نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۴۹، شماره ۴، سال ۱۳۹۶، صفحات ۶۷۹ تا ۶۸۶
DOI: 10.22060/ceej.2016.698

تعیین شرایط بهینه فلوتاسیون یونی روی از پساب‌های صنعتی

فاطمه السادات حسینیان، مهدی ایران‌نژاد*، امیررضا آزادمهر

دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده: فلوتاسیون یونی روشی برای حذف یون‌های موجود در محلول‌ها با افزودن مواد شیمیایی نظیر کلکتورها در حضور حباب‌های هوا است. در این تحقیق حذف کاتیون‌های فلز روی دو ظرفیتی از پساب سنتزی با غلظت کم با روش فلوتاسیون یونی مورد مطالعه قرار گرفت. از سدیم دو دسیل سولفات(SDS) و اتیل هگزا دسیل آمونیوم برمید (EHDABr) به‌عنوان کلکتور و از متیل ایزوبوتیل کربینول (MIBC) و داوفروت ۲۵۰ به‌عنوان کف‌ساز استفاده شد. برای بررسی فرایند فلوتاسیون یونی و پارامترهای موثر در آن، ۱۶ آزمایش با شش عامل متغیر با به‌کارگیری نرم‌افزار DX7 و بر اساس روش طراحی آزمایش فاکتوریل دو سطحی طراحی و در لوله هالیموند انجام شد. نتایج تحلیل آزمایش‌ها نشان داد که شرایط بهینه فرایند فلوتاسیون یونی روی با ppm ۳۰۰ کلکتور SDS، ppm ۹۰ کف‌ساز داوفروت ۲۵۰، pH برابر با ۳ و دبی هوا برابر ml/min ۱/۸ به‌دست می‌آید. نتایج بهینه در سلول فلوتاسیون مکانیکی آزمایش شد که در این شرایط بازیابی ۹۲% برای یون روی و بازیابی آب معادل با ۸/۶۵% در حدود ۱۰ دقیقه فلوتاسیون یونی حاصل شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که استفاده از فلوتاسیون یونی در حذف یون‌های روی از پساب‌های صنعتی روش مناسبی است.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۸ مهر ۱۳۹۳
بازنگری: ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴
پذیرش: ۴ بهمن ۱۳۹۴
ارائه آنلاین: ۱۵ آبان ۱۳۹۵

کلمات کلیدی:
فلوتاسیون یونی
طراحی آزمایش
یون روی
پساب صنعتی

۱- مقدمه

امروزه آلودگی ناشی از فلزات سنگین یکی از مشکلات جدی زیست‌محیطی است. در همین راستا حذف این فلزات از مضوعات مورد علاقه محققین در سال‌های اخیر بوده است[۱]. فلوتاسیون یونی یکی از روش‌های بازیابی یا حذف یون‌های فلزی از پساب‌های با غلظت کم است[۲]. فلوتاسیون یونی اولین بار توسط لانگمیر و شفر با مطالعه اثر یون‌های فلز برتک لایه اسید سیتریک معرفی شد [۳]. سبا برای اولین بار این روش را برای حذف و جداسازی یون‌های غیرآلی استفاده نمود [۴, ۵] فلوتاسیون یونی به‌طور گسترده برای بازیابی فلزاتی از قبیل مس، کروم، ژرمانیوم [۶]، نقره [۷] و طلا [۸] استفاده شده است. اویکاوا و همکاران گزارش دادند که یون‌های روی را می‌توان از پساب معدن به‌وسیله فلوتاسیون یونی حذف کرد [۹, ۱۰] ملتسوف تغلیظ و بازیابی کمپلکس‌های فلزات زیر گروه آلومینیوم به‌وسیله فلوتاسیون یونی [۱۱] و لیو و همکاران فلوتاسیون یونی کبالت، نیکل و مس را بررسی کرده‌اند[۱۲]. برخی از محققین، نوع و غلظت کلکتورهای مورد استفاده در فلوتاسیون یونی را مورد مطالعه قرار دادند. تاثیر هیدرودینامیکی و خواص پراکندگی در بازیابی یون‌های فلزی با استفاده از فلوتاسیون یونی مشخص نشده است[۱۳-۱۵].

ترکیبات روی به‌صورت گسترده در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پساب این صنایع مقادیر و اثراتی از روی و ترکیباتش وجود دارد. با فرآوری پساب‌های صنعتی حاوی یون‌های روی می‌توان به دو هدف عمده دست یافت. از یک طرف با بازیابی عناصر موجود در این پساب‌ها، هم عناصر بازیابی شده را می‌توان مورد استفاده قرار داد و هم از تخریب محیط زیست توسط پساب‌ها جلوگیری کرد. معمولا این یون‌ها از طریق آب‌های سطحی و زیرزمینی به چرخه طبیعت وارد می‌شوند و آسیب‌های زیست‌محیطی را به‌وجود می‌آورند. از طرف دیگر با انجام این فرایند و تصفیه آب موجود در پساب‌ها، آن را می‌توان مجددا به چرخه تولید بازگرداند. به‌دلیل اثرات مخرب آن‌ها بر سلامت انسان و بهداشت محیط، لزوم یافتن راه‌های جدید برای حذف اثرات نامطلوب آن‌ها الزامی است. فرایند فلوتاسیون یونی به‌علت کارایی مطلوب، هزینه کم، پتانسیل بسیار بالایی را در زمینه تصفیه پساب‌ها دارد[۱۶].

در فلوتاسیون یونی، بازیابی آب همراه یون فلزی یا به عبارت دیگر نسبت بازیابی یون فلزی به بازیابی آب از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است[۱۷]. در این تحقیق ضمن بررسی امکان حذف یون‌های فلزات سنگین از جمله روی از پساب‌های صنعتی با غلظت کم تلاش شده است بازیابی آب همراه حباب‌های حامل یون‌های فلزی به حداقل ممکن برسد.

فلوتاسیون یونی به‌علت کارآیی مطلوب پتانسیل بسیار بالایی را در زمینه تصفیه پساب‌ها دارد[۱۸, ۱۹]. دیگر مزایای این روش، بازیابی انتخابی یون‌های با ارزش نظیر طلا، نقره، پالادیوم و حجم کم رسوب یا لجن تولیدی است. از فلوتاسیون به‌طور گسترده در فرایندهای زیست‌محیطی برای کنترل یون‌های فلزات سنگین در پساب‌های صنعتی یا برای بازیابی یون های فلزی

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: iranajad @aut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

از محلول‌های تجزیه شده استفاده می‌شود. فلوتاسیون یونی برای جداسازی عناصر فلزی از محلول‌های آبی کاربرد دارد. این روش، فرایند فیزیکی و شیمیایی پیچیده‌ای است که به مقدار مواد شیمیایی مانند کلکتور و تغییرات پارامترهای شیمیایی برای بهینه‌سازی بازیابی فلزات محلول در آب بستگی دارد. آزمایش‌های فلوتاسیون یونی با تجهیزاتی با مقیاس میکرو مانند لوله هالیموند تا عملیات در سیستم‌های پیوسته برای ارزیابی خواص پراکندگی انجام شده–است[۲].

در فلوتاسیون، از مواد شیمیایی مانند کلکتور و کف‌ساز استفاده می‌شود. یک مولکول کلکتور شامل یک سر قطبی یونی و یک زنجیر هیدروکربنی غیر قطبی است. اتصال سر قطبی آن به یک یون فلزی و سر غیرقطبی به حباب هوا موجب انتقال آن‌ها به کف می‌شود. اندازه حباب‌های هوا در سلول فلوتاسیون باید کوچک باشد (در مقیاس میکرومتر) تا سطح آزاد بیشتری را برای حذف یون‌ها فراهم کنند. مواد شیمیایی که اندازه حباب‌ها را با کاهش کشش سطحی داخلی آب و هوا کنترل می‌کنند، کف‌ساز نامیده می‌شوند. از جمله کف‌سازهای رایج می‌توان به داوفروت ۲۵۰، متیل ایزوبوتیل کربینول ، اتانول، متیل اتر، پلی پروپیلن گلی‌کل اشاره کرد. برخی کف‌سازهای تجاری ممکن است هر دو خاصیت کف‌سازی و کلکتوری را داشته باشند[۱۷]. غلظت کلکتور و کف‌ساز از پارامترهای مهم و تاثیرگذار در حذف یون‌ها از پساب‌ها هستند[۲۰, ۲۱].

در این تحقیق با استفاده از تجربه‌های حاصل از فلوتاسیون یونی و با تحلیل نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده در لوله هالیموند پارامترهای بهینه برای فلوتاسیون یونی روی از پساب سنتزی به‌دست آمد. از نتایج نهایی برای بازیابی یون روی و بازیابی آب در سلول مکانیکی نوع دنور استفاده شد. بدین ترتیب بازیابی یون روی در شرایط بهینه در سلول مکانیکی ۹۲% درصد به‌دست آمد.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از سدیم دو دسیل سولفات (SDS) و اتیل هگزا دسیل آمونیوم برمید (EHDABr) به‌ترتیب به‌عنوان کلکتور آنیونی و کاتیونی و از متیل ایزوبوتیل کربینول (MIBC) و داوفروت ۲۵۰ به‌عنوان کف‌ساز استفاده شد. از نیترات روی ($Zn(NO_3)2.7H_2O$) با خلوص بالای آزمایشگاهی برای تهیه پساب سنتزی با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و از NaOH و HCl برای تنظیم pH استفاده شد.

لوله هالیموند با قطر داخلی ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر برای آزمایش‌های اولیه به‌منظور تعیین نوع و مقدار مناسب پارامترها استفاده شد. آزمایش‌های نهایی بعد از تعیین شرایط بهینه در لوله هالیموند در سلول مکانیکی ۱ لیتری نوع دنور با دور موتور متغیر ۱۵۰۰–۰ دور بر دقیقه انجام شد. پس از پایان هر آزمایش در سلول مکانیکی، کف‌های حاصل در فواصل زمانی مختلف جمع‌آوری شده و پس از شکستن کف‌ها وزن آب حاصل تعیین شد. محلول باقیمانده در سلول جهت تعیین مقدار یون روی موجود باقیمانده پس از انجام فرایند فلوتاسیون یونی با روش جذب اتمی نمونه‌برداری شد.

۳- طراحی آزمایش‌ها

طراحی آزمایش‌ها به‌منظور تعیین تعداد آزمایش‌ها و متغیرهای مورد بررسی و تاثیر متقابل آن‌ها انجام می‌شود. با ترکیب چندین متغیر در یک آزمایش به‌جای بررسی جداگانه هر یک از آن‌ها، تعداد آزمایش‌های مورد نیاز کاهش یافته و درک بهتری از فرایند حاصل می‌شود. طراحی آزمایش بهینه باید به‌گونه‌ای باشد که با کمترین تعداد آزمایش، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز جهت تجزیه و تحلیل و دستیابی به شرایط بهینه فراهم شود. روش تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز در انتخاب طرح بهینه موثر است[۲۲].

به‌منظور بررسی عوامل موثر بر فرایند فلوتاسیون یونی با استفاده از نرم‌افزار DX7 و بر اساس روش فاکتوریل دو سطحی، ۱۶ آزمایش طراحی شد. pH، نوع کلکتور، غلظت کلکتور، نوع کف‌ساز، غلظت کف‌ساز و دبی هوا به‌عنوان پارامترهای متغیر و میزان حذف یون مورد نظر به عنوان پاسخ در نظر گرفته شدند و آزمایش‌ها در لوله هالیموند انجام شد. برای تعیین تاثیرات اصلی برهم‌کنش‌ها سطح اطمینان ۹۵% در نظر گرفته شده است. با تحلیل نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده در لوله هالیموند پارامترهای بهینه برای فلوتاسیون یونی روی به‌دست آمد.

۴- نتایج و بحث

یکی از پارامترهای مهم در فلوتاسیون یونی ساختار کلکتور و کف‌ساز و اندرکنش بین آن‌ها و یون است. دو نوع کلکتور و کف‌ساز با ساختار متفاوت به‌منظور بررسی تاثیر ساختار آن‌ها بر بازیابی مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی تاثیر متغیرهای در نظر گرفته شده در فرایند فلوتاسیون یونی بر میزان بازیابی روی از پساب‌های سنتزی، نتایج حاصل از آزمایش‌ها با لوله هالیموند با استفاده از نرم‌افزار DX7 تحلیل شد.

۴- ۱- تعیین پارامترهای موثر بر بازیابی فلوتاسیون روی

نمودارهای حاصل از تحلیل نتایج آزمایش‌های فلوتاسیون یونی روی برای تعیین پارامترهای بهینه در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود برای فلوتاسیون یونی روی نوع کلکتور SDS، نوع کف‌ساز داوفروت ۲۵۰، pH برابر با ۳، غلظت کلکتور برابر با ۳۰۰ ppm و غلظت کف‌ساز برابر با ۹۰ppm پارامترهای بهینه هستند. در فلوتاسیون یونی pH محلول عامل موثری برای تعیین شکل و نوع بار الکتریکی یون فلزی موجود در آن و تعیین نوع کلکتور است. در pH برابر با ۳ یون روی دارای بار مثبت است [۱۷] و کلکتور SDS دارای بار منفی است بنابراین یون‌های روی به آسانی توسط کلکتور جذب می‌شوند. با افزایش pH امکان تشکیل پیوند هیدروکسی یون روی وجود دارد بنابراین بار آن تغییر می‌یابد و موجب کاهش بازیابی در pH برابر ۶ می‌شود (شکل (۱– الف) و ۱– ج)). یکی دیگر از پارامترهای موثر در فلوتاسیون یونی مقدار کلکتور است با

Archive of SID

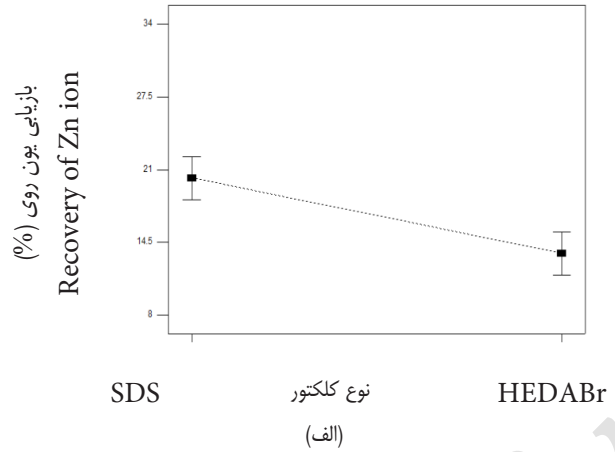
www.SID.ir

افزایش غلظت کلکتور (شکل (۱- ب))، یون‌های کلکتور زیادتری در محیط برای حذف یون‌های روی وجود دارد و موجب افزایش بازیابی می‌شود. از دیگر پارامترهای مهم در فلوتاسیون یونی دبی هوا و نوع و غلظت کف‌ساز است. استفاده از غلظت مناسب کف‌ساز و دبی هوای مناسب موجب تولید حباب‌هایی با اندازه مناسب و پایداری کافی می‌شود. کف‌سازها با کاهش کشش سطحی فصل مشترک حباب- مایع [۱۷] موجب پایداری حباب می‌شود و انتقال یون‌ها توسط حباب به سطح را ممکن می‌سازد، اگر حباب‌ها پایداری لازم را نداشته باشند قبل از خروج از سیستم ممکن است منهدم شده و یون‌های بارگیری شده مجددا به محلول بازگردد. همان‌طور که در شکل (۱- د)، مشاهده می‌شود کف‌ساز داوفروت ۲۵۰ در فلوتاسیون یونی روی عملکرد بهتری دارد. هم‌چنین اندازه حباب‌ها در فلوتاسیون یونی پارامتری مهم است و با افزودن غلظت مناسب کف‌ساز می‌توان اندازه حباب‌ها را کاهش داد و با افزایش ناحیه سطحی ناشی از کاهش ابعاد حباب‌ها میزان یون‌های بیش‌تری را از محلول حذف نمود. مقدار دبی هوا در میزان تولید حباب و اغتشاش سیستم تاثیرگذار است. شکل (۱- ه)، تاثیر دبی هوا را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که افزایش دبی هوا موجب افزایش بازیابی می‌شود. به‌دلیل اینکه با افزایش دبی هوا مقدار حباب تولیدی افزایش می‌یابد در نتیجه مقدار یون‌های بیشتری از سلول خارج می‌شود. اما مقدار دبی هوا تا اندازه‌ای باید افزایش یابد که موجب اغتشاش در سلول و کاهش بازیابی نشود. تاثیر همزمان و اندرکنش بین پارامترها در فلوتاسیونی روی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به فعل و انفعالات فیزیکی- شیمیایی این فرایند، با احتمال زیاد پارامترها با یکدیگر اندرکنش داشته و این اندرکنش بر بازیابی فرایند تاثیر دارد. ماهیت کلکتور و کف‌ساز و اندرکنش بین آن‌ها و یون روی یکی ازپارامترهای موثر در فلوتاسیون یونی است. ساختار شیمیایی مواد شیمیایی استفاده شده در جدول (۱) آورده شده است. شکل (۲- الف) تاثیر اندرکنش نوع کلکتور و نوع کف‌ساز را در بازیابی یون روی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که نوع کلکتور SDS و نوع کف‌ساز داوفروت ۲۵۰ اندرکنش مناسبی با یکدیگر دارند. وجود اتم اکسیژن در گروه باردار کلکتور SDS و اتم هیدروژن در کف‌ساز داوفروت ۲۵۰ می‌توانند پیوند هیدروژنی با یکدیگر تشکیل دهند و شرایط پایدار مناسبی را ایجاد کنند. شکل (۲- ب) تاثیر اندرکنش نوع کلکتور و pH را نشان می‌دهد و کلکتور SDS در pH برابر با ۳ بازیابی بالاتری را ایجاد می‌کند. شکل (۲- ج) نشان می دهد کلکتور SDS در دبی هوا بالا عملکرد بالاتری دارد. واکنش‌های شیمیایی انجام شده در این اندرکنش‌ها و ماهیت محصولات تشکیل شده تاثیر بسیار مهمی در میزان جذب آن‌ها و در نتیجه فرایند فلوتاسیون یونی خواهد داشت.

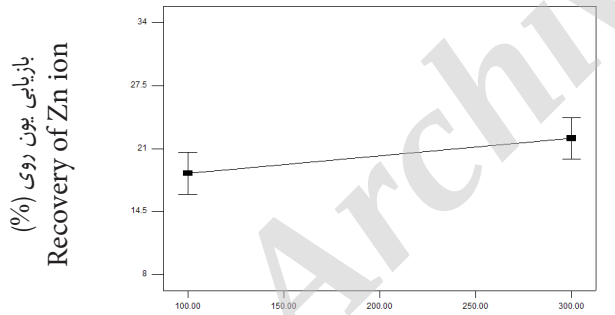
جدول (۱): فرمول شیمیایی مواد شیمیایی

Table 1. Chemical reagents formula

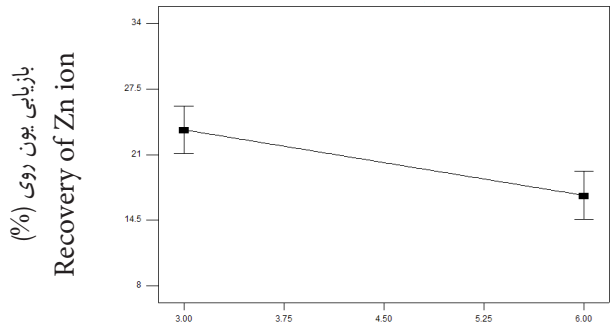
معرف شیمیایی	فرمول شیمیایی
کلکتور EHDABr	$[CH_3(CH_2)_{15}N^+(CH_3)_2CH_2CH_3]Br^-$
کلکتورSDS	$CH_3(CH_2)_{11}OSO_3Na$
کف‌ساز DF250	$[(CH_3)_2-(CH_2CH_2CH_2-O)_n-OH]$ $CH_3-(PO)_n-OH$
کف‌ساز MIBC	$(CH_3)_2-CH_2COHCH_3$



(الف)

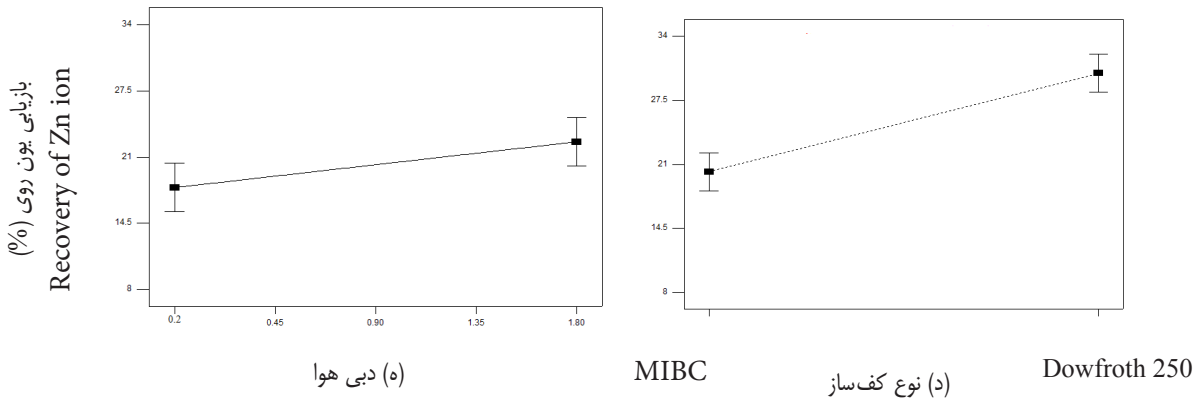


(ب) غلظت کلکتور (ppm)



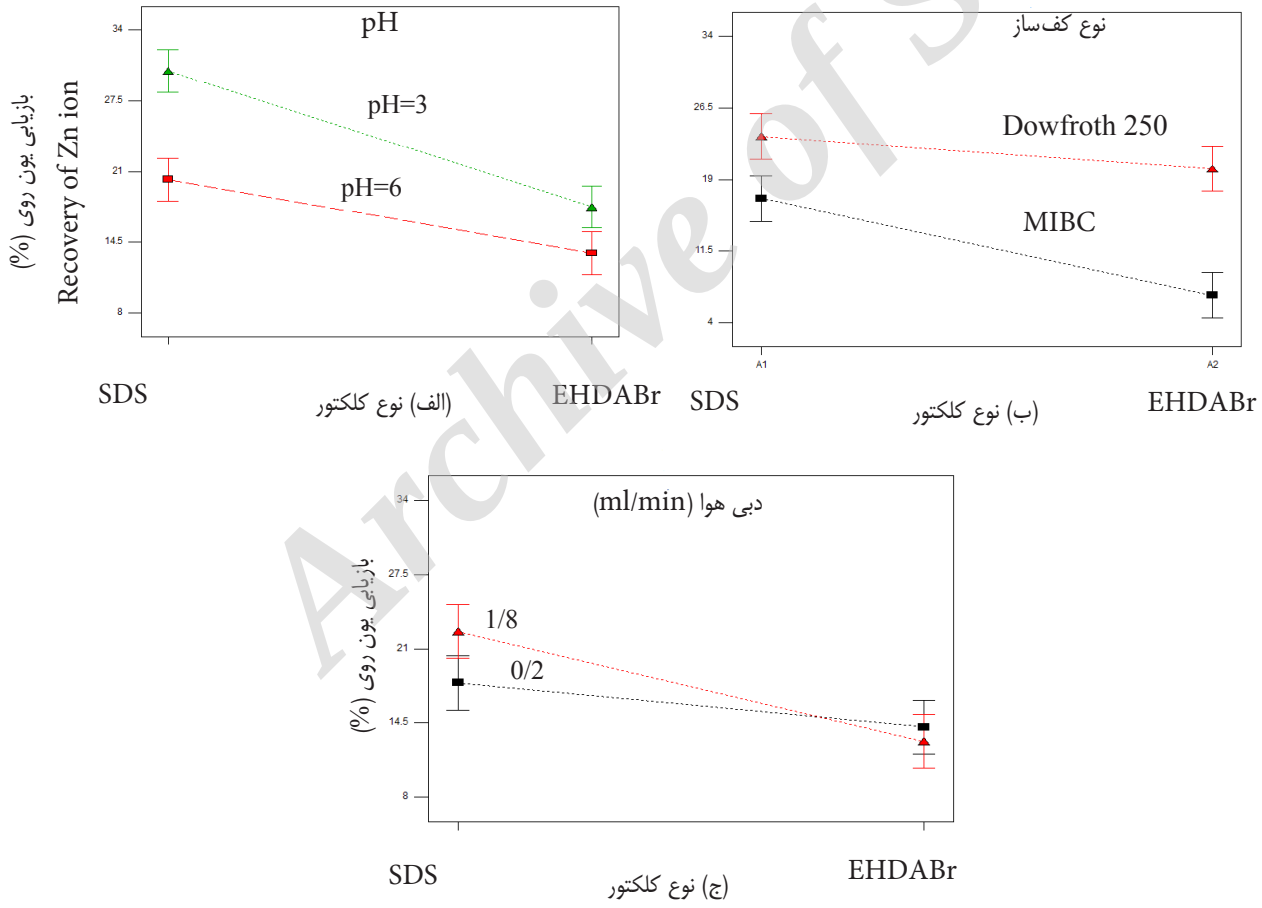
pH (ج)

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱: تعیین پارامترهای بهینه در فلوتاسیون یونی روی. (الف) نوع کلکتور، (ب) غلظت کلکتور، (ج)PH، (د) نوع کف‌ساز، (ه) دبی هوا

Fig. 1. Determination of optimum parameters in ion flotation of Zinc. A) type of collector B) collector concentration C) pH D)type of frother E) air flow rate



شکل ۲: تاثیر اندرکنش‌های پارامترها در فلوتاسیون یونی روی. (الف) اندرکنش نوع کلکتور و نوع کف‌ساز، (ب) اندرکنش نوع کلکتور و pH، (ج) اندرکنش نوع کلکتور و دبی هوا

Fig. 2. effect of parameters interactions on ion flotation of Zn A) interaction of collector- frother type B) interaction of collector type and pH C) interaction of collector type and air flow rate

Archive of SID
www.SID.ir

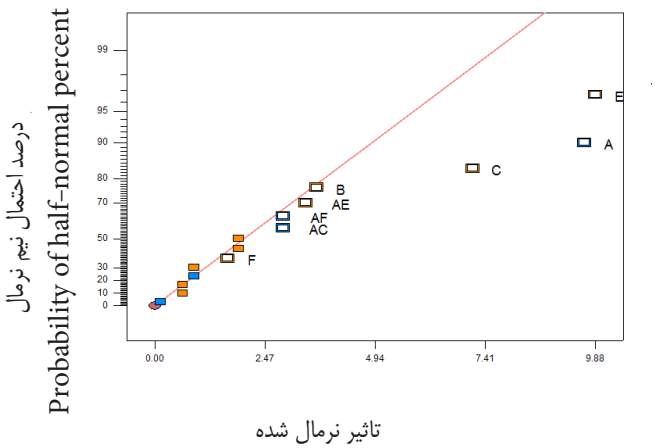
مدل پیشنهادی نرم‌افزار برای بازیابی یون روی طبق معادله (۱) به‌دست آمد:

$$R_{Zn} = 20.44 - 4.81A + 1.81B + 3.56C + 4.94E - 1.44AC + 1.69AE - 1.44AF \quad (۱)$$

A: نوع کلکتور
A: Collector type
B: غلظت کلکتور
B: Collector Concentration
C: نوع کف‌ساز
C: Frother type
E: مقدار pH
E: pH value
AC: اندرکنش نوع کلکتور و نوع کف‌ساز
AC: Collector and Frother types Interactions
AE: اندرکنش نوع کلکتور و pH
AE: Collector type and pH Interaction
AF: اندرکنش نوع کلکتور و دبی هوا
AF: Collector type and Air flow rate Interaction

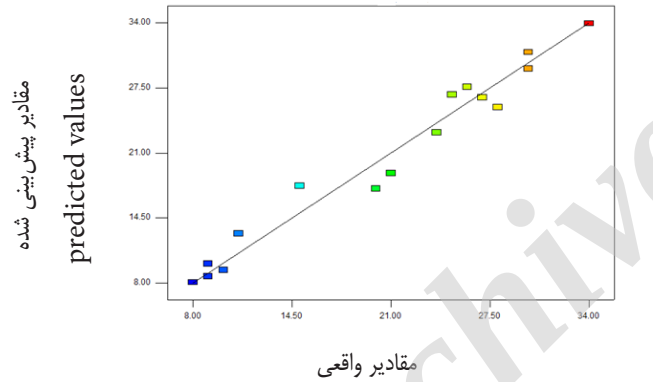
۴- ۲- بررسی پارامترهای موثر بر فلوتاسیون یونی روی

نمودار نیم نرمال جهت شناسایی اثرهای معنادار استفاده می‌شود. به این معنی که فاکتورهایی که انتخاب می‌شوند در مدل قرار می‌گیرند شکل (۳) نمودار نیم نرمال آزمایش‌های فلوتاسیون یونی روی جهت تعیین عوامل موثر بر بازیابی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، درفلوتاسیون روی، نوع کلکتور، مقدار کلکتور، نوع کف‌ساز، pH، اندرکنش نوع کلکتور و نوع کف‌ساز، اندرکنش نوع کلکتور و pH و اندرکنش نوع کلکتور و دبی هوا پارامترهای موثر در مدل هستند. نمودار مقادیر واقعی در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار در شکل (۴) نشان داده شده است. هرچه نقطه‌ها به خط نزدیک‌تر باشند، مقادیر پیش بینی شده توسط نرم‌افزار با مقادیر واقعی نزدیک‌تر است. نتایج تحلیل واریانس نشان داد که pH بیش‌ترین تاثیر را در بازیابی یون روی دارد. نوع کلکتور به‌عنوان پارامتر موثر دوم خود را نشان می‌دهد. نوع کف‌ساز و مقدار کف‌ساز نیز پارامترهای موثر سوم و چهارم در بازیابی یون روی هستند.



شکل ۳: نمودار نیم نرمال جهت تعیین پارمترهای موثر بر بازیابی یون روی

Fig. 3. half- normal diagram for determination of effective parameters on recovery of Zn ion



شکل ۴: نمودار مقادیر واقعی در برابر مقادیر پیش‌بینی شده در فلوتاسیون یونی روی

Fig. 4. Diagram of real values versus predicted values ion flotation of Zn

۴- ۳- نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده در سلول مکانیکی

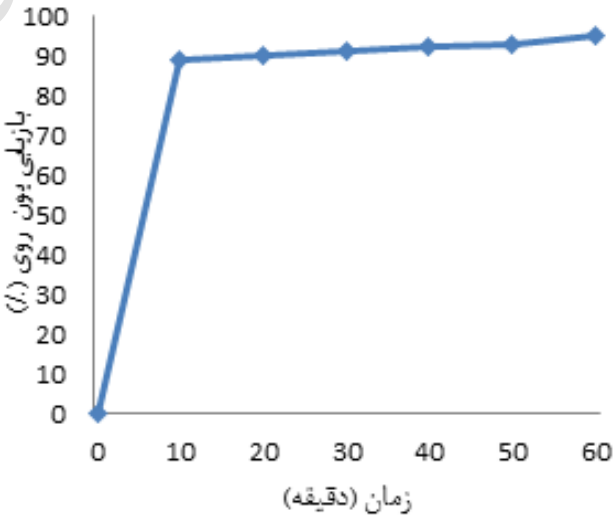
با استفاده از لوله هالیموند می‌توان تعداد زیادی آزمایش با مصرف کم مواد شیمیایی انجام داد و تاثیر مواد شیمیایی و اندرکنش بین آن‌ها را با هزینه کم مورد بررسی قرار داد. آزمایش‌های انجام شده در لوله هالیموند به‌منظور تعیین امکان استفاده از روش فلوتاسیون یونی برای حذف یون‌ها، بررسی پارامترهای مختلف بر فلوتاسیون یونی و تعیین میزان بهینه آن‌ها در مقیاس کوچک با مقادیر کمی از مواد شیمیایی انجام شد. در صنعت عمدتا از سلول‌های فلوتاسیون مکانیکی و ستونی در مقیاس بزرگ استفاده می‌شود.

Archive of SID
www.SID.ir

بنابراین برای نشان دادن پتانسیل این فرایند در صنعت آزمایش‌هایی با شرایط بهینه به‌دست آمده از مرحله لوله هالیموند در سلول مکانیکی انجام شد. نتایج مطلوب به‌دست آمده در سلول مکانیکی نتایج حاصل از لوله هالیموند را تایید می‌کند. به‌دلیل اینکه یکی از عوامل مهم در حذف فلزات سنگین از پساب‌ها، استفاده مجدد آب در فرایند است بنابراین به بررسی بازیابی آب (میزان آب موجود در کف) پرداخته شد تا بهترین شرایط را با بیش‌ترین میزان بازیابی یون و کم‌ترین بازیابی آب با انجام یک بار فرایند فلوتاسیون یونی به‌دست آید.

۴- ۴- تاثیر زمان بر بازیابی یون‌های روی و آب

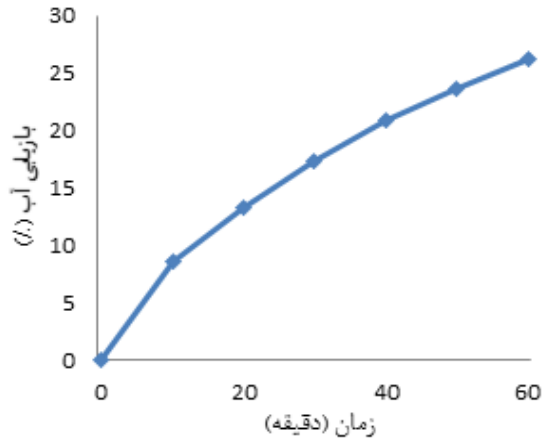
با افزایش زمان فلوتاسیون، بازیابی یون روی افزایش می‌یابد. به‌دلیل اینکه حباب‌ها ظرفیت بارگیری محدودی دارند و با افزایش زمان مقدار حباب‌های زیادتری می‌توانند در سلول تولید شده و یون‌های مورد نظر را از سلول خارج سازند. همان‌طور که در شکل (۵) نشان داده شده است بیشترین بازیابی یون روی در زمان حدود ۱۰ دقیقه برابر با ۹۲ درصد به‌دست آمده است. با افزایش زمان، مقدار کف تولید شده افزایش می‌یابد و به‌دلیل اینکه حباب‌ها معمولا آبدار هستند، بازیابی آب نیز (شکل (۶)) افزایش می یابد. با توجه به تاثیر زمان بر بازیابی یون‌های روی و آب می‌توان رابطه بازیابی آب و یون‌های روی را در شکل (۷) مشاهده نمود که با یکدیگر رابطه مستقیمی دارند.



شکل ۵ : تاثیر زمان بر بازیابی یون روی

(Dowfroth250: ppm90 ،SDS= ppm300، pH=3، Zn= ppm10، 1000 rpm)

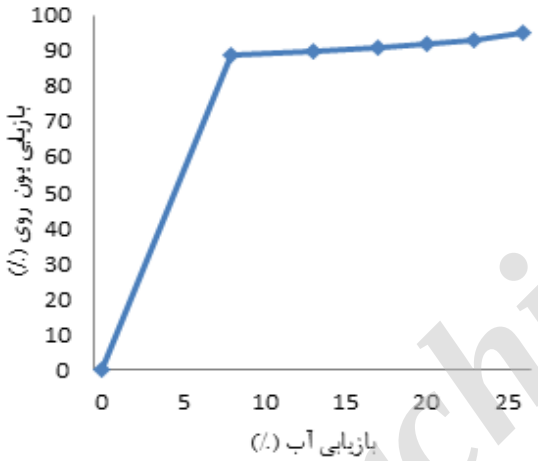
Fig. 5. Effect of time on recovery of Zn ion



شکل ۶ : تاثیر زمان بر بازیابی آب در فلوتاسیون یونی روی

(Dowfroth250: ppm90 ، ppm300:SDS ، pH=3، Zn= ppm10، 1000 rpm، زمان فلوتاسیون: 60 min)

Fig. 6. Effect of time on water recovery in ion flotation of Zn



شکل ۷ : تاثیر بازیابی آب بر بازیابی یون روی

(Dowfroth250: ppm90 ،SDS: ppm300 ، pH=3، Zn= ppm10، 1000 rpm)

Fig. 7. Effect of water recovery on recovery of Zn ion

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق حذف یون‌های روی در پساب سنتزی به‌وسیله فوتاسیون یونی مورد بررسی قرار گرفت. ۱۶ آزمایش با استفاده از نرم‌افزار DX7 طراحی و در لوله هالیموند انجام شد. نتایج آزمایش‌ها با نرم‌افزار تحلیل شد. تاثیر پارامترهای عملیاتی مختلف نظیر نرخ هوادهی، نوع کلکتور، غلظت کلکتور، نوع کف‌ساز، غلظت کف‌ساز و pH محلول بر میزان بازیابی یون‌های روی مورد بررسی قرار گرفت. شرایط بهینه با غلظت ppm ۳۰۰ کلکتور SDS،

Archive of SID
www.SID.ir

غلظت ppm ۹۰ کف‌ساز داوفروت ۲۵۰، pH برابر ۳ و دبی هوا برابر با ml/min ۱/۸به‌دست آمد. به‌منظور بررسی زمان و میزان بازیابی آب و یون روی نتایج بهینه در لوله هالیموند در سلول مکانیکی آزمایش شد نتایج نشان داد که فلوتاسیون یونی کارآیی لازم رابرای حذف بالای روی از پساب دارد. بازیابی یون‌های روی و آب درشرایط بهینه در سلول مکانیکی در زمان ۱۰ دقیقه به‌ترتیب معادل با ۹۲% و ۸/۶۵% به‌دست آمد.

مراجع

[1] F. Fu, Q. Wang, Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review, Journal of environmental management, 92(3) (2011) 407-418.

[2] S. Nicol, K. Galvin, M. Engel, Ion flotation-potential applications to mineral processing, Minerals Engineering, 5(10-12) (1992) 1259-1275.

[3] I. Langmuir, V.J. Schaefer, The effect of dissolved salts on insoluble monolayers, Journal of the American Chemical Society, 59(11) (1937) 2400-2414.

[4] F. Sebba, Ion flotation, Elsevier, 1962.

[5] H. Tomlinson, F. Sebba, Determination of surfactant ions by ion flotation, Analytica Chimica Acta, 27 (1962) 596-597.

[6] A. Hernández-Expósito, J. Chimenos, A. Fernández, O. Font, X. Querol, P. Coca, F.G. Peña, Ion flotation of germanium from fly ash aqueous leachates, Chemical Engineering Journal, 118(1) (2006) 69-75.

[7] A. Zouboulis, Silver recovery from aqueous streams using ion flotation, Minerals Engineering, 8(12) (1995) 1477-1488.

[8] M. Reyes, F. Patiño, F.J. Tavera, R. Escudero, I. Rivera, M. Pérez, Kinetics and recovery of xanthate-copper compounds by ion flotation techniques, Journal of the Mexican Chemical Society, 53(1) (2009) 15-22.

[9] K. Oikawa, Foam treatment of wastewater with N-monodecanoyl diethylenetriamine, Tohaku Kogyo Gijutsa Shikensho Hokoku, 7 (1976) 46-52.

[10] C.W. McDonald, O.A. Ogunkeye, Ion flotation of zinc using ethylhexadecyldim ethylammonium bromide, Microchemical Journal, 26(1) (1981) 80-85.

[11] G. Mal'tsev, S. Vershinin, Concentration and recovery of halide complexes of aluminum subgroup metals by ionic flotation, Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 46(1) (2012) 63-71.

[12] Z. Liu, F.M. Doyle, Ion flotation of Co_2^+, Ni_2^+, and Cu_2^+ using dodecyldiethylenetriamine (Ddien), Langmuir, 25(16) (2009) 8927-8934.

[13] F.M. Doyle, Z. Liu, The effect of triethylenetetraamine (Trien) on the ion flotation of Cu_2^+ and Ni_2^+, Journal of colloid and interface science, 258(2) (2003) 396-403

[14] Z. Liu, F.M. Doyle, A thermodynamic approach to ion flotation. I. Kinetics of cupric ion flotation with alkylsulfates, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 178(1) (2001) 79-92.

[15] Z. Liu, F.M. Doyle, A thermodynamic approach to ion flotation. II. Metal ion selectivity in the SDS–Cu–Ca and SDS–Cu–Pb systems, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 178(1) (2001) 93-103.

[16] F.S. Hoseinian, Removal of Ni and Zn ions from Industrial Wastewaters by ion flotation, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, 2013 (In Persian).

[17] H. Polat, D. Erdogan, Heavy metal removal from waste waters by ion flotation, Journal of Hazardous Materials, 148(1) (2007) 267-273.

[18] J. Rubio, M. Souza, R. Smith, Overview of flotation as a wastewater treatment technique, Minerals engineering, 15(3) (2002) 139-155

[19] J. Rubio, F. Tessele, Removal of heavy metal ions by adsorptive particulate flotation, Minerals Engineering, 10(7) (1997) 671-679

[20] I. Scorzelli, A. Fragomeni, M. Torem, Removal of cadmium from a liquid effluent by ion flotation, Minerals Engineering, 12(8) (1999) 905-917.

[21] C. McDonald, J. Jaganathan, Ion flotation of nickel using ethylhexadecyldimethylammonium bromide, Microchemical Journal, 27(2) (1982) 240-245.

[22] D.C. Montgomery, Design and analysis of experiments, John Wiley & Sons, 2017.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

F. S. Hoseinian, M. Irannajad, A.R. Azadmehr, Removal of Zn(II) from wastewater by Ion flotation: Determination of optimum conditions. *Amirkabir J. Civil Eng.*, 49(4) (2018) 679-686.

DOI: 10.22060/ceej.2016.698

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir