



## Copper Ions Recovery by Flotation as Pre-Solvent Extraction Treatment Process

Mahdi Jafari<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty Member, Department of Mining Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

### ARTICLE INFO

**Received:** 08.28.2022

**Revised:** 11.30.2022

**Accepted:** 01.15.2023

**Keyword:**

Solvent extraction  
Recovery  
Leaching  
Hydrometallurgy  
Flotation

**\*Corresponding Author:**

Mahdi Jafari

**Email:** [jafari.mining@gmail.com](mailto:jafari.mining@gmail.com)

### ABSTRACT

Ion flotation is a method for metal ions recovery from aqueous solutions. In this method, the metal ions are recovered in floating froth. In hydrometallurgical methods for extracting copper from leach solution, firstly, solution is recovered by using solvent extraction method (SX), then copper ions are recovered by using the Electrowinning method. SX is the most common method; nevertheless, there is limitation in input minimum concentration. As a result, diluted solution cannot be concentrated with this method. In this study, the use of ion flotation method for copper recovery from a diluted leach solution from a copper mine in Qom was investigated. The experiments were carried out on the mine diluted solution using Denver mechanical cell types, in PH value of 6, 9 and 12 when the copper ion concentration was 10 ppm. Ethanol and methyl iso-butyl carbonyl (MIBC) were used as frothers. Hexa decyl trimethyl ammonium bromide (HTAB) and sodium dodesyl sulfate (SDS) were used as collectors. The efficiency of this method was evaluated by measuring copper recovery. Best results were obtained at the pH value of 12 by using HTAB as collector with amount of 100 ppm and 0.1% (V/V) MIBC as frother. Under these circumstances, copper recovery was recorded to be 82.3%.



---

## EXTENDED ABSTRACT

---

### Introduction

In hydrometallurgical method for extracting copper, the copper sample, after being leached in sulfuric acid, is recoverable by electrowining method in ultimate solution. The leach solution must be concentrated, purified, and cured before entering electrowining cells. The most common method for concentrating and processing copper is solvent extraction technique (SX). Solvent extraction method is efficient and popular but there is limitation in input minimum concentration (at least 2 grams per liter). As a result, more diluted solutions with this amount are not capable to be condensed in this way. Ion flotation can act as a pre-concentration for copper diluted solutions and then enter the SX-EW process to recover the copper. In this study, the use of ion flotation technique for separating and recovering copper from a leach diluted solution was investigated.

### Methodology

In all experiments, the Denver flotation cell tanks were used. Froth collection was carried out manually using a rubber blade. Copper concentration measurement was carried out by using atomic absorption spectroscopy (AAS). Dodecyl sodium sulfate (SDS) with  $C_{12}H_{25}NaO_4S$  formula and molecular weight of 288 g/mol, and Hexadecyl trimethyl ammonium bromide (HTAB) with  $C_{12}H_{42}BrN$  formula and molecular weight of 364.5 g/mol were used as collectors; Methyl iso-butyl carbonyl (MIBC) and ethanol were used as flotation frother. Adjusting pH solution was carried out by sodium hydroxide (NaOH) and sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ). All the material used was procured from Merck. The experiments were carried out with the diluted solution with Cu concentration of 10 ppm. Data from experiments performed at pH values of 6, 9 and 12 are given in Tables 3, 4 and 5, respectively.

**Table 1. Elements in the leach solution of copper mine**

Element	Concentration (ppm)
Ag	0.207
Cd	1.078
Co	7.606
Cu	8975
Fe	14743.75
Mg	4264.3

**Table 2. Elements in the leach solution of copper mine after dilution**

Element	Concentration (ppm)
Ag	0.1>
Cd	0.1>
Co	0.1>
Cu	10
Fe	16.42
Mg	4.75

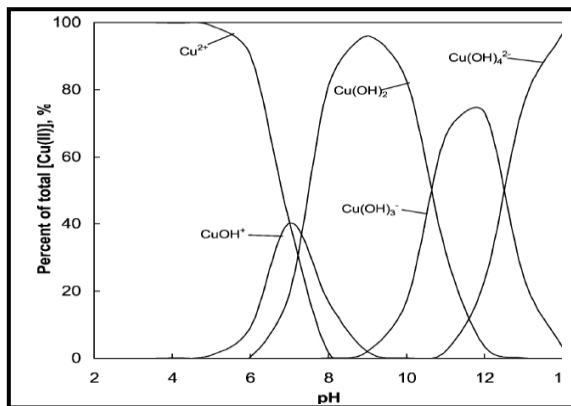


Figure 1. The form of copper ions in different pH values

## Results and discussion

The most important factor determining the form of metal (amount and type of ion) in solution is pH of solution. According to Figure 1, around pH =9, the dominant ion forms of copper were  $\text{CuOH}^+$  and  $\text{Cu}^{2+}$ . Due to their positive surface charge, in this area, the anionic collector (negatively charged) for flotation tests can be used. In the range of pH =6-12, copper (II) hydroxide was formed and above pH 10, dominant species were  $\text{Cu}(\text{OH})_3^-$  and  $\text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}$  and due to their negative surface charge, a cationic collector for their flotation tests can be used. The experiments were carried out using a diluted solution with Cu concentration of 10 ppm, collector value of 100 mg/l and froth value of 0.1% V/V at three value of pH 6, 9 and 12 with a suitable collector as previously mentioned. In all experiments, the pH of the solution was adjusted by sulfuric acid and sodium hydroxide. Data from experiments performed at pH 6, 9 and 12, are given in Tables 3, 4 and 5, respectively.

Table 3. Recovery of copper ions in froth, pH = 6, collector =SDS

Time (min)	Froth (ml)	Cu (ppm)	Recovery (%)
20	427	7.797	41.16

Table 4. Recovery of copper ions in froth, pH = 9, collector =SDS.

Time (min)	Froth (ml)	Cu (ppm)	Recovery (%)
20	475	8.555	44.26

Table 5. Recovery of copper ions in froth, pH = 12, collector =HTAB.

Time (min)	Froth (ml)	Cu (ppm)	Recovery (%)
20	525	15.800	82.30

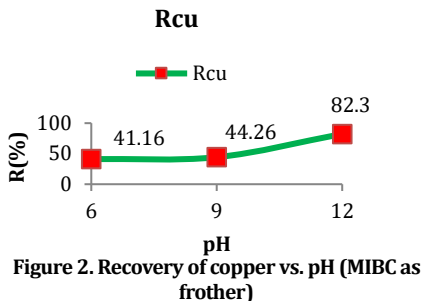


Figure 2. Recovery of copper vs. pH (MIBC as frother)

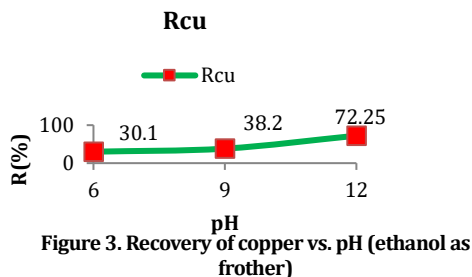


Figure 3. Recovery of copper vs. pH (ethanol as frother)

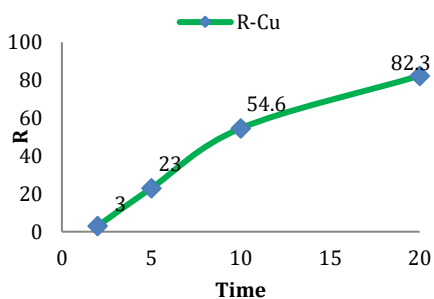


Figure 4. Recovery of copper at pH 12 (with respect to first-order kinetics)

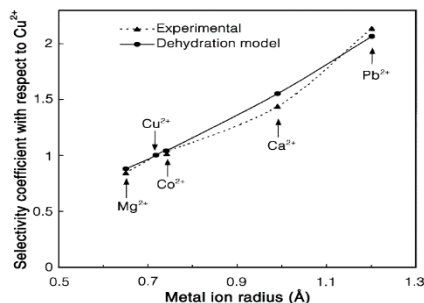


Figure 5. Comparison of experimental selectivity coefficients dehydration model

Most of the solutions offered in the hydrometallurgical process consist of more than one metal ion. As a result, a physical understanding of selectivity reason of an ion over other ions would be very useful in choosing the appropriate collector and also creating favourable conditions in ion flotation. As can be observed in Figure 5, the copper ion is more selective than magnesium ions. Consequently, since in copper mine leach solution sample, only copper and magnesium ions are present and the concentration of other ions is negligible (Table 2), there is a selective recovery of copper ions over the magnesium ion.

### Conclusion

By adjusting the pH value to 4.5, the iron was formed in hydroxide, precipitated in solution and removed from solution by filtering. Based on experiments conducted, the best recovery belonged to pH 12, where the collector HTAB dose was 100 mg/l and frother MIBC had the amount of 0.1% v/v. Under this condition, the recovery of copper was obtained at 82.3%. With the success of these experiments, it seems that ion flotation technique can be used as a pre concentration method for diluted leaching solution due to low amount of copper ion concentration where there is no possibility of using the SX technique.



شاپای الکترونیک: ۲۵۳۸-۴۴۳۰

شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

مقاله پژوهشی

## بازیابی یون مس با روش فلوتاسیون یونی قبل از فرایند استخراج حلالی

مهدی جعفری<sup>۱\*</sup>

۱- عضو هیات علمی، گروه مهندسی معدن، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

فلوتاسیون یونی روشی جهت بازیابی یون‌های فلزی از محلول‌های آبی می‌باشد. در این روش یون‌های فلزی در کف شناور شده بازیابی می‌شوند. در روش هیدرومتالورژی جهت بازیابی مس از محلول فروشویی، ابتدا با روش استخراج حلالی (SX) محلول تغلیظ شده و سپس با روش بازیابی الکترولیتی مس بازیابی می‌شود. SX، روشی رایج اما دارای محدودیت در حداقل غلظت محلول ورودی می‌باشد. در نتیجه محلول‌های رقیق با این روش قابل تغلیظ نیستند. در این مطالعه به کارگیری روش فلوتاسیون یونی جهت بازیابی مس از یک محلول رقیق فروشویی مربوط به معدن مس قم، بررسی شده است. آزمایش‌ها در سلول مکانیکی نوع دنور، در pHهای ۶، ۹ و ۱۲ بر روی محلول رقیق شده معدن با غلظت مس ۱۰ میلی گرم بر لیتر انجام شد. سدیم دو دسیل سولفات (SDS) و هگزا دسیل تری متیل آمونیوم برومید (HTAB) به عنوان کلکتور، متیل ایزوبوتیل کربونیل (MIBC) و اتانول نیز به عنوان کفساز استفاده شدند. کارایی این روش با اندازه‌گیری بازیابی مس بررسی شد. بهترین نتیجه در pH ۱۲، استفاده از کلکتور HTAB به میزان ۱۰۰ mg/l و کفساز MIBC به میزان ۰/۱٪ (V/V) به دست آمد. در این شرایط بازیابی مس ۸۲/۳٪ بوده است.

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۰۶

بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۰۹

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵

### کلید واژگان:

استخراج حلالی

بازیابی

فروشویی

هیدرومتالورژی

فلوتاسیون

\*نویسنده مسئول: مهدی جعفری

پست الکترونیک:

[jafari.mining@gmail.com](mailto:jafari.mining@gmail.com)



## مقدمه

فلوتاسیون یونی بر پایهٔ اتصال یون‌های فلزی روی سر قطبی سورفکتانت (کلکتور) با بار مخالف و بر همکنش و اتصال زنجیر هیدروکربنی سورفکتانت به حباب‌های هوای ورودی به سلول و در نهایت انتقال این گونه‌ها به فاز کف استوار است [۱].

این تکنیک ابتدا توسط سبا به عنوان روشی برای بازیابی یون‌های فلزی از محلول‌های آبی رقیق معرفی شد [۲]. این فرایند هم چنین برای بازیابی فلزات ارزشمند از محلول‌های فروشویی و حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی و معدنی به کار برده شده است. به هر حال یون‌های فلزی با غلظت بسیار کم اغلب با روش‌هایی مانند ترسیب شیمیایی، تعویض یونی، الکترولیز، اسمز معکوس و ... بازیابی می‌شود [۳]. روش‌های ذکر شده اغلب به دلیل نیاز به مواد شیمیایی گران و تجهیزات بسیار، معمولاً غیر اقتصادی هستند. همچنین بزرگترین عیب آنها تولید حجم بالایی از باطله ثانویه می‌باشد [۴]. در این میان فلوتاسیون یونی در مقایسه با سایر روش‌های معمول روشی سریع، با بازیابی بالا، جدایش انتخابی و نسبتاً اقتصادی [۵]، البته قابل کاربرد برای اغلب فلزات جدول تناوبی برای بازیابی این یون‌ها با غلظت بسیار کم ( $10^{-5}$  تا  $10^{-1}$  مولار) می‌باشد [۶].

در روش هیدرومیتالورژی جهت استحصال مس، بعد از فروشویی نمونه در اسیدسولفوریک، مس موجود در محلول حاصل با روش بازیابی الکترولیتی<sup>۱</sup> قابل بازیابی است. محلول فروشویی قبل از ورود به سلول‌های بازیابی الکترولیتی، باید تغلیظ، تخلیص و عمل‌آوری شود. مرسوم‌ترین روش جهت تغلیظ و عمل‌آوری مس، روش استخراج با حلال (SX<sup>۲</sup>) می‌باشد [۷]. روش استخراج حلالی، روشی کارا و متداول می‌باشد اما دارای محدودیت در حداقل غلظت محلول ورودی به سیستم می‌باشد (حداقل ۲ گرم بر لیتر). در نتیجه محلول‌های رقیق‌تر از این مقدار با این روش قابل تغلیظ نیستند [۸].

فلوتاسیون یونی می‌تواند به عنوان یک روش پیش تغلیظ محلول‌های فروشویی رقیق مس باشد و بعد از آن وارد مراحل SX-EW شده و مس حاصل بازیابی شود. در این مطالعه به کارگیری روش فلوتاسیون یونی جهت جدا سازی و بازیابی مس از یک محلول رقیق فروشویی بررسی شده است.

## روش شناسی

در تمامی آزمایش‌ها از سلول فلوتاسیون نوع دنور با ظرفیت مخزن دو لیتر، برای آماده سازی و انجام فلوتاسیون استفاده شد. کف‌گیری به صورت دستی و با استفاده از تیغهٔ لاستیکی صورت گرفته است. اندازه‌گیری غلظت مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی (AAS) مدل FS۲۴۰ محصول شرکت Agilent انجام شده است. سدیم دو دسیل سولفات (SDS<sup>۳</sup>) با فرمول  $C_{12}H_{25}NaO_4S$  و جرم مولکولی ۲۸۸ g/mol و هگزادسیل تری متیل آمونیوم برومید (HTAB<sup>۴</sup>) با فرمول  $C_{12}H_{42}BrN$  و جرم مولکولی ۳۶۴/۵ g/mol به عنوان کلکتور، متیل ایزو بوتیل کربونیل (MIBC<sup>۵</sup>) و اتانول به عنوان کفساز فلوتاسیون استفاده شده‌اند. جهت تنظیم pH محلول از سدیم هیدروکسید (NaOH) و اسید سولفوریک ( $H_2SO_4$ ) استفاده شد. کلیهٔ مواد استفاده شده، از شرکت مرک آلمان تهیه شده است.

<sup>1</sup> Electrowinning

<sup>2</sup> Solvent Extraction

<sup>3</sup> Sodium Dodecyl Sulfate

<sup>4</sup> Hexadecyltrimethylammonium Bromide

<sup>5</sup> Methyl Isobutyl Carbinol

نمونه معدنی مورد استفاده از سنگ معدن مس قم تهیه شده است. عناصر موجود که حاصل آزمایش XRF و غلظت آنها که با روش آنالیز جذب اتمی در محلول فروشویی نمونه این معدن به دست آمده است، در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. عناصر موجود در محلول فروشویی معدن مس قم

عنصر	Ag	Cd	Co	Cu	Fe	Mg
غلظت (ppm)	۰.۲۰۷	۱.۰۷۸	۷.۶۰۶	۸۹۷۵	۱۴۷۴۳.۷۵	۴۲۶۴.۳

### روش انجام آزمایش

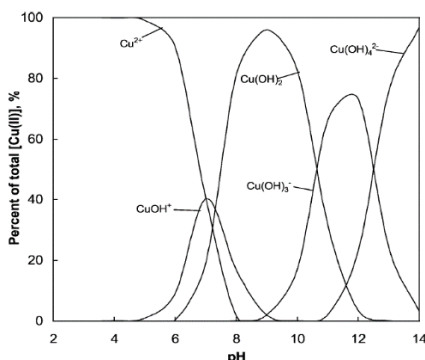
برای انجام آزمایش‌ها، ابتدا محلول فروشویی رقیق شده تا حدی که غلظت یون مس موجود در محلول به ۱۰ میلی گرم بر لیتر (ppm)، رسیده است. جهت رقیق سازی محلول فروشویی و جلوگیری از تأثیر هر گونه یون خارجی در فرآیند، از آب مقطر استفاده شد. جدول ۲ غلظت عناصر محلول فروشویی رقیق شده را نشان می‌دهد.

جدول ۲. عناصر موجود در محلول فروشویی بعد از رقیق سازی

عنصر	Ag	Cd	Co	Cu	Fe	Mg
غلظت (ppm)	<۰.۱	<۰.۱	<۰.۱	۱۰	۱۶.۴۲	۴.۷۵

به دلیل غلظت زیاد یون آهن در محلول فروشویی و جلوگیری از ایجاد مشکل هنگام فلوتاسیون مس، جهت جداسازی آهن موجود در هر محلول، pH آزمایش ۴/۵ تنظیم شد [۸]. در این pH یون‌های آهن به صورت هیدروکسید آهن رسوب کرده و توسط فیلتراسیون از محلول جدا شده است. لازم به ذکر است که سایر عناصر به دلیل ناچیز بودن غلظت مشکلی را در فرایند ایجاد نکردند.

در کلیه آزمایش‌های فلوتاسیون سرعت روتور ۷۵۰ دور بر دقیقه استفاده شده است. محلول به مدت ۲ دقیقه آماده‌سازی و pH آن در مقدار دلخواه تنظیم شده است. سپس با توجه به بار یون مس در pHهای مختلف که در شکل ۱ نشان داده شده است، کلکتور مورد نظر انتخاب و به محلول اضافه شده است. محلول به مدت ۲ دقیقه دیگر در سلول آماده‌سازی شده و کف‌ساز به محلول اضافه شده و ۲ دقیقه دیگر آماده‌سازی شده است. سپس هوادهی به سلول انجام شده است. در این مرحله با استفاده از تیغه لاستیکی در دوره زمانی ۲۰ دقیقه، کف‌گیری انجام شده و غلظت یون مس اندازه‌گیری شده است.



شکل ۱. چگونگی حضور یون مس در pHهای مختلف [۹]

در فلوتاسیون یونی به جای کانی‌ها، یون‌های فلزی هستند که شناور می‌شوند [۱۰].

## نتایج و بحث

pH محلول مهم‌ترین عامل در نوع گونه‌های فلزی موجود، میزان و نوع بار یون می‌باشد. با توجه به شکل ۱، تا حدود pH=۹، گونه‌های غالب یون مس به صورت  $\text{CuOH}^+$  و  $\text{Cu}^{2+}$  هستند که به دلیل بار سطحی مثبت، در این محدوده برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون باید از کلکتور<sup>۱</sup> آنیونی (با بار منفی) استفاده کرد. در محدوده pH ۶ الی ۱۲ هیدروکسید مس دو ظرفیتی تشکیل می‌شود و برای  $\text{pH} > 10$ ، گونه‌های غالب به صورت  $\text{Cu}(\text{OH})_3^-$  و  $\text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}$  می‌باشند که به دلیل بار سطحی منفی، برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون باید از کلکتور کاتیونی استفاده کرد. در نتیجه در آزمایش‌های فلوتاسیون pH های ۶، ۹، و ۱۲ در نظر گرفته شده است که برای pH های ۶ و ۹ از کلکتور آنیونی سدیم دو دسیل سولفات و در pH ۱۲ از کلکتور کاتیونی HTAB، به منظور حمل یون‌های غیرفعال سطحی مورد استفاده قرار گرفت. وقتی حباب هوا به اندازه کافی توسط سلول تولید و سطح مشترک لازم را ایجاد نماید، یون مس با پیوند الکترووالانسی به قسمت قطبی کلکتور متصل و زنجیره هیدروکربنی (غیر قطبی) کلکتور به حباب‌های هوا متصل شده، در نتیجه یون فلزی مس به فاز کف منتقل و از آنجا بازیابی می‌شود.

در آزمایش‌ها، محلول فروشویی رقیق شده با غلظت  $10 \text{ ppm}^2$  از مس، با مقدار کلکتور  $100 \text{ mg/l}$  و مقدار کف‌ساز  $0.1 \text{ \% V/V}$  در pH های ۶، ۹ و ۱۲ با کلکتورهای ذکر شده، در نظر گرفته شد. در کلیه مراحل آزمایش pH محلول به وسیله اسید سولفوریک و سدیم هیدروکسید ثابت نگه داشته شده است. داده‌های مربوط به آزمایش‌های انجام شده در pH های ۶، ۹ و ۱۲ در جدول ۳ آورده شده است.

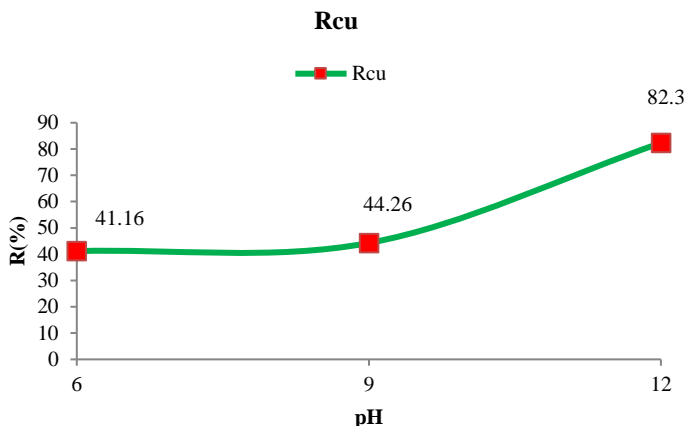
جدول ۳. بازیابی یون‌های مس

pH	کلکتور	بازیابی (%)	غلظت مس (میلی گرم)	حجم کف جدا شده (میلی لیتر)	زمان فلوتاسیون (دقیقه)
۶	SDS	۴۱.۱۶	۷.۷۹۷	۴۲۷	۲۰
۹	SDS	۴۴.۲۶	۸.۵۵۵	۴۷۵	۲۰
۱۲	HTAB	۸۲.۳۰	۱۵.۸۰۰	۵۲۵	۲۰

<sup>1</sup> Collector

<sup>2</sup> Part Per Million

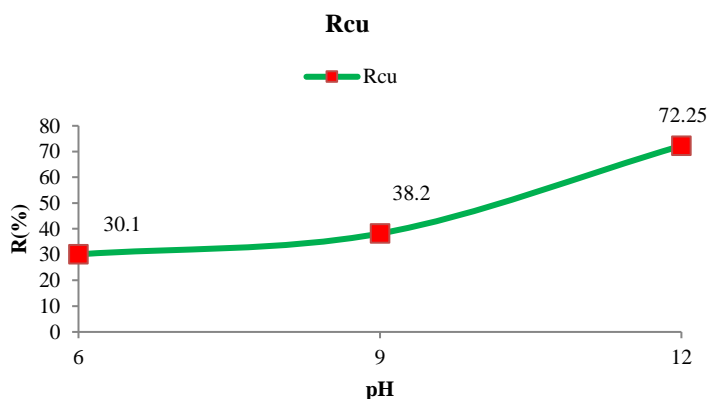




شکل ۲. بازیابی مس در pHهای ۶، ۹ و ۱۲ (کفساز MIBC)

با توجه به جدول ۳ بازیابی مس حاصل شده در  $pH=6$ ،  $41.16\%$ ، در  $pH=9$ ،  $44.26\%$  و در  $pH=12$ ،  $82.3\%$  درصد به دست آمده است. همان طور که مشخص است بیشترین بازیابی مس در  $pH=12$  و با استفاده از کلکتور HTAB رخ داده است.

در سری بعدی آزمایش‌ها، در pHهای ۶، ۹ و ۱۲ تمام شرایط ثابت نگه داشته شد و فقط از اتانول به عنوان کفساز به جای MIBC استفاده شده که نتایج حاصل در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳. بازیابی مس در pHهای ۶، ۹ و ۱۲ (اتانول به عنوان کفساز)

شکل ۳ نشان می‌دهد که باز هم  $pH=12$  بیشترین بازیابی مس ( $72.25\%$ ) را دارد. از مقایسه شکل ۲ با شکل ۳، مشخص است که اتانول تفاوت زیادی نسبت به MIBC ندارد فقط به طور ناچیزی روند بازیابی مس را کاهش داده است. به طوری که بازیابی مس در بهترین حالت یعنی  $pH=12$  در مقایسه با کفساز MIBC، از  $82.3\%$  به  $72.25\%$  کاهش یافته است.

با فرض این که فرایند فلوتاسیون از سرعت واکنش<sup>۱</sup> مرتبه اول پیروی می کند [۱۰]، شکل ۴، سرعت واکنش فلوتاسیون یونی مس را در بهترین آزمایش انجام شده (pH=۱۲) نشان می دهد.

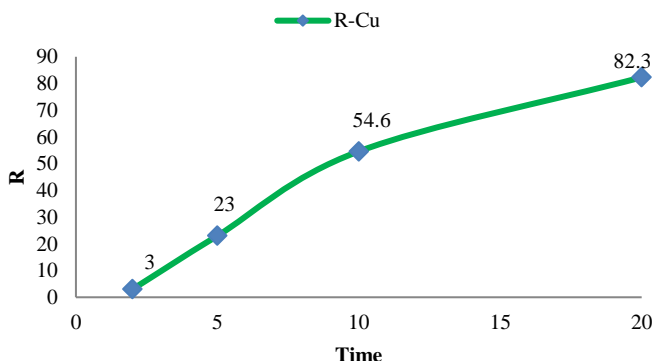
$$R = (1 - e^{-kt}) \Rightarrow kt = -\ln(1 - R) \quad (۱)$$

در رابطه فوق R سرعت واکنش، K ثابت سرعت واکنش و t زمان می باشد.

$$R = \frac{Cc}{Ff} \quad (۲)$$

در رابطه فوق R بازیابی، C وزن محصول<sup>۲</sup>، c عیار محصول، F وزن ورودی و f عیار ورودی می باشد. [۱۱] رابطه (۱) که مربوط به سرعت واکنش می باشد ابتدا در سال ۱۹۳۵ توسط گارسینازانگا<sup>۳</sup> در شیلی مطرح شد. طبق نظریه وی بازیابی به شکل تابع نمایی نسبت به زمان ارتباط دارد. پس از وی دانشمندان دیگری همچون آربیتز<sup>۴</sup> و موریس<sup>۵</sup> این نظریه را تکمیل و درجه های مختلف از سرعت واکنش را شرح دادند که معادله مرتبه اول سرعت واکنش به صورت رابطه (۱) ارائه گردیده است. [۱۱]

رابطه (۲) که مهم ترین رابطه در مورد بازیابی مدارهای فرآوری مواد معدنی و خطوط فلوتاسیون می باشد، بر اساس موازنه جرمی که در ورودی مدار و خروجی بایستی برقرار باشد، به محاسبه وزن و عیار ورودی (خوراک)، وزن و عیار محصول نهایی و وزن و عیار باطله می پردازد. و نهایتاً بر اساس این رابطه بازیابی مدار را محاسبه می شود. [۱۱]



شکل ۴. بازیابی مس در pH ۱۲ (با توجه به سینتیک مرتبه اول)

بیشتر محلول هایی که در فرایندهای هیدرومتالورژی با آن مواجه هستیم، شامل بیش از یک یون فلزی است. در نتیجه یک فهم مکانیکی از دلایل قدرت انتخابی یک یون بر یونی دیگر، در انتخاب کلکتورهای مناسب و همچنین برای

<sup>1</sup> Kinetic

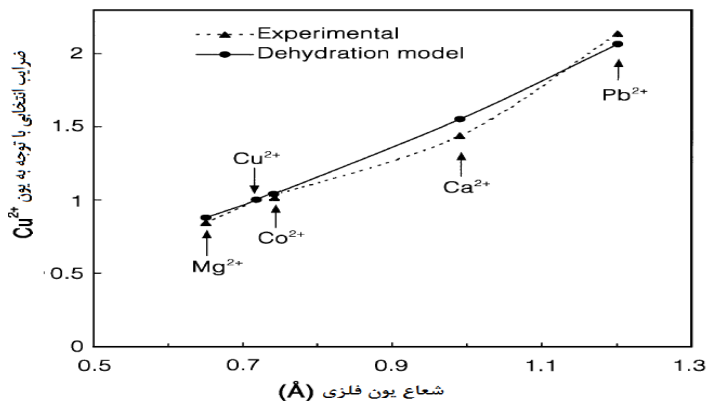
<sup>2</sup> Concentrate

<sup>3</sup> Garciazuniga

<sup>4</sup> Arbiter

<sup>5</sup> Morris

ایجاد شرایط مطلوب فلوتاسیون یونی، بسیار سودمند خواهد بود. به طور کلی برای دو یون با مقدار بار متفاوت از همان عنصر، یون با ظرفیت بیشتر نسبت به همان یون با ظرفیت کمتر، انتخابی تر عمل می کند. در مقابل، قواعد قدرت انتخابی بین یون ها، با ظرفیت یکسان به خوبی شناخته نشده است [۱۲]. نموداری برای مقایسه ضرایب انتخابی یون های مختلف نسبت به شعاع یون فلزی رسم شده است که در مقایسه با اندازه گیری های تجربی تطبیق خوبی را نشان می دهد (شکل ۵) [۱۳].



شکل ۵. مقایسه ضرایب انتخابی تجربی با مدل دهیدراسیون [۱۳]

همان طور که در شکل ۵ دیده می شود، یون مس قدرت انتخابی بیشتری نسبت به یون منیزیم دارد. در نتیجه از آنجایی که در محلول فروشویی معدن مس قم، فقط یون های مس و منیزیم در محلول حاضر هستند و غلظت سایر یون ها قابل چشم پوشی بوده (جدول ۲)، شاهد بازیابی انتخابی یون مس نسبت به یون منیزیم هستیم.

## نتیجه گیری

امکان سنجی به کارگیری روش فلوتاسیون یونی در محلول رقیق فروشویی معدن مس قم، با غلظت یون مس ppm ۱۰ انجام شد. با تنظیم pH= ۴/۵، آهن موجود در محلول به صورت هیدروکسید رسوب کرده، محلول حاصل فیلتر شده و روی این محلول ۸ سری آزمایش حاوی ۴۸ نمونه انجام شد. در pH های ۶، ۹ آزمایش ها با کلکتور آنیونی SDS و در pH ۱۲ آزمایش ها با کلکتور کاتیونی HTAB انجام شد. MIBC و اتانول به عنوان کف ساز فلوتاسیون استفاده شدند. در تمامی آزمایش ها بازیابی مس محاسبه شد. نهایتاً بر اساس آزمایش ها انجام شده، بیشترین تغلیظ مربوط به pH ۱۲، کلکتور HTAB به میزان ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر و کف ساز MIBC به مقدار ۱/۱ v/v٪ به دست آمد که بازیابی مس ۸۲٪/۳ حاصل شد. پس از آن استفاده از اتانول به عنوان کف ساز در همین pH، بازیابی مس ۷۲٪/۲۵ را نشان داد. با موفقیت آمیز بودن این آزمایش ها در pH ۱۲، این روش را می توان در مورد محلول های رقیق فروشویی معادن که به دلیل پایین بودن غلظت یون مس، قابلیت به کارگیری مستقیم روش SX جهت تغلیظ را ندارند به عنوان روش پیش تغلیظ استفاده نمود. این روش قابلیت استفاده در محلول های صنعتی، پساب ها و محلول های معدنی جهت تغلیظ را دارا می باشد. روش استخراج حلالی و در ادامه بازیابی الکترولیتی یکی از بهترین و شایع ترین روش های بازیابی فلزات است؛ اما محدودیتی که در کاربرد این روش وجود دارد، غلظت بار ورودی به مدار است؛ اما روش فلوتاسیون یونی بدون محدودیت در غلظت ورودی، یون مورد نظر را بازیابی می کند. همچنین این روش اقتصادی و مقرون به صرفه بوده و جهت جداسازی ترکیبات معدنی و آلی بسیار کارا می باشد.

## References

- [1] Reyes, M., Patiño, F., Tavera, F. J., Escudero, R., Rivera, I., & Pérez, M. (2009). Kinetics and recovery of xanthate-copper compounds by ion flotation techniques. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 53(1), 15-22. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v53i1.1013>
- [2] Doyle, F. M. (2003). Ion flotation—its potential for hydrometallurgical operations. *International Journal of Mineral Processing*, 72(1), 387-399. [https://doi.org/10.1016/S03017516\(03\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S03017516(03)00113-3)
- [3] Nie, R., Li, T-G., Xu, X-J., & Liu, S-I. (2015). Removal of copper ions from flotation wastewater by pulsed electric field enhanced internal micro-electrolysis. In Q. Xu (Ed.), *Materials Engineering and Environmental Science*. World scientific. [https://doi.org/10.1142/9789814759984\\_0012](https://doi.org/10.1142/9789814759984_0012)
- [4] Arbabi, M., & Golshani, N. (2016). Removal of copper ions Cu (II) from industrial wastewater: A review of removal methods. *Epidemiology and Health System Journal*, 3(3), 283-293. [https://www.semanticscholar.org/paper/Removal-of-copper-ions-Cu-\(II\)-from-industrial-Arbabi-Golshani/ddffa5eb8683308f5473a9ab8f43aa78832748fe](https://www.semanticscholar.org/paper/Removal-of-copper-ions-Cu-(II)-from-industrial-Arbabi-Golshani/ddffa5eb8683308f5473a9ab8f43aa78832748fe)
- [5] Deliyanni, E. A., Kyzas, G. Z., & Matis, K. A. (2017). Various flotation techniques for metal ions removal. *Journal of Molecular Liquids*, 225, 260-264. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.11.069>
- [6] Jia, K., Yi, Y., Ma, W., Cao, Y., Li, G., Liu, S., Wang, T., & An, N. (2022). Ion flotation of heavy metal ions by using biodegradable biosurfactant as collector: Application and removal mechanism. *Minerals Engineering*, 176, 107338. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107338>
- [7] Habashi, F. (1999). *A Textbook of Hydrometallurgy* (2 ed.). Metallurgie Extractive Quebec. <https://www.amazon.com/Textbook-Hydrometallurgy-F-Habashi/dp/2980324779>
- [8] Ghazy, S., El-Morsy, S., & Ragab, A. (2008). Ion flotation of copper (II) and lead (II) from environmental water samples. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 12(3), 75-82. <https://doi.org/10.4314/jasem.v12i3.55499>
- [9] Rashed, F. S., & Nath, S. (2016). Removal of Copper from Industrial Wastewater by Ion Flotation with Sodium Dodecyl Sulfate as Anionic Collector. *International Journal of Science and Research*, 5(9), 1698-1701. <https://www.ijsr.net/archive/v5i9/ART20162013.pdf>
- [10] Hoseinian, F. S., Rezaei, B., Kowsari, E., & Safari, M. (2018). Kinetic study of Ni(II) removal using ion flotation: Effect of chemical interactions. *Minerals Engineering*, 119, 212-221. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.01.028>
- [11] Rezaei, B. (1999). *Flotation* (H. Madani, Ed. 2 ed.). Hormozgan University. <https://www.gisoom.com/book/1159298>
- [12] Ehrampoush, M., Salmani, M., Ghaneian, M., Davoudi, M., & Fallahzadeh, M. (2011). Selectivity in removal of cadmium (II) from mixed metal effluents using ion flotation. *World Applied Sciences Journal*, 13(1), 52-59. [https://www.researchgate.net/publication/286168821\\_Selectivity\\_in\\_removal\\_of\\_cadmium\\_II\\_from\\_mixed\\_metal\\_effluents\\_using\\_ion\\_flotation](https://www.researchgate.net/publication/286168821_Selectivity_in_removal_of_cadmium_II_from_mixed_metal_effluents_using_ion_flotation)
- [13] Lazaridis, N. K., Peleka, E. N., Karapantsios, T. D., & Matis, K. A. (2004). Copper removal from effluents by various separation techniques. *Hydrometallurgy*, 74(1-2), 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2004.03.003>