

Investigation on the Zn separation behavior from aqueous solution containing Mg from a leaching solution of zinc filter cake by Solvent Extraction

Majid Saneie¹, *Mohammadreza Aboutalebi², Javad Moghaddam³

1- M.Sc. School of Metallurgy and Materials Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

2- Professor, School of Metallurgy and Materials Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

3- Associate Professor, Department of Materials Science, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Citation: Saneie M, Aboutalebi M.R, Moghaddam J. Investigation on the Zn separation behavior from aqueous solution containing Mg from a leaching solution of zinc filter cake by Solvent Extraction. Metallurgical Engineering 2019; 22(2): 96-103 <http://dx.doi.org/10.22076/me.2019.103493.1231>

 <http://dx.doi.org/10.22076/me.2019.103493.1231>

ABSTRACT

Solvent extraction process of metals from aqueous solution containing impurities has been the subjects of numerous studies. In the present work, separation of zinc from solution of filter-cake leaching unit in the presence of Mg impurity was investigated using the D2-ethyl hexyl phosphoric acid (D2EHPA) extractant diluted in kerosene. Different experiments were carried out to evaluate effects of main parameters on recovery and separation of zinc from the sulphate solution. Parameters affecting the extraction process such as pH, D2EHPA concentration, temperature, and organic to aqueous ratio were evaluated. Based on the results obtained at optimal conditions, the pH =2.5-3, [D2EHPA]=20%(vol/vol) and at 40 ° C, the extraction efficiency of zinc and magnesium ions were 95% and 10%, respectively, while the value of $\Delta p_{H_{0.5}}$ (Zn-Mg) factor was obtained more than 5.1 under the condition of [D2EHPA]= 20%(v/v). Also for the aqueous to the organic phase ratio (A/O) of 1: 1, an optimum zinc separation factor of 5010 was calculated.

Keywords: Zinc Solvent Extraction, D2EHPA, Zinc Filter Cake, Magnesium.

Received: 6 February 2019

Accepted: 18 September 2019

■ ■

* *Corresponding Author:*

Mohammadreza Aboutalebi, Prof

Address: School of Metallurgy & Materials Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Tel: +98 (21) 77459151

E-mail: mrezab@iust.ac.ir

بررسی رفتار جدایش روی از محلول حاوی منیزیم حاصل از شستشوی فیلترکیک واحدهای فروشویی ماده معدنی روی به روش استخراج حلالی

مجید صانعی^۱، محمدرضا ابوطالبی^۲، جواد مقدم^۳

- ۱- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
 ۲- استاد، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
 ۳- دانشیار، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

چکیده

فرآیند استخراج حلالی فلزات از محلول‌های آبی حاوی ناخالصی‌ها همواره مورد توجه محققان مختلفی بوده است. در تحقیق حاضر جدایش روی از محلول‌های حاصل از شستشوی فیلترکیک واحدهای فروشویی ماده معدنی روی در حضور ناخالصی منیزیم توسط استخراج‌کننده دی ۲- اتیل هگزیل فسفریک اسید (D2EHPA) رقیق شده در کروسین مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های متعددی به منظور بررسی اثر پارامترهای اصلی بر جدایش و بازدهی استخراج روی از محلول سولفاتی روی طراحی و انجام گرفت. تأثیر پارامترهای مختلف بر فرآیند استخراج شامل pH، غلظت D2EHPA، دمای واکنش و نسبت فاز آلی به آبی مورد ارزیابی واقع شد. بر اساس نتایج به دست آمده در شرایط بهینه ۳-۲/۵، pH=۲۰، درصد حجمی [D2EHPA] و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، درصد استخراج یون‌های روی و منیزیم به ترتیب برابر ۹۵ درصد و ۱۰ درصد بوده در حالی که $\Delta pH_{0.5(Zn-Mg)}$ در شرایط ۲۰ درصد حجمی D2EHPA بیش از ۵/۱ به دست آمده است. همچنین در نسبت فاز آبی به آلی $A/O=1:1$ فاکتور جدایش روی از ناخالصی منیزیم در شرایط بهینه معادل ۵۰۱۰ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: استخراج حلالی روی، D2EHPA، فیلترکیک روی، منیزیم.

دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۷ | پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۲۷

۱. مقدمه

فیلترهای حاصل از صنعت روی مفید است [۱، ۲، ۹، ۱۰]. استخراج حلالی روی از محلول‌های سولفاتی توسط استخراج‌کننده‌هایی از قبیل خانواده Cyanex (Cyanex 301، Cyanex 923، Cyanex 302 و Cyanex 272) [۱۴-۱۱] و استخراج‌کننده PC-88A و D2EHPA مورد بررسی محققان قرار گرفته است و پارامترهای تأثیرگذار مختلف از قبیل نوع استخراج‌کننده، غلظت استخراج‌کننده و فلز، pH محلول، دمای واکنش، نسبت مولی و حجمی فاز آبی به آلی و پارامترهای سینتیکی و ترمودینامیکی در نظر گرفته شده است [۴، ۱۵، ۱۶]. هدف در استخراج هیدرومتالورژیکی فلز روی توانایی حذف ناخالصی‌ها به منظور رسیدن به محلولی عاری از ناخالصی برای ارسال به مرحله الکترووینینگ است. حضور ناخالصی‌ها در محلول الکترولیتی که به مرحله الکترووینینگ روی فرستاده می‌شود می‌تواند تأثیراتی بر نشان دادن یون‌های

اخیراً گسترش و توسعه روش استخراج حلالی برای فلز روی فرصتی عالی برای توسعه مسیرهای جدید برای تولید روی از منابع اولیه و ثانویه شده است [۱، ۲]. روش استخراج حلالی روشی است که در آن یون‌های موجود در محلول آبی به طور کامل یا جزئی به داخل فاز آلی که در تماس با فاز آبی است انتقال می‌یابد [۳-۵]. استفاده از روش‌های کلاسیک مانند رسوب‌دهی برای جداسازی فلزات نسبتاً روشی زمان‌براست در حالی که روش استخراج حلالی توانایی بالایی برای جدایش فلزات با بازیابی بالا، عملیات ساده، انتقال جرم سریع، مصرف کم انرژی و سازگاری قوی دارد [۸-۶]. استخراج حلالی برای استخراج روی از منابع ثانویه نظیر خاکستر روی، تفاله روی، غبار کوره قوس الکتریکی، پسماند فرآیند ولز و پسماندهای صنایع گالوانیزاسیون، باتری‌های قلیایی مستعمل، کیک

* نویسنده مسئول:

دکتر محمدرضا ابوطالبی

نشانی: تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد.

تلفن: ۰۹۸ ۷۷۴۵۹۱۵۱ (۲۱)

پست الکترونیکی: mrezab@iust.ac.ir

باهمیت محسوب می‌شود. از آنجایی که استخراج‌کننده D2EHPA مناسب‌ترین استخراج‌کننده جهت جداسازی روی از محلول‌های سولفاتی در حضور ناخالصی‌های مختلف است اهمیت بررسی جداسازی روی از ناخالصی منیزیم در این محیط مشخص می‌شود، چراکه در پژوهش حاضر جدایش روی از ناخالصی منیزیم توسط استخراج‌کننده D2EHPA با بازدهی بالا و مناسب، بدون نیاز به عامل هم‌افزا اتفاق می‌افتد. لذا با توجه به عدم مطالعه در زمینه جدایش روی از ناخالصی منیزیم توسط روش استخراج حلالی در محیط سولفاتی با استخراج‌کننده D2EHPA رقیق‌شده در کرومین و همچنین عدم تمرکز بر روی ناخالصی منیزیم در طول استخراج حلالی روی در این تحقیق رفتار جدایشی بهینه ناخالصی منیزیم از محلول روی، حاصل از شستشوی فیلترکیک واحدهای فروشویی ماده معدنی روی بررسی شده است. در این تحقیق پارامترهای مؤثر بر جدایش و استخراج انتخابی روی از منیزیم توسط استخراج‌کننده D2EHPA رقیق‌شده در کرومین بررسی شده است، به علت ماهیت استخراج‌کنندگی کاتیونی D2EHPA مهم‌ترین پارامتر در بررسی جدایش یون مطلوب از محلول مورد استفاده پارامتر pH است. همچنین پارامترهای غلظت استخراج‌کننده، نسبت فاز آبی به آلی و پارامتر دما در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مواد و روش تحقیق

مواد شیمیایی

محلول مورد استفاده در تحقیق پیش رو، از واحد شستشوی فیلترکیک‌های حاصل از فروشویی ماده معدنی روی از شرکت خالص سازان روی زنجان تهیه شد. محلول حاصل حاوی $6/5 \text{ g/lit}$ روی، 12 g/lit منیزیم، $0/05 \text{ g/lit}$ آهن، $0/1 \text{ g/lit}$ نیکل، $0/07 \text{ g/lit}$ کبالت، $0/75 \text{ g/lit}$ منگنز بود، که بدون رقیق‌سازی و یا پیش عملیات خاصی به‌عنوان فاز آبی مورد استفاده در آزمایش‌های استخراج حلالی انتخاب شد. استخراج‌کننده آلی که برای عملیات استخراج حلالی استفاده شد، استخراج‌کننده (دی-۲) اتیل هگزیل فسفریک اسید (D2EHPA) در گرید صنعتی با خلوص ۹۷ درصد بود که از شرکت بایر^۱ آلمان تهیه شد. از کرومین به‌عنوان رقیق‌ساز D2EHPA استفاده شد که از پالایشگاه نفت تهران تهیه شده بود. از اسیدسولفوریک خالص (H_2SO_4) ۹۸ درصد و محلول سود سوزآور (NaOH) ۷ مولار برای تثبیت pH که از مرک^۲ آلمان تهیه شده بود استفاده شد. همچنین برای بازپس‌گیری از فاز آلی از محلول اسید ۲۵۰ گرم بر لیتر استفاده شد.

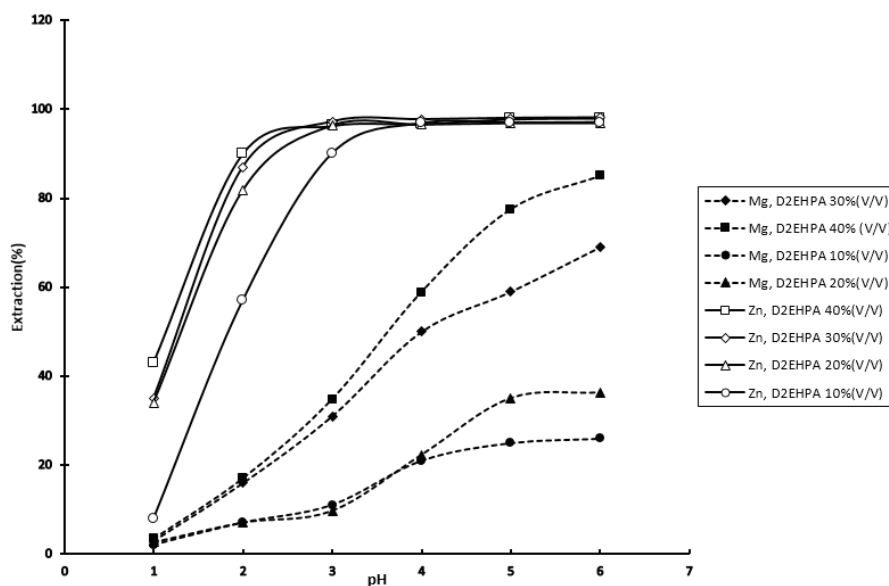
روش تحقیق

به‌منظور مطالعه جدایش و بازپس‌گیری روی از منیزیم، از

1- Bayer

2- Merck

روی بر روی کاتد آلومینیومی داشته باشد بنابراین حذف ناخالصی‌ها اهمیت بالایی دارد [۱۸، ۱۷، ۱]. اثراتی که حضور ناخالصی‌ها می‌تواند بر روی نشانیدن روی بر روی کاتد داشته باشد از قبیل: افزایش مصرف ویژه انرژی، کاهش راندمان جریان و تغییر در جهت‌گیری رشد جوانه‌های روی بر روی کاتد است [۲۱-۱۹]. از ناخالصی‌هایی که در محلول الکترولیت امکان حضور دارد می‌توان به منیزیم اشاره کرد. این فلز و ترکیبات آن امکان وجود از ۰/۲ درصد تا حدود ۵ درصد در کنار منابع اولیه روی و همچنین امکان حضور در حدود 1 g/lit در منابع اولیه حاوی نیکل و کبالت دارد همچنین وجود آن در آب‌های مصرفی در طول عملیات تولید هیدرومتالورژی روی اجتناب‌ناپذیر است [۲۴-۲۲]. وجود منیزیم در محلول الکترولیت روی منجر به کاهش راندمان جریان در طول الکترولیز روی به دلیل افزایش ویسکوزیته و مقاومت محلول می‌شود. غلظت بالای کاتیون منیزیم در محلول الکترولیت به‌صورت مانع فیزیکی از نفوذ و رسوب روی بر روی کاتد جلوگیری می‌کند. اثر افزایش سولفات منیزیم در محلول الکترولیت همچنین انحلال‌پذیری سولفات روی را کاهش می‌دهد که منجر به کاهش کاتیون روی در محلول منیزیم به دلیل داشتن پتانسیل احیای پایین نمی‌تواند بر روی کاتد رسوب کند [۲۵]. افزایش غلظت سولفات منیزیم در محلول الکترولیت روی منجر به کاهش جزئی بازده جریان و همچنین تغییر در جهت‌گیری رشد جوانه‌های رسوب فلز روی بر روی کاتد می‌شود [۲۶]. حد مجاز مقدار منیزیم محتوی در محلول روی که برای الکترولیز روی ارسال می‌گردد باید کمتر از 10 g/l باشد [۲۵]. محققان چندین مطالعه در مورد جدایش روی از منیزیم به روش استخراج حلالی توسط استخراج‌کننده‌های مختلف در محیط‌های متفاوت انجام داده‌اند. چنگ و همکاران جدایش روی و منیزیم در حضور ناخالصی منگنز، کبالت و کلسیم توسط مخلوطی از Versatic 10 و LIX63 به‌عنوان استخراج‌کننده و عوامل تأثیرگذار بر جدایش بهینه را مورد بررسی قرار دادند [۲۷]. با توجه به این مطالعه به نظر می‌رسد استفاده از سیستم استخراج حلالی با عامل هم‌افزا بر سیستم استخراج توسط استخراج‌کننده انتخاب‌گر ترجیح داده شده است، همچنین عدم بررسی نسبت فاز آبی به آلی به‌عنوان یک عامل مهم جهت بررسی رفتار جدایش و تخمین تعداد مراحل استخراج در این تحقیق مشاهده می‌شود. بر طبق گزارش Qiu و همکاران، افزودن mextrul 984H به استخراج‌کننده Versatic 10 فاکتورهای جدایش روی، نیکل، کبالت و مس را از Ca و Mg افزایش می‌دهد. آن‌ها نشان دادند سیستم مخلوط mextrul 984H و Versatic 10 اثر هم‌افزایی مثبت و مؤثری برای روی، نیکل، کادمیم و مس برخلاف منیزیم و کلسیم دارد [۲۸]. با توجه به مطالعات قبلی نتیجه‌گیری می‌شود که ناخالصی منیزیم در کنار روی یک ناخالصی



شکل ۱. نمودار تغییرات درصد استخراج یون روی و منیزیم از محلول آبی حاصل از شستشوی فیلتر کیک در غلظت‌های مختلف D2EHPA در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به تغییرات pH در محدوده ۱-۶.

۳. نتایج و بحث

از آنجایی که جدایش بهینه روی از منیزیم توسط استخراج‌کننده کاتیونی D2EHPA تحت شرایط بهینه به‌عنوان هدف این پژوهش مطرح است، مطالعه فاکتورهای تأثیرگذار بر این عملیات نیز از اهمیت خاصی برخوردار است. در میان این پارامترها، فاکتور pH به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار، غلظت استخراج‌کننده و دمای واکنش بررسی گردیده است.

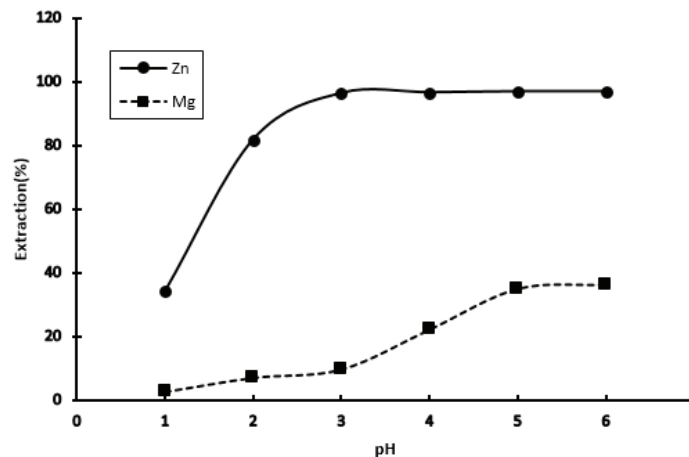
تأثیر غلظت استخراج‌کننده

شکل ۱ و جدول ۱ تأثیر غلظت استخراج‌کننده D2EHPA از مقدار ۱۰ درصد حجمی رقیق شده در کروسین تا ۴۰ درصد حجمی، بر روی استخراج فلز روی و منیزیم را نشان می‌دهد. مشاهده گردید که افزایش غلظت استخراج‌کننده از ۱۰ درصد حجمی تا ۴۰ درصد حجمی فاکتور $pH_{0.5}$ فلز روی از ۱/۸ تا ۱ کاهش یافت. بنابراین با افزایش غلظت استخراج‌کننده تا ۴۰ درصد حجمی ایزوترم استخراج روی به سمت pH های پایین‌تر منتقل می‌شود و همچنین باعث تغییر در مقادیر $pH_{0.5}$ روی و $pH_{0.5}$ منیزیم می‌گردد، همچنین مشاهده شد با افزایش غلظت استخراج‌کننده مقدار $\Delta pH_{0.5(Zn-Mg)}$ به علت افزایش در درصد استخراج منیزیم، کاهش می‌یابد، از طرفی با توجه به جدایش بهینه روی از منیزیم به نظر می‌رسد بهینه‌ترین غلظت ۲۰ درصد حجمی است زیرا درصد استخراج روی بیشینه و درصد استخراج منیزیم نسبت به غلظت‌های استخراج‌کننده بالاتر، کمینه است. از این رو جدایش بهینه

محلول آبی حاصل از شستشوی فیلتر کیک واحدهای فروشویی ماده معدنی روی استفاده شد. فاز آلی که برای انجام عملیات جدایش روی از منیزیم استفاده شد، بر طبق مطالعات و پژوهش‌های پیشین، D2EHPA حل‌شده در رقیق‌ساز کروسین به‌صورت ۲۰ درصد حجمی (۲۰ درصد حجمی D2EHPA و ۸۰ درصد حجمی کروسین) ۱۰ درصد، ۳۰ درصد، ۴۰ درصد (v/v) حجمی بود [۳۰، ۲۹]. برای مطالعه بر روی پارامترهای مورد بررسی در طول آزمایش‌ها نسبت فاز آبی به آلی (A:O)، ۱:۱ در نظر گرفته شد. پارامترهای تأثیرگذار بر روی عملیات استخراج حلالی روی در حضور منیزیم از قبیل pH، غلظت فاز آلی، زمان اختلاط و دمای واکنش مطالعه شد. آزمایش‌های استخراج حلالی در ظرفی استوانه‌ای شکل به قطر ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۵۰ میلی‌متر از جنس فایبرگلاس انجام شد. این ظرف شامل سه بافل در دیواره ظرف به عرض ۵ میلی‌متر به‌منظور اختلاط بهتر بود. در طول آزمایش‌ها از یک همزن مکانیکی با شعاع پره ۲۰ میلی‌متر و از جنس فولاد زنگ نزن استفاده شد که در کل بازه انجام آزمایش شامل استخراج و بازیابی بر روی سرعت تلاطم ثابت (۱۲۰۰ rpm) دور بر دقیقه تنظیم شده بود. اندازه‌گیری pH، توسط دستگاه pH متر (Merthrom827 pHlab) بود. همچنین تنظیم pH توسط محلول سود سوزآور ۷ مولار یا اسید سولفوریک خالص انجام می‌گرفت. زمان ۱۰ دقیقه برای اختلاط فاز آلی و آبی به‌منظور انتقال کامل یون‌های فلزی از فاز آبی به فاز آلی در نظر گرفته شد. برای تنظیم دما و ثابت نگه‌داشتن آن در حین انجام آزمایش از حمام بن ماری استفاده شد.

جدول ۱. مقادیر $pH_{0.5}$ و $\Delta pH_{0.5}$ برای یون‌های روی، منیزیم در غلظت‌های مختلف D2EHPA بر اساس نمودار شکل ۱

غلظت استخراج‌کننده	غلظت مولار (مول بر لیتر)	$pH_{0.5}$		$pH_{0.5} \Delta$
		Zn	Mg	Zn-Mg
D2EHPA 10%	۰/۳	۱/۹	>۶/۵	>۴/۶
D2EHPA 20%	۰/۶۱	۱/۴	>۶/۵	>۵/۱
D2EHPA 30%	۰/۹۱	۱/۴	۴	۲/۷
D2EHPA 40%	۱/۲۱	۲/۱	۳/۶	۲/۴



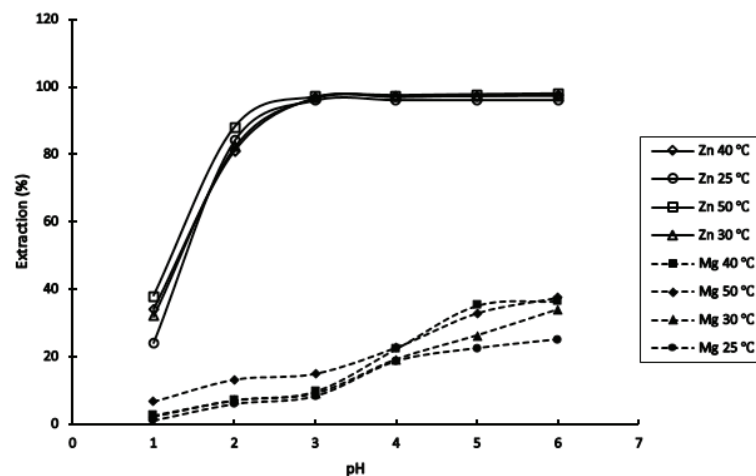
شکل ۲. نمودار تغییرات درصد استخراج یون روی، منیزیم از محلول آبی حاصل از شستشوی فیلتر کیک با استفاده از D2EHPA ۲۰٪ (v/v) در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به تغییرات PH در محدوده ۱-۶.

روی از منیزیم با استفاده از استخراج‌کننده D2EHPA با غلظت ۲۰ درصد حجمی مناسب به نظر می‌رسد.

تأثیر pH بر روی استخراج روی

پس از تعیین غلظت استخراج‌کننده D2EHPA رقیق‌شده در کروسین، باید pH بهینه برای استخراج بیشینه فلز روی و جدایش مناسب آن از ناخالصی منیزیم، از محلول مورد استفاده انتخاب گردد. شکل ۲ میزان درصد استخراج روی را به‌عنوان تابعی از pH تعادلی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود با افزایش pH تعادلی میزان درصد استخراج روی و منیزیم افزایش می‌یابد به طوری که استخراج روی از ۳۴ درصد در $pH = 1$ تا ۹۷ درصد در $pH = 6$ افزایش می‌یابد، این روند صعودی در درصد استخراج منیزیم نیز قابل مشاهده است، همچنین در $pH = 3-2/5$ در حدود ۹۵ درصد از روی در حالی که کمتر از ۱۰ درصد از منیزیم موجود در فاز آبی استخراج می‌گردد بنابراین مسئله و همچنین هدف تحقیق که جدایش بهینه روی از منیزیم بود، این pH به‌عنوان pH بهینه تعادلی برای استخراج روی تعیین می‌شود.

تأثیر دما بر روی استخراج روی در شکل ۳ تأثیر دما بر روی عمل استخراج حلالی روی و منیزیم از محلول آبی حاصل از کیک‌شویی توسط استخراج‌کننده D2EHPA 20% برای دماهای ۲۵ (محیط)، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد در محدوده pH، ۱ تا ۶ و زمان اختلاط ۱۰ دقیقه، مشاهده می‌گردد [۳۱]. با توجه به نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد که دما اثر چندانی بر روی ایزوترم استخراج یون روی و منیزیم ندارد و بیشتر نمودارها در اکثر نقاط به هم نزدیک بوده و در برخی pHها کاملاً بر هم منطبق هستند. این نتیجه با تحقیقات سایر محققین هم تا حدود زیادی تطابق دارد [۳۱]. ممکن است علت نزدیکی نمودارها و عدم تأثیر دما بر روی استخراج یون روی و منیزیم توسط استخراج حلالی به دلیل سینتیک بالای واکنش استخراج باشد. با توجه به ایزوترم استخراج یون روی و منیزیم در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود که استخراج یون روی و منیزیم به مقدار اندکی در pHهای پایین بیشتر از استخراج این یون‌ها در دماهای پایین‌تر است. با توجه به این نکته که هدف، استخراج بیشینه روی و جدایش حداکثری روی از منیزیم است، این دما به‌عنوان دمای مناسب برای عملیات استخراج انتخاب نمی‌گردد همچنین یکی از دلایل نامناسب



شکل ۳. تأثیر دما بر روی تغییرات درصد استخراج یون روی و منیزیم از محلول آبی حاصل از کیک شویی با استفاده از ۲۰٪ (v/v) D2EHPA در دماهای محیط (۲۵)، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به تغییرات PH در محدوده ۱-۶.

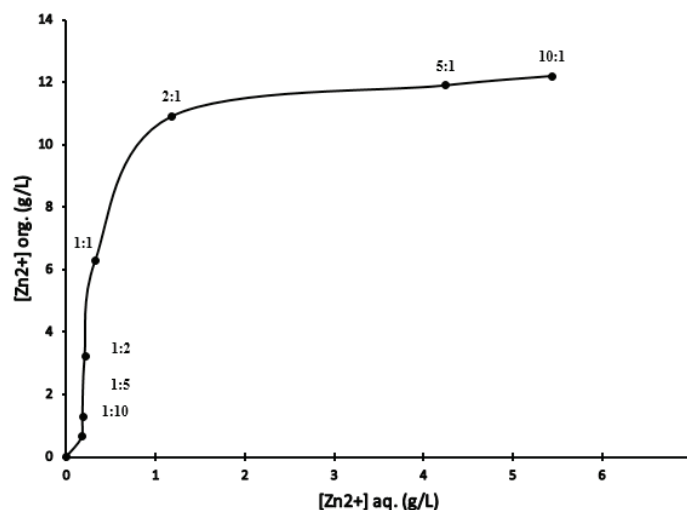
جدول ۲. تأثیر نسبت فاز آبی بر روی فاکتور جدایش، ضریب توزیع و درصد استخراج روی و منیزیم

عناصر	نسبت فازها (A/O)	غلظت (g/lit)		ضریب توزیع (D)	درصد استخراج (%)	فاکتور جدایش ($\beta = D_{Zn}/D_M$)
		فاز آبی	فاز آلی			
Zn	۱:۱۰	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۷۳	۹۷/۳۴	۱
	۱:۵	۰/۱۹	۰/۲۶	۱/۳۹	۹۷/۱۹	۱
	۱:۲	۰/۲۱	۰/۶۴	۳/۰۵	۹۶/۸۳	۱
	۱:۱	۰/۳۳	۱/۲۶	۳/۸۲	۹۵/۰۲	۱
	۲:۱	۱/۱۸	۲/۱۸	۱/۸۵	۸۲/۲۰	۱
	۵:۱	۴/۲۵	۲/۳۸	۰/۵۶	۳۵/۹۰	۱
	۱۰:۱	۵/۴۴	۲/۴۴	۰/۴۵	۱۷/۹۵	۱
Mg	۱:۱۰	۶/۱۲	۰/۰۲۸	-/۰۰۵	۴۴/۳۶	۱۵۸/۹۵
	۱:۵	۷/۲۷	۰/۰۵۷	-/۰۰۸	۳۳/۹۱	۱۷۷/۹۸
	۱:۲	۹/۵	۰/۰۲۹	-/۰۰۳	۱۳/۶۴	۹۸۵/۴۳
	۱:۱	۱۰/۷۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	۲/۱۸	۵۰۱۰
	۲:۱	۱۰/۳۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۶/۳۶	۸۲۰۲
	۵:۱	۱۰/۸۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۱/۸۲	۳۳۶۰/۰۰
	۱۰:۱	۱۱/۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰	۱۶۸۹/۶۷

عملیات استخراج حلالی محلول آبی حاصل از کیک شویی توسط استخراج‌کننده ۲۰٪ (v/v) D2EHPA در شرایط pH بهینه استخراج، بر روی فاکتور جدایش روی و منیزیم و همچنین تأثیر آن بر روی ضریب توزیع دو عنصر روی و منیزیم، در جدول ۲ نمایش داده شده است. انتخاب نسبت‌های فازی بر طبق مطالعات پیشین صورت گرفته است [۳۱،۳۰]. شکل ۴ ایزوترم توزیع روی در نسبت‌های فاز آبی به آلی مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود با افزایش نسبت فاز آلی، درصد استخراج روی در شرایط pH بهینه از مقدار ۱۷/۹۵ درصد تا ۹۷/۳۴ درصد افزایش

بودن این دما به‌عنوان دمای بهینه به علت مصرف انرژی برای افزایش دما، شروع عمل تبخیر در دماهای بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد و نزدیک شدن به نقطه اشتعال استخراج‌کننده D2EHPA در دماهای بالا است. به نظر می‌رسد دمای ۲۵ (دمای محیط) درجه سانتی‌گراد به‌عنوان دمای بهینه جهت استخراج روی مناسب باشد چراکه نیازی به مصرف انرژی وجود ندارد.

تأثیر نسبت فاز آبی بر جدایش روی و منیزیم به‌منظور بررسی اثر نسبت فاز آبی به آلی A/O در طول



شکل ۴. ایزوترم توزیع روی در نسبت‌های فاز آبی به آلی مختلف

- با توجه به ایزوترم استخراج برای هر دو فلز روی و منیزیم در دماهای مختلف مشاهده شد که دمای واکنش اثر قابل‌ملاحظه‌ای بر روی استخراج حلالی روی و منیزیم ندارد.
- بهترین نسبت فاز آبی به آلی برای جدایش روی از منیزیم در نسبت فازی ۱:۱ اتفاق می‌افتد به طوری که فاکتور جدایش روی از منیزیم در این نسبت دارای مقداری برابر ۵۰/۱۰ و درصد استخراج روی و منیزیم در این نسبت به ترتیب برابر ۹۵ درصد و ۲/۱۸ درصد است.

References

- [1] Cole PM, Sole KC. Zinc solvent extraction in the process industries. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2003 Jan 1;24(2):91-137.
- [2] Deep A, de Carvalho JM. Review on the recent developments in the solvent extraction of zinc. *Solvent Extraction and Ion Exchange*. 2008 Jul 1;26(4):375-404.
- [3] Hudson MJ. An introduction to some aspects of solvent extraction chemistry in hydrometallurgy. *Hydrometallurgy*. 1982 Nov 1;9(2):149-68.
- [4] Asadi T, Azizi A, Lee JC, Jahani M. Solvent extraction of zinc from sulphate leaching solution of a sulphide-oxide sample using D2EHPA and Cyanex 272. *Journal of Dispersion Science and Technology*. 2018 Sep 2;39(9):1328-34.
- [5] Ritcey GM. Solvent extraction in hydrometallurgy: present and future. *Tsinghua Science and Technology*. 2006 Apr;11(2):137-52.
- [6] Reddy BR, Priya DN. Process development for the separation of copper (II), nickel (II) and zinc (II) from sulphate solutions by solvent extraction using LIX 84 I. *Separation and Purification Technology*. 2005 Oct 1;45(2):163-7.
- [7] Baba AA, Adekola FA. Beneficiation of a Nigerian sphalerite mineral: solvent extraction of zinc by Cyanex® 272 in hydrochloric acid. *Hydrometallurgy*. 2011 Oct 1;109(3-4):187-93.
- [8] Ding K, Liu Y, Tang J, Zhou Y, Hu J, Lin X, Wu W. Direct en-

می‌یابد. نتایج حاصل شده از این بخش با مطالعات محققین هم‌خوانی دارد [۳۰]. مشاهده شد مشابه فلز روی با افزایش نسبت فاز آلی، درصد استخراج منیزیم نیز از صفر درصد تا ۴۴/۳۶ درصد افزایش یافت. همچنین به نظر می‌رسد که در نسبت فاز آبی به آلی ۲:۱ A/O= بیشترین فاکتور جدایش برای روی و منیزیم نسبت به سایر نسبت‌های فاز آبی به آلی با مقدار ۸۲۰۲ برآورد می‌شود و مقدار درصد استخراج روی و منیزیم به ترتیب در این نسبت برابر ۸۲/۲۰ و ۶/۳۶ درصد محاسبه شده است. بر اساس جدایش بهینه روی از منیزیم و یابه‌عبارت‌دیگر درصد استخراج بیشینه برای روی و درصد استخراج کمینه برای منیزیم با بالاترین فاکتور جدایش، نسبت فاز آبی به آلی ۱:۱ A/O= به نظر می‌رسد می‌تواند به‌عنوان نسبت فاز آبی به آلی مناسب انتخاب گردد چراکه در این نسبت فازی، روی با بالاترین درصد استخراج یعنی ۹۵/۰۲ درصد و منیزیم در حدود ۲ درصد استخراج گردیده است. و فاکتور جدایش نیز در حد قابل قبولی بالا است.

۴. نتیجه‌گیری

- با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های انجام‌شده به‌منظور جدایش روی از محلول شستشوی فیلتر کیک‌های حاصل از فروشویی ماده معدنی روی در حضور ناخالصی منیزیم با استفاده از استخراج‌کننده حلالی D2EHPA می‌توان به نتیجه‌گیری‌های زیر رسید.
- با توجه به ایزوترم استخراج روی و منیزیم، بهترین غلظت استخراج‌کننده برای جدایش بهینه فلز روی از منیزیم در غلظت ۲۰ درصد حجمی D2EHPA اتفاق می‌افتد.
 - با افزایش pH درصد استخراج هر دو یون افزایش می‌یابد و برای ۲۰ درصد حجمی D2EHPA بهترین حالت جدایش در pH=2.5-3 اتفاق می‌افتد.

- richment of zinc (II) from and into ammoniacal media with commercial LIX84I. *Separation and Purification Technology*. 2017 Oct 2;186:264-71.
- [9] Jha MK, Kumar V, Singh RJ. Review of hydrometallurgical recovery of zinc from industrial wastes. *Resources, conservation and recycling*. 2001 Aug 1;33(1):1-22.
- [10] da SilveiraLeite D, Carvalho PL, de Lemos LR, Mageste AB, Rodrigues GD. Hydrometallurgical recovery of Zn (II) and Mn (II) from alkaline batteries waste employing aqueous two-phase system. *Separation and Purification Technology*. 2019 Feb 8;210:327-34.
- [11] Tanong K, Tran LH, Mercier G, Blais JF. Recovery of Zn (II), Mn (II), Cd (II) and Ni (II) from the unsorted spent batteries using solvent extraction, electrodeposition and precipitation methods. *Journal of cleaner production*. 2017 Apr 1;148:233-44.
- [12] Jha MK, Gupta D, Choubey PK, Kumar V, Jeong J, Lee JC. Solvent extraction of copper, zinc, cadmium and nickel from sulfate solution in mixer settler unit (MSU). *Separation and Purification Technology*. 2014 Feb 10;122:119-27.
- [13] Ocio A, Elizalde MP. Zinc (II) Extraction from Phosphoric Media by bis (2, 4, 4Trimethylpentyl) dithiophosphinic Acid (CYANEX 301). *Solvent extraction and ion exchange*. 2003 Jan 5;21(2):259-71.
- [14] V. F. Ibiapina, J. C. Afonso, R. S. da Silva, C. A. Vianna, and J. L. Mantovano, "SEPARATION OF ZINC FROM MANGANESE BY SOLVENT EXTRACTION FROM ACIDIC LEACHATES OF SPENT ZINC-MnO₂ DRY CELLS USING NEUTRAL ORGANOPHOSPHORUS EXTRACTANTS," *Quim. Nova*, vol. 41, no. 7, pp. 770-777, 2018.
- [15] Aghazadeh S, Gharabaghi M, Shafaei Z. Thermodynamical and catalytic aspects of zinc separation from aqueous solution. *Chinese journal of chemical engineering*. 2018 Dec 1;26(12):2455-60.
- [16] Anari Z, Katoozi E, Sengupta A. Establishing correlation between effective diffusivity coefficient and the mass transfer for Zn²⁺ column extraction by D2EHPA: An experimental and theoretical investigation. *Journal of environmental chemical engineering*. 2018 Oct 1;6(5):6322-7.
- [17] Fukubayashi H. The effect of impurities and additives on the electrowinning of zinc. 1972
- [18] Ault AR, Frazer EJ. Effects of certain impurities on zinc electrowinning in high-purity synthetic solutions. *Journal of applied electrochemistry*. 1988 Jul 1;18(4):583-9.
- [19] غ. خ. اولیازاده منوچهر، بلورفروش محمدرضا، "بهبود سازی و تعیین عوامل مؤثر در لیچینگ کانه سیلیکاته روی در حضور عناصر آهن و منگنز"، کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تربیت مدرس، vol. ۱، ۱۳۸۳.
- [20] Mureşan L, Maurin G, Oniciu L, Gaga D. Influence of metallic impurities on zinc electrowinning from sulphate electrolyte. *Hydrometallurgy*. 1996 Nov 1;43(1-3):345-54.
- [21] Yu XH, Gang XI, Li RX, Li YG, Ying LU. Behavior of arsenic in zinc electrowinning. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2010 May 1;20:s50-4.
- [22] Xu H, Wei C, Li C, Fan G, Deng Z, Li M, Li X. Sulfuric acid leaching of zinc silicate ore under pressure. *Hydrometallurgy*. 2010 Dec 1;105(1-2):186-90.
- [23] Frenay J. Leaching of oxidized zinc ores in various media. *Hydrometallurgy*. 1985 Dec 1;15(2):243-53.
- [24] Tsakiridis PE, Agatzini SL. Simultaneous solvent extraction of cobalt and nickel in the presence of manganese and magnesium from sulfate solutions by Cyanex 301. *Hydrometallurgy*. 2004 Mar 1;72(3-4):269-78.
- [25] Lins VF, Castro MM, Araújo CR, Oliveira DB. Effect of nickel and magnesium on zinc electrowinning using sulfate solutions. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 2011 Sep;28(3):475-82.
- [26] MacKinnon DJ, Brannen JM. Effect of manganese, magnesium, sodium and potassium sulphates on zinc electrowinning from synthetic acid sulphate electrolytes. *Hydrometallurgy*. 1991 Jul 1;27(1):99-111.
- [27] Cheng CY, Zhang W, Pranolo Y. Separation of cobalt and zinc from manganese, magnesium, and calcium using a synergistic solvent extraction system consisting of Versatic 10 and LIX 63. *Solvent Extraction and Ion Exchange*. 2010 Aug 31;28(5):608-24.
- [28] Qiu Y, Yang L, Huang S, Ji Z, Li Y. The separation and recovery of copper (II), nickel (II), cobalt (II), zinc (II), and cadmium (II) in a sulfate-based solution using a mixture of Versatic 10 acid and Mextral 984H. *Chinese journal of chemical engineering*. 2017 Jun 1;25(6):760-7.
- [29] Vahidi E, Rashchi F, Moradkhani D. Recovery of zinc from an industrial zinc leach residue by solvent extraction using D2EHPA. *Minerals Engineering*. 2009 Jan 1;22(2):204-6.
- [30] Balesini AA, Razavizadeh H, Zakeri A. Solvent Extraction of Zinc from Acidic Solution Obtained from Cold Purification Filter Cake of Angouran Mine Concentrate Using D2EHPA.
- [31] Jafari H, Abdollahi H, Gharabaghi M, Balesini AA. Solvent extraction of zinc from synthetic Zn-Cd-Mn chloride solution using D2EHPA: Optimization and thermodynamic studies. *Separation and Purification Technology*. 2018 May 31;197:210-9.