

بازیابی هماتیت از باطله های ریز دانه معدن گل گهر با استفاده از جدا کننده مغناطیسی slon

امیر حاجی زاده عمران^{۱*}؛ مجتبی قربان نژاد^۲

۱- پژوهشگر فرآوری پژوهشکده سنگ آهن و فولاد گل گهر سیرجان، hajizade313@yahoo.com

۲- پژوهشگر ارشد فرآوری پژوهشکده سنگ آهن و فولاد گل گهر سیرجان، geg.mgh@gmail.com

(دریافت ۲۱ خرداد ۱۳۹۴، پذیرش ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۵)

چکیده

یکی از مشکلات مدارهای فرآوری سنگ آهن، هدرروی آهن به صورت کانه هماتیت و در ابعاد ریز، به بخش باطله است. در سالیان اخیر در کشور چین برای رفع این مشکل، جداکننده شدت و گرادیان بالای SLon که دارای ترکیبی از نیروهای مغناطیسی و ثقلی جهت جدایش هماتیت می باشد، معرفی شده است. این دستگاه به سبب داشتن مصرف انرژی کمتر، ضریب دسترسی بالاتر، بازیابی وزنی بیشتر و عیار باطله پایین تر نسبت به جداکننده های مغناطیسی تر شدت بالا (WHIMS)، به طور گسترده ای استفاده شده است. کارخانه بازیابی هماتیت مجتمع گل گهر از سال ۱۳۹۰ برای بازیابی باطله های خشک و تر کارخانه جدایش مگنتیت، به صورت دو خط مجزا راه اندازی شد. در حال حاضر به دلیل تغییر در شرایط خوراک و مشکلات عملیاتی، میزان ۷۵ تن بر ساعت آهن هماتیتی با ابعاد کمتر از ۸۰ میکرون و با عیار آهن ۳۸٪ به سد باطله منتقل می شوند. عمده دلیل این هدرروی آهن، ضعف عملکرد جداکننده مغناطیسی شدت بالای جونز در بازیابی آهن هماتیتی در خط فرآوری باطله های خشک، و تغییر خوراک کنونی نسبت به خوراک طراحی، در خط بازیابی باطله تر است. در این پژوهش با هدف کاهش عیار باطله و جلوگیری از هدرروی آهن، بر روی باطله این دو خط با استفاده از جداکننده شدت و گرادیان بالای "اسلون" در شدت میدان های مغناطیسی مختلف آزمایش هایی انجام شد. همچنین آزمایش هایی برای مقایسه عملکرد جداکننده جونز و اسلون انجام شد. نتایج این آزمایش ها در مقیاس نیمه صنعتی نشان داد که با استفاده از یک مرحله جداکننده "اسلون" می توان حدود ۵۸٪ از این باطله ها را با عیار آهن ۵۳٪ بازیابی کرد. عیار آهن در باطله نهایی نیز از ۳۸٪ به ۱۸٪ کاهش پیدا کرد. همچنین نتایج مقایسه بین دو جداکننده نشان داد که جداکننده جونز قابلیت انتخابی بیشتری دارد و کنسانتره آن دارای عیار بالاتری است، در حالی که جداکننده "اسلون" با بازیابی وزنی بالاتر و عیار باطله بسیار پایین تر برای رمق گیری از باطله ها بسیار کارآمدتر است.

کلمات کلیدی

باطله های هماتیتی، جداکننده مغناطیسی SLon، جداکننده جونز

۱- مقدمه

۱-۱- شدت و گرادیان مغناطیسی

در هر دستگاه جداکننده که در فرآوری کانی‌های معدنی استفاده می‌شود مجموعه‌ای از نیروها هستند که با یکدیگر رقابت می‌کنند و نیروهای غالب، تعیین‌کننده مسیر جدایش ذرات با ارزش از ذرات ضعیف‌تر خواهند بود. نیروی مغناطیسی با میدان و گرادیان مغناطیسی ارتباط مستقیم دارد. میدان مغناطیسی و گرادیان میدان نیز به صورت معکوس با توان سوم قطر ذرات مغناطیسی که در میدان قرار می‌گیرند در ارتباط هستند. به عبارت دیگر با ریزتر شدن ذرات مغناطیسی، به نیروی مغناطیسی بیشتری برای جدایش ذرات مغناطیسی نیاز خواهد بود. تغییر در نیروی مغناطیسی با استفاده از تغییر در میدان، گرادیان و یا هر دو اتفاق می‌افتد [۱]. افزایش میدان مغناطیسی نیز تا حدی مقرون به صرفه خواهد بود و محدودیت‌هایی برای افزایش آن وجود دارد، بنابراین می‌توان با تغییر در ساختار دستگاه جداکننده مغناطیسی شدت بالا نظیر نوع ماتریس‌ها، گرادیان مغناطیسی را افزایش و در نتیجه در یک میدان ثابت، نیروی مغناطیسی را بیشتر کرد [۲].

۱-۲- نحوه عملکرد جداکننده‌های مغناطیسی گرادیان بالای

اسلون

جداکننده‌های مغناطیسی گرادیان بالای مرسوم، یک رینگ افقی دارند که عملکرد آن‌ها شبیه به جداکننده شدت بالای جونز بوده و تنها تفاوت آن‌ها در نوع ماتریس و در نتیجه میزان گرادیان است. موفق‌ترین نوع جداکننده‌های گرادیان بالا، جداکننده اسلون با رینگ قائم و حرکت نوسانی اسلاری است که کارایی و قابلیت دسترسی بالاتری نسبت به دیگر تجهیزات دارد. این جداکننده با ترکیبی از نیروی مغناطیسی، نیروی ثقلی و ضربان اسلاری، زمینه مناسبی را برای فرآوری کانی‌های ریزدانه و مغناطیسی ضعیف فراهم می‌سازد. بازیابی بالا، انعطاف‌پذیری نسبت به تغییر اندازه ذرات، انسداده کمتر ماتریس، کاهش مصرف انرژی و ضریب دسترسی بالا، از عمده‌ترین مزایای این جداکننده است [۳، ۴].

با توجه به نوع ماتریس و نحوه قرارگیری میله‌ها درون ماتریس، میزان گرادیان ایجاد شده توسط این تجهیز به شدت بالا می‌رود، به گونه‌ای که کوچک‌ترین ذرات مغناطیسی و یا ذرات درگیر با حداقل کانی‌های مغناطیسی نیز امکان گریز از

میدان را نداشته و دستگاه اغلب دارای حداکثر بازیابی جرمی می‌باشد [۳]. نحوه خوراک دهی و مسیر شستشوی مواد به گونه‌ای است که ذرات دانه درشت روی سطح داخلی ماتریس قرار گرفته و جذب ماتریس می‌شوند و بعد از این که در معرض آب شستشو قرار بگیرند بدون نیاز به اینکه کل مسیر ماتریس را طی کنند از سطح ماتریس جدا شده و وارد بخش کنسانتره می‌شوند؛ موضوعی که در جداکننده‌های معمولی گرادیان بالا اغلب موجب گرفتگی ماتریس‌ها می‌شود.

اجزای اصلی جداکننده‌های مغناطیسی اسلون شامل مکانیزم ضربان، سیم پیچ‌های تولید انرژی، یوک مغناطیسی، رینگ جدایش، مسیرهای تغذیه و تخلیه کنسانتره است که در شکل ۱ نشان داده شده است [۵].

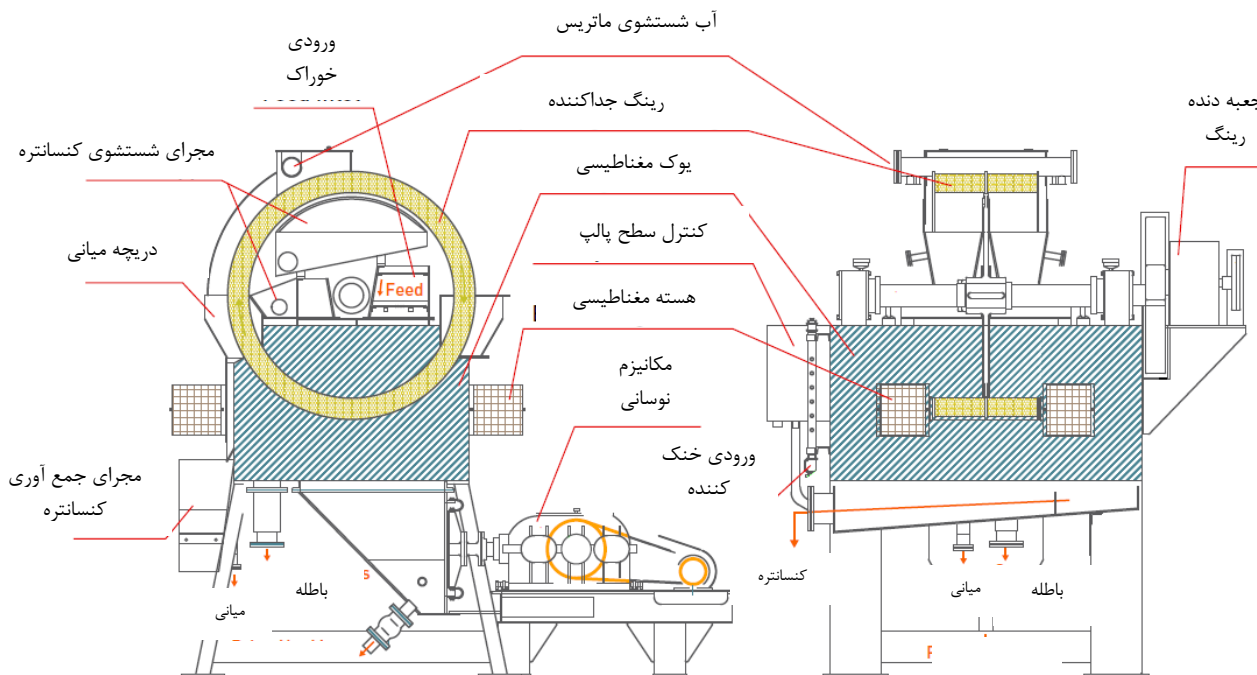
ماتریس‌های این تجهیز شامل تعدادی میله فولادی ضد زنگ می‌باشد که در محیط مغناطیس، خاصیت مغناطیسی پیدا کرده و موجب افزایش گرادیان میدان می‌شوند. این ماتریس‌ها روی رینگ قرار گرفته و با حرکت رینگ به داخل مخزن جداکننده، مواد مغناطیسی به سطح ماتریس‌ها چسبیده و با خروج از ناحیه مغناطیسی و با کمک آب شستشو، این مواد از ماتریس جدا و وارد مسیر کنسانتره می‌شوند [۵، ۶].

با توجه به این که این دستگاه برای اولین بار در کشور چین ساخته شده است، بنابراین یکی از بزرگ‌ترین بازارهای مصرف این دستگاه نیز معادن آهن کشور چین است. معادن آهن این کشور اغلب از نوع اکسیدی کم عیار است که افزایش عیار آن‌ها مستلزم طراحی مدارهای پیچیده‌ای خواهد بود. جداکننده اسلون به دلیل داشتن گرادیان و میدان مغناطیسی بالا (تا ۱۳ هزار گاوس)، هزینه پایین‌تر عملیاتی و دسترسی بالاتر (که عامل دستیابی به حداکثر بازیابی است)، در این کشور بسیار پرکاربرد است. در حال حاضر بزرگ‌ترین نوع این جداکننده با قطر رینگ ۴ متر که ظرفیت ورودی آن حدود ۴۵۰ تن بر ساعت است نیز در این کشور نصب و راه اندازی شده است [۷، ۸].

۱-۳- علل هدرروی آهن در کارخانه بازیابی هماتیت مجتمع

گل‌گهر

کارخانه بازیابی هماتیت مجتمع معدنی و صنعتی گل‌گهر دارای دو خط برای فرآوری باطله خشک (خط DTP) و باطله تر (خط WTP) جهت بازیابی باطله‌های کارخانه مگنتیت است. تجهیزات اصلی استفاده شده در خط DTP جهت



شکل ۱: اجزاء اصلی جداکننده اسلون [۵]

صورت دستیابی به نتایج مطلوب، افزایش بازیابی کارخانه هماتیت و به تبع آن ایجاد ارزش افزوده بیشتر برای شرکت گل گهر محقق خواهد شد. همچنین با توجه به کاهش ذخایر مگنتیتی پرعیار و نیاز کشور به سرمایه گذاری روی ذخایر هماتی، نتایج این پژوهش می تواند زمینه های جدیدی را در طراحی مدار فرآوری برای این گونه از معادن فراهم سازد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- نمونه برداری

برای تهیه نمونه معرف برای انجام مطالعات آزمایشگاهی و نیمه صنعتی، به مدت ۱۰ شیفت کاری از باطله جداکننده شدت بالای خط DTP و باطله مدار جدایش مغناطیسی خط WTP نمونه برداری شد. نمونه ها پس از خشک شدن و تقسیم نمونه، سرند شده و برای بررسی ماهیت آهن موجود در آن آنالیز شدند. همچنین موازنه جرم مدار دو خط WTP و DTP نیز انجام شد تا تناژ راه یافته به باطله در این دو خط مشخص شود. جدول شماره ۱ عیار آهن و تناژ باطله ها را به تفکیک دو خط نشان می دهد. همان طور که در این جدول مشاهده می شود مواد به میزان ۷۵ تن بر ساعت با عیار آهن ۳۸٪ به بخش باطله منتقل می شوند. ماهیت کانه با ارزش آهن این باطله ها، هماتی (Fe/FeO > ۷) است و عمده کانه های آهن -

جدایش هماتیت، اسپیرال و جداکننده شدت بالای جونز می باشند. در حال حاضر عیار آهن خوراک ورودی به جداکننده شدت بالای جونز خط DTP برابر ۵۳٪ است. عیار باطله آن در این حالت به کمتر از ۴۰٪ کاهش نیافته است. بنابراین بخش زیادی از ذرات ریز هماتیت به دلیل کارایی پایین این تجهیز در جذب این ذرات به باطله راه می یابد. خط WTP کارخانه هماتیت برای بازیابی باطله های تر کارخانه مگنتیت راه اندازی شده است. ماهیت باطله در زمان طراحی این خط با باطله کنونی (به دلیل تغییر در خصوصیات سنگ معدن) تفاوت دارد. بنابراین مدار خط WTP که شامل یک جداکننده مغناطیسی شدت متوسط و دو جداکننده مغناطیسی شدت پایین است، توانایی بازیابی بخش هماتی این مواد را ندارد. عیار آهن در باطله مدار جدایش مغناطیسی این خط به کمتر از ۳۷٪ نرسیده است. داده های مربوط به نمونه برداری های واحد کنترل کیفی مجتمع گل گهر نیز نشان می داد که در این دو خط، آهن هماتی ریزدانه با عیار حدود ۳۸٪ به بخش باطله منتقل می شود.

هدف از این پژوهش، ارزیابی کارایی جداکننده اسلون در مقیاس نیمه صنعتی، برای جدایش هماتیت های ریزدانه از باطله های کارخانه فرآوری مجتمع گل گهر و ارائه راهکاری برای کاهش هدرروی آهن به بخش باطله بوده است. در

بسیار کمی هم مگنتیت داشته باشد باعث گرفتگی آن خواهد شد و بازیابی آن را کاهش خواهد داد. به همین منظور در ابتدای مدار جدایش از یک مرحله جداکننده مغناطیسی شدت پایین (۱۱۰۰ گوس) برای حذف میزان مگنتیت‌های موجود استفاده شد. باطله این مرحله به‌عنوان خوراک به جداکننده اسلون وارد شد.

برای بررسی تأثیر شدت میدان مغناطیسی بر پارامترهای متالورژیکی، در این آزمایش‌ها از شدت میدان‌های ۶۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ گوس استفاده شد. فاصله بین میله‌های ماتریس نیز ۲ میلی‌متر تنظیم شد و مواد با درصد جامد ۲۰٪ به اسلون خوراک دهی شدند. پس از این‌که مدار به حالت پایدار رسید، ۴ جزء نمونه از کنسانتره و باطله اسلون جمع‌آوری شد. شکل ۲ اسلون نیمه صنعتی در مدار پیوسته پایلوت را نشان می‌دهد.



شکل ۲: جداکننده اسلون ۷۵۰ موجود در پایلوت پژوهشگاه گل‌گهر سیرجان

با توجه به این‌که درجه آزادی مواد در بازیابی مواد و عیار آهن کنسانتره بسیار مؤثر است، بنابراین یک سری آزمایش در دانه‌بندی‌های ریزتر (۴۵ میکرون) نیز انجام شد. در این آزمایش‌ها قبل از این‌که نمونه‌ها به جداکننده مغناطیسی شدت پایین وارد شود، با تناژ ۲۰۰ کیلوگرم بر ساعت وارد یک آسیای گلوله‌ای شده و محصول آسیا پس از رسیدن به ابعاد ۴۵ میکرون، وارد مرحله جدایش مغناطیسی شد. در این مرحله نیز از سه شدت میدان ۶۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ گوس استفاده شد. همچنین برای افزایش عیار کنسانتره، یک مرحله

دار آن را هماتیت، پیریت و سیلیکات‌های آهن‌دار تشکیل می‌دهند.

جدول ۱: باطله‌های تولیدی در کارخانه فرآوری گل‌گهر

| مدار | تناژ ورودی (تن بر ساعت) | D ₈₀ (μm) | FeO % | Fe % |
|-----------------|-------------------------|----------------------|-------|------|
| باطله خشک (DTP) | ۲۳ | ۸۰ | ۰/۵ | ۴۰/۵ |
| باطله تر (WTP) | ۵۲ | ۷۵ | ۱/۵ | ۳۷ |

دانه‌بندی مواد (D₈₀) نیز زیر ۸۰ میکرون است که بازیابی مجدد آن را با چالش جدی مواجه می‌کند. با توجه به این‌که ماهیت باطله‌ها مشابه هم است و میزان تناژ تولیدی هم در حدی نیست که بتوان خط جداگانه‌ای برای بازیابی آن‌ها طراحی کرد، نمونه‌های دو خط با نسبت تولید در کارخانه با یکدیگر ترکیب شده و به مدار نیمه صنعتی طراحی شده که به صورت پیوسته کار می‌کرد، خوراک‌دهی شدند.

۲-۲- مدار آزمایش‌های نیمه‌صنعتی

با توجه به ماهیت نمونه‌ها باید از یک جداکننده مغناطیسی شدت بالا برای بازیابی این نمونه‌ها استفاده شود. همان‌طور که بیان شد تولید بخشی از این باطله‌ها مربوط به عملکرد جداکننده شدت بالای خط DTP است، بنابراین برای تقویت نیروی مغناطیسی در مدار جدایش، از یک جداکننده شدت و گرادیان بالا استفاده شد. سازنده جداکننده مذکور شرکت چینی اسلون است و این تجهیز با نام تجاری اسلون ۷۵۰ (قطر رینگ گردان: ۷۵۰ میلی‌متر) شناخته می‌شود. لازم به ذکر است که برای اولین بار در کشور در مجتمع گل‌گهر، از این نوع جداکننده در مقیاس نیمه‌صنعتی بهره‌برداری شده است. مشخصات این تجهیز و پارامترهای قابل تغییر آن در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: مشخصات جداکننده اسلون نیمه‌صنعتی

| | |
|-----------|--------------------------------|
| ۷۵۰ | قطر رینگ (mm) |
| ۰ - ۱۰۰۰۰ | شدت میدان مغناطیسی (G) |
| ۱۰ - ۲۵ | درصد جامد مناسب خوراک |
| ۶۰ - ۲۵۰ | تناژ ورودی (Kg/h) |
| ۲ - ۴ | سرعت رینگ (rpm) |
| ۱۰۰ - ۳۰۰ | تعداد ضربان (S ⁻¹) |
| ۱ - ۳ | فاصله ماتریس (mm) |

ماتریس‌های اسلون به شدت به ورود ذرات مگنتیت حساس هستند، به‌طوری‌که حتی اگر نمونه مورد آزمایش به میزان

در شدت میدان مغناطیسی ۱۰۰۰۰ گوس بیشترین بازیابی وزنی مشاهده شد که علت آن را می توان به گیرافتادگی ذرات مغناطیسی ضعیف تر یا ذرات با قفل شدگی بیشتر با گانگ، در بین ماتریس ها نسبت داد. بنابراین در صورتی که بازیابی وزنی بالاتری مدنظر باشد، باید از شدت میدان ۱۰۰۰۰ گوس استفاده کرد.

جدول ۴ نتایج آزمایش هایی را که در آن ذرات با یک مرحله آسیابانی به زیر ۴۵ میکرون رسانده شدند، را نمایش می دهد. نتایج بیان گر آن است که نرم کنی تا این ابعاد فقط افزایش عیار آهن در کنسانتره را به میزان ۱/۱۶٪ به همراه دارد که با توجه به هزینه های آسیابانی مقرون به صرفه نیست. کاهش نیافتن عیار باطله به طور محسوس را می توان به قفل شدگی ذرات در ابعاد ریزتر نسبت داد.

با توجه به تناژ ورودی به این دو خط و باطله تولید شده در آن ها، در صورتی که این باطله ها به یک مرحله جداکننده اسلون (بدون نرم کنی بیشتر) فرستاده شود، می توان حدود ۴۲/۷ تن بر ساعت آهن با عیار ۵۲/۷ بازیابی کرد. در صورتی - که ۳۰۰ روز کاری در سال داشته باشیم، به میزان ۳۰۷ هزار تن کنسانتره در سال بازیابی خواهد شد.

جدول ۴: نتایج آزمایش ها روی باطله ها با نرم کنی تا ۴۵ میکرون

| شماره آزمایش | ۱ | ۲ | ۳ |
|--------------------------------|------|------|-------|
| سرعت رینگ (rpm) | ۳/۵ | ۳/۵ | ۳/۵ |
| تعداد ضربان (بر دقیقه) | ۳۰۰ | ۳۰۰ | ۳۰۰ |
| فاصله ماتریس (mm) | ۲ | ۲ | ۲ |
| شدت میدان زمینه (گوس) | ۶۰۰۰ | ۸۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ |
| تناژ ورودی (Kg/h) | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| درصد جامد خوراک | ۲۵ | ۲۵ | ۲۵ |
| عیار آهن در خوراک٪ | ۳۸/۴ | ۳۸/۴ | ۳۸/۴ |
| عیار آهن در کنسانتره٪ | ۵۲/۸ | ۵۴/۳ | ۵۱/۴ |
| عیار آهن در باطله٪ | ۱۹/۳ | ۲۰ | ۱۷/۶ |
| بازیابی وزنی٪ | ۵۶/۹ | ۵۳/۵ | ۶۱/۳ |
| بازیابی آهن٪ | ۷۸/۳ | ۷۵/۸ | ۸۲/۳ |
| کارایی جدایش | ۴۴/۳ | ۴۵/۷ | ۴۲/۵ |
| D ₈₀ خوراک (میکرون) | ۴۴ | ۴۴ | ۴۴ |

جدول ۵ نتایج دو مرحله جدایش مغناطیسی اسلون (رافر - کلینر) روی باطله های مذکور را نشان می دهد. با اضافه کردن یک مرحله شستشو، عیار کنسانتره در حالت بدون نرم کنی به

شستشوی مغناطیسی نیز بر روی کنسانتره اسلون انجام شد. همان گونه که بیان شد جداکننده شدت بالای جونز در کاهش عیار آهن منتقل شده به بخش باطله، عملکرد ضعیفی دارد. بنابراین آزمایشی در مقیاس نیمه صنعتی طراحی شد تا بتوان خوراک جداکننده جونز را وارد اسلون کرد و سپس نتایج آن ها را با یکدیگر مقایسه کرد.

۲-۳- نتایج آزمایش های نیمه صنعتی

جدول ۳ مشخصات کامل و نتایج آزمایش های بدون نرم کنی را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود با استفاده از یک مرحله جدایش شدت و گرادیان بالا، عیار کنسانتره در شدت میدان ۶۰۰۰ گوس به ۵۲/۷٪ رسید. کاهش عیار باطله با همین یک مرحله محقق شد، به طوری که عیار باطله به زیر ۲۰٪ کاهش یافت. میزان بازیابی وزنی در هر سه حالت بالا و حدود ۶۰٪ بوده است. دلیل بالا بودن بازیابی وزنی، گرادیان ایجاد شده در بین میله های ماتریس و افزایش نیروی مغناطیسی است که به ذرات با میزان کم نفوذپذیری مغناطیسی هم اجازه ورود به بخش کنسانتره را می دهد. این نکته البته در میزان خالص بودن کنسانتره و افزایش عیار بیشتر آن تأثیر منفی دارد. زیرا ذرات بی ارزش قفل شده با ذرات مغناطیسی را نیز به سوی کنسانتره هدایت می کند که کاهش عیار کنسانتره را به نسبت دیگر تجهیزات شدت بالای مغناطیسی (مانند جداکننده جونز) به همراه دارد.

جدول ۳: نتایج آزمایش ها روی باطله ها بدون نرم کنی

| شماره آزمایش | ۱ | ۲ | ۳ |
|--------------------------------|------|------|-------|
| سرعت رینگ (rpm) | ۳/۵ | ۳/۵ | ۳/۵ |
| تعداد ضربان (بر دقیقه) | ۳۰۰ | ۳۰۰ | ۳۰۰ |
| فاصله ماتریس (mm) | ۲ | ۲ | ۲ |
| شدت میدان زمینه (گوس) | ۶۰۰۰ | ۸۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ |
| تناژ ورودی (Kg/h) | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| درصد جامد خوراک | ۲۴ | ۲۴ | ۲۴ |
| عیار آهن در خوراک٪ | ۳۸/۳ | ۳۸/۳ | ۳۸/۳ |
| عیار آهن در کنسانتره٪ | ۵۲/۷ | ۵۱/۱ | ۵۰/۶ |
| عیار آهن در باطله٪ | ۱۹/۴ | ۱۸/۶ | ۱۸ |
| بازیابی وزنی٪ | ۵۶/۹ | ۶۰/۶ | ۶۲/۲ |
| بازیابی آهن٪ | ۷۸/۲ | ۸۰/۹ | ۸۲/۲ |
| کارایی جدایش | ۴۴/۱ | ۴۲ | ۴۱/۳ |
| D ₈₀ خوراک (میکرون) | ۷۱ | ۷۱ | ۷۱ |

کنسانتره آن پایین تر از جداکننده جونز است. دلیل این مطلب، انتخابی تر بودن فرآیند جدایش در جداکننده جونز نسبت به اسلون است. گرادیان میدان ایجاد شده در اسلون موجب می شود. ذرات با میزان خاصیت مغناطیسی بسیار کم هم توسط نیروی مغناطیسی جذب شده و به کنسانتره بروند. ضمن این که مکانیزم نوسانی که در انتهای مخزن جداکننده اسلون وجود دارد باعث ایجاد فرصت مجدد به مواد باطله و افزایش بازیابی وزنی است. در صورتی که پس از اسلون تجهیزات دیگری برای افزایش عیار موجود باشد، به دلیل بازیابی وزنی بالا، این جداکننده پیشنهاد می شود. همچنین در رمق گیری باطله ها که کاهش عیار باطله مد نظر است، اسلون کارایی بیشتری دارد.

۳- نتیجه گیری

۱- نتایج نمونه گیری ها نشان داد به دلیل ضعف در مدار فرآوری باطله خشک (DTP) و تر (WTP) کارخانه بازیابی هماتیت مجتمع گل گهر، در حال حاضر ۷۵ تن بر ساعت باطله با عیار متوسط آهن ۳۸ درصد به سد باطله انتقال می یابد. برای بازیابی این مواد بارزش از یک جداکننده مغناطیسی شدت و گرادیان بالای اسلون در مقیاس نیمه صنعتی و با قطر ۷۵۰ میلی متر که شدت میدان مغناطیسی آن تا ۱۰۰۰۰ گوس قابل تغییر بوده است استفاده شد.

۲- نتایج آزمایش روی باطله های مدار DTP و WTP کارخانه بازیابی هماتیت مجتمع گل گهر نشان داد که با استفاده از یک مرحله جداکننده اسلون می توان ۶۰٪ از این باطله ها را با عیار ۵۲٪ بازیابی کرد.

۳- عیار نهایی باطله کاهش قابل توجهی داشته و به کمتر از ۱۸٪ رسید که با در نظر گرفتن سولفیدی بودن بخش اعظمی از باطله ها می توان مقادیری از این آهن را نیز به پیریت نسبت داد.

۴- جداکننده اسلون به علت ایجاد گرادیان بالا و مکانیزم نوسانی در مخزن آن، دارای قابلیت بالایی در رمق گیری از باطله های هماتیستی و ریزدانه است.

۵- خردایش باطله ها تا اندازه ۴۵ میکرون، تأثیر چشمگیری در کاهش عیار آهن باطله و افزایش عیار آهن کنسانتره نداشته است، بنابراین استفاده از مدار خردایشی در حال حاضر مقرون به صرفه نیست.

۵۵/۲٪ رسید، در حالی که این عدد در حالت آسیاکنی تا ۴۵ میکرون به ۵۶/۶٪ افزایش یافت. بنابراین مرحله شستشو در هر دو حالت باعث افزایش عیار حدود ۲/۵ درصدی خواهد شد که با توجه به کاهش ۴ درصدی بازیابی وزنی قابل توجه نیست. دلیل این عدم بالارفتن عیار آهن را می توان به قفل شدن ذرات بالای ذرات نسبت داد. در کشور چین برای افزایش عیار این کنسانتره ها، از یک مرحله جداکننده ثقلی سانتریفیوژ که در ابعاد دانه ریز کار می کند، استفاده می کنند.

جدول ۵: نتایج آزمایش های رافر - کلینر

| شماره آزمایش | ۱ | ۲ |
|--------------------------------|------|------|
| سرعت رینگ (rpm) | ۳/۵ | ۳/۵ |
| تعداد ضربان (بر دقیقه) | ۳۰۰ | ۳۰۰ |
| فاصله ماتریس (mm) | ۲ | ۲ |
| شدت میدان زمینه (گوس) | ۶۰۰۰ | ۶۰۰۰ |
| تناژ ورودی (Kg/h) | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| درصد جامد خوراک | ۲۵ | ۲۵ |
| عیار آهن در خوراک٪ | ۳۸/۴ | ۳۸/۴ |
| عیار آهن در کنسانتره٪ | ۵۵/۲ | ۵۶/۶ |
| عیار آهن در باطله٪ | ۲۰/۵ | ۲۱/۵ |
| بازیابی وزنی٪ | ۵۲ | ۴۸ |
| بازیابی آهن٪ | ۷۴ | ۷۱ |
| D ₈₀ خوراک (میکرون) | ۷۱ | ۴۴ |

جدول ۶ نتایج مقایسه بین عملکرد جداکننده شدت بالای جونز و جداکننده شدت و گرادیان بالای اسلون را از لحاظ پارامترهای متالورژیکی نشان می دهد.

جدول ۶: نتایج مقایسه بین عملکرد جداکننده اسلون و جونز

| نام تجهیز | SLon | JONES |
|-----------------------|------|-------|
| شدت میدان زمینه (گوس) | ۸۰۰۰ | ۸۰۰۰ |
| عیار آهن در خوراک٪ | ۵۳/۸ | ۵۳/۸ |
| عیار آهن در کنسانتره٪ | ۵۹/۱ | ۶۲/۵ |
| عیار آهن در باطله٪ | ۲۳/۳ | ۴۰ |
| بازیابی وزنی٪ | ۸۵ | ۶۱/۳ |

با توجه به جدول ۶ می توان به این نتیجه رسید که جداکننده اسلون توانایی بالایی در رمق گیری و کاهش عیار باطله مدار جدایش مغناطیسی در بازیابی کانه هماتیت دارد؛ اما عیار

[7]. Dahe, Xiong; 2007; *SLon Magnetic Separators Applied in Various Industrial Iron Ore Processing Flow Sheets*; Iron Ore Conference, AIMM, Perth, WA, PP.245-250

[8]. Dahe; Xiong; 2012; "*The Creative Technologies SLON Magnetic Separator in Beneficiating Weakly Magnetic Minerals*"; India; IMPC2012, pp.66-82

۶- می توان با استفاده از یک جداکننده اسلون با قطر ۲ متر به میزان ۴۳ تن بر ساعت به محصول کارخانه بازیابی هماتیت افزود.

۷- شستشوی مغناطیسی (مرحله کلینر) کنسانتره مرحله رافر، افزایش چشمگیری را در عیار کنسانتره نشان نداده است.

۸- مقایسه عملکرد جداکننده جونز و اسلون نشان داده است که جداکننده جونز قدرت انتخابی بیشتری نسبت به اسلون دارد و بنابراین عیار آهن در کنسانتره آن بالاتر است، اما بازیابی وزنی آن پایین تر می باشد. همچنین در این آزمایش ها، عیار باطله اسلون تقریباً نصف عیار باطله جداکننده جونز است. بنابراین در صورتی که رمق گیری از محصول هدف باشد، جداکننده اسلون گزینه مطلوب تری است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از معاونت بهره برداری مجتمع گل گهر آقای مهندس خلیلی، کلیه پرسنل پایلوت و آزمایشگاه فرآوری پژوهشکده سنگ آهن و فولاد، و پرسنل کارخانه هماتیت که در انجام این پژوهش همکاری داشته اند، کمال تشکر را دارند.

منابع

[1]. Rayner.J.G; Napier-munn.T.J. 2000 "*The mechanism of magnetics capture in the wet drum magnetic separator*"; Elsevier; Minerals Engineering

[2]. Chen; Luzheng; 2011; "*Effect of magnetic field orientation on high gradient magnetic separation performance*"; Elsevier; Minerals Engineering; pp.88-90

[3]. Dahe, Xiong; 2010, "*A New Technology OF Applying SLon-2500 Magnetic Separator to Recovery Iron Concentrate from Abandoned Tails*", IMPC2010 PP.1405-1412

[4]. Dahe, Xiong, 2008, "*Slon Magnetic Separators Applied to Beneficiate Low Grade Oxidized Iron Ores*", China, IMPC2008, pp.813-818

[5]. Outotec Oyj Catalogue; 2013 "*SLon® vertically pulsating high gradient magnetic separator*"

[6]. Chen; Luzheng; Li Ding; 2014; "*Slice matrix analysis for combinatorial optimization of rod matrix in PHGMS*"; Elsevier; Minerals Engineering; pp.104-107