



## جداسازی مولیبدنیت از کنسانتره مس سرچشمه 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 ۸۰۱۱۰۰۱

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 خوراک مرحله رافر فلوتاسیون مولیبدنیت مجتمع مس سرچشمه، نتایج متالورژیکی روشهای فلوتاسیون معمولی و ستونی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در ماشین فلوتاسیون ستونی با انتخاب 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 و پالپ ۱۵ درصد جامد به همراه ۸ کیلوگرم سولفید سدیم به ازای هر تن خوراک در  $\text{pH} = 12$ ، عیار مولیبدن ۳/۹ درصد، بازیابی ۹۲ درصد و راندمان جدایش ۶۹ درصد بوده در حالیکه در ماشین فلوتاسیون معمولی، در مقیاس آزمایشگاهی، با پالپ ۱۵ درصد جامد به همراه ۸ کیلوگرم سولفید سدیم به ازای هر تن خوراک در  $\text{pH} = 12$ ، 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 سرچشمه



## ۱- مقدمه

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

پس از ثبت طرح ستون فلوتاسیون ستونی در اوائل دهه ۱۹۶۰ تا کنون مطالعات گسترده ای در خصوص بکارگیری این ماشین در فلوتاسیون مولیبدنیت بعمل آمده است [۱].

در کانادا مرکز تکنولوژی کانی و انرژی (CANMET)، ماتیهو (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 می شود در خلال هر دو مرحله فلوتاسیون رافر و کلیئر مولیبدنیت، روش فلوتاسیون ستونی محصول پرعیارتری با همان بازیابی به همراه داشته است.

جدول ۱: نتایج فلوتاسیون مکانیکی و ستونی مولیبدنیت از نیوفاندلند (Newfoundland) [۲]

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 وایتهورس (Whitehorse) نشان می دهد ستون فلوتاسیون کنسانتره ای با عیار بالاتری از مولیبدن و عیار کمتری از مس، نسبت به سلولهای معمولی تولید می نماید [۲].

در سال ۱۹۸۱ اولین ستون فلوتاسیون صنعتی در معدن گسپ (Gaspé) 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 - مولیبدن 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 سرچشمه) 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 خوراک 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 خوراک، استفاده شده است.

## ۳- شناسایی نمونه

نمونه مورد نظر از خوراک مرحله رافر ماشینهای فلوتاسیون در کارخانه فراوری مولیبدنیت سرچشمه تهیه شده است. بر روی نمونه تهیه شده، آنالیز XRD، XRF، جذب اتمی، آنالیز سرنندی تر، بعمل آمده است. نتایج بررسیهای بعمل آمده در ذیل آورده شده است.

### ۳-۱- آنالیز XRD

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

### ۳-۲- آنالیز جذب اتمی

در آنالیز جذب اتمی میزان سه عنصر مولیبدن، 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 مولیبدن اندازه گیری شده است. نتایج آنالیز جذب اتمی نمونه مورد نظر برای سه عنصر مولیبدن، مس، آهن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: نتایج آنالیز جذب اتمی نمونه مورد نظر

عنصر	Mo	Cu	Fe
(%)	۱	۳۴	۲۳



## ۳-۳- آنالیز XRF

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>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
(%)	۱۵,۳۶	۰,۹۱۳	۴,۰۰۸	۷,۴۸۷	۰,۰۷۱	۰,۶۴۴	۱,۸۸۶
اکسید (عنصر)	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu	Zn	As	Mo	Pb
(%)	۰,۲۸	۳۴,۳۸۹	۳۲,۹۴۹	۰,۷۵۷	۰,۱۹۷	۰,۹۸۸	۰,۰۶۵

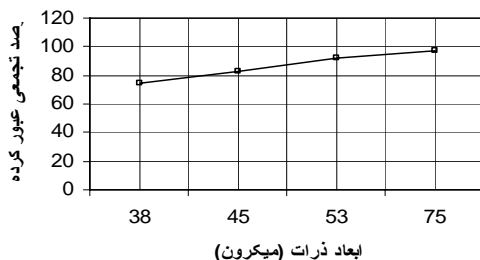
## ۳-۴- آنالیز سرندي تر

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

میکرون	درصدوزنی باقی‌مانده	درصدتجمعی باقی‌مانده	درصدتجمعی عبورکرده
۷۵	۲/۹۳	۲/۹۳	۹۷/۰۷
۵۳	۴/۶۸	۷/۶۱	۹۲/۳۹
۴۵	۹/۶۳	۱۷/۲۴	۸۲/۷۶
۳۸	۸	۲۵/۲۴	۷۴/۷۶
-۳۸	۷۴/۷۶	۱۰۰	

نتایج جدول ۴ و شکل ۱ نشان می‌دهند دانه بندی نمونه مورد مطالعه (d<sub>۸۰</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.

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

جدول ۵: دامنه تغییر پارامترهای عملیاتی در ستون فلوتاسیون [۶ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵]

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



شرایط 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].

#### ۴-۲ 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 خوراک و درصد جامد پالپ (غلظت پالپ ۱۵ درصد جامد) ثابت در نظر گرفته شده است، همچنین در این ۲۷ آزمایش از سولفیدسدم بعنوان بازداشت کننده، به میزان ۵ کیلوگرم به ازای هر تن خوراک، استفاده شده است.

جدول ۶: سطوح انتخاب شده جهت پارامترهای عملیات

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

جدول ۷: دبی پارامترهای عملیاتی در ۲۷ آزمایش اولیه

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



۳۵	۶۴	۲/۲	۶۰	۳۴۵	۰	۳
۲۴	۴۳	۲/۳	۹۰	۱۱۵	۰	۴
۲۸	۵۸	۱/۹	۹۰	۲۳۰	۰	۵
۲۹	۵۷	۲	۹۰	۳۴۵	۰	۶
-	-	-	۱۲۰	۱۱۵	۰	۷
-	-	-	۱۲۰	۲۳۰	۰	۸
-	-	-	۱۲۰	۳۴۵	۰	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)

#### ۴-۳ 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 خوراک، به منظور دستیابی به شرایط بهینه متالورژیکی، تغییراتی اعمال شده است، همچنین در این سری از آزمایشها جهت افزایش عیار مولیبدن در کنسانتره از ۶/۵ و ۸ کیلوگرم سولفید سدیم، به ازای هر تن خوراک، 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 خوراک (شامل چگالی خوراک بصورت خشک، دانه‌بندی خوراک، چگالی پالپ آماده‌سازی شده، میزان مواد شیمیایی، زمان آماده‌سازی و pH)، شرایط عملیاتی (شامل دبی خوراک 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. [۵].

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad \text{ماندگی گاز (۲)}$$

$$H = h_3 + h_2 - h_1 = h_3 + h_2 - \frac{h_2}{(1 - \varepsilon_g)} \quad \text{عمق کف (۳)}$$

$$Q_B = \frac{A(H_t - h)\rho_{cz} - Ah\rho_{cz}}{\rho_w} + Q_T - Q_F \quad \text{دبی بایاس (۴)}$$

$$\rho_{cz} = (1 - \varepsilon_{cz})\rho_{sl} \quad \text{دانسیته ناحیه جمع‌آوری (۵)}$$

$$J_{cw} = J_g \left( \frac{1 - \varepsilon_{go}}{\varepsilon_{go}} \right) \quad \text{آب سرریز (۶)}$$

$$\tau_{sl} (\text{min}) = \frac{15\pi d_c^2 (H_c - H_{spa} - h)(1 - \rho_{cz} / \rho_{sl})}{V_{tot}} \quad \text{زمان (۷)}$$

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 ماند،  $d_c$  قطر ستون،  $V_{tot}$  دبی ته ریز،  $h_3$  فاصله سطح آب در متنومتر سوم (فوقانی) تا لبه ستون،  $h_2$  ارتفاع آب در مانومتر سوم می‌باشند. 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].

$$R = \frac{c(f - t)}{f(c - t)} \quad \text{بازیابی (۸)}$$

$$SE = \frac{100Cm(c - f)}{f(m - f)} \quad \text{راندمان جدایش (۹)}$$

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



جدول ۸: شرایط و نتایج آزمایش ۲۵

تکرار	مرتبۀ اول	واحد	آماده‌سازی خوراک
۴,۵	۴,۵	گرم بر سانتی‌مترمکعب	چگالی خوراک بصورت خشک
۴۲	۴۲	d <sub>۸۰</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
			شرایط عملیاتی
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
			قرائتها
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
			پارامترهای کنترلی
۱۱,۹۰	۱۰,۷۱	درصد	ماندگی گاز
۲۲,۵۶	۲۴,۵۲	سانتی‌متر	عمق کف
۶۹,۶۰	۶۹,۴۸	لیتر بر ساعت	دبی آب بایاس
بازیابی در کنسانتره (درصد)	عیار در ته‌ریز(درصد)	عیار در سرریز(درصد)	نمونه‌گیری و آنالیز
۸۵	۰,۲	۳,۴	مولیدن
۲۷,۴۵	۳۷	۲۸	مس
۶۳,۷۶	۲۵	۲۲	آهن
	۶۱,۰	راندمان جدایش مولیدن	



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 ونتایج بهینه حاصل از آزمایش نهایی شماره ۲ فلوتاسیون ستونی مطابق جدول ۱۰ بدست 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 ته ریز (لیتر بر ساعت)	دبی خوراک (لیتر بر ساعت)	میزان مصرف سولفید سدیم (Kg/t)	عیار مولیبدن در کنسانتره (درصد)	بازیابی مولیبدن در کنسانتره (درصد)	راندمان جدایش مولیبدن (درصد)
۲۵	۱۱۵	۷۰	۱۲۰	۶۰	۵	۳/۴	۸۵	۶۱
۲۸	۱۰۰	۷۰	۱۲۰	۶۰	۵	۳/۷	۸۴	۶۲
۲۹	۱۶۰	۷۰	۱۲۰	۶۰	۵	۳/۴۵	۸۷	۶۳
۳۰	۱۱۵	۵۰	۱۲۰	۶۰	۵	۲/۸	۸۶	۵۶
۳۱	۱۱۵	۳۰	۱۲۰	۶۰	۵	۲/۶	۸۶	۵۴
۳۲	۱۱۵	۷۰	۱۲۰	۶۰	۶/۵	۳/۶	۸۴	۶۲
۳۳	۱۱۵	۷۰	۷۲	۶۰	۶/۵	۳/۵	۸۴	۶۱
۳۴	۱۱۵	۵۰	۷۲	۶۰	۵	۱/۸	۹۰	۴۰
۳۵	۱۱۵	۳۵	۶۰	۹۰	۵	۲	۸۸	۴۵
۳۶	۱۱۵	۳۵	۹۰	۹۰	۶/۵	۲/۲	۸۸	۴۸
۳۷	۱۱۵	۷۰	۷۲	۹۰	۶/۵	۳/۲	۸۵	۵۹
۳۸	۲۳۰	۷۰	۹۰	۹۰	۶/۵	۲/۷	۸۶	۵۵
۳۹	۳۴۵	۷۰	۹۰	۹۰	۶/۵	۲	۸۸	۴۵
آزمایش نهایی ۱	۱۶۰	۷۰	۱۲۰	۶۰	۶/۵	۳/۶	۸۴	۶۲
آزمایش نهایی ۲	۱۰۰	۷۰	۱۲۰	۶۰	۸	۳/۹	۹۲	۶۹



جدول ۱۰: شرایط و نتایج آزمایش نهایی

تکرار	مرتبۀ اول	واحد	آماده‌سازی خوراک
۴,۵	۴,۵	گرم بر سانتی‌مترمکعب	چگالی خوراک بصورت خشک
۴۲	۴۲	۸۰(میکرون)	دانه‌بندی خوراک
۱,۱۳۳	۱,۱۳۳	گرم بر سانتی‌مترمکعب	چگالی پالپ آماده‌سازی شده (ورودی 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	دبی خوراک ورودی به سلول
۱۰۰	۱۰۰	لیتر بر ساعت	دبی هوای ورودی به اسپارجر
۷۰	۷۰	لیتر بر ساعت	دبی آب شستشو
۱۲۰	۱۲۰	لیتر بر ساعت	دبی ته‌ریز
			پارامترهای کنترلی
۱۷,۸۵	۱۵,۴۷	درصد	ماندگی گاز
۲۱,۶۹	۲۴,۶۶	سانتی‌متر	عمق کف
۶۸,۷۲	۶۸,۸۶	لیتر بر ساعت	دبی آب بایاس
بازیابی در کنسانتره (%)	عیار در ته‌ریز(درصد)	عیار 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 مولیدن(%)	بازیابی مولیدن(%)	راندمان 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 مولیدنیت در مرحله رافر، با استفاده از ماشین فلوتاسیون ستونی بازیابی مولیدن 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 مولیدن، اثر سه پارامتر دبی آب شستشو، دبی هوا، دبی ته‌ریز بر منحنی عیار- بازیابی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

### ۶-۱- نرخ ته‌ریز

افزایش نرخ ته‌ریز در آزمایشهایی که بدون استفاده از آب شستشو صورت پذیرفته اند، کاهش عیار و بازیابی مولیدن در سرریز را به همراه داشته است. در حالیکه در آزمایشهایی که نرخ آب شستشو ۳۵ لیتر در ساعت بوده، با افزایش نرخ ته‌ریز عیار کاهش و بازیابی افزایش یافته است. از سوی دیگر در آزمایشهایی که نرخ آب شستشو ۷۰ لیتر در ساعت می‌باشد، با افزایش نرخ ته‌ریز عیار مولیدن در سرریز افزایش و بالعکس بازیابی مولیدن در سرریز کاهش یافته است. این نتایج نشان می‌دهند اثر نامطلوب تغییرات نرخ ته‌ریز بر عیار و بازیابی بوسیله آب شستشو قابل جبران می‌باشد.



#### ۶-۲- 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.

#### ۶-۳- نرخ هوا

اثر نرخ هوا بر عیار و بازیابی در کلیه شرایط از روند یکسان تبعیت 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 به‌همراه خواهد داشت.

#### ۶-۴- 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 به‌همراه دارد.

#### ۷- نتیجه‌گیری

۱- در شرایطی که پالپی با غلظت ۱۵ درصد جامد از کنسانتره مس - مولیبدن به‌مراه ۸ کیلوگرم سولفیدسديم بعنوان بازداشت کننده و ۲۰ گرم کف‌ساز به ازای هر تن خوراک بدون استفاده از کلکتور به مدت ۶ دقیقه در  $pH = 12$  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 ۳/۹ 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 می باشد. در میان ۴ پارامتر عملیاتی اثر تغییرات ته ریز بر این حالت بسیار محسوس تر از سایر پارامترها می باشد.

## ۸- تقدیر و تشکر

نویسندگان از دانشگاه تربیت مدرس، مجتمع مس سرچشمه و طرح تحقیقات صنعتی وزارت صنایع و معادن به جهت فراهم آوری امکان انجام این تحقیق تقدیر و تشکر می نمایند.

## ۹- منابع

- [۱]-Boutin P. and Wheeler D.” Column flotation”, Mining World, ۲۰(۳), pp۴۷]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. ۵۶۵-۹, 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. ۳۲۵-۳۱, ۲۰۰۲.
- [۹] Yalcin, T., “The effect of some design and operating parameters”, Mineral Engineering, Vol. ۵, No. ۳, PP. ۳۱۱-۹, ۱۹۹۵.
- [۱۰]Tavera, F.J., Escudero, R. and Finch, J.A. “Gas Holdup in Flotation Columns: Laboratory Measurements”, 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.