نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن"
Iranian Journal of Mining Engineering
(IRJME)

دوره دهم، شماره ۲۶، سال ۱۳۹۴، صفحه ۱۱ تا ۲۰
Vol. 10, No. 26, 2015, pp.11-20

(یادداشت فنی)

تعیین شرایط مناسب فلوتاسیون یونی نیکل از پساب‌های صنعتی

فاطمه السادات حسینیان[۱]، مهدی ایران‌نژاد[۲*]، امیررضا آزادمهر[۳]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر; fatemeh.hoseinian@gmail.com
۲- دانشیار گروه فرآوری مواد معدنی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر; iranajad@aut.ac.ir
۳- استادیار گروه فرآوری مواد معدنی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر; a_azadmehr@aut.ac.ir

(دریافت ۲۳ اسفند ۱۳۹۲، پذیرش ۲۳ اسفند ۱۳۹۳)

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 نیکل 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 (DF250) به‌عنوان کف‌ساز استفاده شد. برای بررسی فرآیند فلوتاسیون یونی و پارامترهای مؤثر در آن، ۱۶ آزمایش شامل شش عامل متغیر با به‌کارگیری نرم‌افزار DX7 و بر اساس روش طراحی آزمایش فاکتوریل دو سطحی طراحی و انجام شد. آزمایش‌ها ابتدا در سلول هالیموند انجام شد. نتایج تحلیل آزمایش‌ها نشان داد که شرایط مناسب فرآیند فلوتاسیون یونی نیکل در غلظت ppm ۳۰۰ کلکتور SDS، ppm ۹۰ کف‌ساز DF250، pH برابر با ۳ و دبی هوا برابر ml/min ۱٫۸ است. فلوتاسیون یونی نیکل در سلول مکانیکی با شرایط مناسب به‌دست آمده از سلول هالیموند بررسی شد. در این شرایط بازیابی ۸۸٪ برای یون نیکل و بازیابی آب معادل با ۲۸٫۳۴٪ در ۶۰ دقیقه فلوتاسیون یونی حاصل شد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از فلوتاسیون یونی در حذف یون‌های نیکل از پساب‌های صنعتی روش مناسبی است.

کلمات کلیدی

فلوتاسیون یونی، طراحی آزمایش، یون نیکل، پساب صنعتی

Archive of SID

www.SID.ir

*نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

امروزه آلودگی ناشی از فلزات سنگین یکی از مشکلات جدی زیست محیطی است. در همین راستا حذف این فلزات از موضوع‌های 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[i] با مطالعه اثر یون‌های فلز برتک لایه اسید سیتریک معرفی شد [۳]. سبا[ii] برای اولین بار این روش را برای حذف و جداسازی یون‌های غیرآلی استفاده کرد [۴]. فلوتاسیون یونی به‌طور گسترده برای بازیابی فلزاتی از قبیل مس، کروم، ژرمانیوم، نقره و طلا استفاده شده است[۸-۵]. اویکاوا[iii] و همکاران گزارش دادند که یون‌های روی را می‌توان از پساب معدن به‌وسیله فلوتاسیون یونی حذف کرد [۹، ۱۰]. ملتسوف[iv] تغلیظ و بازیابی کمپلکس‌های فلزات زیر گروه آلومینیوم به‌وسیله فلوتاسیون یونی [۱۱] و لیو[v] 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 مطالعه کردند. تأثیر هیدرودینامیکی و خواص پراکندگی در بازیابی یون‌های فلزی با استفاده از فلوتاسیون یونی مشخص نشده است [۱۳- ۱۵].

ترکیبات نیکل به صورت گسترده در صنایع مختلف استفاده می‌شود. در پساب این صنایع مقادیر و اثراتی از نیکل و ترکیباتش وجود دارد. این پساب‌ها اغلب در آب‌های سطحی یا زیرزمینی تخلیه شده و وارد محیط زیست و چرخه طبیعت می‌شوند و اثرات نامطلوب زیادی برای محیط‌زیست ایجاد می‌کنند. گاهی تجمع و افزایش غلظت این عناصر وارد زنجیره غذایی موجودات زنده می‌شود. بنابراین حذف این فلزات از پساب‌ها قبل ازتخلیه آن‌ها به سیستم فاضلاب شهری یا صنعتی یک ضرورت است [۱۶].

در فلوتاسیون یونی، بازیابی آب همراه یون فلزی یا به عبارت دیگر نسبت بازیابی یون فلزی به بازیابی آب بسیار مهم است [۱۷]. در این تحقیق ضمن بررسی امکان حذف یون‌های فلزات سنگین از جمله نیکل 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 فرآیندهای زیست‌محیطی برای کنترل یون‌های فلزات سنگین در پساب‌های صنعتی یا برای بازیابی یون‌های فلزی از محلول‌های تجزیه شده استفاده می‌شود. فلوتاسیون یونی برای جداسازی عناصر فلزی از محلول‌های آبی کاربرد دارد. این روش، فرآیند 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 شده‌است[۲].

در فلوتاسیون یونی، 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. اندازه‌ی حباب‌های هوا در سلول فلوتاسیون باید کوچک باشد (در مقیاس میلی‌متر) تا سطح آزاد بیشتری را برای حذف یون-ها فراهم کنند. مواد شیمیایی که اندازه‌ی حباب‌ها را با کاهش کشش سطحی داخلی آب و هوا کنترل می‌کنند، کف‌ساز نامیده می‌شوند. از جمله کف‌سازهای رایج می‌توان به DF250[vi]، متیل ایزوبوتیل کربینول ، اتانول، متیل اتر، پلی پروپیلن‌گلی‌کل 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 تجارب حاصل از فلوتاسیون یونی و با تحلیل نتایج آزمایش‌های انجام شده در لوله هالیموند پارامترهای بهینه برای فلوتاسیون یونی نیکل به-دست آمد. از نتایج نهایی برای بازیابی یون نیکل و بازیابی آب در سلول مکانیکی نوع دنور استفاده شد. بازیابی یون نیکل در شرایط بهینه در سلول مکانیکی ۸۸ درصد به-دست آمد.

Archive of SID
www.SID.ir

۲-مواد و روش‌ها

در این تحقیق از سدیم دو دسیل سولفات (SDS) و اتیل هگزا دسیل آمونیوم برمید (EHDABr) به‌عنوان کلکتور و از متیل ایزوبوتیل کربینول (MIBC) و DF250 به‌عنوان کف‌ساز استفاده شد. از نیترات نیکل($Ni(NO_3)_2.7H_2O$) 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 جمع-آوری شده و پس از شکستن کف‌ها وزن آب حاصل تعیین شد. محلول باقیمانده در سلول برای تعیین مقدار یون نیکل موجود باقیمانده پس از انجام فرآیند فلوتاسیون یونی با روش جذب اتمی نمونه‌برداری شد.

۳-طراحی آزمایش ها

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 فرآیند حاصل می‌شود. طراحی آزمایش بهینه باید به‌گونه‌ای باشد که با کمترین تعداد آزمایش، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل و دستیابی به شرایط بهینه فراهم شود. روش تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز در انتخاب طرح بهینه مؤثر است[۲۲].

به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر فرآیند فلوتاسیون یونی با استفاده از نرم‌افزار DX7 و بر اساس روش فاکتوریل دو سطحی[vii]، ۱۶ آزمایش طراحی شد. pH، نوع کلکتور، میزان کلکتور، نوع کف‌ساز، میزان کف‌ساز و دبی هوا به-عنوان 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 آزمایش‌های انجام شده در لوله هالیموند پارامترهای بهینه برای فلوتاسیون یونی نیکل به‌دست آمد.

۴-نتایج و بحث

برای بررسی تاثیر متغیرهای در نظر گرفته شده در فرآیند فلوتاسیون یونی بر میزان بازیابی نیکل از پساب‌های سنتزی، نتایج آزمایش‌ها با لوله هالیموند با استفاده از نرم-افزار DX7 تحلیل شد.

۴-۱-تعیین پارامترهای مؤثر بر بازیابی فلوتاسیون نیکل

نمودارهای تحلیل نتایج آزمایش‌های فلوتاسیون یونی نیکل برای تعیین پارامترهای بهینه در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود برای فلوتاسیون یونی نیکل نوع کلکتور SDS، نوع کف‌ساز DF250، pH برابر با ۳، غلظت کلکتور برابر با ۳۰۰ppm و غلظت کف‌ساز برابر با ۹۰ ppm پارامترهای بهینه هستند. در فلوتاسیون یونی pH محلول عامل مؤثری برای تعیین شکل و نوع بار الکتریکی یون فلزی موجود در آن و تعیین نوع کلکتور است. در pH برابر با ۳ یون نیکل دارای بار مثبت می‌باشد [۱۳] و کلکتور آنیونی SDS دارای بار منفی است بنابراین یون‌های نیکل به آسانی توسط کلکتور جذب می‌شود. با افزایش pH امکان تشکیل پیوند هیدروکسی یون نیکل وجود دارد بنابراین بار آن تغییر می‌یابد و موجب کاهش بازیابی در pH برابر ۶ می‌شود (شکل ۱- الف و ج). یکی دیگر از پارامترهای مؤثر در فلوتاسیون یونی غلظت کلکتور است با افزایش غلظت کلکتور (شکل ۱- ب)، یون‌های کلکتور زیادتری در محیط برای حذف یون‌های نیکل وجود دارد و موجب افزایش بازیابی می‌شود. از دیگر پارامترهای مهم در فلوتاسیون یونی دبی هوا و غلظت کف-ساز 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 موجب پایداری حباب می‌شود [۱۷] و انتقال یون‌ها توسط حباب به سطح را ممکن می‌سازد، اگر حباب‌ها پایداری لازم را نداشته باشند قبل از خروج از

Archive of SID
www.SID.ir

سیستم ممکن است منهدم شده و یون‌های بارگیری شده مجددا به محلول بازگردد. همان‌طور که در شکل ۱- د،

مشاهده می‌شود با افزایش غلظت کف‌ساز بازیابی افزایش می‌یابد. 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. تأثیر همزمان و اندرکنش بین پارامترها در فلوتاسیون یونی نیکل بررسی شد. با توجه به فعل و انفعالات فیزیکی- شیمیایی این فرآیند، با احتمال زیاد پارامترها با یکدیگر اندرکنش داشته و این اندرکنش بر بازیابی فرآیند تاثیر گذاشته است. شکل ۲- الف تأثیر اندرکنش نوع کلکتور و غلظت کلکتور را در بازیابی یون نیکل نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که نوع کلکتور SDS برای بازیابی یون‌های نیکل کارایی بالاتری دارد و با افزایش غلظت کلکتور بازیابی افزایش می‌یابد.

شکل۲- ب، تاثیر نوع کلکتور و غلظت کف‌ساز را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود کلکتور SDS و با غلظت ppm ۹۰ کف‌ساز اندرکنش مناسبی با یکدیگر دارند. شکل ۲- ج، تاثیر اندرکنش غلظت کلکتور و غلظت کف‌ساز را نشان می‌دهد. با افزایش غلظت کلکتور و غلظت کف‌ساز بازیابی افزایش می‌یابد. واکنش‌های شیمیایی انجام شده در این اندرکنش‌ها و ماهیت

محصولات تشکیل شده تاثیر بسیار مهمی در میزان جذب آن‌ها و در نتیجه فرآیند فلوتاسیون یونی خواهد داشت.

یکی از عوامل مؤثر در فلوتاسیون یونی ماهیت کلکتور و کف‌ساز و اندرکنش بین آن‌ها و یون نیکل است. کلکتور آنیونی SDS در گروه باردار خود، دارای یک یا چند اتم اکسیژن است. اتم اکسیژن ویژگی تشکیل پیوند داتیو دارد، بنابراین وقتی‌که چنین کلکتورهایی استفاده می‌شوند نیروی جاذبه بین کلکتور و کاتیون لیگاند بیشتر ازجذب

نیروی کولنی ساده است. در فصل مشترک آب- یون، زنجیر الکیل مولکول‌های کلکتور و کف‌ساز به‌وسیله نیروهای واندروالس با یکدیگر متصل شده‌اند. کف‌سازها می‌توانند با اتم اکسیژن کلکتور پیوند هیدروژنی تشکیل دهند. وقتی‌که تجمع مولکولی بین کف‌ساز و کلکتور به‌طور مناسب موازنه شود، اتصال مناسب در فصل مشترک این دو ایجاد شده و منجر به بازیابی مطلوب یون می‌شود. بنابراین اتم اکسیژن در گروه باردار کلکتور SDS و اتم هیدروژن در کف‌ساز DF250 با تشکِل پیوند هیدروژنی با یکدیگر شرایط پایدار مناسبی را ایجاد می‌کنند. در عین حال تشکیل این پیوند موجب مصرف کمتر مواد شیمیایی(کف‌ساز و کلکتور) می‌شود.

به‌منظور بررسی پیش‌بینی مدل بازیابی یون نیکل، دو آزمایش طبق شرایط بهینه پیش‌بینی‌شده توسط نرم‌افزار انجام شد. نتایج در جدول ۱ آورده شده است. به‌طوری‌که مشاهده می‌شود بازیابی واقعی به بازیابی پیش‌بینی شده نزدیک است که نشان دهنده معنادار بودن مدل است.

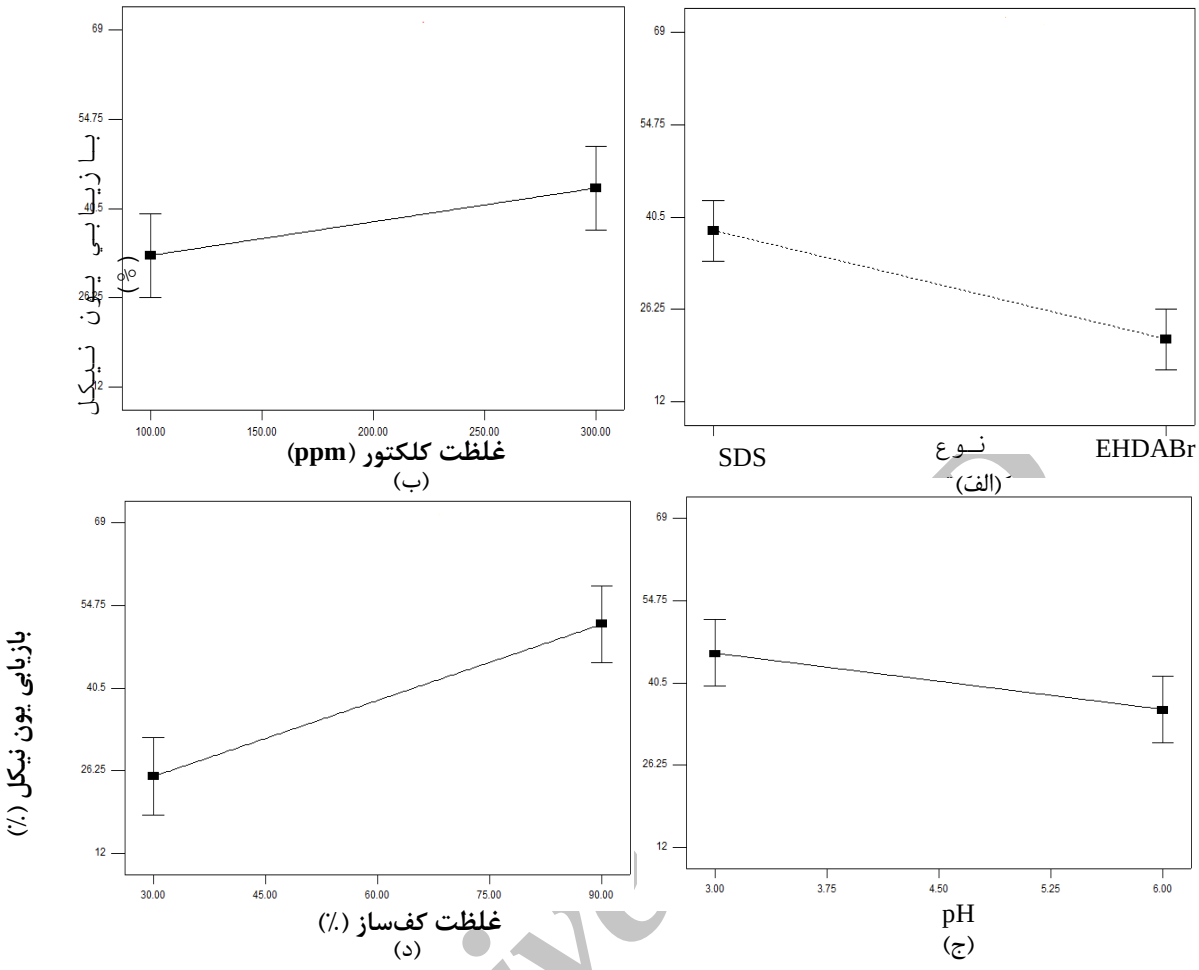
مدل پیشنهادی نرم‌افزار برای بازیابی یون نیکل(R_{Ni}) مطابق با رابطه (۱) است:

که در آن:

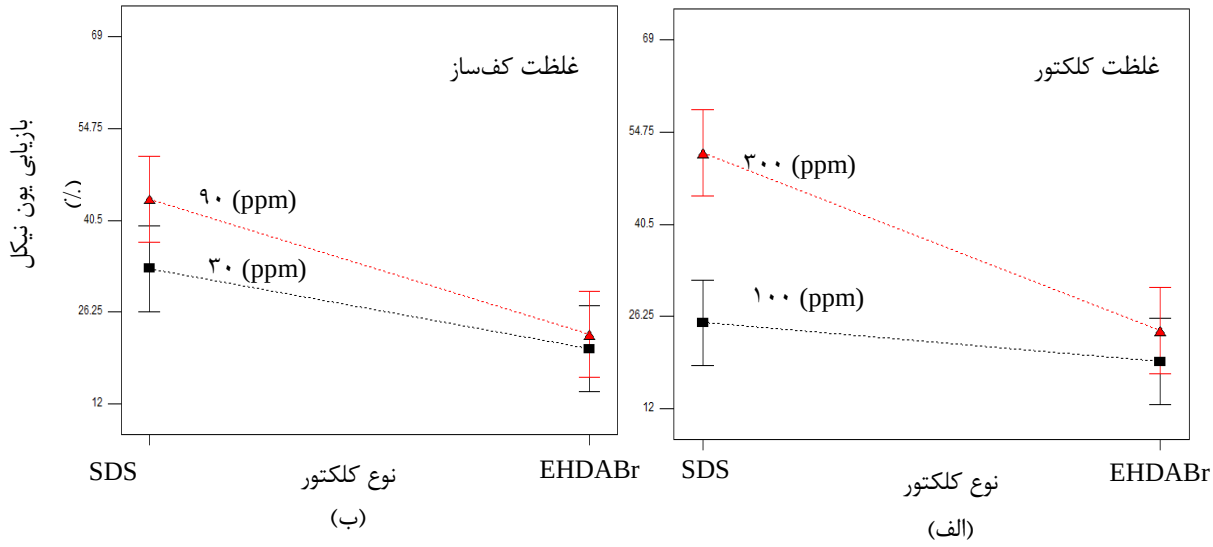
$$R_{Ni} = 30 - 8.38A + 7.75D + 4.88E - 5.37AD + 5.75BD \quad (1)$$

Archive of SID

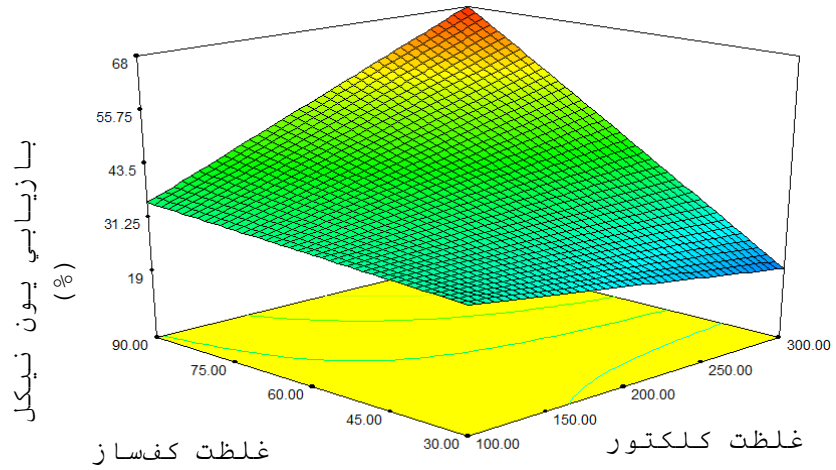
www.SID.ir



شکل ۱: تعیین پارامترهای بهینه در فلوتاسیون یونی نیکل. (الف) نوع کلکتور، (ب)غلظت کلکتور، (ج) pH، (د) غلظت کف‌ساز.



www.SID.ir



(ج)

شکل ۲: تأثیر اندرکنش‌های پارامترها در فلوتاسیون یونی نیکل. (الف) اندرکنش نوع کلکتور و غلظت کلکتور، (ب) اندرکنش نوع کلکتور و غلظت کفساز، (ج) اندرکنش غلظت‌های کلکتور و کفساز.

جدول ۱: شرایط پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار آزمایش‌های فلوتاسیون یونی نیکل.

نوع کلکتور	غلظت کلکتور(ppm)	نوع کف ساز	غلظت کفساز (ppm)	pH	دبی هوا (ml/min)	بازیابی پیش-بینی شده(٪)	بازیابی واقعی(٪)
SDS	۲۹۷/۴۱	DF250	۹۰	۴/۵۹	۱/۴۷	۶۹/۹۴	۵۸
SDS	۲۸۹/۷۳	DF250	۸۹/۶۰	۵/۸۲	۰/۳۵	۷۱/۷۸	۵۹/۹

۴-۲-آنالیز واریانس

از آنالیز واریانس برای شناسایی تأثیرهای معنی‌دار استفاده می‌شود. آنالیز واریانس، انجام عملیات ریاضی است که توسط آن می‌توان مقدار کل تغییرها یا اختلاف‌های موجود در یک آزمایش را به قسمت‌ها و اجزای مختلف آن تقسیم کرد. این مقادیر در جدول ۲ آورده شده است. مقدار F مدل برابر با ۸/۲۰ است که دلالت بر معنادار بودن مدل است. با توجه به این‌که با سطح اطمینان ۹۵٪، برای مقادیر P کمتر از ۰/۰۵ معنادار بودن پارامترها برداشت می‌شود. با توجه به این موضوع در جدول ۲ به غیر از پارامترهای B و AB بقیه پارامترها معنادار هستند. نوع کلکتور بیش‌ترین تاثیر (۲۴/۳۹٪) را در بازیابی یون نیکل دارد. غلظت کفساز به‌عنوان پارامتر مؤثر دوم (۲۰/۸۸٪) خود را نشان می‌دهد. اندرکنش غلظت‌های کلکتور و کف-ساز، اندرکنش نوع کلکتور و غلظت کفساز و اندرکنش نوع کلکتور، غلظت کفساز و نوع کفساز به ترتیب پارامترهای سوم، چهارم و پنجم تأثیرگذار بر بازیابی هستند. مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۱ نشان دهنده عدم اهمیت پارامتر می‌باشد. اگر پارامتری بی‌اهمیت باشد، نرم‌افزار با حذف آن‌ها مدل خود را بهبود می‌بخشد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲: آنالیز واریانس و بررسی آماری مدل فلوتاسیون یونی نیکل.

پارامترها	مجموع مربعات	درصد مشارکت پارامترها	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P
مدل	۴۱۵۸/۲۵		۱۸	۵۱۹/۷۸	۸/۲۰	۰/۰۰۵۹
A	۱۱۲۲/۲۵	۲۴/۳۹	۱	۱۱۲۲/۲۵	۱۷/۷۰	۰/۰۰۴۰
B	۱۶۹	۳/۶۷	۱	۱۶۹	۲/۶۷	۰/۱۴۶۵
D	۹۶۱	۲۰/۸۸	۱	۹۶۱	۱۵/۱۶	۰/۰۰۵۹
E	۳۸۰/۲۵	۸/۲۶	۱	۳۸۰/۲۵	۶	۰/۰۴۴۲
AB	۷۲/۲۵	۱/۵۷	۱	۷۲/۲۵	۱/۱۴	۰/۳۲۱۱
AD	۴۶۲/۲۵	۱۰/۰۴	۱	۴۶۲/۲۵	۷/۲۹	۰/۰۳۰۶
BD	۵۲۹	۱۱/۴۹	۱	۵۲۹	۸/۳۴	۰/۰۲۳۴
ABC	۴۶۲/۲۵	۱۰/۰۴	۱	۴۶۲/۲۵	۷/۲۹	۰/۰۳۰۶
باقی‌مانده	۴۴۳/۷۵	۹/۶۴	۷	۶۳/۳۹		
جمع کل	۴۶۰۲	۱۰۰	۱۵			

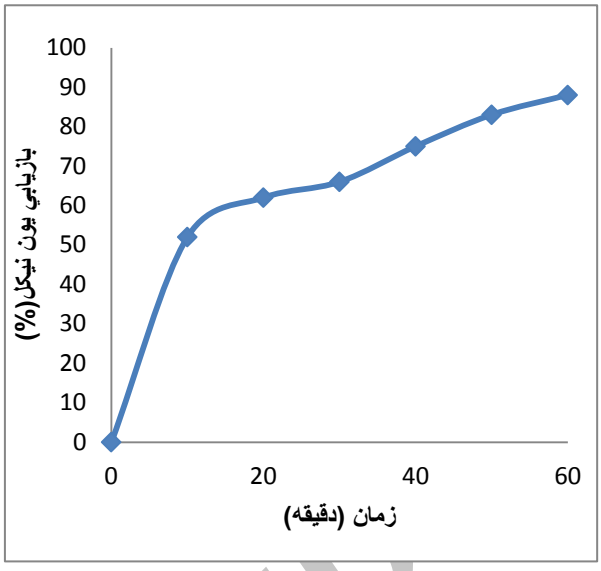
۴-۳- نتایج آزمایش‌های انجام شده در سلول مکانیکی

آزمایش‌های انجام شده در لوله هالیموند به منظور تعیین امکان استفاده از روش فلوتاسیون یونی برای حذف عناصر و بررسی پارامترهای مختلف بر فلوتاسیون یونی و تعیین میزان بهینه آن‌ها در مقیاس کوچک انجام شد. در صنعت اغلب از سلول‌های فلوتاسیون مکانیکی و ستونی در مقیاس بزرگ استفاده می‌شود. بنابراین برای نشان دادن پتانسیل این فرآیند در صنعت آزمایش‌هایی با شرایط بهینه به‌دست آمده از مرحله لوله هالیموند در سلول مکانیکی انجام شد. چون یکی از عوامل مهم در حذف فلزات سنگین از پساب‌ها، استفاده مجدد آب در فرآیند است بنابراین به بررسی بازیابی آب (نسبت میزان آب موجود در کف به محلول اولیه) پرداخته شد تا بهترین شرایط را با بیشترین میزان بازیابی یون و کم‌ترین بازیابی آب با انجام یک بار فرآیند فلوتاسیون یونی به‌دست آید.

۴-۳-۱- تاثیر زمان بر بازیابی یون‌های نیکل و آب

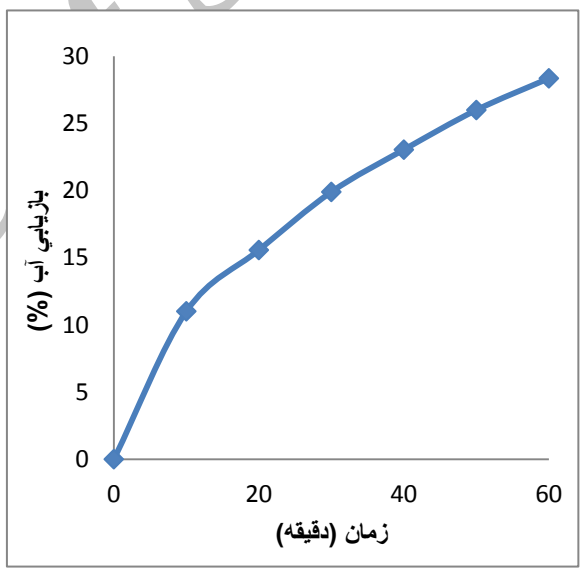
با افزایش زمان فلوتاسیون، بازیابی یون نیکل افزایش می‌یابد. به‌دلیل اینکه حباب‌ها ظرفیت بارگیری محدودی دارند و با افزایش زمان مقدار حباب‌های زیادتری می‌توانند در سلول تولید شده و یون‌های مورد نظر را از سلول خارج سازند. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است بیشترین بازیابی یون نیکل در زمان ۶۰ دقیقه برابر با ۸۸ درصد به‌دست آمده است. با افزایش زمان فلوتاسیون، مقدار کف تولید شده افزایش می‌یابد و به‌دلیل اینکه حباب‌ها معمولا آبدار هستند، بازیابی آب نیز (شکل ۴) افزایش می‌یابد. با توجه به تأثیر زمان بر بازیابی یون‌های نیکل و آب می‌توان رابطه بازیابی آب و یون‌های نیکل را در شکل ۵ مشاهده کرد که با یکدیگر رابطه مستقیمی دارند.

Archive of SID
www.SID.ir



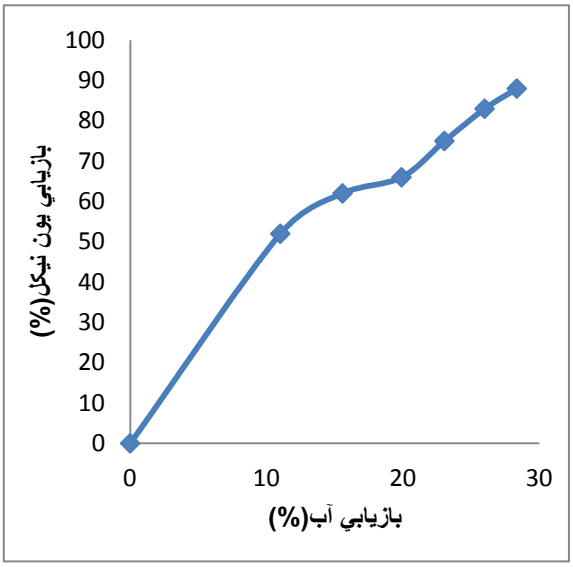
شکل ۳: تاثیر زمان بر بازیابی یون نیکل

شرایط آزمایش: **DF250: 90 ppm, SDS: 300 ppm, pH: 3, Ni: 10ppm, 1000 rpm**



شکل ۴: تأثیر زمان بر بازیابی آب در فلوتاسیون یونی نیکل

شرایط آزمایش: **DF250: 90 ppm, SDS: 300 ppm, pH: 3, Ni: 10ppm, 1000 rpm**



شکل ۵: رابطه بازیابی آب بر بازیابی یون نیکل

شرایط آزمایش: **DF250 :90 ppm ، SDS : ۳۰۰ ppm ، pH:3 ،Ni:10ppm ،1000 rpm.**

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق حذف یون‌های نیکل 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. تأثیر پارامترهای عملیاتی مختلف نظیر نرخ هوادهی، نوع کلکتور، غلظت کلکتور، نوع کف‌ساز، غلظت کف‌ساز و pH محلول بر میزان بازیابی یون‌های نیکل بررسی شد. شرایط بهینه با مقدار ۳۰۰ ppm کلکتور SDS، مقدار ۹۰ ppm کف‌ساز DF250، pH برابر ۳ و دبی هوا برابر با ml/min ۱٫۸ به‌دست آمد. به‌منظور بررسی زمان و میزان بازیابی آب و یون نیکل نتایج بهینه در لوله هالیموند در سلول مکانیکی آزمایش شد نتایج نشان داد که فلوتاسیون یونی کارآیی لازم را برای حذف بالای نیکل از پساب دارد. بازیابی یون‌های نیکل و آب در شرایط بهینه در سلول مکانیکی در زمان ۶۰ دقیقه به‌ترتیب معادل با ۸۸٪ و ۲۸٫۳۴٪ به‌دست آمد.

Archive of SID
www.SID.ir

مراجع

[1] Fenglian, Fu., Wang, Qi.; 2011; "*Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review*"; Journal of Environmental Management, Vol. 92, pp. 407-418.

[2] Nicol, S.K., Galvin, K.P. and Engel M.D.; 1992; "*Ion flotation - Potential applications to mineral processing*"; Minerals Engineering, Vol. 5, pp. 1259-1275.

[3] Langmuir, I., and Shaefer. V.; 1937; "*The effects of dissolved salts on insoluble mono1ayers*"*;* Amer. Chem, Vol. 59, pp. 2400-2412.

[4] Sebba, F. ; 1959; "*Ion Flotation*"; *New York:Elsevier*.

[5] Salmani Abyaneh, A.; 2010; "*The removal of chromium (VI) from by ion flotation and precipitation flotation*"; MSc Thesis, Chemical Engineering Department, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

[6] Hernandez Expósito, A. and et al.; 2006; "*Ion flotation of germanium from fly ash aqueous leachates*"; Chemical Engineering, Vol. 118, pp. 69-75.

[7] Zouboulis, A.I.; 1995; "*Silver recovery from aqueous streams using ion flotation*"; Minerals Engineering, Vol. 8, pp. 1477-1488.

[8] Galvin, K. P., Nicol, S. K. and Waters.; 1992; "*Colloid Surface*"; Vol. 64, pp. 21-33.

[9] Oikawa, K.; 1976; "*Foam treatment of wastewater with N-monodecanoyl diethylenetriamine*"; Tohoku Kogyo Gijutsu Shikensho Hokoku, Vol. 7, pp. 46-52.

[10] Oikawa, K. et al.; 1976; "*Foam treatment of mining wastewater containing heavy metals with N-monodecanoyl diethylenetriamine*"; Tohoku Kogyo Gijutsrr Shikensho Hokohu, Vol. 7, pp. 34-40.

[11] Mal'tsev, G. I. and Vershinin, S. V.; 2012; "*Concentration and Recovery of Halide Complexes of Aluminum Subgroup Metals by Ionic Flotation*"; Theoretical of Chemical Engineering, Vol. pp. 46, 63-71.

[12] Liu, Z. and Doyle M.; 2009; "*Ion Flotation of* Co^{2+} *,*Ni^{2+}*,and* Cu^{2+} *Using Dodecyldiethylenetramine (Ddien)*"; American Chemical Society, Vol. 25, pp. 8927-8934.

[13] Fiona M. Doyle. and Liu, Z.; 2003; "*The effect of triethylenetetraamine (Trien) on the ion flotation of* Cu^{2+} *and* Ni^{2+}"; Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 258, pp. 396-403.

[14] Liu, Z. and Fiona M Doyle.; 2001; "*A thermodynamic approach to ion flotation. I. Kinetics of cupric ion flotation with alkylsulfates, Colloids and Surfaces*"; Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 178, pp. 79-92.

[15] Liu, Z. and Doyle, FM.; 2001; "*thermodynamic approach to ion flotation. II. Metal ion selectivity in the SDS–Cu–Ca and SDS–Cu–Pb systems, Colloids and Surfaces*"; Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 178, pp. 93-103.

[16] Hoseinian, F.S.; 2013; "*Removal of Nickel and Zinc from industrial wastewater by Ion Flotation",* MSc Thesis, Department of Mining and Metallurgical Engineering Mineral Processing, Amirkabir univercity of technology, Tehran, Iran.

[17] Polat, H.; Erdogan, D.; 2007; "*Heavy metal removal from waste waters by ion flotation*", Hazardous Material, Vol. 85, pp. 111-125.

[18] Rubio, J.; 1998; "*Environmental application of the flotation process*"; In: Castro, S.H., Vergara, F., Sanchez, M. (Eds.), Effluent Treatment in the Mining Industry, Vol. 1, pp. 335-364.

[19] Rubio, J. and Tessels, F.; 1997; "*Removal of heavy metal ions by adsorptive particulate flotation*"; Minerals Engineering, Vol. 1, pp. 671-679.

[۲۰] Scorzelli, I.B., Fragomeni, A.L. and Torem, M.L.; 1999; "*Removal of Cadmium from Liquid Effluent by Ion Flotation*"; Mineral Engineering, Vol. 12, pp. 905-917.

[۲۱] Mcdonald, C. and Jaganathan, J.; 1982; "*Ion Flotation of Nickel Using Ethylhexadecyldimethylammonium bromide*"; Microchemical, Vol. 27, pp. 240-245.

[۲۲] Montgomery, D. C.; 1991; "Design and Analysis of Experiments"; *John Wiley & Sons*.

[23] http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigm

Archive of SID
www.SID.ir

[24]- Finch, J. A., Nesset, J. E. and Acuña, C .; 2008; *"Role of frother on bubble production and behaviour in flotation*"; Minerals Engineering, Vol. 21, pp. 949–957.

a/74255?lang=en&region=SE, 26/05/2014, 09.00 am.

[i] Langmuir & Shaefer
[ii] Sebba
[iii] Oikawa
[iv] Mal'tsev
[v] Liu
[vi] Dowfroth250
[vii] 2-level Factorial

Archive of SID

www.SID.ir