

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی



تعیین کارایی جداکننده های مغناطیسی خشک در مدار فرآوری مجتمع سنگ آهن گل گهر

حسام قاسمی کرم^{۱*}، بهرام رضایی^۲، عباس سام^۳، فرشید زمانی^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فرآوری مواد معدنی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)
- ۲- استاد دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
- ۳- استادیار بخش مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
- ۴- کارشناس ارشد مهندسی معدن، سرپرست مرکز تحقیق و توسعه مجتمع سنگ آهن گل گهر

E-mail: corom2001@yahoo.com

چکیده

کانسنگ موجود در مدار فرآوری گل گهر حاوی درصد قابل توجهی از سولفور بوده و لذا حفظ حداکثر عیار سولفور (۱۱۳٪ درصد) با حداکثر بازیابی و عیار آهن از اهداف این مجتمع می باشد. مهمترین مرحله جدایش در سیستم جدایش خشک مرحله شستشو (کلینر) می باشد. بررسی هایی بر روی چند نوع از محصول این قسمت انجام شد و مشخص گردید که ذرات بالای ۱۰۰۰ میکرون به دلیل آلودگی شدن توسط ذرات ریز مغناطیسی به محصول نهایی راه پیدا کرده و از آنجاییکه این ذرات حاوی مقدار قابل توجهی سولفور بوده، باعث کاهش کیفیت محصول نهایی شده اند. ذرات در محدوده ابعادی زیر ۴۵ میکرون نیز درصد سولفور بالایی داشتند. محدوده ابعادی ۱۲۵+۵۰۰- میکرون کمترین عیار سولفور و بیشترین عیار آهن را دارا بود. بافت کانسنگ نیز یکی از مهمترین دلایل افزایش عیار سولفور در محصول مغناطیسی بوده است. دنباله روی ذرات ریز غیرمغناطیسی و احاطه شدن ذرات مغناطیسی حدواسط توسط ذرات ریز مغناطیسی آزاد و راه یافتن آنها به محصول نهایی از جمله بزرگترین مشکلات در جدایش مغناطیسی خشک می باشد.

واژه های کلیدی: عیار، سولفور، محصول نهایی، مغناطیسی خشک، سنگ آهن گل گهر

۱- مقدمه

دانش جدایش مغناطیسی موجب کامل شدن پیشرفتهای فنی در چند دهه اخیر شده و در نتیجه کاربردها و مفاهیم طراحی جدیدی در جدایش مغناطیسی به وجود آمده است و همچنین تغییرات زیادی در طرحهای

* تهران- خیابان ولی عصر- میدان ولی عصر- خیابان دمشق- پلاک ۲۱ - خوابگاه شرفی



جداکننده مغناطیسی به دنبال داشته که این تغییرات موجب کارایی بالا و وسیع شدن دامنه کاربردهای صنعتی شده است.

جدایش مغناطیسی ممکن است به عنوان قسمت مهمی از فرایندهای اولیه^۱ و یا ثانویه^۲ و یا عملیات اسکاونجر^۳ برای تولید کنسانتره مواد معدنی بکار برده شود. جدایش مغناطیسی همچنین در کاربردهای شامل حذف قطعات فلزی آهنی قبل از خردایش توسط سنگ شکنها و یا آسیابها بکار برده می شود. کاربردهای جداکننده های مغناطیسی خیلی متنوع بوده و در بسیاری از صنایع مختلف بکار برده می شود. از کاربردهای دیگر جداکننده های مغناطیسی، حذف فلزات سنگین و درشت از قبیل دندانهای بیل شاول و یا زنجیر در خط سنگ شکن و همچنین حذف آهن سائیده شده از جریان فرایند کانیهای صنعتی با خلوص بالا می باشد. جدایش مغناطیسی برای جدایش انتخابی ترکیبات مغناطیسی از قبیل کانیهای منیتیت و هماتیت در یک کانسنگ آهن نیز بکار می رود. از کاربردهای دیگر این سیستم حذف عناصر مغناطیسی قابل حذف برای خالص سازی عناصر غیر مغناطیسی در صنایع سرامیک و مواد نسوز است. کاربردهای بازیافت و بازیابی ثانویه با بکارگیری جدایش مغناطیسی و بازیابی پسماندها از فرایندهای مختلف و بازیافت ترکیبات شیمیایی خطرناک از باطله نیز از کاربردهای جدایش مغناطیسی می باشد. [۱ و ۲]

کانیهای فرومنیتیت با یک شدت میدان مغناطیسی پایین به آسانی قابل جدایش می باشند. جداکننده های نوع استوانه ای متداولترین نوع جداکننده های مغناطیسی برای جدایش کانیهای فرومنیتیت می باشند. استفاده از این نوع جداکننده های مغناطیسی در هر دو حالت جدایش مغناطیسی خشک و تر باعث ایجاد بازیابی بالایی از مواد فرومنیتیت شده اند. [۲]

جداکننده های مغناطیسی خشک برای پرعیار سازی ذرات درشت و شدیداً مغناطیسی استفاده می شود، که به فرایند کوبینگ معروف هستند. این جداکننده ها از یک استوانه دوار تشکیل شده اند که در داخل مجهز به آهنربای دائم یا الکترومغناطیسی هستند که به طور ثابت نصب شده اند. [۳]

هنگامیکه ذرات با خواص مغناطیسی مختلف پس از ورود به سطح استوانه تحت تأثیر نیروی مغناطیسی واقع می شوند و چنانکه شدت میدان مغناطیسی مناسب باشد، ذرات مغناطیسی جذب استوانه می شوند. از طرفی، نیروهای دیگر مانند نیروی وزن ذره و نیروی گریز از مرکز ناشی از چرخش استوانه، سعی به دور کردن ذره از سطح استوانه دارند. بنابراین جداکننده هایی که استوانه با سرعت بیش از ۶۰ دور بر دقیقه

^۱ Rougher

^۲ Cleaner

^۳ Scavenger



می چرخند، علاوه بر نیروی مغناطیسی، نیروی غالب نیروی گریز از مرکز نیز وجود دارد. نیروی مغناطیسی که بر چنین ذراتی اعمال می شود.

از این نوع جداکننده ها برای پرعیارسازی مواد فرومغناطیس (مانند منیتیت) در فرآوری کانسنگ های آهن استفاده می شود. در این نوع جداکننده ها قطب های مغناطیسی به طور متناوب قرار می گیرند و طول قوس و تعداد قطبهای موجود در طول مشخصی از قوس متغیر است. با این نوع جداکننده ها می توان ذراتی با ابعاد ۵ تا ۲۵ میلیمتر را به خوبی پرعیار کرد. بنابراین چنانکه بافت سنگ به نحوی باشد که گانگ درونی کانه تفرق داشته باشد، بازیابی به شدت کاهش می یابد. مطالعات انجام شده نشان می دهد که ذرات مغناطیسی در سطح استوانه حرکتی چرخشی دارند و سرعت واقعی آنها بیشتر از سرعت چرخش استوانه است. ذراتی که ابعاد آنها از یک پنجم فاصله بین خطوط مرکزی قطب ها بزرگتر باشد. در حین عبور از قطب ها هیچ حرکت چرخشی از خود نشان نمی دهند ولی در عوض به محض نزدیک شدن به قطب ها حرکت پرشی به خود می گیرند. بعضی از ذرات که ابعاد آنها از یک پنجم فاصله بین قطب ها کوچکتر باشد با دبی کم، هیچ حرکت چرخشی ندارند و بر روی یک قطب باقی می مانند و در سطح استوانه می لغزند و ذرات دیگر را به طرف خود جذب می کنند و زنجیری از ذرات را تشکیل می دهند. وقتی باردهی به سطح استوانه زیاد باشد، توده ای از ذرات تشکیل می شود که بدون حرکت چرخشی خود از چرخش استوانه پیروی کرده و در نهایت مشکلاتی را در امر جدایش به وجود می آورند. [۳ و ۴]

این جداکننده ها با هر دو مدل دائم و الکترومغناطیس به بازار عرضه می شوند و با کنترل پارامترهایی مانند ابعاد ذرات، میدان مغناطیسی در سطح استوانه، فاصله سطح غیرمغناطیسی از آهنربا، زاویه فضایی و فاصله بین قطب ها، شعاع استوانه و دبی بار اولیه می توان به جدایش مطلوب دست یافت. [۳]

۲- مشکلات ناشی از نر مه

در مورد حذف ذرات نر مه و باردهی لایه ای به خصوص در جداکننده های خشک و در حضور ذرات فرومنیتیتی، باید توجه داشت که خطوط نیرو در اطراف ذره متمرکز و از داخل آنها عبور می کند و در اطراف هر ذره، میدانی با گرادیان زیاد به وجود می آورد و هر ذره مشابه یک آهنربا عمل کرده و ذرات دیگر را به خود جذب می کند.

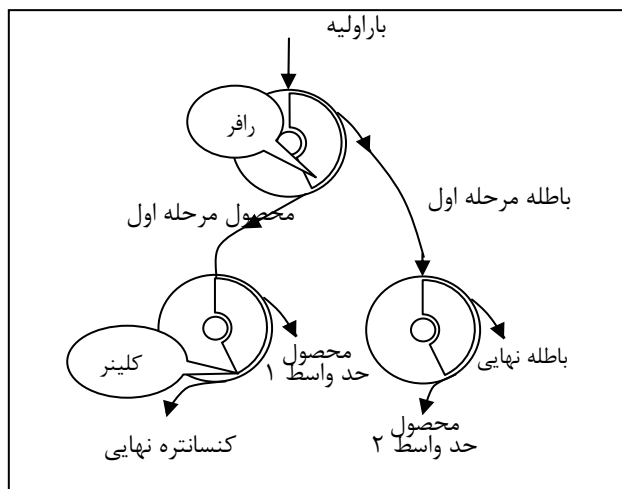
دانه ریز بودن ذرات و عبور آنها از میدان با شدت زیاد ممکن است گره شدن ذرات و کاهش بازیابی در جداکننده را به دنبال داشته باشد. بنابراین توده حاصل از ذرات، سبب می شود که ذرات غیرمغناطیسی را نیز با خود حمل کند و یا ممکن است به صورت رشته هایی دو قطب مغناطیسی را به هم متصل سازد.



یکی از پارامترهای مؤثر، تنظیم شدت میدان مغناطیسی است که در جداکننده‌های مغناطیسی مختلف، متفاوت است. به عنوان مثال در جداکننده‌هایی که با آهنرباهای دائم کار می‌کنند، با تغییر فاصله قطب‌ها از یکدیگر و نیز در نوع الکترومغناطیس با تغییر شدت جریان می‌توان شدت میدان را تنظیم کرد. معمولاً جداکننده‌های با شدت کم با شدت میدان کمتر از ۲۰۰۰ گاوس عمل می‌کنند. از جداکننده‌های مغناطیسی خشک با شدت پایین برای محدوده ابعاد نسبتاً درشت (درشت تر از ۵ میلی‌متر) و از انواع تر برای محدوده ابعاد ریزتر از ۵ میلی‌متر که آرایش آنها به روش خشک مشکل است، استفاده می‌شود. [۵]

۳- روش تحقیق و مواد مورد نیاز

در این پژوهش از جداکننده‌های مغناطیسی شدت پایین- خشک صنعتی برای جدایش مواد ریز مغناطیسی از مواد غیرمغناطیسی استفاده شده است. جداکننده‌های مغناطیسی شامل یک طبل گردنده می‌باشد و داخل آن یک آهنربای دائم چند قطبی با شدت میدان مغناطیسی ۱۱۰۰ گاوس جهت ایجاد میدان مغناطیسی قرار دارد. سیستم جدایش مغناطیسی خشک شامل سه جداکننده مغناطیسی شدت پایین- خشک می‌باشد. بار اولیه از محفظه باردهی به سطح استوانه اولین جداکننده مغناطیسی یا جداکننده مغناطیسی رافر وارد می‌شود. پس از خارج شدن مواد از جداکننده مغناطیسی رافر دو محصول کنسانتره و باطله بدست می‌آید. سپس در مسیر هر یک از محصولات جداکننده مغناطیسی رافر، یک جداکننده مغناطیسی شدت پایین- خشک با همان مشخصات جداکننده مغناطیسی رافر قرار می‌گیرد. جداکننده مغناطیسی که در مسیر کنسانتره جداکننده مغناطیسی رافر قرار می‌گیرد، جداکننده کلینر نامیده می‌شود و محصولات خروجی آن کنسانتره نهایی و محصول حد واسط می‌باشند. جداکننده مغناطیسی که در مسیر باطله جداکننده مغناطیسی رافر قرار می‌گیرد، اسکاونجر یا رمق‌گیر نامیده می‌شود و محصولات نهایی آن، باطله نهایی و محصول حد واسط می‌باشند که این محصولات حد واسط به بخش جدایش مغناطیسی تر منتقل می‌شوند. نمایی از سیستم جدایش مغناطیسی خشک مدار فرآوری مجتمع گل‌گهر در شکل ۱- نشان داده شده است. بار ورودی به جداکننده مغناطیسی رافر، محصول آسیاهای خودشکن می‌باشد. آزمایش تحت شرایط زیر انجام شده است.



شکل ۱- سیستم جدایش مغناطیسی خشک در مدار فرآوری مجتمع گل گهر

بار ورودی به جداکننده مغناطیسی رافر دارای ابعاد ۸۰ درصد زیر ۴۵۰ میکرون بود. دمای بار ورودی به جداکننده مغناطیسی خشک ۷۰ درجه سانتیگراد بوده و سرعت چرخش طبل جداکننده‌های مغناطیسی رافر و کلینر به ترتیب ۶۵ درصد، ۸۵ درصد بوده است. سرعت باردهی به جداکننده مغناطیسی خشک نیز ثابت بود.

در بررسی‌های قبلی مشخص گردید که فرایند جدایش در هر سه مرحله مشابه هم بوده است. بنابراین، بیشترین تمرکز بر روی جداکننده مرحله کلینر متمرکز شد. زیرا محصول حاصل از این مرحله، محصول نهایی کارخانه است. نمونه برداری در شرایط باردهی مستقیم به کارخانه انجام شد و جداکننده‌ها در شرایط حداکثر دور کار می‌کردند. در این شرایط ثابت، از محصول‌های مختلف جداکننده کلینر در حدود ۷ کیلوگرم نمونه برداری کرده و سپس با استفاده از تقسیم‌کن مجرای، نمونه کلی را به یک نمونه ۳۰۰ گرمی تقسیم کرده و سپس آنالیز سرندهی را با سرندهای ۱۰۰۰، ۷۱۰، ۵۰۰، ۳۵۵، ۲۵۰، ۱۸۰، ۱۲۵، ۹۰، ۶۳ و ۴۵ میکرومتری انجام داده و سرانجام پس از وزن مواد روی هر یک از طبقات سرندهی و تقسیم نمونه‌های موجود در طبقات سرندهی، نمونه‌ها را با آسیای کاپ پودر کرده و برای آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه شیمی فرستاده شده‌اند. [۶]



۴- بحث و نتایج

۴-۱- بررسی رفتار جدایش در جداکننده مرحله شستشو (کلینر)

درصد فسفر کانسنگ آهن مجتمع گل گهر پایین می باشد و لذا در جدایش مغناطیسی مشکل ساز نمی باشد. درصد سولفور کانسنگ آهن بالا بوده و لذا کاهش عیار سولفور تا حد بهینه ۰/۱۳ درصد از اهداف اصلی جدایش مرحله شستشو می باشد. در جدول ۱- تغییرات عیار آهن برحسب ابعاد ذرات در محصول مرحله کلینر نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات محصول نهایی با سولفور پایین ۰/۰۶ درصد

توزیع (%)				نسبت Fe/FeO	عیار (%)				تجمعی عبوری (%)	وزن (%)	ابعاد ذرات (میکرون)
S	P	FeO	Fe		S	P	FeO	Fe			
۱۸/۸۸	۱۰/۰۴	۵/۶۷	۷/۳۶	۳/۵۳	۰/۱۵	۰/۰۴	۱۸/۵۸	۶۵/۶۲	۹۲/۳۸	۷/۶۲	+۱۰۰۰
۴/۲۶	۲/۸۳	۲/۰۴	۲/۳۰	۳/۰۷	۰/۱۰۷	۰/۰۳۵	۲۱/۸۲	۶۷/۰۷	۹۰/۰۵	۲/۳۳	-۱۰۰۰+۷۱۰
۲/۴۶	۵/۱۵	۴/۲۶	۴/۳۹	۲/۸۱	۰/۰۳۳	۰/۰۳۴	۲۴/۳۵	۶۸/۳۴	۸۵/۶۸	۴/۳۷	-۷۱۰+۵۰۰
۳۲/۷۷	۳۹/۱۱	۶۱/۴۴	۵۷/۹۹	۲/۵۷	۰/۰۳۴	۰/۰۲۰	۲۷/۱۸	۶۹/۸۷	۲۹/۲۶	۵۶/۴۲	-۵۰۰+۱۲۵
۱۹/۵۰	۱۲/۹۶	۱۹/۷۷	۱۹/۶۳	۲/۷۰	۰/۰۵۸	۰/۰۱۹	۲۵/۰۸	۶۷/۸۱	۹/۵۸	۱۹/۶۸	-۱۲۵+۴۵
۲۲/۱۲	۲۹/۹۲	۶/۹۶	۸/۳۹	۳/۲۸	۰/۱۳۵	۰/۰۹۰	۱۸/۱۱	۵۹/۴۴	۰/۰۰	۹/۵۹	-۴۵
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲/۷۲	۰/۰۵۹	۰/۰۲۹	۲۴/۹۶	۶۷/۹۸	-	۱۰۰	محاسباتی
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲/۷۱	۰/۰۵۲	۰/۰۳۱	۲۵/۱۰	۶۸/۰۷	-	۱۰۰	عملیاتی

همانطور که مشاهده می شود، ذرات در محدوده ابعادی ۱۰۰۰+ میکرون دارای عیار و توزیع آهن پایین و سولفور بالا می باشند. از آنجاییکه دور جداکننده کلینر بالا بوده، لذا بایستی این محدوده ابعادی به باطله راه پیدا می کردند. ولی به دلیل آگلومره بودن بار ورودی به مرحله کلینر (محصول مرحله رافر)، ذرات درشت توسط ذرات ریز مغناطیسی پوشیده شده اند و به صورت یک ذره مغناطیسی خیلی قوی عمل کرده و به محصول نهایی راه پیدا کرده اند. ذرات در محدوده ابعادی ۱۰۰۰+۷۱۰- میکرون نیز عیار سولفور بالایی دارند ولی توزیعشان به دلیل پایین بودن درصد وزنی، کم می باشد. کاهش ناگهانی عیار سولفور در محدوده ابعادی ۷۱۰+۵۰۰- میکرون و محدوده های پایین تر می تواند دلیلی بر رسیدن به درجه آزادی در این نوع محصول نهایی باشد. به دلیل عیار آهن بالا و عیار سولفور و نسبت Fe/FeO پایین (۲/۵۷) در محدوده ابعادی



۵۰۰+۱۲۵- میکرون، این محدوده ابعادی، بهترین دامنه جدایش در مرحله شستشو می باشد. در سایر مراحل جدایش نیز روند مشابه دیده شده است. (یک ذره منیتیت خالص دارای نسبت Fe/FeO برابر با ۲/۳۳ می باشد. بنابراین هرچه این نسبت به عدد ۲/۳۳ نزدیک تر باشد، نشان دهنده وجود ذرات بیشتر به صورت منیتیت می باشد.)

با کاهش ابعاد در محدوده ۱۲۵+۴۵- میکرون، عیار سولفور افزایش و عیار آهن کاهش می یابد. درصد وزنی زیاد در این محدوده دلیل عمده افزایش توزیع سولفور و آهن است. دلیل افزایش عیار سولفور و کاهش عیار آهن را می توان به راهیابی ذرات ریز غیر مغناطیسی در اثر نیروهای الکترواستاتیکی به محصول نهایی بیان کرد. با کاهش بیشتر ابعاد در محدوده ۴۵- میکرون، عیار سولفور افزایش زیاد و عیار آهن کاهش زیادی داشته است. این تغییرات زیاد در این محدوده ابعادی باعث کاهش کیفیت محصول نهایی شده است. آزمایشات لوله دیویس نشان می دهد که ۵۸ درصد ذرات زیر ۴۵ میکرون در این نوع محصول به صورت ذرات غیرمغناطیسی می باشند.

مشخصات چهار نوع دیگر از محصولات نهایی در جداول ۲ تا ۵ نشان داده شده است. روند تغییرات عیار و توزیع آهن و سولفور نیز مشابه با روند ذکر شده در مورد محصول بالا می باشد.

جدول ۲- مشخصات محصول نهایی با سولفور پایین ۰/۱۳۵ درصد

توزیع (%)				نسبت Fe/FeO	عیار (%)				تجمعی عبوری (%)	وزن (%)	ابعاد ذرات (میکرون)
S	P	FeO	Fe		S	P	FeO	Fe			
۱۴/۷۶	۶/۷۳	۷/۴۳	۸/۳۵	۴/۲۹	۰/۲۳۷	۰/۰۴	۱۵/۶۵	۶۷/۲۱	۹۱/۶۱	۸/۳۹	+۱۰۰
۵/۴۱	۲/۷۴	۲/۸۹	۳/۱۷	۴/۱۸	۰/۲۳۰	۰/۰۴۱	۱۶/۱۲	۶۷/۴۶	۸۸/۴۴	۳/۱۷	-۱۰۰۰+۷۱۰
۵/۱۲	۳/۳۹	۴/۱۵	۴/۲۲	۳/۸۹	۰/۱۶۳	۰/۰۳۸	۱۷/۳۴	۶۷/۴۷	۸۴/۲۱	۴/۲۳	-۷۱۰+۵۰۰
۲۰/۴۷	۴۲/۷۳	۴۹/۸۹	۴۴/۶۱	۳/۴۲	۰/۰۶۴	۰/۰۴۷	۲۰/۴۶	۶۹/۹۴	۴۱/۱۲	۴۳/۰۹	-۵۰۰+۱۲۵
۱۲/۹۷	۱۱/۴۲	۲۵/۴۹	۲۴/۹۵	۳/۷۴	۰/۰۷۱	۰/۰۲۲	۱۸/۳۰	۶۸/۴۹	۱۶/۵۱	۲۴/۶۱	-۱۲۵+۴۵
۴۱/۲۸	۳۳/۰۷	۱۰/۵۴	۱۴/۷۱	۵/۳۳	۰/۳۳۷	۰/۰۹۵	۱۱/۲۹	۶۰/۲۲	۰/۰۰	۱۶/۵۰	-۴۵
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳/۸۲	۰/۱۳۵	۰/۰۴۷	۱۷/۶۷	۶۷/۵۶	-	۱۰۰	محاسباتی
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳/۸۱	۰/۱۴۰	۰/۰۵۱	۱۷/۷۲	۶۷/۴۳	-	۱۰۰	عملیاتی



جدول ۳- مشخصات محصول نهایی با سولفور ۰/۱۷۵ درصد

توزیع (%)				نسبت Fe/FeO	عیار (%)				تجمعی عبوری (%)	وزن (%)	ابعاد ذرات (میکرون)
S	P	FeO	Fe		S	P	FeO	Fe			
۴۰/۴۳	۱۳/۶۱	۹/۴۲	۱۰/۴۸	۳/۸۱	۰/۶۷۸	۰/۰۵۶	۱۷/۴۳	۶۶/۴۷	۸۹/۵۸	۱۰/۴۲	+۱۰۰۰
۳/۸۸	۲/۴۸	۲/۵۴	۲/۷۴	۳/۶۹	۰/۲۵۵	۰/۰۴۰	۱۸/۴۴	۶۷/۹۸	۸۶/۹۲	۲/۶۶	-۱۰۰۰+۷۱۰
۴/۰۸	۳/۵۱	۴/۹۹	۴/۸۶	۳/۳۴	۰/۱۵۴	۰/۰۳۳	۲۰/۷۷	۶۹/۳۲	۸۲/۲۹	۴/۶۳	-۷۱۰+۵۰۰
۱۳/۹۴	۲۸/۹۵	۵۱/۱۸	۴۸/۰۳	۳/۲۱	۰/۰۵۳	۰/۰۲۷	۲۱/۴۸	۶۹/۰۵	۳۶/۳۳	۴۵/۹۶	-۵۰۰+۱۲۵
۶/۵۱	۲۲/۴۶	۲۲/۵۴	۲۲/۰۴	۳/۳۵	۰/۰۵۲	۰/۰۴۴	۱۹/۸۷	۶۶/۵۷	۱۴/۴۵	۲۱/۸۸	-۱۲۵+۴۵
۳۱/۱۶	۲۸/۹۷	۹/۳۶	۱۲/۴۲	۴/۵۴	۰/۳۷۷	۰/۰۸۶	۱۲/۵۱	۵۶/۸۱	۰/۰۰	۱۴/۴۴	-۴۵
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳/۴۳	۰/۱۷۵	۰/۰۴۳	۱۹/۲۹	۶۶/۰۸	-	۱۰۰	محاسباتی
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳/۲۸	۰/۱۶۸	۰/۰۳۸	۲۰/۲۳	۶۶/۴۲	-	۱۰۰	عملیاتی

جدول ۴- مشخصات محصول نهایی با سولفور ۰/۳۵۷ درصد

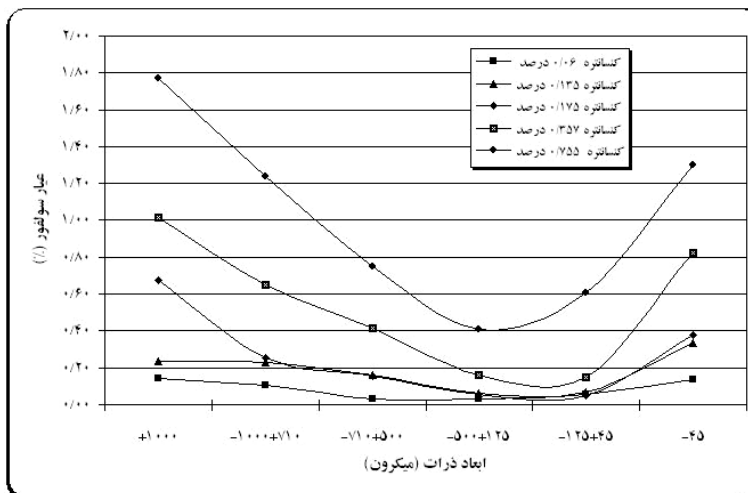
توزیع (%)				نسبت Fe/FeO	عیار (%)				تجمعی عبوری (%)	وزن (%)	ابعاد ذرات (میکرون)
S	P	FeO	Fe		S	P	FeO	Fe			
۳۲/۹۴	۲۲/۶۴	۱۰/۴۳	۱۱/۲۲	۳/۴۲	۱/۰۱۷	۰/۰۸۵	۱۹/۲۹	۶۵/۹۹	۸۸/۴۵	۱۱/۵۵	+۱۰۰۰
۵/۹۳	۵/۴۹	۳/۱۱	۳/۲۴	۳/۳۱	۰/۶۴۹	۰/۰۷۳	۲۰/۳۹	۶۷/۵۴	۸۵/۱۹	۳/۲۶	-۱۰۰۰+۷۱۰
۶/۶۷	۵/۴۵	۶/۰۳	۵/۸۲	۳/۰۷	۰/۴۱۲	۰/۰۴۱	۲۲/۳۲	۶۸/۵۶	۷۹/۴۲	۵/۷۷	-۷۱۰+۵۰۰
۲۲/۱۲	۳۱/۸۳	۵۳/۵۰	۵۰/۵۷	۳/۰۱	۰/۱۶۰	۰/۰۲۸	۲۳/۱۹	۶۹/۶۹	۳۰/۱۲	۴۹/۳۰	-۵۰۰+۱۲۵
۸/۱۶	۹/۹۷	۱۹/۰۶	۱۹/۶۰	۳/۲۷	۰/۱۴۸	۰/۰۲۲	۲۰/۷۳	۶۷/۷۷	۱۰/۴۷	۱۹/۶۵	-۱۲۵+۴۵
۲۴/۱۹	۲۴/۶۲	۷/۸۶	۹/۵۶	۳/۸۶	۰/۸۲۴	۰/۱۰۲	۱۶/۰۵	۶۲/۰۱	۰/۰۰	۱۰/۴۷	-۴۵
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳/۱۸	۰/۳۵۷	۰/۰۴۳	۲۱/۳۶	۶۷/۹۵	-	۱۰۰	محاسباتی
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳/۱۵	۰/۳۴۸	۰/۰۴۱	۲۱/۵۵	۶۷/۸۹	-	۱۰۰	عملیاتی



جدول ۵- مشخصات محصول نهایی با سولفور ۰/۷۵۵ درصد

توزیع (%)				نسبت Fe/FeO	عیار (%)				تجمعی عبوری (%)	وزن (%)	ابعاد ذرات (میکرون)
S	P	FeO	Fe		S	P	FeO	Fe			
۲۱/۱۶	۲۰/۱۸	۸/۸۲	۸/۷۱	۲/۸۳	۱/۷۷	۰/۱۰	۲۲/۶۲	۶۴/۱۱	۹۰/۹۷	۹/۰۳	+۱۰۰۰
۵/۰۲	۳/۵۲	۳/۲۴	۳/۰۱	۲/۶۷	۱/۲۳۹	۰/۰۵۰	۲۴/۵۰	۶۵/۴۳	۸۷/۹۱	۳/۰۶	-۱۰۰۰+۷۱۰
۴/۶۹	۳/۱۵	۵/۰۵	۴/۸۰	۲/۷۲	۰/۷۵۱	۰/۰۲۹	۲۴/۸۱	۶۷/۵۸	۸۳/۱۹	۴/۷۲	-۷۱۰+۵۰۰
۲۴/۰۷	۲۷/۳۳	۴۶/۹۹	۴۵/۵۶	۲/۷۸	۰/۴۰۹	۰/۰۲۷	۲۴/۵۰	۶۸/۱۳	۳۸/۷۵	۴۴/۴۴	-۵۰۰+۱۲۵
۱۸/۹۵	۱۶/۸۶	۲۳/۲۲	۲۳/۹۲	۲/۹۵	۰/۶۰۶	۰/۰۳۱	۲۲/۷۹	۶۷/۳۴	۱۵/۱۴	۲۳/۶۱	-۱۲۵+۴۵
۲۶/۱۱	۲۸/۹۵	۱۲/۶۸	۱۴/۰۰	۳/۱۷	۱/۳۰۲	۰/۰۸۳	۱۹/۴۰	۶۱/۴۴	۰/۰۰	۱۵/۱۴	-۴۵
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲/۸۷	۰/۷۵۵	۰/۰۴۳	۲۳/۱۷	۶۶/۴۶	-	۱۰۰	محاسباتی
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲/۸۴	۰/۷۴۳	۰/۰۴۳	۲۳/۵۴	۶۶/۸۰	-	۱۰۰	عملیاتی

از مقایسه محدوده ابعاد مشابه در محصولات مختلف می توان دریافت که هر چه محصول پر سولفور بیشتر شود، تمام محدوده ابعاد به یک نسبت افزایش می یابند. به عبارتی، اگر روند تغییرات عیار سولفور بر حسب ابعاد ذرات رسم شود، روند تغییرات به سمت بالای منحنی محصول با سولفور ۰/۰۶ درصد شیفت پیدا می کند. در شکل ۱- تغییرات عیار سولفور بر حسب ابعاد ذرات در ۵ نوع محصول نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، بیشترین اختلاف سولفور بین ابعاد مختلف در محدوده ابعادی ۱۰۰۰+ میکرون وجود دارد. ذرات زیر ۴۵ میکرون نیز دارای اختلاف سولفور قابل توجهی هستند. کمترین اختلاف سولفور در محدوده ابعادی ۱۲۵+۵۰۰- میکرون وجود دارد. در این محدوده ابعادی، محصولات با سولفور ۰/۰۶ ، ۰/۱۳۵ ، ۰/۱۷۵ و ۰/۷۵۵ درصد دارای اختلاف بسیار ناچیزی می باشند ولی محصولات با سولفور ۰/۳۵۷ و ۰/۷۵۵ درصد دارای اختلاف زیادی می باشند. علت این اختلاف زیاد، نوع بافت محصول نهایی می باشد. علت اختلاف زیاد عیار کل سولفور در سه نوع اولی وجود ذرات درشت بالای ۱۰۰۰ میکرون و ذرات زیر ۴۵ میکرون می باشد.



شکل ۱- تغییرات عیار سولفور بر حسب ابعاد ذرات در محصولات مختلف

۲-۴- بار ورودی به جداکننده های مغناطیسی خشک

از آنجاییکه ذرات درشت و ریز در جدایش مغناطیسی خشک مشکل آفرین هستند. بنابراین، به بررسی نوع بار ورودی به جداکننده های مغناطیسی خشک پرداخته می شود. کانسنگ بعد از خردایش توسط آسیاهای نیمه خودشکن به کلاسیفایر هوایی منتقل می شود. بعد از عملیات طبقه بندی، ذرات درشت به روی سرندهای ۲۰ و ۳ میلیمتری منتقل شده و ذرات ریز برای عملیات نرمه گیری به سیکلون های هوایی انتقال می یابند. بار ورودی به جداکننده ها از ترکیب ته ریز سیکلون هوایی و ته ریز سرند ۳ میلیمتری به وجود می آید. نتایج حاصل از این دو قسمت به ترتیب در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده است.



جدول ۶- مشخصات ته ریز سیکلون هوایی

توزیع (%)				نسبت Fe/FeO	عیار (%)				تجمعی عبوری (%)	وزن (%)	ابعاد ذرات (میکرون)
S	P	FeO	Fe		S	P	FeO	Fe			
۰/۴۸	۰/۲۵	۰/۷۳	۰/۶۷	۴/۹۳	۰/۵۷۲	۰/۰۷۴	۱۰/۴۲	۵۱/۴۱	۹۹/۳۳	۰/۶۷	+۳۵۵
۱/۶۰	۱/۱۲	۲/۳۵	۲/۱۰	۴/۷۷	۰/۶۴۵	۰/۱۱۱	۱۱/۲۷	۵۳/۷۳	۹۷/۳۳	۲/۰۰	-۳۵۵+۲۵۰
۳/۸۴	۲/۷۶	۵/۷۱	۴/۹۰	۴/۶۰	۰/۶۷۶	۰/۱۲۰	۱۱/۹۴	۵۴/۸۷	۹۲/۷۵	۴/۵۸	-۲۵۰+۱۸۰
۱۰/۸۱	۹/۴۹	۱۳/۹۴	۱۲/۸۲	۴/۹۲	۰/۷۲۰	۰/۱۵۶	۱۱/۰۳	۵۴/۲۶	۸۰/۶۴	۱۲/۱۱	-۱۸۰+۱۲۵
۱۰/۷۸	۹/۶۷	۱۲/۳۴	۱۱/۲۰	۴/۸۶	۰/۷۸۶	۰/۱۷۴	۱۰/۶۹	۵۱/۹۰	۶۹/۵۸	۱۱/۰۶	-۱۲۵+۹۰
۱۷/۹۸	۱۸/۷۵	۱۹/۰۰	۱۸/۱۰	۵/۱۰	۰/۸۰۱	۰/۲۰۶	۱۰/۰۵	۵۱/۲۵	۵۱/۴۷	۱۸/۱۱	-۹۰+۶۳
۱۶/۱۵	۱۶/۴۵	۱۴/۰۴	۱۵/۱۳	۵/۷۷	۰/۸۴۴	۰/۲۱۲	۸/۷۱	۵۰/۲۵	۳۶/۰۳	۱۵/۴۴	-۶۳+۴۵
۳۸/۳۷	۴۱/۴۶	۳۱/۸۹	۳۵/۱۰	۵/۸۹	۰/۸۵۹	۰/۲۲۹	۸/۴۸	۴۹/۹۴	۰/۰۰	۳۶/۰۳	-۴۵
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵/۳۵	۰/۸۰۷	۰/۱۹۹	۹/۵۸	۵۱/۲۷	-	۱۰۰	محاسباتی
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵/۲۱	۰/۸۱۶	۰/۱۹۱	۹/۸۷	۵۱/۴۷	-	۱۰۰	عملیاتی

جدول ۷- مشخصات ته ریز سرند ۳ میلیمتری

توزیع (%)				نسبت Fe/FeO	عیار (%)				تجمعی عبوری (%)	وزن (%)	ابعاد ذرات (میکرون)
S	P	FeO	Fe		S	P	FeO	Fe			
۴/۹۴	۱۳/۶۵	۵/۴۰	۸/۵۰	۸/۲۰	۰/۴۱۵	۰/۱۴۷	۷/۱۸	۵۸/۹۱	۹۱/۱۳	۸/۸۷	+۲۸۰۰
۴/۵۸	۵/۸۹	۵/۰۷	۶/۶۸	۶/۸۶	۰/۴۹۱	۰/۰۸۱	۸/۶۲	۵۹/۱۳	۸۴/۱۹	۶/۹۴	-۲۸۰۰+۲۰۰۰
۹/۷۷	۱۰/۰۹	۷/۴۴	۹/۰۹	۶/۳۶	۰/۷۷۸	۰/۱۰۳	۹/۳۹	۵۹/۷۴	۷۴/۸۴	۹/۳۵	-۲۰۰۰+۱۰۰۰
۵/۶۷	۵/۴۸	۳/۷۳	۴/۱۱	۵/۷۴	۱/۰۰۸	۰/۱۲۵	۱۰/۵۰	۶۰/۲۶	۷۰/۶۵	۴/۱۹	-۱۰۰۰+۷۱۰
۷/۵۷	۶/۷۵	۶/۰۷	۵/۹۹	۵/۱۴	۰/۹۴۴	۰/۱۰۸	۱۲/۰۰	۶۱/۶۲	۶۴/۶۸	۵/۹۷	-۷۱۰+۵۰۰
۹/۳۰	۶/۷۸	۹/۹۷	۹/۰۹	۴/۷۵	۰/۷۸۱	۰/۰۷۳	۱۳/۲۷	۶۲/۹۹	۵۵/۸۱	۸/۸۷	-۵۰۰+۳۵۵
۱۳/۹۷	۸/۵۰	۱۷/۶۸	۱۵/۸۶	۴/۶۷	۰/۶۷۹	۰/۰۵۳	۱۳/۶۲	۶۳/۶۰	۴۰/۴۹	۱۵/۳۲	-۳۵۵+۲۵۰
۱۲/۷۳	۱۵/۱۴	۱۵/۵۱	۱۳/۷۷	۴/۶۲	۰/۷۰۸	۰/۱۰۸	۱۳/۶۷	۶۳/۱۹	۲۷/۱۰	۱۳/۳۹	-۲۵۰+۱۸۰
۱۳/۶۷	۹/۱۹	۱۴/۵۴	۱۳/۰۰	۴/۶۵	۰/۷۸۹	۰/۰۶۸	۱۳/۳۰	۶۱/۹۱	۱۴/۲۰	۱۲/۹۰	-۱۸۰+۱۲۵
۵/۰۵	۳/۰۷	۴/۴۶	۴/۱۸	۴/۸۷	۰/۸۹۸	۰/۰۷۰	۱۲/۵۷	۶۱/۲۷	۱۰/۰۱	۴/۱۹	-۱۲۵+۹۰
۱۱/۰۲	۱۳/۸۴	۹/۰۲	۸/۶۴	۴/۹۹	۰/۹۲۵	۰/۱۴۹	۱۲/۰۰	۵۹/۸۳	۱/۱۴	۸/۸۷	-۹۰+۴۵
۱/۵۳	۱/۴۲	۱/۱۱	۱/۱۰	۵/۱۳	۱/۰۰۰	۰/۱۱۹	۱۱/۵۲	۵۹/۰۶	۰/۰۰	۱/۱۴	-۴۵
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵/۲۱	۰/۷۴۵	۰/۰۹۵	۱۱/۸۰	۶۱/۴۴	-	۱۰۰	محاسباتی
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۴/۹۹	۰/۷۳۹	۰/۰۸۹	۱۲/۲۶	۶۱/۱۲	-	۱۰۰	عملیاتی



همانطور که در جداول ۶ و ۷ مشاهده می شود، حدود ۷۰ درصد مواد ته ریز سیکلون هوایی، زیر ۱۲۵ میکرون بوده و در حدود ۳۶ درصد مواد زیر ۴۵ میکرون می باشد. به عبارتی، قسمت عمده ذرات زیر ۴۵ میکرون در ته ریز سیکلون قرار دارد. عیار و توزیع آهن و سولفور در این محدوده ابعادی بالا می باشد. ذرات زیر ۴۵ میکرون موجود در ته ریز سرنند، دارای عیار آهن نسبتاً بالا می باشند ولی به دلیل درصد وزنی پایینشان، توزیع آهن و سولفور در این محدوده بسیار پایین می باشد.

نتیجه گیری

- بزرگترین مشکل سیستم جدایش مغناطیسی خشک در مدار فرآوری مجتمع سنگ آهن گل گهر وجود نرمه در بار ورودی به جداکننده های مغناطیسی خشک می باشد.
- در جدایش مرحله کلینر، ذرات درشت بالای یک میلیمتر به دلیل خاصیت مغناطیسی قوی و آگلومره شدن توسط ذرات ریز مغناطیسی و قرارگیری در یک میدان مغناطیسی قوی ۱۱۰۰ گاوس به محصول نهایی منتقل می شوند. این ذرات به دلیل نرسیدن به درجه آزادی کامل، عیار سولفور بالایی دارند.
- ذرات در محدوده ابعادی ۷۱۰+۱۰۰۰- میکرون در تمام محصولات به دلیل درصد وزنی پایین نسبت به سایر فراکسیون ها دارای توزیع آهن و سولفور پایینی هستند. عیار سولفور و آهن در این محدوده ابعادی نسبتاً بالا می باشد.
- بالا بودن عیار آهن و پایین بودن عیار سولفور و نسبت Fe/FeO در محدوده ابعادی ۱۲۵+۵۰۰- میکرون نسبت به سایر فراکسیون های محصول نهایی، دلیلی بر جدایش مطلوب و وجود ذرات منیتیت بیشتر در این محدوده ابعاد است.
- روند تغییرات عیار آهن در محصول نهایی تا محدوده ۱۲۵ میکرون تقریباً ثابت بوده ولی با کاهش بیشتر ابعاد عیار آهن یک روند نزولی طی کرده و در محدوده زیر ۴۵ میکرون به حداقل مقدار خود می رسد. کاهش زیاد عیار آهن در محدوده زیر ۴۵ میکرون دلیلی بر راهیابی ذرات ریز غیرمغناطیسی به محصول می باشد. افزایش نسبت Fe/FeO در محدوده ابعاد زیر ۴۵ میکرون نیز این پدیده را تأیید می کند.
- بار ورودی به مرحله جدایش شستشو (کلینر)، از ذرات منیتیت به شدت آگلومره تشکیل شده است. لذا ذرات درشت توسط ذرات ریز آگلومره شده و توسط ذرات ریز مغناطیسی به محصول نهایی منتقل می شوند. آگلومراسیون ذرات باعث به دام انداختن ذرات ریز غیرمغناطیسی و راهیابی آنها به محصول نهایی می شود.
- بیشترین توزیع سولفور در محدوده ابعادی ذرات درشت (۱۰۰۰+ میکرون) و ذرات ریز (۴۵- میکرون) قرار دارد. لذا، محصولاتی که کمترین درصد وزنی را در این دو محدوده ابعادی دارند. حاوی میزان سولفور کمتری می باشند.
- یکی از مهمترین دلایل افزایش عیار سولفور و کاهش عیار آهن نوع بافت محصول نهایی می باشد.



مراجع

- ۱- Lewis.F.M and Horst.W.E , (۱۹۸۵) , “ SME Mineral Processing Hand book ” in : Society of Mining Engineering Publishing Co , vol.۲ , N.L. Weiss , Newyork , pp ۲۰-۱ , ۲۰-۶ .
- ۲-.Norrigan.D.A and Mankaso.M.J , (۲۰۰۲) , “ Selectionand Sizing of Magnetic Concentrating Equipment ; Plant Design/Layout” in : Mineral Processing Plant Design/ Practice and Control Proceeding , vol.۱ , A.L.Molar et al , SME-AIME , Newyork , pp ۱۰۶۹-۱۰۹۳ .
- ۳-.Norrigan.D.A and Mankaso.M.J , (۲۰۰۲) , “ Bench Scale and Pilot Plant Tests for Magnetic Concentration Circuit Design in” : Mineral Processing Plant Design/ Practice and Control Proceeding , vol.۱ , A.L.Molar et al , SME-AIME , Newyork , pp ۱۷۶-۲۰۰ .

[۴] نعمت اللهی، حسین، (۱۳۸۱) ، “ کانه آرایی ”، جلد اول، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران

[۵] رضایی، بهرام، (۱۳۷۸) ، “ تکنولوژی فرآوری مواد معدنی (پرعیارسازی به روش مغناطیسی) ”، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران.

[۶] حسنی پاک، علی اصغر، (۱۳۸۰) ، “ نمونه برداری معدنی (اکتشاف ، استخراج و فرآوری) ” ، انتشارات دانشگاه تهران.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی