

بررسی امکان جایگزینی سلول فلوتاسیون ستونی با سلول مکانیکی در مرحله رافر روی سولفیدی کارخانه منصور آباد

سید محمد جواد کلینی، احمد خدادادی، سجاد قلی زاده

۱- استادیار گروه فرآوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس (koleini@modares.ac.ir)

۲- استادیار گروه فرآوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

کارخانه فراوری سرب و روی منصورآباد به منظور تهیه کنسانتره سرب و روی فعالیت می کند. در این کارخانه ترکیبات سرب و روی در چند مرحله توسط سلولهای فلوتاسیون از یکدیگر جدا می شوند. دستگاههایی که در خطوط فلوتاسیون به کار گرفته شده اند سلولهای فلوتاسیون مکانیکی می باشند. با توجه به کارایی پایین این سلولها تحقیقات و آزمایشهای اولیه در زمینه به کار گیری سلول فلوتاسیون ستونی با استفاده از یک دستگاه سلول فلوتاسیون ستونی به ارتفاع ۱۵۳۵ و قطر ۷۴ میلی متر برای جدایش سرب و روی و بهینه سازی پارامترهای آن در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. هدف از این تحقیق بهینه سازی جدایش سرب و روی از یکدیگر در مرحله رافر روی سولفیدی کارخانه بود. لذا از خوراک آماده سازی شده ای که وارد رافر می شد به عنوان خوراک در ستون آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای عملیاتی ستون به عنوان متغیر و کارایی جدایش روی به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد. میزان بهینه دبی خوراک، دبی هوا، دبی آب شستشو و عمق کف به ترتیب برابر ۰/۶ لیتر بر دقیقه، ۱ لیتر بر دقیقه، ۰/۶ لیتر بر دقیقه و ۲۵ سانتیمتر و در این شرایط میزان بهینه کارایی جدایش روی ۳۷/۳۴ درصد بدست آمد.

کلمات کلیدی: سرب و روی_ فلوتاسیون ستونی _ کارخانه منصورآباد_ تاگوچی

Investigation of Column Cell Replacement in Zinc Sulfide Rougher Stage in Mansourabad Lead and Zinc Processing Plant

SM Javad Kolein, A. Khodadadi And S. Gholizadeh

Abstract

Mansourabad Lead and Zinc Processing plant has been established to produce lead and zinc concentrates. In this unit lead and zinc complexes, is separated in several flotation stages. The used equipments in this process are mechanical flotation cells. Because of low efficiency of these machines, new approaches and experiments had been carried out using column flotation cell (Height: 1535mm, Diameter: 74mm) for separation of lead and zinc and optimization of effective parameters in lab scale. In these experiments, column operational parameters were considered as variables. Optimal feed rate, air rate, wash water rate and froth height were 0.6 lpm, 1 lpm, 0.6 lpm and 25cm. In these conditions, the best efficiency of lead separation was 45.52%.

Keyword: Column flotation, Mansourabad, zinc sulfide

۱- مقدمه

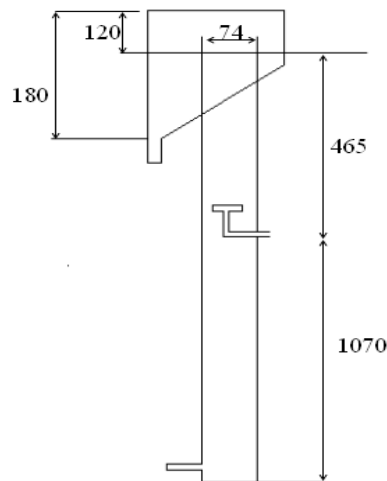
صنعت فرآوری مواد معدنی در ده سال گذشته شاهد پیشرفت‌های چشمگیری بوده است که بدون تردید، سلول فلوتاسیون ستونی یکی از بارزترین آنها می‌باشد. امروزه انواع مختلف سلول ستونی به بازار عرضه شده است که هر کدام از آنها می‌تواند جایگزین سلول مکانیکی معمولی شود و درحالی که کارایی کارخانه فلوتاسیون را بالا می‌برد، از میزان سرمایه گذاری اولیه نیز تا حد زیادی می‌کاهد. کاربرد انواع مختلف ستون در جهان، در فرآوری کانه های فلزی متنوع بوده است. در کارخانه فلوتاسیون سرب و روی معدن راجپورا آزمایش‌ها پیوسته‌ای با استفاده از نصب سه ستون انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌داد که استفاده از ستونها باعث می‌شود که میزان مواد غیر محلول از ۷-۸ درصد به ۲ تا ۴ درصد کاهش و عیار روی از ۵۰-۴۸ درصد به ۵۵-۵۲ درصد افزایش یابد، در ضمن هیچگونه کاهش نیز در بازیابی وجود نداشت [۲]. در معدن سرب و روی پلاریس کانی‌های اسفالریت و گالن است با دولومیت و کلسیت همراه می‌باشند. یک ستون به قطر ۶۰cm در مدار سرب معدن پلاریس مورد استفاده قرار گرفته است. این ستون عیار سرب نهایی را از ۷۹ درصد به ۸۱ درصد بدون کاهش بازیابی، افزایش می‌دهد. استفاده از فلوتاسیون ستونی سه فایده عمده دارد: علاوه بر تولید کنسانتره با عیار بالاتر، سلول ستونی شدت انرژی کمتر و فضای کمتری نسبت به سلول مکانیکی نیاز دارد [۳].

معدن رداگ در شمال غربی آلاسکا واقع شده و بزرگترین تولید کننده کنسانتره روی در دنیا است. مدار فلوتاسیون معدن رداگ در طول ۱۴ سال عمر عملیات بارها بهبود یافته است. فلوتاسیون شامل ۳ مرحله متوالی، مرحله پیش فلوتاسیون برای زدودن فاز آلی کربن و عنصر سولفور، فلوتاسیون سرب و فلوتاسیون روی است. تجهیزات فلوتاسیون شامل سلولهای تانک اتوکومپو (ok) $50m^3$ برای هر دو مرحله رافر و کلینر و سلول های ستونی شرکت خلیج و اقیانوس اطلس برای شستشو نهایی است. بخش بازیابی روی شامل ۳ مرحله فلوتاسیون است که باید توسط باطله کلینر اول تغذیه شود. مرحله اول فلوتاسیون معمولی است که در آن باطله روی به طور مدار باز به باطله نهایی می‌رود. کنسانتره به مدار بسته با آسیا فرستاده می‌شود تا محصولی با $80 d_{80} 17-29 \mu m$ تولید شود. خردایش دوباره وابسته به خصوصیات و پارامترهای عملیات است. سرریز سیکلون به مرحله دوم فلوتاسیون معمولی (مرحله دوم بازیابی روی) و سپس مرحله سوم می‌رود. مرحله سوم شامل ۲ ستون با قطر ۳/۶۶ متر (ستون های ۱۱ و ۱۲) که برای تولید ۲۵٪ کنسانتره روی نهایی طراحی شده اند [۴].

در معدن سرب و روی پایین پوینت کانه‌های سرب و روی با MgO همراه است. کنسانتره روی که توسط معدن تولید می‌شود باید مقدار ناخالصی MgO آن ۴٪ درصد یا کمتر باشد. (بدلیل محدودیت در پروسه لیچینگ و الکترووینینگ). برای برداشت دولومیت از کنسانتره روی یک پروسه لیچینگ با اسید سولفوریک انجام می‌شود. لیچینگ بدلیل هزینه بالای اسید گران است. برای بهبود جداسازی اسفالریت - دولومیت فلوتاسیون ستونی پیشنهاد می‌شود، چون هزینه‌های لیچینگ کاهش می‌یابد. براین اساس یک ستون به قطر (۱۵in) ۳۸ سانتی‌متر در مدار روی در کارخانه نصب شد. نتایج نشان می‌دهد که ۷۰ تا ۸۰ درصد روی در کنسانتره رافر، می‌تواند در یک مرحله شستشو در ستون با میزان MgO ۴٪ درصد بازیابی شود [۲]. در شستشوی روی در مدار روی روتان در آزمایشات، ستون را به عنوان کلینر مرحله سوم و کلینر مرحله چهارم به کار برده‌اند. در هر دو حالت مشاهده می‌شود که عیار روی در ستون نسبت به سلولهای مکانیکی بیشتر است، هر چند بازیابی تغییر چندانی نمی‌کند. نتایج نشان می‌دهد که ستون می‌تواند کنسانتره‌ای با ۴ واحد عیار روی بالاتر از سلولهای مکانیکی با همان بازیابی ایجاد کند [۵].

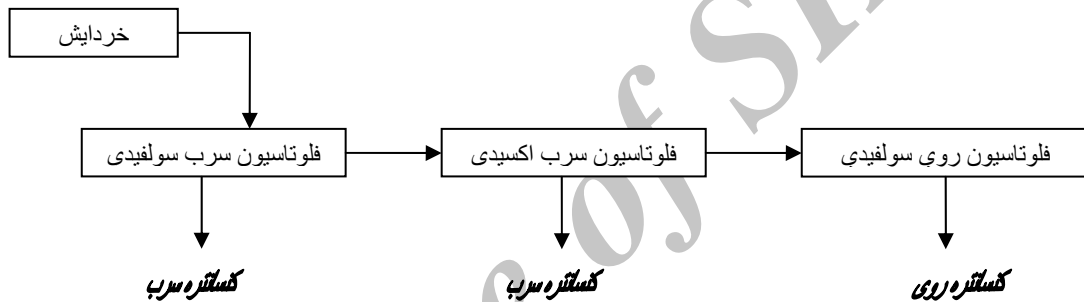
۲- روش انجام آزمایشها

معمولاً به علت وجود عوامل مختلف و متعدد درگیر در طرح، تعداد آزمایش‌ها زیاد شده و هزینه گزاف و زمانی طولانی مصرف می‌شود. طراحی آزمایش‌ها شامل یکسری از آزمایش‌هایی است که بطور آگاهانه در متغیرهای ورودی فرآیند تغییراتی ایجاد می‌گردد تا از این طریق میزان تغییرات حاصل در پاسخ خروجی فرآیند مشاهده و شناسایی شود. [۷و۶]. ستون آزمایشگاهی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است، دارای ارتفاع ۱۵۳۵ میلی‌متر است که ۴۶۵ میلی‌متر از آن، ناحیه شستشو و ۱۰۷۰ میلی‌متر از آن، ناحیه بازیابی است. قطر ستون ۷۴ میلی‌متر است. بنابراین ستون مذکور، دارای سطح مقطع ۰/۴۳ متر مربع و حجم ۰/۶۶ متر مکعب است. شکل (۱) شمایی از این ستون را نشان می‌دهد [۱].



شکل ۱- شمایی از ستون آزمایشگاهی

برای انجام آزمایشها، خوراک بعد از آماده سازی در خط فلوتاسیون وارد تانک ذخیره می شود. با توجه به اینکه



شکل (۲): مراحل فلوتاسیون مکانیکی در کارخانه منصورآباد

اصول کار بر اساس جایگزینی سلول ستونی به جای سلول فلوتاسیون معمولی در کارخانه می باشد لذا پارامترهای کنترلی سلول ستونی برای بهینه سازی در نظر گرفته شد و فرض بر این است که مراحل قبلی اعم از خریدایش، میزان درصد جامد، داروهای مورد استفاده و میزان مصرف آنها و همچنین مرحله آماده سازی در شرایط بهینه خود می باشد. لذا انجام آزمایش ها بر روی همان خوراک آماده شده ای انجام شد که وارد سلول فلوتاسیون معمولی واقع در رافر مدار فلوتاسیون روی سولفیدی می شود. همچنین در جدول ۱ نتایج کار دو سلول جفتی فلوتاسیون مکانیکی در قسمت رافر روی سولفیدی برای مقایسه با نتایج آزمایشها ارایه می شود. در شکل ۲ شمایی کلی از مراحل فلوتاسیون خوراک کارخانه منصور آباد مشاهده می شود. خوراک ورودی به ستون فلوتاسیون قبل از مرحله فلوتاسیون روی سولفیدی دریافت می شود.

جدول ۱- میزان کارایی جدایش بر اساس مشخصات جریانها

سرریز	ته ریز	خوراک	مشخصات جریانها
۴/۸۸	۸/۱۸	۷/۴۸	عیار سرب (%)
۵۲/۴۸	۳۱/۲۶	۳۴/۳۴	عیار روی (%)
۱۳/۸۴	۸۶/۱۶	۱۰۰	بازیابی سرب (%)
۲۲/۱۸	۷۷/۸۲	۱۰۰	بازیابی روی (%)
۱۹/۸۵			کارایی جدایش روی (%)

معادلاتی که برای محاسبه بازیابی و کارایی جدایش در جدول ۱ به کار رفته است به شرح زیر می باشد.

بازیابی سرب و روی در ته ریز :

$$R = \frac{t(f - c)}{f(c - t)} \quad (1)$$

بازیابی سرب و روی در سرریز :

$$R = \frac{c(f - t)}{f(c - t)} \quad (2)$$

محاسبه کارایی جدایش روی :

$$S.E = \frac{c(f - t)(c - f)(100 - t)}{f(c - t)^2(100 - f)} \quad (3)$$

در معادلات بالا f و C و t عیار سرب و روی به ترتیب در خوراک، سرریز و ته ریز می باشد. برای انجام آزمایشها چهار پارامتر عملیاتی ستون یعنی نرخ آب شستشو، نرخ ته ریز، نرخ خوراک، نرخ هوا بررسی شده اند. طراحی آزمایشها با استفاده از نرم افزار Qualitek-4 و تعداد آزمایشهای مورد نیاز توسط این نرم افزار تعیین شد. لازم به ذکر است به منظور بهینه سازی پارامترها از آرایه متعامد L_9 برای چهار عامل گفته شده در بالا و سه سطح استفاده شد. آرایه L_9 انتخابی تاگوچی در جدول (۱) آورده شده است. آزمایشها بر اساس جدول (۲) انجام شد.

جدول ۲- آرایه L_9 انتخابی تاگوچی

عمق کف	دبی آب شستشو	دبی هوا	دبی خوراک	پارامترها آزمایشها
۲۰	۰/۱	۱	۰/۶	۱
۲۵	۰/۳	۲	۰/۶	۲
۳۰	۰/۶	۳/۵	۰/۶	۳
۳۰	۰/۳	۱	۰/۹	۴
۲۰	۰/۶	۲	۰/۹	۵
۲۵	۰/۱	۳/۵	۰/۹	۶
۲۵	۰/۶	۱	۱/۲	۷
۳۰	۰/۱	۲	۱/۲	۸
۲۰	۰/۳	۳/۵	۱/۲	۹

برای اینکه نمونه ها معرف باشند، بعد از ثبات در ستون نمونه گیری سه بار هر ۳ دقیقه یکبار انجام شده و مدت نمونه گیری برای هر بار نمونه گیری ۵ ثانیه در نظر گرفته شد هر آزمایش نمونه گیری از سرریز و ته ریز انجام می شود. نمونه ها پس از خشک کردن برای تعیین عیار و بازیابی به آزمایشگاه فرستاده شد

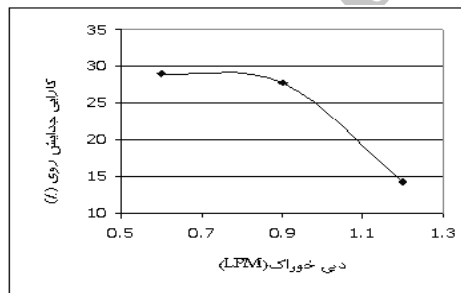
۳- تجزیه و تحلیل نتایج

نتایج بدست آمده از انجام آزمایشها در جدول (۳) مشاهده می شوند.

جدول ۳- نتایج آنالیز نمونه ها و محاسبه کارایی جدایش

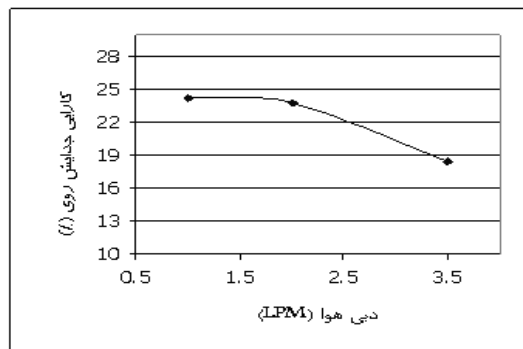
کارایی جدایش	بازیابی سرب (%)		بازیابی روی (%)		سرب (%)		روی (%)		
	سرریز	ته ریز	سرریز	ته ریز	سرریز	ته ریز	سرریز	ته ریز	
۲۴/۸۶	۲۹/۷	۷۰/۳	۱۲/۴۸	۸۷/۵۲	۴۸/۸	۳۰/۵۲	۳/۸۸	۸/۶۲	۱
۳۱/۲۷	۳۸/۹۸	۶۱/۰۲	۴/۳۰	۹۵/۷	۵۰/۷۶	۲۸/۴۶	۲/۳۴	۸/۳	۲
۳۱/۱۶	۳۶/۰۴	۶۳/۹۶	۳/۶۶	۹۶/۳۴	۵۸/۱۶	۲۷/۹	۱/۸۶	۸/۴۵	۳
۲۷/۶۰	۳۱/۷۹	۶۸/۲۱	۸/۸۷	۹۱/۱۳	۵۵/۸	۲۹/۱۲	۲/۱۶	۹/۸۴	۴
۲۷/۶۵	۳۲/۰۷	۶۷/۹۳	۴/۹۷	۹۵/۰۳	۵۴/۹	۲۹/۱۸	۱/۷۷	۹	۵
۲۸/۲۷	۳۴/۹۳	۶۵/۰۷	۵/۶۴	۹۴/۳۶	۴۸/۹۴	۲۹/۶	۲/۸	۸/۳۱	۶
۲۰/۲۳	۲۲/۹۶	۷۷/۰۴	۵/۰۶	۹۴/۹۴	۵۰/۲۴	۳۱/۳۸	۲/۴۵	۸/۴	۷
۱۲/۳۹	۱۳/۱۵	۸۶/۸۵	۶/۱۹	۹۳/۸۱	۵۴/۴۸	۳۲/۵۲	۲/۷	۸/۴۷	۸
۱۰/۳۶	۱۰/۸۴	۸۹/۱۶	۳/۰۱	۹۶/۹۹	۵۵/۹۴	۳۲/۸	۲/۱۸	۸/۰۹	۹

بیشترین عیار روی در سرریز، در آزمایش سوم به میزان ۵۸/۱۶ درصد بدست آمده است. بیشترین بازیابی روی ۳۸/۹۸٪ مربوط به آزمایش دوم می باشد. بیشترین کارایی جدایش روی با مقدار ۳۱/۲۷٪ مربوط به آزمایش دوم می باشد. شکل (۳) تاثیر میزان دبی خوراک را بر کارایی جدایش روی نشان می دهد. با توجه به شکل می توان دریافت که بیشترین میزان کارایی جدایش هنگامی رخ می دهد که میزان دبی خوراک در کمترین مقدار خود یعنی ۰/۶ لیتر بر دقیقه قرار دارد. این مساله نشان می دهد که زمان ماند مناسب در دبی های خوراک پایین رخ می دهد و ذرات فرصت کافی برای جدا شدن را دارند.



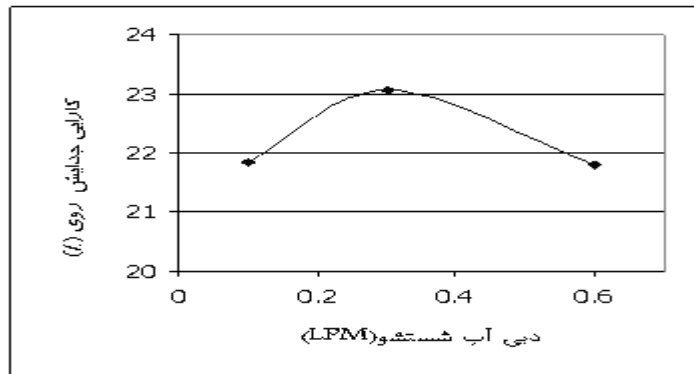
شکل ۴- نمودار تاثیر دبی خوراک بر کارایی جدایش روی

بر اساس نتایج مندرج در شکل (۴) مشخص است که افزایش میزان دبی هوا باعث کاهش در مقدار کارایی جدایش روی شده است. علت این امر ممکن است آشفته گی جریانها در ستون که منجر به عدم پایداری و در نتیجه کاهش در کارایی جدایش شده است.



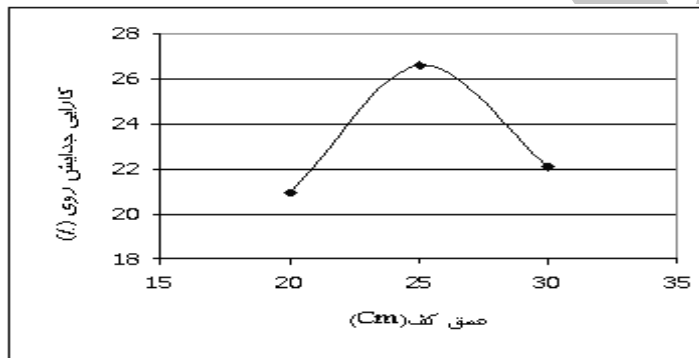
شکل ۴- نمودار تاثیر دبی هوا بر کارایی جدایش روی

شکل (۵) تاثیر میزان آب شستشو بر کارایی جدایش را نشان می دهد. در اینجا نیز یک نقطه بهینه برای کارایی جدایش روی وجود دارد. با افزایش آب شستشو از سطح اول به دوم، ابتدا کارایی جدایش افزایش یافته است و سپس با افزایش آب شستشو از سطح دوم به سوم کارایی جدایش کاهش یافته است.



شکل ۵- نمودار تاثیر دبی آب شستشو بر کارایی جدایش روی

شکل (۶) تاثیر عمق کف بر کارایی جدایش را نشان می دهد. با افزایش عمق کف کارایی جدایش تا سطح دوم عمق کف افزایش می یابد و از آن به بعد دوباره کاهش می یابد.



شکل ۶- نمودار تاثیر عمق کف بر کارایی جدایش روی

۳-۲- تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار

جدول ۴- تجزیه و تحلیل آماری داده های حاصل از طرح آرایه و L (ANOVA)

متغیرها	درجه آزادی (F)	مجموع مربعات (S)	واریانس (V)	نرخ F (F)	درصد تاثیر
دبی خوراک (LPM)	۲	۴۰۰/۲۷	۲۰۰/۱۳	۳۰۸/۵۰	۸۲/۹۵
دبی هوا (LPM)	-	۱/۲۹			
دبی آب شستشو (LPM)	۲	۳۲/۳۸	۱۶/۱۹	۲۴/۹۶	۶/۴۶
عمق کف (Cm)	۲	۴۶/۹۹	۲۳/۵۰	۳۶/۲۲	۹/۵۰
سایر/ خطا	۲	۰/۶۴۸	۱/۰۸		
مجموع	۸	۱۰۶۷/۳۲			٪۱۰۰

نرم افزار Qualitek-4 با استفاده از اطلاعات آزمایشها مجموع مربعات و واریانس را محاسبه می کند و همچنین درصد تاثیر هر پارامتر بر کارایی جدایش توسط نرم افزار محاسبه می شود. با استفاده از داده های جدول (۴) و با مشاهده شکل‌های (۳) الی (۷) مشخص می شود که بیشترین تاثیر بر کارایی جدایش مربوط به دبی خوراک می باشد که در کمترین مقدار آن کارایی جدایش بالا می باشد در میان این پارامترها دبی هوا به مقدار کمتری بر روی کارایی جدایش تاثیر داشته است.

۳-۳- تعیین شرایط بهینه

در مرحله نهایی نرم افزار Qualitek-4 سطح بهینه هر پارامتر و مقدار آن را محاسبه می کند در سطح اعتماد ۹۵٪. شرایط بهینه بصورتی که در جدول (۵) نشان داده شده است می باشد.

جدول (۵): شرایط بهینه پارامترهای عملیاتی ستون فلوتاسیون

متغیرها	سطح	مقدار سطح	سهم
دبی خوراک	۱	(LPM) ۰/۶	۵/۳۴
دبی هوا	۱	(LPM) ۱	۰/۴۸
دبی آب شستشو	۳	(LPM) ۰/۶	۲/۶
عمق کف	۲	(CM) ۲۵	۲/۸۴
کارایی جدایش احتمالی با شرایط بهینه			۳۴/۵۰٪

آزمایشی که در شرایط بهینه توسط نرم افزار پیشنهاد شده است مورد انجام قرار گرفت و نتایج آن در جدول (۶) آورده شده است.

جدول (۶): میزان کارایی جدایش سلول فلوتاسیون ستونی بر اساس آزمایش پیشنهادی

سرریز	ته ریز	خوراک	جریان ها
۴/۱۷	۹/۷۲	۷/۴۸	مشخصات عیار سرب (٪)
۵۳/۴۳	۲۶/۵۳	۳۴/۳۴	عیار روی (٪)
۵۴/۸۳	۷۷/۵۰	۱۰۰	بازیابی سرب (٪)
۴۵/۱۷	۵۷/۲۲	۱۰۰	بازیابی روی (٪)
۳۵/۸۷			میزان کارایی جدایش (٪)

مشاهده می شود که بر اساس پیش بینی نرم افزار میزان کارایی جدایش در مرحله تایید نزدیک به پیش بینی نرم افزار می باشد. در مرحله بعدی، یعنی طراحی سلول فلوتاسیون از نتایج بدست آمده در آزمایشهای آزمایشگاهی استفاده خواهد شد.

۴- نتیجه گیری

نتایج اطلاعات بدست آمده از آزمایشهای انجام شده در جدول (۷) خلاصه شده است. میزان بهینه پارامترهای عملیاتی ستون عبارت است از: دبی خوراک، ۰/۶ لیتر بر دقیقه، دبی هوا، ۱ لیتر بر دقیقه، دبی آب شستشو ۰/۶ لیتر بر دقیقه و عمق کف ۲۵ سانتیمتر.

در سطح اعتماد ۹۵٪، دبی خوراک بیشترین تاثیر را بر کارایی جدایش روی داشته است. بقیه پارامترها تاثیر کمتری بر کارایی جدایش روی داشته اند. مقایسه عملکرد سلول فلوتاسیون ستونی و سلول های مکانیکی نشان می دهد که با استفاده از سلول فلوتاسیون ستونی عیار روی ۱ درصد افزایش یافته است. همچنین بازیابی روی ۲۲ درصد و کارایی جدایش نیز ۱۶ درصد افزایش یافته است.

جدول (۷): مقایسه کارکرد سلولهای مکانیکی کارخانه و ستونی آزمایشگاهی

خوراک	سلول مکانیکی (دومرحله)		سلول ستونی (یک مرحله)		
	ته ریز	سرریز	ته ریز	سرریز	
۷/۴۸	۸/۱۸	۴/۸۸	۹/۷۲	۴/۱۷	عیار سرب(%)
۳۴/۳۴	۳۱/۲۶	۵۲/۴۸	۲۶/۵۳	۵۳/۴۳	عیار روی(%)
۱۰۰	۸۶/۱۶	۱۳/۸۴	۷۷/۵۰	۵۴/۸۳	بازیابی سرب(%)
۱۰۰	۷۷/۸۲	۲۲/۱۸	۵۷/۲۲	۴۵/۱۷	بازیابی روی(%)
-	۱۹/۸۵		۳۵/۸۷		کارایی جدایش روی

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه تربیت مدرس و از پرسنل کارخانه فرآوری معدنی منصور آباد به جهت فراهم‌آوری امکان انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۶- مراجع

۱- کلینی، سید محمد جواد؛ بهروزی، کورش، ستون پر عیارسازی مواد معدنی؛ گزارش علمی طرح شرکت کانی فراوران تهران، ۱۳۸۳

2- P.K. Sen, S.J. Chopra, A.A. Jaipuri, R.K. Gaur and M.R. Jakhu, "Technical note indias first column flotation installation in the zinc cleaning circuit at rajpura dariba mine", India; N.K. Mittal, Engineers India Limited, R&D Complex, Sector-16, Gurgaon- 122 001, Haryana. India.

3-Egan,J.R., fairweather, M.j, W.A.(1988); *Application of flotation to lead and Zinc beneficiation at cominco, in column flotation* 88 (K.V.S sastry, ed.), Littleton, Colorado, ,P.19-26

4- Jason Pyecha a, Brigitte Lacouture a, Scott Sims a, George Hope b, Andrew Stradling c
"Evaluation of a MicrocelTM sparger in the Red Dog column flotation cells"

Teck Cominco Alaska Incorporated,

5- Webber,C.B., Bharadwaj, B.P.:*Zinc cleaning using column Flotation at Ruttan operation, Hudson BAY Mining and smelting*, CANMET, Ottawa, Ontario.

6- Taguchi G. (1987), "System of experimental design", Vol. 1, KRAVS International publication.

7- Taguchi G. (1987); "System of experimental design", Vol 2, KRAVA International publication.