



دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی معدن

پایان نامه
جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
در رشته: مهندسی معدن

عنوان:

**بررسی تأثیر اندازه و میزان گلوله مصرفی بر عملکرد آسیای نیمه خودشکن
مجتمع مس سونگون**

استاد راهنما:
دکتر فرزادگان
دکتر عبدالله زاده

به وسیله:
صدیف محمدی

آذرماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که محبت‌های آنها همواره مایه دلگرمی و قوت قلب من بوده است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله بر خود لازم می دانم از همیاری و همکاری اساتید محترم دانشگاه کاشان و همینطور پرسنل محترم شرکت ملی مس در امور مربوط به انجام پروژه های تحقیقاتی که در کلیه مراحل انجام این پروژه کمک رسان اینجانب بودند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

ابتدا تشکر فراوان از اساتید راهنمای خود یعنی جناب آقای دکتر اکبر فرزنانگان و دکتر عبدالله زاده بدلیل راهنمایی در انجام این پروژه را دارم. ضمناً لازم است از جناب دکتر پرویز پورقهرمانی ریاست محترم دانشکده معدن دانشگاه صنعتی سهند تشکر ویژه بخاطر راهنمایی های خوبشان داشته باشم.

همچنین از پرسنل محترم واحد تحقیقات مس سرچشمه و در رأس آنها از جناب مهندس یار احمدی ریاست محترم بخش فرآوری مواد معدنی و آقای مهندس حسینی به خاطر همکاریشان در این زمینه صمیمانه سپاسگزارم.

از جناب آقای مهندس اصغر باقریان رئیس بخش متالورژی واحد نیمه صنعتی مجتمع مس سونگون و آقای مهندس علیزاده خیاط، مسئول آزمایشگاه این واحد بخاطر اخلاق خوب و همکاری بموقعی که این عزیزان در طول مدت انجام این پروژه داشتند بسیار سپاسگزارم.

از دوست عزیزم آقای حامد دهقانی نیز بخاطر کمک رسانی در این مدت تشکر می کنم.

در پایان از جناب آقای دکتر عباس اقبالی که بعنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده اند سپاسگزاری می نمایم.

با تشکر

صدیف محمدی

۸۹-۹۰

چکیده

در آسیاهای نوع نیمه خودشکن برعکس نوع خودشکن صرفاً از خود ماده معدنی جهت خردایش استفاده نمی شود و مقداری واسطه خردایش (گلوله) به آنها اضافه می شود. این مقدار بسته به شرایط کاری می تواند بین ۵ الی ۱۵ درصد از حجم داخلی آسیا را اشغال کند. از آنجائیکه هزینه های زیادی صرف بهینه کردن گلوله های فلزی و نیز آسترهای داخلی این نوع آسیاها که در اثر ضربه گلوله ها آسیب می بینند، می شود لذا همواره سعی بر آنست که با بهینه کردن اندازه گلوله ها و درصد پرشدگی آنها از اتلاف این نوع هزینه های جانبی جلوگیری کرد.

در پروژه پیش رو به بررسی عملکرد آسیای نیمه خودشکن مجتمع مس سونگون و مشکلات موجود در روند خردایش مطلوب آن پرداخته شده است تا ضمن بررسی شرایط عملیاتی آسیا، ارتباط این شرایط با میزان پرشدگی بار خرد کننده و اندازه بار خرد کننده تعیین شود. در راستای نیل به این هدف اقدام به سه مرحله نمونه برداری از مسیرهای مربوط به آسیای نیمه خودشکن در زمانهای مختلف شد. به منظور بررسی رفتار خردایش نمونه ها، آزمایشهای تکمیلی نظیر دانه بندی جریانهای نمونه برداری شده، اندازه گیری درصد جامد هر یک از نمونه های تهیه شده، تعیین اندیس کار گلوله ای باند، مشخص نمودن مقاومت نمونه ها در برابر خردایش ضربه ای به روش بار افتان و آزمایش اندیس سایش انجام گرفت. ناگفته نماند که داده های ثبت شده در اتاق کنترل نیز همواره در بررسی ها و نتیجه گیری ها مورد توجه قرار گرفته است. توابع شکست و انتخاب بصورت تجربی اندازه گیری شدند تا در نرم افزار MODSIM مورد استفاده قرار گیرند. بر اساس بررسی های بعمل آمده مشخص شد که با سخت تر شدن خوراک ورودی ظرفیت مدار خردایش کاهش یافته و محصولی با نرمه زیاد تولید می شود که در این مورد ایجاد و تجمع ذرات با ابعاد بحرانی نقش مهمی در رخداد مشکلات بوجود آمده ایفا می کند. نتایج حاصل از شبیه سازی بوضوح نشان داد که در مواجهه با مشکلات ایجاد شده بهتر است بجای تغییر در اندازه گلوله ها و بزرگتر کردن آنها که شکسته شدن آسترها و شبکه ها را در پی دارد، درصد انباشتگی گلوله ها تا حد بیشینه آن (۱۵٪) افزایش یابد و بخصوص در مورد خوراک سخت از ماکزیمم انباشتگی گلوله استفاده شود.

از طرفی بکارگیری یک واحد سنگ شکن مخروطی در مسیر بار درگردش با اعمال تغییر در اندازه روزنه های سرند ارتعاشی و اندازه روزنه های شبکه آسیا، توسط نرم افزار شبیه ساز با کاهش ۲۲/۲۵ درصدی تناژ بار درگردش در مواجهه با خوراک سخت و کاهش ۵۴/۷۴ درصدی آن در مواجهه با خوراک نرم همراه بود که این تغییرات نشان دهنده تأثیر بسیار مثبت اینگونه سیستمها در مدار خردایشی آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن با اعمال تغییرات صورت گرفته، می باشد.

کلمات کلیدی: خردایش ، آسیای نیمه خودشکن ، گلوله ، درصد پرشدگی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه.....	۱

فصل اول: معرفی مجتمع مس سونگون

۱-۱- موقعیت جغرافیایی معدن مس سونگون.....	۲
۱-۲- زمین شناسی کانسار مس سونگون و اکتشاف و استخراج آن.....	۳
۱-۳- معرفی کارخانه پریارکنی مجتمع مس سونگون.....	۵
۱-۴- ناحیه خردایش کارخانه تغلیظ مس سونگون.....	۷
۱-۴-۱- آسیای نیمه خودشکن کارخانه تغلیظ مس سونگون.....	۸
۱-۴-۱-۱- مشخصات آسیای نیمه خودشکن کارخانه تغلیظ مس سونگون.....	۸
۱-۴-۲- سرندهای ارتعاشی.....	۹
۱-۴-۳- مخزن پمپ خوشه سیکلون های اولیه.....	۹
۱-۴-۴- خوشه سیکلون های اولیه.....	۹
۱-۴-۵- آسیاهای گلوله ای اولیه کارخانه تغلیظ مس سونگون.....	۱۰
۱-۴-۵-۱- مشخصات آسیاهای گلوله ای کارخانه تغلیظ مس سونگون.....	۱۱

فصل دوم: مطالعات تئوریک در زمینه طراحی و فرآیند خردایش در آسیاهای

خودشکن و نیمه خودشکن

۱-۲- طراحی آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن.....	۱۲
۲-۲- طراحی مدار آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن.....	۱۴
۲-۳- کارکرد آسیای خودشکن و نیمه خودشکن.....	۱۷
۲-۳-۱- اندازه خوراک.....	۱۷
۲-۳-۲- حجم آسیا.....	۱۸
۲-۳-۳- بار آسیا.....	۱۹
۲-۳-۴- سرعت آسیا.....	۲۰
۲-۳-۵- طول مفید آسیاکنی.....	۲۰
۲-۳-۶- ساییدگی گلوله ها.....	۲۱
۲-۴- توان آسیای خودشکن و نیمه خودشکن.....	۲۱

- ۲-۵- توان نرمالیزه شده (نسبی) آسیا ۲۶
- ۲-۶- توان خالص و توان حالت بی بار ۲۷
- ۲-۷- توان آسیا، بار و عملکرد آن ۲۸
- ۲-۸- انتخاب آسیای خودشکن یا نیمه خودشکن ۲۹
- ۲-۹- مقایسه نرم کنی نوع خودشکن با سایر روش های خردایش ۳۰
- ۲-۹-۱- مقایسه مدارهای نیمه خودشکن - گلوله ای با مدارهای میله ای - گلوله ای ۳۰
- ۲-۹-۱-۱- از لحاظ جانمایی و تجهیزات مکانیکی ۳۰
- ۲-۹-۱-۲- از نظر عملیاتی ۳۲
- ۲-۱۰- مقایسه آسیای خودشکن با نیمه خودشکن ۳۳
- ۲-۱۱- مکانیزم خردایش در آسیاهای خودشکن و نیمه خود شکن ۳۴
- ۲-۱۲- عوامل مؤثر بر فرآیند خردایش در آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن ۳۵
- ۲-۱۲-۱- رفتار دینامیکی آسیا (رابطه توان کشی، بار و نرخ خوراک) ۳۵
- ۲-۱۲-۲- تأثیر ابعاد ذرات خوراک ۳۶
- ۲-۱۲-۳- تأثیر سرعت دوران آسیا ۳۷
- ۲-۱۲-۴- تأثیر اندازه و میزان گلوله ۴۰
- ۲-۱۲-۵- تأثیر سختی ماده معدنی ۴۲
- ۲-۱۳- عملکرد گلوله ها و روند تبدیل فرآیند تمام خودشکنی به نیمه خودشکنی ۴۳
- ۲-۱۳-۱- تأثیر قرار دادن سنگ شکنی در مسیر بسته با آسیا ۴۳
- ۲-۱۴- عوامل مؤثر بر طراحی گلوله ۴۵
- ۲-۱۴-۱- تأثیر گلوله بر عملکرد آسیای نیمه خودشکن ۴۶

فصل سوم: مروری بر مطالعات و تحقیقات انجام شده قبلی

- ۳-۱- مقدمه ۴۸
- ۳-۲- ارزیابی کارایی مدار خردایش و طبقه بندی اولیه کارخانه فرآوری معدن مس سونگون و ارائه راهکار عملی جهت بهبود عملکرد آن ۴۸
- ۳-۳- بررسی کارایی مدار آسیاکنی کارخانه جدید پرعیارکنی مجتمع مس سرچشمه ۵۰
- ۳-۴- تعیین میزان بهینه گلوله به آسیای نیمه خودشکن مجتمع مس سرچشمه ۵۱

فصل چهارم: نمونه برداری و انجام آزمایش ها

- ۴-۱- طراحی فضای نمونه برداری ۵۴

- ۴-۲- محل تهیه نمونه از خوراک آسیای نیمه خودشکن..... ۵۵
- ۴-۳- محل نمونه گیری از جریان پالپ خروجی آسیای نیمه خودشکن ۵۶
- ۴-۴- مشخصات نمونه گیر جریان خروجی آسیای نیمه خودشکن ۵۶
- ۴-۵- نحوه استفاده از نمونه گیر جریان خروجی آسیای نیمه خودشکن ۵۷
- ۴-۶- نمونه برداری و انجام آزمایش ها ۵۸
- ۴-۶-۱- تعیین وزن بهینه نمونه های مورد نیاز با استفاده از اطلاعات قبلی ۵۸
- ۴-۶-۲- نمونه برداری ۶۱
- ۴-۶-۳- آماده سازی نمونه ها ۶۲
- ۴-۷- آزمایش تعیین اندیس کار گلوله ای باند ۶۳
- ۴-۸- آزمون بار افتان ۶۵
- ۴-۸-۱- نحوه انجام آزمایش بار افتان (شکست ضربه ای)..... ۶۶
- ۴-۹- آزمایش شکست سایشی ۶۸
- ۴-۱۰- آزمایش تابع شکست و تابع انتخاب ۷۰
- ۴-۱۰-۱- روش انجام آزمایش ۷۰
- ۴-۱۰-۲- روش Berube ۷۱
- ۴-۱۰-۳- روش H&F (Herbst & Fuerstenau) ۷۲
- ۴-۱۰-۴- روش اصلاح شده H&F ۷۴

فصل پنجم: ارائه نتایج و بحث

- ۵-۱- بررسی وضعیت کاری و دانه بندی خوراک و خروجی آسیای نیمه خودشکن ۷۵
- ۵-۲- نتایج بدست آمده از آزمایش بار افتان ۸۱
- ۵-۲-۱- آماده سازی نمونه ها جهت انجام تست بار افتان ۸۱
- ۵-۳- شبیه سازی مدار خردایش آسیای نیمه خودشکن با استفاده از نرم افزارهای موجود ۸۹
- ۵-۳-۱- مقدمه ۸۹
- ۵-۳-۲- انجام آزمایشات لازم برای تعیین پارامترهای مورد نیاز جهت بکارگیری در نرم افزار MODSIM ۹۰
- ۵-۳-۳-۱- آزمایشات مربوط به تابع شکست و تابع انتخاب..... ۹۰
- ۵-۳-۳-۲- نتایج بدست آمده از آزمایش تابع شکست و تابع انتخاب ۹۰
- ۵-۳-۳-۳- پارامترهای حاصل از آزمایش بار افتان ۹۹
- ۵-۳-۳-۴- تعیین پارامترهای مربوط به شکست سایشی..... ۱۰۰
- ۵-۳-۳-۵- پارامترهای مربوط به انرژی مورد نیاز برای شکست ذره ۱۰۱
- ۵-۳-۳-۶- پارامترهای هندسی آسیای شبیه سازی شده و آسیای آزمایشگاهی ۱۰۳
- ۵-۳-۳-۳- نتایج بدست آمده از شبیه سازی با نرم افزار MODSIM ۱۰۳
- ۵-۳-۳-۱- نتایج بدست آمده از شبیه سازی برای خوراک مرحله دوم نمونه برداری ۱۰۴

۱۰۵..... ۲-۳-۳-۵- نتایج بدست آمده از شبیه سازی برای خوراک مرحله سوم نمونه برداری

۱۰۷..... ۳-۳-۳-۵- بررسی تأثیر پارامترهای فیزیکی و عملیاتی بر روی نتایج شبیه سازی

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۱۶..... ۱-۶- نتیجه گیری

۱۱۸..... ۲-۶- پیشنهادات

۱۱۹..... منابع و مراجع

۱۲۱..... پیوست ها

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۵۸.....	جدول (۱-۴): ماکزیمم اندازه ذرات در نمونه های برداشت شده بر مبنای ۰.۹۵٪ عبوری
۶۰.....	جدول (۲-۴): تغییر مقدار ضریب درجه آزادی (b) برای حالات مختلف
۶۰.....	جدول (۳-۴): حداقل مقدار نمونه معرف برای بخش های مختلف
۶۱.....	جدول (۴-۴): وزن جامد نمونه های تهیه شده در مراحل سه گانه نمونه برداری
۶۴.....	جدول (۵-۴): ترکیب ابعادی و تعداد گلوله های مورد استفاده در تعیین اندیس کار باند
۶۵.....	جدول (۶-۴): تقسیم بندی سنگ ها به بازه های مختلف از دیدگاه باند
۶۷.....	جدول (۷-۴): فراکسیون های ابعادی و دامنه انرژی پیشنهادی بر حسب kWh/ton برای انجام آزمایشات سقوط وزنه افتان، ارائه شده توسط مرکز تحقیقاتی JKMR
۷۰.....	جدول (۸-۴): طبقه بندی سنگ بر اساس آزمایش های بار افتان و سایش ارائه شده توسط مرکز JKMR
۷۵.....	جدول (۱-۵): خلاصه ای از شرایط عملیاتی آسیای نیمه خودشکن در طی چهار مرحله نمونه برداری از مدار
۷۹.....	جدول (۲-۵): مشخصات حاصل از آنالیز دانه بندی نمونه های تهیه شده از خوراک، محصول و ریجکت آسیای نیمه خودشکن در سه مرحله نمونه برداری
۸۶.....	جدول (۳-۵): محاسبه t_{10} از روی نمودارهای دانه بندی رسم شده و با توجه به یک دهم میانگین هندسی دامنه ابعادی برای خوراک مرحله اول نمونه برداری
۸۷.....	جدول (۴-۵): محاسبه t_{10} از روی نمودارهای دانه بندی رسم شده و با توجه به یک دهم میانگین هندسی دامنه ابعادی برای خوراک مرحله دوم نمونه برداری
۸۸.....	جدول (۵-۵): محاسبه t_{10} از روی نمودارهای دانه بندی رسم شده و با توجه به یک دهم میانگین هندسی دامنه ابعادی برای خوراک مرحله سوم نمونه برداری
۹۲.....	جدول (۶-۵): مقادیر A و b محاسبه شده برای نمونه های مورد مطالعه
۹۳.....	جدول (۷-۵): مقادیر تابع شکست غیر تجمعی محاسبه شده توسط نرم افزار BFDS برای خوراک مرحله دوم
۹۸.....	جدول (۸-۵): مقادیر تابع شکست غیر تجمعی محاسبه شده توسط نرم افزار BFDS برای خوراک مرحله سوم
۹۹.....	جدول (۹-۵): مقادیر تابع انتخاب هر یک از سرندها، بدست آمده از نرم افزار BFDS برای خوراکیهای مورد مطالعه
۱۰۰.....	جدول (۱۰-۵): محاسبه پارامترهای مورد نیاز از روی نمودارهای شکل (۵-۲۱) جهت بکارگیری در مدل آستین

- جدول (۵-۱۱): مقادیر A و b و مدل t_{10} بر حسب E_{cs} برای نمونه های مورد مطالعه ۹۹
- جدول (۵-۱۲): مقادیر پارامترهای بدست آمده از انجام آزمایش سایش بر روی دو نمونه نرم و سخت ۱۰۱
- جدول (۵-۱۳): مقادیر پارامترهایی که انرژی ویژه متوسط شکست ذره را با ابعاد ذره برای تعدادی از کانیه های رایج مرتبط می کند. (Tavares & King, 1998) ۱۰۲
- جدول (۵-۱۴): نتایج حاصل از شبیه سازی توان مصرفی، زمان ماند و تناژ ریجکت توسط نرم افزار MODSIM ۱۰۷
- جدول (۵-۱۵): نتایج حاصل از تاثیر هر یک از پارامترهای عملیاتی بر روی عملکرد مدار خردایش در مواجهه با خوراک سخت ۱۰۸
- جدول (۵-۱۶): نتایج حاصل از تاثیر هر یک از پارامترهای عملیاتی بر روی عملکرد مدار خردایش در مواجهه با خوراک نرم ۱۰۸
- جدول (۵-۱۷): تاثیر همه پارامترها بصورت یکجا در روند خردایشی مدار، در مواجهه با خوراک سخت و نرم ۱۱۳
- جدول (۵-۱۸): تاثیر بکارگیری سنگ شکن مخروطی در مسیر بار در گردش مدار، در مواجهه با خوراک سخت و نرم ۱۱۴

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱): نمایی از مجتمع معدن مس سونگون	۲
شکل (۲-۱): پله های استخراجی معدن مس سونگون و عملیات استخراجی در آنها	۴
شکل (۳-۱): نمای بیرونی کارخانه فرآوری معدن مس سونگون	۵
شکل (۴-۱): نمای درونی کارخانه فرآوری معدن مس سونگون	۶
شکل (۵-۱): مدار کلی تغلیظ مجتمع مس سونگون	۶
شکل (۶-۱): مدار خردایش اولیه مجتمع مس سونگون	۷
شکل (۷-۱): نمایی از آسیای نیمه خودشکن مجتمع مس سونگون	۸
شکل (۸-۱): نمایی از خوشه هیدروسیکلونها در مدار خردایش اولیه	۱۰
شکل (۹-۱): نمایی از آسیاهای گلوله ای مجتمع مس سونگون	۱۱
شکل (۱-۲): آسیای نیمه خودشکن با نسبت قطر به طول بالا	۱۳
شکل (۲-۲): آسیای نیمه خودشکن مربعی شکل با نسبت طول و قطر مساوی	۱۳
شکل (۳-۲): آسیای نیمه خودشکن همراه با یک سنگ شکن مخروطی جهت خردایش بار برگشتی	۱۵
شکل (۴-۲): آسیای نیمه خودشکن در مدار بسته با هیدروسیکلون	۱۵
شکل (۵-۲): دو نوع چیدمان آسیاهای نوع خودشکن با آسیاهای گلوله ای	۱۶
شکل (۶-۲): توزیع نرخ شکست برای بخش های ابعادی مختلف ذرات در سرعت های ۵۵ تا ۷۰ درصد سرعت بحرانی	۱۸
شکل (۷-۲): آسیای نیمه خودشکن پن کیکی با قسمت های مخروطی نامتقارن	۱۹
شکل (۸-۲): حرکت ذرات درون یک آسیای لوله ای مدل شده توسط Austin و Hogg & Fuerstenau	۲۴
شکل (۹-۲): رابطه بین بار آسیا و توان نسبی در دو بارگذاری مختلف	۲۷
شکل (۱۰-۲): جانمایی تجهیزات مربوط به مدار خردایشی میله ای - گلوله ای	۳۱
شکل (۱۱-۲): جانمایی تجهیزات مربوط به مدار خردایشی خودشکن - گلوله ای	۳۱
شکل (۱۲-۲): مکانیزم های اصلی شکست	۳۵
شکل (۱۳-۲): رفتار دینامیکی آسیا	۳۵
شکل (۱۴-۲): توزیع دانه بندی دو خوراک متفاوت با F ₈₀ یکسان	۳۶
شکل (۱۵-۲): رابطه سرعت بحرانی با ارتفاع باربری	۳۸
شکل (۱۶-۲): تاثیر سرعت آسیا بر آهنگ خردایش	۳۹
شکل (۱۷-۲): تاثیر نرخ ماندگی پالپ بر نرخ جریان	۳۹
شکل (۱۸-۲): تاثیر حجم گلوله ها بر آهنگ خردایش	۴۱
شکل (۱۹-۲): تاثیر ابعاد گلوله ها بر آهنگ خردایش	۴۱

- شکل (۲-۲): چیدمان مداری با ترکیب آسیای نیمه خودشکن، آسیای گلوله ای و HPGR ۴۵
- شکل (۱-۴): نحوه برداشت نمونه از محصول خروجی آسیای نیمه خودشکن ۶۲
- شکل (۲-۴): آسیای مورد استفاده برای تعیین اندیس کار گلوله ای باند در آزمایشگاه مجتمع مس سونگون ۶۳
- شکل (۳-۴): دستگاه بار افتان ساخته شده در آزمایشگاه کانه آرائی دانشگاه صنعتی سهند ۶۵
- شکل (۴-۴): منحنی تغییرات سطوح مختلف انرژی و مقادیر t_{10} بدست آمده ۶۸
- شکل (۵-۴): آسیای آزمایشگاهی برای انجام تست سایشی بر روی مواد معدنی ۶۹
- شکل (۱-۵): نمودار دانه بندی خوراک، محصول خروجی و بار در گردش آسیای نیمه خودشکن در مرحله اول نمونه برداری ۷۷
- شکل (۲-۵): نمودار دانه بندی خوراک، محصول خروجی و بار در گردش آسیای نیمه خودشکن در مرحله دوم نمونه برداری ۷۷
- شکل (۳-۵): نمودار دانه بندی خوراک، محصول خروجی و بار در گردش آسیای نیمه خودشکن در مرحله سوم نمونه برداری ۷۸
- شکل (۴-۵): مقایسه دانه بندی خوراک و محصول خروجی آسیای نیمه خودشکن برای سه مرحله نمونه برداری ۷۹
- شکل (۵-۵): مقایسه دانه بندی خوراک آسیای نیمه خودشکن برای سه مرحله نمونه برداری ۸۱
- شکل (۶-۵): آماده سازی نمونه جهت انجام تست بار افتان در دانشگاه صنعتی سهند ۸۲
- شکل (۷-۵): تقسیم نمونه مورد آزمایش به پنج فراکسیون ابعادی و سه سطح انرژی ۸۲
- شکل (۸-۵): شکست نمونه ها در دستگاه بار افتان در دانشگاه صنعتی سهند ۸۳
- شکل (۹-۵): نمونه های مورد آزمایش بعد از شکست توسط دستگاه بار افتان ۸۳
- شکل (۱۰-۵): نمودارهای دانه بندی مربوط به محصول خرد شده در فراکسیونهای مختلف ابعادی مربوط به خوراک مرحله اول نمونه برداری ۸۴
- شکل (۱۱-۵): نمودارهای دانه بندی مربوط به محصول خرد شده در فراکسیونهای مختلف ابعادی مربوط به خوراک مرحله دوم نمونه برداری ۸۵
- شکل (۱۲-۵): نمودارهای دانه بندی مربوط به محصول خرد شده در فراکسیونهای مختلف ابعادی مربوط به خوراک مرحله سوم نمونه برداری ۸۶
- شکل (۱۳-۵): نمودار $(E_{cs} - t_{10})$ مربوط به خوراک مرحله اول نمونه برداری ۸۷
- شکل (۱۴-۵): نمودار $(E_{cs} - t_{10})$ مربوط به خوراک مرحله دوم نمونه برداری ۸۷
- شکل (۱۵-۵): نمودار $(E_{cs} - t_{10})$ مربوط به خوراک مرحله سوم نمونه برداری ۸۸
- شکل (۱۶-۵): نتایج مربوط به تابع شکست و تابع انتخاب برای خوراک مرحله دوم نمونه برداری ۹۲
- شکل (۱۷-۵): توزیع دانه بندی حاصل از ضربه و شکاف پذیری و نحوه تعیین پارامترهای لازم ۹۴
- شکل (۱۸-۵): نمودار تابع انتخاب $k(dp)$ بر حسب ابعاد ذره (dp) به منظور تعیین پارامترهای تابع انتخاب در مدل آستین (Austin) ۹۵

- شکل (۵-۱۹): نمودار مربوط به نرخ ویژه شکست (تابع انتخاب) بر حسب ابعاد ذرات داخل آسیای نیمه خودشکن ۹۶
- شکل (۵-۲۰): نمودار مربوط به نرخ ویژه شکست (تابع انتخاب) بر حسب ابعاد ذرات داخل آسیای نیمه خودشکن ۹۷
- شکل (۵-۲۱): نمودار مربوط به نرخ ویژه شکست (تابع انتخاب) بر حسب ابعاد ذرات داخل آسیای نیمه خودشکن ۹۸
- شکل (۵-۲۲): منحنی شماتیک دانه بندی نرمال شده (نسبت به میانگین هندسی ابعاد اولیه) محصول آزمایش شکست سایشی ۱۰۰
- شکل (۵-۲۳): نمودار دانه بندی نرمال شده ذرات حاصل از انجام آزمایش سایش برای دو نمونه سخت و نرم ۱۰۱
- شکل (۵-۲۴): نتایج حاصل از شبیه سازی برای خوراک مرحله دوم نمونه برداری در شرایط اولیه ۱۰۵
- شکل (۵-۲۵): نتایج حاصل از شبیه سازی برای خوراک مرحله سوم نمونه برداری در شرایط اولیه ۱۰۶
- شکل (۵-۲۶): تأثیر همه پارامترها بصورت یکجا در روند خردایشی مدار در مواجهه با خوراک سخت ۱۱۱
- شکل (۵-۲۷): تأثیر همه پارامترها بصورت یکجا در روند خردایشی مدار در مواجهه با خوراک نرم ۱۱۲
- شکل (۵-۲۸): تأثیر بکارگیری سنگ شکن مخروطی در مسیر بار در گردش مدار در مواجهه با خوراک نرم ۱۱۴
- شکل (۵-۲۹): تأثیر بکارگیری سنگ شکن مخروطی در مسیر بار در گردش مدار در مواجهه با خوراک سخت ۱۱۵

مقدمه

در حال حاضر بیشترین انرژی کارخانه های فرآوری در بخش های مربوط به آسیاکنی به مصرف می رسد به همین دلیل همواره سعی بر اینست که با ارائه روش های جدید، از انرژی مصرفی فوق حداکثر استفاده بعمل آید.

با بررسی اجمالی بر روی معادن بزرگ می توان فهمید که در دهه های اخیر اکثر پروژه های آسیاکنی جدید از تکنولوژی آسیاکنی خودشکن و یا نیمه خودشکن استفاده کرده اند. در واقع استفاده از این نوع آسیاها بدلیل بکارگیری خود ماده معدنی بعنوان واسطه خردایش و در نتیجه افزایش ظرفیت نرم کنی و همچنین وارد نشدن مواد خارجی به ماده معدنی و آلوده نشدن آن و بطور کلی کاهش قابل توجه هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی، عمومیت یافته است. بعلاوه استفاده از آسیاهای خودشکن اثرات مطلوب در کنترل شیمی و پتانسیل پالپ در فرآیند فلوتاسیون داشته است.

معمولاً در مدارهایی که از آسیاهای خودشکن یا نیمه خودشکن استفاده می شود ظرفیت کارخانه تابع ظرفیت این آسیاها می باشد. لذا هر چه این آسیاها با تناژ ثابتی به کار خود ادامه دهند مدار در حالت پایدار قرار گرفته و با مشکلات کمتری در فرآیندهای پایین دست روبرو خواهیم شد.

این تحقیق که جهت بررسی تأثیر اندازه و میزان گلوله بکار گرفته شده در آسیای نیمه خودشکن مجتمع مس سونگون انجام شده، بطور کلی در شش فصل تدوین شده است؛ ابتدا در فصل اول معدن و مدار خردایش اولیه معدن مس سونگون معرفی می شود. در فصل دوم کلیاتی در ارتباط با نحوه کارکرد آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن و پارامترهای موثر بر عملکرد مطلوب آنها توضیح داده خواهد شد. در فصل سوم پروژه های قبلی انجام شده در ارتباط با آسیاهای نیمه خودشکن معرفی می شوند. در فصل چهارم توضیح کاملی از مشخصات مربوط به نمونه برداری های انجام شده به همراه آزمایشهای صورت گرفته از قبیل دانه بندی، اندیس باند، آزمایش بار افتان و غیره جهت تعیین مشخصات نمونه های گرفته شده و استفاده از پارامترهای بدست آمده در شبیه ساز بکار گرفته شده، آورده می شود. در فصل پنجم ضمن بیان مشخصات آزمایش ها و شبیه سازی های انجام شده، تحلیل و تفسیر نتایج بدست آمده بیان خواهد شد. نهایتاً در فصل ششم نتایج و پیشنهادات کلی پروژه مبنی بر بهبود روند خردایش در آسیای نیمه خودشکن آورده می شود.

فصل ۱: معرفی مجتمع مس سونگون

۱-۱- موقعیت جغرافیایی معدن مس سونگون

معدن مس سونگون در استان آذربایجان شرقی، ۱۳۰ کیلومتری شمال شرقی تبریز، ۷۵ کیلومتری شمال غرب اهر و ۳۰ کیلومتری شمال ورزقان در همسایگی جمهوری آذربایجان و ارمنستان قرار دارد.

مختصات جغرافیایی منطقه، ۴۶ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی می باشد [۱].

کانسار مس سونگون در یک منطقه کوهستانی، با ارتفاع متوسط ۲۰۰۰ متر بالای سطح دریا و در بخشی از رشته کوههای قره داغ قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع محدوده معدن از سطح دریا ۲۷۰۰ متر می باشد. رودخانه های پخیر و سونگون در منطقه معدن جریان دارند که پس از پیوستن به رودخانه میان کافه، رودخانه ایلگینه چای را تشکیل می دهند. راه دسترسی اصلی معدن از طریق جاده آسفالته تبریز - ورزقان - سونگون می باشد. راه دسترسی دوم از طریق جاده تبریز - اهر - ورزقان می باشد. شکل (۱-۱) نمایی از مجتمع مس سونگون را نشان می دهد.



شکل (۱-۱): نمایی از مجتمع معدن مس سونگون

۱-۲- زمین شناسی کانسار مس سونگون و اکتشاف و استخراج آن

بطور کلی کانسار مس سونگون در زون آتشفشانی ارومیه - دختر که بخشی از کمربند متالوژنی آلپ - هیمالیا است، قرار دارد. این کانسار از کانسارهای پرفیری نوع مونزونیتی است که در یک کمربند تکتونیکی زون فرورانش حاشیه قاره ای به سن ترشیاری قرار گرفته است. سطح توده کانسار در شبکه اکتشافات تفضیلی حدود یک کیلومتر مربع می باشد.

این کانسار از نوع نهشته های پرفیری مس بوده و رگچه های پرعیار در توده نیمه عمیق مونزونیت پرفیری متمرکز شده اند. سنگهای درونگیر این توده مونزونیتی را واحدهای آهکی کرتاسه بالا و سری های ولکانیکی آندزیتی - لایتیتی تشکیل داده اند.

در طی فرآیند کانی زایی انواع کانی های سولفیدی، فلزات اصلی و اکسیدها بوجود آمده اند. کانی های سولفیدی موجود شامل پیریت، مولیدنیت، گالن، اسفالریت، مارکازیت، پیروتیت و سولفیدهای مس (کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و کولیت) می باشند. فلزات اصلی شامل طلا و نقره و اکسیدها شامل ایلمنیت، روتیل، مگنتیت و گوتیت می باشند. همانند سایر معادن پرفیری سه زون فروشست، سوپرژن و هیپوژن در معدن مس سونگون قابل رویت می باشد. ضخامت زون فروشست از ۲۰ تا ۱۵۰ متر در نوسان بوده و زون سوپرژن دارای ضخامت متغیر از صفر تا ۲۰۰ متر می باشد. ضخامت بخش هیپوژن تا حدود ۶۰۰ متر برآورد شده است که کانی زایی سولفور به دو بخش سوپرژن و هیپوژن محدود می باشد [۱].

از زون های دگرسانی موجود در کانسار سونگون می توان به زون پتاسیک، پروپیلیتیک، کوارتز، سریسیت و آرژیلیک اشاره نمود. دگرسانی غالب در توده معدنی، کوارتز - سریسیتی است و بعد از آن آلتراسیون آرژیلیتی عمدتاً در قسمتهای بالای مواد معدنی و حواشی توده کانسار مشاهده شده است.

فعالیت های اکتشافی انجام شده بر روی کانسار مس سونگون شامل حفر بیش از ۶۰۰۰۰ متر گمانه اکتشافی و ۷ تونل با مترژ کل ۲۴۲۴/۲۵ متر منجر به ارائه نتایج زیر شده است [۱].

- ❖ ذخیره قطعی کانسار حدود ۷۹۶ میلیون تن با عیار ۰/۶۱ درصد برآورد شده است.
- ❖ ذخیره قابل استخراج حدود ۳۸۸ میلیون تن با عیار ۰/۶۱ درصد برآورد شده است.
- ❖ کل ذخیره اکسیده کانسار حدود ۶/۷ میلیون تن برآورد شده است.
- ❖ عمر معدن بر اساس برنامه ریزی های بلند مدت و کوتاه مدت ۳۱ سال در نظر گرفته شده است.

با توجه به مشخصات کانسار و بدلیل تولید بالا و لزوم استفاده از ماشین آلات عظیم الجثه، استخراج معدن مس سونگون به روش روباز (Open Pit) طراحی شده است.

پارامترهای طراحی پیت نهایی معدن مس سونگون با انجام مطالعات تکمیلی و با استفاده از نرم افزارهای پیشرفته بشرح زیر می باشد [۱]:

- ❖ روش استخراج معدن بر اساس طرح نهایی : روش روباز (Open Pit)
- ❖ بالاترین نقطه معدن : تراز ۲۳۵۰ متر
- ❖ کف نهایی معدن : تراز ۱۶۲۵ متر
- ❖ مساحت پیت نهایی : حدود ۸۰۰ هزار متر مربع
- ❖ تناژ باطله برداری : ۶۸۶ میلیون تن
- ❖ نسبت باطله به ماده معدنی : ۱/۶۳
- ❖ عیار متوسط سنگ معدن قابل استخراج : ۰/۶۱ درصد
- ❖ شیب کلی معدن : ۳۷ درجه
- ❖ شیب پله های عملیاتی : ۶۳ درجه
- ❖ ارتفاع پله های معدن : ۱۲/۵ متر
- ❖ تعداد شیفت های کاری معدن : ۳ شیفت
- ❖ تولید معدن در سال اول : ۵ میلیون تن
- ❖ تولید معدن در سالهای دوم تا ششم : ۷ میلیون تن در سال
- ❖ تولید معدن در ۲۵ سال بعدی : ۱۴ میلیون تن در سال



شکل (۱-۲): پله های استخراجی معدن مس سونگون و عملیات استخراجی در آنها

۱-۳- معرفی کارخانه پرعیار کنی مجتمع مس سونگون

کارخانه تغلیظ مس سونگون برای دو فاز طراحی شده است. فاز اول با ظرفیت ۷ میلیون تن خوراک در سال باید ۱۵۰ هزار تن کنسانتره مس با عیار ۳۰ درصد در سال تولید نماید. در فاز دوم ظرفیت خوراک به ۱۴ میلیون تن در سال افزایش خواهد یافت. در فرآیند تغلیظ مس در مجتمع مس سونگون، سنگ معدن پس از خردایش اولیه در سنگ شکن ژیراتوری^۱، در انبار مواد دانه درشت^۲ ذخیره شده و از آنجا با تناژ ۹۰۰ تن در ساعت وارد کارخانه تغلیظ می شود. در کارخانه تغلیظ پس طی فرآیند خردایش ثانویه در آسیای نیمه خودشکن و آسیاهای گلوله ای اولیه، عملیات پرعیارسازی در سلولهای فلوتاسیون انجام و در نهایت کنسانتره مس با عیار ۳۰ درصد بعنوان محصول نهایی به انبار کنسانتره ارسال می گردد. باطله نیز پس از آبرگیری در تیکنر باطله به سد باطله منتقل می شود. نمایی از درون و بیرون این کارخانه را می توان در شکل (۱-۳) و (۱-۴) مشاهده کرد. شکل (۱-۵) هم فلوشیت فرآیند پرعیار سازی مس را در این کارخانه نشان می دهد.

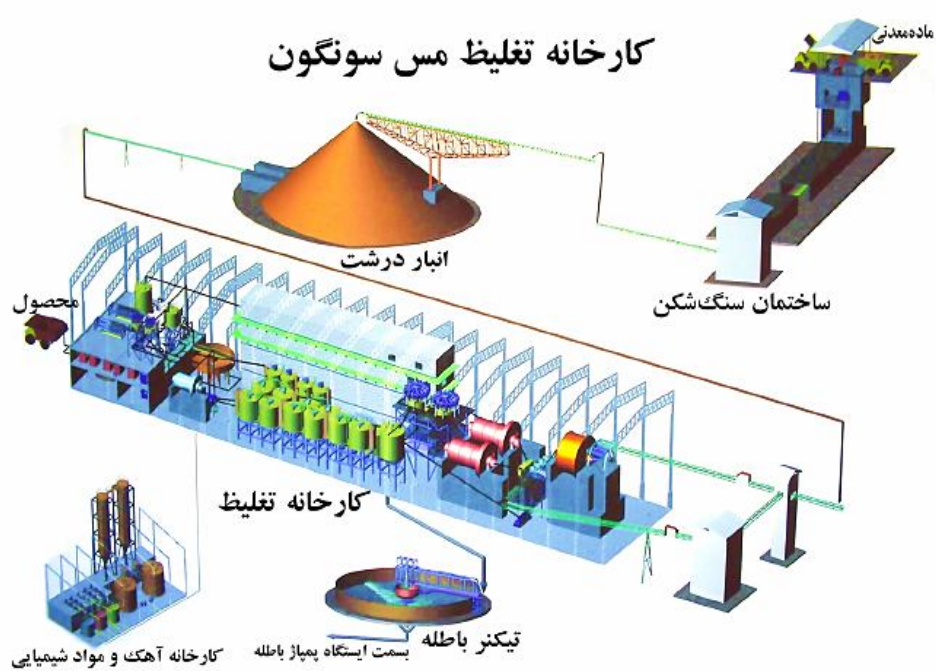


شکل (۱-۳): نمای بیرونی کارخانه فرآوری معدن مس سونگون

-
- 1 Gyrotory Crusher
 - 2 Stock Pile



شکل (۱-۴): نمای درونی کارخانه فرآوری معدن مس سونگون



شکل (۱-۵): مدار کلی تغلیظ مجتمع مس سونگون [۱]