

آموزش امکان بازیابی اکسید تیتانیم و افزایش مدول Al_2O_3/SiO_2

در بوکسیت با استفاده از روش فلوتاسیون معکوس

سید مهدی حسینی^۱، علی دهقانی^۲، امیر حسین کوهساری^۳ و محمد خسروی^۴

چکیده

وجود تعدادی از ترکیب‌ها مانند اکسید سیلیسیم و تیتانیم در بوکسیت، یکی از مهمترین عوامل کاهش کیفیت و نامرغوبی محصولات دیرگداز بحساب می‌آیند. در این پژوهش امکان بازیابی و استخراج این ترکیب‌ها و افزایش مدول Al_2O_3/SiO_2 در کانسنگ بوکسیت شهید نیلچیان در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از روش فلوتاسیون معکوس بررسی گردیده است. در این مطالعه از بین عوامل موثر بر فرآیند فلوتاسیون، سه عامل PH، نوع و مقدار کلکتور و بازداشت کننده انتخاب شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. از تالو آلکالی آمین به عنوان کلکتور و از اسید تانیک بعنوان بازداشت و متفرق کننده استفاده شده است. با استفاده از این روش مقدار ترکیب‌های تیتانیم دار و مدول Al_2O_3/SiO_2 به ترتیب کاهش و افزایش قابل توجهی یافته است. از بین سه عامل مورد بررسی، PH، مؤثرترین عامل در کارایی فلوتاسیون بوکسیت این نوع ارزیابی شده است.

کلمات کلیدی: بوکسیت، فلوتاسیون معکوس، بازیابی، دوپلان، دیرگداز، فرآوری

۱- مقدمه

بدون شک فلوتاسیون یکی از کارآمدترین روش‌های فرآوری مواد محسوب می‌گردد [۱]. فلوتاسیون در ابتدا برای فرآوری کانه‌های سولفور مس، سرب و روی مورد استفاده قرار گرفت و سپس در فرآوری کانه‌های اکسیده و غیر فلزی گسترش یافت [۱، ۲]. در این روش ذرات در داخل آب، پالپی را تشکیل می‌دهند. این پالپ با بعضی مواد شیمیایی مانند متفرق کننده^۱ (نقش متفرق کردن ذرات ریز یا نرمه از سطح کانی‌ها را دارا است) بازداشت کننده^۲ (توانایی آبیگر کردن سطوح ذرات را دارا است) و کلکتور^۳ مخلوط می‌گردد. پالپ آماده شده وارد سلول‌های فلوتاسیون^۴ می‌شود. ذرات آبران شده توسط حباب‌های هوا به سطح پالپ منتقل شده و از سلول خارج می‌گردند [۳].

در اکثر کانی‌های غیر فلزی، شرایط انجام فلوتاسیون به مراتب پیچیده تر و مشکل تر از کانی‌های فلزی است [۴]. در مورد فلوتاسیون بوکسیت این موضوع را بطور بسیار آشکار می‌توان در مطالعات گذشته مشاهده نمود. در کانسارهای بوکسیت به دلیل نزدیک بودن خصوصیات شیمی- فیزیکی سطوح کانی‌های گانگ و مفید، جدایش کانی‌های گانگ و کانی‌های مفید از یکدیگر به سختی انجام می‌شود [۵ - ۷]. مطالعات کمی که در این زمینه در دنیا انجام شده، خود نیز نشانه‌ای از پیچیدگی و مشکل بودن فرآوری کانسارهای بوکسیت است [۷].

بوکسیت یکی از پر مصرف ترین مواد مورد استفاده در تهیه محصولات دیرگداز و نسوز در دنیا به شمار می‌آید. وجود ترکیب‌هایی مانند ترکیب‌های سیلیسیم و تیتانیم تأثیر بسزایی در کیفیت نهایی محصولات دیرگداز دارد و افزایش مقادیر آنها می‌تواند تأثیرات عمده‌ای بر روی خواص و کیفیت حرارتی، مکانیکی و فیزیکی این محصولات بگذارد.

مقاله در تاریخ ۸۶/۹/۷ دریافت و در تاریخ ۸۶/۱۲/۲۰ به

تصویب نهایی رسید.

^۱ کارشناس ارشد، دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

پست الکترونیکی: Ng_kg2000@yahoo.com

^۲ استادیار، دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

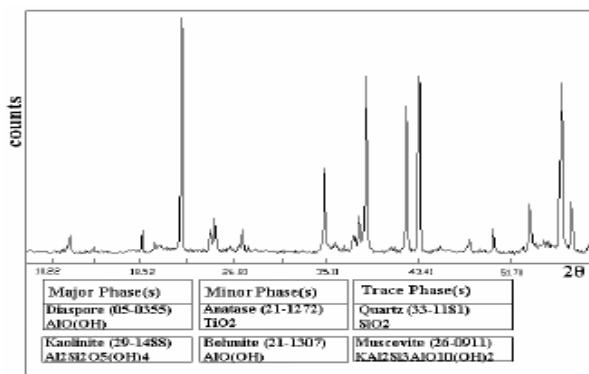
^۳ استادیار، دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

^۴ استادیار، دانشگاه آزاد بافق یزد

با در نظر گرفتن نتایج حاصل از آنالیز های شیمیایی و مینرالوژیکی کانسنگ دوپلان، روش مناسب فلوتاسیون و همچنین مواد شیمیایی مورد نیاز انتخاب شده است. روش فلوتاسیونی که مورد استفاده قرار گرفته، فلوتاسیون معکوس^۵ است. در آزمایش های فلوتاسیون معکوس از مواد شیمیایی زیر به عنوان مواد لازم جهت انجام آزمایش ها بهره گرفته شده است. از تالوآلکالی آمین به عنوان کلکتور (کلکتور کائولن) و اسید تانیک به عنوان بازداشت کننده دیاسپور و روغن کاج به عنوان کف ساز و اسید سولفوریک و کربنات سدیم به عنوان تنظیم کننده PH استفاده شده است.

۳- یافته ها

با انجام آزمایش های تجزیه شیمیایی و بررسی کانی شناسی که بر مبنای آزمایش های فلوتاسیون بر روی کانسنگ بوکسیت شهید نیلچیان صورت گرفته مشخص شده است که عمده کانی های تشکیل دهنده این کانسنگ از کانی های کائولینیت، دیاسپور، آناتاز، بوهمیت و هماتیت تشکیل شده و کانی های مسکویت کوارتز و دولومیت نیز در بعضی نمونه ها مشاهده شده است شکل ۱.



شکل ۱ نتایج آنالیز XRD نمونه بوکسیت

اکسید های آلومینیم، سیلیسیم، تیتانیوم و آهن چهار ترکیبی هستند که حدود ۸۰٪ ترکیب شیمیایی این کانسنگ را تشکیل می دهند. ۲۰٪ دیگر مربوط به آب تبلور، اکسید عناصر سنگین چون زیرکونیم، استرانسیم و وانادیم و ... است که نتایج آن در جداول ۱ و ۲ آمده است.

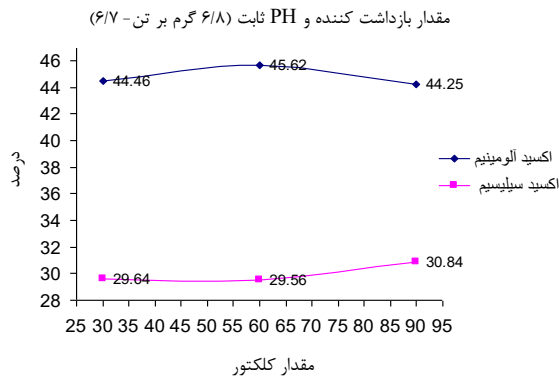
کانسنگ بوکسیت شهید نیلچیان (دوپلان) در چهار محال و بختیاری با داشتن حدود ۱۱ میلیون تن ماده معدنی بوکسیت، یکی از مهمترین منابع تأمین کننده مواد اولیه صنایع نسوز شرکت ذوب آهن اصفهان است. این کانسنگ در ۲۱۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان و ۱۱۰ کیلومتری جنوب شهرکرد، قرار گرفته است. نزدیک ترین فاصله ارتباطی بین کارخانه ذوب آهن اصفهان و معدن دوپلان از طریق مبارکه (خط شاه لوله گاز) است [۸، ۹].

هدف از انجام این مطالعه بررسی قابلیت استخراج اکسید تیتانیوم در قالب کانی آناتاز و افزایش مدول اکسید آلومینیم به اکسید سیلیسیم (کاهش TiO_2 و افزایش مدول اکسید آلومینیم به سیلیسیم) به منظور افزایش کیفیت محصولات نهایی و افزایش راندمان تولید این مواد، با توجه به طرح گسترش واحد های کوره بلند ذوب آهن و جلوگیری از هدر رفتن مواد به دلیل وجود بیش از استاندارد بعضی ترکیبات در خوراک اولیه است.

۲- مواد و روش تحقیق

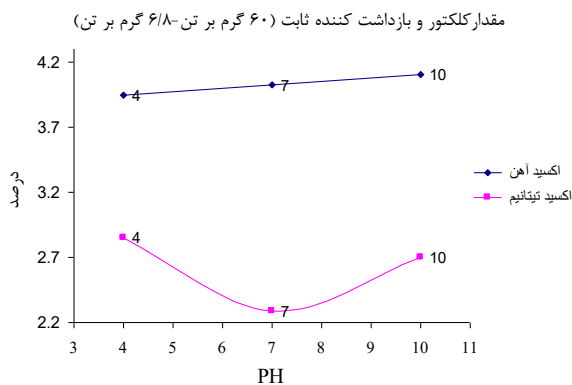
از کانسنگ بوکسیت دوپلان حدود ۳۰۰ کیلوگرم نمونه بر مبنای روش ها و معیار های استاندارد نمونه برداری، نمونه گیری شده است. نمونه برداری به روش شیاری و توده ای صورت گرفته و بدین منظور از تمام مکان هایی که در حال حاضر ماده معدنی برداشت می شود و یا در گذشته برداشت می شده است، تمام کار های معدنی صورت گرفته و همچنین مواد استخراج شده از کانسار، نمونه هایی به میزان ۵ کیلوگرم برداشت شده است. برای برداشت این میزان نمونه در ابتدا شبکه نمونه برداری طراحی گردیده و سپس اقدام به نمونه برداری شده است و بعد نمونه ها در طی ۳ مرحله به ترتیب توسط سنگ شکن فکی و سنگ شکن استوانه ای خرد شده اند. با استفاده از روش تقسیم های متوالی، این میزان نمونه به نمونه های کوچکتر (۳ کیلوگرمی) کاملاً همگن و معرف، تبدیل و آماده برای انجام آزمایش های فلوتاسیون شده است. ۶ عدد از نمونه های معرف برای شناسایی ترکیب شیمیایی و عناصر تشکیل دهنده کانسنگ و نوع کانی های آن، توسط دستگاه های XRD و XRF و میکروسکوپ های نوری مورد آنالیز شیمیایی و مینرالوژیکی قرار گرفته اند.

با افزایش مقدار کلکتور و ثابت ماندن دو پارامتر دیگر، تا مقدار معین (۶۰ گرم بر تن) مقدار اکسید سیلیسیم کاهش و سپس افزایش می‌یابد. در همین شرایط تغییرات اکسید آلومینیم عکس تغییرات اکسید سیلیسیم است شکل ۴.



شکل ۴ تغییرات مقدار اکسید سیلیسیم و آلومینیم نسبت به تغییرات مقدار کلکتور در ته ریز

با اعمال شرایط آزمایش‌های گذشته، مقدار اکسید آهن روندی افزایشی و اکسید تیتانیم روندی کاهش‌ی را از خود نشان می‌دهد شکل ۵.



شکل ۵ تغییرات مقدار اکسید آهن و تیتانیم نسبت به در ته ریز PH تغییرات

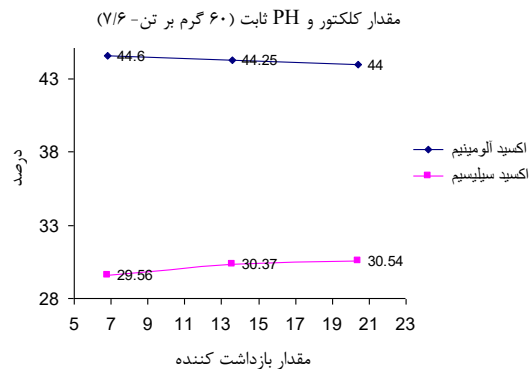
جدول ۱ نتایج آنالیز های XRF بوکسیت دوپلان

Al_2O_3/SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	SiO_2	Al_2O_3
۱/۴۵	۳/۱۶	۴/۵۷	۲۹/۲۸	۴۵/۳۰

جدول ۲ نتایج آنالیز های XRD بوکسیت دوپلان

فازهایی در حد اثر	کانیهای فرعی	کانیهای اصلی
کوارتز - دولومیت	آناتاز - هماتیت	دیاسپور - کائولینیت

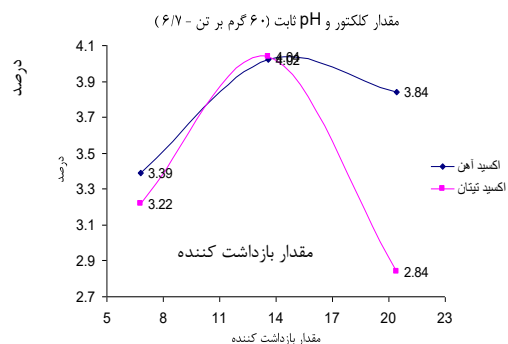
با ثابت در نظر گرفتن PH و مقدار کلکتور و تغییر میزان بازداشت کننده، اکسید آلومینیم و سیلیسیم در کنسانتره کاهش می‌یابد (شکل ۲).



شکل ۲ تغییرات مقدار اکسیدهای سیلیسیم و آلومینیم نسبت به تغییرات مقدار بازداشت کننده در ته ریز

در همین شرایط در خصوص میزان اکسید آهن و تیتانیم روندی افزایشی و کاهش‌ی قابل مشاهده است شکل ۳.

مقدار کلکتور و PH ثابت (۶۰ گرم بر تن - ۶/۷)



شکل ۳ تغییرات مقدار اکسید آهن و تیتانیم نسبت به تغییرات مقدار بازداشت کننده در ته ریز

گذشت زمان و افزایش بیش از نیاز بازداشت کننده در محیط، کارایی آن به سرعت نزول می نماید.

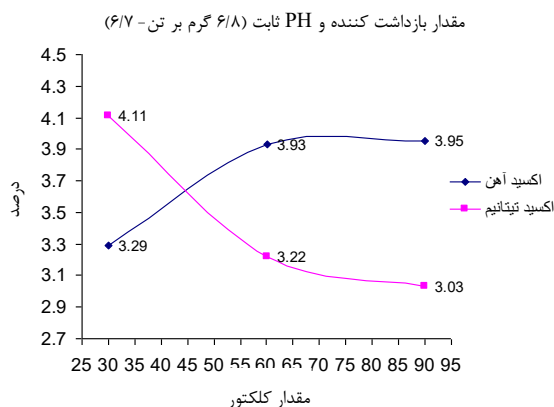
۳- نتایج و بحث

از بررسی نتایج حاصل از تست های انجام شده بر روی بوکسیت و مقادیر ترکیبات مورد استفاده در فلوتاسیون این بوکسیت مشاهده می شود که با افزودن مقادیر بیشتر بازداشت کننده به محیط نتیجه عملیات معکوس می گردد و بازیابی اکسید سیلیسیم کاهش و دیاسپور افزایش می یابد. این موضوع می تواند از کارایی نامناسب بازداشت کننده و یا زمان ماند ناکافی برای آماده سازی ناشی شده باشد.

افزایش بیش از حد کلکتور در محیط، باعث شده که علاوه بر شناور شدن کانی کائولینیت، کانی دیاسپور نیز شناور شود زیرا قدرت انتخابی این نوع کلکتورها بسیار کم است. از طرف دیگر با افزایش غلظت کلکتور در محیط، غلظت کلکتور به غلظت میسلی شدن این نوع کلکتور که حدود $(M=4/8 \times 10^4)$ است، نزدیک می شود. این موضوع خود باعث کاهش کارایی فرآیند می گردد. PZC^۶ (نقطه بار صفر)، غلظتی از PH محلول است که در آن بار سطحی ذرات صفر می شود. کانی آناتاز در بازیابی اکسید تیتانیوم در شرایط افزایش کلکتور تاثیر گذار بوده اند (PZC آناتاز برابر با ۶/۸ و PH محیط سلول برابر با ۶/۵ است). در این شرایط سطح کانی آناتاز دارای بار مثبت است و نمی تواند توسط کلکتور کاتیونی به سطح سیال حمل شود و ته نشین می گردد.

PZC کانی های دیاسپور و کائولینیت به ترتیب برابر با ۶/۴ و ۳/۶ است. در PH بیش از ۶/۴ سطح کانی دیاسپور دارای بار منفی و در بین بازه PH ۶/۴ تا ۳/۶ دارای بار مثبت می گردد. در این بازه سطح کانی کائولینیت منفی است. پس کانی کائولینیت فقط می تواند توسط یک کلکتور کاتیونی شناور شده و از دیاسپور جدا گردد. با عبور PH از مقدار ۶/۴ به دلیل منفی شدن سطح کانی دیاسپور، مقداری از کانی دیاسپور شناور می شود. با افزایش PH در PH بیش از ۱۰ به دلیل هیدرولیز شدن کلکتور های کاتیونی این کلکتور خاصیت خود را از دست می دهد و

با تغییرات مقدار PH و عدم تغییر دو عامل دیگر، اکسید آلومینیم روندی افزایشی و اکسید سیلیسیم روندی کاهش از خود نشان می دهند شکل ۶.



شکل ۶ تغییرات مقدار اکسید آهن و تیتانیوم نسبت به تغییرات مقدار کلکتور در ته ریز

البته این نکته حائز اهمیت است که در PH حدود ۱۰ این روند به روندی ثابت تبدیل می گردد. در این شرایط روند تغییرات اکسید آهن روندی صعودی و روند تغییرات اکسید تیتانیوم روندی صعودی (تا PH برابر ۷) و نزولی است (شکل ۷).



شکل ۷ تغییرات مقدار اکسید آلومینیم و سیلیسیم در ته ریز PH نسبت به تغییرات

با ثابت ماندن دو عامل میزان غلظت کلکتور و PH، همزمان با افزایش بازداشت کننده، بازداشت کانی کائولینیت به همراه کانی دیاسپور آغاز می گردد اما با

می‌توان به نتایج حاصل شده در این تحقیق به شرح زیر اشاره نمود. کانسنگ بوکسیت شهید نیلچیان از کانی های اصلی دیاسپور، کائولینیت، آناتاز، هماتیت و گوتیت تشکیل شده است.

کارایی آن کاهش می‌یابد. در PH بیش از ۵ سطح کانی آناتاز مثبت می‌گردد و قابلیت شناور شدن توسط کلکتورهای کاتیونی را از دست می‌دهد و میزان بازیابی این کانی کاهش می‌یابد (جداول ۳ و ۴).

جدول ۳ شرایط آزمایش های فلوتاسیون

مقدار کف ساز (gr)	زمان آماده سازی (s)	درصد جامد (%)	دور موتور (rpm)	مقدار کلکتور (گرم/تن)	PH	مقدار بازداشت کننده (گرم / تن)	آزمایش
۰/۰۱	۴۵	۳۰	۱۱۰۰	۳۰	۶/۷	۶/۸۰	۱
۰/۰۱	۴۵	۳۰	۱۱۰۰	۶۰	۶/۷	۶/۸۰	۲
۰/۰۱	۴۵	۳۰	۱۱۰۰	۹۰	۶/۷	۶/۸۰	۳
۰/۰۱	۴۵	۳۰	۱۱۰۰	۶۰	۶/۷	۱۳/۶۰	۴
۰/۰۱	۴۵	۳۰	۱۱۰۰	۶۰	۶/۷	۲۰/۴۰	۵
۰/۰۱	۴۵	۳۰	۱۱۰۰	۶۰	۴	۶/۸۰	۶
۰/۰۱	۴۵	۳۰	۱۱۰۰	۶۰	۷	۶/۸۰	۷
۰/۰۱	۴۵	۳۰	۱۱۰۰	۶۰	۱۰	۶/۸۰	۸
۰/۰۱	۴۵	۳۰	۱۱۰۰	۹۰	۶/۷	۱۳/۶۰	۹

جدول ۴ نتایج آزمایش اکسید ها در ته ریز فلوتاسیون

راندمان	TiO_2 (درصد)	Al_2O_3/SiO_2	SiO_2 (درصد)	Al_2O_3 (درصد)	شماره آزمایش
۷۹/۷۹	۴/۱۱	۱/۵۳	۲۹/۶۴	۴۴/۱۶	۱
۷۱/۱۸	۳/۲۲	۱/۶۰	۲۹/۵۶	۴۴/۴۶	۲
۵۷/۸۲	۳/۰۳	۱/۶۵	۳۰/۸۶	۴۵/۶۲	۳
۷۴/۵۵	۴/۰۴	۱/۶	۳۰/۳۷	۴۴/۲۵	۴
۶۳/۷۳	۲/۲۴	۱/۵۵	۳۰/۵۴	۴۴/۰۰	۵
۶۵/۹۰	۲/۴۵	۱/۵	۳۰/۸۳	۴۳/۸۸	۶
۶۲/۷۴	۲/۲۹	۱/۷۴	۲۹/۱۳	۴۶/۷۷	۷
۷۱/۱۰	۲/۷۰	۱/۹۲	۲۸/۴۲	۴۶/۴۹	۸
۶۲/۱۰	۴/۳۴	۱/۵۸	۲۸/۱۶	۴۳/۱۰	۹

۴- نتیجه گیری

عمده اکسید سیلیسیم موجود در کانسنگ در کانی کائولینیت، عمده اکسید آلومینیم در کانی های دیاسپور و

بر اساس نتایج بدست آمده امکان بازیابی اکسیدتیتانیم در حد مطلوب و افزایش مدول در حد قابل قبول است. اما

۵- پی نوشت

- ¹ Dispersion.
² Depressant.
³ Collector.
⁴ Flotation cell
⁵ Reverses Flotation
⁶ Point zero center

مراجع

- [۱] نعمت الهی حسین "کانه آرای" جلد یک و دو، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۱.
- [۲] رضایی بهرام "روش پر عیار سازی ثقلی" انتشارات دانشگاه هرمزگان، ۱۳۷۵.
- [۳] رضایی بهرام "فلوتاسیون" انتشارات دانشگاه هرمزگان، ۱۳۷۵.
- [۴] عبدالهی هادی "افزایش مدول Al_2O_3/SiO_2 در نمونه کانسنگ بوکسیت بوکان با کاربرد روش های فرآوری و مدل سازی لیچینگ آن در شرایط اسیدی" دانشگاه تهران، ۱۳۸۴.
- [۵] دهخدا سودابه "بررسی امکان فرآوری TiO_2 از ذخایر بوکسیتی معدن چپو" دانشگاه ارومیه، دانشکده فنی، پروژه کارشناسی مهندسی معدن، گرایش استخراج، ۱۳۸۲.
- [6] Phalguni A., Jayant M.M., Natarajan K.A., "Biobeneficiation of *bauxite* Using *Bacillus Polymyxa*: Calcium and Iron Removal" International Journal of Mineral Proc, Elsevier Press, Vol. 48, 1996.
- [7] Crozier D.R., "Flotation Theory, Reagent and ore Testing", Pergamen Press, 1992.
- [۸] گزارش های- مهندسی معدن شهید نیلچیان (دوپلان)
- [۹] پایگاه ملی داده های علوم زمین www.ngdir.ir
- [10] Xu Z., Plitt V., Liu Q., "Recent Advances in Reverse Flotation of Diasporic Ores A Chinese Experience", Mineral Engineering Journal, Elsevier Press. Vol. 17, 2004. pp.1007-1015.
- [11] Wang .Y, Hu .Y, He .P, GU .G "Reverse Flotation for Removal of Silicates From Diasporic-Bauxite", Mineral Engineering Journal, Elsevier .Press, 2005, pp.63-68.
- [12] "Proceedings of Bauxite Symposium", Los Angeles, California, 1984.

بوهمیت، عمدۀ اکسید تیتانیوم در آناز و عمدۀ اکسید آهن در کانی های هماتیت و گوتیت موجود است. با استناد به نتایج بدست آمده، بنظر می رسد روش فلوتاسیون معکوس، روشی کارآمد در بازیابی اکسید تیتانیوم و نسبتاً کارآمد در بازیابی اکسید سیلیسیم و افزایش مدول Al_2O_3/SiO_2 با راندمان مناسب در بوکسیت دوپلان است. PH پالپ مهمترین عامل از میان سه عامل مؤثر در تغییرات میزان اکسید سیلیسیم، آلومینیم و تیتانیوم است که با تنظیم دقیق و اصولی PH می توان به نتایج مطلوبی نائل شد. با تنظیم دقیق PH محیط، مقدار اکسید تیتانیوم تا ۵۰ درصد مقدار اولیه قابل کاهش است. مدول اکسید آلومینیم نسبت به سیلیسیم نیز به میزان ۲۰ مقدار اولیه آن می تواند افزایش یابد. دومین عامل تاثیر گذار در کارایی این روش در بازیابی اکسیدها، عامل کلکتور است که با انتخاب مناسب نوع و مقادیر آن تا حدود زیادی کارایی این عملیات افزایش می یابد.

تشکر و قدر دانی

از آقایان دکتر دهقانی، دکتر کوهساری، مهندس غریبی، مهندس خسروی به دلیل همفکری و راهنمایی اینجانب در طول انجام پروژه سپاس گذاری و قدردانی می نمایم. از جناب آقای مهندس پورقاسمی مجری محترم طرح تشکر و قدردانی می نمایم. در نهایت بر خود لازم می دانم از ریاست محترم دفاتر شرکت تهیه و تولید مواد معدنی در تهران، مرکز تحقیقات مواد معدنی یزد، شرکت ذوب آهن اصفهان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات کشوری و شرکت استقلال سپاهان به دلیل همکاری صمیمانه آنها با اینجانب تشکر و قدردانی به عمل آورم. از ریاست محترم دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه یزد به دلیل در اختیار گذاشتن لوازم و امکانات مورد نیاز برای انجام پروژه سپاس گزارم.