

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی معدن

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی

معدن گرایش فرآوری مواد معدنی

بررسی کارآیی و بهبود فرآیند خردایش و جداکننده‌های
مغناطیسی شدت متوسط خط چهارم تولید کنسانتره شرکت معدنی و
صنعتی گل گهر

مؤلف:

مهدی بازمانده

استاد راهنما:

دکتر عباس سام

مشاور صنعتی:

مهندس احمد اکبری نسب

خرداد ماه ۱۳۹۲

تقدیم به:

خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

و به پدر و مادر عزیزم که عشقشان را در وجودم دمید.

تقدیر و تشکر



از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر عباس سام

به پاس روشنایی بخش ظلمت اندیشه

به پاس تعبیر عظیم و انسانی ایشان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودش که در این سردترین روزگاران

بهترین پشتیبان است بسیار سپاسگزارم.

چکیده

خوراک اولیه خط چهارم تولید کنسانتره شرکت معدنی و صنعتی گل گهر (کارخانه پلی کام) ترکیبی از بار برگشتی تولیدی در مدار آسیاهای خشک نیمه خودشکن خطوط تغلیظ موجود و سنگ آهن استخراجی از معدن به ترتیب با نسبت وزنی ۳۰٪ و ۷۰٪ می باشد. خط چهارم تولید کنسانتره شرکت صنعتی و معدنی گل گهر شامل خردایش در آسیای گلوله ای سرریزشونده و جداکننده مغناطیسی شدت متوسط تر است. نتایج نمونه برداری از جریان های مدار خردایش و پرعیارکنی اولیه نشان می دهد عیار و بازیابی آهن کنسانتره جداکننده مغناطیسی شدت متوسط، ۶۲/۲۶٪ و ۸۶/۷۸٪ می باشد در صورتیکه در طرح به ترتیب، ۶۶/۱۳٪ و ۹۰/۲۴٪ است. اندازه ذرات محصول آسیا (خوراک جداکننده مغناطیسی) در یک دوره دارای $D_{80} = 342\mu$ است که این مقدار درشت تر از مقدار بهینه است. این مسئله به دلیل فرآیند نامناسب آسیاکنی می باشد. جهت بهبود کارایی آسیاکنی، از متغیر افزایش میزان پرشدگی گلوله داخل آسیا استفاده شد. اندازه گیری ها نشان داد که میزان پرشدگی گلوله ۳۲٪ حجمی آسیا است. طی دو مرحله میزان پرشدگی گلوله، ۱٪ و ۱/۶٪ حجمی آسیا افزایش داده شد. نتایج نشان داد متوسط P_{80} از ۳۴۲ میکرون به ۳۲۹ میکرون رسید. بهبود فرآیند آسیاکنی منجر به افزایش کارایی جداکننده MIMS شده به طوریکه عیار آهن و نسبت غنی شدگی آهن کنسانتره به ترتیب ۱/۹٪ و ۲٪ افزایش یافت. با تنظیم آب ورودی به آسیا درصد جامد ۶۸٪ مطلوب ترین آن بدست آمد در این درصد جامد P80 آسیا ۲۰۰ میکرون بدست آمد. درصد جامد بهینه برای جداکننده مغناطیسی با تغییر آب ورودی به آن ۳۵٪ بدست آمد. عدم سیستم طبقه بندی ذرات در خروجی آسیا نیز منجر به کاهش کارایی جداکننده مغناطیسی شده است. طی آزمایش هایی در مقیاس صنعتی دانه بندی مناسب جداکننده ها ۲۱۰ میکرون بدست آمد و هیدروسیکلونی جهت تامین این دانه بندی طراحی گردید. قطر و تعداد هیدروسیکلون به ترتیب ۶۶ سانتی متر ۵ عدد بدست آمد. سیکلون طراحی شده با آسیا در مدار بسته با نرم افزار USIM PAC شبیه سازی شد.

واژه های کلیدی: آسیای گلوله ای، جداکننده MIMS، هیدروسیکلون، نرم افزار USIM PAC.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱- خردایش در آسیاهای گلوله ای.....	۱
۱-۱-۱- عوامل مؤثر بر خردایش آسیاهای گلوله ای.....	۲
۲-۱- هیدروسیکلون.....	۷
۱-۲-۱- طراحی بخش های مختلف هیدروسیکلون.....	۸
۳-۱- عوامل مؤثر بر عملکرد جداکننده های مغناطیسی تر.....	۱۰
۴-۱- معرفی خط چهارم تولید کنسانتره شرکت معدنی و صنعتی گل گهر.....	۱۰
۱-۴-۱- بخش سنگ شکنی.....	۱۰
۲-۴-۱- بخش بار برگشتی.....	۱۲
۳-۴-۱- بخش فرآوری خط چهارم تولید کنسانتره شرکت معدنی و صنعتی گل گهر.....	۱۲
۵-۱- خردایش در آسیای گلوله ای خط چهارم تولید کنسانتره شرکت معدنی و صنعتی گل گهر.....	۱۳
۶-۱- برعیارسازی اولیه خط چهارم تولید شرکت معدنی و صنعتی گل گهر.....	۱۴
۷-۱- مروری بر تحقیقات گذشته.....	۱۴
۸-۱- ضرورت انجام تحقیق.....	۱۴
فصل دوم: روش تحقیق.....	۱۵
۱-۲- بررسی شرایط کنونی مدار.....	۱۵
۲-۲- آزمایش تعیین توزیع زمان ماند.....	۱۵
۳-۲- بررسی و افزایش میزان پرشدگی گلوله داخل آسیا.....	۱۵
۴-۲- تعیین درصد جامد بهینه آسیا.....	۱۶
۵-۲- تعیین دانه بندی مناسب خوراک جداکننده مغناطیسی شدت متوسط.....	۱۶
۱-۵-۲- تغییر دبی ورودی به آسیا.....	۱۶
۲-۵-۲- عیار آهن و گوگرد در بخش های مختلف خوراک و کنسانتره جداکننده شدت متوسط.....	۱۷
۶-۲- تعیین اندازه و طراحی هیدروسیکلون.....	۱۷
۷-۲- شبیه سازی هیدروسیکلون با آسیا در مدار بسته.....	۲۰
۸-۲- تعیین درصد جامد بهینه جداکننده مغناطیسی شدت متوسط.....	۲۰

۲۲	فصل سوم: ارایه نتایج و تحلیل داده ها.....
۲۲	۳-۱- طراحی مجدد آسیای گلوله ای خط چهارم تولید کنسانتره مجتمع گل گهر.....
۲۳	۳-۲- انتخاب اندازه گلوله های آسیای گلوله های خط چهارم تولید کنسانتره مجتمع گل گهر.....
۲۴	۳-۳- بررسی شرایط کنونی جریان های بخش خردایش و جداکننده ی MIMS.....
۲۵	۳-۴- بررسی دانه بندی محصول آسیای گلوله های.....
۲۵	۳-۵- بررسی جریان های کنسانتره و باطله جداکننده MIMS.....
۲۶	۳-۶- موازنه جرم و تعدیل خطاها.....
۲۷	۳-۷- آزمایش تعیین توزیع زمان ماند.....
۲۹	۳-۸- افزایش میزان پرشدگی گلوله.....
۳۰	۳-۹- نسبت خردایش قبل و بعد از اعمال تغییرات.....
۳۲	۳-۱۰- کاهش متوسط دانه بندی محصول آسیا.....
۳۲	۳-۱۱- بررسی کارایی جداکننده MIMS قبل و بعد از اعمال تغییرات.....
۳۴	۳-۱۲- تعیین درصد جامد بهینه آسیای گلوله ای.....
۳۶	۳-۱۳- تعیین دانه بندی بهینه خوراک جداکننده MIMS.....
۳۶	۳-۱۳-۱- تغییر دبی خشک ورودی به آسیای گلوله های.....
۳۹	۳-۱۳-۲- آنالیز بخش های مختلف ابعادی خوراک و کنسانتره جداکننده MIMS.....
۴۱	۳-۱۴- تعیین اندازه هیدروسیکلون.....
۴۳	۳-۱۴-۱- تعیین مشخصات هندسی هیدروسیکلون.....
۴۳	۳-۱۴-۲- شبیه سازی هیدروسیکلون با آسیا با نرم افزار USIM PAC.....
۴۷	۳-۱۴-۳- تعیین مکان مناسب برای هیدروسیکلون.....
۴۹	۳-۱۵- موازنه آب بخش اولیه خط چهارم تولید کنسانتره شرکت معدنی و صنعتی گل گهر.....
۴۹	۳-۱۶- تعیین درصد جامد بهینه جداکننده MIMS.....
۵۱	فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادها.....
۵۱	۴-۱- نتایج.....
۵۳	۴-۲- پیشنهادها.....
۵۶	منابع.....
۵۶	پیوست.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- نحوه ی خردایش ذرات در آسیاهای گردان..... ۱
- شکل ۱-۲- خردایش ذرات در آسیا گلوله ای..... ۲
- شکل ۱-۳- شمای حرکت بار داخل آسیا نسبت به سرعت بحرانی..... ۳
- شکل ۱-۴- شمای حرکت ذرات داخل آسیا در سطوح مختلف بار..... ۴
- شکل ۱-۵- ارتباط حرکت بار داخل آسیا با زاویه بالابری..... ۵
- شکل ۱-۶- ارتباط حرکت بار داخل آسیا با شکل و تعداد بالابرها..... ۶
- شکل ۱-۷- مدار بخش سنگ شکنی کارخانه پلی کام..... ۱۲
- شکل ۱-۸- مدار تولید خط چهارم تولید کنسانتره..... ۱۳
- شکل ۲-۱- ارتفاع سطح گلوله داخل آسیا قبل از اعمال تغییرات..... ۱۶
- شکل ۲-۲- ارتفاع سطح گلوله داخل آسیا بعد از اعمال تغییرات..... ۱۶
- شکل ۲-۳- مدار آسیا گلوله ای با هیدروسیکلون در محیط نرم افزار USIM PAC..... ۲۰
- شکل ۳-۱- نمودار تعیین زمان ماند براساس برآزش با مدل N-Mixer..... ۲۸
- شکل ۳-۲- اندازه گیری فاصله سطح گلوله تا سقف آسیا..... ۲۹
- شکل ۳-۳- اضافه نمودن گلوله به آسیا..... ۳۰
- شکل ۳-۴- نسبت خردایش قبل و بعد از اعمال تغییر..... ۳۱
- شکل ۳-۵- تغییرات P80 آسیای گلوله ای قبل و بعد از اعمال تغییر..... ۳۲
- شکل ۳-۶- تغییرات نسبت غنی شدگی قبل و بعد از اعمال تغییر..... ۳۳
- شکل ۳-۷- تغییرات عیار آهن کنسانتره MIMS قبل و بعد از اعمال تغییر..... ۳۳
- شکل ۳-۸- دانه بندی محصول آسیای گلوله ای در درصد جامدهای مختلف..... ۳۵
- شکل ۳-۹- بازدهی جدایش جداکننده MIMS در درصد جامدهای مختلف..... ۳۵
- شکل ۳-۱۰- بازدهی جدایش جداکننده LIMS در درصد جامدهای مختلف..... ۳۶
- شکل ۳-۱۱- منحنی دانه بندی محصول آسیا در دیبهای متفاوت خوراک آسیا گلوله ای..... ۳۶
- شکل ۳-۱۲- تغییرات نسبت خردایش آسیا گلوله ای در تناژهای متفاوت خوراک..... ۳۷
- شکل ۳-۱۳- اثر اندازه ذرات بر عیار آهن کنسانتره MIMS..... ۳۸
- شکل ۳-۱۴- اثر اندازه ذرات بر بازیابی آهن کنسانتره MIMS..... ۳۸
- شکل ۳-۱۵- اثر اندازه ذرات بر عیار گوگرد کنسانتره MIMS..... ۳۹
- شکل ۳-۱۶- عیار آهن در بخش های متفاوت ابعادی خوراک و کنسانتره MIMS..... ۳۹
- شکل ۳-۱۷- عیار گوگرد در بخش های متفاوت ابعادی خوراک و کنسانتره MIMS..... ۴۰
- شکل ۳-۱۸- بازدهی جدایش در بخش های مختلف ابعادی دانه بندی..... ۴۰
- شکل ۳-۱۹- مدار آسیای گلوله ای با هیدروسیکلون در محیط نرم افزار USIM PAK..... ۴۳
- شکل ۳-۲۰- وارد نمودن پارامترهای مربوط به شبیه سازی آسیا گلوله ای در نرم افزار USIM PAK..... ۴۳
- شکل ۳-۲۱- وارد نمودن پارامترهای مربوط به شبیه سازی هیدروسیکلون در نرم افزار USIM PAK..... ۴۴

- شکل ۳-۲۲- آسیا و جداکننده MIMS خط چهارم تولید شرکت معدنی و صنعتی گل گهر..... ۴۸
- شکل ۳-۲۳- مکان در نظر گرفته شده برای هیدروسیکلون در کارخانه پلی کام ۴۸
- شکل ۳-۲۴- موازنه آب در بخشهای مختلف مدار ۴۹
- شکل ۳-۲۵- عیار و بازیابی آهن کنسانتره MIMS در درصد جامدهای مختلف ۵۰
- شکل ۶-۱- شمای هیدروسیکلون از دو نمای متفاوت ۵۶
- شکل ۶-۲- شما و اندازه ورودی هیدروسیکلون ۵۸
- شکل ۶-۳- شما و اندازه بخش استوانه ای هیدروسیکلون ۵۹
- شکل ۶-۴- شما و اندازه بخش مخروطی هیدروسیکلون ۶۰
- شکل ۶-۵- شما و اندازه سرریز هیدروسیکلون ۶۱
- شکل ۶-۶- شما و اندازه ته ریز هیدروسیکلون ۶۲

فهرست جداول

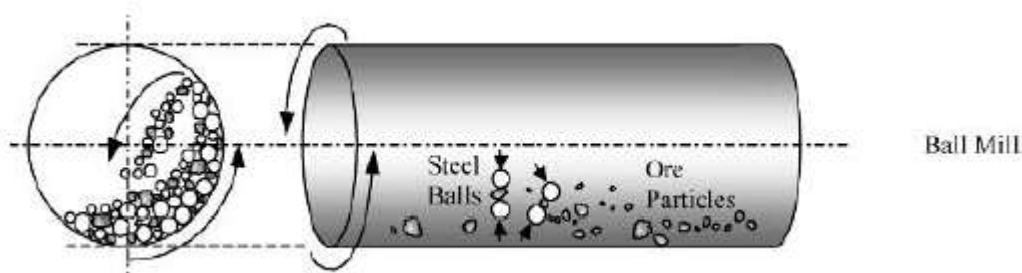
- جدول ۱-۲- تغییر دبی ورودی به آسیا و جداکننده مغناطیسی..... ۱۷
- جدول ۲-۲- ارتباط D50C برای توزیع دانه بندی مشخص..... ۱۸
- جدول ۲-۳- درصد جامدهای مورد آزمایش خوراک جداکننده MIMS..... ۲۱
- جدول ۱-۳- ارتباط ضریب عدم کارایی و درجه کنترل اندازه محصول..... ۲۲
- جدول ۲-۳- تغییرات توان آسیا نسبت به سایر مشخصات آسیا..... ۲۳
- جدول ۳-۳- ترکیب گلوله‌های لازم برای آسیاهای گلوله‌ای..... ۲۴
- جدول ۴-۳- نتایج بدست آمده از نمونه برداری جریان..... ۲۵
- جدول ۵-۳- موازنه و تعدیل خطا جریان‌های خوراک HPGR، آسیا گلوله‌ای و MIMS..... ۲۶
- جدول ۶-۳- موازنه جرم و تعدیل خطا جریان باطله جداکننده MIMS..... ۲۷
- جدول ۷-۳- موازنه جرم جریان کنسانتره جداکننده MIMS..... ۲۷
- جدول ۸-۳- نتایج آزمایش تعیین زمان ماند با استفاده از نرم افزار RTD..... ۲۸
- جدول ۹-۳- بررسی آماری نتایج نسبت خردایش آسیا قبل و بعد از تغییرات..... ۳۱
- جدول ۱۰-۳- بررسی آماری نتایج عیار آهن کنسانتره قبل و بعد از تغییرات (آنالیز واریانس)..... ۳۴
- جدول ۱۱-۳- دبی آب اضافه شده به آسیا در درصد جامدهای مختلف..... ۳۴
- جدول ۱۲-۳- P_{80} بدست آمده آسیا در اثر تغییر دبی ورودی به آسیا..... ۳۷
- جدول ۱۳-۳- نمونه‌ای از یک آنالیز ابعادی ورودی و خروجی‌های جداکننده MIMS..... ۴۱
- جدول ۱۴-۳- نتایج شبیه‌سازی خوراک تازه ورودی به آسیای گلوله‌ای..... ۴۵
- جدول ۱۵-۳- نتایج شبیه‌سازی خوراک ورودی به آسیای گلوله‌ای..... ۴۵
- جدول ۱۶-۳- نتایج شبیه‌سازی خوراک ورودی به هیدروسیکلون..... ۴۶
- جدول ۱۷-۳- نتایج شبیه‌سازی سرریز هیدروسیکلون..... ۴۶
- جدول ۱۸-۳- نتایج شبیه‌سازی ته‌ریز هیدروسیکلون..... ۴۷

فصل اول: مقدمه

۱-۱- خردایش در آسیاهای گلوله‌ای

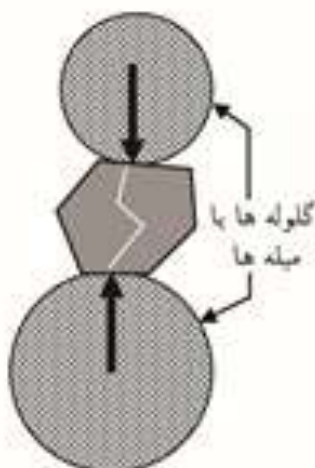
تجهیزات نرم کنی که در صنعت فرآوری مواد معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اغلب از نوع آسیاهای گردان می‌باشند. انواع مختلفی از آسیاها مانند آسیاهای میله‌ای، گلوله‌ای و آسیاهای نوع خودشکن وجود دارند. عمل نرم کنی با ایجاد حرکت نسبی بین ذرات ماده معدنی و واسطه خردایش (میله، گلوله یا قلوه سنگ) انجام می‌شود. این حرکت می‌تواند بصورت برخورد همراه با شکست که توسط ضربه اعمال می‌شود و یا بصورت غلطش همراه با شکست که سایش را ایجاد می‌کند، انجام گیرد [۱]. هدف از خردایش سنگ معدن جداسازی کانی‌های با ارزش از گانگ است؛ در خردایش اولیه ذرات با ارزش به درجه آزادی لازم نمی‌رسند به همین دلیل سنگ معدن به خردایش ثانویه نیاز پیدا می‌کند که این عمل توسط آسیاها انجام می‌شود [۲].

جدار داخلی آسیاها از جنس مقاومی پوشیده شده است و قسمتی از حجم آنها توسط بار خردکننده‌ای مثل میله‌های فولادی، گلوله‌های فولادی یا سرامیکی، قلوه‌سنگهایی از جنس مقاوم و یا قطعات درشتی از خود ماده معدنی پر شده است. با گردش آسیا، بار خردکننده تا ارتفاعی که بستگی به سرعت گردش آن دارد، بالا می‌رود و با رها شدن از بدنه‌ی آسیا بر روی ماده معدنی سقوط می‌کند. در نتیجه، دانه‌های ماده معدنی در اثر ضربه، فشار و سایش مواد توسط یکدیگر یا توسط بار خردکننده و همچنین جدار داخلی آسیا خرد می‌شوند (شکل ۱-۱) [۳].



شکل ۱-۱- نحوه‌ی خردایش ذرات در آسیاهای گردان [۲].

در آسیاهای گلوله‌ای، با قرار گرفتن ذرات بین گلوله‌ها عمل خردایش صورت می‌گیرد (شکل ۱-۲) [۴].



شکل ۱-۲- خردایش ذرات در آسیا گلوله‌ای [۴].

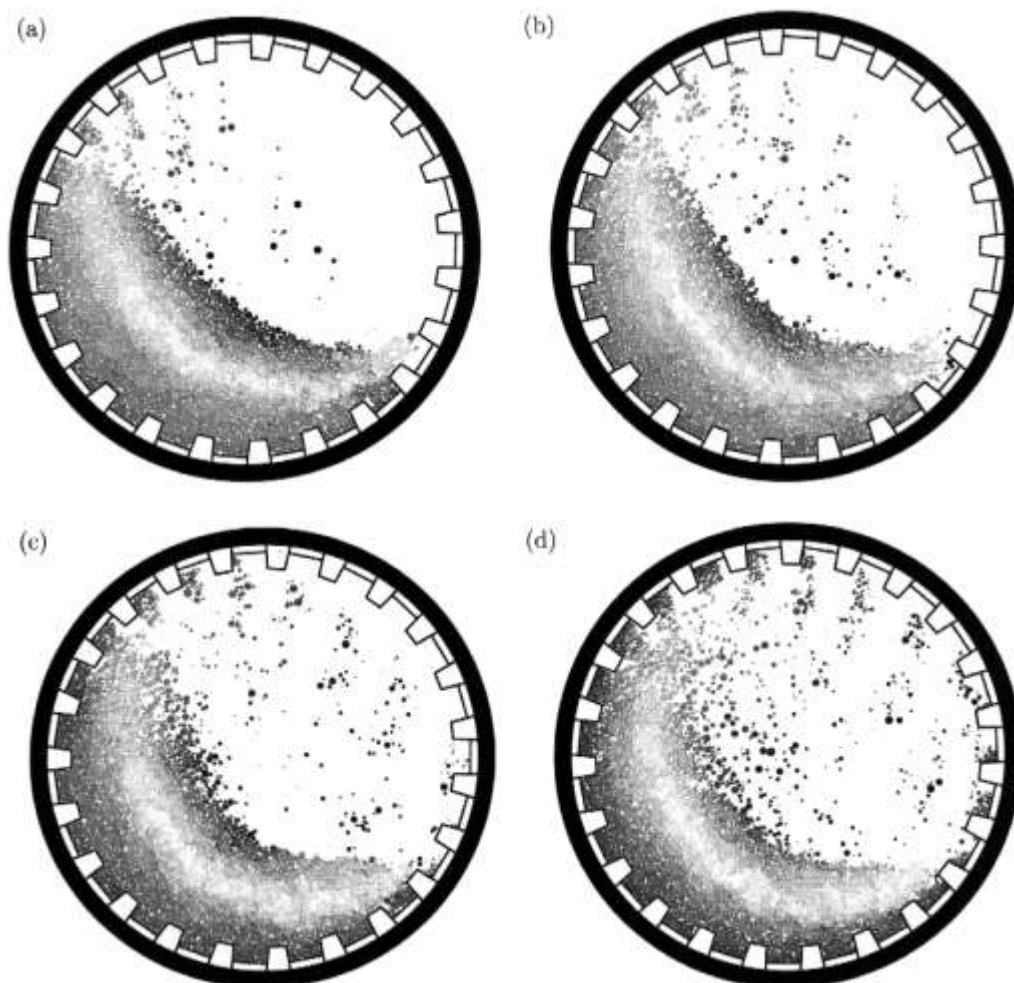
۱-۱-۱- عوامل مؤثر بر خردایش آسیاهای گلوله‌ای

کارآیی آسیاهای گلوله‌ای، میزان کاهش انرژی مورد نیاز برای خردایش مناسب هر تن ماده معدنی تعریف می‌شود. کارآیی آسیاکنی به حرکت گلوله‌ها در طی فرآیند آسیاکنی و شرایط عملیاتی از قبیل سرعت گردش آسیا، پرشدگی گلوله، اندازه آسیا بستگی دارد [۵]. از دیگر عوامل مؤثر بر آسیاکنی می‌توان به ابعاد و شکل آسترهای آسیا، نحوه‌ی آماده‌سازی خوراک، بسته یا باز بودن مدار اشاره نمود. برای بهبود خردایش باید عواملی مانند درصد جامد وزنی پالپ ورودی، میزان پرشدگی گلوله داخل آسیا و اندازه گلوله‌های شارژ مجدد را بهینه کرد زیرا عوامل دیگر قابل تغییر نیستند و یا به علت نوسان زیاد قابل کنترل نمی‌باشند. دانسیته پالپ خوراک باید تا آنجا که امکان دارد بالا باشد ولی با جریان یافتن پالپ در طول آسیا سازگار باشد و معمولاً گلوله‌ها باید با لایه‌ای از کانه پوشیده شوند. پالپ رقیق باعث افزایش برخورد فلز با فلز و مصرف بیش از حد فلز می‌شود و کارآیی را نیز کاهش می‌دهد. درصد جامد آسیاهای گلوله‌ای بسته به نوع کانه، بین ۶۵-۸۰٪ پالپ است. ویسکوزیته پالپ با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد بنابراین در مواردی که خردایش بسیار ریز نیاز است، درصد جامد باید کمتر در نظر گرفته شود [۳].

۱-۱-۱-۱- سرعت گردش آسیا

سرعت گردش آسیاهای گردان به نحوی انتخاب می‌شود که سرعت نسبی سقوط بارخردکننده بر روی بار ورودی آسیا حداکثر باشد. مسیر بار خردکننده را می‌توان به دو مرحله تقسیم کرد. در

مرحله‌ی اول این بار به حالت چسبیده بر روی جدار داخلی آسیا، یک مسیر صعودی را طی می‌کند. در مرحله دوم در لحظه‌ای که وزن این بار از نیروی گریز از مرکز تجاوز می‌کند، از جدار آسیا رها می‌شود و سقوط می‌کند. هرگاه سرعت دوران آسیا از حدی که آنرا "سرعت بحرانی^۱" می‌نامند تجاوز کند، نیروی گریز از مرکز در تمام طول مسیر بیشتر از نیروی وزن است و بار خردکننده در تمام مدت گردش دستگاہ به جدار داخلی آسیا چسبیده باقی خواهند ماند. (شکل ۱-۶).



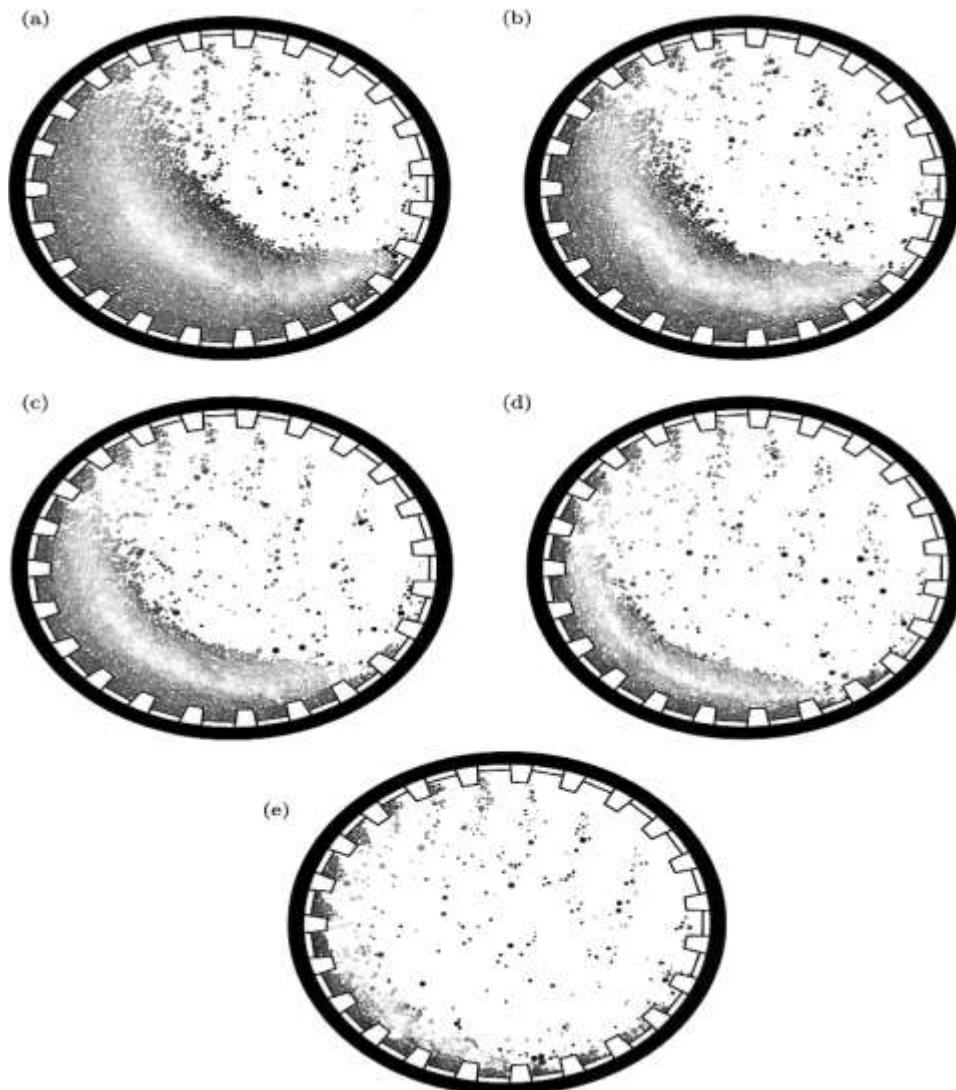
شکل ۱-۳- شمای حرکت بار داخل آسیا نسبت به سرعت بحرانی $a=0.60$, $b=0.70$, $c=0.80$, $d=0.90$ [۶]

۱-۱-۲- پرشدگی داخل آسیا

کاهش سطح بار در داخل آسیا باعث می‌شود که حرکت آبخاری بار در سطح آزاد داخل آسیا به درستی صورت نگیرد (شکل ۱-۴) [۶]. این مسئله منجر به برخورد بار به آستر و سایش آن و

^۱ Critical Speed

همچنین عمل خردایش ذرات به درستی صورت نمی‌گیرد [۶].

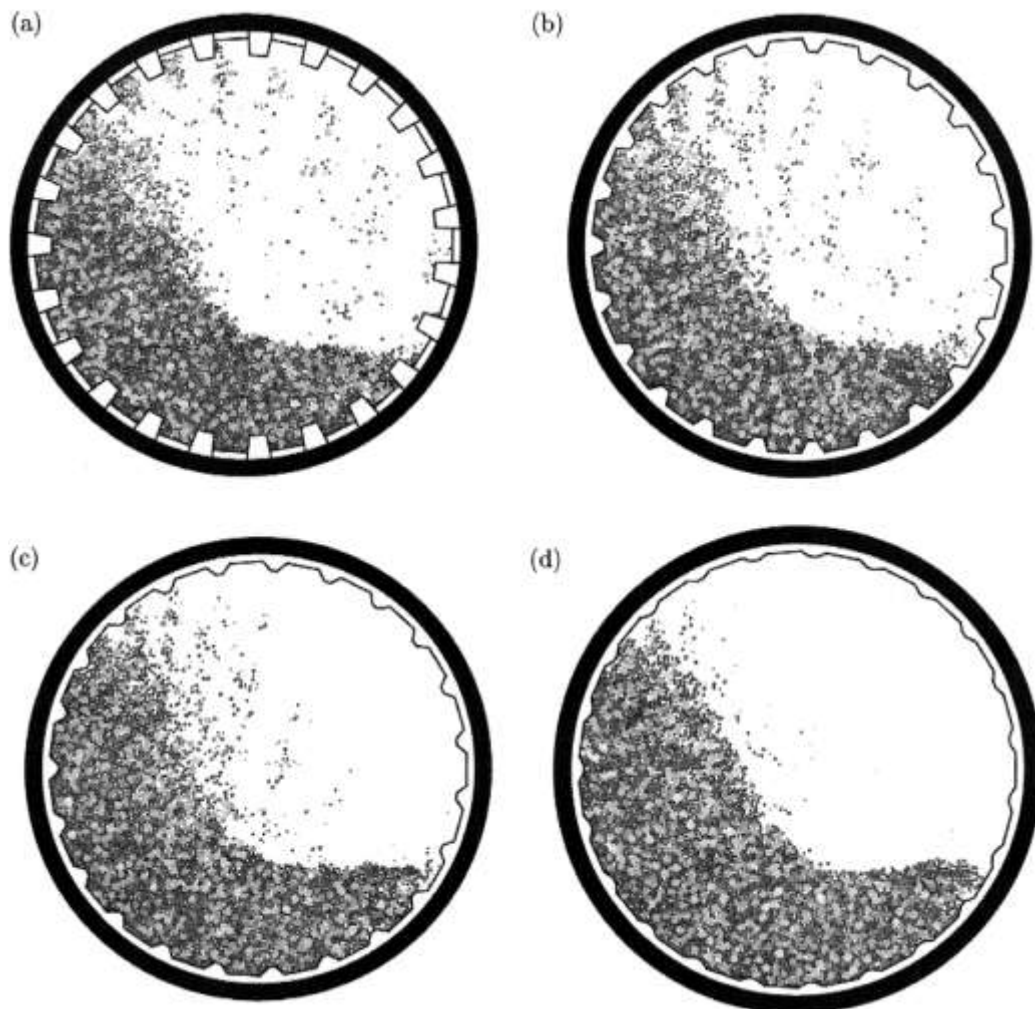


شکل ۱-۴- شمای حرکت ذرات داخل آسیا در سطوح مختلف بار $a=50\%$ ، $b=40\%$ ، $c=30\%$ ، $d=20\%$ ، $a=10\%$ [۶].

۱-۱-۱-۳- زاویه بالابری

میزان فرسایش پوشش آسیاها علاوه بر جنس پوششها، به نحوه کار آسیا بستگی دارد. این فرسایش در آسیاهایی که با سرعتی حرکت می‌کنند که بار خردکننده در داخل آنها بر روی هم می‌غلتد، به مراتب بیشتر از حالتی است که بار خردکننده بر روی هم سقوط کند [۷]. مطالعاتی که توسط Bond انجام شده، نشان داده است که به طور متوسط فرسایش آسترها و همچنین بار خردکننده، متناسب با انرژی مصرف شده در آسیا است. با گذشت زمان زاویه و ارتفاع بالابرها کاهش می‌یابد. زاویه رهایی بالابرها بر حرکت بار داخل آسیا و برخورد بار به پاشنه تأثیر گذار

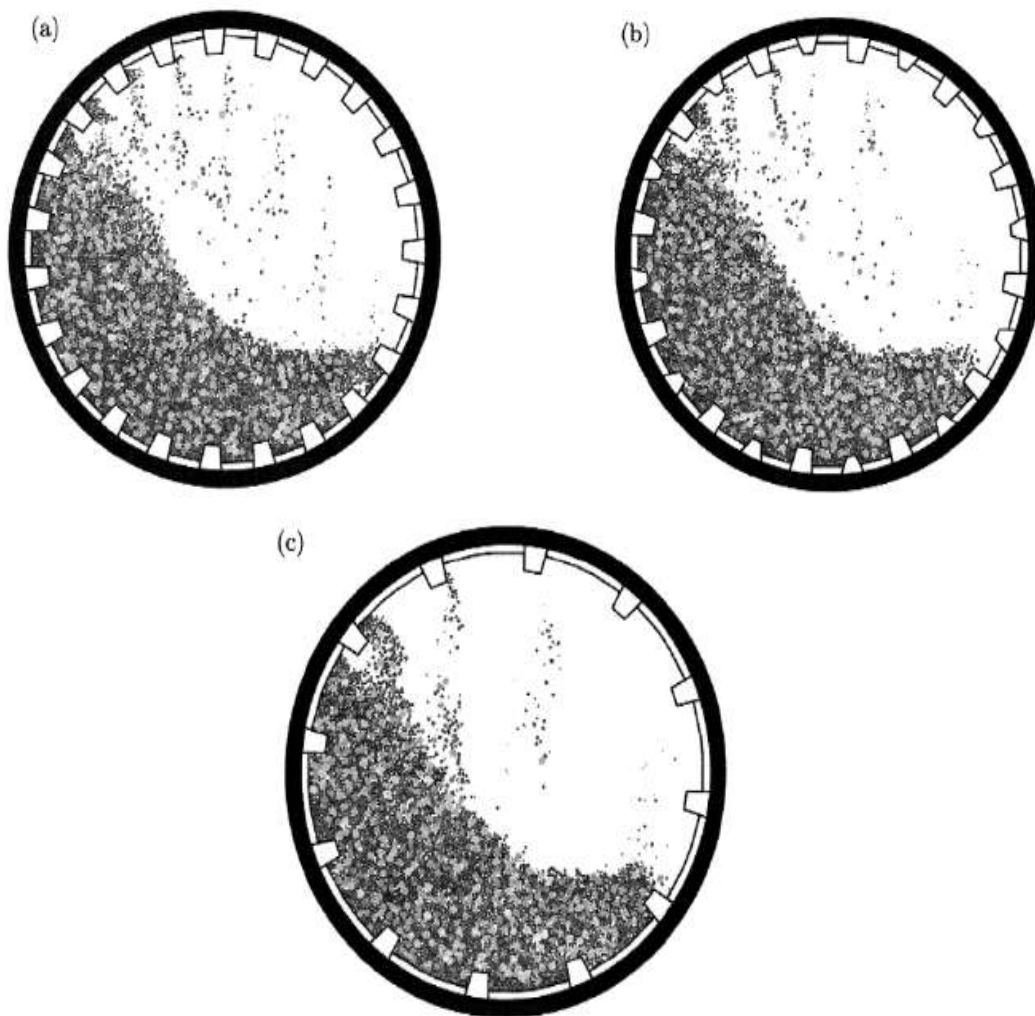
است. کاهش بیش از حد زاویه رهایی منجر به عدم تشکیل حرکت آبشاری بار و عدم خردایش ذرات طی مکانیزم ضربه می‌شود (شکل ۱-۵) [۶].



شکل ۱-۵- ارتباط حرکت بار داخل آسیا با زاویه بالابری $a=85^\circ$, $b=60^\circ$, $c=45^\circ$, $d=22.5^\circ$ [۶].

۱-۱-۱-۱- شکل بالابرها

در آسیا، آسترها اغلب به صورت بالا-پایین نصب می‌شوند. بدین صورت که یکی بلند و دیگری کوتاه است. سایش بالابر با ارتفاع کم‌تر، بیشتر از بالابر بلند می‌باشد در نتیجه زمانیکه بالابر بلند به نصف ارتفاع اولیه خود رسید بالابر کوچک‌تر را باید تعویض نمود [۲]. حرکت بار داخل آسیا با توجه به تعداد بالابرها و شکل آنها متفاوت خواهد بود (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶- ارتباط حرکت بار داخل آسیا با شکل و تعداد بالا برها [۶].

۱-۱-۱-۵- پرشدگی گلوله

میزان پرشدگی گلوله یکی از مهم ترین پارامترهای آسیاکنی در آسیاهای گلوله ای است. در میزان کم پرشدگی به علت کشیدگی بار به طرف شانه و نبود کشیدگی بار به طرف پاشنه، سهم مکانیزم ضربه از مکانیزم سایش بیشتر است که این امر موجب درشت تر شدن محصول می گردد [۲]. با افزایش پرشدگی، سهم مکانیزم سایش نیز به علت تشکیل پاشنه و سر خوردن بیشتر گلوله ها روی بار، زیادتر می شود که باعث ریزتر شدن محصول می گردد همچنین میزان پرشدگی بالا باعث افزایش ضربات در واحد حجم شده و مانع خروج سریع پالپ در طول آسیا می شود [۸]. میزان پرشدگی گلوله داخل آسیا در حدود ۴۰-۵۰٪ است که در حدود ۴۰٪ از این حجم، فضای

خالی است. توان کشی آسیا با افزایش میزان پرشدگی افزایش می‌یابد و در حدود ۵۰٪ پرشدگی به بالاترین میزان توان کشی می‌رسد. معمولاً در آسیاهای سرریز شونده میزان پرشدگی ۴۰٪ است اما در آسیاهای دارای شبکه خروجی این مقدار بیشتر است. برای محاسبه میزان پرشدگی گلوله، سطح گلوله‌ها تا سقف آسیا اندازه‌گیری می‌شود [۲،۳].

۱-۲- هیدروسیکلون

هیدروسیکلون مهم‌ترین وسیله برای طبقه‌بندی ذرات در ابعاد ریز در صنعت کانه‌آرایی می‌باشد. در صنعت فرآوری آهن یکی از معادن کمپانی اریک^۱ کلاسیفایرهای ماریپچی خود را از مدار خارج و به جای آنها از هیدروسیکلون استفاده نمود که مزایای زیر را به دنبال داشت:

- حد جدایش به راحتی قابل کنترل بود.
- مصرف آب کاهش یافت.
- میزان هزینه‌های اولیه کاهش یافت.
- حجم فضای مصرفی کاهش یافت.
- بار در گردش به راحتی قابل کنترل بود [۱].

به خاطر اینکه هیدروسیکلونها از لحاظ ساختاری و مکانیکی بسیار ساده‌اند و اجزای متحرک نیز ندارند، امکان تحقیقات پیشرفته با صرف زمان کمتری نسبت به کلاسیفایرهای پیچیده‌تر برای آنها وجود دارد. به همین دلیل است این وسیله توانست خیلی زود جای خود را در صنایع گوناگون باز کند [۹]. موادی که به حالت پالپ به داخل هیدروسیکلون هدایت می‌شوند تحت تأثیر دو نیرو قرار می‌گیرند: نیروی گریز از مرکز در جهت داخل به خارج و نیروی مقاومت در جهت خارج به داخل، نیروی گریز از مرکز باعث افزایش سرعت ته‌نشینی مواد می‌شود. به این ترتیب مواد بر اساس ابعاد و چگالی طبقه‌بندی می‌شوند [۱۰]. ذرات با سرعت ته‌نشینی زیاد به سمت دیواره حرکت می‌کنند. و از دهانه ته‌ریز بیرون می‌روند. به دلیل عمل نیروی مقاومت سیال، ذرات با سرعت ته‌نشینی کم به سمت منطقه کم‌فشار در امتداد محور حرکت می‌کنند و به طرف بالا از طریق دیافراگم به سرریز حمل می‌شوند. با توجه به وجود ناحیه‌ای در امتداد جداره که در آن حرکت مواد به طرف پایین و ناحیه‌ای در امتداد محور هیدروسیکلون که در آن حرکت مواد به سمت بالا است، لازم است که در مکانی سرعت قائم مواد برابر صفر باشد. این مکان به صورت سطحی در سرتاسر بخش بزرگی از هیدروسیکلون گسترش یافته است. دانه‌هایی که تأثیر نیروی

^۱ Erick

گریز از مرکز روی آنها بیشتر است به خارج این سطح منتقل شده، از طریق ته ریز خارج می شوند و دانه هایی که تأثیر نیروی مقاومت بر آنها بیشتر است در داخل این سطح قرار می گیرند و به طرف محور هدایت شده و از طریق سرریز خارج می شوند. ذرات منطقه با سرعت صفر^۱ دارای احتمال مساوی برای انتقال به سرریز و یا خروج از ته ریز می باشند [۱۱].

عملکرد هیدروسیکلون به عوامل زیر وابسته است:

- خصوصیات جریان خوراک شامل:

- اندازه و توزیع دانه بندی ذرات جامد داخل جریان خوراک
- فشار ورودی جریان خوراک
- دانسیته پالپ، درصد جامد و ویسکوزیته جریان خوراک

- هندسه ی هیدروسیکلون شامل:

- شکل و مساحت دهانه ی ورودی
- ابعاد هیدروسیکلون (طول بخش استوانه ای، طول کلی و زاویه بخش مخروطی)
- قطر داخلی، سرریز و ته ریز هیدروسیکلون [۱۱، ۱۲].

۱-۲-۱- طراحی بخش های مختلف هیدروسیکلون

۱-۱-۲-۱- بخش ورودی به هیدروسیکلون

هیدروسیکلون هایی که قبل از ۱۹۵۰ طراحی می شد، دارای خوراک ورودی مماس بر دیواره خارجی بودند. این طرح برای جدایش در اندازه های ریز و پالپ های ساییده مناسب نبودند. هیدروسیکلون هایی که امروزه ساخته میشوند، دارای ورودی قوسی شکل شیب دار می باشند [۱۱]. سطح مقطع ورودی شکاف خوراک دهی به داخل بخش استوانه ای، بر ظرفیت و حد جدایش تأثیر گذار است و اغلب هیدروسیکلون ها گزینه های مختلفی دارند تا بر اساس نیاز، این سطح قابل افزایش و یا کاهش باشد. بعنوان مثال، با افزایش این سطح، ظرفیت و حد جدایش بیشتر می شود [۱۱].

^۱ Envelope of zero vertical velocity

۱-۲-۱-۲- بخش استوانه‌ای

معمولاً هیدروسیکلون‌ها داری بخش استوانه‌ای می‌باشند که طول آن برابر قطر هیدروسیکلون می‌باشد. این بخش می‌تواند جدا باشد و یا با بخش ورودی خوراک ترکیب شده باشد. بخش استوانه‌ای بلندتر، باعث افزایش زمان ماند مواد و ظرفیت می‌شود و سرعت مماسی را کاهش می‌دهد. افزایش در فشار ثابت، بین ۸ تا ۱۰ درصد مشاهده شده است. هیدروسیکلون‌های بزرگتر (۶۶-۸۴ سانتی‌متر) معمولاً دارای بخش استوانه‌ای کوتاه تر می‌باشند [۱۲].

۱-۲-۱-۳- بخش مخروطی

زاویه بخش مخروطی با توجه به نوع کاربرد، متفاوت است. ولی معمولاً ۲۰ درجه است. هیدروسیکلون‌هایی که دارای ته صاف می‌باشند، برای جدایش‌های درشت تر که حد جدایش آنها ۲ تا ۳ برابر هیدروسیکلون‌های معمول است بکار گرفته می‌شود. مخروط بلندتر با زاویه ۱۰ درجه، جدایش ریزتری را با ظرفیت بیشتر نسبت به هیدروسیکلون ۲۰ درجه فراهم می‌کند. استفاده از این زاویه، باعث تغییر ۱۵ تا ۲۰ درصدی در حد جدایش پیش بینی شده می‌گردد [۱۰، ۱۲].

۱-۲-۱-۴- بخش پیداکننده گرداب

معمولاً دامنه‌ای از پیداکننده‌های گرداب با اندازه‌های مختلف، برای هر مدل وجود دارد. اندازه پیداکننده گرداب بین ۲۰ تا ۴۵ درصد قطر هیدروسیکلون متغیر است. پیداکننده‌های گرداب بزرگتر، ظرفیت را افزایش می‌دهند ولی منجر به جدایش نسبتاً درشتتری می‌گردند [۱۲].

۱-۲-۱-۵- بخش ته‌ریز

زاویه دهانه و طراحی آن، تاثیر زیادی بر کارایی هیدروسیکلون دارد. بهترین نتیجه زمانی است که جدایش مورد نظر با بالاترین درصد جامد ته ریز بدست آید. معمولاً اندازه دهانه بر اساس عبور میزان ذرات مورد نظر با بالاترین دانسیته پالپ تعیین می‌شود. در اکثر موارد، تغییر دهانه ته ریز با تغییر زاویه دهانه همراه است که این بر حد جدایش مورد انتظار تاثیر می‌گذارد. زاویه خروجی مواد از دهانه ته ریز نشانگر نحوه کار آن می‌باشد. زمانی که زاویه خیلی باز باشد، نشان دهنده بزرگی دهانه ته ریز است و برعکس، طناب شدگی ته ریز (زاویه خیلی کم) نشان از کوچک بودن دهانه دارد [۱۲].