دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی معدن

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی معدن - فرآوری مواد معدنی

عنوان:

تعیین پارامترهای عملیاتی و شبیه‌سازی فرآیند خردایش در آسیای اولیه واحد نیمه‌صنعتی مجتمع سنگ‌آهن گل‌گهر

اساتید راهنما:

دکتر اکبر فرزانگان

دکتر عباس سام

مشاور صنعتی:

مهندس امیرپرویز مهرانی

به وسیله:

شهامت رستمی

آبان‌ماه ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

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: شهامت رستمی شماره دانشجویی: ۸۶۳۳۵۱۰۳۹۹

رشته : مهندسی معدن –فرآوری مواد معدنی دانشکده : مهندسی

عنوان پایان نامه : تعیین پارامترهای عملیاتی و شبیه سازی فر آیند خردایش در آسیای اولیه واحد نیمه صنعتی شرکت سنگ آهن گل گهر

تعداد واحد پایان نامه : ۶ واحد **تاریخ دفاع: ۸۹/۸/۵**

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 ۸۹/۸/۵ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و با نمره ۱۹/۸۵ و درجه عالی به تصویب رسید.

اعضاء هیات داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱. استاد راهنما	دکتر اکبر فرزانگان	استادیار	
۲. استاد راهنما	دکتر عباس سام	استادیار	
۳. استاد مشاور	مهندس امیر پرویز مهرانی	کارشناس ارشد	
۳. متخصص و صاحب نظر از داخل دانشگاه	دکتر علی اکبر عبدالله زاده	استادیار	
٤. متخصص و صاحب نظر از خارج دانشگاه	دکتر احمد خدادادی دریان	دانشیار	
۵. استاد ناظر	دکتر بابک گنجی	استادیار	

آدرس: کاشان- بلوار قطب راوندی
کدپستی ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷
تلفن ۵۵۹۹۳۰ -دورنگار ۵۵۹۹۳۰
http : www.kashanu.ac.ir

تقدیم به:

پدر بزرگوارم و مادر عزیزم
که بالندگیم را از آنها دارم.

پدرم که برای سربلندی و سرافرازی فرزندانش تمام سختی‌ها را به جان خرید.
و مادرم که تقویم زندگی نیز تلافی‌گر یک نگاه محبت آمیزش نیست. او که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر.

تشکر و قدردانی

سپاس خداوند جان و جهان را که مرا توفیق فرمود تا این مجموعه مختصر را تقدیم دارم. لازم می‌دانم بدینوسیله از همکاری و همیاری اساتید، متخصصین و کارشناسان و دوستانی که انجام و تحقق این پژوهش بدون یاری ایشان غیر ممکن می‌نمود، کمال تشکر و قدردانی را ابراز دارم.

بزرگوارانی همچون استادان محترم جناب آقای دکتر اکبر فرزانگان و دکتر عباس سام (اساتید راهنما)، که بدون کمک و راهنمایی‌های ارزنده ایشان انجام این پروژه میسر نمی‌شد.

از مشاور صنعتی و دوست عزیزم، آقای مهندس امیرپرویز مهرانی که با راهنمایی‌های خود مرا مورد لطف و محبت قرار دادند، کمال تشکر را دارم.

همچنین از تشریک مساعی آقای دکتر عبدالله‌زاده به عنوان استاد داور داخل دانشگاه و آقای دکتر خدادادی به عنوان استاد داور مدعو خارج از دانشگاه که این پایان‌نامه را مورد داوری قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده‌اند، تشکر می‌نمایم.

از جناب آقای دکتر گنجی که به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده-اند سپاسگزاری می‌نمایم.

در پایان از مدیر محترم مرکز تحقیق و توسعه مجتمع سنگ‌آهن گل‌گهر، جناب آقای مهندس فرشید زمانی که قطعاً بدون کمک ایشان پروژه با مشکل همراه بود صمیمانه تشکر می‌کنم. همچنین به پاس زحماتی که در مدت انجام این پروژه بر دوش دیگر پرسنل زحمتکش مرکز تحقیق و توسعه و پرسنل مرکز اسناد مجتمع سنگ‌آهن گل‌گهر بوده است، و همچنین تمام کسانی که به نحوی از نظرات و نوشته‌های آنها در این کار استفاده شد، سپاسگزارم.

شهامت رستمی

آبان ماه ۱۳۸۹

چکیده

آسیای اولیه واحد نیمه‌صنعتی سنگ‌آهن گل‌گهر یک آسیای نیمه‌خودشکن تر با نسبت طول به قطر ۱٫۱۳ است که شباهت زیادی به آسیای گلوله‌ای دارد. در این تحقیق امکان استفاده از این آسیا به عنوان یک آسیای گلوله‌ای برای تولید محصولی با $d_{۸۰}$ ریزتر از ۳۵۰ میکرون از مواد برگشتی آسیاهای خودشکن کارخانه فرآوری بررسی شد. برای این منظور طراحی آستر و گلوله بر اساس خوراک جدید انجام شد. حداکثر ابعاد گلوله مورد نیاز که از متوسط سه رابطه تجربی به دست آمد، ۹۰ میلیمتر محاسبه شد. به منظور تعیین پارامترهای بهینه آسیا برای تولید محصول مطلوب از شبیه‌سازهای Usimpac3 و BMCS تحت Matlab استفاده شد. به منظور شبیه‌سازی نیاز به پارامترهایی از جمله توابع شکست و انتخاب، پارامترهای توزیع زمان اقامت آسیا، تناژ و درصد جامد خوراک ورودی، دانه‌بندی خوراک و محصول آسیا و غیره بود. پس از نمونه‌برداری از انبار بار برگشتی و انجام آزمایش‌های خردایش در آزمایشگاه و تعیین ماتریس تابع شکست مشخص شد که تابع شکست همسان شونده است. زمان اقامت متوسط آسیا با استفاده از نرم‌افزار RTDWEN برابر ۱۰٫۱۷ دقیقه به دست آمد. تابع انتخاب برای ۵ سری نمونه‌گیری از آسیا با استفاده از نرم‌افزار NGOTC نسخه ۱٫۳ به دست آمد. نتایج حاصل از تأثیر ابعاد گلوله بر تابع انتخاب نشان داد که در قطر گلوله ۹۰ میلیمتر بیشترین نرخ خردایش ذرات حاصل می‌شود. نتایج حاصل از تأثیر تغییر درصد جامد بر روی تابع انتخاب نشان داد درصد جامد بهینه ۶۷ درصد است. بهینه‌سازی عملکرد آسیا با نرم‌افزار Usimpac3 انجام شد. نتایج نشان داد بهترین دبی جامد و درصد جامد برای تولید محصولی با $d_{۸۰}$ ریزتر از ۳۵۰ میکرون ۲٫۵ تن و ۶۷ درصد می‌باشد. بهینه-سازی عملکرد آسیا با نرم‌افزار BMCS تحت Matlab و به کمک الگوریتم وراثتی انجام شد. نتایج نشان داد بهترین دبی جامد و درصد جامد برای تولید محصولی با $d_{۸۰}$ ریزتر از ۳۵۰ میکرون ۳ تن و ۴۵٫۴۵ درصد می‌باشد. مقایسه نتایج نشان داد شرایط بهینه حاصل از نرم‌افزار Usimpac3 به مقدار واقعی بسیار نزدیک‌تر است و این نکته تنها در نقطه $d_{۸۰}$ صادق است. با وجود دقت بالای نرم‌افزار Usimpac3 در تعیین شرایط بهینه برای تولید محصول هدف، دقت شبیه‌سازی نرم‌افزار BMCS تحت Matlab در شبیه‌سازی توزیع دانه‌بندی بالاتر است. نتایج نشان داد دقت نرم‌افزار Usimpac3 در پیش‌بینی قست دانه درشت و دقت نرم‌افزار BMCS در پیش‌بینی قسمت دانه ریز بالاتر بود. تأثیر تغییر سرعت و پرشدگی آسیا بر روی محصول خروجی با استفاده از نرم‌افزار Usimpac3 شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد با افزایش سرعت آسیا تا ۸۵ درصد سرعت بحرانی، ظرفیت آسیا افزایش می‌یابد. همچنین بهترین نتایج در پرشدگی ۴۰ تا ۴۵ درصد حاصل شد.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، شبیه‌سازی، خردایش، الگوریتم ژنتیک، سنگ آهن، گل‌گهر

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- آشنایی ۱
۱-۲- طبقه بندی سنگ آهن گل گهر از دیدگاه فرآوری ۱
۱-۳- کانی شناسی سنگ آهن گل گهر از دیدگاه فرآوری ۲
۱-۴- کارخانه فرآوری مجتمع سنگ آهن گل گهر ۳
۱-۵- هدف از تحقیق ۹
۱-۶- آسیای اولیه واحد نیمه صنعتی ۱۰
۱-۶-۱- مشخصات شبکه و سرند ترومل در آسیای اولیه واحد نیمه صنعتی ۱۰
۱-۷- نحوه ارائه و سازماندهی گزارش ۱۲

فصل دوم: مروری بر مطالعات و تحقیقات گذشته

۲-کلیات شبیه سازی مدارهای خردایش ۱۶
۲-۱- مقدمه ۱۶
۲-۲- شبیه سازی به زبان ساده ۱۶
۲-۳- اهداف شبیه سازی مدارهای خردایش ۱۸
۲-۴- نقش دانه بندی درمدارهای خردایش و طبقه بندی ۲۰
۲-۵- مدلهای ریاضی در شبیه سازی مدار ۲۱
۲-۵-۱- مدل ماتریسی ۲۲
۲-۵-۲- معادله ریاضی سینتیکی ۲۴
۲-۶- تئوری تابع شکست و تابع انتخاب درمباحث خردایش ۲۶
۲-۶-۱- تابع شکست ۲۶
۲-۶-۲- تعریف تابع شکست ۲۷
۲-۶-۳- انواع تابع شکست ۲۸
۲-۶-۴- خصوصیات تابع شکست ۲۹
۲-۶-۵- روشهای تعیین تابع شکست ۲۹
۲-۶-۵-۱- روشهای مبتنی بر آزمایشهای شکست تک ذره ۳۰
۲-۶-۵-۲- روشهای مبتنی بر آزمایشات آسیا کردن نمونه(دانه ای) ۳۳
۲-۶-۵-۳- روشهای مبتنی بر محاسبات برگشتی ۳۶

۲-۶-۶- تابع انتخاب ۳۷
۲-۶-۷- خصوصیات تابع انتخاب ۳۸
۲-۶-۸- فرآیند بزرگ مقیاس کردن تابع انتخاب ۳۹
۲-۶-۹- عوامل موثر بر تابع انتخاب ۴۰
۲-۶-۹-۱-تغییرات خردایش با تغییر اندازه ذرات ۴۰
۲-۶-۹-۲- سرعت چرخش آسیا ۴۲
۲-۶-۹-۳- پر شدگی گلوله و مواد ۴۴
۲-۶-۹-۴- قطر گلوله، سختی و چگالی ۴۷
۲-۶-۹-۵- قطرآسیا ۵۱
۲-۶-۹-۶- تأثیر محیط آسیا کردن ۵۲
۲-۶- ۱۰- مدل Austtin برای نرخ ویژه خردایش ۵۳
۲-۶-۱۱- بزرگ مقیاس کردن تابع انتخاب Austin ۵۳

فصل سوم: نمونه‌برداری و کارهای آزمایشگاهی انجام شده

۳- ۱- مقدمه ۵۷
۳-۲- نمونه برداری از انبار مواد برگشتی ۵۷
۳-۳- نتایج آنالیز دانه بندی بر روی مواد برگشتی ۵۸
۳-۴- آزمایشهای انجام شده برای تعیین قابلیت خرد شدن(اندیس کار باند) ۶۰
۳- ۵- تعیین چگالی ظاهری و چگالی واقعی مواد ۶۰
۳- ۶- آزمایشهای انجام شده برای تعیین تابع شکست ۶۱
۳- ۶- ۱- مواد و تجهیزات ۶۱
۳- ۶- ۲- سرندهای مورد استفاده ۶۱
۳- ۶- ۳- آسیای مورد استفاده ۶۱
۳- ۶- ۴- نرم افزار تعیین تابع شکست ۶۲
۳- ۶- ۵- ترازوی دیجیتالی ۶۲
۳- ۶- ۶- آماده سازی نمونه جهت انجام آزمایش ۶۲
۳- ۶- ۷- روش انجام آزمایش ۶۳
۳- ۷- آزمایش انجام شده برای تعیین زمان اقامت مواد در آسیای اولیه واحد نیمه صنعتی ۶۴
۳- ۸- آزمایش انجام شده برای تعیین تابع انتخاب آسیای اولیه واحد نیمه صنعتی ۶۴
۳- ۹- آزمایشهای انجام شده بر روی آسیای اولیه واحد نیمه صنعتی در درصد جامدهای مختلف ۶۵
۳-۱۰- تعیین قطر بهینه گلوله آسیای اولیه با استفاده از روابط تجربی ۶۵

فصل چهارم: شبیه‌سازی محصول آسیا و بهینه‌سازی پارامترها

۴-۱- مقدمه ۶۹

۴-۲- نتایج حاصل از تعیین تابع شکست ۶۹
۴-۳- تعیین مدل حاکم بر تابع انتخاب آزمایشگاهی ۷۳
۴-۴- تعیین پارامترهای مدل برادبنت و کلکات ۸۰
۴-۵- اندازه گیری توزیع زمان اقامت آسیای اولیه واحد نیمه صنعتی ۸۰
۴-۶- تعیین تابع انتخاب آسیای اولیه واحد نیمه صنعتی ۸۲
۴-۷- بررسی تغییرات ابعاد گلوله بر روی نرخ خردایش ذرات در آسیای اولیه واحد نیمه صنعتی ۸۳
۴-۸- تأثیر تغییرات درصد مواد جامد بر روی محصول خروجی آسیا ۸۷
۴-۹- بررسی و تحلیل نتایج شبیه سازی و بهینه سازی با نرم افزار Usimpac ۹۰
۴-۱۰- مدلهای مربوط به آسیاهای گلوله ای ۹۱
۴-۱۰-۱- مدل آسیای سطح صفر شماره ۱۰۴ ..... ۹۱
۴-۱۰-۲- مدل آسیای گلوله ای سطح۱ شماره ۱۱۶ ..... ۹۱
۴-۱۰-۳- مدل آسیای گلوله ای سطح ۳ شماره ۱۲۲ ..... ۹۴
۴-۱۱- بهینه سازی آسیا به کمک شبیه سازی و جستجوی الگوریتم وراثتی ۹۹
۴-۱۱-۱- نرم افزار بهینه ساز BMCS تحت Matlab ۹۹
۴-۱۱-۲- الگوریتمهای وراثتی ۱۰۰
۴-۱۱-۳- بهینه سازی آسیا به کمک نرم افزار BMCS تحت Matlab ۱۰۰
۴-۱۲- مقایسه نتایج شبیه سازی محصول آسیا با مدلهای مختلف Usimpac و BMCS ۱۰۸
۴-۱۳- بحث درباره مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی و مقادیر واقعی ۱۱۱
۴-۱۴- بررسی اثر سرعت و پرشوندگی آسیا بر روی محصول آسیا ۱۱۲

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۵-۱- نتیجه گیری ۱۱۴
۵-۲- پیشنهادات برای مطالعات آتی ۱۱۷

منابع و مآخذ فارسی ۱۱۹
منابع و مآخذ لاتین ۱۲۰

پیوست ها ۱۲۲
پیوست۱- محاسبه اندیس کار باند به روش گلوله‌ای ۱۲۳
پیوست ۲- آزمایش تعیین زمان اقامت با ردیاب نمک طعام ۱۲۶

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول۱-۱- مشخصات سه توده سنگ تشکیل دهنده ذخیره قابل استخراج آنومالی شماره۱ ..... ۲
جدول۱-۲- مشخصات فنی و عملیاتی آسیای اولیه واحد نیمه صنعتی ۱۰
جدول ۲-۱- توزیع ابعادی بار اولیه و محصول از یک فرآیند کاهش ابعاد ۲۲
جدول ۲-۲- موازنه جرمی در یک فرآیند کاهش ابعاد ۲۳
جدول ۲-۳- محصول حاصل از فرآیند کاهش ابعاد بر حسب بار اولیه ۲۴
جدول ۲-۴ چگونگی تشکیل معادله عمومی ماتریس شکست ۲۴
جدول ۳-۱- کیفیت مواد برگشتی خارج شده از مدار نرم کنی ۶۰
جدول ۳-۲- مشخصات آسیای میله‌ای مورد استفاده در خردایش ۶۲
جدول ۳-۳- پارامترهای لازم برای محاسبه قطر بهینه گلوله ۶۷
جدول ۳-۴- ترکیب گلوله های لازم برای شروع کار آسیاهای گلوله‌ای ۶۷
جدول ۴- ۱- مقادیر تابع انتخاب آسیای آزمایشگاهی محاسبه شده برای هر اندازه ۷۴
جدول۴-۲- پارامترهای مجهول مدل حاکم بر تابع انتخاب آزمایشگاهی ۷۵
جدول۴-۳- مقادیر تابع شکست تجمعی به روش بقوبه ۷۶
جدول۴-۴- مقادیر تابع شکست تجمعی به روش هربست و فیورستنا ۷۷
جدول۴- ۵- مقادیر تابع شکست تجمعی به روش اصلاح شده هربست و فیورستنا ۷۸
جدول۴- ۶- مقادیر تابع شکست غیر تجمعی به روش بقوبه ۷۹
جدول ۴- ۷- مقادیر تابع شکست غیرتجمعی به روش هربست و فیورستانو ۷۹
جدول ۴- ۸- مقادیر تابع شکست غیرتجمعی به روش اصلاح شده هربست و فیورستانو ۸۰
جدول ۴- ۹- پارامترهای مدل برادبنت و کلکات ۸۰
جدول ۴-۱۰- شرایط عملیاتی آسیا هنگام نمونه برداری ۸۲
جدول ۴-۱۱- متوسط تابع انتخاب به دست آمده از نمونه گیریهای مختلف ۸۳
جدول ۴-۱۲- رابطه بین ابعاد بزرگترین گلوله مصرفی و ابعاد متوسط گلوله ها ۸۴
جدول ۴-۱۳- نتایج آنالیز سرندی خوراک و محصول آسیا در درصد جامدهای مختلف ۸۷
جدول ۴-۱۴- مقادیر تابع انتخاب محاسبه شده در درصد جامدهای مختلف ۸۸
جدول ۴-۱۵- نتایج آنالیز سرندی شبیه‌سازی شده و مقایسه با مقدار واقعی(نمونه ا) ۹۶
جدول ۴-۱۶- نتایج آنالیز سرندی شبیه‌سازی شده و مقایسه با مقدار واقعی(نمونه ۲) ۹۷
جدول ۴-۱۷- نتایج آنالیز سرندی شبیه‌سازی شده و مقایسه با مقدار واقعی(نمونه ۳) ۹۸
جدول ۴-۱۸- نتایج دانه‌بندی شبیه‌سازی شده و مقایسه با مقدار واقعی ۱۰۲
جدول۴-۱۹-نتایج دانه‌بندی شبیه‌سازی شده و مقایسه با مقدار واقعی ۱۰۳
جدول ۴-۲۰- نتایج دانه‌بندی شبیه‌سازی شده و مقایسه با مقدار واقعی ۱۰۴

جدول۴-۲۱- نتایج دانه‌بندی شبیه‌سازی شده و مقایسه با مقدار واقعی ۱۰۵
جدول ۴-۲۲- نتایج دانه‌بندی شبیه‌سازی شده و مقایسه با مقدار واقعی ۱۰۶
جدول ۴-۲۳- نتایج دانه‌بندی شبیه‌سازی شده و مقایسه با مقدار واقعی ۱۰۷
جدول ۴-۲۴- مقایسه نتایج شبیه‌سازی محصول آسیا با مدلهای مختلف موجود در نرم افزار Usimpac.....۱۰۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱- واحد نرم‌کنی مدار فرآوری سنگ‌آهن گل‌گهر ۵
شکل۱-۲- شمای کلی از مدار کارخانه فرآوری سنگ‌آهن گل‌گهر ۷
شکل۱-۳- خلاصه شده فلوشیت مدار کارخانه فرآوری سنگ‌آهن گل‌گهر ۸
شکل۱-۴- آسیای اولیه از سوی خروجی مواد و سرند ترومل ۱۰
شکل۱-۵- آستر گذاری آسیای اولیه واحد نیمه صنعتی..... ۱۱
شکل۱-۶- قطاع‌های تشکیل دهنده شبکه آسیای اولیه واحد نیمه صنعتی..... ۱۱
شکل۱-۷- آسیای اولیه از سوی خروجی مواد و سرند ترومل ۱۲
شکل۱-۸- شمای کلی از مدار واحد نیمه‌صنعتی سنگ‌آهن گل‌گهر..... ۱۴
شکل۲-۱- سلسله مراتب مدل کردن به طور ریاضی ۱۷
شکل ۲-۲- نمودار لگاریتمی تابع توزیع شکست ۲۷
شکل ۲-۳- شکل دستگاه وزنه افتان ۳۱
شکل ۲-۴- نتایج آزمایش وزنه افتان، ارتباط t_{10} با انرژی خردایش ۳۱
شکل ۲-۵- نتایج آزمایش وزنه افتان، ارتباط t_{10} با اندازه ذرات..... ۳۲
شکل ۲-۶- شمای کلی مدل برادبنت و کلکات برای فراکسیونهای مختلف ماده معدنی ۳۷
شکل ۲-۷- شکل محاسبه تابع انتخاب ۳۸
شکل۲-۸-انرژی ویژه مورد نیاز جهت چرخش آسیا به عنوان تابعی از سرعت چرخش..... ۴۳
شکل۲-۹- تغییرات نرخ مطلق خردایش به عنوان تابعی از J و f_c برای خردایش تر ۴۵
شکل۲-۱۰- روند تغییرات انرژی ویژه خردایش در مقابل تغییر مقدار j ۴۷
شکل۲-۱۱- روند تغییر نرخ ویژه خردایش در مقابل تغییر قطر گلوله..... ۴۸
شکل۲-۱۲- تغییرات مقادیرS در مقابل تغییرات اندازه دانه‌های ماده معدنی در حالت خردایش خشک ۴۹
شکل۲-۱۳- مدل ارائه شده آستین برای تابع انتخاب ۵۳
شکل ۳-۱- دو نمای مختلف از انبار مواد برگشتی ۵۸
شکل۴-۱- صفحه تنظیم الگوریتم وراثتی در نرم‌افزار Matlab ۱۰۱

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار۳-۱- نمودار دانه بندی مواد برگشتی آسیاهای خودشکن (نمونه اول و دوم).....۵۹
نمودار ۳-۲- نمودار دانه بندی مواد برگشتی آسیاهای خودشکن (نمونه سوم) ۶۰
نمودار ۴- ۱- توزیع دانه بندی ذرات در زمانهای مختلف خردایش(۱۶۰۰۰+۲۲۵۰۰- میکرون) ۷۰
نمودار ۴-۲- توزیع دانه بندی ذرات در زمانهای مختلف خردایش(۱۱۲۰۰+۱۶۰۰- میکرون) ۷۱
نمودار ۴- ۳- توزیع دانه بندی ذرات در زمانهای مختلف خردایش(۸۰۰۰+۱۱۲۰۰- میکرون) ۷۱
نمودار ۴- ۴- توزیع دانه بندی ذرات در زمانهای مختلف خردایش(۵۶۰۰+۸۰۰۰- میکرون) ۷۲
نمودار ۴- ۵- توزیع دانه بندی ذرات در زمانهای مختلف خردایش(۴۰۰۰+۵۶۰۰- میکرون) ۷۲
نمودار ۴- ۶- توزیع دانه بندی ذرات در زمانهای مختلف خردایش(۲۸۰۰+۴۰۰۰- میکرون) ۷۳
نمودار ۴- ۷- توزیع دانه بندی ذرات در زمانهای مختلف خردایش(۲۰۰۰+۲۸۰۰- میکرون) ۷۴
نمودار۴- ۸- مقادیر تابع انتخاب آزمایشگاهی و مدل برازش شده بر آن ۷۵
نمودار ۴-۹- نمودار تابع شکست تجمعی بر حسب اندازه به روش بقوبه ۷۶
نمودار ۴-۱۰- نمودار تابع شکست تجمعی بر حسب اندازه به روش هربست و فیورستنا ۷۷
نمودار ۴-۱۱- نمودار تابع شکست تجمعی بر حسب اندازه به روش اصلاح شده هربست و فیورستنا.....۷۸
نمودار ۴-۱۲ - برازش مدل ولر به داده‌های اندازه‌گیری زمان اقامت.....۸۱
نمودار ۴-۱۳- برازش مدل n مخلوط کننده کامل به داده‌های اندازه‌گیری زمان اقامت ۸۲
نمودار۴- ۱۴- تغییرات نرخ خردایش با ابعاد ذرات برای گلوله‌هایی با ابعاد مختلف.....۸۴
نمودار۴- ۱۵- تغییرات نرخ خردایش با ابعاد ذرات برای گلوله‌هایی با ابعاد مختلف.....۸۵
نمودار۴- ۱۶- تغییرات نرخ خردایش با ابعاد گلوله برای طبقات سرندی کوچکتر از ۱۴۰۰ میکرون ۸۶
نمودار۴- ۱۷- تغییرات نرخ خردایش با ابعاد گلوله برای طبقات سرندی بزرگتر از ۲۰۰۰ میکرون.....۸۶
نمودار۴-۱۸- تغییرات تابع انتخاب نسبت به ابعاد ذرات در درصد جامدهای مختلف.....۸۹
نمودار۴-۱۹- اندازه $P_{۸۰}$ محصول آسیا در درصد جامدهای مختلف ۹۰
نمودار۴-۲۰- مقایسه محصول شبیه‌سازی و واقعی با مدل سطح ۳ نرم‌افزار Usimpac برای نمونه اول.....۹۶
نمودار۴-۲۱- مقایسه محصول شبیه‌سازی و واقعی با مدل سطح ۳ نرم‌افزار Usimpac برای نمونه دوم ۹۷
نمودار۴-۲۲- مقایسه محصول شبیه‌سازی و واقعی با مدل سطح ۳ نرم‌افزار Usimpac برای نمونه۳.....۹۸
نمودار۴-۲۳- مقایسه دانه‌بندی محصول شبیه‌سازی و واقعی در درصد جامد ۴۵,۴۵ و دبی جامد ۳ تن ۱۰۲
نمودار۴-۲۴- مقایسه دانه‌بندی محصول شبیه‌سازی و واقعی در درصد جامد ۵۱,۸۷ و دبی جامد ۳,۷ تن ۱۰۳
نمودار۴-۲۵- مقایسه دانه‌بندی محصول شبیه‌سازی و واقعی در درصد جامد ۶۰,۹۴ و دبی جامد ۴ تن.....۱۰۴
نمودار۴-۲۶- مقایسه دانه‌بندی محصول شبیه‌سازی و واقعی در درصد جامد ۶۵,۲۸ و دبی جامد ۴ تن.....۱۰۵

نمودار۴-۲۷- مقایسه دانه‌بندی محصول شبیه‌سازی و واقعی در درصد جامد ۷۵,۲ و دبی جامد ۴ تن ۱۰۶
نمودار۴-۲۸- مقایسه دانه‌بندی محصول شبیه‌سازی و واقعی در درصد جامد ۸۵,۰۶ و دبی جامد ۴ تن.....۱۰۷
نمودار۴-۲۹- اندازه $P_{۸۰}$ محصول آسیا در درصد جامدهای مختلف (شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار BMCS)....۱۰۸
نمودار۴-۳۰- مقایسه محصول شبیه‌سازی و واقعی با مدلهای مختلف نرم‌افزار Usimpac و BMCS ۱۱۰
نمودار۴-۳۱- مقایسه دانه‌بندی محصول شبیه‌سازی و واقعی با مدل سطح۱ نرم‌افزار usimpac ۱۱۰
نمودار۴-۳۲- مقایسه دانه‌بندی محصول شبیه‌سازی و واقعی با مدل سطح ۲ نرم‌افزار usimpac ۱۱۱
نمودار ۴-۳۳- اثر سرعت آسیا بر روی اندازه $P_{۸۰}$ محصول آسیا (شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار usimpac)....۱۱۲
نمودار ۴-۳۴-اثر سرعت آسیا بر روی اندازه $P_{۸۰}$ محصول آسیا (شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار usimpac) ۱۱۲

فهرست علائم و اختصارات(Abreviations)

BFDS	Breakage Function Determination Software
BMCS	Ball Milling Circuit Simulation
DMS	Dry Magnetic Seperator
ESP	Electro Static Precipitator
HPGR	High Pressure Grinding Rolls
NGOTC	Numeric Grinding Optimization Tools in C
R&D	Research & Development
SOS	Screen Over size
SU	Sump
WMS	Wet Magnetic Seperator

فصل اول:

مقدمه

۱–۱– آشنایی

مجتمع معدنی سنگ آهن گل‌گهر در استان کرمان و در ۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان سیرجان قرار گرفته است. در منطقه گل‌گهر تا به حال ۶ منطقه (آنومالی) کانی سازی شده به ثبت رسیده که مجموع ذخایر ممکن آن در حدود ۱۲۰۰ میلیون تن برآورد شده است. از این میزان، در حدود ۲۵۰ میلیون تن ذخیره اکتشافی قطعی مربوط به آنومالی یک بوده که فقط در حدود ۱۸۵ میلیون تن آن قابل استخراج است. از این رو طرح تجهیز و تولید ماده معدنی بر اساس آنومالی یک صورت گرفته است[۱۴].

۱–۲– طبقه بندی سنگ آهن گل‌گهر از دیدگاه فرآوری

بر اساس نوع کانی‌های موجود در ذخیره و موقعیت قرارگیری آنها، سه لایه‌بندی مگنتیت فوقانی، ناحیه اکسیده و مگنتیت تحتانی در آنومالی شماره یک شناخته شده است. کانی‌های آهن دار سه منطقه بیشتر از نوع مگنتیت، گوتیت، هماتیت، مارتیت و لیمونیت هستند. گوگرد عنصر مضر اصلی این آنومالی (بخصوص در بخش تحتانی) را تشکیل می‌دهد و بیشتر به صورت پیریت و به مقدار کم و پراکنده از پیروتیت تشکیل شده است. مونت موریونیت آهن‌دار بخصوص در بخش فوقانی از کانی‌های ثانویه به همراه مگنتیت است. مگنتیت فوقانی در بخش بالای اکسیده واقع شده و میزان هماتیت و گوتیت آن کمتر از ۱۳ درصد و گوگرد آن نیز زیر ۰/۲ درصد است. این ناحیه با ذخیره حدود ۱۹ میلیون تن کمتر از ۱۰ درصد ذخیره معدن را تشکیل می داده، که با پیشرفت معدن تغییر کرده است.

در بخش اکسیده معدن، میزان هماتیت و گوتیت بیشتر از ۱۲ درصد بوده وگوگرد آن ناچیز است. ذخیره این بخش در حدود ۶۲ میلیون تن به ثبت رسیده است. در مگنتیت تحتانی میزان هماتیت وگوتیت کمتر از ۱۲ درصد و میزان گوگرد آن بسیار بالا است (بیش از ۰/۲ درصد).

ذخیره این بخش از معدن حدود ۱۰۴ میلیون تن برآورد شده است، ولی از لحاظ پرعیارسازی و فرآوری، به دلیل وجود گوگرد، بسیار مشکل و پیچیده می باشد (جدول ۱-۱) [**۱۴**].

جدول۱-۱- مشخصات سه توده سنگ تشکیل دهنده ذخیره قابل استخراج آنومالی شماره۱[۱۴]

نوع سنگ	تناژ (میلیون تن)	کیفیت سنگ آهن (٪)				بازیابی وزنی(٪)
		Fe	FeO	S	P	
مگنتیت کم گوگرد و کم فسفر	۱۹,۱	۶۱,۳	۱۸,۸	۰,۰۴۱	۰,۰۵۵	۷۸,۵
مگنتیت هماتیت دار	۶۱,۷	۶۰,۴	۸,۸	۰,۳۱۱	۰,۱۳۸	۴۳,۳
مگنتیت پر گوگرد	۱۰۴,۲	۵۴,۳	۲۱,۴	۲,۸۲	۰,۱۵۸	۷۶,۲
کل سنگ	۱۸۵	۵۷,۱	۱۷	۱,۶۹	۰,۱۴۱	۶۵,۴

۱-۳- کانی شناسی سنگ‌آهن گل‌گهر از دیدگاه فرآوری

کانسار آهن گل‌گهر را می‌توان متشکل از دو منطقه اولیه (بخش مگنتیت تحتانی) و ثانویه (بخش اکسیده) دانست که مگنتیت، کانی اصلی منطقه اولیه بوده و تقریباً عمده حجم کانسار را تشکیل می‌دهد. هماتیت، گوتیت، مارتیت و ماگمیت کانی‌های ثانویه سنگ‌آهن هستند که در بخش اکسیده متمرکز شده‌اند.

عنصر گوگرد به عنوان اصلی ترین عنصر مضر ذخیره شماره ۱ به حساب می‌آید و عمدتاً در بخش تحتانی تمرکز یافته است. کانی‌های سولفیدی بخش مگنتیت تحتانی شامل پیروتیت، پنتلاندیت، کالکوپیریت، پیریت و کالکوپیروتیت هستند. پیروتیت جز کانی‌های اولیه کانسار بوده و به سه صورت دانه‌ای کاملاً سالم، انکلوزیون درون مگنتیت و پیریت و در حال دگرسانی به مگنتیت و پیریت دیده می‌شود. پیریت همراه مگنتیت به چهار صورت دانه‌ای، همرشد با مگنتیت، رگه‌ای و کلوئیدی بی‌شکل به نام ملنیکویت تشکیل شده است و کالکوپیریت به طور ثانویه فضای بین پیریت‌ها را پرکرده است.