

## آموزش امکان بازیابی اکسید تیتانیم و افزایش مدول $Al_2O_3/SiO_2$

### در بوکسیت با استفاده از روش فلوتاسیون معکوس

سید مهدی حسینی<sup>۱</sup>، علی دهقانی<sup>۲</sup>، امیر حسین کوهساری<sup>۳</sup> و محمد خسروی<sup>۴</sup>

#### 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

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. 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

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<sup>۱</sup> (نقش متفرق کردن ذرات ریز یا نرمه از سطح کانی‌ها را دارا است) بازداشت کننده<sup>۲</sup> (توانایی آنگیر کردن سطوح ذرات را دارا است) و کلکتور<sup>۳</sup> مخلوط می‌گردد.

پالپ آماده شده وارد سلول‌های فلوتاسیون<sup>۴</sup> می‌شود. ذرات آبران شده توسط حباب‌های هوا به سطح پالپ منتقل شده و از سلول خارج می‌گردند [۳].

مقاله: دریافت ۸۶/۹/۷، دریافت اصلاح نهایی ۸۶/۱۲/۲۰

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

پست الکترونیکی: [Ng\\_kg2000@yahoo.com](mailto:Ng_kg2000@yahoo.com)

۲- استادیار، دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

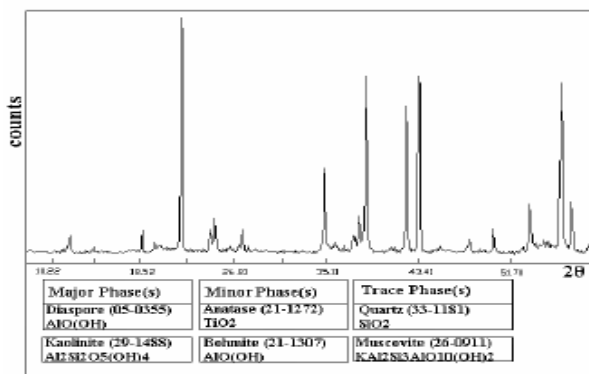
۳- استادیار، دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

۴- استادیار، دانشگاه آزاد بافق یزد

فلوتاسیونی که مورد استفاده قرار گرفته، فلوتاسیون معکوس<sup>۵</sup> است. در آزمایش‌های فلوتاسیون معکوس از مواد شیمیایی زیر به عنوان مواد لازم جهت انجام آزمایش‌ها بهره گرفته شده است. از تالوآلکالی آمین به عنوان کلکتور (کلکتور کاتولن) 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 آزمایش‌های تجزیه شیمیایی و بررسی کانی شناسی که بر مبنای آزمایش‌های فلوتاسیون بر روی کانسنگ بوکسیت شهید نیلچیان صورت گرفته مشخص شده است که عمده کانی‌های تشکیل دهنده این کانسنگ از کانی‌های کاتولینیت، دیاسپور، آناز، بوهمیت و هماتیت تشکیل شده و کانی‌های مسکویت کوارتز و دولومیت نیز در بعضی نمونه‌ها مشاهده شده است (شکل ۱).



شکل ۱ نتایج آنالیز XRD نمونه بوکسیت

اکسیدهای آلومینیم، سیلیسیم، تیتانیوم و آهن چهار ترکیبی هستند که حدود ۸۰٪ ترکیب شیمیایی این کانسنگ را تشکیل می‌دهند. 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.

جدول ۱ نتایج آنالیزهای XRF بوکسیت دوپلان

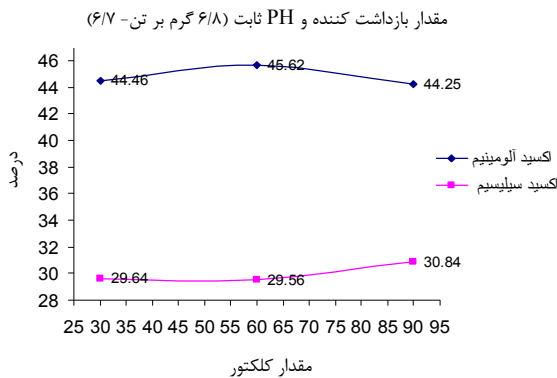
$Al_2O_3/SiO_2$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$	$SiO_2$	$Al_2O_3$
۱/۴۵	۳/۱۶	۴/۵۷	۲۹/۲۸	۴۵/۳۰

صنایع نسوز شرکت ذوب آهن اصفهان است. این کانسنگ در ۲۱۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان و ۱۱۰ کیلومتری جنوب شهرکرد، قرار گرفته است. نزدیک‌ترین 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 آناز 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 واحد‌های 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 روش‌ها و معیارهای استاندارد نمونه برداری، نمونه‌گیری شده است. نمونه برداری به روش شیاری و توده‌ای صورت گرفته و بدین منظور از تمام مکان‌هایی که در حال حاضر ماده معدنی برداشت می‌شود و یا در گذشته برداشت می‌شده است، تمام کارهای معدنی صورت گرفته و همچنین مواد استخراج شده از کانسار، نمونه‌هایی 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 نمونه‌ها در طی ۳ مرحله به ترتیب توسط سنگ شکن فکی و سنگ شکن استوانه‌ای خرد شده‌اند. با استفاده از روش تقسیم‌های متوالی، این میزان نمونه به نمونه‌های کوچکتر (۳ کیلوگرمی) کاملاً همگن و معرف، تبدیل و آماده برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون شده است. ۶ عدد از نمونه‌های معرف برای شناسایی ترکیب شیمیایی و عناصر تشکیل دهنده کانسنگ و نوع کانی‌های آن، توسط دستگاه‌های XRD و XRF و میکروسکوپ‌های نوری مورد آنالیز شیمیایی و مینرالوژیکی قرار گرفته‌اند.

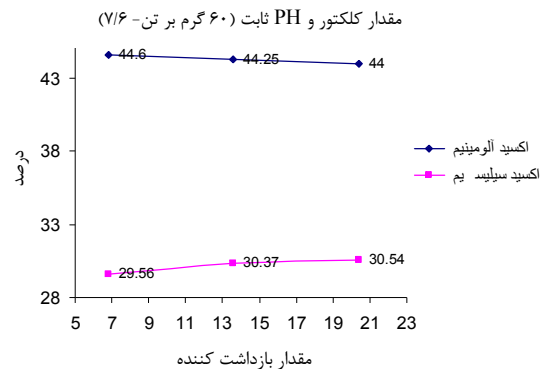
با در نظر گرفتن نتایج حاصل از آنالیزهای شیمیایی و مینرالوژیکی کانسنگ دوپلان، روش مناسب فلوتاسیون و همچنین مواد شیمیایی مورد نیاز انتخاب شده است. روش



جدول ۲ نتایج آنالیزهای XRD بوکسیت دوپلان

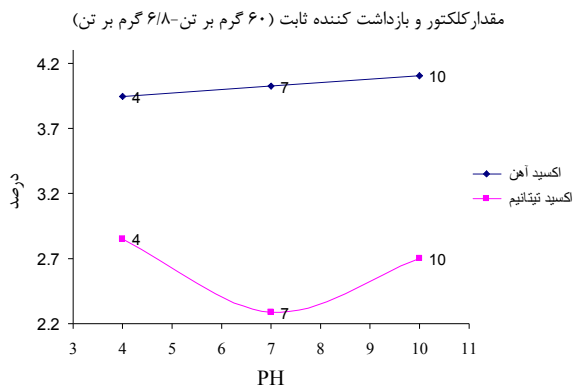
کانیهای اصلی	کانیهای فرعی	فازهایی در حد اثر
دیاسپور - کائولینیت	آنازاز - هماتیت	کوارتز - دولومیت

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



#### 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 تیتانیوم روندی کاهشی را از خود نشان می دهد (شکل ۵).

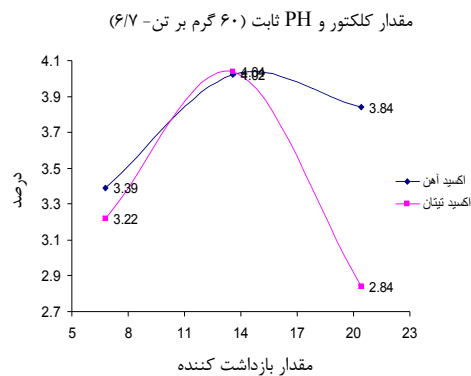


#### شکل ۵ تغییرات مقدار اکسید آهن و تیتانیوم نسبت به در ته ریز PH تغییرات

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

#### 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 تیتانیوم روندی افزایشی و کاهشی قابل مشاهده است (شکل ۳).



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

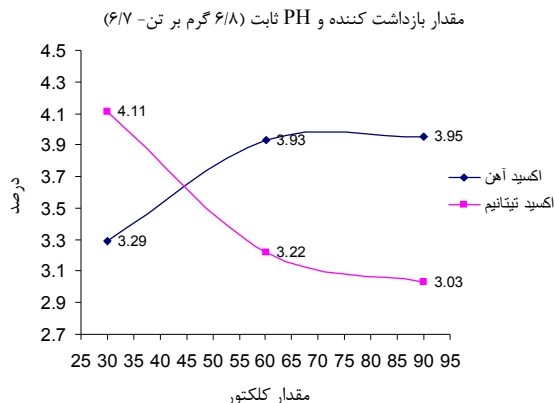
با افزایش مقدار کلکتور و ثابت ماندن دو پارامتر دیگر، تا مقدار معین (۶۰ گرم بر تن) مقدار اکسید سیلیسیم کاهش و سپس افزایش می یابد. در همین شرایط تغییرات اکسید آلومینیم عکس تغییرات اکسید سیلیسیم است (شکل ۴).

### ۳- 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.

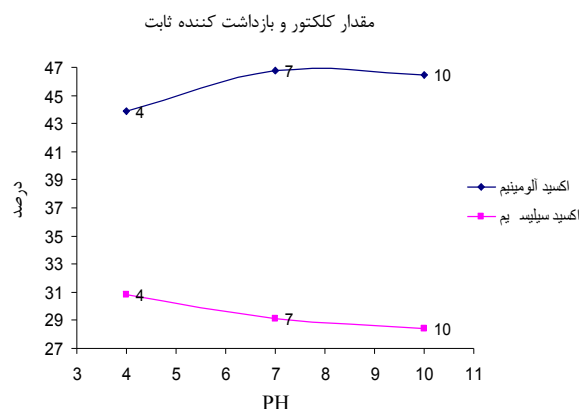
افزایش بیش از حد کلکتور در محیط، باعث شده که علاوه بر شناور شدن کانی کائولینیت، کانی دیاسپور نیز شناور شود زیرا قدرت انتخابی این نوع کلکتور ها بسیار کم است. از طرف دیگر با افزایش غلظت کلکتور در محیط، غلظت کلکتور به غلظت میسلی شدن این نوع کلکتور که حدود  $(M=4/8 \times 10^{-4})$  است، نزدیک می شود. این موضوع خود باعث کاهش کارایی فرآیند می گردد. PZC<sup>۶</sup> (نقطه بار صفر)، غلظتی از PH محلول است که در آن بار سطحی ذرات صفر می شود. کانی آنتاز در بازیابی اکسید تیتانیم در شرایط افزایش کلکتور تاثیر گذار بوده اند (PZC آنتاز برابر با ۶/۸ و PH محیط سلول برابر با ۶/۵ است). در این شرایط سطح کانی آنتاز 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 کارایی آن کاهش می یابد. در PH بیش از ۵ سطح کانی آنتاز مثبت می گردد و قابلیت شناور شدن توسط کلکتورهای کاتیونی را از دست می دهد و میزان بازیابی این کانی کاهش می یابد (جدول ۳ و ۴).



شکل ۶ تغییرات مقدار اکسید آهن و تیتانیم 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 تیتانیم روندی صعودی (تا PH، 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 گذشت زمان و افزایش بیش از نیاز بازداشت کننده در محیط، کارایی آن به سرعت نزول می نماید.

جدول ۳ شرایط انجام 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 مقادیر بدست آمده در مورد اکسید های مختلف 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 بوهمیت، عمده اکسید تیتانیوم در آنازاز و عمده 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 اکسیدتیتانیوم

بر اساس نتایج بدست آمده امکان بازیابی اکسیدتیتانیوم در حد مطلوب و افزایش مدول در حد قابل قبول است. اما می توان به نتایج حاصل شده در این تحقیق به شرح زیر اشاره نمود. کانسنگ بوکسیت شهید نیلچیان از کانی های اصلی دیاسپور، کائولینیت، آنازاز، هماتیت و گوتیت تشکیل شده است.

## 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 آرایی" 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 روش‌های 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 Anand, Jayant M. Modak and K. A. Natarajan "Biobeneficiation of *bauxite* using *Bacillus polymyxa*: calcium and iron removal" International Journal of **Mineral Processing**, Elsevier Press, 1996, Volume 48.
- [7] Crozier, D. Ronald "Flotation theory, reagent and ore testing", Pergamen Press, 1992.
- [۸] گزارش‌های- مهندسی معدن شهید نیلچیان (دوپلان)
- [9] [www.ngdir.ir](http://www.ngdir.ir)
- [10] Xu Zhenghe, Plitt Verne, Liu Qi "Recent advances in reverse flotation of diasporic ores A Chinese experience", Mineral Engineering Journal, Elsevier Press. Volume 17, 2004. pp1007-1015.
- [11] Wang .Y, Hu .Y, He .P, GU .G "Reverse flotation for removal of silicates from diasporic - *bauxite*", Mineral Engineering Journal, Elsevier .Press, 2005, pp63-68.
- [12] "proceedings of *bauxite symposium*", Los Angeles, California, 1984.

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 تیتانیم است که با تنظیم دقیق و اصولی PH می‌توان به نتایج مطلوبی نائل شد. با تنظیم دقیق PH محیط، مقدار اکسید تیتانیم تا ۵۰ درصد مقدار اولیه قابل کاهش است. مدول اکسید آلومینیم نسبت به سیلیسیم نیز به میزان ۲۰ مقدار اولیه آن می‌تواند 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 می‌یابد.

## تشکر و قدر دانی

از آقایان دکتر دهقانی، دکتر کوهساری، مهندس غربی، مهندس خسروی به دلیل همفکری و راهنمایی اینجانب در طول انجام پروژه سپاس‌گزاری و قدردانی می‌نمایم. از جناب آقای مهندس پورقاسمی مجری محترم طرح تشکر و قدردانی می‌نمایم. در نهایت بر خود لازم می‌دانم از ریاست محترم دفاتر شرکت تهیه و تولید مواد معدنی در تهران، مرکز تحقیقات مواد معدنی یزد، شرکت ذوب آهن اصفهان، سازمان زمین‌شناسی 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 سپاس‌گزارم.