Archive of SID

مجله بین المللی علوم مهندسی، شماره ۳، جلد۱۶، پاییز ۱۳۸۴، صفحه ۱۵۶- ۱۴۷
دانشگاه علم وصنعت ایران

بررسی اثر دانه بندی بر کاهش فسفر درکنسانتره آهن

احمد خدادادی، محمود عبداللهی و فرهاد عزیز افشاری

چکیده: یکی از معیارهای تعیین کنندهٔ کیفیت کنسانترهٔ آهن، که ترکیبی از کانی های هماتیتی و منیتیتی است، جهت تولید آهن خام بروش کوره بلند عیار فسفر آن می باشد که باید در حدود ۰/۰۵۲ (مطابق با استاندارد شرکت ملی فولاد) باشد. در این تحقیق مطالعات دانه بندی، خردایش ودرجه آزادی این کانسنگ بطور دقیق انجام شده است. بدین منظور بعد از یکسری مطالعات اولیه، ابتدا محدودهٔ دانه‌بندی کانسنگ خروجی مدار آسیای نیمه خودشکن خطوط تولید و شدت میدان مغناطیسی مورد نیاز بهینه گردید. سپس درصد جامد پالپ اولیه و تعداد مراحل شستشو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که جهت دسترسی به کنسانتره‌ای با کیفیت مطلوب عیار فسفر باید کانسنگ مذکور تا حد ۳۸ میکرون (۸۰ درصد مواد عبور کرده از سرند۳۲ میکرون) خرد شده و جداکننده‌های مغناطیسی استوانه‌ای تر با شدت ۱۲۰۰ گوس و سرعت ۲۵ دور در دقیقه برای شستشوی پالپی با ۳۵ درصد جامد در ۴ مرحله بطور سری مورد استفاده قرار گیرد. در این شرایط، عیار فسفر و آهن کنسانترهٔ آهن به ترتیب به ۰/۰۵۲ و ۶۹/۱۴ درصد با بازیابی تجمعی منیتیت برابر ۷۶/۵۹ درصد رسید. لذا جهت تامین شرایط بالا، نیاز به طراحی آسیای گلوله‌ای، هیدروسیکلون‌ها و جداکننده های مغناطیسی جدید برای مدار مزبور می‌باشد.

واژه های کلیدی: کنسانتره آهن، دانه بندی، کاهش فسفر و جداکننده های مغناطیسی

۱. مقدمه

آهن ۵٪ پوسته زمین را تشکیل میدهد و به صورت کربنات واکسیدهای آهن یافت میشود وبندرت بصورت آزاد دیده شده است. کانسار آهن چادرملو، از بزرگترین کانسارهای آهن اکتشاف شده در ایران است. ذخیرهٔ کلی معدن در حدود ۴۰۰ میلیون تن شامل ۳۰۰ میلیون تن ذخیرهٔ غیراکسیدی و ۱۰۰ میلیون تن ذخیرهٔ اکسیدی برآورد شده که تقریباً محتوی ۱۵۰ میلیون تن آهن می باشد[۱].
عمده آهن خام ایران در اصفهان بطریق کوره بلند و بروش احیا سنگهای اکسیده آهن با کربن بدست می آید. تولید آهن خام عمدتا بعد ازغنی سازی کانیهای آهن از قبیل خردایش ، شستشو وجداسازی ثقلی ومغناطیسی از طریق عملیات ذوب با درجه حرارت بالا صورت میگیرد مجتمع صنعتی- معدنی چادرملو، در کنار معدن مذکور به منظور تهیه کنسانتره آهن جهت استفاده در صنایع فولاد وآپاتیت جهت مصرف در کودهای فسفاته وصنایع شیمیایی ایجاد گردیده است[۲و۳].
یکی از معیارهای تعیین کننده کیفیت آهن خام تولیدی بروش کوره بلند میزان فسفر موجود در کنسانتره آهن میباشد. مقدار فسفر در کنسانتره آهن باید کمتر از ۰۵۲/.. باشد وجود فسفر در کنسانتره آهن مشکلات زیر را پدید می آورد[۴]:

- نقطه ذوب را کاهش میدهد.
- شکنندگی فولاد را افزایش میدهد.
- خورندگی فولاد را زیاد میکند.
- ترکیب فسفر وآهن مشکلزاست.
- قابلیت حرارتی فولاد را کاهش میدهد.

ذخیرهٔ چادرملو را می‌توان از نظر انواع مواد معدنی موجود به بخش‌های منیتیت- هماتیت -آپاتیت، هماتیت – منیتیت – آپاتیت، منیتیت – هماتیت و هماتیت – منیتیت تفکیک نمود. شایان ذکر است که در حدود ۲۰/۲ درصد از کل ذخیرهٔ چادرملو دارای ۲۱/۱۹ درصد آهن، ۳/۶۱ درصد سولفور و ۳۲/۳ درصد فسفر از نوع اکسیدی پر فسفر (هماتیت–منیتیت – آپاتیت) است و از آنجا که این بخش از ذخیره نزدیک به سطح زمین است، از نظر ماهیت

مقاله در تاریخ ۱۳۸۳/۶/۱۸ دریافت شده و در تاریخ ۱۳۸۴/۸/۴ به تصویب نهایی رسیده است.
دکتر احمد خدادادی، استادیار بخش معدن، دانشکده فنی دانشگاه *تربیت مدرس*.
دکتر محمود عبداللهی، دانشیار فرآوری مواد معدنی، دانشکده فنی دانشگاه *تربیت مدرس*.
فرهاد عزیز افشاری، دانشجوی کارشناسی ارشد *فرآوری مواد معدنی*.

www.SID.ir

Archive of SID

پرعیارسازی و فرآوری با بخش‌های دیگر معدن بسیار متفاوت بوده و نیاز به مطالعهٔ مستقلی دارد[۴].

ذخیرهٔ اکسیدی پرعیار و پر فسفر (منیتیت – هماتیت – آپاتیت) در حدود ۴۴/۸ درصد ذخیرهٔ کلـی را تشکیل می‌دهد و در آن امکان تهیهٔ دو نوع محصول کنسانترهٔ آهن و آپاتیت پرعیار وجود دارد.

کانی‌هایی که تاکنون در این ذخیره گزارش شده‌اند عبارتند از:

الف- کانی‌های آهندار مفید: منیتیت (در حدود ۴۵ تا ۵۰ درصد و با ضریب سایش ۰/۶۸۹۳) و هماتیت (در حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد و با ضریب سایش ۱/۲۲۸۸)

ب- کانی‌های غیر مفید و مزاحم: این کانی‌ها به سه گروه زیر تقسیم می‌شوند:

۱- کانی‌های فسفاته: فلوئور آپاتیت (درحدود ۵ تا ۶ درصد) و کلرو آپاتیت

۲- کانی‌های سیلیکاته: کوارتز (درحدود ۱۰ تا ۱۲ درصد)

۳- کربنات‌ها (درحدود ۲ تا ۳ درصد)، فلدسپات پلاژیوکلازها (درحدود ۴تا۵ درصد)، کلریت و ندرتاً ژیپس، انیدریت، بیوتیت، اسفن، روتیل، تورمالین و اورینیت[۵ و۶].

همانطور که در شکل ۱ شمای عملیات کارخانه فرآوری آهن چادر ملو نشان داده شده است. سنگ آهن استخراج شده از معدن پس از عملیات خردایش در یک سنگ‌شکن ژیراتوری و همگن‌سازی، در هر یک از خطوط سه گانهٔ تولید به یک آسیای نیمه خودشکن تغذیه می‌گردد. محصول خروجی این آسیا، خوراک جداکننده‌های مغناطیسی مرحلهٔ اول می‌شود. کنسانترهٔ این مرحله (بخش منیتیتی) بعد از رسیدن به دانه بندی حدود ۴۳ میکرون در اثر خردایش در آسیای گلوله‌ای مدار بستهٔ موجود در مسیر، در ۴ مرحلهٔ سری دیگر، توسط جداکننده‌های مغناطیسی شدت پایین و یا متوسط (در خط تولید شمارهٔ ۲) شسته می‌شود. باطلهٔ این مرحله بعد از آبگیری در یک مجموعه هیدروسیکلون، توسط جداکنندهٔ مغناطیسی دیگری پرعیار می‌گردد. باطلهٔ این مرحله به همراه باطلهٔ مرحلهٔ اول، که حاوی کانسنگ هماتیتی می‌باشند بعد از یکسری دانه‌بندی، در جهت افزایش عیـار هماتیت وارد جداکننده‌های مغناطیسی با گرادیان زیاد می‌شود. کنسانترهٔ این مرحله در جهت فسفرزدایی و افزایش عیار آهن، بعد از رسیدن به دانه بندی حدود ۴۹ میکـرون (در اثـر یک مرحله خردایش در آسیای گلوله‌ای موجود در مسیر)، وارد مجموعه سلولهای فلوتاسیون مدار هماتیت می‌شود.. شایان ذکر است که باطلهٔ جداکنندهٔ مغنـاطیسی با گرادیان زیاد نیز بعد از نرمه‌گیری در یک مجموعه هیدروسیکلون، جهت بازیابی آپاتیت، وارد مجموعه سلول‌های فلوتاسیون مدار آپاتیت می‌گردد. کنسانترهٔ نهایی آهن که ترکیبی از کنسـانتره‌های مـدار هماتیت و منیتیت می‌باشد بعد از آبگیری توسط فیلترهای موجود در خطوط، انبار می‌شود. شرکتهای کوبهٔ[1] ژاپن، ای‌بی‌ای[2] آلمان و سوئدلای[3] سوئد یکسری مطالعات اولیهٔ فرآوری بر روی کانسنگ استخراجی معدن قبل و بعد از طراحی کارخانهٔ فـرآوری چـادرملو در طی سالـهای قبل از ۱۳۷۵ انجام داده‌اند. همچنین یکسری مطالعات تکمیلی بعنوان مهندسـی مجدد بعد از راه‌اندازی اولین خط تولید توسط کارشناسان مختلف صورت گرفته است[7].

از جمله مطالعات مهم دیگر در خصوص فرآیند پرعیارسازی کانسنگ آهن چادرملو می‌توان به تحقیقات آقای دکتر نعمت‌اللهی مشاور شرکت پیمانکاری آسفالت طوس در زمینه‌های مختلف از جمله آزمایش موادشیمیایی مختلف در فرآیند فلوتاسیون هماتیت و بهینه کردن مقادیر مصرف آنها، تعیین سرعت ته‌نشینی در تیکنرها و غیره اشاره کرد[۸].تحقیقات انجام شده در دنیا نیز معطوف به تاثیر دانه بندی وبالابردن راندمان جدایش های مغناطیسی وروشهای جدید معطوف گشته است [13-9] تحقیقات انجام شده از سوی محققین روسی در رابطه با لیچینگ فسفر نیز میزان مطلوب مورد نیاز جهت صنعت فولاد را برآورده نمیکرد[14].

هدف از این تحقیق تولید کنسانترهٔ آهنی با کیفیت مطلوب از نظر عیار فسفر به منظور استفاده در صنایع فولاد می‌باشد.

۲. مواد و روش آزمایش

۲-۱. تهیه نمونه معرف

در این تحقیق، ابتدا جهت بررسی روند فسفرزدایی در کـارخانهٔ کانه آرائی چادرمـلو، نمونه‌هـایی از ۶ نقطهٔ مختلف خطوط تولید شامل خوراک و کنسانترهٔ جداکننده‌های مغناطیسی اولیه، خوراک جداکنندهٔ مغناطیسی گرادیان بالا، خوراک و کنسـانترهٔ مدار فلـوتـاسیون همـاتیت و بالاخره کنسـانترهٔ نهایی مدار منیتیت تهیه گـردید و مورد آنالیز سرندی قرار گرفت. منحنی توزیع آهن و فسفر در بخش‌های مختلف دانـه‌بندی نمونه‌های فوق در نمودارهای ۱ تا ۶ آورده شده است. با بررسی نتایج این سری از آنالیزها و با تـوجه به پایین بودن فسفر کنسانترهٔ مدار فلوتاسیون، سعی بر آن شد که تحقیقات بیشتری روی خوراک ورودی جداکننده‌های مغناطیسی اولیه صورت گیرد. نمونهٔ معرف جهت ادامهٔ تحقیق، بدلیل قطعی نبودن مشخصات خوراک ورودی خطوط تولید و متغیر بودن این مشخصات در پایل‌های مختلف، ترکیبی از نمونه‌های برداشت شده از خوراک ورودی جداکننده‌های مغناطیسی اولیهٔ خطوط تولید در طی چهار ماههٔ نخست سال ۱۳۸۲ بود. در این مرحله از نمونه‌برداری، نمونه‌های برداشت‌شده (جمعاً ۱۲۲ نمونه هم وزن) در طی ۵۲ روز کاری، با هـم ترکیب گردید. آنالیز شیمیایی نمونه حاصله به روشXRF در جدول۱آورده شده است. همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است ، نمونهٔ معرف علاوه بر آهن و فسفر، حاوی کانی‌های باطله شامل ۱۰/۴۷ درصد سیلیس و

1 KOBE Steel. LTD
2 EBE. LTD
3 SWEDELA. LTD

www.SID.ir

Archive of SID

مقادیری اکسیدهای مختلف مثل اکسیدهای کلسیم، سدیم، منیزیم، آلومینیوم، پتاسیم تیتانیم و گوگرد نیز می‌باشد.

۲-۲. تعیین درجهٔ آزادی بوسیله لوله دیویس

یکی از مهمترین اهداف خردایش در پرعیارسازی کانسنگ‌های آهن و یاکانه آرایی کانسنگها، دستیابی به درجهٔ آزادی کانی و یا کانی‌های مورد نظر از دیگر مواد همراه در درشت‌ترین ابعـاد ممکن است. برای تعیین درجهٔ آزادی کانسنگ‌های آهن، روشهای متعددی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روشهای مغناطیسی، غرق و شناورسازی، تحلیل تصویری و بسیاری دیگر اشاره نمود. روش مغناطیسی بوسیلهٔ لولهٔ دیویس یکی از ابزارهایی موجود در تعیین درجهٔ آزادی است [۴]. در این تحقیق، نیز برای تعیین درجهٔ آزادی کانه منیتیت از باطله‌های همراه (آپاتیت)، از روش جدایش مغناطیسی مواد بوسیلهٔ لولهٔ دیویس استفاده شده است. این لوله، که یک جداکنندهٔ شدت پایین است تنها در مقیاس آزمایشگاهی کاربرد دارد. در آزمایش‌های لولهٔ دیویس، ذرات به دو نوع مغناطیس و غیرمغناطیسی تفکیک می‌شوند. ذرات مغناطیسی و حـدواسط در داخل لوله و در محل قطب‌های مغناطیسی جذب لوله می‌شوند، ولی ذرات غیرمغناطیسی با آب شسته شده و از آن خارج می‌شوند. تجزیهٔ سرندی و یکسری آزمایش‌های مقدماتی جدایش مغناطیسی بخش‌های مختلف دانه‌بندی نمونهٔ معرف بوسیلهٔ لولهٔ دیویس ، نشان دهندهٔ درگیر بودن ذرات آپاتیت و منیتیت در بخش‌های دانه‌درشت‌تر از ۵۳ میکـرون بوده و با تـوجه به بالا بودن این مقدار از آپاتیت در فراکسیون مـزبور و عـدم جدایش آن از ذرات منیتیت، فراکسیونهای بـالای ۵۳، ۴۵ و ۳۸ میکرون در مراحل مختلف انجام این تحقیق، در اثر عمل خردایش در آسیای گلوله‌ای آزمایشگاهی بترتیب به زیر ۵۳ ، ۴۵ و ۳۸ میکرون رسانده و بترتیب با بخشهای دانه‌ریز مربوطه مخلوط شدند.

در نهایت، ۳ نمونهٔ زیر ۵۳، ۴۵ و ۳۸ میکرون تهیه گردید. شایان ذکر است که تعیین زمان خردایش برای نمونه‌های مذکور صرفاً تجربی و در کمترین زمان ممکن (بین ۵ الی۱۰ دقیقه) بوده و ملاک عمل جلوگیری از تولید بیش از حد نرمه در فرآیند خردایش بود.

۳. نتایج و بحث

الف. منحنی دانه بندی

منحنی توزیع آهن و فسفر در بخش‌های مختلف دانـه‌بندی نمونه‌های فوق در نمودارهای ۱ تا ۶ آورده شده است. بر اساس نمودارهای ۱ تا ۶ D_{80} خوراک و کنسانترهٔ جداکننده‌های مغناطیسی شدت پایین مرحلهٔ اول، خوراک جداکنندهٔ مغناطیسی شدت بالا، خوراک و کنسانترهٔ مدار فلوتاسیون و کنسانترهٔ جداکننده‌های مغناطیسی شدت پایین مرحلهٔ آخر بترتیب در حدود ۲۵۲، ۳۳۰، ۱۵۳، ۵۰، ۴۴ و ۴۳ میکرون است.

نمودار ۱ نشان میدهد بیش از ۴۰ درصد فسفر خوراک ورودی جداکننده‌های مغناطیسی شدت پایین مرحلهٔ اول در بخش زیر ۲۵ میکرون قرار دارد که خود این بخش حدود ۲۸ درصد کمی کل نمونه را تشکیل می‌دهد.

چنانچه این قسمت حذف و به روش فلوتاسیون فرآوری گردد بدین ترتیب عیار فسفر در خوراک مزبور به ۰/۵۶۸ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین با توجه به نمودار فوق، توزیع عنصر آهن و فسفر در اثر کاهش ابعاد، از هم فاصله گرفته و لذا امکان کاهش عیار فسفر وجود دارد.

مطابق نمودار ۲و۳ آهن و فسفر در همهٔ بخشهای دانه‌بندی دارای توزیع تقریباً یکسانی بوده، لذا امکان افزایش بازیابی آهن و همچنین کاهش عیار فسفر نمونهٔ فوق در اثر خردایش بایستی بررسی گردد. بر اساس نمودار ۳ بیش از ۵۰ درصد آهن و فسفر خوراک ورودی جداکنندهٔ مغناطیسی شدت بالا در دانه‌بندی زیر ۳۸ میکرون قرار دارد.

نمودارهای ۴ و ۵ نشان میدهد که عیار فسفر همین بخش از دانه‌بندی در کنسانترهٔ مدار فلوتاسیون هماتیت در محدودهٔ مجاز است و میتوان نتیجه گرفت که جداکنندهٔ مغناطیسی شدت بالای خطوط تولید دارای کارآیی بسیار کمتری در کاهش عیار فسفر خوراک ورودی نسبت به مدار فلوتاسیون می‌باشد

مطابق نمودار ۶ ، فاز آهن و فسفر در بخش درشت‌تر از ۵۳ میکرون دارای درگیری بیشتری می‌باشد. همچنین تنها بخش زیر ۲۵ میکرون کنسانترهٔ مزبور دارای عیار مجاز فسفر بوده که این بخش در حدود ۲۸/۵ درصد کل کنسانترهٔ را تشکیل می‌دهد و بیشترین عیار فسفر مربوط به بخش درشت‌تر از ۵۳ میکرون می‌باشد. لذا امکان کاهش عیار فسفر کنسانترهٔ مزبور تا حد مجاز در اثر خردایش تا زیر ۲۵ میکرون وجود دارد.

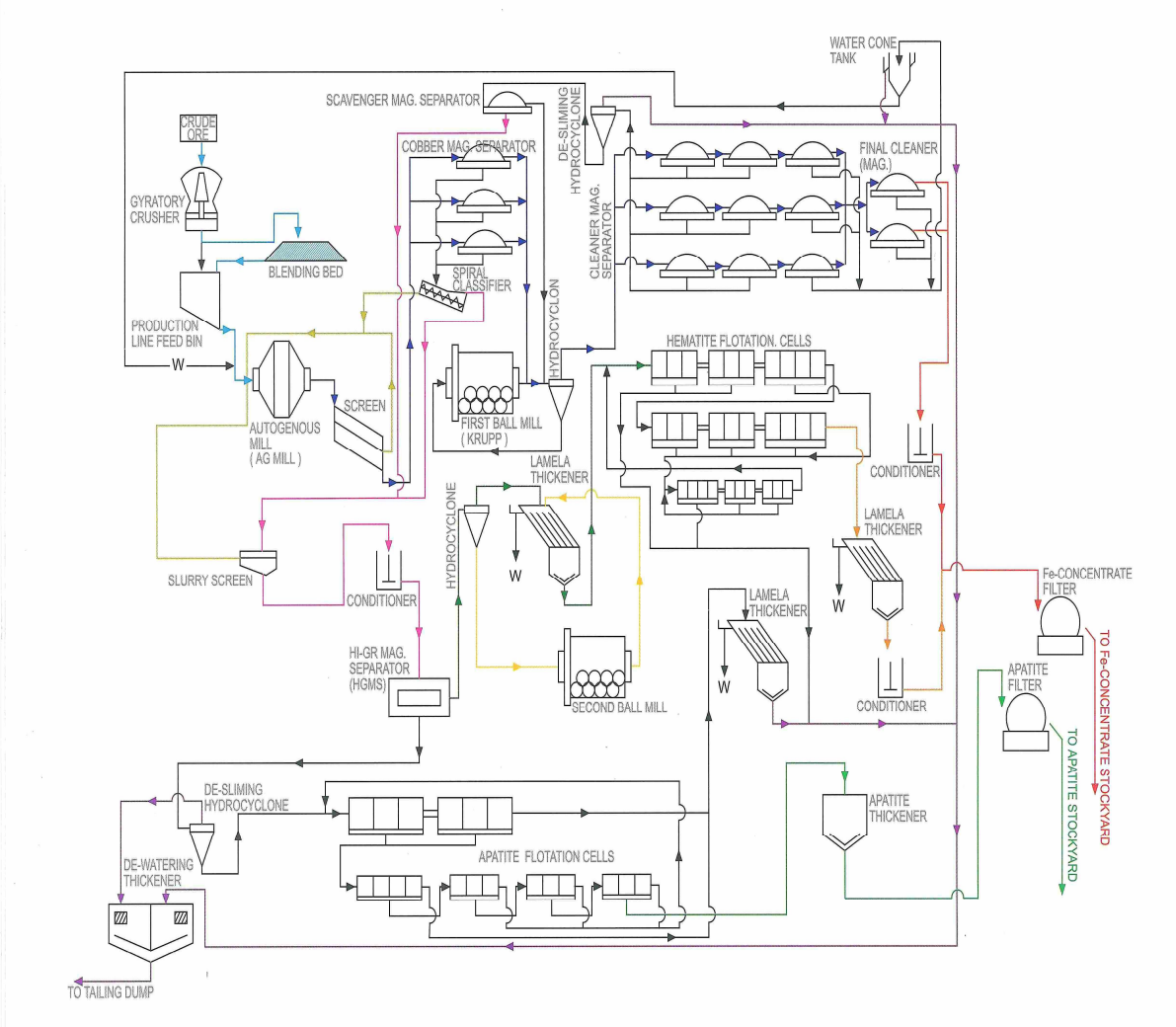
منحنی توزیـع آهن، فسفر، منیتیت و FeO در بخش‌های مختلف دانه‌بندی نمونهٔ فوق در نمودار ۷ آورده شده است.

ب. نتایج و بحث آزمایشات لوله دیویس

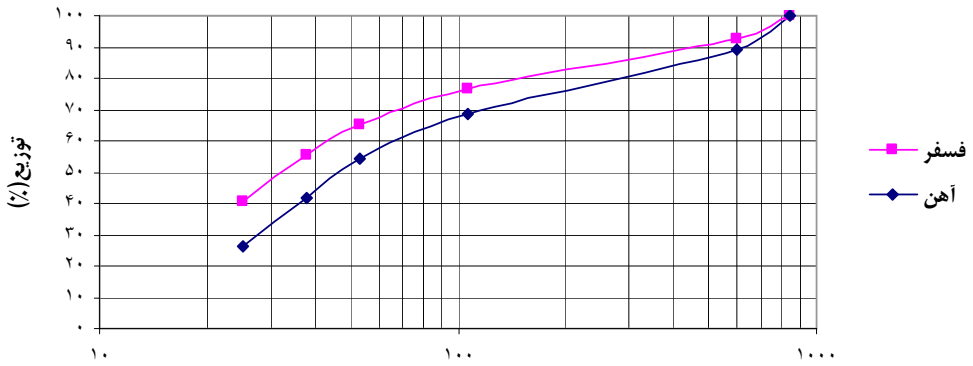
در این مرحله، ابتدا بخش‌های مختلف دانه‌بندی نمونهٔ اصلی بوسیلهٔ لولهٔ دیویس در شدت میدان‌های ۶۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ گوس تحت جدایش مغناطیسی قرار گرفتند. منحنی توزیع آهن، فسفر، منیتیت و FeO در بخش کنسانترهٔ حاصله از بخش‌هـای مختلف دانـه‌بندی در شدت میدان‌های مختلف در نمودارهای ۸، ۹ و ۱۰ آورده شده است. منحنی بازیابی (محاسباتی) هر یک از عناصر و همچنین منحنی بازیابی وزنی (تجمعی) نسبت به شدت میدانهای مغناطیسی مختلف در بخش کنسـانترهٔ حاصله از دانه‌بندیهای مختلف در نمودارهای ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



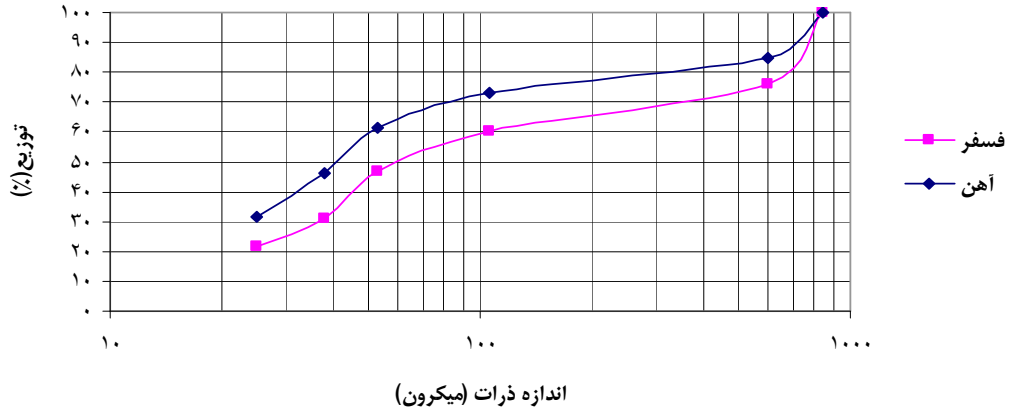
شکل ۱. شمای عملیات کارخانه فرآوری آهن چادر ملو



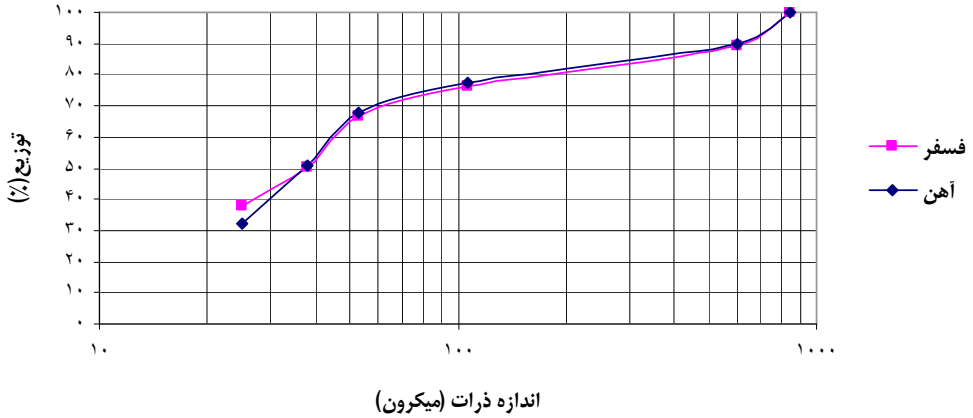
نمودار ۱. توزیع آهن و فسفر در بخش‌های مختلف دانه‌بندی خوراک جداکننده های مغناطیسی مرحلهٔ اول

www.SID.ir

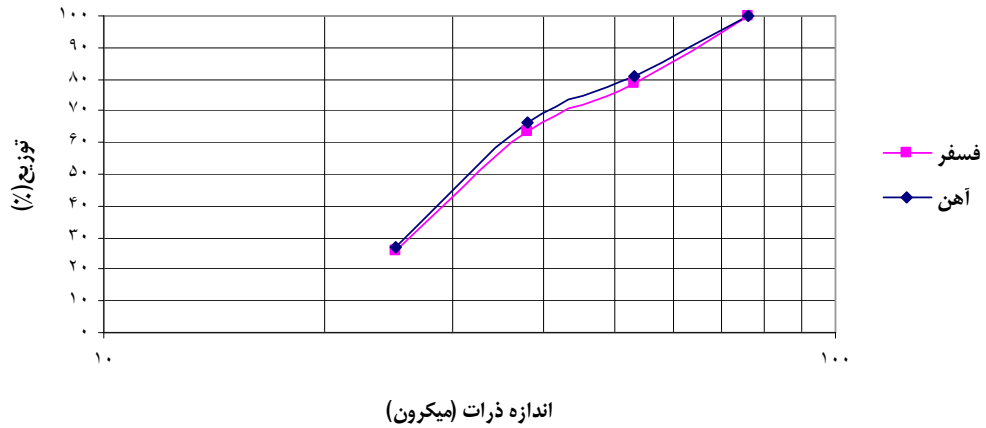
Archive of SID



نمودار ۲. توزیع آهن و فسفر در بخش‌های مختلف دانه‌بندی کنسانترهٔ جداکننده های مغناطیسی مرحلهٔ اول



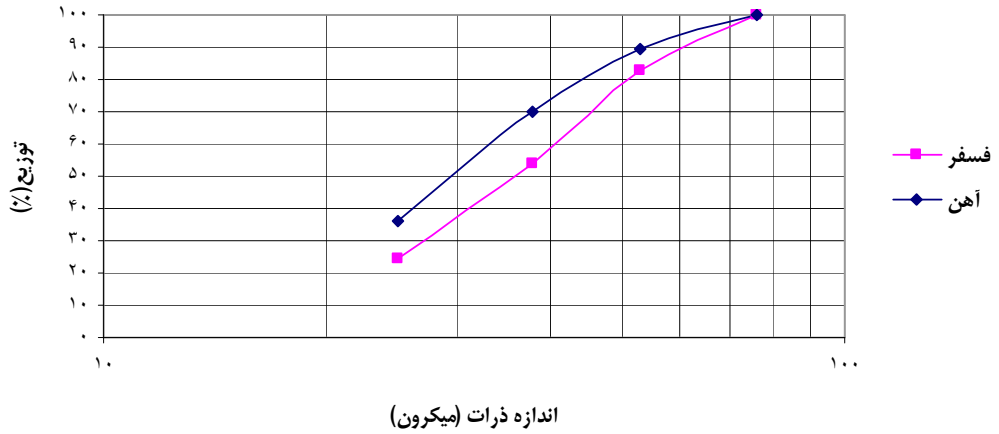
نمودار ۳. توزیع آهن و فسفر در بخش‌های مختلف دانه‌بندی خوراک جداکنندهٔ مغناطیسی گرادیان بالا



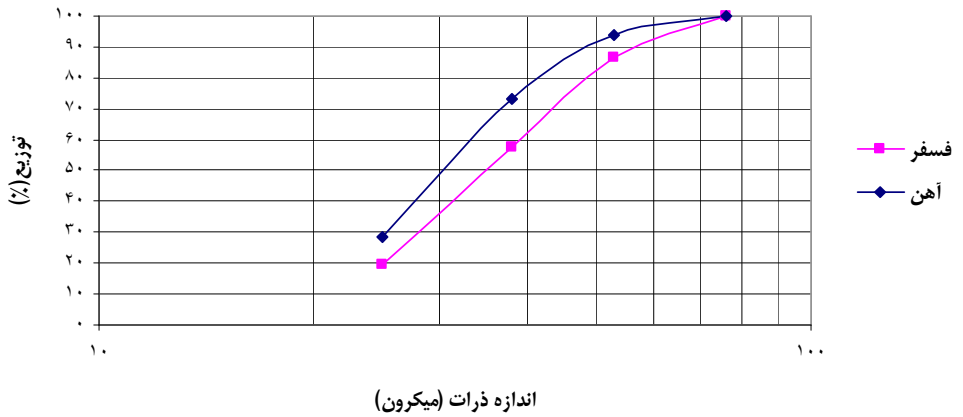
نمودار ۴. توزیع آهن و فسفر در بخش‌های مختلف دانه‌بندی خوراک مدار فلوتاسیون

www.SID.ir

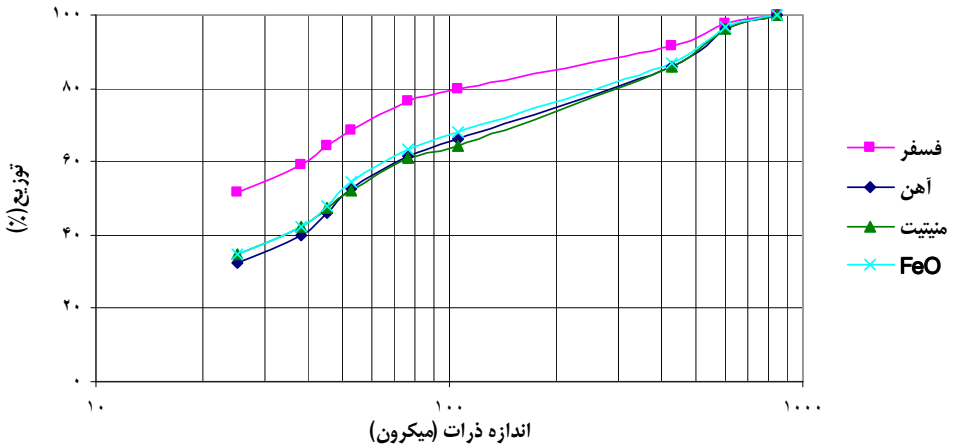
Archive of SID



نمودار ۵. توزیع آهن و فسفر در بخش‌های مختلف دانه‌بندی کنسانترهٔ مدار منیتیت



نمودار ۶. توزیع آهن و فسفر در بخش‌های مختلف دانه‌بندی کنسانترهٔ مدار هماتیت



نمودار ۷. توزیع Fe، P، FeO و Magnetite در بخش‌های مختلف دانه‌بندی نمونهٔ معرف

جدول۱. آنالیز شیمیایی (XRF) نمونه خوراک ورودی جداکننده‌های مغناطیسی اولیهٔ کارخانهٔ فرآوری آهن چادرملو

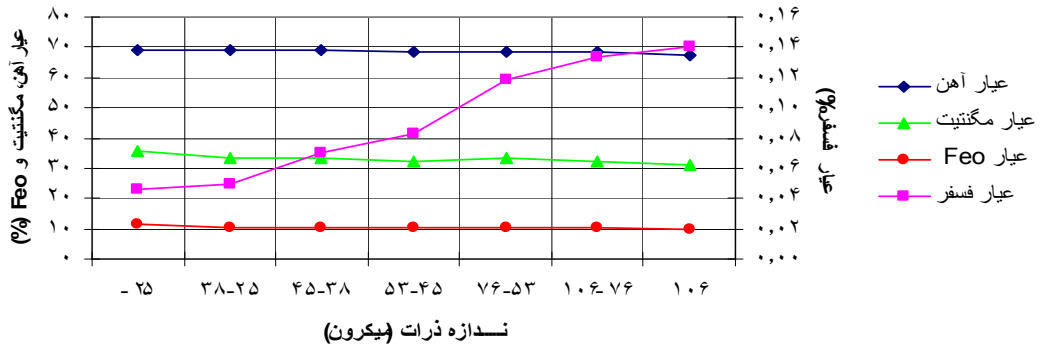
ترکیب	Fe_2O_3	P_2O_5	SiO_2	CaO	Na_2O	MgO	Al_2O_3	K_2O	TiO_2	V	SO_3	LOI
درصد	۷۰/۳	۳/٦	۱۰/۵	۵/٤۹	۱/۰۵	۳	۲/۸	/۲۲	/۳٦۸	/۱۵	/۲۷	۳/۲۲

www.SID.ir

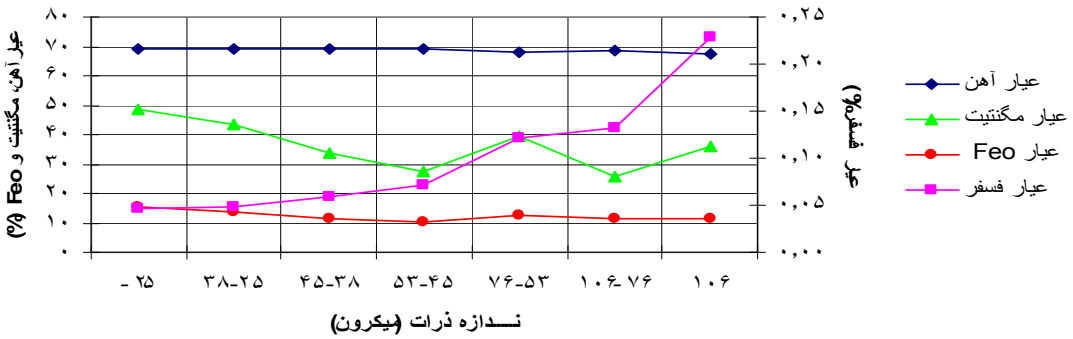
Archive of SID

جدول۲ نتایج عیار و بازیابی کنسانترهٔ لولهٔ دیویس

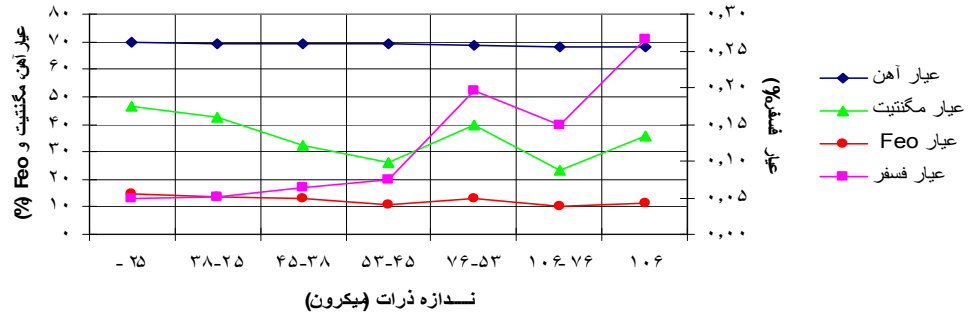
فراکسیون	$D_{۸۰}$	وزن	عیار (٪)				توزیع (٪)			
(میکرون)	میکرون	(٪)	Fe	P	Mag.	FeO	Fe	P	Mag[1].	FeO
کنسانترهٔ زیر ۵۳ میکرون	٤٧	٥٢/٥٥	٦٨/٩٨	٠/٠٧٦	٣٩/٩٢	١٢/٣٩	٩٧/٢٤	٥٦/٠٢	٩٨/٧٤	٩٥/٢٢
کنسانترهٔ زیر ٤٥ میکرون	٤٠	٤٨/٨٧	٦٩/٠١	٠/٠٥٦	٤١/٠٥	١٣/٠٥	٩٠/٤٧	٣٨/٣٨	٩٤/٤١	٩٣/٢٦
کنسانترهٔ زیر ۳۸ میکرون	٣٢	٤٥/٧٤	٦٩/٠٣	٠/٠٥٠	٤٢/٠٣	١٣/٢٢	٨٤/٦٨	٣٢/٠٧	٩٠/٤٧	٨٨/٣٩



نمودار ۸. توزیع Fe، P، FeO و Magnetite در بخش‌های مختلف دانه‌بندی کنسانتره (۶۰۰ گوس)



نمودار ۹. توزیع Fe، P، FeO و Magnetite در بخش‌های مختلف دانه‌بندی کنسانتره (۱۲۰۰ گوس)



نمودار۱۰ . توزیع Fe، P، FeO و Magnetite در بخش‌های مختلف دانه‌بندی کنسانتره (۱۸۰۰ گوس)

1- Magnetite

www.SID.ir

Archive of SID

در مرحلهٔ بعد، جهت بهینه کردن محدودهٔ دانه‌بندی مورد نیاز، سه نمونهٔ تهیه شده از قبل مربوط به بخش‌های زیر ۵۳، ۴۵ و ۳۸ میکرون، تحت جدایش مغناطیسی توسط لولهٔ دیویس در شدت میدان ۱۲۰۰ گوس قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌های مذکور در جدول ۲ آورده شده است.

نمودارهای ۸ و ۹و ۱۰ روند نزولی عیار فسفر و همچنین روند صعودی عیار آهن در کنسانترهٔ لولهٔ دیویس در اثر کاهش اندازهٔ ذرات نمونهٔ اولیه، نشان دهندهٔ درگیر بودن ذرات فسفر - آهن در بخشهای دانه‌درشت‌تر از ۳۸ میکرون می‌باشد بطوریکه تنها بخش زیر ۳۸ میکرون دارای عیار فسفری در محدودهٔ مجاز است. شایان ذکر است که علت بالا بودن عیار فسفر بخش ۵۳+۷۶- کنسانترهٔ لولهٔ دیویس در شدت میدان ۱۸۰۰ گوس می‌تواند مربوط به ترکیب کانی‌شناسی خاص این بخش از دانه‌بندی باشد که موجب شده است که عیار فسفر در اثر راهیابی ذرات منیتیت بیشتر به کنسانتره، افزایش یابد.

مطابق نمودار ۱۱، تغییرات عیار، منیتیت و درنتیجه بازیابی آهن در اثر کاهش دانه‌بندی در شدت میدان ۶۰۰ گوس روند خاصی نداشته و این بیشتر می‌تواند به عدم کارآیی لازم جداکننده‌های مغناطیسی با این شدت میدان برای کاهش عیار فسفر کانسنگ‌های آهنی با ترکیب کانی‌شناسی خاص و متغیر بر حسب دانه‌بندی همچون کانسنگ آهن معدن چادرملو مربوط باشد. شایان ذکر است که علت افت شدید مقادیر بازیابی در دانه‌بندی‌های ۳۸+۴۵- ، ۴۵+۵۳- و ۷۶+۱۰۶- در شدت میدان ۶۰۰ گوس می‌تواند به درگیری شدید ذرات فسفر – آهن و همچنین غالب بودن میزان فسفر نسبت به آهن مربوط باشد.

مطابق نمودارهای ۱۲ و ۱۳، در اثر کاهش اندازهٔ ذرات نمونهٔ اولیه، مقدار عیار آهن درکنسانترهٔ لولهٔ دیویس در شدت میدان‌های ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ گوس بطور قابل توجهی کاهش یافته است. شایان ذکر است که این کاهش در اثر کاهش شدت میدان مغناطیسی از ۱۸۰۰ تا ۱۲۰۰ گوس، شدیدتر بوده است.

با توجه به آنچه که در عمل تجربه شده است و همچنین بسط نمودارهای بالا برای شدت میدان‌های کمتر از ۶۰۰گوس، می‌توان چنین پیش‌بینی نمود که با ادامهٔ کاهش شدت میدان تا پایین‌تر از ۶۰۰ گوس، راندمان جدایش مغناطیسی شدیداً کاهش خواهد یافت. با توجه به این که کانی منیتیت، یک کانی فرومنیتیتی است لذا بایستی جداکننده‌های استوانه‌ای با شدت کم مورد استفاده قرار گیرند.

با در نظر گرفتن کلیهٔ نتایج حاصله از آزمایش لولهٔ دیویس، شدت میدان ۱۲۰۰ گوس برای سری آزمایشهای بعدی مورد تایید می‌باشد.

با توجه به داده‌های جدول۳، تنها نمونهٔ زیر ۳۸ میکرون (میکرون $D_{80} = ۳۲$) می‌تواند در اثر عمل شستشوی مغناطیسی دارای عیار فسفری در محدودهٔ مجاز باشد.

مطابق نمودار ۱۴، افزایش شدت میدان از ۶۰۰ تا۱۸۰۰ گوس، منجر به افزایش عیار شده است که این افزایش در حد فاصلهٔ ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ گوس چشم‌گیر می‌باشد. لذا شدت میدان ۱۲۰۰ گوس کافی می‌باشد.

ج. نتایج آزمایش بوسیلهٔ جداکنندهٔ مغناطیسی استوانه‌ای

در این مرحله، پالپهایی با مقادیر مختلف جامد ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد از نمونه‌ای با میکرون $D_{80} = ۳۲$ تهیه و آزمایش جدایش مغناطیسی توسط جداکنندهٔ مغناطیسی استوانه‌ای تر آزمایشگاهی با شدت میدان ۱۲۰۰ گوس در مراحل مختلف (تا ۵ مرحلهٔ سری) تا حصول به عیار مجاز فسفر انجام گردید. آنالیز شیمیایی کنسانتره‌های حاصله از سری آزمایش‌های فوق به همراه مقادیر بازیابی تجمعی کل مراحل شستشو در جدول ۳ آورده شده است. نتایج حاصله نشاندهندهٔ این مطلب است که در مقدارجامد حدود ۳۵ درصد، عیار فسفر کنسانترهٔ حاصله از ۴ مرحله شستشوی مغناطیسی در حد قابل قبولی همراه با کمترین افت در بازیابی و بیشترین عیار ممکن آهن و منیتیت می‌باشد.

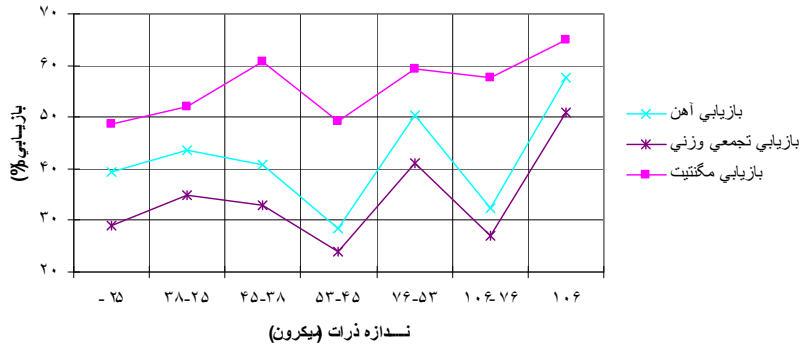
د. بررسی مهندسی طرح

با توجه به نتایج حاصله از این تحقیق، در مرحلهٔ مهندسی مجدد، به موارد زیر اشاره می‌شود:

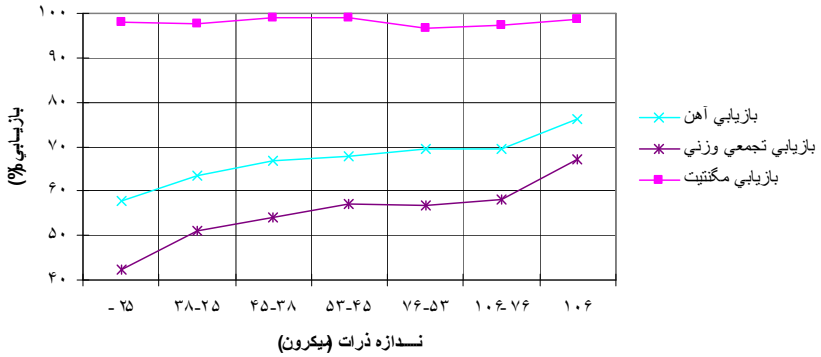
- آسیای گلوله‌ای مدار منیتیت باید طوری طراحی گردد که موجب خردایش مذکور شود. همچنین هیدروسیکلون‌ها از نظر ظرفیت و حد جدایش، و جداکننده‌های مغناطیسی موجود در مدار از نظر ظرفیت مورد طراحی مجدد قرار گیرند.
- با توجه به اینکه خروجی مدار آسیای نیمه خودشکن مستقیماً وارد مدار آسیای گلوله‌ای کروپ می‌گردد، دیگر نیازی به جداکننده‌های مغناطیسی شدت پایین مرحلهٔ اول نمی‌باشد.
- با توجه به پایین بودن نسبی عیار آهن باطله‌های جداکننده‌های مغناطیسی شدت پایین، دیگر نیازی به جداکنندهٔ مغناطیسی مرحلهٔ رمق‌گیر نبوده و این باطله‌ها بعد از یک مرحله آبگیری، مستقیماً راهی مدار جداکنندهٔ مغناطیسی شدت بالا می‌شوند.
- با توجه به تامین حد جدایش مورد نیاز کانسنگ هماتیتی در آسیاهای مذکور، دیگر نیازی به کلاسیفایر، سرند گلابی، آسیای گلوله‌ای و هیدروسیکلون‌های مدار هماتیت نمی‌باشد.

www.SID.ir

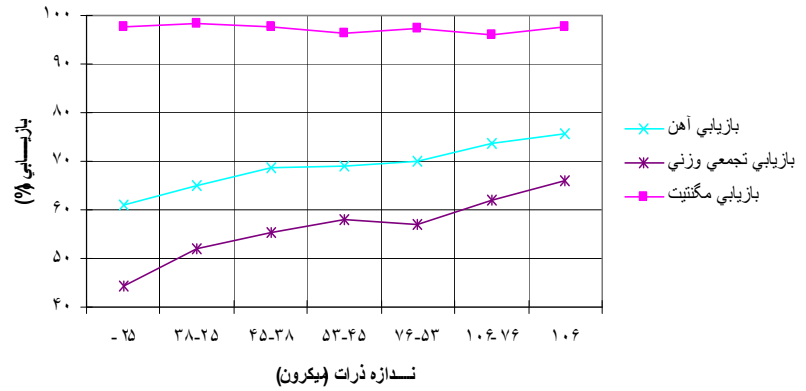
Archive of SID



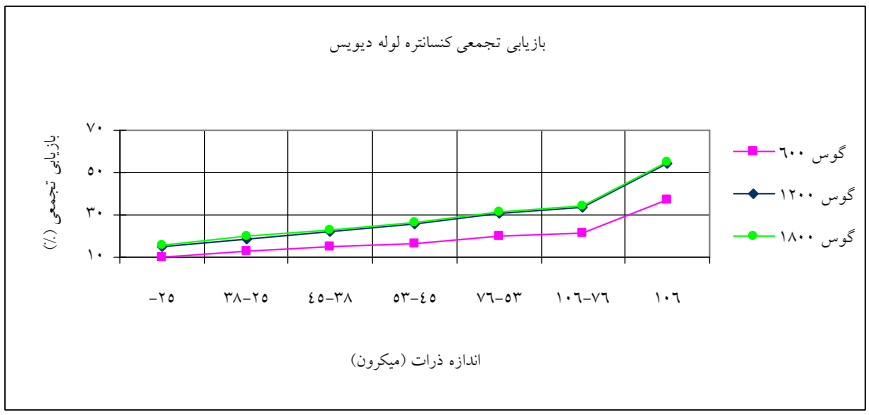
نمودار ۱۱. منحنی بازیابی وزنی، آهن و مگنتیت در بخش‌های مختلف دانه‌بندی کنسانتره (شدت میدان۶۰۰ گوس)



نمودار ۱۲. منحنی بازیابی وزنی، آهن و مگنتیت در بخش‌های مختلف دانه‌بندی کنسانتره (شدت میدان۱۲۰۰ گوس)



نمودار ۱۳. منحنی بازیابی وزنی، آهن و مگنتیت در بخش‌های مختلف دانه‌بندی کنسانتره (۱۸۰۰ گوس)



نمودار ۱۴. بازیابی وزنی (تجمعی زیر سرند) در شدت میدان‌های مختلف

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۳. نتایج عیار و بازیابی کنسانترهٔ جداکنندهٔ مغناطیسی‌استوانه‌ای نمونه‌ای با ۳۲ = $D_{۸۰}$

جامد پالپ (٪)	مراحل شستشو	آنالیز شیمیایی کنسانترهٔ نهایی(٪)				بازیابی تجمعی				
		Fe	P	FeO	Mag.	Mass	Fe	P	FeO	Mag.
۲۵	٤	٦۹/۰۹	۰/۰۵۰	۱۱/۸٦	٤۱/۷۷	۳۹/٤۵	۵۱/۰۲	۲/٦٦	۸٤/۲۸	۷٦/۵۲
۳۵	٤	٦۹/۱٤	۰/۰۵۲	۱۱/۹۵	٤۱/۸۰	٤۰/۱۵	۵۱/۱۲	۲/۹۵	۸٤/۳۵	۷٦/۵۹

۴. نتیجه‌گیری

۱- با کاهش دانه‌بندی خوراک ورودی جداکننده‌های مغناطیسی مدار منیتیت از حدود $D_{۸۰}$ = ۴۳ میکرون فعلی تا $D_{۸۰}$ = ۳۲ میکرون، می‌توان علاوه بر کاهش فسفر کنسانترهٔ تولیدی از ۰/۰۵۸ درصد تا حدود ۰/۰۵۲ درصد، باعث افزایش بازیابی مدار منیتیت (با توجه به کاهش مـراحل شستشوی مغناطیسی مورد نیاز) گردید.

۲- با پیاده شدن این پروژه در خطوط تولید، علاوه بر حذف کلیهٔ هزینه‌های مربوط به جداکننده‌های مغناطیسی شدت پایین مرحلهٔ اول و مرحلهٔ رمق‌گیر، کلاسیفایر، سرند گلابی، آسیای گلوله‌ای و هیدروسیکلون‌های مدار هماتیت، مشکلات عملیاتی مربوط به آنها نیز رفع و زمان توقف خطوط تولید کاهش می‌یابد.

۳- با توجه به خردایش کانسنگ هماتیتی در مدار بستهٔ آسیای مذکور، مشکلات مربوط به باز بودن مدار آسیای فعلی خط هماتیت برطرف خواهد گردید.

مراجع

[۱] یگانه بهزاد، "*بررسی بازیـابی آپاتیـت از باطلـه‌هـای فلوتاسـیون هماتیت کارخانهٔ کـانـه‌آرایی چادرملو*"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشـد؛ دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۱.

[۲] درخشی مرتضی، "*نگرشی بر کارخانهٔ کنسانترهٔ آهن چادرملو*" ، گزارش، ۱۳۷۷.

[۳] وزارت صنایع و معادن، "*نگرشی بر طرح تجهیز سنگ آهن چادرملو*"، شمارهٔ ۲۶، ۱۳۶۸.

[۴] رضایی بهرام، "*تکنولوژی فرآوری مواد معدنی*" (پرعیارسازی مغناطیسی)، انتشارات امیرکبیر، ۱۳۷۸.

[۵] نیکروان محمدعلی، "*تعیین محدودهٔ نهایی معدن چادرملو*"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۷۴.

[۶] جعفرزاده اسدا...، "*زمین‌شناسی ایران*"، کانسارهای آهن، شمارهٔ ۲۶، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۴.

[7] EBB , Chadormalu Iran Ore; Eng. Services Reports ,1990.

[۸] نعمت‌اللهی حسین، "*سلسله گزارشات بهبود فرآیند کارخانهٔ چادرملو*"، ۱۳۸۲- ۱۳۷۶.

[9] Svoboda, J., "*Separation in magnetic fluids: time to meet technological needs*". In: Proc. MINPREX 2000 Congress, Melbourne, Australia, 2000, p. 297.

[10] Svoboda, J., "*Magnetic methods of material treatment: technology at crossroads*". In: Proc. 4th Int. Conf. Mater. Eng. Res. ICMR2001, Akita, Japan, 2001, p. 131.

[11] Bodker, F., Morup, S., "*Size dependence of the properties of hematite particles*". Euro physics Letters 52 (2) , 2000, 217–223.

[12] Crosa, M., Boero, V., Franchini-Angela, M., "*Determination of mean crystallite dimensions from diffraction peak profiles*: Comparative analysis of synthetic hematites, a comparative analysis of synthetic hematites". Clays and Clay Minerals 47 (6), 1999 , 742–747.

[13] E.Sakurai, S.Akai, S.Tanaka, S.Kohira, A.Watanabe, K.Ozawa, Tanabe H., "*Development of new steelmaking process with minimum slag generation at NKK Fukuyama Works*", Iron and Steel Maker August 1999, Pages 43-45.

[14] Belikov V. and Ogorodov V. B., Yadryshnikov A. O., Mikhailovina N. "*Dephosphorization of brown iron-ores and concentrates, Obogashchenie rud*" Mineral Processing Journal Russia, No. 2, 2003, pp. 53-6.

www.SID.ir