۶M و به حجم اولیه ۲۰۰ ml و نمونه معرف به جرم ۴۰g انجام گرفت. پس از انجام لیچینگ، محصول بدست آمده بلافاصله فیلتر و جامد باقیمانده، توسط آب چندین مرتبه شستشو داده شد و سپس در داخل اون خشک گردید. در پایان محلول حاصل از لیچینگ توسط آب مقطر به حجم معین اولیه رسانده شد و با توجه به نوع عناصر جهت انجام آنالیز، رقیق‌سازی و آماده‌سازی گردید. آنالیزها توسط دستگاه جذب اتمی Varian مدل AA240 انجام گردید.

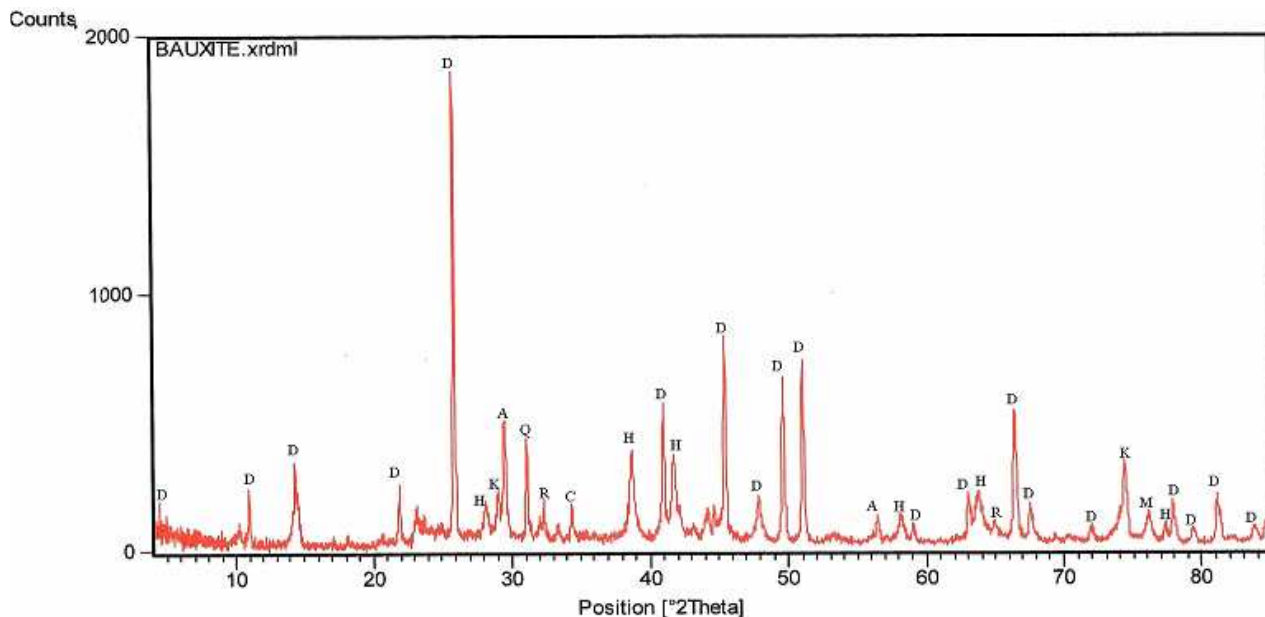
مطالعات میکروسکوپی و آنالیز XRD صورت گرفته بر روی نمونه نشان داد که دیاسپور کانی اصلی و کلسیم موجود در نمونه بصورت کانی کلسیت و دیگر کانی‌های فرعی نیز هماتیت، کوارتز، آناتاز و کائولینیت می‌باشند. در شکل ۱ نمودار حاصل از آنالیز نمونه معرف به روش XRF درج شده است.

۳- چگونگی انجام آزمایش‌ها

نمونه اولیه توسط سنگ‌شکن استوانه‌ای تا زیر ۱۰ مش (۲۰۰۰ μ m) تحت عملیات خردایش قرار گرفت. از نمونه زیر ۲۰۰۰ میکرون نمونه‌های معرف ۵۰۰ گرمی تهیه گردید. این نمونه‌های معرف در داخل کوره الکتریکی تحت عملیات کلسیناسیون قرار گرفت. پس از سرد شدن، نمونه‌ها توسط آسیای گلوله‌ای به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۸۵rpm تا زیر

جدول ۱: ترکیب شیمیایی نمونه بوکسیت جاجرم

L.O.I	MgO	CaO	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	عیار ترکیبات (%)
۱۱/۷۶	۰/۳۲	۰/۹۵	۵/۶۹	۱۱/۰۰	۲۱/۸۰	۴۸/۴۸	AA
۱۲/۳۳	۰/۴۶	۱/۴۲	۵/۰۷	۱۱/۸۰	۱۹/۳۵	۴۷/۶۷	XRF
-	۰/۳۲	۱/۱۰	۵/۳۰	۱۱/۵۰	۱۹/۲۰	۴۷/۷۰	ICP



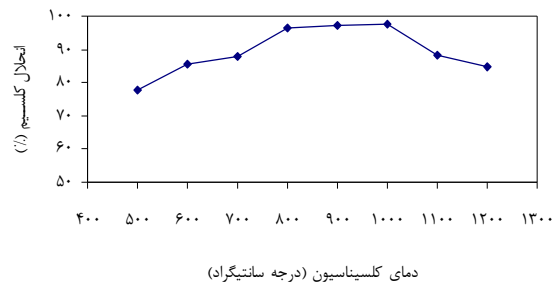
D: Diaspore, H: Hematite, A: Anatase, C: Calcite, K: Kaolinite, M: Muscovite, Q: Quartz, R: Rutile

شکل ۱: نمودار حاصل از آنالیز نمونه معرف به روش XRD

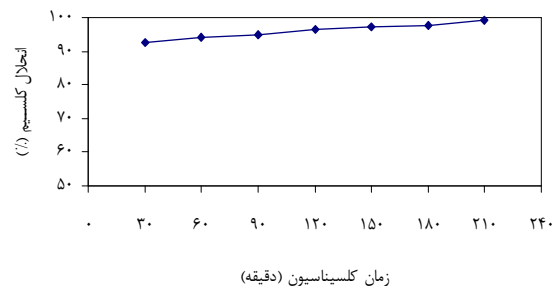
۴- آزمایش‌های کلسیناسیون

۴-۱- تعیین دما و زمان بهینه کلسیناسیون

بمنظور انجام آزمایش‌های تعیین دمای بهینه کلسیناسیون، نمونه حاصل از سنگ‌شکن استوانه‌ای با ابعاد کمتر از ۲۰۰۰ میکرون در دماهای ۵۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه در کوره الکتریکی تحت حرارت با شدت $15^{\circ}\text{C}/\text{min}$ قرار گرفت. جهت تعیین زمان مناسب کلسیناسیون، نمونه‌ها در دمای 900°C و مدت زمان‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ دقیقه کلسینه شدند. سپس نمونه تا ابعاد زیر ۲۵۰ میکرون در آسیای گلوله‌ای خرد شد و در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۱۲۰ دقیقه با اسید کلریدریک ۶M و به سرعت همزدن ۳۰۰rpm لیچ گردید. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲: تغییرات درصد انحلال کلسیم در محلول لیچ نسبت به دمای کلسیناسیون



شکل ۳: تغییرات درصد انحلال کلسیم در محلول لیچ نسبت به زمان کلسیناسیون

در شکل ۲ مشاهده می‌شود که کلسیناسیون کامل کانی کلسیت (CaCO_3) و تبدیل آن به CaO با آزاد شدن گاز CO_2

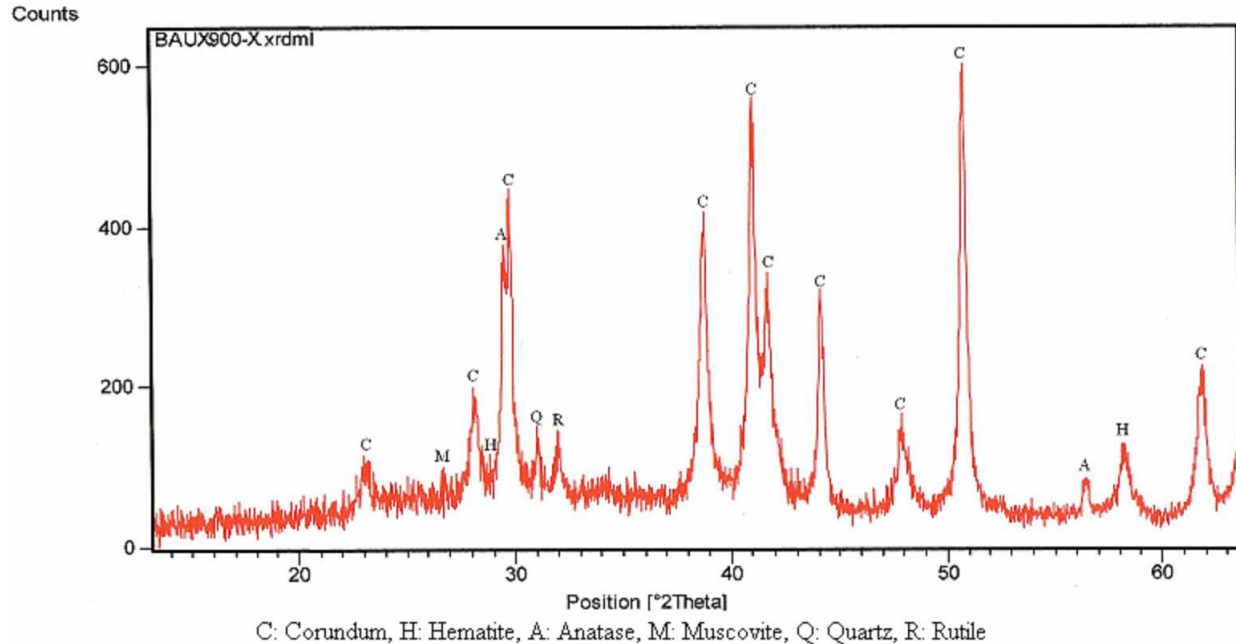
پس از دمای 800°C روی داده است که بالاترین انحلال‌های کلسیم را نیز سبب گردیده است. بعد از دمای 1000°C بدلیل شروع تشکیل فازهای نامحلول انحلال کلسیم کاهش می‌یابد. عبارت دیگر در شرایط کلسیناسیون در دمای 900°C ، انحلال کلسیم در اسید کلریدریک بالاترین مقدار و حدود ۹۷/۳ درصد می‌باشد که تائیدی بر نظر محققان پیشین نیز می‌باشد [۳]، [۴]، [۵] بنابراین دمای بهینه کلسیناسیون دمای 900°C انتخاب گردید.

شکل ۳ نشان دهنده آن است که بیش از ۹۲ درصد کلسیم در همان ۳۰ دقیقه اول لیچینگ انحلال می‌یابد و درصد انحلال کلسیم در زمان‌های مختلف کلسیناسیون از ۳۰ تا ۲۱۰ دقیقه، تقریباً مقدار ثابتی است و افزایش زمان کلسیناسیون تاثیر اندکی در میزان انحلال داشته است. لذا زمان ۳۰ دقیقه بعنوان زمان بهینه جهت مطالعات کلسیم‌زدایی سنگ معدن بوکسیت جاجرم انتخاب گردید. تحقیقات پیشین نیز انحلال کلسیم را در یک دوره زمانی کوتاه دانسته بودند [۴]، [۵].

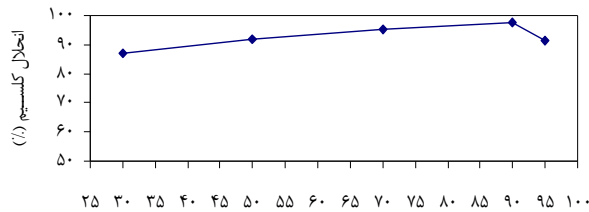
۴-۲- شناسایی نمونه کلسینه شده

نتایج آنالیز نمونه کلسینه شده نیز افزایش عبارهای Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، TiO_2 و SiO_2 را نسبت به عبارهای اولیه این ترکیب‌ها در نمونه خام نشان می‌دهد. نتایج حاصل از آنالیز XRD نشان می‌دهد که پس از عملیات کلسیناسیون، کانی دیاسپور در نمونه معرف اولیه سنگ معدن بوکسیت به کانی کورندم در نمونه کلسینه شده تبدیل شده است. شکل ۴ نمودار حاصل از آنالیز نمونه کلسینه‌شده به روش XRD را نمایش می‌دهد.

نتایج مطالعات بر روی تغییرات ساختاری حاصل از حرارت در بوکسیت نشان داده است که کلسینه کردن نمونه منجر به افزایش انحلال‌پذیری بوکسیت می‌گردد. هرچه دمای کلسیناسیون بیشتر باشد بلورهای یکنواخت‌تری تشکیل می‌شوند. تشکیل بلورهای کامل و یکنواخت مجدداً سبب کاهش انحلال‌پذیری آن‌ها می‌گردد. در نتیجه با افزایش بیشتر دمای کلسیناسیون انحلال‌پذیری اجزاء مختلف بوکسیت کاهش می‌یابد [۱].



شکل ۴: نمودار حاصل از آنالیز نمونه کلسینه شده به روش XRD



دمای لیچینگ (درجه سانتیگراد)

شکل ۵: تغییرات درصد انحلال کلسیم در محلول لیچ نسبت به دمای لیچینگ

۵-۲- زمان

در شکل ۶ می توان مشاهده کرد که تا ۳۰ دقیقه اول لیچینگ بیش از ۹۵ درصد از کلسیم انحلال می یابد و می توان اظهار کرد که انحلال کلسیم بسیار سریع می باشد و در یک دوره زمانی کوتاه رخ می دهد. محققان پیشین نیز در تحقیقات خود این مطلب را تایید کرده اند [۴]، [۵]. بنابراین با توجه به اینکه افزایش زمان فرآیند منجر به کاهش ظرفیت تولید می شود، لذا مدت زمان ۳۰ دقیقه بعنوان زمان بهینه لیچینگ انتخاب گردید.

۵- آزمایش های لیچینگ

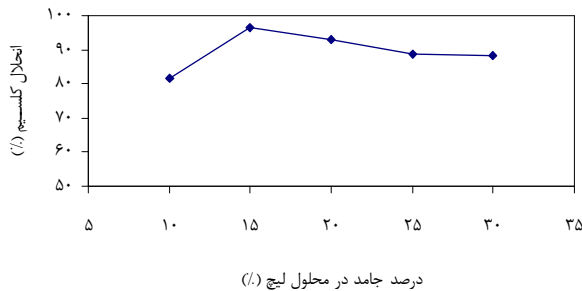
۵-۱- دما

با توجه به شکل ۵ افزایش دما تاثیر بارزی در افزایش میزان بازیابی کلسیم دارد بطوریکه کلسیم در این دامنه تغییرات دمایی (۳۰-۹۰°C) حدود ۱۰ درصد افزایش بازیابی انحلال را نشان می دهد. زیرا با توجه به مطالعات سینتیک واکنش این فرآیند با کنترل شیمیایی است [۹]، [۱۰]، [۱۱]، [۱۲]؛ در چنین فرآیندهایی، سرعت واکنش وابستگی شدیدی به دما دارد و در واقع افزایش دما انرژی جنبشی مولکول ها و متعاقباً انرژی فعال سازی واکنش را کاهش می دهد [۱۳].

در شکل ۵ نیز با افزایش دمای محلول تا ۹۰°C، بازیابی کلسیم تا ۹۷/۷ درصد افزایش می یابد. بنابراین می توان دمای ۹۰°C را بعنوان دمای بهینه جهت آزمایش های لیچینگ انتخاب کرد که دمای بهینه پیشنهادی توسط محققان پیشین نیز می باشد [۵]، [۱۱]، [۱۴].

کاهش میزان بازیابی در دمای ۹۵°C را می توان بدلیل نزدیکی این دما به دمای جوش آب و بخار شدن مقداری از آب دانست که باعث کاهش میزان محلول لیچ می گردد و در نتیجه کاهش اندکی در میزان انحلال کلسیم رویت می گردد.

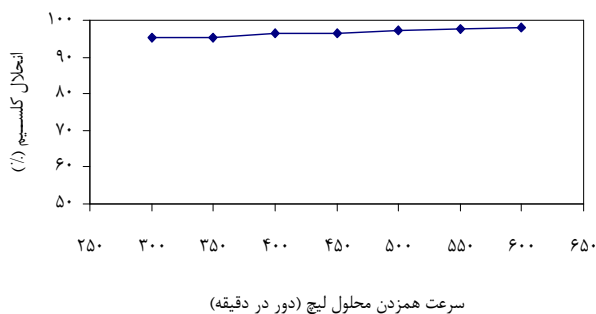
با مشاهده شکل ۸ می‌توان دریافت که در این شرایط حداکثر میزان بازیابی کلسیم در محلول، در درصد جامد ۱۵ بوده و برابر ۹۶/۵ درصد بدست می‌آید. با توجه به نتایج حاصل از آنالیز XRF، بیشترین مقدار کاهش عیار CaO در جامد باقیمانده از لیچینگ از ۱/۱ درصد به ۰/۰۵ درصد می‌باشد. لذا درصد جامد ۱۵ بعنوان مقدار بهینه این پارامتر انتخاب می‌شود.



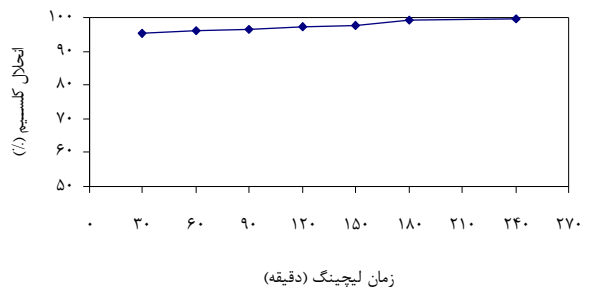
شکل ۸: تغییرات درصد انحلال کلسیم در درصدهای مختلف جامد در محلول لیچ

۵-۵- سرعت همزدن محلول لیچ

در شکل ۹ به وضوح می‌توان مشاهده کرد که افزایش سرعت همزدن محلول لیچ تاثیر چندانی در میزان انحلال کلسیم ندارد، و این واقعیت را به اثبات می‌رساند که سینتیک این فرآیند با کنترل شیمیایی است زیرا در این نوع فرآیندها، پیشرفت واکنش مستقل از سرعت همزدن می‌باشد و پیشرفت واکنش وابستگی شدیدی به دما دارد [۱۳]. بنابراین می‌توان سرعت ۳۰۰ rpm را بعنوان سرعت همزدن بهینه انتخاب کرد، در این صورت هم در میزان هزینه‌های فرآیند و هم در میزان مصرف انرژی مورد نیاز جهت همزدن صرفه‌جویی می‌شود.



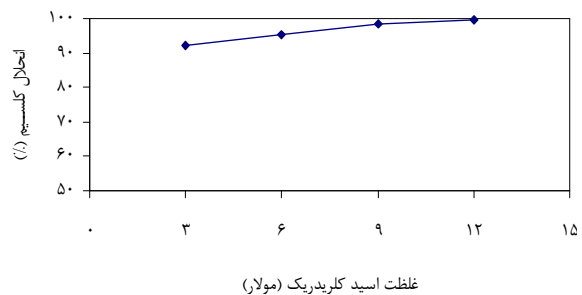
شکل ۹: تغییرات درصد انحلال کلسیم نسبت به سرعت همزدن محلول لیچ



شکل ۶: تغییرات درصد انحلال کلسیم در محلول لیچ نسبت به زمان لیچینگ

۵-۳- غلظت اسید کلریدریک

نتایج آزمایش‌های غلظت اسید نشان داد (شکل ۷) که با افزایش غلظت اسید بازیابی کلسیم به محلول افزایش یافته و در غلظت اسید ۱۲M حداکثر می‌شود. لیکن با توجه به اینکه تفاوت میزان انحلال کلسیم در غلظت‌های ۶M و ۱۲M نسبت به میزان انحلال در غلظت اسید ۳M قابل توجه نمی‌باشد و از طرفی افزایش غلظت اسید (مصرف اسید بیشتر) باعث تحمیل هزینه عملیاتی بیشتر می‌گردد، بنابراین اسید کلریدریک ۳M می‌تواند بعنوان غلظت مناسب جهت عملیات لیچینگ انتخاب شود. تحقیقات پیشین نیز انحلال کلسیم را در اسید رقیق دانسته‌اند [۴]، [۵].



شکل ۷: تغییرات درصد انحلال کلسیم در محلول لیچ نسبت به غلظت اسید

۵-۴- درصد جامد

نمونه پس از کلسیناسیون به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۹۰۰°C تا زیر ۲۵۰ میکرون خرد گردید، سپس با درصد جامد ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ (یعنی ۲۵، ۴۰، ۵۵، ۷۵ و ۹۵ گرم جامد در ۲۰۰ ml محلول اولیه لیچ) و سرعت همزدن ۳۰۰ rpm به مدت ۱۲۰ دقیقه با غلظت اسید ۶M در دمای ۹۰°C لیچ شد.

۵-۶- دانه‌بندی

کردن نمونه در این دما منجر به افزایش انحلال پذیری بوکسیت می‌گردد، اما افزایش بیشتر دمای کلسیناسیون باعث از بین رفتن ریز ساختارها و حفرات موجود در بافت بوکسیت می‌شود که در نتیجه بلورهای یکنواخت و یکپارچه تشکیل می‌شوند. هرچه دمای کلسیناسیون بیشتر باشد بلورهای یکنواخت‌تری تشکیل می‌گردند. تشکیل بلورهای کامل و یکنواخت مجدداً سبب کاهش انحلال پذیری آن‌ها می‌شود. در نتیجه با افزایش بیشتر دمای کلسیناسیون انحلال پذیری اجزاء مختلف بوکسیت کاهش می‌یابد [۱]. بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های کلسینه نشده بوکسیت دیاسپوری، دمای لیچینگ را می‌توان مهم‌ترین پارامتر اثرگذار بر درصد انحلال کلسیم دانست.

جدول ۲: نتایج حاصل از آنالیز XRF نمونه باقیمانده پس از فرآیند

لیچینگ

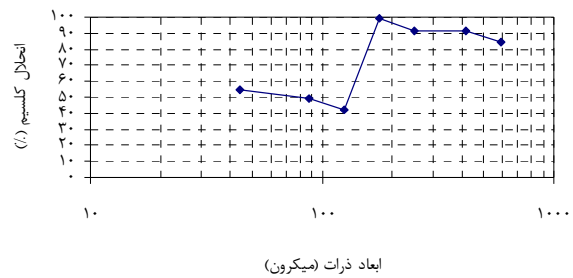
درصد	ترکیب	درصد	ترکیب	درصد	ترکیب
۰/۱۵	SO ₃	< ۰/۱	MgO	۶۴/۱۳	Al ₂ O ₃
< ۰/۰۱	SrO	۰/۶۰	K ₂ O	۱/۸۸	Fe ₂ O ₃
۰/۲۲	ZrO ₂	< ۰/۱	Na ₂ O	۲۳/۶۸	SiO ₂
۰/۳۵	Cl	< ۰/۱	MnO	۸/۲۴	TiO ₂
۰/۲۹	L.O.I	< ۰/۱	P ₂ O ₅	۰/۰۵	CaO

سرعت همزدن محلول لیچ نیز تاثیر چندانی در میزان انحلال کلسیم ندارد، و این واقعیت را به اثبات می‌رساند که سینتیک این فرآیند با کنترل شیمیایی است زیرا پیشرفت واکنش مستقل از سرعت همزدن می‌باشد و پیشرفت واکنش وابستگی شدیدی به دما دارد [۱۳].

۷- نتیجه گیری

- دمای ۹۰۰°C و زمان ۶۰ دقیقه بعنوان دما و زمان بهینه عملیات کلسیناسیون انتخاب گردید.
- دمای محلول لیچینگ پارامتر موثری در انحلال کلسیم با اسید است و با افزایش دما، درصد انحلال کلسیم در اسید کلریدریک افزایش می‌یابد بطوریکه با افزایش دمای لیچینگ از ۳۰°C به ۹۰°C، کلسیم حدود ۱۰ درصد افزایش انحلال را نشان می‌دهد.

نمونه معرف با ابعاد کوچکتر از ۱۱۹۰ μm به کمک سرندها و به روش خشک در شیکر لرزشی نوسانی به ابعاد ۱۱۹۰-۵۹۰، ۴۲۰-۵۹۰، ۲۵۰-۴۲۰، ۱۷۷-۲۵۰، ۱۷۷-۱۲۵، ۱۲۵-۸۸ و ۴۴-۸۸ میکرون دانه‌بندی گردید. نمونه هر ابعاد دانه‌بندی به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۹۰۰°C (شرایط بهینه کلسیناسیون) کلسینه شدند. سپس با درصد جامد ۱۵ و سرعت همزدن ۳۰۰ rpm به مدت ۱۲۰ دقیقه با غلظت اسید ۶M در دمای ۹۰°C لیچ گردیدند.



شکل ۱۰: تغییرات درصد انحلال کلسیم در دانه‌بندی‌های مختلف

با توجه به شکل ۱۰ می‌توان نتیجه گرفت که کانی‌های کلسیم‌دار (کلسیت و لامونتیت) بیشتر در دانه‌بندی‌های درشت‌تر تمرکز یافته‌اند که میزان انحلال آن‌ها نیز در دانه‌بندی‌های بالاتر از ۱۵۰ میکرون افزایش نشان می‌دهد. این مطلب در مطالعات پیشین نیز تایید شده است [۱]، [۴]، [۱۱].

۵-۷- شناسایی نمونه باقیمانده پس از لیچینگ

نتایج آنالیز XRF نمونه جامد باقیمانده (به وزن ۳۰ گرم) پس از لیچینگ در شرایط بهینه (جدول ۲) نشان می‌دهد که میزان کلسیم موجود در نمونه پس از انجام آزمایش کلسیناسیون و لیچینگ به میزان ۰/۰۵ درصد کاهش یافته است. بنابراین محصول نهایی بدست آمده از کل فرآیند را می‌توان با عبارات بوکسیت کم کلسیم مورد استفاده در صنایع نسوز (CaO < ۰/۱٪) [۱] منطبق و دارای کیفیت بسیار مطلوب جهت کاربرد در این صنایع دانست.

۶- بحث در نتایج

مطالعات بر روی تغییرات ساختاری حاصل از حرارت در بوکسیت نشان داده است افزایش دما کلسیناسیون تا ۵۲۵°C منجر به تغییر بلورهای یکنواخت و کامل اولیه به بلورهای پر خلل و فرج با شکاف‌های فراوان در سطح می‌شود. کلسینه

پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

[7] Rao R.B.; (2002); "Effect of Thermal Pretreatment on Grindability and Upgradation of Bauxite for Refractory Applications"; Light Metals, 131st TMS Annual Meeting Seattle USA, pp: 205-208.

[۸] شرکت آلومینای ایران؛ (۱۳۸۵)؛ "آشنایی با شرکت آلومینای ایران"؛ مجتمع آلومینای جاجرم.

[9] Zivkovic Z.D.; (1994); "Kinetics and Mechanism of Leaching of Low-Quality Boehmite Bauxite with Hydrochloric Acid"; Hydrometallurgy, Vol. 36, pp. 247-258.

[10] Paspaliaris Y.; (1989); "Reaction Kinetics for Leaching of Iron Oxides in Boehmitic Bauxite by Hydrochloric Acid"; Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Vol. 98, pp: 21-25.

[11] Mergen A.; (2002); "Kinetics of Leaching of Boehmitic Bauxite of Konya-Turkey with Hydrochloric Acid"; Silicate Industrials, Vol. 67, No. 7/8, pp: 75-80.

[12] Gülfen G.; (2006); "Dissolution Kinetics of Iron from Diasporic Bauxite in Hydrochloric Acid Solution"; Indian Journal of Chemical Technology, Vol. 13, Issue 4, pp: 386-390.

[۱۳] شفائی سید ضیاء الدین، عبداللهی محمود؛، (۱۳۷۸)؛ "هیدرومتالورژی (کلیات و لیچینگ کانی‌های مختلف)؛" جلد اول، شاهرود، دانشگاه شاهرود، تهران: موسسه انتشارات قائم.

[14] Gholinejad M.; (1998); "Removal of Iron from LowGrade Bauxite by Hydrochloric Acid Leaching", Third International Conference on Hydrometallurgy, China, pp: 306-309.

- در ۳۰ دقیقه اول لیچینگ بیش از ۹۵ درصد کلسیم انحلال می‌یابد و می‌توان اظهار کرد که انحلال کلسیم بسیار سریع بوده و در یک دوره زمانی کوتاه رخ می‌دهد.
- دمای ۹۰°C، مدت زمان ۳۰ دقیقه، غلظت اسید ۳M، درصد جامد ۱۵ و سرعت همزدن ۳۰۰rpm و دانه‌بندی ۵۰-۱۵۰ میکرون بعنوان شرایط بهینه لیچینگ تعیین گردیدند.
- عیار CaO در جامد باقیمانده از ۱/۱۰ به ۰/۰۵ درصد کاهش یافت.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از دانشگاه تربیت مدرس و مجتمع آلومینای جاجرم که امکانات انجام این مطالعه را فراهم آوردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- [1] Paspaliaris Y.; (1987); "Reaction Kinetics for the Leaching of Iron Oxides in Diasporic Bauxite from the Parnassus-Giona Zone (Greece) by Hydrochloric Acid"; Hydrometallurgy, Vol. 19, pp: 259-266.
- [2] Patermarakis G., Paspaliaris Y.; (1989); "The Leaching of Iron Oxides in Boehmitic Bauxite by Hydrochloric Acid"; Hydrometallurgy, Vol. 23, pp: 77-90.
- [3] Phalguni A.; (1996); "Biobeneficiation of Bauxite using *Bacillus Polymyxa*: Calcium and Iron Removal"; International Journal of Mineral Processing, Vol. 48, Issue 1-2, pp: 51-60.
- [4] Reddy B.R.; (1999); "Kinetics of Leaching of Gibbsite Bauxite with Hydrochloric Acid"; Hydrometallurgy, Vol. 51, pp: 131-138.
- [5] Mergen A.; (2004); "Production of Sintered High Alumina Refractories from Turkish Bauxite Ore"; British Ceramic Transactions, Vol. 103, No. 1, pp: 42-48.

[۶] عبداللهی هادی؛ (۱۳۸۴)؛ "افزایش مدول Al_2O_3/SiO_2 نمونه کانسنگ بوکسیت بوکان با کاربرد روشهای فرآوری و مدلسازی لیچینگ (انحلال) آن در شرایط اسیدی؛"