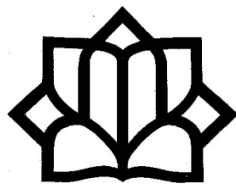


الحمد لله
البرحمين
مبارك



دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی

گروه معدن

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته فرآوری مواد معدنی

عنوان:

بهینه‌سازی مدار آسیای گلوله‌ای مجتمع فسفات

اسفوردی بر پایه الگوریتم ژنتیک

استاد راهنما:

دکتر اکبر فرزادگان

به وسیله:

زینب سادات میرزائی

دی ماه ۱۳۸۹

تقدیم به:

روح پاک پدرم

مهربانی‌های مادرم

عشق پاک همسرم

تشر و قدردانی

جملات خود را با شکرگزاری از خداوند آغاز می کنم که مرا یاری داد تا بتوانم با سعی و تلاش به تحصیل علم بپردازم. و نیز او را شاکرم که افتخار شاگردی استاد عزیز و بزرگوار، جناب آقای دکتر اکبر فرزنانگان، را به مدت ۷ سال به من عطا نمود. استادی که هر چه از علم و دانش می دانم مدیون زحمات بی وقفه اوست. استادی که الگوی کاملی از اخلاق است و همواره شاگردان خود را به رعایت اخلاق راهنمایی می کند. هر چه در این جملات از زحمات او قدردانی نمایم، حتی بخش کوچکی از این زحمات را نیز جبران ننموده ام. همانند فرزندی که آرزوی بهترین ها را برای پدر خود دارد، برای ایشان آرزوی سلامتی، شادی و پیروزی دارم.

از پدر عزیزم که با زحمات و تلاش های خود محیطی فراهم کرد تا به موفقیت های فراوان برسم، سپاسگزارم و آرزو می کنم که روحش همواره قرین لطف و رحمت الهی باشد. از دوران کودکی او درس شجاعت و پشتکار را به من آموخت و تا این زمان نیز این دو برایم در رسیدن به موفقیت ها مهم ترین نقش را داشته اند. آرزو داشتم تا در چنین روزی او را در کنار خود داشته باشم و این شادی را با حضور او جشن بگیرم. روحش شاد.

از همسر عزیزم جناب آقای مهندس علیرضا ولیان نیز که با حمایت، پشتیبانی و همراهی بی دریغ مرا در رسیدن به هدف خود یاری نمود و با حضور خود در کنارم در سختی ها و ناملایمات برایم مایه دلگرمی و آرامش بود، بی نهایت سپاسگزارم.

موفقیت در این پژوهش بدون همکاری کارکنان محترم مجتمع فسفات اسفوردی، به خصوص جناب آقای مهندس توکلی امکان پذیر نبود. همچنین از جناب آقای مهندس حافظی فر (مدیر اسبق مجتمع) و جناب آقای مهندس فتوحی مدیر محترم مجتمع و نیز جناب آقای اولیایی مسئول محترم روابط عمومی مجتمع فسفات اسفوردی سپاسگزارم.

چکیده

هدف پژوهش حاضر بهینه‌سازی مدار آسیای گلوله‌ای کارخانه فسفات اسفوردی با استفاده از برنامه BMCS تحت MATLAB می‌باشد. این نرم‌افزار بهینه‌ساز بر پایه شبیه‌ساز توسط اکبر فرزندگان توسعه داده شده است و قابلیت بهینه‌سازی مدارهای خردایش را با استفاده از الگوریتم ژنتیک دارا می‌باشد.

پس از بررسی کارخانه فرآوری فسفات اسفوردی، مشخص گردید که مشکل عمده موجود در مدار، ذرات نرمه با عیار بالای آهن در ته‌ریز هیدروسیکلون در مدار خردایش است که در اثر بیش‌آسیاکنی این ذرات، در مدار فلوتاسیون که پس از مدار خردایش قرار دارد، مشکلات اساسی ایجاد می‌شود. بنابراین، هدف از بهینه‌سازی مدار خردایش، بهبود خردایش در آسیای گلوله‌ای و نیز افزایش بازدهی جدایش در هیدروسیکلون قرار گرفت. به‌منظور بهینه‌سازی مدار خردایش که شامل آسیای گلوله‌ای و هیدروسیکلون در مدار بسته می‌باشد، ابتدا از مدار در حالت یکنواخت نمونه‌برداری انجام شد و پس از کالیبره کردن مدل‌های مربوطه، با انجام نمونه‌برداری در مرحله دوم، شبیه‌ساز اعتبارسنجی شد.

بهینه‌سازی به‌صورت تک‌هدفه (برای سرریز و ته‌ریز به‌طور جداگانه) و چندهدفه (دستیابی به هر دو هدف به‌طور همزمان) انجام شد. برای انجام بهینه‌سازی در مدار، پارامترهای دبی آب و دبی جامد ورودی به مدار خردایش، دبی آب اضافه شونده به ته‌ریز هیدروسیکلون و دبی آب اضافه شونده به حوضچه اختلاط محصول دو آسیا به‌عنوان متغیر در نظر گرفته شدند.

با انجام شبیه‌سازی و سپس بهینه‌سازی مدار، نتایجی در حالات مختلف حاصل شد که انتخاب هر یک از این نتایج به اثر اقتصادی آن تغییر بر مدار و همچنین عملکرد کارخانه بستگی دارد. بهترین حالت بهینه در این پژوهش انتخاب قطر سرریز برابر ۲۲٫۸۶ سانتی‌متر و قطر ته‌ریز برابر ۱۰٫۱۶ سانتی‌متر است. در این حالت لازم است که دبی

جامد ورودی به آسیای میله‌ای ۴۷ تن در ساعت با درصد جامد ۴۶,۱۳، دبی آب اضافه شونده به ته‌ریز هیدروسیکلون برابر ۲۸ تن در ساعت و دبی آب اضافه شونده به خوراک هیدروسیکلون برابر ۶۷,۶ تن در ساعت تنظیم شود.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، آسیای گلوله‌ای، فسفات اسفوردی

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱.....	فصل اول آشنایی با معدن و کارخانه فسفات اسفوردی
۲.....	۱-۱ مقدمه
۲.....	۲-۱ سفر
۳.....	۱-۲-۱ تولید و ذخایر فسفات
۴.....	۳-۱ آپاتیت
۴.....	۴-۱ کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه اسفوردی
۵.....	۵-۱ ناخالصی‌های شیمیایی همراه آپاتیت
۶.....	۶-۱ منشأ کانسار فسفات اسفوردی
۶.....	۷-۱ استخراج معدن
۶.....	۸-۱ ویژگی‌های خوراک و محصول کارخانه فسفات اسفوردی
۷.....	۹-۱ شرح مراحل فرآوری
۹.....	۱۰-۱ واحدهای کارخانه فرآوری
۹.....	۱-۱۰-۱ کارخانه سنگ‌شکنی
۱۲.....	۲-۱۰-۱ کارخانه پرعیارسازی
۱۹.....	فصل دوم تعاریف و مفاهیم بنیادی
۲۰.....	۱-۲ مقدمه
۲۰.....	۲-۲ بهینه‌سازی چیست؟
۲۳.....	۳-۲ الگوریتم‌های بهینه‌سازی
۲۴.....	۱-۳-۲ طبقه‌بندی الگوریتم‌های بهینه‌سازی براساس روش عملکرد
۲۵.....	۴-۲ الگوریتم‌های تکاملی
۲۶.....	۱-۴-۲ طبقه‌بندی الگوریتم‌های تکاملی
۲۹.....	۲-۴-۲ تفاوت الگوریتم‌های تکاملی با سایر روش‌های جستجوی بهینه‌سازی
۳۰.....	۳-۴-۲ مزایای استفاده از الگوریتم‌های تکاملی

۳۱	۵-۲ بهینه‌سازی بر پایه شبیه‌سازها
۳۳	۶-۲ آشنایی با الگوریتم ژنتیک
۳۵	۱-۶-۲ مزایای استفاده از الگوریتم ژنتیک
۳۶	۲-۶-۲ عمگرهای الگوریتم ژنتیک
۳۶	۳-۶-۲ مفاهیم پیشرفته در الگوریتم ژنتیک
۳۷	۴-۶-۲ انواع الگوریتم ژنتیک
۳۸	۷-۲ بهینه‌سازی مدارهای خردایش
۳۸	۱-۷-۲ شیوه بهینه‌سازی
۳۹	۲-۷-۲ کمینه کردن انرژی
۴۱	۳-۷-۲ تعیین معیارهای بهینه‌سازی کارخانه
۴۱	۴-۷-۲ گزینه‌های موجود برای بهینه‌سازی آسیای گلوله‌ای
۴۲	۸-۲ آشنایی با نرم‌افزار BMCS
۴۶	۱-۸-۲ شیوه استفاده از نرم‌افزار BMCS Ver.2
۴۶	۲-۸-۲ گرافیک BMCS Ver.2
۴۷	۳-۸-۲ تعریف یک فلوشیت برای BMCS Ver.2
۴۷	۴-۸-۲ BMCS تحت MATLAB
۵۰	۹-۲ کار با الگوریتم ژنتیک در MATLAB
۵۱	۱۰-۲ کاربرد الگوریتم ژنتیک در فرآوری مواد معدنی
۵۱	۱۱-۲ مدل پلیت
۵۸	۱۲-۲ مدل رزین-راملر
۵۹	۱۳-۲ تأثیر شبکه بر مدلسازی آسیاهای با تخلیه شبکه‌ای
۵۹	۱-۱۳-۲ انواع تخلیه در آسیاهای گلوله‌ای
۶۴	۲-۱۳-۲ مدلسازی فرآیند طبقه‌بندی شبکه تخلیه
۶۸	۱۴-۲ تابع شکست
۷۰	۱۵-۲ تابع انتخاب
۷۰	۱۶-۲ بار در گردش
۷۳	۱-۱۶-۲ تأثیر بار در گردش بر تیزی جدایش

۱۷-۲	سزند قوسی	۷۵
۱-۱۷-۲	ظرفیت سرندهای قوسی	۷۹
۲-۱۷-۲	روش سریع برای تعیین اندازه سزند قوسی	۸۲
۳-۱۷-۲	مقایسه عملکرد سزند قوسی و هیدروسیکلون در مدارهای خردایش کانسنگ	
۸۳	دوجزئی	

فصل سوم جمع‌آوری داده‌ها.....۸۵

۱-۳	مقدمه	۸۶
۲-۳	مدار خردایش	۸۶
۳-۳	نمونه‌برداری از جریان‌های مختلف	۸۷
۴-۳	انجام آزمایش‌های تعیین دانه‌بندی	۸۸
۵-۳	موازنه جرم مواد	۸۸
۶-۳	محاسبه مقدار d_{80} جریان‌های مختلف	۹۲
۷-۳	محاسبه نسبت خردایش آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای و بار در گردش	۹۳
۸-۳	بررسی عملکرد هیدروسیکلون	۹۴
۱-۸-۳	تعیین بازدهی هیدروسیکلون	۹۴
۹-۳	تعیین تابع شکست	۹۶
۱۰-۳	محاسبه تابع انتخاب	۱۰۴

فصل چهارم اعتبارسنجی مدل‌ها و شبیه‌سازی مدار خردایش.....۱۰۷

۱-۴	مقدمه	۱۰۸
۲-۴	کالیبراسیون مدل پلیت	۱۰۸
۳-۴	شبیه‌سازی مدار خردایش	۱۱۱
۱-۳-۴	نمونه‌برداری از مدار در مرحله دوم	۱۱۴
۲-۳-۴	شبیه‌سازی آسیای گلوله‌ای در مدار باز	۱۱۶
۳-۳-۴	شبیه‌سازی هیدروسیکلون در مدار باز	۱۱۷
۴-۳-۴	شبیه‌سازی آسیای گلوله‌ای و هیدروسیکلون در مدار بسته	۱۱۹
۴-۴	مقایسه عملکرد کنونی مدار با عملکرد پیش‌بینی شده در زمان طراحی	۱۲۲

۱۲۳	..... ۱-۴-۴ آسیای میله‌ای
۱۲۳	..... ۲-۴-۴ آسیای گلوله‌ای
۱۲۴	..... ۳-۴-۴ هیدروسیکلون
۱۲۴	..... ۴-۴-۴ شاخص کار باند
۱۲۵	..... ۵-۴ بررسی تغییرات موجود در مدار
۱۲۷	..... ۶-۴ بررسی مشکلات موجود در مدار خردایش
۱۳۰	فصل پنجم بهینه‌سازی مدار خردایش
۱۳۱	..... ۱-۵ مقدمه
۱۳۱	..... ۲-۵ بهینه‌سازی مدار خردایش آسیای گلوله‌ای برمبنای الگوریتم ژنتیک
۱۳۱	..... ۱-۲-۵ اهداف بهینه‌سازی
۱۳۲	..... ۲-۲-۵ پارامترهای قابل تغییر در بهینه‌سازی
۱۳۳	..... ۳-۲-۵ حدود پارامترهای قابل تغییر
۱۳۴	..... ۴-۲-۵ حالات مختلف بهینه‌سازی
۱۳۵	..... ۵-۲-۵ بهینه‌سازی مدار با استفاده از برنامه BMCS تحت MATLAB
۱۳۵	..... ۳-۵ نتایج بهینه‌سازی تک هدفه
۱۳۵	..... ۱-۳-۵ دستیابی به d_{80} برابر ۱۰۰ میکرون در سرریز هیدروسیکلون
۱۴۴	..... ۲-۳-۵ دستیابی به d_{80} برابر ۵۰۰ میکرون در ته‌ریز هیدروسیکلون
	..... ۳-۳-۵ دستیابی همزمان به d_{80} برابر ۱۰۰ میکرون در سرریز و d_{80} برابر ۵۰۰ میکرون در
۱۴۷	..... ته‌ریز هیدروسیکلون
۱۶۱	..... ۴-۵ مقایسه نتایج بهینه‌سازی تک هدفه و چندهدفه
۱۶۳	فصل ششم ارائه یافته‌ها
۱۶۴	..... ۱-۶ یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی مدار خردایش
۱۶۶	..... ۲-۶ یافته‌های حاصل از بهینه‌سازی مدار خردایش
۱۶۹	فصل هفتم نتیجه‌گیری
۱۷۲	فصل هشتم پیشنهادها

۱-۷	پیشنهادها مربوط به پژوهش های آینده	۱۷۳
۲-۷	پیشنهادها مربوط به بهینه سازی مدار خردایش کارخانه	۱۷۵
	فهرست مراجع	۱۷۷
	کتابنامه	۱۷۹
۱۸۱	پیوست ها	
۱۸۲	پیوست ۱: بخش های مختلف جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک در نرم افزار MATLAB	۱۸۲
۲۰۶	پیوست ۲: پرونده ورودی به نرم افزار Norbal در مرحله اول موازنه جرم	۲۰۶
۲۰۸	پیوست ۳: پرونده خروجی از نرم افزار Norbal در مرحله اول موازنه جرم	۲۰۸
۲۱۰	پیوست ۴: جدول دانه بندی جریان ها پیش و پس از موازنه جرم مرحله اول	۲۱۰
۲۱۴	پیوست ۵: پرونده ورودی به نرم افزار Norbal در مرحله دوم موازنه جرم	۲۱۴
۲۱۵	پیوست ۶: پرونده خروجی از نرم افزار Norbal در مرحله دوم موازنه جرم	۲۱۵
۲۱۷	پیوست ۷: جدول دانه بندی جریان ها پیش و پس از موازنه جرم مرحله دوم	۲۱۷
	پیوست ۸: تابع شکست غیرتجمعی و تجمعی محاسبه شده از سه روش برای نمونه ۲۱۲ و ۶۰۰	
۲۲۰	میکرونی	۲۲۰
۲۲۲	پیوست ۹: مقادیر تابع انتخاب محاسبه شده توسط نرم افزار NGOTC	۲۲۲
۲۲۳	پیوست ۱۰: نمودار دانه بندی جریان های مختلف پس از موازنه جرم نمونه دوم	۲۲۳
۲۲۴	پیوست ۱۱: جدول مشخصات جریان های مختلف پس از نمونه برداری مرحله دوم	۲۲۴
۲۲۵	پیوست ۱۲: جدول دانه بندی محصول شبیه سازی شده و واقعی آسیای گلوله ای	۲۲۵
۲۲۶	پیوست ۱۳: پرونده ورودی به نرم افزار BMCS برای شبیه سازی آسیای گلوله ای در مدار باز	۲۲۶
۲۲۷	پیوست ۱۴: پرونده خروجی از نرم افزار BMCS برای شبیه سازی آسیای گلوله ای در مدار باز	۲۲۷
۲۲۹	پیوست ۱۵: ماتریس ارتباط مدار خردایش آسیای گلوله ای در حالت بسته با هیدروسیکلون	۲۲۹
۲۳۰	پیوست ۱۶: پرونده ورودی به نرم افزار BMCS در مرحله شبیه سازی مدار در حالت بسته	۲۳۰
۲۳۱	پیوست ۱۷: پرونده خروجی از نرم افزار BMCS در مرحله اعتبارسنجی شبیه ساز	۲۳۱
۲۳۳	پیوست ۱۸: تابع هدف نوشته شده برای بهینه سازی تک هدفه تریز	۲۳۳
۲۳۵	پیوست ۱۹: تابع هدف نوشته شده برای بهینه سازی تک هدفه سرریز	۲۳۵
۲۳۷	پیوست ۲۰: تابع هدف نوشته شده برای بهینه سازی چندهدفه	۲۳۷

- پیوست ۲۱: پرونده ورودی به نرم افزار برای بهینه سازی سرریز در قطر سرریز ۲۰,۳۲ سانتی متر
و قطر تهریز ۷,۶۲ سانتی متر ۲۳۹
- پیوست ۲۲: پرونده ورودی به نرم افزار برای بهینه سازی سرریز در قطر سرریز ۲۰,۳۲ سانتی متر
و قطر تهریز ۱۰,۱۶ سانتی متر ۲۴۰
- پیوست ۲۳: پرونده ورودی به نرم افزار برای بهینه سازی سرریز در قطر سرریز ۲۲,۸۶ سانتی متر
و قطر تهریز ۷,۶۲ سانتی متر ۲۴۱
- پیوست ۲۴: پرونده ورودی به نرم افزار برای بهینه سازی سرریز در قطر سرریز ۲۲,۸۶ سانتی متر
و قطر تهریز ۱۰,۱۶ سانتی متر ۲۴۲
- پیوست ۲۵: جدول مشخصات جریان های مختلف برای سایر بهینه سازی های سرریز ۲۴۳
- پیوست ۲۶: مقادیر متغیرهای ورودی و توابع هدف برای هر سه مرحله بهینه سازی چندهدفه با
قطر سرریز ۲۰,۳۲ سانتی متر و قطر تهریز ۷,۶۲ سانتی متر ۲۴۶
- پیوست ۲۷: مقادیر متغیرهای ورودی و توابع هدف برای هر سه مرحله بهینه سازی چندهدفه با
قطر سرریز ۲۰,۳۲ سانتی متر و قطر تهریز ۱۰,۱۶ سانتی متر ۲۴۹
- پیوست ۲۸: مقادیر متغیرهای ورودی و توابع هدف برای هر سه مرحله بهینه سازی چندهدفه با
قطر سرریز ۲۲,۸۶ سانتی متر و قطر تهریز ۷,۶۲ سانتی متر ۲۵۲
- پیوست ۲۹: مقادیر متغیرهای ورودی و توابع هدف برای هر سه مرحله بهینه سازی چندهدفه با
قطر سرریز ۲۲,۸۶ سانتی متر و قطر تهریز ۱۰,۱۶ سانتی متر ۲۵۵

فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

جدول ۱-۱	مشخصات ذخیره و خوراک کارخانه اسفوردی طبق مدارک طراحی [۵]	۶
جدول ۲-۱	مشخصات عملیاتی خوراک کارانه [۵]	۷
جدول ۳-۱	مشخصات عملیاتی تولید [۵]	۷
جدول ۴-۱	مشخصات فنی و عملیاتی کارخانه سنگ شکنی طبق طراحی [۵]	۱۱
جدول ۵-۱	مشخصات فنی و عملیاتی سنگ شکن‌ها [۵]	۱۲
جدول ۶-۱	مشخصات فنی و عملیاتی سرند دو طبقه [۵]	۱۲
جدول ۷-۱	مشخصات کارخانه پرعیارسازی طبق طراحی [۵]	۱۳
جدول ۸-۱	مشخصات فنی و عملیاتی آسیای میله‌ای طبق طراحی [۵]	۱۴
جدول ۹-۱	مشخصات فنی و عملیاتی آسیای گلوله‌ای طبق طراحی [۵]	۱۵
جدول ۱۰-۱	مشخصات فنی و عملیاتی هیدروسیکلون طبق طراحی [۵]	۱۵
جدول ۱۱-۱	مشخصات فیزیکی هیدروسیکلون [۵]	۱۵
جدول ۱-۲	متغیرهای طراحی شبکه‌های تخلیه [۱۳]	۶۱
جدول ۲-۲	جریان‌های موجود در مدار آسیاکنی بسته پیوسته [۲۹]	۷۳
جدول ۱-۳	نقاط نمونه‌برداری از جریان‌های مختلف در مدار خردایش و نام مختصر آنها	۸۷
جدول ۲-۳	مشخصات جریان‌های مدار خردایش پس از موازنه جرم در مرحله اول	۸۹
جدول ۳-۳	مشخصات جریان‌های مدار خردایش آسیای گلوله‌ای پس از موازنه جرم در مرحله دوم	۸۹
جدول ۴-۳	اندازه d_{80} مربوط به هر جریان	۹۲
جدول ۵-۳	نسبت خردایش آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای و مقایسه آنها با مقادیر پیش	۹۳
جدول ۶-۳	مقادیر بازیابی آب، حد جدایش تصحیح شده و تیزی جدایش حاصل از برازش مدل بازیابی	۹۵
جدول ۷-۳	برازش مدل بازیابی به بازیابی واقعی هیدروسیکلون	۹۶
جدول ۸-۳	مشخصات آسیای گلوله‌ای	۹۶
جدول ۹-۳	مشخصات واسطه خردایش در آسیای گلوله‌ای	۹۸

- جدول ۳-۱۰ مقادیر پارامترهای مختلف برای نمونه تک اندازه ۲۱۲ میکرونی ۹۹
- جدول ۳-۱۱ مقادیر پارامترهای مختلف برای نمونه تک اندازه ۶۰۰ میکرونی ۹۹
- جدول ۳-۱۲ مقادیر تابع شکست غیرتجمعی ۱۰۲
- جدول ۳-۱۳ پارامترهای مربوط به زمان اقامت [۳۶] ۱۰۴
- جدول ۳-۱۴ دانه‌بندی خوراک و محصول آسیای گلوله‌ای ۱۰۵
- جدول ۴-۱ پارامترهای مدل پلیت (اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با BMCS) در مدار باز ... ۱۰۹
- جدول ۴-۲ ضرایب کالیبراسیون پارامترهای مدل پلیت در مدار باز ۱۰۹
- جدول ۴-۳ پارامترهای مدل پلیت (اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با BMCS) در مدار بسته. ۱۱۰
- جدول ۴-۴ ضرایب کالیبراسیون پارامترهای مدل پلیت در مدار بسته ۱۱۱
- جدول ۴-۵ اندازه d_{80} مربوط به هر جریان در نمونه‌برداری دوم ۱۱۵
- جدول ۴-۶ نسبت خردایش آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای در نمونه‌برداری دوم ۱۱۶
- جدول ۴-۷ پارامترهای مدل پلیت اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با BMCS در مدار باز
پیش و پس از کالیبراسیون ۱۱۹
- جدول ۴-۸ پارامترهای مدل پلیت پس از شبیه‌سازی ۱۲۱
- جدول ۴-۹ مشخصات شبیه‌سازی شده و واقعی جریان‌ها ۱۲۲
- جدول ۴-۱۰ مقایسه میان دو وضعیت آسیای میله‌ای ۱۲۳
- جدول ۴-۱۱ مقایسه میان دو وضعیت آسیای گلوله‌ای ۱۲۴
- جدول ۴-۱۲ مقایسه میان دو وضعیت هیدروسیکلون ۱۲۵
- جدول ۴-۱۳ مقایسه میان شاخص کار باند کانسنگ در زمان طراحی و هم‌اکنون ۱۲۵
- جدول ۵-۱ مقادیر اولیه و نهایی هر یک از متغیرهای بهینه‌سازی ۱۳۴
- جدول ۵-۲ مقادیر متغیرها در هر مرحله بهینه‌سازی سرریز ۱۳۶
- جدول ۵-۳ مقادیر معیارهای تصمیم‌گیری در زمان دو مرحله نمونه‌برداری ۱۳۷
- جدول ۵-۴ نتایج حاصل از بهینه‌سازی سرریز هیدروسیکلون ۱۳۸
- جدول ۵-۵ مشخصات جریان‌ها در بهینه‌سازی شماره ۱ ۱۳۹
- جدول ۵-۶ مشخصات جریان‌ها در بهینه‌سازی شماره ۱۰ ۱۴۰
- جدول ۵-۷ پارامترهای مدل پلیت برای بهینه‌سازی شماره ۱ و ۱۰ ۱۴۰
- جدول ۵-۸ مقدار d_{80} جریان‌های مختلف در بهینه‌سازی‌های شماره ۱ و ۱۰ ۱۴۰

- جدول ۵-۹ نسبت خردایش و بار در گردش آسیای گلوله‌ای در بهینه‌سازی‌های شماره ۱ و ۱۰ .. ۱۴۱
- جدول ۵-۱۰ مقادیر متغیرها در هر مرحله بهینه‌سازی تهریز ۱۴۵
- جدول ۵-۱۱ نتایج حاصل از بهینه‌سازی تهریز هیدروسیکلون ۱۴۶
- جدول ۵-۱۲ پارامترهای مدل پلیت برای بهترین مقدار توابع هدف با استفاده از محدوده اول متغیرها ۱۴۸
- جدول ۵-۱۳ مقادیر متغیرهای ورودی و توابع هدف برای بهترین مقدار توابع هدف با استفاده از محدوده اول ۱۵۰
- جدول ۵-۱۴ مقادیر متغیرهای ورودی و توابع هدف برای بهترین مقدار توابع هدف با استفاده از محدوده دوم ۱۵۰
- جدول ۵-۱۵ مقادیر متغیرهای ورودی و توابع هدف برای بهترین مقدار توابع هدف با استفاده از محدوده سوم ۱۵۰
- جدول ۵-۱۶ مقادیر متغیرهای ورودی و توابع هدف در نقطه A با استفاده از محدوده دوم متغیرها ۱۵۶
- جدول ۵-۱۷ پارامترهای مدل پلیت در نقطه A با استفاده از محدوده دوم متغیرها ۱۵۶
- جدول ۵-۱۸ برخی مشخصات جریان‌ها در حالت بهینه A ۱۵۷
- جدول ۵-۱۹ مقادیر متغیرهای ورودی و توابع هدف در نقطه B با استفاده از محدوده دوم متغیرها ۱۶۰
- جدول ۵-۲۰ پارامترهای مدل پلیت در نقطه B با استفاده از محدوده دوم متغیرها ۱۶۰
- جدول ۵-۲۱ برخی مشخصات جریان‌ها در حالت بهینه B ۱۶۱
- جدول ۷-۱ مقدار پارامترهای مختلف برای پیشنهادها اول و دوم ۱۷۵

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ فلوشیت کارخانه فسفات اسفوردی.....	۱۰
شکل ۱-۲ مدل شبیه‌سازی [۱۲].....	۳۲
شکل ۲-۲ مدل بهینه‌سازی بر پایه شبیه‌سازی [۱۲].....	۳۲
شکل ۳-۲ ساختار ساده شده نرم‌افزار BMCS [۱۵].....	۴۴
شکل ۴-۲ اجرای BMCS در محیط MATLAB.....	۴۹
شکل ۵-۲ ترکیب شبیه‌ساز آسیاکنی و ماژول بهینه‌ساز [۱۶].....	۴۹
شکل ۶-۲ منحنی بازیابی تصحیح شده ایده آل هیدروسیکلون [۲۰].....	۵۴
شکل ۷-۲ منحنی کارایی هیدروسیکلون دارای دو انحراف در بخش دانه درشت و دانه ریز [۲۰].....	۵۵
شکل ۸-۲ مثالی از انحراف در بخش دانه درشت منحنی کارایی هیدروسیکلون در اثر وجود ذراتی با چگالی متفاوت [۲۰].....	۵۶
شکل ۹-۲ آسیای با تخلیه شبکه‌ای [۲۳].....	۶۰
شکل ۱۰-۲ اجزای مختلف در آسیای با تخلیه شبکه‌ای.....	۶۲
شکل ۱۱-۲ تأثیر محل روزه‌ها بر روی ماندگی پالپ [۲۴].....	۶۴
شکل ۱۲-۲ آسیا با تخلیه سرریز [۲۲].....	۶۷
شکل ۱۳-۲ آسیا با تخلیه شبکه‌ای [۲۲].....	۶۷
شکل ۱۴-۲ آسیا با تخلیه محیطی مرکزی [۲۲].....	۶۷
شکل ۱۵-۲ دو آسیای گلوله‌ای موازی در مدار باز.....	۷۱
شکل ۱۶-۲ آسیای گلوله‌ای در مدار بسته با کلاسیفایر.....	۷۲
شکل ۱۷-۲ شکل شماتیک سرند قوسی [۲۲].....	۷۷
شکل ۱-۳ مدار خردایش کارخانه فسفات اسفوردی.....	۸۷
شکل ۲-۳ نتیجه آنالیز XRD انجام شده بر روی خوراک هیدروسیکلون.....	۹۷
شکل ۳-۳ آسیای گلوله‌ای آزمایشگاهی آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشگاه کاشان.....	۹۸
شکل ۴-۳: بار خرد کننده داخل آسیای گلوله‌ای.....	۹۸

- شکل ۱-۴ مدار آسیای گلوله‌ای ۱۱۲
- شکل ۲-۴ شبکه داخلی آسیا ۱۱۳
- شکل ۳-۴ یک قطاع تشکیل دهنده شبکه داخل آسیا ۱۱۴

فهرست نمودارها

عنوان	صفحه
نمودار ۱-۲ شیوه کلی بهینه‌سازی [۱۳].....	۴۰
نمودار ۲-۲ تابع طبقه‌بندی شبکه.....	۶۶
نمودار ۳-۲ رابطه میان فاصله میله‌ها و حد جدایش ذرات [۲۲].....	۸۰
نمودار ۴-۲ تأثیر عدد رینولدز بر ظرفیت سرند قوسی [۲۲].....	۸۲
نمودار ۵-۲ رابطه میان ظرفیت حجمی و عرض شکاف برای دو سرند با طول ۸۰۰ و ۱۶۰۰ میلی‌متر [۲۲].....	۸۲
نمودار ۱-۳ دانه‌بندی خوراک آسیای میله‌ای پیش و پس از موازنه جرم در مرحله اول.....	۹۰
نمودار ۲-۳ دانه‌بندی محصول آسیای میله‌ای پیش و پس از موازنه جرم در مرحله دوم.....	۹۰
نمودار ۳-۳ دانه‌بندی خوراک آسیای گلوله‌ای پیش و پس از موازنه جرم در مرحله دوم.....	۹۱
نمودار ۴-۳ دانه‌بندی محصول آسیای گلوله‌ای پیش و پس از موازنه جرم در مرحله دوم.....	۹۱
نمودار ۵-۳ دانه‌بندی خوراک هیدروسیکلون پیش و پس از موازنه جرم در مرحله دوم.....	۹۱
نمودار ۶-۳ دانه‌بندی سرریز هیدروسیکلون پیش و پس از موازنه جرم در مرحله دوم.....	۹۲
نمودار ۷-۳ دانه‌بندی جریان‌های اطراف هیدروسیکلون.....	۹۴
نمودار ۸-۳ بازیابی جامد به ته‌ریز هیدروسیکلون.....	۹۵
نمودار ۹-۳ لگاریتم جرم باقیمانده در سرند اول برحسب زمان برای نمونه ۶۰۰ میکرونی.....	۱۰۰
نمودار ۱۰-۳ لگاریتم جرم باقیمانده در سرند اول برحسب زمان برای نمونه ۲۱۲ میکرونی.....	۱۰۰
نمودار ۱۱-۳ تابع شکست نمونه ۲۱۲ میکرونی با استفاده از روش اصلاح شده هریست و فیورستنا.....	۱۰۲
نمودار ۱۲-۳ تابع شکست نمونه ۶۰۰ میکرونی با استفاده از روش اصلاح شده هریست و فیورستنا.....	۱۰۳
نمودار ۱۳-۳ مقایسه دو تابع شکست در اندازه ۲۱۲ میکرون، به‌دست آمده در پژوهش پیشین [۴] و کنونی.....	۱۰۳
نمودار ۱۴-۳ مقایسه دو تابع شکست در اندازه ۶۰۰ میکرون، به‌دست آمده در پژوهش پیشین [۴] و کنونی.....	۱۰۴

- نمودار ۳-۱۵ تابع انتخاب به دست آمده از نرم افزار NGOTC برحسب اندازه ذرات ۱۰۵
- نمودار ۴-۱ مقایسه دانه بندی واقعی و پیش بینی شده سرریز و ته ریز پیش از کالیبراسیون در مدار باز ۱۱۰
- نمودار ۴-۲ مقایسه دانه بندی واقعی و پیش بینی شده سرریز و ته ریز پیش از کالیبراسیون در مدار بسته ۱۱۱
- نمودار ۴-۳ دانه بندی خوراک آسیای گلوله ای ۱۱۵
- نمودار ۴-۴ مقایسه دانه بندی جریان شیب سازی شده محصول آسیای گلوله ای با واقعیت ۱۱۷
- نمودار ۴-۵ منحنی بازیابی هیدروسیکلون برای داده های مرحله دوم نمونه برداری ۱۱۸
- نمودار ۴-۶ مقایسه دانه بندی واقعی و پیش بینی شده سرریز و ته ریز پیش از کالیبراسیون ۱۱۸
- نمودار ۴-۷ مقایسه دانه بندی واقعی و پیش بینی شده سرریز و ته ریز پس از کالیبراسیون ۱۱۹
- نمودار ۴-۸ دانه بندی خوراک هیدروسیکلون (واقعی و شیب سازی شده) ۱۲۰
- نمودار ۴-۹ دانه بندی سرریز هیدروسیکلون (واقعی و شیب سازی شده) ۱۲۰
- نمودار ۴-۱۰ دانه بندی ته ریز هیدروسیکلون یا خوراک آسیای گلوله ای (واقعی و شیب سازی شده) ۱۲۱
- نمودار ۴-۱۱ دانه بندی محصول آسیای گلوله ای (واقعی و شیب سازی شده) ۱۲۱
- نمودار ۴-۱۲ دانه بندی خوراک و محصول آسیای میله ای ۱۲۳
- نمودار ۴-۱۳ دانه بندی خوراک و محصول آسیای گلوله ای ۱۲۴
- نمودار ۴-۱۴ ظرفیت جامد ورودی به هیدروسیکلون برحسب قطر ته ریز [۵] ۱۲۷
- نمودار ۵-۱ دانه بندی خوراک و محصول آسیای گلوله ای پس از بهینه سازی شماره ۱ ۱۴۱
- نمودار ۵-۲ دانه بندی خوراک، سرریز و ته ریز هیدروسیکلون پس از بهینه سازی شماره ۱ ۱۴۱
- نمودار ۵-۳ دانه بندی خوراک و محصول آسیای گلوله ای پس از بهینه سازی شماره ۱۰ ۱۴۲
- نمودار ۵-۴ دانه بندی خوراک، سرریز و ته ریز هیدروسیکلون پس از بهینه سازی شماره ۱۰ ۱۴۲
- نمودار ۵-۵ دانه بندی خوراک و محصول آسیا در هر دو بهینه سازی ۱۴۳
- نمودار ۵-۶ دانه بندی جریان های اطراف هیدروسیکلون در هر دو بهینه سازی ۱۴۳
- نمودار ۵-۷ محدوده جوران حاصل از بهینه سازی با استفاده از محدوده اول متغیرها ۱۴۹
- نمودار ۵-۸ محدوده جوران حاصل از بهینه سازی با استفاده از محدوده دوم متغیرها ۱۴۹
- نمودار ۵-۹ محدوده جوران حاصل از بهینه سازی با استفاده از محدوده سوم متغیرها ۱۵۰

- نمودار ۵-۱۰ دانه‌بندی خوراک و محصول آسیا در حالت واقعی و بهینه‌سازی شده برای بهترین مقدار تابع هدف اول با استفاده از محدوده اول متغیرها ۱۵۱
- نمودار ۵-۱۱ دانه‌بندی خوراک، سرریز و ته‌ریز هیدروسیکلون در حالت واقعی و بهینه‌سازی شده با استفاده از محدوده اول متغیرها برای بهترین مقدار تابع هدف اول ۱۵۱
- نمودار ۵-۱۲ دانه‌بندی خوراک و محصول آسیا در حالت واقعی و بهینه‌سازی شده با استفاده از محدوده اول متغیرها برای بهترین مقدار تابع هدف دوم ۱۵۲
- نمودار ۵-۱۳ دانه‌بندی خوراک، سرریز و ته‌ریز هیدروسیکلون در حالت واقعی و بهینه‌سازی شده با استفاده از محدوده اول متغیرها برای بهترین مقدار تابع هدف دوم ۱۵۲
- نمودار ۵-۱۴ محدوده جوران حاصل از بهینه‌سازی با استفاده از محدوده اول متغیرها ۱۵۳
- نمودار ۵-۱۵ محدوده جوران حاصل از بهینه‌سازی با استفاده از محدوده دوم متغیرها ۱۵۳
- نمودار ۵-۱۶ محدوده جوران حاصل از بهینه‌سازی با استفاده از محدوده سوم متغیرها ۱۵۴
- نمودار ۵-۱۷ محدوده جوران حاصل از بهینه‌سازی با استفاده از محدوده اول متغیرها ۱۵۵
- نمودار ۵-۱۸ محدوده جوران حاصل از بهینه‌سازی با استفاده از محدوده دوم متغیرها ۱۵۵
- نمودار ۵-۱۹ محدوده جوران حاصل از بهینه‌سازی با استفاده از محدوده سوم متغیرها ۱۵۶
- نمودار ۵-۲۰ دانه‌بندی خوراک و محصول آسیای گلوله‌ای در حالت واقعی و بهینه‌سازی شده در نقطه A ۱۵۷
- نمودار ۵-۲۱ دانه‌بندی خوراک، سرریز و ته‌ریز هیدروسیکلون در حالت واقعی و بهینه‌سازی شده در نقطه A ۱۵۷
- نمودار ۵-۲۲ محدوده جوران حاصل از بهینه‌سازی با استفاده از محدوده اول متغیرها ۱۵۸
- نمودار ۵-۲۳ محدوده جوران حاصل از بهینه‌سازی با استفاده از محدوده دوم متغیرها ۱۵۹
- نمودار ۵-۲۴ محدوده جوران حاصل از بهینه‌سازی با استفاده از محدوده سوم متغیرها ۱۵۹
- نمودار ۵-۲۵ دانه‌بندی خوراک و محصول آسیا در حالت واقعی و بهینه‌سازی شده در نقطه B ... ۱۶۱
- نمودار ۵-۲۶ دانه‌بندی خوراک، سرریز و ته‌ریز هیدروسیکلون در حالت واقعی و بهینه‌سازی شده در نقطه B ۱۶۱