



## جداسازی مولیبدنیت از کنسانتره مس سرچشمہ کرمان به روش فلوتاسیون ستونی

سید محمد جواد کلینی<sup>۱</sup>، محمود عبدالهی<sup>۲</sup>، سید علی اسدی<sup>۳</sup>

۱- استادیار گروه فرآوری مواد معدنی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، تقاطع بزرگراه جلال آل احمد و دکتر چمران، تلفن ۰۰۱۱۰۰۱

۲- استادیار گروه فرآوری مواد معدنی دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی دانشگاه تربیت مدرس

Koleini@modares.ac.ir

### چکیده

در این تحقیق با انجام آزمایش‌های فلوتاسیون ستونی، در سه مرحله، توسط یک ماشین فلوتاسیون ستونی به ارتفاع ۲ متر و قطر ۹ سانتی‌متر، و آزمایش‌های فلوتاسیون معمولی، توسط ماشین فلوتاسیون معمولی مدل دنور در مقیاس آزمایشگاهی، بر روی نمونه تهیه شده از خوارک مرحله رافر فلوتاسیون مولیبدنیت مجتمع مس سرچشمہ، نتایج متالورژیکی روش‌های فلوتاسیون معمولی و ستونی با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

در ماشین فلوتاسیون ستونی با انتخاب دبی خوارک ۶۰ لیتر در ساعت، دبی هوا ۱۰۰ لیتر در ساعت، دبی آب شستشو ۷۰ لیتر در ساعت و دبی تهیز ۱۲۰ لیتر در ساعت و پالپ ۱۵ درصد ۳/۹ pH جامد به همراه ۸ کیلوگرم سولفید سدیم به ازای هر تن خوارک در ۱۲ pH، عیار مولیبدن ۶۹ درصد، بازیابی ۹۲ درصد و راندمان جدایش ۶۹ درصد بوده در ماشین فلوتاسیون معمولی، در مقیاس آزمایشگاهی، با پالپ ۱۵ درصد جامد به همراه ۸ کیلوگرم سولفید سدیم به ازای هر تن خوارک در ۱۲ pH، عیار مولیبدن ۴ درصد، بازیابی ۸۴ درصد و راندمان جدایش ۶۴ درصد می‌باشد. ملاحظه می‌شود با استفاده از ماشین فلوتاسیون ستونی، در مرحله رافر فلوتاسیون مولیبدنیت، در مقایسه با ماشین فلوتاسیون معمولی بازیابی به میزان ۸ درصد و راندمان جدایش به میزان ۵ درصد بهبود می‌یابند.

**واژه‌های کلیدی:** فلوتاسیون ستونی، مولیبدنیت، مس سرچشمہ

**۱- مقدمه**

ماشین فلوتاسیون ستونی یکی از مدرنترین انواع ماشینهای فلوتاسیون می‌باشد که در چند دهه اخیر، از آن در صنایع فرآوری مواد معدنی استفاده می‌شود. در این ماشین بر خلاف ماشینهای معمولی نحوه توزیع هوا، خوارک و نیز سیستم آب شستشو باعث گردیده تا به نتایج متالورژیکی بهتری در مقایسه با ماشین‌های فلوتاسیون معمولی دست یافته.

پس از ثبت طرح ستون فلوتاسیون ستونی در اوائل دهه ۱۹۶۰ تا کنون مطالعات گسترده‌ای در خصوص بکارگیری این ماشین در فلوتاسیون مولیبدنیت بعمل آمده است[۱]. در کانادا مرکز تکنولوژی کانی و انرژی (CANMET)، ماتیو (Mathieu,G.I) در سال ۱۹۷۲ شستشوی مولیبدنیت را با استفاده از یک ستون نیمه صنعتی با قطر ۵ سانتی متر مورد مطالعه قرار داد. در جدول شماره ۱ نتایج این بررسی (مقایسه عملکرد ماشین فلوتاسیون معمولی و یک ستون فلوتاسیون غیرهمجهت) آورده شده است. همانطوریکه ملاحظه می‌شود در خلال هر دو مرحله فلوتاسیون رافر و کلینر مولیبدنیت، روش فلوتاسیون ستونی محصول پرعیارتی با همان بازیابی بهمراه داشته است.

**جدول ۱: نتایج فلوتاسیون مکانیکی و ستونی مولیبدنیت از نیوفوندلند (Newfoundland)**

Flotation Machines	Conce product	%Weight	Mo (%)	Fe (%)	Pb (%)	Zn (%)	Insol	%Rec .of Mo
Mechanical Flotation	Rougher Conc.	۳,۵	۵,۱	۷,۷	۱,۴	۲,۷	۷۱,۵	۸۶,۶
Mechanical Flotation	Final Conc.	۰,۳۶	۴۲,۳	۷,۰	۷,۸	۹,۹	۱۴,۹	۷۴,۱
Column Flotation	Rougher Conc.	۱,۱	۱۷,۱	۱۶,۶	۳,۴	۴,۸	۲۸,۱	۸۶,۴
Column Flotation	Final Conc.	۰,۲۵	۶۳,۱	۶,۵	۷,۴	۵,۴	۴,۱	۷۲,۷

فلوتاسیون انتخابی مولیبدنیت از کنسانتره مس-مولیبدن از وايتهاورس (Whitehorse) نشان می‌دهد ستون فلوتاسیون کنسانتره ای با عیار بالاتری از مولیبدن و عیار کمتری از مس، نسبت به سلولهای معمولی تولید می‌نماید [۲].

در سال ۱۹۸۱ اولین ستون فلوتاسیون صنعتی در معدن گسپ (Gaspe) در ایالت کبک کانادا، جهت پرعیار سازی نهایی مولیبدن، توسط شرکت فلوتاسیون ستونی کانادا نصب شد.



## ۲- روش تحقیق و آزمایش

آزمایشهای فلوتاسیون معمولی توسط سلول معمولی در مقیاس آزمایشگاهی و آزمایشهای فلوتاسیون ستونی توسط ستونی به ارتفاع ۲۰۰ سانتی متر و قطر ۹ سانتی متر بر روی نمونه مورد نظر صورت پذیرفته است. مولیبدنیت از کنسانتره مس - مولیبیدن توسط فلوتاسیون مستقیم، بدون استفاده از کلکتور، بازیابی شده است. کانی های مس و آهن همراه مولیبدنیت بازداشت و از صعود این کانی ها به ناحیه کف جلوگیری می شود. بهترین pH جهت فلوتاسیون مولیبدنیت ۸ بوده که چون pH نمونه تهیه شده ۱۲ بوده و در صنعت (مجتمع مس سرچشم) در همین pH فلوتاسیون صورت می پذیرد لذا کلیه آزمایشها در  $pH = 12$  بعمل آمده است.

در این بررسی آزمایشهای فلوتاسیون ستونی طی ۳ مرحله با اعمال تغییر در چهار پارامتر عملیاتی نرخ هوا، نرخ آب شستشو، نرخ ته ریز، نرخ خوارک و نیز میزان مصرف بازداشت کننده صورت پذیرفته است. همچنین آزمایشهای فلوتاسیون معمولی در شرایط عملیاتی آزمایش نهایی فلوتاسیون ستونی صورت پذیرفته است. در کلیه این آزمایشها از آهک بعنوان تنظیم کننده pH و روغن کاج بعنوان کف ساز، به میزان ۲۰ گرم به ازای هر تن خوارک، استفاده شده است.

## ۳- شناسایی نمونه

نمونه مورد نظر از خوارک مرحله رافر ماشینهای فلوتاسیون در کارخانه فراوری مولیبدنیت سرچشم مهندسی شده است. بر روی نمونه تهیه شده، آنالیز XRD ، جذب اتمی، آنالیز سرندي تر، بعمل آمده است. نتایج بررسی های بعمل آمده در ذیل آورده شده است.

### ۱- آنالیز XRD

نتایج این آنالیز نشان می دهد نمونه مورد آزمایش از کانی های پیریت، کالکوپیریت و فلوگوپیت تشکیل یافته است.

### ۲- آنالیز جذب اتمی

در آنالیز جذب اتمی میزان سه عنصر مولیبden، آهن، مس اندازه گیری شد. چون میزان آهن و مس در کنسانتره نهایی مولیبدنیت باید کنترل شود، لذا در آنالیزهای صورت پذیرفته تنها مقدار این دو عنصر به همراه مولیبیدن اندازه گیری شده است. نتایج آنالیز جذب اتمی نمونه مورد نظر برای سه عنصر مولیبden، مس، آهن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: نتایج آنالیز جذب اتمی نمونه مورد نظر

عنصر	Mo	Cu	Fe
(%)	۱	۳۴	۲۳

**XRF - آنالیز ۳-۳**

روش آنالیز XRF جهت اندازه‌گیری میزان تمام عناصر تشکیل دهنده نمونه صورت پذیرفته است. نتایج این آنالیز در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: نتایج آنالیز XRF نمونه مورد آزمایش

اکسید (عنصر)	LOI	MgO	Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	SiO <sub>۲</sub>	P <sub>۲</sub> O <sub>۵</sub>	K <sub>۲</sub> O	CaO
(%)	۱۵,۳۶	۰,۹۱۳	۴,۰۸	۷,۴۸۷	۰,۰۷۱	۰,۶۴۴	۱,۸۸۶
اکسید (عنصر)	TiO <sub>۲</sub>	Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	Cu	Zn	As	Mo	Pb
(%)	۰,۲۸	۳۴,۳۸۹	۳۲,۹۴۹	۰,۷۵۷	۰,۱۹۷	۰,۹۸۸	۰,۰۶۵

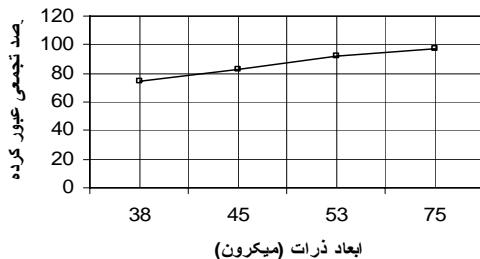
**۴-۳ آنالیز سرندي تر**

۱۵۰ گرم نمونه خشک شده جهت آنالیز سرندي تر انتخاب شده است. نتایج این آنالیز در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴ : آنالیز دانه‌بندی نمونه مورد نظر

درصد تجمعی عبور کرده	درصد تجمعی باقیمانده	درصد وزنی باقیمانده	میکرون
۹۷/۰۷	۲/۹۳	۲/۹۳	۷۵
۹۲/۳۹	۷/۶۱	۴/۶۸	۵۳
۸۲/۷۶	۱۷/۲۴	۹/۶۳	۴۵
۷۴/۷۶	۲۵/۲۴	۸	۳۸
	۱۰۰	۷۴/۷۶	-۳۸

نتایج جدول ۴ و شکل ۱ نشان می‌دهند دانه بندی نمونه مورد مطالعه (d<sub>۰,۰</sub>) ۴۲ میکرون می‌باشد و لذا خیلی ریز بوده و نیاز به خردایش و آسیا ندارد.



شکل ۱: دانه بندی نمونه مورد نظر

#### ۴-آزمایش‌های فلوتاسیون ستونی

با توجه به محدودیتهای اجرایی در آزمایش‌های فلوتاسیون ستونی دامنه تغییرات مجاز پارامترهای عملیاتی مطابق جدول ۵ در نظر گرفته شده است. دبی این پارامترها بر اساس قطر سطح مقطع ستون بکارگرفته شده جهت انجام آزمایشها (ستونی به قطر ۹ سانتی متر) توسط رابطه زیر محاسبه شده‌اند.

$$Q(\text{lit}/\text{h}) = 64(\text{cm}^2) \times V(\text{cm}/\text{s}) \times 3600(\text{s}/\text{h}) \times \frac{1}{1000}(\text{lit}/\text{cm}^3) \quad (1)$$

جدول ۵: دامنه تغییر پارامترهای عملیاتی در ستون فلوتاسیون [۶۰ و ۷۰ و ۸۰ و ۹۰ و ۱۰۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰ و ۱۳۰ و ۱۴۰ و ۱۵۰]

پارامتر	نرخ (سانتی متر بر ثانیه)	دبی (لیتر بر ساعت)
آب شستشو	۰ - ۰/۵	۰ - ۱۱۵/۲
ته ریز	۰ - ۰/۶	۰ - ۱۳۸/۲۴
خوراک	۰ - ۰/۶	۰ - ۱۳۸/۲۴
گاز	۰/۳ - ۴	۶۹/۱۲ - ۹۲۱/۶

#### ۴-۱- نحوه انجام آزمایش با ماشین فلوتاسیون ستونی

ابتدا خوراک آماده سازی شده، بوسیله پمپی با دبی متغیر (قابل کنترل) وارد ستون می‌شود. هوای تولیدی توسط کمپرسور پس از عبور از فلومتر و والو سوزنی از طریق یک اسپارجر به داخل سلول تزریق می‌شود. آب شستشو نیز پس از عبور از یک فلومتر بوسیله یک توزیع کننده از قسمت بالای ستون به داخل ستون تزریق می‌شود. در این حالت اجازه داده می‌شود تا شرایط پایدار در سیستم ایجاد شود. پس از گذشت ۲۰ دقیقه از



شرابط پایدار از سرریز و تهریز ستون سه مرتبه در فواصل زمانی ۵ دقیقه نمونه‌گیری شده و نمونه معرف از اختلاط این سه نمونه بدست می‌آید[۱۶].

#### ۲-۴ نتایج آزمایشهای اولیه

در آزمایشهای اولیه با انتخاب ۳ سطح برای سه پارامتر نرخ آب شستشو، نرخ ته ریز و نرخ هوا(جدول ۶) ۲۷ آزمایش(جدول ۷) انجام شده است. در این آزمایشها نرخ خوارک و درصد جامد پالپ (غلظت پالپ ۱۵ درصد جامد) ثابت در نظر گرفته شده است، همچنین در این ۲۷ آزمایش از سولفیدسیدیم بعنوان بازداشت کننده، به میزان ۵ کیلوگرم به ازای هر تن خوارک، استفاده شده است.

جدول ۶ : سطوح انتخاب شده جهت پارامترهای عملیات

دبی (لیتر بر ساعت)			نرخ (سانتی متر بر ثانیه)			پارامتر
حداکثر	متوسط	حداقل	حداکثر	متوسط	حداقل	
۷۰	۳۵	۰	۰/۳	۰/۱۵	۰	آب شستشو
۱۲۰	۹۰	۶۰	۰/۵	۰/۳۹	۰/۲۶	باطله
۳۴۵	۲۳۰	۱۱۵	۱/۵	۱	۰/۵	هوا

جدول ۷: دبی پارامترهای عملیاتی در ۲۷ آزمایش اولیه

RANDMAN چایش مولیبدن (درصد)	بازیابی مولیبدن در کنسانتره (درصد)	عیار مولیبدن در کنسانتره (درصد)	دبی باطله (لیتر بر ساعت)	دبی هوا (لیتر بر ساعت)	دبی آب شستشو (لیتر بر ساعت)	شماره آزمایش
۳۲	۵۱	۲/۷	۶۰	۱۱۵	۰	۱
۳۸	۶۲	۲/۵	۶۰	۲۳۰	۰	۲



۳۵	۶۴	۲/۲	۶۰	۳۴۵	.	۳
۲۴	۴۳	۲/۳	۹۰	۱۱۵	.	۴
۲۸	۵۸	۱/۹	۹۰	۲۳۰	.	۵
۲۹	۵۷	۲	۹۰	۳۴۵	.	۶
-	-	-	۱۲۰	۱۱۵	.	۷
-	-	-	۱۲۰	۲۳۰	.	۸
-	-	-	۱۲۰	۳۴۵	.	۹
۹/۶	۱۴	۲/۸	۶۰	۱۱۵	۳۵	۱۰
۹/۶	۱۵	۲/۷	۶۰	۲۳۰	۳۵	۱۱
۱۸	۲۸	۲/۶	۶۰	۳۴۵	۳۵	۱۲
۳۸	۶۲	۲/۵	۹۰	۱۱۵	۳۵	۱۳
۴۱	۷۲	۲/۳	۹۰	۲۳۰	۳۵	۱۴
۳۸	۷۵	۲	۹۰	۳۴۵	۳۵	۱۵
-	-	-	۱۲۰	۱۱۵	۳۵	۱۶
-	-	-	۱۲۰	۲۳۰	۳۵	۱۷
-	-	-	۱۲۰	۳۴۵	۳۵	۱۸
-	-	-	۶۰	۱۱۵	۷۰	۱۹



-	-	-	۶۰	۲۳۰	۷۰	۲۰
-	-	-	۶۰	۳۴۵	۷۰	۲۱
۵۴	۸۶	۲/۶	۹۰	۱۱۵	۷۰	۲۲
۵۳	۸۶	۲/۵	۹۰	۲۳۰	۷۰	۲۳
۴۷	۸۸	۲/۱	۹۰	۳۴۵	۷۰	۲۴
۶۱	۸۵	۳/۴	۱۲۰	۱۱۵	۷۰	۲۵
۵۸	۸۵	۳	۱۲۰	۲۳۰	۷۰	۲۶
۵۹	۸۵	۳/۲	۱۲۰	۳۴۵	۷۰	۲۷

(در جدول فوق نتایج آزمایشهای خارج از شرایط پایدار آورده نشده است)

### ۳-۴ نتایج آزمایشهای تکمیلی

در حالیکه در آزمایشهای تکمیلی و نهایی در کنار اعمال تغییرات کوچک در ۳ پارامتر عملیاتی آزمایشهای اولیه(نرخ آب شستشو، نرخ ته ریز و نرخ هوا) در میزان نرخ خوارک، به منظور دستیابی به شرایط بهینه متالورژیکی، تغییراتی اعمال شده است، همچنین در این سری از آزمایشهای جهت افزایش عیار مولیبدن در کنسانتره از ۶/۵ و ۸ کیلوگرم سولفید سدیم، به ازای هر تن خوارک، استفاده شده است. پس از بررسی نتایج حاصل از این آزمایشها (عیار- بازیابی و راندمان جدایش مولیبدن) (جدول ۷) آزمایش ۲۵ با شرایط و نتایج جدول ۸ دارای بهترین نتایج بوده است.

در جدول شماره ۸، شرایط آماده‌سازی خوارک (شامل چگالی خوارک بصورت خشک، دانه‌بندی خوارک، چگالی پالپ آماده‌سازی شده، میزان مواد شیمیایی، زمان آماده‌سازی و pH)، شرایط عملیاتی(شامل دبی خوارک ورودی به سلول، دبی هوای ورودی به اسپارجر، دبی آب شستشو، دبی ته‌ریز) قرائتهای صورت پذیرفته حین انجام آزمایش، همچنین میزان سه پارامتر ماندگی گاز، عمق کف و دبی آب بایاس بعنوان پارامترهای کنترلی و دو پارامتر زمان ماند و نیز دبی آب سرریز به عنوان پارامترهای محاسباتی، بمنظور



کنترل فرآیند و نیز مقایسه نتایج حاصل از آزمایش‌های مختلف، ذکر شده است. محاسبه میزان این پارامترها توسط روابط زیر صورت پذیرفته است.<sup>[۵]</sup>

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (2)$$

$$H = h_3 + h_2 - h_1 = h_3 + h_2 - \frac{h_2}{(1 - \varepsilon_g)} \quad (3)$$

$$Q_B = \frac{A(H_t - h)\rho_{cz} - Ah\rho_{cz}}{\rho_w} + Q_T - Q_F \quad (4)$$

$$\rho_{cz} = (1 - \varepsilon_{cz})\rho_{sl} \quad (5)$$

$$J_{cw} = J_g \left( \frac{1 - \varepsilon_{go}}{\varepsilon_{go}} \right) \quad (6)$$

$$\tau_{sl}(\text{min}) = \frac{15\pi d_c^2 (H_c - H_{spa} - h)(1 - \rho_{cz} / \rho_{sl})}{V_{tot}} \quad (7)$$

در روابط فوق  $\varepsilon_g$  ماندگی گاز،  $\Delta h$  فاصله سطح آب در دو مانومتر،  $\Delta L$  فاصله دو مانومتر از یکدیگر،  $A$  مساحت سطح مقطع ستون،  $H_c$  ارتفاع ستون،  $h$  عمق کف،  $Q_i$  دبی سیال،  $J_i$  نرخ سیال،  $\tau_{sl}$  زمان  $h_2$  ماند،  $d_c$  قطر ستون،  $V_{tot}$  دبی ته ریز،  $h_3$  فاصله سطح آب در متنومتر سوم (فوکانی) تا لبه ستون،  $h_1$  ارتفاع آب در مانومتر سوم می‌باشد. در انتهای جدول بازیابی سه عنصر مولیبدن، مس و آهن و نیز راندمان جدایش مولیبدنیت، بعنوان نتایج متالورژیکی هر آزمایش ذکر شده است. محاسبه این پارامترها با استفاده از روابط زیر، بر اساس عیار این سه عنصر در سرریز و تهریز، صورت پذیرفته است [۱۷].

$$R = \frac{c(f - t)}{f(c - t)} \quad (8)$$

$$SE = \frac{100Cm(c - f)}{f(m - f)} \quad (9)$$

در روابط فوق  $f$  عیار عنصر در خوارک،  $t$  عیار عنصر در باطله،  $c$  عیار عنصر در کنسانتره،  $R$  بازیابی،  $m$  درصد تئوری فلز موجود در کانی با ارزش،  $C$  وزن کنسانتره و  $SE$  بازدهی جدایش می‌باشد.



جدول ۸: شرایط و نتایج آزمایش ۲۵

تکرار	مرتبه اول	واحد	آماده‌سازی خوراک
۴,۵	۴,۵	گرم بر سانتی‌مترمکعب	چگالی خوراک بصورت خشک
۴۲	۴۲	(d <sub>8.</sub> میکرون)	دانه‌بندی خوراک
۱,۱۳۳	۱,۱۳۳	گرم بر سانتی‌مترمکعب	چگالی پالپ آماده‌سازی شده (ورودی به سلول)
۵	۵	کیلوگرم در تن خوراک	میزان بازداشت کننده (سولفید سدیم)
۰	۰	کیلوگرم در تن خوراک	کلکتور
۲۰	۲۰	گرم در تن خوراک	کفساز
۶	۶	دقیقه	زمان آماده‌سازی خوراک
۱۲	۱۲		pH
<b>شرایط عملیاتی</b>			
۶۰	۶۰	لیتر بر ساعت	دبی خوراک ورودی به سلول
۱۱۵	۱۱۵	لیتر بر ساعت	دبی هوای ورودی به اسپارجر
۷۰	۷۰	لیتر بر ساعت	دبی آب شستشو
۱۲۰	۱۲۰	لیتر بر ساعت	دبی تهریز
<b>قرائتها</b>			
۱۲۹	۱۲۹	سانتی‌متر	ارتفاع مایع در مانومتر اول
۱۳۹	۱۳۸	سانتی‌متر	ارتفاع مایع در مانومتر دوم
۰,۹۶	۰,۹۸	گرم بر سانتی‌مترمکعب	چگالی ناحیه جمع‌آوری
۱,۱	۱,۱	گرم بر سانتی‌مترمکعب	چگالی تهریز
<b>پارامترهای کنترلی</b>			
۱۱,۹۰	۱۰,۷۱	درصد	ماندگی گاز
۲۲,۰۶	۲۴,۵۲	سانتی‌متر	عمق کف
۶۹,۶۰	۶۹,۴۸	لیتر بر ساعت	دبی آب بایاس
بازیابی در کنسانتره (درصد)	عيار در تهریز(درصد)	عيار در سرریز(درصد)	نمونه‌گیری و آنالیز
۸۵	۰,۲	۳,۴	مولیبدن
۲۷,۴۵	۳۷	۲۸	مس
۶۳,۷۶	۲۵	۲۲	آهن
	۶۱,۰	راندمان جدایش مولیبدن	



آنگاه در ۱۲ آزمایش تکمیلی و ۲ آزمایش نهایی با اعمال تغییرات کوچک در پارامترهای عملیاتی آزمایش شماره ۲۵ همچنین افزایش میزان مصرف بازداشت کننده (جدول ۱۰) شرایط و نتایج بهینه حاصل از آزمایش نهایی شماره ۲ فلوتاسیون ستونی مطابق جدول ۱۰ بdst آمده است.

جدول ۹: شرایط ۱۲ آزمایش تکمیلی و ۲ آزمایش نهایی

شماره آزمایش	دبی هوا (لیتر بر ساعت)	دبی آب شستشو (لیتر بر ساعت)	دبی ریز (لیتر بر ساعت)	دبی خوارک (لیتر بر ساعت)	دبی سدیم (Kg/t)	میزان صرف سوپلید	عیار مولیبدن در کنسانتره (درصد)	بازیابی مولیبدن در کنسانتره (درصد)	RANDMAN جدایش (مولیبدن درصد)
۶۱	۸۵	۳/۴	۵	۶۰	۱۲۰	۷۰	۱۱۵	۲۵	
۶۲	۸۴	۳/۷	۵	۶۰	۱۲۰	۷۰	۱۰۰	۲۸	
۶۳	۸۷	۳/۴۵	۵	۶۰	۱۲۰	۷۰	۱۶۰	۲۹	
۵۶	۸۶	۲/۸	۵	۶۰	۱۲۰	۵۰	۱۱۵	۳۰	
۵۴	۸۶	۲/۶	۵	۶۰	۱۲۰	۳۰	۱۱۵	۳۱	
۶۲	۸۴	۳/۶	۶/۵	۶۰	۱۲۰	۷۰	۱۱۵	۳۲	
۶۱	۸۴	۳/۵	۶/۵	۶۰	۷۲	۷۰	۱۱۵	۳۳	
۴۰	۹۰	۱/۸	۵	۶۰	۷۲	۵۰	۱۱۵	۳۴	
۴۵	۸۸	۲	۵	۹۰	۶۰	۳۵	۱۱۵	۳۵	
۴۸	۸۸	۲/۲	۶/۵	۹۰	۹۰	۳۵	۱۱۵	۳۶	
۵۹	۸۵	۳/۲	۶/۵	۹۰	۷۲	۷۰	۱۱۵	۳۷	
۵۵	۸۶	۲/۷	۶/۵	۹۰	۹۰	۷۰	۲۳۰	۳۸	
۴۵	۸۸	۲	۶/۵	۹۰	۹۰	۷۰	۳۴۵	۳۹	
۶۲	۸۴	۳/۶	۶/۵	۶۰	۱۲۰	۷۰	۱۶۰	آزمایش نهایی ۱	
۶۹	۹۲	۳/۹	۸	۶۰	۱۲۰	۷۰	۱۰۰	آزمایش نهایی ۲	



## جدول ۱۰: شرایط و نتایج آزمایش نهایی

تکرار	مرتبه اول	واحد	آماده‌سازی خوراک
۴,۵	۴,۵	گرم بر سانتی‌مترمکعب	چگالی خوراک بصورت خشک
۴۲	۴۲	(میکرون) d <sub>42</sub>	دانه‌بندی خوراک
۱,۱۳۳	۱,۱۳۳	گرم بر سانتی‌مترمکعب	چگالی پالپ آماده‌سازی شده (وروودی به سلول)
۸	۸	کیلوگرم در تن خوراک	میزان بازداشت کننده (سولفید سدیم)
۰	۰	کیلوگرم در تن خوراک	کلکتور
۲۰	۲۰	کیلوگرم در تن خوراک	کفساز
۶	۶	دقیقه	زمان آماده‌سازی خوراک
۱۲	۱۲		pH
شرایط عملیاتی			
۶۰	۶۰	لیتر بر ساعت	دبي خوراک وروودی به سلول
۱۰۰	۱۰۰	لیتر بر ساعت	دبي هوای وروودی به اسپارجر
۷۰	۷۰	لیتر بر ساعت	دبي آب شستشو
۱۲۰	۱۲۰	لیتر بر ساعت	دبي تهریز
پارامترهای کنترلی			
۱۷,۸۵	۱۵,۴۷	درصد	مادنگی گاز
۲۱,۶۹	۲۶,۶۶	سانتی‌متر	عمق کف
۶۸,۷۲	۶۸,۸۶	لیتر بر ساعت	دبي آب بایاس
بازیابی در کنسانتره (%)	عيار در تهریز(درصد)	عيار در سرریز(درصد)	نمونه‌گیری و آنالیز
۹۲,۳۶۵	۰,۱	۳,۹	مولیبدن
۲۵,۴۹	۳۸	۲۶	مس
۴۳,۴۷	۲۶	۲۰	آهن
	۶۹,۸۴	راندمان جدایش مولیبدن	



## ۵- آزمایش فلوتاسیون معمولی

به منظور مقایسه نتایج حاصل از ماشین فلوتاسیون ستونی با نتایج حاصل از ماشین فلوتاسیون معمولی مطابق شرایط آزمایشهای فلوتاسیون معمولی توسط یک ماشین فلوتاسیون مکانیکی آزمایشگاهی مدل دنور صورت پذیرفته است.

نتایج ستون فلوتاسیون در مقابل نتایج حاصل از سلول‌های معمولی آزمایشگاهی و صنعتی در جدول ۱۱ آورده شده است.

جدول ۱۱: مقایسه نتایج فلوتاسیون معمولی و ستونی

نتایج	عیار مولیبدن(٪)	بازیابی مولیبدن(٪)	RANDMAN جدایش(٪)
فلوتاسیون مکانیکی آزمایشگاهی	۴	۸۴	۶۴
فلوتاسیون مکانیکی صنعتی	۳/۵۸	۸۵	۶۲
فلوتاسیون ستونی آزمایشگاهی	۳/۹	۹۲	۶۹

مطابق جدول شماره ۱۱ در مقایسه میان دو روش فلوتاسیون معمولی و فلوتاسیون ستونی به منظور شناورسازی مولیبدنیت در مرحله رافر، با استفاده از ماشین فلوتاسیون ستونی بازیابی مولیبدن ۸ درصد و نیز راندمان جدایش ۵ درصد نسبت به ماشین فلوتاسیون معمولی بهبود می‌یابد.

## ۶- بحث و بررسی

جهت تعیین اثر هر یک از پارامترهای عملیاتی بر منحنی عیار- بازیابی مولیبدن، اثر سه پارامتر دیگر شیستشو، دیگر هوا، دیگر نرخ تهربیز بر منحنی عیار- بازیابی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

### ۶-۱- نرخ تهربیز

افزایش نرخ تهربیز در آزمایشگاهی که بدون استفاده از آب شیستشو صورت پذیرفته اند، کاهش عیار و بازیابی مولیبدن در سریز را بهمراه داشته است. در حالیکه در آزمایشگاهی که نرخ آب شیستشو ۳۵ لیتر در ساعت بوده، با افزایش نرخ تهربیز عیار کاهش و بازیابی افزایش یافته است. از سوی دیگر در آزمایشگاهی که نرخ آب شیستشو ۷۰ لیتر در ساعت می‌باشد، با افزایش نرخ تهربیز عیار مولیبدن در سریز افزایش و بالعکس بازیابی مولیبدن در سریز کاهش یافته است. این نتایج نشان می‌دهند اثر نامطلوب تغییرات نرخ تهربیز بر عیار و بازیابی بوسیله آب شیستشو قابل جبران می‌باشد.

**۲-۶- نرخ آب شستشو**

همچنین در آزمایشهایی که میزان نرخ تهریز پایین می‌باشد با افزایش در نرخ آب شستشو عیار افزایش و بازیابی کاهش می‌یابد، این در حالیست که در آزمایشهای با شرایط نرخ تهریز بالا با افزایش در میزان آب شستشو عیار و بازیابی افزایش می‌یابند. این بدان علت است که در آزمایشهای با نرخ تهریز بالا میزان آب شستشو نقش کلیدی در ایجاد حالت پایداری کف در ستون فلوتاسیون دارد.

**۳-۶- نرخ هوا**

اثر نرخ هوا بر عیار و بازیابی در کلیه شرایط از روند یکسان تعییت می‌نماید، بگونه‌ای که با افزایش نرخ هوا از ۱۱۵ لیتر در ساعت به ۲۳۰ و ۳۴۵ لیتر در ساعت در آزمایشهای با شرایط یکسان، عیار مولیبدن در سرریز کاهش و بازیابی افزایش می‌یابد. چون با افزایش دبی هوا انتقال کانی باطله به ناحیه کف افزایش می‌یابد، لذا افزایش بازیابی و کاهش عیار کانی شناور در کف را بهمراه خواهد داشت.

**۴-۶- نرخ خوراک**

از سوی دیگر با افزایش نرخ خوراک در ستون فلوتاسیون، میزان انتقال ذرات به ناحیه کف افزایش می‌یابد لذا افزایش نرخ خوراک افزایش بازیابی و کاهش عیار کانی شناور شونده را بهمراه دارد.

**۷- نتیجه‌گیری**

۱- در شرایطی که پالپی با غلظت ۱۵ درصد جامد از کنسانتره مس - مولیبدن بهمراه ۸ کیلوگرم سولفیدسدیم بعنوان بازداشت کننده و ۲۰ گرم کفساز به ازای هر تن خوراک بدون استفاده از کلکتور به مدت ۶ دقیقه در  $pH = ۱۲$  آماده‌سازی و توسط یک ماشین فلوتاسیون به ارتفاع ۲ متر و قطر ۹ سانتی‌متر در شرایط بهینه عملیاتی دبی خوراک ۶۰ لیتر در ساعت، دبی هوا ۱۰۰ لیتر در ساعت، دبی آب شستشو ۷۰ لیتر در ساعت و دبی تهریز ۱۲۰ لیتر در ساعت، به منظور فلوتاسیون مستقیم مولیبدنیت و بازداشت کانی‌های آهن و مس، مورد آزمایش قرار گیرد، عیار مولیبدن در سرریز  $3/9$  درصد بدست آید. بازیابی مولیبدن ۹۲ درصد و راندمان جدایش ۶۹ درصد برآورد شده است. در حالیکه طی شرایط عملیاتی مشابه در ماشین فلوتاسیون معمولی عیار مولیبدن در سرریز ۴ درصد بدست آید. بازیابی مولیبدن در این روش ۸۴ درصد و راندمان جدایش ۶۴ درصد می‌باشد. از مقایسه نتایج بدست آمده ملاحظه می‌شود با استفاده از روش فلوتاسیون ستونی بازیابی مولیبدن ۸ درصد و راندمان جدایش ۵ درصد بهبود می‌یابد.



۲- در کلیه آزمایش‌های فلوتاسیون ستونی دستیابی به شرایط پایدار مهمترین عامل می‌باشد. در میان ۴ پارامتر عملیاتی اثر تغییرات تدریز بر این حالت بسیار محسوس‌تر از سایر پارامترها می‌باشد.

## ۸- تقدیر و تشکر

نویسنده‌گان از دانشگاه تربیت مدرس، مجتمع مس سرچشمہ و طرح تحقیقات صنعتی وزارت صنایع و معادن به جهت فراهم آوری امکان انجام این تحقیق تقدیر و تشکر می‌نمایند.

## ۹- منابع

- [۱]-Boutin P. and Wheeler D.” Column flotation”, Mining World, ۲۰(۳), pp[۴۷]۵۰, ۱۹۶۷.
- [۲]Moon K.d Sirois L“Theory and industrial application of column flotation in Canada”, column flotation ۸۸, pp.۹۱-۶, ۱۹۸۸.
- [۳]Ocnald O. and Zipperian E.,“Plant Practice of the flotation column flotation machine for metallic, nonmetallic and coal flotation” , column flotation ۸۸, pp.۴۸-۵۶, ۱۹۸۸.
- [۴]Banisi,S. and Finch,J.A, “ Technical Note Testing a flotation Column at the Sarcheshmeh Copper Mine”, Mineral Engineering, Vol. ۱۴, No. ۷, pp. ۷۸۵-۷۸۹, ۲۰۰۱.
- [۵]Finch J.A. and Dobby G.S.,”Column flotation” Pergamon, Oxford, ۱۹۹۰.
- [۶]Canadian Process Technologies Inc,”Column Flotation Cell Operating and Maintenance Manual” ۲۰۰۱.
- [۷]Yianatos J., Bergh, L. , Molinet, P. and Gimenes, P. “Characterization of an Industrial Flotation Column at Division Andia, CODELCO- CHILE”, Mineral Engineering , Vol. ۱۲, No. ۵, PP. ۵۶۰-۹, ۱۹۹۹.
- [۸] Gariby, R.Perez, Gallegos P.M. and Nava, F., “ Effect of collection zone height and operating variables on recovery of overload flotation columns” ,Mineral Engineering , Vol. ۱۵, PP. ۳۲۰-۳۱, ۲۰۰۲.
- [۹] Yalcin, T.,”The effect of some design and operating parameters”, Mineral Engineering, Vol. ۵, No. ۳, PP. ۳۱۱-۹, ۱۹۹۵.
- [۱۰]Tavera,FJ., Escudero,R. and Finch,J.A. “Gas Holdup in Flotation Columns: Laboratory Measurments” , International Journal of mineral processing, ۶۱(۲۰۰۰), ۲۳-۴۰.
- [۱۱]Del Villar,R., Gregoire,M. and Pomerleau, A. “ Automatic Control of a Laboratory Flotation Column” , Mineral Engineering , Vol. ۱۲, No. ۳, pp. ۲۹۱-۳۰۸, ۱۹۹۹.