

بررسی میزان بازیافت سودسوزآور از گل قرمز تولید شده در فرایند تولید آلومین به روش بایر

سعید عباسی^{*}، عباس شهرآبادی

تهران، پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده اکتشاف و تولید

پیام نگار: abbasis@ripi.ir

چکیده

در فرایند تولید آلومین از بوکسیت بخشی از سود سوزآور با سیلیس و مواد دیگر موجود در بوکسیت ترکیب شده و به شکل هیدروآلومینوسیلیکات سدیم وارد گل قرمز (گل باطله جدا شده از محلول آلومینت) می‌شود. هدف از این مطالعه، ایجاد فرایند بازیافت سود سوزآور از نمکهای سدیم به منظور کاهش تلفات سود ترکیب شده در طی عملیات تولید آلومین می‌باشد. یکی از روشهای بازیافت سود، استفاده از $Ca(OH)_2$ و جایگزین کردن آهک بجای سود می‌باشد. برای بررسی پارامترهای مؤثر در فرایند بازیافت سودسوزآور، گل قرمز خروجی از واحد شستشوی گل قرمز کارخانه آلومین جاجرم انتخاب گردید و مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق پس از بررسی واکنشهای فرایند بازیافت سودسوزآور، تأثیر بعضی از عوامل از جمله زمان و مقدار آهک و همچنین نوع آهک افزودنی بر روی نمونه مورد نظر بررسی گردید. آزمایشها در فشار اتمسفری انجام گرفت، به دلیل تجربیات حاصل از کارخانه‌های تولید آلومین، دمای واکنش در بالاتر از ۹۰ درجه سلسیوس پیشنهاد گردید. آزمایشها نشان دادند که زمان بهینه سودیابی از گل قرمز در محدوده (۴-۶) ساعت است. همچنین با توجه به انجام آزمایشها در بستهای مولی مختلف آهک به سود بهترین بازدهی سودیابی در فرایند مشخص گردید.

کلمات کلیدی: سودیابی، سود سوزآور، آلومین، گل قرمز، فرایند بایر

۱- مقدمه

آنها با سایر مواد و انحلال پذیری آنها بتوان سایر مواد کم ارزش تر و غیرآلوده کننده را جایگزین آنها کرد و آنها را توسط واکنشهای رقابتی از محصول مورد نظر استخراج نمود. در این تحقیق، هدف اصلی بازیافت سودسوزآور از گل قرمزی است که از ضایعات فرایند تولید آلومین به دست آمده است.

بوکسیت^۱ سنگ معدنی است که کانی اصلی آن را هیدرات آلومینیم تشکیل می‌دهد. از لحاظ ترکیب شیمیایی قسمت اعظم بوکسیت را Al_2O_3 ، SiO_2 ، Fe_2O_3 و H_2O تشکیل می‌دهد. بوکسیتها از نظر

فرایند تغلیظ و بازیافت در هر فرایندی به منظور افزایش بازدهی، کاهش ضایعات و جلوگیری از آلودگی محیط زیست به عمل می‌آید. از آنجا که در مراحل مختلف یک فرایند عناصر متعددی وارد سیستم می‌شوند تا فرایند را کامل نمایند و این عناصر به صورت صد در صد در تولید محصول نهایی مورد نیاز نمی‌باشند، لذا قسمتی از این مواد در پایان عملیات فرایندی باید به صورت مواد زائد از محیط خارج گردد. از طرف دیگر همراه با مواد اضافی، عناصر مفیدی از سیستم خارج می‌شوند که با در نظر گرفتن نوع عناصر و واکنشهای

1. Bauxite

کارخانه‌های آلومین، گل قرمز را پس از انحلال بوکسیتها به روش بایر، یا به دریا می‌ریزند و یا در محوطه‌های مخصوص گل در نزدیکی کارخانجات آلومین جمع می‌کنند. این عمل باعث آلودگی محیط اطراف می‌شود که مستلزم تهیه محوطه‌های وسیع برای انباشتن گل است.

به‌طور عمومی می‌توان گفت که دو روش جهت نگهداری گل قرمز وجود دارد: ۱- نگهداری به روش خشک ۲- نگهداری به روش تر.

در نگهداری به روش تر بایستی از نفوذ قلیای موجود در گل قرمز به منابع زیرزمینی آب و در روش خشک بایستی از ایجاد گرد و غبار به وسیله باد جلوگیری شود. یکی از روشهایی که استفاده می‌شود تا از نفوذ قلیای موجود در آن به آبهای زیرزمینی جلوگیری به عمل آید و در ضمن پس از خشک شدن ایجاد گرد و غبار ننماید، اضافه کردن آب آهک جهت بازیابی سود از آن می‌باشد.

جدا از مطالب بیان شده در مورد آلودگی که گل قرمز رها شده در طبیعت می‌تواند ایجاد کند باید به این نکته نیز توجه شود که همراه با گل قرمز باطله، به میزان (۲۰-۱۰) درصد آلومین نیز که در ترکیب بوکسیت اولیه وجود داشته و نیز (۲۰۰-۱۰۰) کیلوگرم Na_2O در هر تن آلومین بدون بازگشت به فرایند هدر می‌روند. اتلاف سالیانه آهن نیز همراه با گل قرمز در یک کارخانه بزرگ تولید آلومین در حدود نیم میلیون تن است. به همین دلیل، بایستی گل قرمز را به عنوان یکی از منابع بالقوه برای بازیابی آلومین، سودسوزآور و آهن تلقی نمود [۱].

ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی گل بسیار پیچیده است. این ترکیب بستگی به ترکیب بوکسیت‌های اولیه و شرایط انحلال آن (دما، میزان CaO ، و شرایط دیگر) دارد. به عنوان مثال به هنگام فراوری بوکسیت‌های دیاسپوری اورال شمالی با سیلیس ۱۰ تا ۱۲ درصد، در دمای ۲۴۰ درجه سلسیوس و با کمک (۵-۳) درصد CaO می‌توان گلی با ترکیب متوسط تقریبی که در جدول (۱) نشان داده شده است، به‌دست آورد [۲].

کارخانجات مجارستان که بوکسیت‌هایی را با همان مدول ولی بدون آهک فراوری می‌کنند گل قرمز آنها دارای ترکیبی می‌باشد که در جدول (۲) آورده شده است [۳]. همچنین ترکیب کانی‌شناسی این گل که ترکیبی از هیدروآلومینوسیلیکات سدیم است در جدول (۳) نشان داده شده است [۳].

کانی‌شناسی انواع مختلفی دارند. از جمله سنگ‌های بوکسیتی می‌توان به بوکسیت‌های گیبسیتی، بوکسیت‌های (گیبسیتی - بوهمیتی)، بوکسیت‌های (بوهمیتی - دیاسپوری)، و بوکسیت‌های دیاسپوری اشاره داشت. قدیمی‌ترین بوکسیت، نوع دیاسپوری (خیلی سخت) و جوانترین آن، بوکسیت گیبسیتی می‌باشد.

یکی از روش‌های تولید آلومین روش بایر^۱ است. بایر نام شخصی است که در روسیه در کارخانه‌ای در لنینگراد^۲ کار می‌کرد و به دلیل اینکه فرایند فوق برای اولین بار توسط او پیشنهاد گردید، فرایند به نام او نام گذاری شد. در روش بایر، انحلال بوکسیت با محلول‌های (قلیایی - آلومیناتی) انجام می‌گیرد. پس از حل کردن آلومینات به‌صورت هیدرو آلومینت سدیم، برای تجزیه و تبدیل آن به هیدروکسید آلومینیم آن را به بخش ترسیب می‌فرستند. سپس در فرایند ترسیب با کاهش دما و استفاده از جوانه‌های اولیه هیدروکسید آلومینیم، عمل تجزیه صورت می‌گیرد و هیدروکسید آلومینیم تولیدی جهت تکلیس و تولید آلومین خالص وارد کوره‌های تکلیس می‌گردد. با توجه به روش بایر که یک روش قلیایی است مقدار زیادی $NaOH$ به مصرف می‌رسد که بر هزینه تمام شده اثر می‌گذارد.

گل قرمز نیز از محصولات جانبی فرایند تولید آلومین است که به عنوان باطله و یا ضایعات از آن نام برده می‌شود. این محصول همچنانکه از نام آن می‌توان حدس زد قسمت اعظم ترکیب آن را آهن تشکیل می‌دهد و دارای ترکیبات دیگری است که در فرایند انحلال وارد این فاز می‌گردد. گل قرمز دارای ترکیباتی همچون (آلومین - سدیم) است که در طول فرایند سیلیس زدایی در تولید آلومین تشکیل شده است. همچنین ترکیبات کلسیم و آلومینت سدیم که از محلول مادر جدا می‌شوند، به همراه گل قرمز نیز از فرایند خارج می‌شوند. گل قرمز که توسط آب رقیق شده به حوضچه گل انتقال داده می‌شود. در طول فرایند تولید آلومین این حوضچه همیشه تحت کنترل است تا از هدر رفتن آلومین و دیگر محصولات مورد استفاده در فرایند جلوگیری شود و همچنین عملکرد فرایند نیز بررسی گردد. آب جدا شده از گل نیز در حوضچه جمع آوری شده و به فرایند برگشت داده می‌شود تا دوباره در طول فرایند جهت انتقال گل و یا شستشوی گل قرمز مورد استفاده قرار گیرد. در

1. Bayer Process
2. Leningrad

جدول ۱- درصد ترکیب گل قرمز تولید شده از فراوری بوکسیت‌های دیاسپوری اورال شمالی [۲]

درصد ترکیب	نوع ترکیب
۵/۱۴	Al ₂ O ₃
۹	SiO ₂
۵/۴۴	Fe ₂ O ₃
۱۲	CaO
۴	TiO ₂
۱۶	Others

جدول ۲- ترکیب گل قرمز تولیدی حاصل از

کارخانجات مجارستان [۳]

درصد ترکیب	نوع ترکیب
۱۸-۲۰	Al ₂ O ₃
۱۰/۵-۱۲	SiO ₂
۴۰-۴۱	Fe ₂ O ₃
۱-۱/۵	CaO
۱۰/۵-۱۱	Na ₂ O

جدول ۳- درصد کانی‌های موجود در گل قرمز

کارخانجات مجارستان [۳]

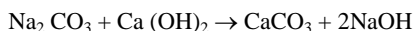
درصد کانی	نوع کانی
۴۰	سودالیت
۴	بوهمیت
۱۵	هماتیت
۳۰	گوتیت
۳	کلسیت- دولومیت
۲	پیریت
۶	مواد دیگر

۱-۱ بازبایی سود از گل قرمز

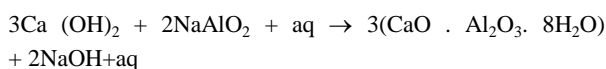
کارهای پژوهشی بسیاری از پژوهندگان و تجارب کارخانجات آلومین

مجارستان ثابت کرده است که قسمت مهمی از قلیا را که به شکل هیدروآلومینوسیلیکات سدیم و محلول آلومینات جذب شده همراه با گل قرمز به هدر می‌رود، می‌توان به کمک شیر آهک بازیابی کرد [۵ و ۱۰]. آهک اضافه شده باعث انجام واکنشهای زیر در طی سودبایی می‌شود [۶].

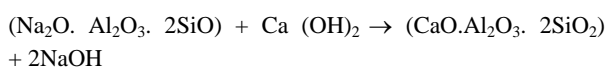
(۱) کربنات سدیم موجود در فاز مایع گل باطله با آهک ترکیب شده و سودسوزآور بازیابی می‌گردد.



(۲) آلومینات سدیم (NaAlO₂) با آهک تشکیل آلومینات کلسیم می‌دهد.



(۳) Ca(OH)₂ وارد واکنش با آلومینوسیلیکاتهای سدیم موجود در فاز جامد گل (سودالیت کربنات یا کانکرپنسیت) می‌گردد.



انجام کامل این واکنش و نوع ترکیبات حاصله به هیدروآلومینوسیلیکات سدیم در گل قرمز، دما، مقدار آهک و مدت زمان واکنش بستگی دارد. چنانچه شرایط دیگر یکسان باشند، تجزیه هیدروآلومینوسیلیکات سدیم حاصله از انحلال اتوکلاوی بوکسیتها کندتر از هیدروآلومینوسیلیکات سدیمی است که در هوای آزاد به دست می‌آید. بازیابی قلیا از گل قرمز را می‌توان به روشهای مختلف انجام داد. طبق تجربیات ایوانف^۱ و شولمار^۲ می‌توان تا ۸۰ درصد قلیایی موجود در ترکیب گل قرمز را بازیابی نمود، به شرط آنکه قدری آهک بر آخرین شستشودهنده گل و یا بر یکی از شستشودهنده‌های میانی آن افزود. به‌منظور کاهش اتلاف آلومین همراه با هیدروگارتها، توصیه می‌شود که مقدار کمی کربنات سدیم همراه با آهک بر سیستم شستشودهنده بیفزایند [۱].

طبق یکی از اختراعات ثبت شده، گل قرمز را با آب و مقداری آهک در ۱۰۰ درجه سلسیوس فراوری می‌کنند که باعث می‌شود قلیا وارد

1. Ivanov
2. Schulmar

گرفته است. تجزیه بوکسیت جاجرم در جدول (۴) آورده شده است. در آزمایش‌های انجام گرفته در ابتدا تأثیر زمان سودیابی بر روی بازدهی سودیابی گل قرمز مورد بررسی قرار گرفت سپس تأثیر میزان آهک اضافه شده نسبت به زمان سودیابی مطالعه شد. آزمایش‌ها در فشار اتمسفری انجام شد. طبق تجربیات کارخانه‌های آلومین مجارستان در فرایند سودیابی از گل با استفاده از آهک، ماکزیمم بازیابی سود در ترکیب گل در دمای (۱۰۵-۱۰۰) درجه سلسیوس به دست می‌آید. در آزمایش‌های انجام گرفته دمای در نظر گرفته شده ۹۰ درجه سلسیوس و یا بالاتر است.

۲-۱ زمان سودیابی

یکی از پارامترهای مهم در فرایند بازیافت سود از گل قرمز مدت نگهداشت در واکنش می‌باشد. در کارخانه‌های تولید آلومین این فرایند در مخازن بازیافت سودسوزآور انجام می‌گیرد. به عبارتی، طراحی به گونه‌ای انجام می‌شود که زمان لازم برای انجام واکنش و آزاد شدن سود منقضی شود. در نمونه مورد نظر (گل قرمز) غلظت اولیه سود ۱۳/۶ گرم در لیتر Na_2O تخمین زده شد دما بالاتر از ۹۰ درجه سلسیوس و غلظت مواد جامد ۲۶۵/۵ گرم در لیتر بوده است. بازدهی سودیابی با گذشت زمان برای دو حالت در نظر گرفته شد. در حالت اول غلظت نهایی سود در محلول به دست آمده از صاف کردن گل قرمز ۳۶ گرم در لیتر و در حالت دوم غلظت نهایی ۳۱/۳ گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. منحنی بازدهی سودیابی برای آزمایش‌های فوق در شکل (۱) نشان داده شده است. همانطور که شکل نشان می‌دهد روند تغییرات برای هر دو یکسان می‌باشد. از تجربیات و آزمایش‌های سودیابی و نمودار بازیابی نتیجه می‌شود که زمان اپتیمم (مطلوب) سودیابی در مورد گل قرمز در محدوده (۴-۶) ساعت تغییر می‌کند. به طور کلی حداقل زمان نگهداری در فرایند سودیابی ۲ ساعت، و دما ۹۰ درجه سلسیوس است. از طرف دیگر افزایش مدت نگهداری تا بیش از ۶ ساعت باعث افزایش زیاد هزینه‌ها برای گرم نگهداشتن دوغاب می‌گردد، در حالیکه در بازدهی سودیابی تغییر محسوسی حاصل نمی‌شود. لذا با توجه به اینکه افزایش مدت فرایند تا بیش از ۴ ساعت، تغییر چندانی در میزان بازیافت سودسوزآور ایجاد نمی‌کند و همچنین با در نظر گرفتن سایر محدودیتها که در سایر واکنشها و فرایندهای بعدی اعمال می‌شود می‌توان زمان بهینه را ۴ ساعت عنوان کرد.

محلول شود. پس از جداسازی محلول مقداری کربنات سدیم و پتاس در باقیمانده جامد باقی می‌ماند، پالپ (گل باقیمانده) را مجدداً در ۱۰۰ درجه سلسیوس مخلوط می‌کنند تا بتوان Al_2O_3 را به دست آورد [۲].

در بعضی از گزارشات توصیه می‌شود که به منظور به دست آوردن و جداسازی قلیا و آلومین، گل قرمز را با آهک در محلول سودسوزآور و در دمای (۲۰۰-۱۸۰) درجه سلسیوس فراوری نمایند. در شرایط دمایی فوق با فراوری گل قرمز توسط آب و CaO ، فقط Na_2O وارد محلول می‌گردد.

۲-۱ جداسازی هیدروآلومینوسیلیکات سدیم از گل قرمز

به‌وسیله محلولهای آلومینات و قلیا

ویانکین^۱ و دیگران کوشیده‌اند که آلومین را از گل قرمز در کارخانه‌های اورال، از راه انحلال محلولهای آلومینات مادر و محلول برگشتی از فرایند و نیز به کمک محلول خالص NaOH به دست آورند. انحلال به کمک محلول مادر به نسبت (مایع/جامد) ۲۴ و به کمک محلول برگشتی از فرایند به نسبت (مایع/جامد) ۱۲ به منظور حل کردن ماکزیمم هیدروآلومینوسیلیکات سدیم از گل انجام می‌شود. در یک چنین انحلالی Al_2O_3 ، Na_2O و SiO_2 به نسبتی نزدیک به ترکیب هیدروآلومینوسیلیکات سدیم وارد عمل می‌شوند. محلولهای آلومینات حاصل شده را که به سیلیس آلوده هستند، در دمای بالاتر از ۲۲۰ درجه سلسیوس و با افزودن آهک به منظور ایجاد هیدروآلومینوسیلیکات سدیم و کلسیم سیلیس زدایی می‌کنند، زیرا در این صورت می‌توان قلیا را از آن بازیابی کرد.

تجارب مشابهی در مؤسسه وامی^۲ توسط پرومین^۳ و ملنیکوا^۴ در مورد گل قرمز حاصله از فراوری بوکسیت‌های یوگسلاوی و گینه به عمل آمده است. با محلولهای NaOH ، KOH و آلومینات در گردش در (۲۴۰-۲۰۰) درجه سلسیوس، می‌توان از گل قرمز تا ۶۰ درصد Al_2O_3 ، ۸۰ درصد SiO_2 و ۶۵ درصد Na_2O بازیابی کرد [۷].

۲-۲ بازیافت سودسوزآور از گل قرمز نمونه بوکسیت جاجرم

در این تحقیق تأثیر بعضی از عوامل در بازدهی سودیابی از گل قرمز خروجی از واحد فرایندی تولید آلومین جاجرم مورد بررسی قرار

1. Viankin
2. VAMI Institute
3. Proumin
4. Mlnikva

جدول ۴- ترکیبات حاصل از تجزیه بوکسیت جاجرم

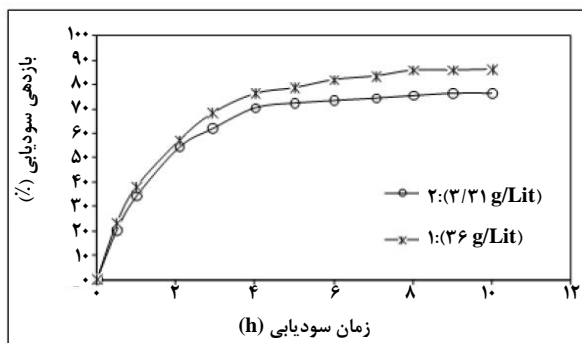
درصد ترکیب	نوع ترکیب
۴۷/۴	Al ₂ O ₃
۱۰	SiO ₂
۲۲/۴	Fe ₂ O ₃
۵/۶	TiO ₂
۱۱/۳	LOI
۰/۷	CaO
۰/۵	MgO
۰/۰۴	Na ₂ O
۰/۴	K ₂ O
۰/۱۷	P ₂ O ₅
۰/۱۵	V ₂ O ₅
۰/۰۵	Cr ₂ O ₃
۰/۰۴	S
۰/۰۸	Corg
۴/۷۴	Module

در آزمایش دیگر، مقادیر مختلف سودیابی از گل قرمز با مقادیر مختلف آهک افزوده شده مورد سنجش و اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش فوق در شکل (۲) نشان داده شده است. در این نمودار در نسبت‌های مولی مختلف (CaO/Na₂O)، میزان بازیافت سودسوزآور با گذشت زمان نشان داده شده است. از منحنی‌های ۱ و ۲ آشکار است که به نسبت مولی (CaO/Na₂O) با ۲/۵۹ و ۳/۴۶، سودیابی ۹۰٪ در زمان (۴-۵) ساعت حاصل می‌گردد با کاهش نسبت مولی (CaO/Na₂O) بازدهی سودیابی به شدت کاهش می‌یابد. همچنانکه نمودار نشان می‌دهد اختلاف مقدار بازیافت سودسوزآور در نسبت‌های پایین به وضوح نشان داده شده است و همچنانکه نسبت آهک به مقدار سود در گل قرمز افزایش می‌یابد بازدهی فرایند بالا می‌رود این بازدهی تا نسبت ۲/۵۹ حالت افزایشی دارد اما افزایش نسبت فوق تا ۳/۴۶ تغییر چندانی در میزان بازیافت سودسوزآور نسبت به ۲/۵۹ نشان نمی‌دهد به عبارتی در اینجا می‌توان یک نسبت بهینه را برای نسبت مولی (CaO/Na₂O) تعریف کرد، که بالاتر از این نسبت تأثیر چندانی در بازیابی مشاهده نمی‌شود و اقتصادی نیز نمی‌باشد. بنابراین حداقل میزان آهک اضافه شده در فرایند بازیافت سودسوزآور از گل قرمز باید ۲/۵ کیلوگرم به ازای هر کیلوگرم NaOH مصرف شده باشد.

نکته جالب توجه دیگر که از آزمایش‌های فوق به دست می‌آید زمان کامل شدن واکنش است. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که با افزایش نسبت مولی (CaO/Na₂O) زمان تکمیل واکنش نیز افزایش می‌یابد به عبارتی هر چند در نسبت‌های مولی کمتر از ۱/۵ پیشرفت واکنش در یک ساعت اول بیش از ۹۰ درصد صورت می‌گیرد اما با افزایش این نسبت به میزان بالاتر زمان تکمیل واکنش نیز افزایش خواهد یافت که برای نسبت ۲/۶ این میزان ۴ تا ۶ ساعت پیشنهاد می‌گردد که البته تعیین دقیق زمان بر اساس سایر محدودیت‌های عملیاتی و مباحث اقتصادی می‌باشد که این محدودیت‌های عملیاتی به همراه کاهش شیب نمودار باعث می‌گردد تا انتخاب برای طراحی در شرایط عملیاتی در محدوده فوق نوسان داشته باشد.

۲-۲ مشخصات آهک افزودنی

کانی اصلی تشکیل‌دهنده سنگ آهک، کربنات کلسیم و ناخالصی‌های آن، سیلیس، اکسید آهن، اکسید منیزیم و اکسید آلومینیم می‌باشد. سنگ آهکی که جهت تولید آهک و یا شیر آهک



شکل ۱- منحنی بازدهی سود یابی با تغییرات زمان در دو غلظت نهایی متفاوت سود

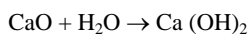
مشخصات شیمیایی سنگ آهک مورد استفاده در آزمایشات فوق در جدول (۵) آمده است. در ترکیب بیان شده حداقل ۹۵ درصد اکسید کلسیم در واکنش فعال می‌باشد. ترکیبات نیز به صورت درصد وزنی بیان شده‌اند. همچنانکه مشخص است ۵۲ درصد وزنی سنگ آهک را آهک زنده تشکیل می‌دهد و بیش از ۴۰ درصد وزنی خود را در فرایند تکلیس به دلیل خروج گاز CO₂ از دست می‌دهد. به عبارتی همچنانکه ترکیب شیمیایی نشان می‌دهد بیش از ۹۳ درصد سنگ آهک فوق را کربنات کلسیم تشکیل داده است و مواد مزاحم نیز از ۵ درصد تجاوز نمی‌کند لذا از نظر ترکیب شیمیایی جهت استفاده در فرایند مناسب است. خصوصاً اینکه مقدار اکسید منیزیم آن پایین باشد و از ۱ درصد تجاوز نکند.

جدول ۵- تجزیه شیمیایی سنگ آهک افزودنی

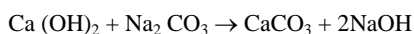
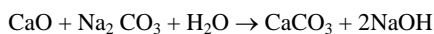
جهت فرایند بازیابی سود

درصد وزنی ترکیب	نوع ترکیب
۵۲	CaO
۲	SiO ₂
۱	Fe ₂ O ₃
۱	MgO
۱	Al ₂ O ₃
۴۳-۴۲	LOI

واکنش هیدروکسید شدن آهک یا در واقع تهیه شیرآهک به شکل زیر است.



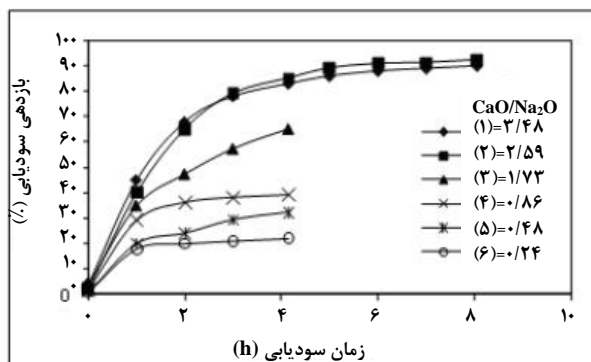
آهک و شیرآهک هر دو با نمکهای سدیم، از جمله کربنات سدیم محلول در دوغاب، وارد واکنش شده و تولید سود می‌نماید.



هم چنانکه مشاهده می‌شود چه آهک زنده و چه شیر آهک واکنش سودیابی از گل قرمز را انجام می‌دهند. اما تجربه نشان داده است که

1. LOI: Loss by Ignition

بکار می‌رود باید دارای حداقل ناخالصیها باشد و از لحاظ مکانیکی استحکام لازم را داشته باشد.



شکل ۲- تأثیر مقادیر مختلف نسبت CaO/Na₂O

در بازدهی سودیابی

اکسید کلسیم (CaO) دارای درجه خلوص مختلف است که از تکلیس سنگ آهک بوجود می‌آید. به طور کلی آهک به دوصورت است:

(۱) آهک حاوی مقدار زیاد CaO و حتی الامکان مقدار کم ناخالصیها از قبیل MgO, SiO₂ و Al₂O₃ یا آهک مرغوب که دارای بیش از ۹۵ درصد CaO باشد.

(۲) آهک با مقدار کم CaO و مقدار زیاد ناخالصیها از قبیل MgO, SiO₂ و Al₂O₃.

مشخصات آهک بستگی کامل به مشخصات ماده اولیه آن یعنی سنگ آهک دارد. هنگام ارزیابی سنگ آهک برای تولید آهک نسبت CaO با ناخالصیهای موجود سنجیده می‌شود. یکی از پارامترهای مهم دیگر در فرایند تبدیل سنگ آهک به آهک، ساختمان کریستالی سنگ آهک است که بایستی کاملاً ریز دانه باشد.

در فرایند سودیابی گل آهک افزودنی می‌تواند به شکلهای مختلف باشد. به منظور مشخص کردن میزان تأثیر آهک، بازدهی آهک معرفی می‌گردد. بازدهی آهک، میزان CaO قابل تبدیل به CaCO₃ است و از محاسبه میزان کربنات در باطله سودیابی به دست می‌آید. در واقع هر چه خلوص CaO بیشتر باشد، بازدهی آهک بالاتر است. آهک کلسیم با سطح مخصوص بالا یا در واقع آهک سریع التبدیل به شیر آهک، بازدهی پایین تری در سودیابی از گل دارد تا آهکی که به کندی تبدیل به شیر آهک می‌شود.

خلاصه پارامترهای مختلفی در بازدهی فرایند بازیافت سودسوزآور از گل قرمز مؤثر است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- تأثرات دما و محدوده دمایی
- مدت توقف در فرایند بازیافت سودسوزآور (که در مقیاس صنعتی می‌توان به زمان توقف در مخازن بازیافت سودسوزآور اشاره داشت)
- میزان افزودن CaO در واکنش
- نوع و مشخصات آهک افزودنی
- بدون شک پارامترهای بیان شده بر اساس نوع سنگ بوکسیت و نوع ترکیبات در واکنش تعیین می‌گردد که با تغییر نوع و سختی بوکسیت و ترکیب گل قرمز می‌تواند تغییر کند. با توجه به نتایج اطلاعات آزمایشگاهی و صنعتی شرایط مناسب سودیابی برای نمونه گل قرمز حاصل از فرایند تولید آلومین جاجرم (و یا مشابه) به قرار زیر می‌باشد.

- اطلاعات و نتایج حاصل از تحقیقات در کارخانه‌های تولید آلومین نشان می‌دهند که دمای مناسب جهت سودیابی بالاتر از ۹۰ درجه سلسیوس است که در فرایند فوق به دلیل اطمینان از تکمیل شدن واکنش ترجیحاً ۱۰۰ درجه سلسیوس پیشنهاد می‌گردد.
- آزمایش‌ها نشان داد که بهترین مدت برای نگهداری جهت بازیافت سودسوزآور ۴ تا ۵ ساعت در واکنش می‌باشد که با توجه به مسایل اقتصادی و بهینه بودن، ۴ ساعت پیشنهاد می‌گردد.
- مقدار آهک افزودنی بهینه ۲/۵ مول به ازای هر مول Na₂O گل نمونه می‌باشد.

- تجربیات حاصل بیان می‌کنند که نوع آهک افزودنی بستگی به مشخصات سنگ مخزن بوکسیت دارد همچنین آهکهای سریع‌التبدیل به شیر آهک با سطح مخصوص بالا باعث هدر رفتگی بیشتر آلومین، در فرایند تولید می‌شوند. لذا در صورت استفاده از آهکهای سریع‌التبدیل به شیر آهک با سطح مخصوص بالا، در نظر گرفتن این موضوع و طراحی مناسب جهت جلوگیری از هدر رفتن آلومین، لازم و ضروری می‌باشد.
- نتایج نشان داد که شرایط بالا می‌تواند بازدهی ۹۰٪ سودیابی را نتیجه دهد.

در ادامه به دلیل بعضی ترکیبات مناسب در گل قرمز خروجی از فرایند و جهت استفاده بهینه از محصولات جانبی فرایند تولید آلومین، پیشنهاد می‌شود تحقیقات بیشتری جهت استفاده از گل

وقتی آهک زنده اضافه می‌شود، واکنش شیرآهک قبل از واکنش سودیابی انجام می‌گیرد. با توجه به گزارشات و تجربیات انجام شده، استفاده از آهکهای سریع‌التبدیل به شیرآهک با سطح ویژه بالا می‌تواند تلفات آلومین بیشتری به همراه داشته باشد، که البته توضیح خاصی برای این موضوع وجود ندارد. همچنانکه گفته شد تأثیر سودیابی کلسینه سریع‌التبدیل به شیر آهک به اندازه آهکهای بطئی‌التبدیل به شیر آهک نیست. این مسئله در مورد تأثیر خود شیر آهکهای تولیدی این دو نوع آهک نیز در سودیابی صادق است. در ادامه در جدول (۶) مشخصات گل قرمز حاصل از انحلال بوکسیت جاجرم پس از بازیافت سودسوزآور از آن آورده شده است.

جدول ۶- مشخصات گل قرمز حاصل از انحلال بوکسیت جاجرم

نوع ترکیب	درصد ترکیب
Al ₂ O ₃	۱۴/۲
Na ₂ O	۳/۳
CaO	۲۲/۸
SiO ₂	۱۱/۶
Fe ₂ O ₃	۲۹/۲
TiO ₂	۶/۱
L.O.I	۱۰/۸

۳- نتیجه‌گیری و بحث

با توجه به مشخصات گل قرمز و فرایند تولید آلومین جاجرم که به دلیل دیاسپوری بودن و سخت بودن نوع بوکسیت جاجرم، می‌بایست در دما و فشار بالا عمل انحلال انجام شود، آب موجود در گل بعد از جداسازی از محلول آلومینت حدود ۷۵ درصد و پس از صاف کردن حدود ۴۰ درصد می‌باشد. بدین جهت در نگهداری آن در سد باطله می‌بایست شرایطی در نظر گرفته شود تا از نفوذ قلیا در آبهای زیرزمینی جلوگیری گردد در ضمن خشک شدن نیز گرد و غبار ایجاد نشود که به وسیله اضافه نمودن آب آهک در جهت بازیافت سودسوزآور می‌توان به این هدف دست یافت. همچنین بررسی‌های انجام شده و مطالعات نشان می‌دهند که به‌طور

مراجع

- [1] Şahin, S., The Determination of the Red Mud of Alumina Production from Bauxite, J.Tech.Univ.İst., 35, 4, (1977).
- [2] Csanady, A., Imre, A. and Orban, M., Physico-chemical Characteristics and Analysis of Bauxite, Red Mud, Alumina Hydrate and Alumina, ALUTERV-FKI, Budapest, (1979).
- [3] Sigmond, G., Solymar, K., Toth, P., Chemical Background and Technology of Processing Bauxite to Alumina, ALUTERV-FKI, Budapest, (1979).
- [4] Solymar, K., Zldi, J., Toth, C., Feher, I. and Bulkai, D., Group Training in Production of Alumina, Vol. 8, ALUTERV-FKI, Budapest, (1979).
- [5] Şahin, S., "The Use of Raw Materials in the Alumina Processing Industry", J.Tech..Univ.İst., Vol: 48, 4, (1994).
- [6] Snel, F. and Hilton, S., "Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis", Vol:5, John Wiley & Sons, Interscience Publishers, New York, (1967).
- [7] VAMI, "Report on the Scientific Research Work out of the Equipment Technological Flowsheet of Alumina Production from Turkish Bauxites of Doğankuzu and Mortaş Deposites", Leningrad, (1988).
- [8] Jane C. Miller and James N. Miller, "Statistics for Analytical Chemistry", Ellis Horwood Ltd publication; 3rd edition, 125-175, (1993).
- [9] Wefers, K., Misra, C., "Oxides and Hydroxides of Aluminum", Alcoa Laboratories, Alcoa Center, PA., United States, (1987).
- [10] Wafers, K., Bell, M. G., "Oxides and Hydroxides, Aluminum", Tech. Paper No.19, Aluminum Company of America Alcoa Center, PA., United States, (1982).

قرمز برای بازیابی عناصر تشکیل دهنده آن صورت پذیرد. آنچه که تحقیقات و بررسی‌ها نشان می‌دهند احتمال استفاده از گل قرمز در موارد زیر وجود خواهد داشت که باید مورد بررسی بیشتر جهت عملیاتی نمودن آن انجام پذیرد.

- تولید محصولات ساختمانی از قبیل سیمان، آجر و سایر محصولات ساختمانی

- جهت استفاده در صنایع فولاد (خصوصاً در کوره‌های بلند) و یا روان‌سازی در تولید فولاد

- در صنعت راه‌سازی

- بازیابی عناصر تشکیل دهنده آن البته با رویکرد و مطالعه اقتصادی آن

بنابراین امکان سنجی تأسیس هر یک از واحدهای تولیدی مورد نظر در کنار فرایند تولید آلومین همراه با مطالعات اقتصادی فرایند و صنعت مورد نظر پیشنهاد می‌گردد.