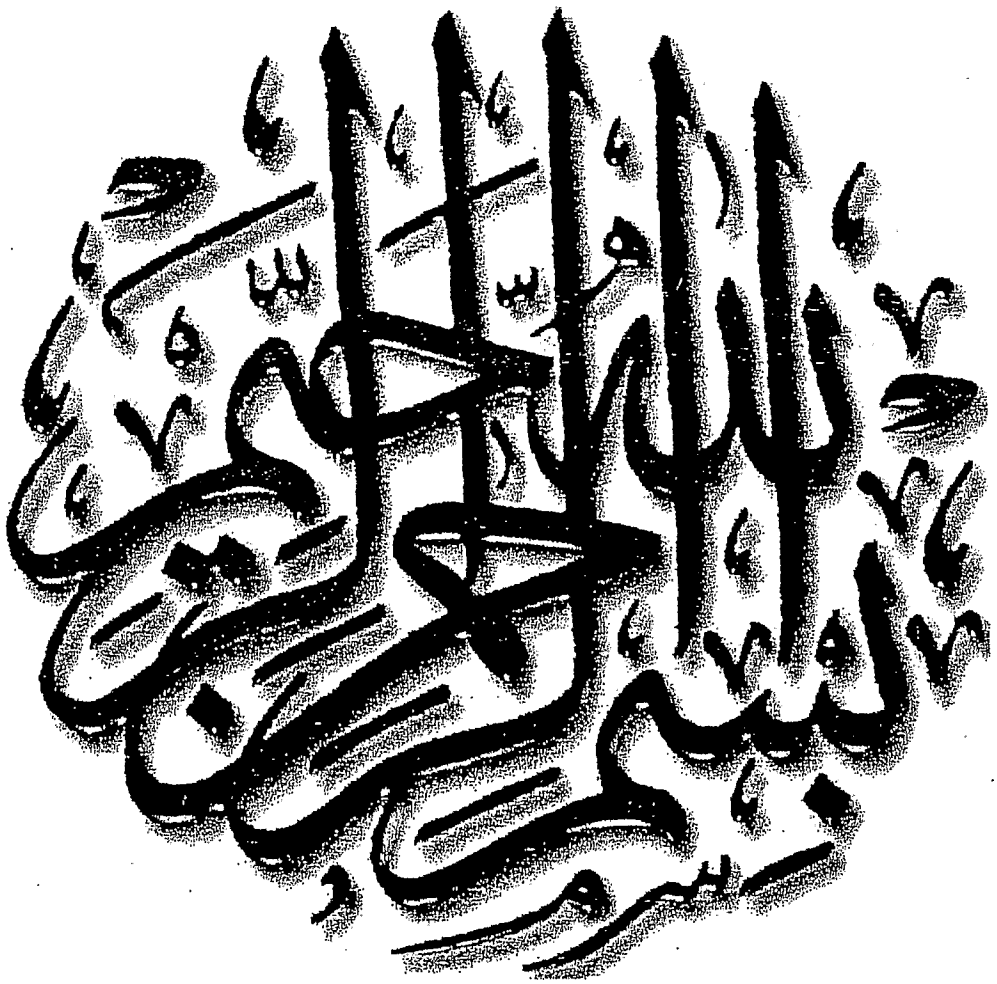

١١٠٨٩٠

۸۷/۱/۱۰ ۸۱۱۴
۸۸ ـ ۱۲۳

دانشگاه سیستان و بلوچستان
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه دکتری در رشته مهندسی شیمی

عنوان:

تعیین مدل سینتیکی فروشوئی زیستی مس موجود در غبار الکتروفیلترهای کارخانه ذوب مجتمع مس سرچشمه

اساتید راهنما:
دکتر حسین آتشی
دکتر مرتضی زیودار

اساتید مشاور:
دکتر منوچهر وثوقی
دکتر محمدحسن فضائلی‌پور

مشاور صنعتی:
مهندس سیدعلی سیدباقری

تحقیق و نگارش:
فرشته بختیاری

۱۳۸۸ /۱/ ۱۵

(این پایان نامه از حمایت مالی شرکت ملی صنایع مس ایران بهره مند شده است)

تیر ماه ۸۷

۱۱۰۸۹۰

خدمات آموزشی تکمیلی
دانشگاه سیستان و بلوچستان

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان **تعیین مدل سینتیکی فروشویی زیستی غبار الکتروفیلترهای کارخانه ذوب مجتمع مس سرچشمه** قسمتی از برنامه آموزشی دوره دکتری **مهندسی شیمی** توسط دانشجو **فرشته بختیاری** تحت راهنمایی اساتید پایان نامه **آقای دکتر حسین آتشی و آقای دکتر مرتضی زیودار** تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

(نام و امضاء دانشجو)

	نام و نام خانوادگی	امضاء	تاریخ
استاد راهنما:	دکتر حسین آتشی		
استاد راهنما:	دکتر مرتضی زیودار		
استاد مشاور:	دکتر منوچهر وثوقی		
استاد مشاور:	دکتر محمدحسن فضائلی‌پور		
داور خارجی۱:	دکتر سیدعباس شجاع الساداتی		
داور خارجی۲:	دکتر بابک بنکدارپور		
داور داخلی۱:	دکتر محمد خرم		
داور داخلی۲:	دکتر عبدالرضا صمیمی		
نماینده تحصیلات تکمیلی:	دکتر سعید توکلی افشاری		

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب فرشته بختیاری تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

فرشته بختیاری

تقدیم به تجلیات عشق الهی

پدر عزیز

و

مادر مهربانم

و خواهر و برادران سخت کوشم

و همه انسانهایی که برای ساختن جهانی آبادتر می‌کوشند.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از اساتید محترم راهنما، جناب آقای دکتر آتشی و جناب آقای دکتر زیودار و همچنین اساتید محترم مشاور، آقایان دکتر وثوقی و دکتر فضائلی‌پور که با راهنمایی‌های ارزنده خویش اینجانب را در اجرای این پژوهش یاری نمودند، خاضعانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

این تحقیق با حمایت مالی و همکاری امور تحقیق و توسعه شرکت ملی مس ایران به اجرا درآمده است. لذا لازم می‌دانم از همکاری و پشتیبانی آن امور به ویژه جناب آقای مهندس قاسمی مدیریت محترم، جناب آقای مهندس آتش دهقان ریاست محترم تحقیقات هیدرومتالورژی و کلیه پرسنل زحمتکش صمیمانه تشکر نمایم.

از جناب آقای مهندس سیدباقری، سرپرست محترم تحقیقات بیوهیدرومتالورژی که در مدت اجرای پژوهش همواره با صبر و شکیبایی، همکاری و پشتیبانی خویش را از اینجانب دریغ نفرمودند بسیار سپاسگزارم.

در پایان از کلیه اساتید، دانشجویان و دوستان عزیزی که هر یک به گونه‌ای در انجام این تحقیق سهیم بوده‌اند صمیمانه متشکرم و توفیق همگان را از یزدان پاک خواهانم.

پیشاپیش از داوران محترم و خوانندگان گرامی که تحقیق حاضر را با دقت و توجه بسیار مطالعه نموده و با نقد سازنده خود، بنده و سایرین را در اجرای هرچه بهتر و موفق‌تر پژوهش‌های آتی راهنمایی می‌فرمایند کمال تشکر را دارم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم: کلیات	۴
۲- ۱- مقدمه‌ای بر فروشویی زیستی	۵
۲-۲- مجتمع مس سرچشمه	۸
۲-۳- اهداف انجام تحقیق	۱۱
فصل سوم: مروری بر تحقیقات گذشته	۱۲
۳-۱- مقدمه	۱۳
۳-۲- تاریخچه فناوری زیستی در صنایع معدنی	۱۴
۳-۳- کاربردهای فروشویی زیستی در صنایع	۱۶
۳-۴- کاربردهای فروشویی زیستی در صنایع معدنی و متالورژی	۱۷
۳-۴-۱- مزایای روش فروشویی زیستی	۱۸
۳-۴-۲- محدودیت‌های روش فروشویی زیستی و دلایل عدم رویکرد مناسب صنعت به آن	۲۰
۳-۴-۳- توسعه آتی روش فروشویی زیستی	۲۰
۳-۵- تحقیقات انجام شده بر روی غبار کارخانه‌های ذوب مس	۲۱
۳-۶- میکروارگانیزم‌های مورد استفاده در فروشویی زیستی	۲۶
۳-۷- عوامل مؤثر در فروشویی زیستی	۳۵
۳-۸- مکانیزم‌های اکسایش زیستی کانی‌های سولفیدی مس	۳۵
۳-۸-۱- مکانیزم‌های مستقیم و غیر مستقیم	۳۶
۳-۸-۲- مکانیزم‌های تیوسولفات و پلی سولفید	۳۸
۳-۸-۳- فروشویی زیستی کانی‌های سولفیدی مس	۴۰

عنوان	صفحه

۳-۸-۳-۱- فروشویی زیستی کالکوپیریت	۴۱
۳-۸-۳-۲- فروشویی زیستی کالکوسیت	۴۳
۳-۸-۳-۳- فروشویی زیستی کوولیت	۴۴
۳-۹- مدل‌های سینتیک پیشنهاد شده برای اکسایش زیستی کانی‌های سولفیدی	۴۵
۳-۹-۱- مدل‌های واکنش‌های مایع- جامد	۴۷
۳-۹-۱-۱- مدل هسته ترکیب نشده برای ذرات کروی شکل با ابعاد غیر قابل تغییر	۴۸
۳-۹-۱-۱-۱- مدل هسته ترکیب نشده وقتی نفوذ از میان فیلم مایع کنترل کننده است	۴۹
۳-۹-۱-۱-۲- مدل هسته ترکیب نشده وقتی نفوذ از میان لایه خاکستر کنترل کننده است	۵۰
۳-۹-۱-۱-۳- مدل هسته ترکیب نشده وقتی واکنش شیمیایی کنترل کننده است	۵۲
۳-۹-۱-۲- مدل تبدیل پیشرونده در مورد ذرات کروی کوچک شونده	۵۳
۳-۹-۱-۲-۱- مدل تبدیل پیشرونده وقتی واکنش شیمیایی کنترل کننده است	۵۴
۳-۹-۱-۲-۲- مدل تبدیل پیشرونده وقتی نفوذ از میان فیلم مایع کنترل کننده است	۵۴
۳-۱۰- روش‌های آزمایشگاهی فروشویی زیستی کانسنگ‌های سولفیدی	۵۶
۳-۱۰-۱- فروشویی تعلیقی در ظروف متحرک (Shake Flasks)	۵۷
۳-۱۰-۲- فروشویی ستونی (Column Leaching)	۵۸
۳-۱۰-۳- فروشویی در راکتورها	۵۹
۳-۱۰-۳-۱- فروشویی در راکتورهای همزن‌دار (Stirred Tank Reactors)	۶۱
۳-۱۰-۳-۲- فروشویی در راکتورهای هوا بالابر (Airlift Reactors)	۶۴
۳-۱۰-۴- طراحی و ساخت بیوراکتورها	۶۸
فصل چهارم: مواد، دستگاه‌ها و روش تحقیق	۷۰
۴-۱- مقدمه	۷۱
۴-۲- مواد و تجهیزات لازم	۷۱

عنوان | صفحه

۴-۲-۱- مواد مورد نیاز ۷۲
۴-۲-۲- تجهیزات مورد نیاز ۷۲
۴-۳- تهیه و آماده‌سازی نمونه ۷۳
۴-۴- فروشویی اسیدی غبار کوره‌های ذوب جهت حذف مس قابل انحلال در اسید ۷۳
۴-۵- تجزیه شیمیایی و کانی شناسی غبار اسیدشویی نشده و اسیدشویی شده کوره‌های ذوب ۷۴
۴-۶- تجزیه ابعادی غبار اسیدشویی نشده و اسیدشویی شده کوره‌های ذوب ۷۹
۴-۷- آزمایش بطری غلتان (Bottle Roll) ۸۱
۴-۸- آزمایش‌های فروشویی زیستی غبار ۸۴
۴-۸-۱- انتخاب و تهیه باکتری‌ها برای فروشویی زیستی غبار ۸۴
۴-۸-۲- تهیه کشت اولیه از باکتری‌ها (Preculture) ۸۵
۴-۸-۳- سازگار نمودن باکتری‌ها با غبار ۸۷
۴-۸-۴- آزمایش‌های ظروف متحرک برای فروشویی زیستی غبار ۹۰
۴-۸-۴-۱- بررسی تاثیر میزان تلقیح باکتریایی (آزمایش شماره ۱ و ۲) ۹۰
۴-۸-۴-۲- بررسی تاثیر میزان ماده جامد (آزمایش شماره ۳ و ۴ و ۵) ۹۳
۴-۸-۴-۳- بررسی تاثیر افزودن پیریت به عنوان منبع غذایی به محیط (آزمایش شماره ۶ و ۷ و ۸) ۹۳
۴-۸-۴-۴- بررسی تاثیر نوع محیط کشت باکتریایی (آزمایش شماره ۹) ۹۴
۴-۸-۴-۵- بررسی تاثیر درجه حرارت (آزمایش شماره ۱۰ و ۱۱ و ۱۲) ۹۵
۴-۹- آزمایش‌های فروشویی زیستی در سری راکتورهای مخزنی همزن‌دار و هوا بالابر نیمه پیوسته ۹۶
۴-۹-۱- طراحی و ساخت راکتورهای مخزنی همزن‌دار ۹۶
۴-۹-۱-۱- راه اندازی و عملکرد سری راکتورهای مخزنی همزن‌دار ۹۸
۴-۹- ۲- طراحی و ساخت راکتورهای هوا بالابر ۱۰۴
۴-۹-۲-۱- راه اندازی و عملکرد سری راکتورهای هوا بالابر ۱۰۶

عنوان	صفحه

فصل پنجم: نتایج و بحث ۱۱۱

۵-۱- نتایج حاصل از آزمایش‌های ظروف متحرک ۱۱۲

۵-۱-۱- نتایج حاصل از بررسی تاثیر میزان تلقیح باکتریایی ۱۱۲

۵-۱-۲- نتایج حاصل از بررسی تاثیر میزان غبار ۱۱۴

۵-۱-۳- مدل سینتیکی انحلال میکروبی غبار ۱۱۷

۵-۱-۳-۱- معادله سرعت درجه صفر ۱۱۸

۵-۱-۳-۲- مدل سینتیکی میکائیلیس- منتن ۱۱۸

۵-۱-۳-۳- مدل سینتیکی هسته ترکیب نشده ۱۲۰

۵-۱-۳-۴- مدل سینتیکی تبدیل پیشرونده ۱۲۳

۵-۱-۴- نتایج حاصل از بررسی تاثیر افزودن پیریت به عنوان منبع انرژی به محیط ۱۲۶

۵-۱-۵- نتایج حاصل از بررسی تاثیر نوع محیط کشت باکتریایی ۱۳۰

۵-۱-۶- نتایج حاصل از بررسی تاثیر درجه حرارت ۱۳۲

۵-۲- نتایج حاصل از آزمایش‌های فروشویی زیستی در سری راکتورهای مخزنی همزن‌دار نیمه پیوسته ۱۳۴

۵-۳- نتایج حاصل از آزمایش‌های فروشویی زیستی در سری راکتورهای هوا بالابر نیمه پیوسته ۱۳۸

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۴۲

۶-۱- نتیجه‌گیری ۱۴۳

۶-۲- پیشنهادها ۱۴۵

مراجع ۱۴۶

پیوست‌ها ۱۵۳

پیوست (الف): جدول‌های نتایج حاصل از آزمایش‌ها و محاسبات مربوطه ۱۵۴

پیوست (ب): روش محاسبه درصد بازیابی مس در آزمایش‌های مختلف فروشویی ۲۰۶

پیوست (ج): مقاله‌های چاپ شده در مجله‌ها و پذیرفته شده در کنفرانس‌ها ۲۰۹

فهرست جدول ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۳-۱- فهرست فرایندهای صنعتی فروشویی زیستی توده‌ای مس در نقاط مختلف دنیا ۱۹

جدول ۳-۲- مشخصات انواع باکتری‌های تیوباسیلوس مورد استفاده در صنعت استحصال فلزات ۳۱

جدول ۳-۳- عوامل مؤثر در اکسایش زیستی جهت استخراج فلزات ۳۶

جدول ۳-۴- کانی‌های مهم سولفیدی مس ۴۱

جدول ۳-۵- مثال‌هایی از واکنش‌های اکسیداسیون مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی صنعتی ۴۲

جدول ۳-۶- انحلال کانی‌های سولفیدی خالص مس در محلول اسیدی سولفات فریک ۴۳

جدول ۳-۷- مقایسه بیوراکتورهای با و بدون همزن مکانیکی ۶۵

جدول ۴-۱- تجزیه شیمیایی غبار اسیدشویی نشده کوره‌های ذوب مجتمع مس سرچشمه و مخلوط آنها ۷۵

جدول ۴-۲- تجزیه شیمیایی غبار اسیدشویی شده کوره‌های ذوب مجتمع مس سرچشمه و مخلوط آنها ۷۵

جدول ۴-۳- تجزیه کانی شناسی غبار اسیدشویی نشده کوره‌های ذوب مجتمع مس سرچشمه و مخلوط آنها ۷۶

جدول ۴-۴- تجزیه کانی شناسی غبار اسیدشویی شده کوره‌های ذوب مجتمع مس سرچشمه و مخلوط آنها ۷۷

جدول ۴-۵- تجزیه عنصری غبار اسیدشویی شده کوره‌های ریورب و کنورتر مجتمع مس سرچشمه ۷۸

جدول ۴-۶- تجزیه ابعادی غبار اسیدشویی نشده کوره ریورب ۸۰

جدول ۴-۷- شرایط عملیاتی آزمایش‌های فروشویی میکروبی غبار اسیدشویی شده در ظروف متحرک ۹۱

جدول ۴-۸- شرایط عملیاتی آزمایش‌های فروشویی میکروبی غبار به منظور بررسی اثر میزان تلقیح باکتریایی ۹۲

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۴-۹- شرایط عملیاتی آزمایش‌های فروشویی میکروبی غبار به منظور بررسی اثر میزان غبار ۹۳

جدول ۴-۱۰- شرایط عملیاتی آزمایش‌های فروشویی میکروبی غبار به منظور بررسی اثر افزودن پیریت ۹۴

جدول ۴-۱۱- ترکیب نمکی شش محیط کشت مصرفی در فرایند فروشویی زیستی ۹۵

جدول ۴-۱۲- شرایط عملیاتی آزمایش‌های فروشویی میکروبی غبار به منظور بررسی اثر محیط کشت باکتریایی ۹۵

جدول ۴-۱۳- شرایط عملیاتی آزمایش‌های فروشویی میکروبی غبار به منظور بررسی اثر درجه حرارت ۹۶

جدول ۴-۱۴- عوامل مهم طراحی بیوراکتور مخزنی همزن‌دار ۳ لیتری شیشه‌ای ۹۷

جدول ۴-۱۵- شرایط انجام آزمایش‌های فرایند فروشویی غبار در سری راکتورهای مخزنی همزن‌دار نیمه پیوسته ۱۰۱

جدول ۴-۱۶- عوامل مهم طراحی بیوراکتور هوا بالابر ۶ لیتری شیشه‌ای ۱۰۴

جدول ۴-۱۷- شرایط انجام آزمایش‌های فرایند فروشویی غبار در سری راکتورهای هوا بالابر نیمه پیوسته ۱۰۸

جدول ۵-۱- مقدار ثابت‌های مدل میکائیلیس- منتن برای مس و آهن در فروشویی زیستی غبار ۱۲۰

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱- مراحل تولید مس با استفاده از کوره‌های ذوب ریورب و کنورتر ۹

شکل ۳-۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی از سویه *اسیدی‌تیوباسیلوس فرواکسیدانس* ۳۲

شکل ۳-۲- مکانیزم‌های تیوسولفات و پلی سولفید ۴۰

شکل ۳-۳- نمایی از ارتباط پارامترهای مختلف موثر بر فروشویی زیستی ۴۵

شکل ۳-۴- نمایی از بیوراکتور مخزنی همزن‌دار ۶۱

شکل ۴-۱- تجزیه ابعادی غبار اسیدشویی نشده و اسیدشویی شده کوره‌های ذوب ۸۱

شکل ۴-۲- نمایی از بطری‌های غلتان روی دستگاه غلتک‌های دوار ۸۲

شکل ۴-۳- مصرف اسید در آزمایش بطری غلتان برای نمونه‌های غبار ۸۳

شکل ۴-۴- بازیابی مس در آزمایش بطری غلتان برای نمونه‌های غبار ۸۳

شکل ۴-۵- کشت اولیه از سویه‌های اسیدی‌تیوباسیلوس‌فرواکسیدانس و لپتوسپریلم‌فرواکسیدانس
(محلول قرمز رنگ) و اسیدی‌تیوباسیلوس‌تیواکسیدانس (محلول زرد رنگ) ۸۷

شکل ۴-۶- نقشه ساخت راکتور مخزنی همزن‌دار ۳ لیتری شیشه‌ای آزمایشگاهی ۹۹

شکل ۴-۷- راکتور مخزنی همزن‌دار ۳ لیتر شیشه‌ای همراه با لوازم جانبی ۱۰۰

شکل ۴-۸- مجموعه سامانه راکتورهای مخزنی همزن‌دار نیمه پیوسته جهت فروشویی غبار ۱۰۰

شکل ۴-۹- نقشه ساخت راکتور هوا بالابر ۶ لیتری شیشه‌ای آزمایشگاهی ۱۰۵

شکل ۴-۱۰- راکتور هوا بالابر ۶ لیتر شیشه‌ای همراه با لوازم جانبی ۱۰۶

شکل ۴-۱۱- مجموعه سامانه راکتورهای هوا بالابر نیمه پیوسته جهت فروشویی غبار ۱۰۷

شکل ۵-۱- تاثیر میزان تلقیح باکتریایی بر پتانسیل اکسیداسیون- احیا برای میزان غبار ۳ درصد
در محیط کشت 9K ۱۱۳

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۵-۲- تاثیر میزان تلقیح باکتریایی بر درصد بازیابی مس برای میزان غبار ۳ درصد در محیط کشت 9K ۱۱۳

شکل ۵-۳- تاثیر میزان تلقیح باکتریایی بر پتانسیل اکسیداسیون- احیا برای میزان ماده جامد ۴ درصد در محیط کشت 9K ۱۱۴

شکل ۵-۴- تاثیر میزان تلقیح باکتریایی بر درصد مس بازیابی شده برحسب زمان برای میزان غبار ۴ درصد در محیط کشت 9K ۱۱۴

شکل ۵-۵- تاثیر میزان غبار بر پتانسیل اکسیداسیون- احیا در محیط کشت 9K و دمای ۳۲ °C ۱۱۶

شکل ۵-۶- تاثیر دانسیته پالپ بر غلظت مس حل شده در محیط کشت 9K و دمای ۳۲ °C ۱۱۶

شکل ۵-۷- تاثیر میزان غبار بر درصد مس بازیابی شده در محیط کشت 9K و دمای ۳۲ °C ۱۱۶

شکل ۵-۸- تاثیر میزان غبار بر غلظت آهن حل شده در محیط کشت 9K و دمای ۳۲ °C ۱۱۷

شکل ۵-۹- تجزیه ابعادی غبار قبل و بعد از واکنش فروشویی زیستی ۱۱۸

شکل ۵-۱۰- نمودار معادله سرعت درجه صفر (معادله ۳-۲۲) ۱۱۹

شکل ۵-۱۱- تغییرات 1/V برحسب 1/S برای انحلال مس غبار ۱۲۰

شکل ۵-۱۲- تغییرات 1/V برحسب 1/S برای انحلال آهن غبار ۱۲۰

شکل ۵-۱۳- نمودار مدل هسته ترکیب نشده برای درصدهای مختلف جامد وقتی نفوذ از میان فیلم مایع کنترل کننده است (معادله ۳-۳۳) ۱۲۱

شکل ۵-۱۴- نمودار مدل هسته ترکیب نشده برای درصدهای مختلف جامد وقتی نفوذ از داخل لایه خاکستر کنترل کننده است (معادله ۳-۴۴) ۱۲۲

شکل ۵-۱۵- نمودار مدل هسته ترکیب نشده و تبدیل پیشرونده، برای درصدهای مختلف جامد وقتی واکنش شیمیایی کنترل کننده است (معادله ۳-۵۱) ۱۲۴

شکل ۵-۱۶- نمودار مدل تبدیل پیشرونده برای درصدهای مختلف جامد وقتی نفوذ از میان فیلم مایع کنترل کننده است (معادله ۳-۶۲) ۱۲۵

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۵-۱۷- تاثیر افزودن پیریت بر پتانسیل اکسیداسیون- احیا برای میزان غبار ۲ درصد در محیط کشت 9K ۱۲۷

شکل ۵-۱۸- تاثیر افزودن پیریت بر درصد مس بازیابی شده برای میزان غبار ۲ درصد در محیط کشت 9K ۱۲۷

شکل ۵-۱۹- تاثیر افزودن پیریت بر غلظت آهن حل شده برای میزان غبار ۲ درصد در محیط کشت 9K ۱۲۸

شکل ۵-۲۰- تاثیر افزودن پیریت بر پتانسیل اکسیداسیون- احیا برای میزان غبار ۴ درصد در محیط کشت 9K ۱۲۸

شکل ۵-۲۱- تاثیر افزودن پیریت بر درصد مس بازیابی شده برای میزان غبار ۴ درصد در محیط کشت 9K ۱۲۸

شکل ۵-۲۲- تاثیر افزودن پیریت بر غلظت آهن حل شده برای میزان غبار ۴ درصد در محیط کشت 9K ۱۲۹

شکل ۵-۲۳- تاثیر افزودن پیریت بر پتانسیل اکسیداسیون- احیا برای میزان غبار ۷ درصد در محیط کشت 9K ۱۲۹

شکل ۵-۲۴- تاثیر افزودن پیریت بر درصد مس بازیابی شده برای میزان غبار ۷ درصد در محیط کشت 9K ۱۲۹

شکل ۵-۲۵- تاثیر افزودن پیریت بر غلظت آهن حل شده برای میزان غبار ۷ درصد در محیط کشت 9K ۱۳۰

شکل ۵-۲۶- تاثیر نوع محیط کشت بر پتانسیل اکسیداسیون- احیا برای میزان غبار ۳ درصد ۱۳۰

شکل ۵-۲۷- تاثیر نوع محیط کشت بر درصد مس بازیابی شده برای میزان غبار ۳ درصد ۱۳۱

شکل ۵-۲۸- تاثیر درجه حرارت بر پتانسیل اکسیداسیون- احیا برای میزان غبار ۳ درصد ۱۳۳

شکل ۵-۲۹- تاثیر درجه حرارت بر درصد مس بازیابی شده برای میزان غبار ۳ درصد ۱۳۳

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۵-۳۰- تاثیر درجه حرارت بر غلظت آهن حل شده برای میزان غبار ۳ درصد ۱۳۳

شکل ۵-۳۱- تغییرات پتانسیل اکسیداسیون- احیا برحسب زمان در مخزن خوراک و سری راکتورهای مخزنی همزن‌دار ۱۳۵

شکل ۵-۳۲- تغییرات pH برحسب زمان در مخزن خوراک و سری راکتورهای مخزنی همزن‌دار ۱۳۵

شکل ۵-۳۳- تغییرات غلظت مس و آهن حل شده برحسب زمان در سری راکتورهای مخزنی همزن‌دار ۱۳۶

شکل ۵-۳۴- تغییرات درصد مس و آهن بازیابی شده برحسب زمان در سری راکتورهای مخزنی همزن‌دار ۱۳۷

شکل ۵-۳۵- تغییرات پتانسیل اکسیداسیون- احیا برحسب زمان در مخزن خوراک و سری راکتورهای هواباالابر ۱۳۹

شکل ۵-۳۶- تغییرات pH برحسب زمان در مخزن خوراک و سری راکتورهای هوا بالابر ۱۳۹

شکل ۵-۳۷- تغییرات غلظت مس و آهن حل شده برحسب زمان در سری راکتورهای هوا بالابر ۱۴۰

شکل ۵-۳۸- تغییرات درصد مس و آهن بازیابی شده برحسب زمان در سری راکتورهای هوا بالابر ۱۴۰

فهرست علائم

علامت	نشانه
A	ماده A
$A_d\,(m^2)$	مساحت سطح مقطع پایین برنده
$A_r\,(m^2)$	مساحت سطح مقطع بالا برنده
a	جزء واکنش داده
b ,a	ضرایب ثابت استوکیومتری
B	ماده B
b (m)	عرض بافل
$b_p\,(m)$	عرض پره همزن
C_A	غلظت جزء A
C_{Ag}	غلظت جزء A در فاز گاز
C_{Al}	غلظت جزء A در توده مایع
C_{As}	غلظت جزء A در فاز جامد
CC	کالکوسیت
CP	کالکوپیریت
C_{Cu0}	غلظت اولیه مس در جامد
Cu^{2+}	غلظت یون مس
CV	کوولیت
D	ضریب نفوذ
D (m)	قطر پره همزن
D_e	ضریب نفوذ موثر ترکیب شونده مایع در لایه خاکستر
$D_o\,(mm)$	قطر خارجی راکتور

علامت	نشانه
D_i (mm)	قطر داخلی راکتور
D_T (mm)	قطر داخلی درب راکتور
d_d (mm)	قطر لوله پایین برنده
d_m (mm)	قطر دهانه ورودی وسایل اندازه گیری روی درب راکتور
d_p (mm)	قطر دهانه ورودی شافت همزن روی درب راکتور
d_p	قطر ذره
d_r (m)	قطر لوله بالا برنده
F	جزء واکنش داده
Fe^{2+}	غلظت یون آهن دو ظرفیتی
Fe^{3+}	غلظت یون آهن سه ظرفیتی
G	مواد زائد (Gaunge)
H (mm)	ارتفاع راکتور
H_e (mm)	ارتفاع موثر راکتور
K_S ($kg.m^{-3}$)	ثابت اشباع یا ثابت میکائیلیس
9K	محیط کشت
k	ثابت واکنش
k_g (m/s)	ضریب انتقال جرم در فاز گاز
k_g (m/s)	ضریب انتقال جرم بین فاز مایع و جامد
k_l (m/s)	ضریب انتقال جرم در فاز مایع
$k_{obs.}$ (day^{-1})	ثابت سرعت ظاهری
k_s	سرعت واکنش درجه اول در سطح جامد
L_b (mm)	طول یا ارتفاع بافل
L_c (mm)	فاصله لوله بالا برنده تا کف هوا بالابر
L_r (mm)	طول لوله بالا برنده در هوا بالابر

علامت	نشانه
M	محیط کشت
N_A	مول مایع A
N_B	مول جامد B
ORP	پتانسیل اکسیداسیون- احیا
pH	اسیدیته
ppm	قسمت در میلیون
PY	پیریت
Q_A	شار A از میان لایه خاکستر در هر شعاع r
Q_{AC}	شار A از میان سطح واکنش
Q_{As}	شار A از میان سطح خارجی ذره جامد
R	جزء واکنش داده
R, R_0	شعاع اولیه ذره جامد
Re	عدد رینولدز
r	سرعت واکنش
r	شعاع ذره در هر لحظه
r_c	شعاع هسته ترکیب نشده
S	میزان ماده جامد معدنی
Sc	عدد اشمیت
S_{ex}	سطح خارجی ذره جامد
t	زمان
u	سرعت گاز
V	حجم ذره جامد
V	نرخ انحلال

علامت	نشانه
V_m	نرخ انحلال حداکثر
X_B	میزان تبدیل جامد B
X_b	فاصله بافل از دیواره راکتور
X_{Cu}	میزان تبدیل ناشی از انحلال مس
y	مول جزئی
Z	فاصله پره اول همزن تا کف راکتور
Z_b	فاصله بافل تا کف راکتور
Z_p	فاصله دو پره همزن از یکدیگر

علائم یونانی

علامت	نشانه
μ	نرخ رشد ویژه
μ	ویسکوزیته
μ_B	ویسکوزیته ماده B
μ_m	حداکثر نرخ رشد ویژه
π	عدد π
ρ	دانسیته
ρ_B	جرم ویژه ملکولی ماده B در جامد
τ	زمان لازم برای تبدیل کامل