دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی معدن

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی معدن - فرآوری مواد معدنی

عنوان:

بررسی امکان جایگزینی سلول مکانیکی با سلول ستونی در مرحله کلینر فلوتاسیون روی سولفیدی کارخانه باما

استاد راهنما:

دکتر علی اکبر عبدالله زاده

به‌وسیله:

حسنا دارابی

آبان ۱۳۹۱

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:
پیوست:

دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجو: حسنا دارابی شماره دانشجویی: ۸۹۱۳۵۶۰۰۰۲

رشته : مهندسی معدن دانشکده : مهندسی

عنوان پایان نامه : بررسی امکان جایگزینی سلول مکانیکی با سلول ستونی در مرحله کلینر فلوتاسیون روی سولفیدی کارخانه باما

تعداد واحد پایان نامه : ۶ واحد تاریخ دفاع : ۹۱/۸/۲۱

این پایان‌نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارایه می‌گردد. دفاع از پایان نامه در تاریخ ۹۱/۸/۲۱ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و با نمره بیست و عالی و درجه عالی به تصویب رسید.

اعضاء هیات داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱. استاد راهنما	دکتر علی اکبر عبدلـزاده	استادیار	
۲.متخصص وصاحب نظر از داخل دانشگاه	دکتر سعید سلطانی محمدی	استادیار	
۳. متخصص وصاحب نظراز خارج دانشگاه	دکتر اکبر فرزانگان	دانشیار	
٤. نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر احمدرضا رحمتی	استادیار	

آدرس: کاشان- بلوار قطب راوندی
کدپستی ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷
تلفن ۵۵۵۹۹۳۰-دورنگار ۵۵۵۹۹۳۰
http: www.kashanu.ac.ir

تقدیم به :

همت والای پدرم

قلب پر از مهر مادرم

و

مهربانی های همسرم

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود.

بدینوسیله بر خود لازم می دانم از زحمات

استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر علی اکبر عبدالله زاده که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان‌نامه تقبل نموده‌اند و در مدت شاگردیشان علاوه بر دروس دانشگاهی، از ایشان درس اخلاق آموختم،

اساتید بزرگوارم در گروه مهندسی معدن دانشگاه کاشان که در طول دو سال گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده‌اند،

جناب آقای دکتر سعید سلطانی محمدی به عنوان استاد داور داخل دانشگاه و آقای دکتر اکبر فرزانگان به عنوان استاد داور مدعو خارج از دانشگاه که وقت ارزشمند خود را صرف مطالعه این پایان‌نامه و شرکت در جلسه دفاعیه نموده‌اند،

جناب آقای احمد رضا رحمتی که به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده‌اند،

مدیریت محترم مجتمع صنعتی ایرانکوه و بویژه جناب آقای مهندس امیری و مهندس نیاوند که جهت تهیه ی نمونه و انجام این تحقیق زحمات فراوانی را متحمل شدند،

جناب آقای مهندس فرجی متصدی آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشگاه کاشان که در انجام این تحقیق مرا یاری نموده‌اند،

همسر عزیزم آقای مهندس سلطانی که همواره همراه و همفکرم بوده‌اند و بی‌شک انجام این تحقیق بدون حمایت‌های ایشان ممکن نبود،

تشکر و قدردانی نموده و موفقیت روز افزونشان را از خداوند منان مسئلت دارم.

چکیده

در واحد فلوتاسیون سولفوره مجتمع سرب و روی ایرانکوه دو خط برای پرعیارسازی جداگانه سرب و روی پیش‌بینی شده است. باطله خط سرب پس از آماده‌سازی وارد خط روی می‌شود. مدار فلوتاسیون خط روی شامل مراحل رافر، کلینر و اسکاونجر است. در این مدار کنسانتره رافر روی وارد چهار مرحله کلینر می‌شود. تعداد سلولهای هر یک از بانکهای کلینر روی ۴ عدد است. در تمامی مراحل فلوتاسیون از سلولهای مکانیکی شرکت سالا استفاده شده است. با توجه به مزایای سلولهای فلوتاسیون ستونی نسبت به سلولهای مکانیکی و رویکرد جهانی صنایع فرآوری موادمعدنی در جهت جایگزین‌کردن سیستم فلوتاسیون ستونی به جای سلولهای مکانیکی، در این تحقیق امکان جایگزینی سلولهای مکانیکی مرحله کلینر روی کارخانه باما با سلول‌ستونی با استفاده از ستون آزمایشگاهی به قطر ۱۰ و ارتفاع ۴۰۰ سانتیمتر بررسی شده‌است. به همین منظور ۲۱ آزمایش امکان‌سنجی با استفاده از روش طراحی آزمایش سطح پاسخ (روش CCD) با در نظرگرفتن چهار عامل ارتفاع کف، دبی خوراک، دبی آب شستشو و دبی هوادهی به عنوان پارامترهای ورودی فرآیند و پارامترهای متالورژیکی (عیار، بازیابی و کارایی جدایش روی) و پارامترهای تحت کنترل (ماندگی گاز، نرخ بایاس، زمان ماند پالپ، دانسیته ناحیه جمع‌آوری و کف) به عنوان پاسخ، طراحی شد. در تمام آزمایش‌ها، کنسانتره رافر روی (خوراک ورودی به سلولهای مکانیکی کلینر روی) کارخانه ایرانکوه با ۱۱درصد وزنی جامد پس از تنظیم pH (در حدود ۸/۵) وارد ستون فلوتاسیون شد. پس از بررسی اثر متغیرهای فرآیند بر پاسخ‌های به‌دست آمده، بهینه‌سازی پارامترهای عملیاتی با هدف بیشینه نمودن کارایی جدایش روی انجام شد. در شرایط بهینه ارتفاع کف، دبی خوراک، دبی آب شستشو و دبی هوادهی به ترتیب برابر با ۶۵ سانتیمتر، ۳/۴۵، ۰/۶۵ و ۳ L/min و کارایی جدایش برابر با ۴۳/۹۵٪ به دست آمد. نتایج آزمایش در شرایط بهینه نشان داد که عملکرد سلول ستونی در مقایسه با سلولهای مکانیکی کارخانه سبب ۳/۶۲٪ افزایش در عیار و ۲/۲۲٪ افزایش در بازیابی روی شده و کارایی جدایش نیز به مقدار ۴/۷۵٪ افزایش یافته‌است. همچنین با استفاده از داده‌های حاصل، یک سلول ستونی به قطر ۲ متر و ارتفاع ۱۲ متر که توسط تیغه‌گذاری به چهار قسمت تقسیم شده برای مرحله کلینر روی کارخانه باما طراحی شد که می‌تواند جایگزین چهار مرحله سلول‌های مکانیکی کلینر و ریکلینر موجود شود.

کلمات کلیدی: فلوتاسیون ستونی، کارخانه ایرانکوه، بزرگ نمایی، کلینر روی، روش CCD

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

فصل اول : کلیات **۳**

۱-۱ مقدمه ۴

۱-۲ تاریخچه ستون فلوتاسیون ۴

۱-۳ طرح کلی و نحوه کار ستون فلوتاسیون ۹

۱-۴ پارامترهای مؤثر در عملکرد ستون ۹

۱-۴-۱ پارامترهای عملیاتی ۹

۱-۴-۱-۱ نرخ گازدهی (J_g) ۱۰

۱-۴-۱-۲ نرخ خوراک (J_F) ۱۰

۱-۴-۱-۳ نرخ آب شستشو (J_W) ۱۱

۱-۴-۱-۴ عمق کف (H_f) ۱۱

۱-۴-۲ پارامترهای تحت کنترل ۱۴

۱-۴-۲-۱ نرخ آب بایاس (J_B) ۱۴

۱-۴-۲-۲ ماندگی گاز ۱۵

- عوامل مؤثر بر ماندگی‌گاز: ۱۷

- نرخ گازدهی ۱۷

- میزان کف‌ساز ۲۰

- دانسیته پالپ ۲۰

- نرخ آب بایاس ۲۱

۱-۴-۲-۳ دانسیته ناحیه جمع‌آوری و ناحیه کف ۲۲
۱-۴-۲-۴ متوسط زمان ماند پالپ ۲۲
۱-۵ مزایای سلول ستونی نسبت به سلول فلوتاسیون مکانیکی ۲۲
۱-۵-۱ عیار بالای کنسانتره ۲۲
۱-۵-۲ بازیابی ۲۳
۱-۵-۳ تأثیر تفاوت دانسیته ویژه کانیها ۲۳
۱-۵-۴ عدم محدودیت در بزرگ مقیاس کردن ۲۳
۱-۵-۵ هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی کمتر ۲۴
۱-۵-۶ اشغال فضای افقی کم ۲۴
۱-۵-۷ امکان کنترل اتوماتیک و بهینه سازی فرآیند ۲۴
۱-۶ مدلهای ریاضی فرآیند فلوتاسیون ستونی ۲۵
۱-۶-۱ مدلهای سینتیکی ۲۵
۱-۶-۲ مدلهای غیرسینتیکی ۲۸
۱-۷ بزرگ مقیاس کردن ستون ۲۹
۱-۸ مثال‌هایی از کاربرد صنعتی سلول ستونی در فلوتاسیون روی ۳۱
فصل دوم : معادن و کارخانه سرب و روی ایرانکوه ۳۶
۲-۱ مقدمه ۳۷
۲-۲ موقعیت جغرافیایی ۳۷
۲-۳ معادن ایرانکوه ۳۸
۲-۳-۱ معدن گوشفیل ۳۸
۲-۳-۲ معدن کلاهدروازه ۳۹
۲-۳-۳ معدن تپه سرخ ۳۹
۲-۴ واحدهای فرآوری کارخانه سرب و روی ایرانکوه ۴۰

۲-۴-۱ خردایش ۴۰
۲-۴-۱-۱ سنگ شکنی ۴۰
۲-۴-۱-۲ آسیا ۴۱
۲-۴-۲ فلوتاسیون ۴۲
۲-۴-۲-۱ مسیر فلوتاسیون سرب ۴۳
۲-۴-۲-۲ مسیر فلوتاسیون روی ۴۴
فصل سوم : مواد و آزمایش‌ها **۴۷**
۳-۱ مقدمه ۴۸
۳-۲ شناسایی نمونه ۴۸
۳-۲-۱ نتایج آنالیزهای XRD و XRF ۴۹
۳-۲-۲ آنالیز سرندی نمونه ۵۰
۳-۳ عمکرد سلولهای مکانیکی کلینر روی کارخانه ۵۲
۳-۴ مشخصات ستون فلوتاسیون آزمایشگاهی مورد استفاده ۵۲
۳-۴-۱ ابعاد ستون ۵۲
۳-۴-۲ جنس ستون ۵۳
۳-۴-۳ مخزن‌های خوراک، باطله و کنسانتره ۵۳
۳-۴-۴ ورودی خوراک ۵۴
۳-۴-۵ خروجی باطله و سرریز ستون ۵۴
۳-۴-۶ سیستم آب شستشو و حباب‌سازها ۵۴
۳-۴-۷ سیستم کنترل اتوماتیک ۵۶
۳-۵ طراحی آزمایش‌ها ۵۷
۳-۴ روش انجام آزمایش‌ها ۵۹
فصل چهارم: نتایج و بحث **۶۰**

۴-۱ مقدمه ۶۱
۴-۲ آزمایش‌های مقدماتی ۶۱
۴-۳ آزمایش‌های امکان‌سنجی ۶۲
۴-۳-۱ مدل‌ها و آنالیز واریانس ۶۳
۴-۳-۲ بررسی اثر پارامترهای عملیاتی ۶۹
۴-۳-۲-۱ بررسی اثر پارامترهای عملیاتی بر نرخ بایاس ۶۹
۴-۳-۲-۲ بررسی اثر پارامترهای عملیاتی بر ماندگی گاز ۷۲
۴-۳-۲-۳ بررسی اثر پارامترهای عملیاتی بر متوسط زمان ماند پالپ ۷۲
۴-۳-۲-۴ بررسی اثر پارامترهای عملیاتی بر دانسیته ناحیه جمع‌آوری ۷۵
۴-۳-۲-۵ بررسی اثر پارامترهای عملیاتی بر دانسیته ناحیه کف ۷۵
۴-۳-۲-۶ بررسی اثر پارامترهای عملیاتی بر عیار روی ۷۸
۴-۳-۲-۷ بررسی اثر پارامترهای عملیاتی بر بازیابی روی ۸۰
۴-۳-۲-۸ بررسی اثر پارامترهای عملیاتی بر کارایی جدایش روی ۸۳
۴-۳-۳ بهینه سازی ۸۶
فصل پنجم: بزرگ مقیاس کردن ستون ۸۸
۵-۱ مقدمه ۸۹
۵-۲ محاسبه ثابت سینتیک ۸۹
۵-۳ بزرگ مقیاس کردن ستون ۹۲
فصل ششم: خلاصه نتایج و پیشنهادها ۹۵
۶-۱ مقدمه ۹۶
۶-۲ نتایج ۹۶
۶-۳ پیشنهادها ۹۸
منابع ۱۰۰

پیوست‌ها ۱۰۶
پیوست الف - تعریف برخی از اصطلاحات در طراحی آزمایش ۱۰۷
پیوست ب - آنالیز واریانس (ANOVA) ۱۰۹
پیوست ج- مشخصات چند مورد از ستون‌های صنعتی داخلی. ۱۱۳
پیوست د- واژه نامه ۱۱۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول۱-۱ شرایط عملیاتی متداول در عملیاتهای صنعتی و نیمه‌صنعتی فلوتاسیون ستونی . ۱۳

جدول ۱-۲ تأثیر بار حباب‌ها بر ماندگی گاز ۲۱

جدول ۱-۳ شرایط عملیاتی ستون‌های نصب شده برای شستشوی Pb/Zn در معدن Mt.Isa ۳۳

جدول ۱-۴ شرایط عملیاتی ستون نصب شده برای پرعیارکنی نهایی روی در Sullivan Cominco واقع در کانادا ۳۳

جدول ۲-۱ نوع و میزان داروهای مصرفی در فلوتاسیون سرب ۴۳

جدول ۲-۲ نوع و میزان داروهای مصرفی در فلوتاسیون روی ۴۴

جدول ۳-۱ نتایج آنالیز XRF کنسانتره رافر روی ۴۹

جدول ۳-۲ نتایج آنالیز جذب اتمی و شیمی تر ۵۰

جدول ۳-۳ نتایج تجزیه سرندی تر نمونه کنسانتره رافر روی..... ۵۱

جدول ۳-۴ عملکرد سلول‌های مکانیکی کلینر روی کارخانه باما..... ۵۲

جدول ۳-۵ پارامترهای عملیاتی و سطوح آنها. ۵۸

جدول ۳-۶ آزمایش‌های طراحی شده با استفاده از روش CCD..... ۵۸

جدول ۳-۷ شرایط ثابت اعمال شده در انجام آزمایش های فلوتاسیون ۵۹

جدول ۴- ۱ نتایج حاصل از آزمایش‌های طراحی شده ۶۳

جدول ۴-۲ نتایج آنالیز واریانس مربوط به مدل‌های ارائه شده برای پارامترهای پاسخ. ۶۵

جدول ۴-۳ مقادیر F و P برای پارامترهای عملیاتی و بر هم کنش آنها در تعیین پارامترهای پاسخ ۶۸

جدول۴-۴شرایط بهینه پیشنهادی توسط نرم‌افزار DX7 برای انجام آزمایش‌ها ۸۶

جدول ۴-۵ مقایسه نتایج آزمایش تأیید و عملکرد سلولهای مکانیکی کلینر روی کارخانه.... ۸۷

جدول ۵-۱ نتایج نمونه‌برداری از سرریز و ته‌ریز در زمان‌های مختلف..... ۹۰

جدول ۵-۲ داده‌های لازم برای بزرگ مقیاس کردن ستون. ۹۲

جدول ب-۱ ماتریس داده ها (در این ماتریس ستون‌ها فاکتورهای مورد آزمایش و سطرها اجراها هستند) ۱۰۹
جدول ج-۱ مشخصات فنی و عملیاتی سلول‌های کلینر اولیه مجتمع مس سونگون ۱۱۴
جدول ج-۲ مشخصات فنی و عملیاتی سلول‌های کلینر ثانویه مجتمع مس سونگون ۱۱۵
جدول ج-۳ مشخصات فنی و عملیاتی سلول‌های رافر مجتمع مس میدوک ۱۱۶
جدول ج- ۴ مشخصات فنی و عملیاتی سلول‌های کلینر مجتمع مس میدوک ۱۱۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ نمای کلی یک ستون فلوتاسیون ۷

شکل ۱-۲ تصویر شماتیک ساختمان کف در ستون فلوتاسیون ۹

شکل ۱-۳ آرایش سه حسگر فشار برای اندازه‌گیری سطح مشترک ۱۳

شکل ۱-۴ روش‌های اندازه‌گیری ماندگی گاز ۱۷

شکل ۱-۵ ماندگی گاز به صورت تابعی از نرخ گازدهی ۱۸

شکل ۱-۶ تصویر شماتیک تأثیر نرخ گازدهی بر برش عمودی ماندگی گاز (بدون آب شستشو) ۱۹

شکل ۱-۷ تصویر شماتیکی از تأثیر نر خ گازدهی بر غلظت آب خوراک موجود در کف (شامل کف بالای ورودی آب شستشو نمی‌شود) ۲۰

شکل ۱-۸ تصویر شماتیکی از تأثیر افزایش آب شستشو بر برش عمودی ماندگی گاز ۲۱

شکل ۱-۹ نتایج آزمایش‌های امکان سنجی (عیار روی بر حسب بازیابی آن) برای شستشوی سرب - روی در معدن Mt.Isa در استرالیا. متالورژی سرب در ستون همانند کارخانه بود و در بازیابی‌هایی تا بیش از ۹۰٪ عیار به طور ثابت ۱۰٪- ۱۳٪ بود ۳۱

شکل ۱-۱۰ الف)مدار اولیه فلوتاسیون میانی Pb/Zn در پرعیارکننده معدن Mt.Isa، ب) مدار جدید ۳۲

شکل ۱-۱۱ مدار خط روی معدن Raj pura dariba در هند ۳۴

شکل ۱-۱۲ مدار فلوتاسیون معدن Red Dog ۳۵

شکل ۲-۱ موقعیت جغرافیایی معادن ایران‌کوه ۳۸

شکل ۲-۲ مدار سنگ شکنی کانسنگ سولفوره واحد فرآوری ایران‌کوه ۴۲

شکل ۲-۳ مدار آسیا و فلوشیت خط فلوتاسیون کانسنگ سولفوره واحد فرآوری ایران‌کوه .. ۴۶

شکل ۳-۱ نتایج آنالیز XRD کنسانتره رافر روی ۴۹

شکل ۳-۲ نمودار دانه‌بندی کنسانتره رافر روی ۵۱

شکل ۳-۳ نمای ستون فلوتاسیون آزمایشگاهی ۵۳

شکل ۳-۴ نمایی از سیستم آب شستشو و محفظه سرریز ستون فلوتاسیون آزمایشگاه کانه‌آرایی ۵۴
شکل ۳-۵ نمایی از جریان‌سنج‌های آب شستشو و هوا ۵۵
شکل ۳-۶ نمای اسپارجرهای سلول فلوتاسیون ستونی آزمایشگاه کانه‌آرایی ۵۵
شکل ۳-۷ نمایی از سیستم مانیتورینگ سلول فلوتاسیون ستونی ۵۶
شکل ۴-۱ ماندگی گاز به صورت تابعی از نرخ گازدهی ۶۲
شکل ۴-۲ نمودار مقادیر حقیقی در مقابل مقادیر پیش بینی‌شده‌ی مدل برای پاسخ‌ها ۶۶
شکل ۴-۳ اثر پارامترهای عملیاتی بر نرخ بایاس ۶۹
شکل ۴-۴ نمودار کنتوری اثر متقابل ارتفاع کف و دبی خوراک بر J_B (Q_g=4 L/min، Q_w=0.6 L/min) ۷۰
شکل ۴-۵ نمودار کنتوری اثر متقابل دبی آب شستشو و دبی هوادهی بر J_B (H_F=55 cm، Q_F=2.5 L/min) ۷۱
شکل ۴-۶ اثر متقابل دبی خوراک و دبی آب شستشو بر J_B (H_F=55 cm، Q_g=4 L/min) ... ۷۱
شکل ۴-۷ اثر پارامترهای عملیاتی بر ماندگی گاز ۷۲
شکل ۴-۸ اثر پارامترهای عملیاتی بر متوسط زمان ماند پالپ در ناحیه جمع‌آوری..... ۷۳
شکل ۴-۹ نمودار کنتوری اثر متقابل ارتفاع کف و دبی خوراک بر متوسط زمان ماند پالپ در ناحیه جمع‌آوری(Q_W=0.6L/min، Q_g=4 L/min) ۷۴
شکل ۴-۱۰ نمودار کنتوری اثر متقابل دبی خوراک و دبی آب شستشو بر متوسط زمان ماند در ناحیه جمع‌آوری (H_f=55cm, Q_g=4L/min) ۷۴
شکل ۴-۱۱ اثر پارامترهای عملیاتی بر دانسیته ناحیه جمع‌آوری ۷۵
شکل ۴-۱۲ اثر پارامترهای عملیاتی بر دانسیته ناحیه کف..... ۷۶
شکل ۴-۱۳ نمودار کنتوری اثر متقابل دبی گازدهی و ارتفاع کف بر دانسیته ناحیه کف (Q_W=0.6 L/min، Q_F=2.5 L/min) ۷۷
شکل ۴-۱۴ نمودار کنتوری اثر متقابل دبی جریان خوراک و دبی آب شستشو بر دانسیته کف (H_f=55cm, Q_g=4L/min) ۷۷
شکل ۴-۱۵ اثر پارامترهای عملیاتی بر عیار روی ۷۸
شکل ۴-۱۶ اثر متقابل ارتفاع کف و دبی آب شستشو بر عیار روی..... ۷۹

شکل ۴-۱۷ اثر متقابل دبی جریان خوراک و دبی آب شستشو بر عیار روی ۷۹
شکل ۴-۱۸ نمودار کنتوری اثر متقابل دبی آب شستشو و دبی هوادهی بر عیار روی ۸۰
شکل ۴-۱۹ اثر پارامترهای عملیاتی بر بازیابی روی ۸۱
شکل ۴-۲۰ اثر متقابل دبی خوراک و دبی آب شستشو بر بازیابی روی ۸۲
شکل ۴-۲۱ اثر متقابل ارتفاع کف و دبی خوراک بر بازیابی روی ۸۲
شکل ۴-۲۲ نمودار کنتوری اثر متقابل دبی آب شستشو و دبی هوادهی بر بازیابی روی ۸۳
شکل ۴-۲۳ اثر پارامترهای عملیاتی بر کارایی جدایش روی ۸۴
شکل ۴-۲۴ اثر متقابل ارتفاع کف و دبی آب شستشو بر کارایی جدایش روی ۸۵
شکل ۴-۲۵ اثر متقابل ارتفاع کف و دبی خوراک بر کارایی جدایش ۸۵
شکل ۵-۱ نمودار بازیابی تجمعی روی بر حسب زمان ۹۰
شکل ۵-۲ محاسبه ثابت سینتیک سولفید روی با استفاده از سلول ستونی ۹۱
شکل ۵-۳ محاسبه ثابت سینتیک کانی B با استفاده از سلول ستونی ۹۱
شکل ج-۱ نمای شماتیک مدار فلوتاسیون مجتمع مس سونگون ۱۱۳
شکل ج-۲ نمای شماتیک مدار فلوتاسیون مجتمع میدوک ۱۱۶

مقدمه

صنعت فرآوری موادمعدنی در سی سال گذشته شاهد پیشرفت‌های چشمگیری بوده است که بدون تردید سلول فلوتاسیون ستونی یکی از بارزترین آنها است. ستون‌ها یک راه‌حل یا حداقل یک پیشرفت برای رویارویی با مشکلات سلول‌های فلوتاسیون معمولی بوده‌اند. این ماشین‌ها برای هم‌زدن پالپ و متفرق کردن ذرات و حباب‌های هوا به وسیله مکانیکی نیاز ندارند و از نظر نحوه توزیع هوا، خوراک‌دهی و آب شستشو، نسبت به سلول‌های مکانیکی برتری هایی دارند که باعث عملکرد متالوژیکی بهتر آنها بخصوص در مرحله کلینر شده و از میزان هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی تا حد زیادی می‌کاهد.

بعد از اختراع سلول‌های فلوتاسیون‌ستونی و عملکرد موفق آنها در کارخانه‌های فرآوری موادمعدنی، بسیاری از محققین به بررسی پارامترها و مکانیزم‌های مختلف در جریان عملیات این سلولها علاقمند شدند. همچنین تحقیقات بسیاری به منظور ارائه مدل‌های ریاضی برای فرآیند فلوتاسیون ستونی با هدف شبیه‌سازی رفتار دینامیکی و عملکرد متالورژیکی آن با کاربرد در طراحی، کنترل، بهینه‌سازی و بزرگ مقیاس نمودن صنعتی انجام شده است. براساس مطالعات انجام شده توسط محققین مختلف، عملکرد بهتر فلوتاسیون ستونی نسبت به سلولهای معمولی ناشی از شرایط مکانیزم‌های جریان غالب در ستون، شستشوی مواد آبدوست توسط جریان مخالف مایع، درجه پایداری کف و ابعاد نسبی ستون است و نرخ هوادهی، نرخ خوراک ورودی، نرخ آب شستشو، ضخامت کف و مقدار مصرفی واکنشگرها مهمترین پارامترهایی هستند که عملکرد متالورژیکی و هیدرودینامیکی ستون را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

استفاده از روش‌های طراحی آزمایش امکان بهینه‌سازی تعداد آزمایش‌های مورد نیاز را فراهم می‌سازد و سبب کاهش زمان و هزینه‌های انجام آزمایش می‌شوند. یکی از روشهای پرکاربرد جهت طراحی آزمایش‌ها و ارائه مدل تجربی برای فلوتاسیون ستونی روش سطح-پاسخ (RSM) است. این روش مجموعه‌ای از تکنیک‌های ریاضی و آماری برای مدلسازی و آنالیز مسائلی که در آن متغیر پاسخ متأثر از چندین متغیر ورودی است و با هدف بهینه‌سازی پاسخ یا پاسخ‌های مورد نظر، استفاده می‌شود.

معادن و کارخانه سرب و روی ایران‌کوه، سومین معدن و کارخانه بزرگ سرب و روی ایران هستند. در حال حاضر عملیات تغلیظ در واحد فرآوری ایران‌کوه شامل دو مرحله خردایش کانسنگ و فلوتاسیون آن است. خط فلوتاسیون سولفوره به منظور تولید کنسانتره سولفید سرب و سولفید روی از روش فلوتاسیون تفریقی استفاده شده است. از اینرو باطله نهایی مدار فلوتاسیون سرب وارد دو مخزن آماده‌ساز رافر فلوتاسیون روی می‌شود. کنسانتره رافر روی وارد چهار مرحله کلینر روی می‌شود که تعداد هر یک از سلولهای بانکهای کلینر روی

۴ عدد است. در تمامی مراحل فلوتاسیون (رافر، کلینر و اسکاونجر) این کارخانه از سلولهای مکانیکی شرکت سالا استفاده شده است. با توجه به مزایای سلولهای فلوتاسیون ستونی نسبت به سلولهای مکانیکی، در این تحقیق امکان جایگزینی سلولهای مکانیکی مرحله کلینر روی کارخانه باما با سلول فلوتاسیون ستونی بررسی شده است. به همین منظور، چهار پارامتر نرخ جریان خوراک، نرخ آب شستشو، نرخ هوادهی و ارتفاع کف به عنوان پارامترهای عملیاتی فرآیند در نظر گرفته شد. پس از انجام آزمایش‌های امکان‌سنجی با استفاده از ستون فلوتاسیون آزمایشگاهی، مدلسازی و بهینه‌سازی فلوتاسیون ستونی کنسانتره روی با استفاده از روش سطح -پاسخ (روش CCD) انجام شد. سپس با استفاده از داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های انجام شده در شرایط بهینه، طراحی سلول ستونی برای مرحله کلینر روی باما انجام شده است.

این گزارش در شش فصل و یک پیوست ارائه شده است. در فصل اول کلیاتی در مورد تاریخچه، نحوه‌ی کار، مزایا، مدلهای ریاضی و پارامترهای مؤثر بر عملکرد ستونهای فلوتاسیون ارائه شده است. فصل دوم شامل توصیف مختصر کانسار و کارخانه ایرانکوه است. در فصل سوم به شناسایی نمونه و مشخصات ستون پرداخته شده و شرایط انجام آزمایش‌ها بیان شده است. در فصل چهارم پس از بیان نتایج آزمایش‌ها، تأثیر پارامترهای عملیاتی بر عملکرد متالورژیکی و پارامترهای تحت کنترل ستون بررسی شده است. در ادامه اثر این پارامترها از طریق آنالیز واریانس مورد بررسی قرار گرفته و شرایط بهینه برای فلوتاسیون ستونی کلینر روی پیشنهاد شده است. فصل پنجم شامل مراحل بزرگ مقیاس کردن ستون است و مشخصات ستون پیشنهاد شده برای مرحله کلینر روی کارخانه باما بیان شده است. در فصل ششم خلاصه نتایج به دست آمده از انجام این تحقیق ارائه شده و پیشنهادهایی به منظور انجام تحقیقات آینده در رابطه با این تحقیق و تحقیقات مشابه بیان شده است.

فصل اول

کلیات

کلیات

۱–۱ مقدمه

سلولهای ستونی یکی از جدیدترین و موفق‌ترین انواع ماشین‌های فلوتاسیون در چند دهه اخیر هستند. با اینکه سلولهای فلوتاسیون ستونی در اوایل دهه پنجاه میلادی برای اولین بار مطرح شدند، ولی به دلیل مشکلات فنی و عملیات خاص تا اواخر دهه هشتاد در صنایع معدنی جایگاه شایسته‌ای پیدا نکردند [۱]. دهه نود میلادی دوران شکوفایی سلول ستونی بود تا جایی که از آن برای فرآوری اکثر موادمعدنی از جمله زغال سنگ، مس، سرب، مولیبدن، روی و حتی مرکب زدائی از کاغذهای باطله به طور وسیع استفاده می‌شود. امروزه بندرت می‌توان کارخانه جدید فرآوری مواد معدنی پیدا کرد که در مدار فلوتاسیون خود از سلول ستونی استفاده نکرده باشد. همچنین انواع مختلف سلول ستونی در بازار عرضه شده است که هرکدام از آنها می‌تواند جایگزین سلول مکانیکی معمولی شود که علاوه بر اینکه کارآیی کارخانه فلوتاسیون را بالا می‌برد، از میزان سرمایه‌گذاری (که برای سلول مکانیکی لازم است) تا حد زیادی می‌کاهد. در ضمن قابلیت کنترل و اتوماسیون بهتری را ایجاد می کند [۲].

دراین فصل پس از بیان تاریخچه و نحوه‌ی کار ستونهای فلوتاسیون، پارامترهای مؤثر بر عملکرد فلوتاسیون ستونی، مدلهای ریاضی و مزایای آن نسبت به سلولهای فلوتاسیون مکانیکی بیان شده و در پایان مثالهایی از کاربرد صنعتی ستون در فلوتاسیون روی ارائه شده است.

۱–۲ تاریخچه ستون فلوتاسیون

ستون‌های فلوتاسیون در اوایل سال ۱۹۶۰ توسط بوتین[1] و ترمبلی[2] به عنوان یک حرکت نو در زمینه فلوتاسیون به ثبت رسیدند [۴،۳]. توصیف اولیه ستون و آزمایش‌های مربوط به آن

[1] Boutine
[2] Trembly