

دانشگاه کاشان  
دانشکده مهندسی  
گروه معدن

## پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد  
در رشته فرآوری مواد معدنی

عنوان:

مطالعه بهینه‌سازی مدار خردایش کارخانه فرآوری  
کانسنگ طلای آقدره

استاد راهنما:

دکتر اکبر فرزندگان

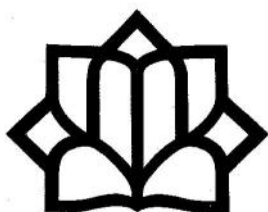
به وسیله:

علی ابتداعی قلائی

شهریور ۱۳۸۹



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه کاشان  
دانشکده مهندسی  
گروه معدن

## پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد  
در رشته فرآوری مواد معدنی

عنوان:

مطالعه بهینه‌سازی مدار خردایش کارخانه فرآوری  
کانسنگ طلای آقدره

استاد راهنما:

دکتر اکبر فرزندگان

به وسیله:

علی ابتداعی قلائی

شهریور ۱۳۸۹



دانشگاه کاشان  
دانشکده مهندسی

بسمه تعالی

تاریخ:  
شماره:  
پوست:

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صور تجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| نام و نام خانوادگی دانشجوی: علی ابتدایی قلاعی                                    | شماره دانشجویی: ۸۷۳۳۵۱۰۰۱     |
| رشته: مهندسی معدن - فرآوری مواد معدنی  | دانشکده: مهندسی               |
| عنوان پایان نامه: مطالعه پهنه سازی مدار خریدایش کارخانه فرآوری کانسنگ طلای آقدره | تعداد واحد پایان نامه: ۶ واحد |
| تاریخ دفاع: ۸۹/۶/۲۸  |                               |

این پایان نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارائه می گردد دفاع از پایان نامه در تاریخ ۸۹ / ۶ / ۲۸ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و بانمره ۱۹۱۷۳ و درجه عالی به تصویب رسید.

اعضاء هیات داوران

| عنوان                               | نام و نام خانوادگی         | رتبه علمی | امضاء |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------|-------|
| ۱. استاد راهنما                     | دکتر اکبر فرزنانگان        | استادیار  |       |
| ۲. متخصص و صاحب نظر از داخل دانشگاه | دکتر علی اکبر عبدالله زاده | استادیار  |       |
| ۳. متخصص و صاحب نظر از خارج دانشگاه | دکتر عباس سام              | استادیار  |       |
| ۴. استاد ناظر                       | دکتر عباس اقبالی           | دانشیار   |       |

آدرس: کاشان - بلوار قطب روانی

کد پستی: ۵۱۱۶۷ - ۸۷۳۱۷

تلفن: ۵۵۵۴۲۳۰ - دو رنکار ۵۵۵۴۲۳

http://www.kashanu.ac.ir

تقدیم به

پدر زحمتکش و مادر مهربانم

## تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا بر خود لازم می‌دانم از تمامی اساتید بزرگوار به ویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده‌اند تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر اکبر فرزندگان که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان‌نامه تقبل نموده‌اند نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

همچنین از تشریک مساعی آقای دکتر علی اکبر عبدالله‌زاده بعنوان استاد داور داخل دانشگاه و آقای دکتر عباس سام بعنوان استاد مدعو خارج از دانشگاه که این پایان‌نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده‌اند تشکر می‌نمایم.

در پایان از جناب آقای دکتر عباس اقبالی که بعنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده‌اند سپاسگزاری می‌نمایم.





## چکیده

کانسنگ استخراجی از معدن طلای آفدره به منظور آزادسازی مطلوب فلز طلا، در کارخانه فرآوری مورد خردایش قرار می‌گیرد. طبقه‌بندی ذرات با استفاده از هیدروسیکلون‌ها انجام می‌شود. استحصال طلا با استفاده از فرآیند لیچینگ و با روش سیانوراسیون داخل مخازن همزن‌دار صورت می‌گیرد. در این تحقیق، بهینه‌سازی مدار خردایش این کارخانه با هدف کاهش ابعاد محصول نهایی ( $P_{80}$ ) از ۷۰ میکرون به کمتر از ۵۰ میکرون با ظرفیت موجود و با رویکرد توجه به فرآیند لیچینگ با روش مدل‌سازی و شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار MODSIM انجام شد. با انجام دو مرحله نمونه‌گیری از جریان‌های مختلف مدار خردایش، داده‌های توزیع دانه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار NorBal موازنه جرم شدند. سپس از نرم‌افزار MODSIM، برای کالیبراسیون مدل‌ها و شبیه‌سازی مدار استفاده شد. شبیه‌سازی مدار خردایش با قطر داخلی سرریز و قطر داخلی ته‌ریز بترتیب با اندازه ۸۲ و ۷۰ میلیمتر، با تعداد ۶ سیکلون فعال و افزایش درصد حجمی بار داخل آسیای نیمه-خودشکن از ۲۱ درصد به ۳۵ درصد با درصد حجمی بار گلوله ۱۰ تا ۱۲ درصد، انجام شد که  $P_{80}$  به ۵۰/۹ میکرون کاهش یافت. نتایج شبیه‌سازی برای دو نوع مدار آسیاکنی جدید با اضافه نمودن آسیای گلوله‌ای پیشنهادی نشان داد که  $P_{80}$  را می‌توان تا ۴۰/۴ میکرون و ۴۱/۶ میکرون به ترتیب برای مدارهای پیشنهادی اول و دوم کاهش داد. بر اساس هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی، می‌توان نتیجه گرفت که مدار پیشنهادی دوم یک گزینه مناسب برای اصلاح فلووشیت آسیاکنی کارخانه است.

**کلمات کلیدی:** خردایش، هیدروسیکلون، مدل‌سازی، شبیه‌سازی، MODSIM

## فهرست مطالب

| صفحه    | عنوان   |
|---------|---|
| ۱.....  | فصل اول: مباحث نظری .....   |
| ۱.....  | ۱-۱- مقدمه.....   |
| ۲.....  | ۱-۱-۱- تعریف معیارهای بهینه‌سازی و توسعه یک برنامه.....                                       |
| ۳.....  | ۱-۱-۲- فرآیند بهینه‌سازی.....   |
| ۴.....  | ۱-۱-۳- بهینه‌سازی آسیای نیمه خودشکن.....  |
| ۴.....  | ۱-۱-۴- بهینه‌سازی هیدروسیکلون.....  |
| ۵.....  | ۱-۱-۵- شبیه‌سازی مدار خردایش.....   |
| ۷.....  | ۱-۱-۶- تهیه نمونه مرجع.....   |
| ۸.....  | ۱-۲- تاریخچه.....   |
| ۸.....  | ۱-۲-۱- مدلسازی مدار خردایش معدن طلای Ovacik.....  |
| ۹.....  | ۱-۲-۲- بهینه‌سازی خردایش آسیای نیمه خودشکن کارخانه فرآوری طلای آق‌دره.....                    |
| ۱۰..... | ۱-۲-۳- بررسی امکان فرآوری سنگ‌آهن آبرفتی سنگان و تولید در مقیاس پایلوت و طراحی مهندسی آن..... |
| ۱۱..... | ۱-۳- آشنایی با معدن و کارخانه فرآوری طلای آق‌دره.....   |
| ۱۱..... | ۱-۳-۱- کانسار طلا و نقره آق‌دره.....  |
| ۱۱..... | ۱-۳-۲- مطالعات اکتشافی معدن طلای آق‌دره.....  |
| ۱۲..... | ۱-۳-۳- استخراج معدن.....  |
| ۱۲..... | ۱-۳-۴- موقعیت جغرافیایی کارخانه فرآوری آق‌دره.....  |
| ۱۳..... | ۱-۳-۵- واحد فرآوری استحصال طلا.....   |

- ۱-۳-۶- مشخصات خوراک و محصول کارخانه آقدره ..... ۱۳
- ۱-۳-۷- توصیف کلی فرآیند استحصال فلز طلا در کارخانه فرآوری آقدره ..... ۱۶
- ۱-۳-۸- مدار خردایش ..... ۱۸
- ۱-۳-۸-۱- لاینرها و لیفتر بارها ..... ۲۶
- ۱-۳-۸-۲- تخلیه دوغاب ..... ۲۷
- ۱-۳-۸-۳- پالپ لیفترها ..... ۲۸
- ۱-۳-۸-۴- سرنند ترومل ..... ۲۹
- ۱-۳-۹- واحد طبقه‌بندی (هیدروسیکلونها) ..... ۲۹
- ۱-۳-۱۰- فرآیند فروشویی (لیچینگ) ..... ۳۱
- ۱-۳-۱۱- کانی‌شناسی طلا ..... ۳۲
- ۱-۳-۱۱-۱- مطالعات کانی‌شناسی و متالورژیکی کانسنگ طلای آقدره ..... ۳۳
- فصل دوم: نمونه‌گیری، انجام آزمایش و موازنه جرم داده‌های آزمایشگاهی ..... ۳۸**
- ۱-۲- مقدمه ..... ۳۹
- ۲-۲- طراحی بررسی مدار خردایش ..... ۴۰
- ۱-۲-۲- نمونه‌گیری مرحله اول ..... ۴۲
- ۱-۲-۲-۱- نمونه‌گیری از خوراک تازه ورودی به آسیای نیمه‌خودشکن ..... ۴۳
- ۲-۲-۲-۱- نمونه‌گیری از جریان محصول آسیا (ته‌ریز سرنند ترومل) ..... ۴۴
- ۲-۲-۲-۳- نمونه‌گیری از جریان سرریز سرنند ترومل (جریان برگشتی اسکت) ..... ۴۵
- ۲-۲-۲-۴- نمونه‌گیری از خوراک سیکلون ..... ۴۵
- ۲-۲-۲-۵- نمونه‌گیری از جریانهای سرریز و ته‌ریز سیکلون ..... ۴۶
- ۲-۲-۲- نمونه‌گیری مرحله دوم ..... ۴۶
- ۲-۳- تعیین دانه بندی جریانهای مختلف آسیای نیمه‌خودشکن ..... ۴۸

|    |   |
|----|---|
| ۵۰ | ۱-۳-۲- تعیین دانه بندی جریانهای مختلف آسیا در نمونه گیری مرحله اول.....                   |
| ۵۴ | ۲-۳-۲- تعیین دانه بندی جریانهای مختلف آسیا در نمونه گیری مرحله دوم.....                   |
| ۵۷ | ۴-۲- توزیع دانه بندی جریانهای مختلف هیدروسیکلون.....                                      |
| ۵۷ | ۱-۴-۲- موازنه جرم اطراف هیدروسیکلون.....  |
| ۵۹ | ۱-۱-۴-۲- نرم افزار NorBal.....  |
| ۵۹ | ۲-۴-۲- تعیین دانه بندی جریانهای مختلف هیدروسیکلون در نمونه گیری مرحله اول.....            |
| ۶۲ | ۳-۴-۲- تعیین دانه بندی جریانهای مختلف هیدروسیکلون در نمونه گیری مرحله دوم.....            |
| ۶۵ | ۵-۲- تعیین بار در گردش.....   |
| ۶۶ | ۱-۵-۲- بار در گردش از طریق توزیع دانه بندی قبل از موازنه جرم در نمونه گیری مرحله اول..... |
| ۶۷ | ۲-۵-۲- بار در گردش از طریق توزیع دانه بندی قبل از موازنه جرم در نمونه گیری مرحله دوم..... |
| ۶۹ | ۳-۵-۲- بار در گردش از طریق توزیع دانه بندی بعد از موازنه جرم در نمونه گیری مرحله اول..... |
| ۷۱ | ۴-۵-۲- بار در گردش از طریق توزیع دانه بندی بعد از موازنه جرم در نمونه گیری مرحله دوم..... |
| ۷۲ | ۶-۲- منحنی بازدهی هیدروسیکلون.....  |
| ۷۵ | ۱-۶-۲- منحنی بازدهی هیدروسیکلون در نمونه گیری مرحله اول.....                              |
| ۷۶ | ۲-۶-۲- منحنی بازدهی هیدروسیکلون در نمونه گیری مرحله دوم.....                              |
|    | <b>فصل سوم: نرم افزار MODSIM و کالیبراسیون آن براساس داده های کارخانه فرآوری</b>          |
| ۷۸ | <b>آدره</b> .....   |
| ۷۹ | ۱-۳- مقدمه.....   |
| ۷۹ | ۲-۳- نرم افزار MODSIM.....  |
| ۸۰ | ۳-۳- مدل بکار رفته برای آسیای نیمه خودشکن در نرم افزار MODSIM.....                        |
| ۸۸ | ۱-۳-۳- مدلسازی مکانیسم شکست ضربه ای.....  |
| ۸۹ | ۱-۱-۳-۳- مدل Austin.....  |

|     |   |
|-----|---|
| ۹۱  | ۳-۳-۱-۲- تعیین مدل حاکم بر مکانیسم شکست ضربه‌ای   |
| ۹۳  | ۳-۳-۲- مدلسازی مکانیسم‌های خودشکست و فرسایش   |
| ۹۳  | ۳-۳-۱-۲- آزمایش وزنه افتان JKMRC  |
| ۹۴  | ۳-۳-۲- دستگاه آزمایش وزنه افتان JK  |
| ۹۴  | ۳-۳-۲- پارامترهای آزمایش وزنه افتان JK  |
| ۹۷  | ۳-۳-۲-۴- رابطه $W_i$ با $t_a$ و $A \times b$  |
| ۹۹  | ۳-۳-۳- احتمال شکست و مدلسازی انرژی شکست ذره   |
| ۱۰۳ | ۳-۳-۴- پارامترهای آسیای آزمایشگاهی  |
| ۱۰۴ | ۳-۳-۵- ابعاد آسیای نیمه‌خودشکن  |
| ۱۰۴ | ۳-۴- مدل مورد استفاده برای هیدروسیکلون در نرم‌افزار MODSIM                                |
| ۱۰۶ | ۳-۴-۱- مدل پلیت   |
| ۱۱۰ | <b>فصل چهارم: شبیه‌سازی مدار خردایش کنونی آفدره و اعتبارسنجی نتایج</b>                    |
| ۱۱۱ | ۴-۱- مقدمه  |
| ۱۱۱ | ۴-۲- نتایج پیش بینی عملکرد مدار خردایش  |
| ۱۱۶ | ۴-۳- پارامترهای موثر بر اندازه محصول خردایش ( $P_{80}$ )                                  |
|     | ۴-۴- رابطه میان درصد حجمی و وزن بار کلی، بار گلوله داخل آسیای نیمه‌خودشکن و توان مصرفی آن |
| ۱۱۸ |   |
| ۱۱۹ | ۴-۵- ضرایب کالیبراسیون مدل پلیت   |
| ۱۲۰ | ۴-۶- اعتبارسنجی و شبیه‌سازی   |
| ۱۲۶ | <b>فصل پنجم: شبیه‌سازی مدار خردایش بعد از اضافه نمودن آسیای گلوله‌ای</b>                  |
| ۱۲۹ | ۵-۱- مقدمه  |
| ۱۲۹ | ۵-۲- آسیای گلوله‌ای پیشنهادی  |

|     |  |
|-----|--|
| ۱۲۹ | .....MODSIM در نرم افزار گلوله ای برای آسیای گلوله ای در نرم افزار MODSIM                |
| ۱۳۱ | ..... شبیه سازی حالت اول   |
| ۱۳۴ | ..... شبیه سازی حالت دوم   |
| ۱۳۸ | ..... فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات  |
| ۱۳۹ | ..... نتیجه گیری   |
| ۱۴۰ | ..... پیشنهادات  |
| ۱۴۱ | ..... منابع و مآخذ   |
| ۱۴۴ | ..... پیوست ها   |
| ۱۴۵ | ..... پیوست ۱: مطالعات کانی شناسی کانسنگ طلای آقدره                                      |
| ۱۴۸ | ..... پیوست ۲: محاسبات مربوط به برخی پارامترهای عملیاتی آسیای نیمه خود شکن و هیدروسیکلون |
| ۱۵۶ | ..... پیوست ۳: خروجی نرم افزارهای NorBal، MODSIM   |

## فهرست جدول‌ها

| عنوان  | صفحه |
|--|------|
| جدول ۱-۱- مشخصات انواع کانسنگ موجود در معدن آقدره.....                                   | ۱۴   |
| جدول ۱-۲- مشخصات فنی و عملیاتی گریزلی.....   | ۱۹   |
| جدول ۱-۳- مشخصات فنی و عملیاتی سیلوی بتنی.....   | ۲۰   |
| جدول ۱-۴- مشخصات فنی عملیات خوراک دهنده.....   | ۲۰   |
| جدول ۱-۵- مشخصات فنی و عملیاتی سیلوی اضطراری.....  | ۲۱   |
| جدول ۱-۶- مشخصات فنی و عملیاتی سنگ شکن فکی.....  | ۲۱   |
| جدول ۱-۷- مشخصات فنی و عملیاتی آسیای نصب شده در کارخانه فرآوری طلا آقدره.....            | ۲۳   |
| جدول ۱-۸- مشخصات فنی و عملیاتی سرند ترومل.....   | ۲۹   |
| جدول ۱-۹- مشخصات فنی و عملیاتی سیکلون کارخانه فرآوری طلای آقدره.....                     | ۳۰   |
| جدول ۱-۱۰- کانی‌شناسی نمونه‌های تهیه شده از خوراک کارخانه، سرریز و ته‌ریز سیکلون...۳۶    | ۳۶   |
| جدول ۲-۱- پارامترهای عملیاتی آسیا در شرایط پایدار برای نمونه‌گیری مرحله اول.....         | ۴۲   |
| جدول ۲-۲- پارامترهای عملیاتی هیدروسیکلون در شرایط پایدار برای نمونه‌گیری مرحله اول.....  | ۴۳   |
| جدول ۲-۳- پارامترهای عملیاتی آسیا در شرایط پایدار برای نمونه‌گیری مرحله دوم.....         | ۴۷   |
| جدول ۲-۴- پارامترهای عملیاتی هیدروسیکلون در شرایط پایدار برای نمونه‌گیری مرحله دوم.....  | ۴۸   |
| جدول ۲-۵- نتایج توزیع دانه‌بندی جریان‌های آسیای نیمه‌خودشکن در نمونه‌گیری مرحله اول..... | ۵۱   |
| جدول ۲-۶- مشخصات جریانهای مختلف آسیا در نمونه‌گیری مرحله اول.....                        | ۵۴   |
| جدول ۲-۷- توزیع دانه‌بندی جریانهای مختلف آسیای نیمه‌خودشکن در نمونه‌گیری مرحله دوم.....  | ۵۵   |
| جدول ۲-۸- مشخصات جریانهای مختلف آسیا در نمونه‌گیری مرحله دوم.....                        | ۵۷   |

- جدول ۲-۹- نتایج توزیع دانه‌بندی جریانهای مختلف هیدروسیکلون در نمونه‌گیری مرحله اول ۶۰
- جدول ۲-۱۰- توزیع دانه‌بندی جریانهای مختلف هیدروسیکلون و مقایسه آنها با نتایج موازنه جرم در نمونه‌گیری مرحله دوم..... ۶۳
- جدول ۲-۱۱- داده‌های بار در گردش از طریق توزیع دانه‌بندی قبل از موازنه جرم در نمونه‌گیری مرحله اول ..... ۶۶
- جدول ۲-۱۲- داده‌های نسبت بار در گردش از طریق توزیع دانه‌بندی قبل از موازنه جرم در نمونه‌گیری مرحله دوم..... ۶۸
- جدول ۲-۱۳- داده‌های بار در گردش از طریق توزیع دانه‌بندی بعد از موازنه در نمونه‌گیری مرحله اول..... ۶۹
- جدول ۲-۱۴- مشخصات جریانهای خوراک، سرریز و ته‌ریز سیکلون در نمونه‌گیری مرحله اول ۷۰
- جدول ۲-۱۵- داده‌های نسبت بار در گردش از طریق توزیع دانه‌بندی بعد از موازنه جرم در نمونه‌گیری مرحله دوم..... ۷۱
- جدول ۲-۱۶- مشخصات جریانهای خوراک، سرریز و ته‌ریز سیکلون در نمونه‌گیری مرحله دوم ۷۲
- جدول ۲-۱۷- نتایج ضریب توزیع هیدروسیکلون برای طبقات مختلف سرنندی در نمونه‌گیری مرحله اول..... ۷۵
- جدول ۲-۱۸- نتایج ضریب توزیع هیدروسیکلون برای طبقات مختلف سرنندی در نمونه‌گیری مرحله دوم..... ۷۷
- جدول ۳-۱- پارامترهای مربوط به بار گلوله آسیا برای دو مرحله نمونه‌گیری ..... ۸۵
- جدول ۳-۲- مقادیر تابع انتخاب (نرخ ویژه خردایش) برای فراکسیونهای مختلف مشاهده شده در تستهای آزمایشگاهی ..... ۹۲
- جدول ۳-۳- پارامترهای مجهول مدل تابع انتخاب حاکم بر تستهای آزمایشگاهی ..... ۹۳
- جدول ۳-۴- انواع کانسنگ مختلف با توجه به محدوده پارامترهای بدست آمده از آزمایش وزنه افتان JK..... ۹۵



- جدول ۳-۵- پارامترهای مکانیسم خودشکست برای انواع مختلف کانسنگ موجود در معدن آقدره  
 ۹۸ .....
- جدول ۳-۶- پارامترهای تعیین کننده ارتباط انرژی شکست ذره میانه با اندازه ذره برای برخی از  
 کانیهها. گرفته شده از Travares و King (۱۹۹۸)..... ۱۰۳
- جدول ۳-۷- پارامترهای عملیاتی و ابعاد آسیای آزمایشگاهی در نرم افزار MODSIM..... ۱۰۴
- جدول ۳-۸- پارامترهای عملیاتی و ابعاد آسیای نیمه خودشکن کارخانه آقدره در نرم افزار  
 MODSIM..... ۱۰۴
- جدول ۴-۱- مشخصات واقعی و پیش بینی شده توسط نرم افزار MODSIM برای جریانهای  
 مختلف آسیای نیمه خودشکن..... ۱۱۳
- جدول ۴-۲- پارامترهای محاسبه شده مربوط به آسیا توسط نرم افزار MODSIM..... ۱۱۳
- جدول ۴-۳- مشخصات واقعی و پیش بینی شده توسط نرم افزار MODSIM برای جریانهای  
 هیدروسیکلون..... ۱۱۴
- جدول ۴-۴- پارامترهای مدل پلیت در نمونه گیری مرحله اول..... ۱۱۹
- جدول ۴-۵- ضرایب کالیبراسیون مدل پلیت..... ۱۲۰
- جدول ۴-۶- مشخصات پیش بینی شده جریانهای مدار آسیاکنی توسط نرم افزار MODSIM بعد از  
 کالیبراسیون برای نمونه گیری مرحله دوم..... ۱۲۰
- جدول ۴-۷- مقایسه پارامترهای مدل پلیت در نمونه گیری مرحله دوم..... ۱۲۲
- جدول ۴-۸- مشخصات پیش بینی شده جریانهای مدار آسیاکنی توسط نرم افزار MODSIM با  
 درصد حجمی ۲۶٪..... ۱۲۲
- جدول ۴-۹- مشخصات پیش بینی شده جریانهای مدار آسیاکنی توسط نرم افزار MODSIM با  
 درصد حجمی ۳۰٪..... ۱۲۴
- جدول ۴-۱۰- مشخصات پیش بینی شده جریانهای مدار آسیاکنی توسط نرم افزار MODSIM با  
 درصد حجمی ۳۵٪..... ۱۲۵

جدول ۴-۱۱- نتایج کلی شبیه‌سازی مدار خردایش با تغییر پارامتر درصد حجمی بار داخل آسیا  
۱۲۷ .....

جدول ۵-۱- مشخصات پیش‌بینی شده جریانهای مدار آسیاکنی توسط نرم‌افزار MODSIM با  
درصد حجمی بار ۲۱٪ در حالت اول..... ۱۳۳

جدول ۵-۲- مشخصات پیش‌بینی شده جریانهای مدار آسیاکنی توسط نرم‌افزار MODSIM با  
درصد حجمی بار ۲۱٪ در حالت دوم..... ۱۳۶

## فهرست شکل‌ها

| عنوان  | صفحه |
|--|------|
| شکل ۱-۱- روش‌شناسی کلی برای بهینه‌سازی   | ۳    |
| شکل ۱-۲- تخمین پارامتر (کالیبراسیون) برای مدل‌هایی که در شبیه‌سازی استفاده می‌شوند، اطلاعات از بررسی کارخانجات تهیه شده‌اند    | ۶    |
| شکل ۱-۳- استفاده از شبیه‌ساز کامپیوتر برای جستجوی شرایط جهت عملکرد بهینه مدار  | ۷    |
| شکل ۱-۴- شکل شماتیک موقعیت جغرافیایی کارخانه فرآوری طلای آقدره   | ۱۲   |
| شکل ۱-۵- فلوشیت کارخانه فرآوری طلای آق دره   | ۱۸   |
| شکل ۱-۶- فلوشیت مدار خردایش کنونی کارخانه فرآوری طلای آقدره  | ۱۹   |
| شکل ۱-۷- چگونگی تغییر طول موثر خردایش در داخل آسیای نیمه‌خودشکن  | ۲۴   |
| شکل ۱-۸- لیفتربار میله‌ای و آستر صفحه‌ای   | ۲۷   |
| شکل ۱-۹- نمونه‌ای از صفحات مربوط به شبکه تخلیه آسیا  | ۲۸   |
| شکل ۱-۱۰- شکل شماتیکی از خروجی پن لیفتر در آسیای نیمه‌خودشکن   | ۲۸   |
| شکل ۲-۱- شمای عملیات آسیاکنی و طبقه‌بندی کارخانه فرآوری طلای آقدره و محل‌های نمونه‌گیری از مدار                                | ۴۱   |
| شکل ۲-۲- ملاقه نمونه‌گیری تقریباً یک لیتری از ته‌ریز سرند ترومل و خوراک سیکلون   | ۴۵   |
| شکل ۲-۳- ظرف یک لیتری برای اندازه‌گیری درصد جامد و وسیله نمونه‌گیری یک لیتری از جریانهای سرریز و ته‌ریز سیکلون (از چپ به راست) | ۴۶   |
| شکل ۲-۴- ذرات مربوط به طبقات مختلف توزیع دانه‌بندی خوراک تازه ورودی به آسیای نیمه‌خودشکن کارخانه فرآوری آقدره                  | ۴۹   |
| شکل ۲-۵- توزیع دانه‌بندی جریانهای مختلف آسیای نیمه‌خودشکن در نمونه‌گیری مرحله اول  | ۵۲   |

- شکل ۲-۶- توزیع دانه‌بندی جریانهای مختلف آسیای نیمه‌خودشکن در نمونه‌گیری مرحله دوم ۵۶
- شکل ۲-۷- توزیع دانه‌بندی جریانهای هیدروسیکلون با روش تر..... ۵۷
- شکل ۲-۸- توزیع دانه‌بندی جریانهای مختلف هیدروسیکلون در نمونه‌گیری مرحله اول..... ۶۱
- شکل ۲-۹- توزیع دانه‌بندی جریانهای مختلف هیدروسیکلون در نمونه‌گیری مرحله دوم..... ۶۴
- شکل ۲-۱۰- داده‌های نسبت بار در گردش برای طبقات مختلف سردی قبل از موازنه جرم در نمونه‌گیری مرحله اول..... ۶۷
- شکل ۲-۱۱- داده‌های نسبت بار در گردش برای طبقات مختلف سردی قبل از موازنه جرم در نمونه‌گیری مرحله دوم..... ۶۸
- شکل ۲-۱۲- داده‌های نسبت بار در گردش برای طبقات مختلف سردی بعد از موازنه جرم در نمونه‌گیری مرحله اول..... ۷۰
- شکل ۲-۱۳- نسبت بار در گردش برای طبقات مختلف سردی بعد از موازنه جرم در نمونه‌گیری مرحله دوم..... ۷۲
- شکل ۲-۱۴- منحنی‌های بازیابی هیدروسیکلون برای نمونه‌گیری مرحله اول..... ۷۶
- شکل ۲-۱۵- منحنی‌های بازیابی هیدروسیکلون در نمونه‌گیری مرحله دوم..... ۷۸
- شکل ۳-۱- پارامترهای هندسی برای محاسبه درصد حجمی بار داخل آسیای نیمه‌خودشکن ۸۲
- شکل ۳-۲- شکل شماتیکی از ابعاد مختلف آسیای نیمه‌خودشکن..... ۸۳
- شکل ۳-۳- صفحه پارامترهای مدل SAGT در نرم‌افزار MODSIM..... ۸۷
- شکل ۳-۴- رابطه خطی خردایش مواد یک فراکسیون بر حسب زمان..... ۸۸
- شکل ۳-۵- روند تغییرات نرخ ویژه خردایش در مقابل تغییر اندازه ذره..... ۸۹
- شکل ۳-۶- مقادیر نرخ ویژه خردایش (تابع انتخاب) بدست آمده از آزمایش با نرم‌افزار BFDS و مدل برازش شده بر آن..... ۹۲
- شکل ۳-۷- شکل شماتیکی از وزنه افتان موسسه JK..... ۹۴