

کاهش میزان گوگرد کنسانتره با بهبود کارآیی مدار آسیا تر کارخانه فرآوری مجتمع سنگ آهن گل گهر

احسان ارغوانی^۱، احمد حجتی^۲، صمد بنیسی^{۳*}

۱- کارشناسی ارشد مرکز تحقیقات فرآوری مواد کاشی گر، Arghavani@kmpc.ir

۲- کارشناس فرآیندی شرکت گل گهر و گهرروش سیرجان. hojati@kmpc.ir

۳- استاد بخش معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان. Banisi@uk.ac.ir

(دریافت ۱۴ شهریور ۱۳۹۲، پذیرش ۱۷ فروردین ۱۳۹۴)

چکیده

مدار فرآوری تر کارخانه فرآوری مجتمع سنگ آهن گل گهر شامل خردایش در آسیاهای گلوله‌ای سرریزشونده در مدار باز و جدایش در جداکننده‌های مغناطیسی شدت پایین‌تر است. متوسط میزان گوگرد کنسانتره تر بالاتر از ۱/۲٪ بود که بیشتر از حد مجاز برای کارخانه‌های سولفورزدایی (۰/۸٪) و گندله‌سازی (کمتر از ۰/۱٪) است. این مسئله به دلیل پایین بودن میزان آزادشدگی کانی‌های گوگرددار (پیریت) در محصول مدار خردایش تشخیص داده شد. در این تحقیق با انجام آزمایش‌های جدایش با جداکننده آزمایشگاهی لوله دیویس مشخص شد که درجه آزادی مناسب برای برآورده کردن گوگرد مجاز، در اندازه محصول (۸۰ درصد عبوری) ۱۰۰ میکرون به دست می‌آید. برای افزایش کارآیی مدار آسیاکنی و تأمین درجه آزادی مناسب در آسیاهای گلوله‌ای از دو عامل میزان پرشدگی گلوله و درصد جامد وزنی آسیا که تغییر آن‌ها امکان پذیر بود، استفاده شد. با اعمال تغییرات در مدار آسیاکنی، در پرشدگی گلوله ۳۳٪ و درصد جامد ۶۸، اندازه محصول آسیا از مقدار اولیه ۱۳۷ به ۱۰۶ میکرون رسید. تغییراتی که برای افزایش کارآیی مدار آسیاکنی در هر سه خط مدار تر اعمال شد، عبارت بودند از افزایش درصد جامد وزنی از مقدار اولیه ۴۷ به ۶۵، افزایش پرشدگی گلوله از مقدار اولیه ۲۷ به ۳۳ درصد حجمی آسیا و اضافه کردن گلوله ۲۰ میلی‌متر علاوه بر گلوله معمول ۳۰ میلی‌متری به آسیای شماره ۲. برای تعیین زمان لازم برای اطلاع از پایداری مدار به منظور شروع نمونه‌گیری بعد از اعمال تغییرات، زمان ماند متوسط مواد در آسیا با روش ردیابی، در حدود ۸ دقیقه به دست آمد. با نمونه‌برداری‌های مختلف از مدار با اطمینان ۹۵ درصد مشخص شد که اندازه محصول آسیا به کمتر از ۱۱۰ میکرون رسید. کاهش اندازه محصول آسیاکنی به واسطه تغییرات اعمال شده باعث افزایش شاخص کاهش گوگرد (نسبت میزان گوگرد در خوراک آسیا به کنسانتره) به میزان ۱۹ درصد (نسبی) شد.

کلمات کلیدی

آسیاکنی گلوله‌ای، درصد جامد، پرشدگی گلوله، درجه آزادی، میزان گوگرد

۱- مقدمه

۱-۱- عوامل مؤثر بر کارایی مدارهای آسیاکنی

کارایی آسیاهای گلوله‌ای می‌تواند به صورت میزان مصرف انرژی برای خردایش هر تن ماده معدنی تعریف شود. عواملی که بر کارایی آسیاهای گلوله‌ای تأثیر می‌گذارند شامل ابعاد و شکل آسترهای آسیا، سرعت آسیا، نحوه‌ی آماده‌سازی خوراک، بسته یا باز بودن مدار، ترکیب و خصوصیات خوراک، نوع واسطه خردایش و میزان کنترل مدار می‌باشند [۱]. بسیاری از این عوامل مانند سرعت چرخش آسیا در اکثر موارد غیر قابل تغییراند و بعضی مانند مشخصات بار اولیه، به علت نوسان زیاد قابل کنترل نیستند. بنابراین برای بهبود خردایش باید عواملی مانند درصد جامد وزنی پالپ ورودی، میزان پرشدگی گلوله و اندازه گلوله‌های شارژ مجدد که در عملیات قابلیت ایجاد تغییر را دارند، در مقادیر مناسب تنظیم شوند. دانسیته پالپ آسیا باید تا آنجا که امکان دارد بالا باشد ولی نباید جریان مطلوب پالپ در طول آسیا را تحت تأثیر قرار دهد. بین گلوله‌ها اغلب باید لایه‌ای از کانه وجود داشته باشد ولی اگر پالپ رقیق باشد، باعث افزایش برخورد گلوله با گلوله، مصرف بیش از حد گلوله و کاهش کارایی آسیاکنی می‌شود. میزان جامد در آسیاهای گلوله‌ای بسته به نوع کانه، بین ۶۵ تا ۸۰٪ (وزنی) است [۲].

اندازه گلوله‌های درون آسیا تأثیر بارزی بر ظرفیت آسیا، توان مصرفی و اندازه مواد خرد شده دارد [۳-۵]. به صورت یک اصل کلی، اندازه مناسب گلوله‌های شارژ مجدد، اندازه‌ای است که بزرگ‌ترین قطعات بار اولیه را خرد کند. اگر گلوله‌ها خیلی بزرگ باشند، تعداد ضربه‌ها و ظرفیت نرم‌کنی کاهش می‌یابد. در این حالت میزان ذرات ریز در محصول کاهش می‌یابد. اگر گلوله‌های اضافه شده خیلی کوچک باشند، کارایی خردایش به دلیل ضربات کم انرژی که برای شکست ذرات درشت کافی نیستند، کاهش می‌یابد [۶]. گلوله‌های بزرگ‌تر از اندازه بهینه، انرژی بیشتری دارند و بر عکس آن، گلوله‌های کوچک‌تر از اندازه بهینه، انرژی کمتری در مقایسه با انرژی لازم برای خردایش دارند. در هر دو حالت انرژی ویژه مصرفی افزایش می‌یابد [۵].

روابط مختلفی برای تعیین اندازه گلوله شارژ مجدد پیشنهاد شده است [۴،۷]. ولی اعتقاد کلی بر آن است که روابط ارائه شده تنها نقطه شروع خوبی را فراهم می‌کند ولی در عمل در کارخانه‌های فرآوری، با استفاده از روش آزمون و خطا، اندازه بهینه گلوله شارژ مجدد را تعیین می‌کنند [۸].

میزان پرشدگی گلوله یکی از مهم‌ترین پارامترهای آسیاکنی در

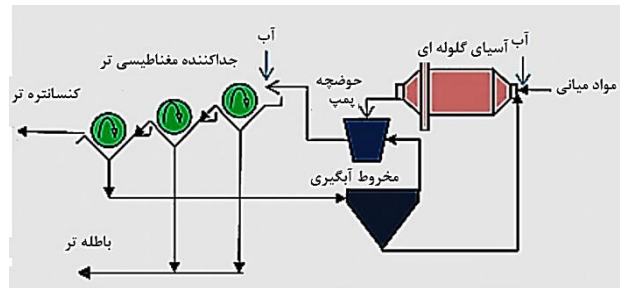
آسیاهای گلوله‌ای است. در میزان کم پرشدگی به علت کشیدگی بیشتر بار به طرف شانه نسبت به پاشنه، سهم مکانیزم ضربه از مکانیزم سایش بیشتر است که این امر موجب درشت‌تر شدن محصول می‌شود. ولی با افزایش پرشدگی، سهم مکانیزم سایش نیز به علت تشکیل پاشنه و سر خوردن بیشتر گلوله‌ها روی بار، زیادتر می‌شود که این امر باعث ریزتر شدن میزان محصول می‌شود. میزان پرشدگی گلوله داخل آسیا در حدود ۴۵-۴۰٪ حجمی آسیا است که در حدود ۴۰٪ از این حجم، فضای خالی است. توان‌کشی آسیا با افزایش میزان پرشدگی، افزایش می‌یابد و در حدود ۵۰٪ پرشدگی به بالاترین میزان توان‌کشی می‌رسد [۱].

در یک تحقیق انجام شده در مقیاس آزمایشگاهی مشاهده شده که شارژ ترکیبی دو اندازه مختلف گلوله، بیشترین نرخ شکست را در خردایش کانه مس ایجاد می‌کند [۹]. سینیتیک سایش گلوله‌های آسیا با خالی‌کردن آسیای گلوله‌ای صنعتی مجتمع مس سرچشمه و دانه‌بندی تمامی گلوله‌ها (بیش از ۳۰۵ تن)، بررسی شد [۱۰]. این بررسی نشان داد که به‌علت تغییرات سختی گلوله‌ها از سطح به مرکز گلوله و کاهش شدید سختی گلوله در اندازه‌های کوچک، زنجیره‌ی گلوله‌های داخل آسیا در یک اندازه خاص، ناقص شده و از آن اندازه به بعد خردایش به طور مطلوبی صورت نمی‌گیرد. برای حل این مشکل اضافه کردن دو اندازه گلوله به‌عنوان گلوله جبرانی پیشنهاد و اجرا شد.

در آسیاهای گلوله‌ای، انتقال انرژی خردایشی از گلوله‌های فولادی به ذرات در پالپ به چگونگی اختلاط گلوله‌ها و پالپ مربوط می‌شود. یکی از پارامترهای کلیدی که بر این اختلاط تأثیر می‌گذارد، مربوط به خواص رئولوژیکی پالپ و به طور دقیق‌تر ویسکوزیته پالپ است. چون اندازه‌گیری ویسکوزیته پالپ به دلیل تأثیر نوسانات عملیاتی کارخانه بر آن، دشوار است، اغلب به جای ویسکوزیته از پارامتر دانسیته پالپ (درصد جامد) استفاده می‌شود [۱۱]. تأثیر ویسکوزیته پالپ یا همان دانسیته پالپ بر فرآیند آسیاکنی را می‌توان به اثرات متفاوتی تقسیم کرد ولی به‌طور کلی افزایش ویسکوزیته تا میزان خاصی (اغلب ۲۰ سانتی پواز) باعث افزایش کارایی آسیاکنی و از این مقدار به بعد کاهش کارایی آسیاکنی می‌شود [۱۲]. مواد افزودنی شیمیایی نیز در آسیاکنی تر به خاطر تأثیرشان بر ریزترک‌های موجود در ذرات جامد بررسی شدند و موفقیت‌هایی در مقیاس کوچک در بهبود کارایی خردایش، با تغییر خواص فیزیکی پالپ به‌دست آورده‌اند [۱].

۲-۱- مدار فرآوری بخش تر مجتمع سنگ آهن گل گهر

در مدار فرآوری تر مجتمع سنگ آهن گل گهر (شکل ۱) مواد میانی که یکی از محصولات جداکننده‌های مغناطیسی خشک شدت پایین است، وارد آسیای گلوله‌ای می‌شود. بعد از عملیات خردایش که در مدار باز انجام می‌شود، محصول برای جدایش وارد جداکننده‌های مغناطیسی شدت پایین تر می‌شود. فرآوری در این بخش شامل واحدهای پرعیارکنی اولیه، پرعیارکنی ثانویه و پرعیارکنی نهایی است. باطله بخش پرعیارکنی نهایی در صورتی که عیار قابل توجهی از آهن داشته باشد، به مخروط‌های ته‌نشینی وارد می‌شود. ته‌ریز این مخروط‌ها به همراه خوراک به ابتدای آسیای گلوله‌ای تر وارد و سرریز آن‌ها با محصول آسیا مخلوط می‌شود.



شکل ۱: شمای مدار فرآوری بخش تر مجتمع سنگ آهن گل گهر

۳-۱- ضرورت و هدف انجام تحقیق

به دلیل خردایش نامناسب در آسیای گلوله‌ای که حاصل آن محصولی با اندازه (P₈₀) ۱۳۷ میکرون بود، مواد به درجه آزادی مطلوب نمی‌رسیدند و در نتیجه میزان گوگرد در کنسانتره به بالاتر از ۱/۲٪ می‌رسید. وجود گوگرد در کنسانتره سنگ آهن علاوه بر ایجاد آلودگی در طی فرآیند تولید گندله و فولاد، باعث شکننده شدن فولاد و کاهش کیفیت آن می‌شود. در چنین شرایطی گوگردزایی کنسانتره که هزینه زیادی را در بر دارد، اجتناب ناپذیر است. با کاهش اندازه محصول آسیاکنی می‌توان درجه آزادی مناسب را برای کانی‌های گوگرددار فراهم کرد و باعث کاهش میزان گوگرد محصول نهایی شد.

۲- روش تحقیق

۱-۲- پایش اولیه

با نمونه‌گیری از خوراک و محصول آسیاهای گلوله‌ای و کنسانتره نهایی مجتمع سنگ آهن گل گهر و پایش میزان پرشدگی و درصد جامد آسیاهای گلوله‌ای، کارایی مدار کارخانه بررسی شد. میزان پرشدگی آسیا در زمان توقف آسیا با اندازه‌گیری فاصله سطح گلوله‌ها تا سقف آسیا [۱۳]، تعیین

شد. توزیع ابعادی نمونه کنسانتره اندازه‌گیری شد و عیار گوگرد در طبقه‌های مختلف ابعادی آن، تعیین شد.

۲-۲- نحوه تعیین اندازه محصول مناسب آسیا در آزمایشگاه

برای مشخص کردن اندازه محصول مطلوب برای جدایش مناسب در جداکننده‌های مغناطیسی و با هدف رسیدن به کنسانتره‌ای با میزان گوگرد کمتر از ۰/۱۶٪ و عیار آهن بالای ۶۷٪، نمونه‌هایی از خوراک آسیای گلوله‌ای کارخانه گرفته شد. این نمونه‌ها با استفاده از آسیای گلوله‌ای آزمایشگاهی در زمان‌های ۳۰، ۷۰، ۱۸۰، ۴۰۰، ۸۸۰، و ۱۲۰۰ ثانیه خرد شدند و اندازه محصول (P₈₀)، آن‌ها تعیین شد. محصول به‌دست آمده از آسیای آزمایشگاهی در زمان‌های مختلف خردایش، تحت جدایش مغناطیسی توسط لوله دیویس قرار گرفتند. میزان گوگرد و آهن، محصولات جدایش این آزمایش‌ها برای تعیین اندازه مناسب محصول آسیا استفاده شدند.

۲-۳- نحوه اعمال نتایج آزمایشگاهی در کارخانه

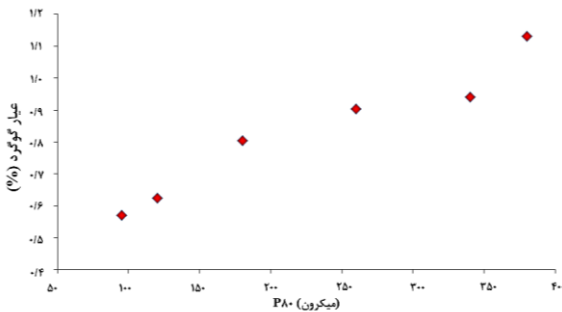
برای رسیدن به شرایط مناسب تولید محصولی در آسیا که باعث دستیابی به کنسانتره‌ای با میزان گوگرد کمتر از ۰/۱۶٪ شود ابتدا پرشدگی آسیای گلوله‌ای شماره ۳ از مقدار اولیه ۲۷٪ به ۳۳٪ با هدف بهبود کارایی خردایش داده شد. به‌منظور تغییر درصد جامد وزنی پالپ داخل آسیا، مقدار آب ورودی به آسیا تنظیم شد و پس از رسیدن به حالت پایدار در بازه زمانی یک ساعته هر ۱۵ دقیقه از خروجی آسیا نمونه‌هایی گرفته شد. با استفاده از توزیع زمان ماند در آسیا که توسط ردیاب نمک تعیین شد، متوسط زمان ماند ذرات در آسیا در حدود ۸ دقیقه اندازه‌گیری شد. این کار با حل کردن ۱۰۰ کیلوگرم نمک طعام در آب و سپس ریختن این مقدار به صورت ضربه‌ای در ورودی آسیا و اندازه‌گیری هدایت الکتریکی پالپ خروجی در ۳۲ نمونه گرفته شده در مدت زمان ۳۴ دقیقه و به فواصل ۲۰ ثانیه در ابتدا و ۵۰ ثانیه در انتهای آزمایش، انجام شد. به دلیل خطای زیاد در اندازه‌گیری هدایت الکتریکی توسط هدایت‌سنج و خطای ناشی از وجود املاح متعدد (به دلیل استفاده از آب شور) این آزمایش سه بار تکرار شد. تجزیه، تحلیل و برازش داده‌ها به کمک نرم افزار RTD [۱۴] که تحت نرم افزار Microsoft Excel کار می‌کند، انجام شد.

با نمونه‌هایی که از گلوله‌های درون آسیا گرفته شد مشخص شد که کوچک‌ترین اندازه گلوله سالم و کروی، در حدود ۲۰ میلی‌متر است در نتیجه تصمیم گرفته شد که برای تکمیل زنجیره گلوله درون آسیا، گلوله با قطر ۲۰ میلی‌متر نیز علاوه بر گلوله معمول ۳۰ میلی‌متر به آسیا اضافه شود.

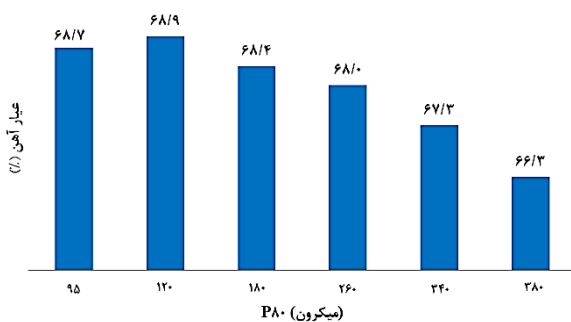
باعث افزایش میزان گوگرد به بیش از حد مجاز (۰/۶٪) می-شود. به همین دلیل باید با نرم کنی بیشتر، سهم این ذرات در محصول آسیا به حداقل رسانده شود.

۳-۱ اندازه محصول مناسب آسیا در آزمایشگاه

نمونه گرفته شده از خوراک آسیای گلوله‌ای (مواد میانی جداکننده های مغناطیسی) کارخانه در آسیای آزمایشگاهی در زمان‌های مختلف خرد شد که محصولی با دانه‌بندی‌های (P₈₀) متفاوت حاصل شد. در عمل با افزایش زمان آسیاکنی اندازه محصول از ۳۸۰ به ۹۵ میکرون کاهش پیدا کرد. آزمایش لوله دیویس که در آن کنسانتره‌ای با حداکثر کیفیت به دست می‌آید، برای نمونه های با خردایش مختلف انجام شد. شکل-های ۳ و ۴، میزان گوگرد و آهن کنسانتره نمونه‌هایی با دانه‌بندی‌های مختلف را نشان می‌دهد. روند کلی افزایش میزان گوگرد کنسانتره آزمایش لوله دیویس با درشت‌تر شدن اندازه محصول آسیا مشخص است. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که برای دستیابی به کنسانتره‌ای با میزان گوگرد کمتر از ۰/۶٪، اندازه محصول آسیا، ۱۰۰ میکرون مناسب است. جالب توجه است که عیار آهن نیز در این دامنه ابعادی مقداری نزدیک ۶۹ درصد است که بالاترین میزان آهن در بین اندازه‌ها است (شکل ۴).



شکل ۳: تغییر میزان گوگرد کنسانتره نسبت به اندازه ذرات خوراک (به دست آمده از آزمایش لوله دیویس)

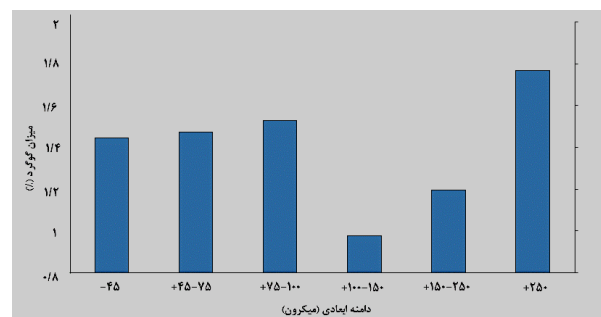


شکل ۴: تغییر میزان آهن کنسانتره با اندازه ذرات خوراک (به دست آمده از آزمایش لوله دیویس)

آب ورودی آسیا به وسیله آب موجود در ته ریز مخروط آبیگری و آب فرآیند اضافه شده، تنظیم شد. در این مرحله درصد جامد و توزیع دانه‌بندی نمونه‌ها تعیین شدند. با کاهش میزان آب فرآیند که در ورودی هر سه آسیا اضافه می‌شد، درصد جامد وزنی آسیاها به طور متوسط تا ۶۵ افزایش داده شد. پرشدگی گلوله آسیای شماره ۲ که اغلب دارای نرخ بار اولیه ورودی ۱۶۰ تن بر ساعت بود نیز به ۴۰٪ حجمی رسانده شد. پرشدگی آسیای دیگر نیز در حد ۳۳٪ تنظیم شد. به منظور پایش درصد جامد وزنی، تغییرات عیار آهن و گوگرد جریان های مختلف مدار، به طور همزمان از خوراک و محصول آسیاهای گلوله‌ای و کنسانتره نمونه‌هایی گرفته شد. همچنین با استفاده از داده‌های نمونه‌برداری‌هایی که توسط آزمایشگاه مجتمع سنگ آهن گل‌گهر انجام شده بود، وضعیت مدار، قبل و بعد از اعمال تغییرات، با استفاده از روش‌های آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌های دو جمعیت، بررسی شد.

۳-۲ ارائه و تحلیل نتایج

بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده قبل از اعمال تغییرات، متوسط میزان پرشدگی آسیا و درصد جامد وزنی خروجی آسیا به ترتیب ۲۷٪ و ۴۷ بدست آمد. پس از دانه‌بندی کنسانتره، عیار گوگرد در بخش‌های مختلف ابعادی تعیین شد (شکل ۲).

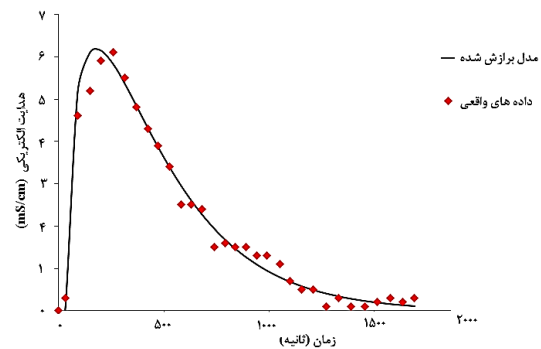


شکل ۲: عیار گوگرد در بخش‌های مختلف ابعادی کنسانتره تر

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با کاهش اندازه تا ۱۰۰ میکرون، میزان گوگرد کاهش می‌یابد اما در اندازه‌های کوچک تر از ۱۰۰ میکرون، افزایش میزان گوگرد مشاهده می‌شود. دلیل این امر این است که کانی مگنتیت در ۱۰۰ میکرون بیشترین درجه آزادی را دارد. از این اندازه کوچکتر، ذرات مگنتیت به سختی شکسته می‌شوند ولی کانی‌هایی گوگرددار مانند پیریت، به دلیل ترد بودن، به راحتی شکسته می‌شوند در نتیجه در اندازه‌های ریز، عمده ذرات، حاوی گوگرداند و عیار گوگرد در این اندازه‌ها افزایش می‌یابد. بالا بودن میزان ذرات با ابعاد بزرگ‌تر از ۱۵۰ میکرون در کنسانتره،

۲-۳ نتایج تغییرات اعمال شده در مدار آسیاکنی کارخانه

با تغییراتی که در میزان آب ورودی به یکی از آسیاها داده شد، درصد جامد از متوسط ۴۰ به ۶۵ رسانده شد. کاهش مقدار آب ورودی به صورت مرحله ای به آسیا در یک بازه زمانی کوتاه تا زمان رسیدن به پایداری انجام شد و نمونه‌های لازم گرفته شد. برای این که شرایط عملیاتی و همچنین خصوصیات بار اولیه ثابت بماند، این کار در حداقل زمان (۸ ساعت) انجام شد. بدین ترتیب امکان بررسی تأثیر درصد جامد بر اندازه محصول آسیا امکان پذیر شد. نتایج برازش داده‌های آزمایش تعیین زمان ماند که با مدل مخلوط کننده کامل (N-Mixer) دارای خطای کمتری بود در شکل ۵ آمده است.



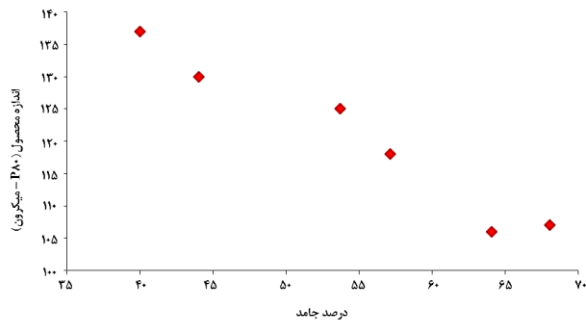
شکل ۵: نتایج تعیین زمان ماند در آسیای گلوله ای با روش ردیابی

با توجه به متوسط زمان ماند به دست آمده از آزمایش ردیابی، مدت زمان نمونه برداری سه برابر آن در نظر گرفته شد. این بازه زمانی با اطمینان بیش از ۹۹ درصد منعکس کننده تأثیر هر تغییری در فرآیند خردایش در آسیا است. در نتیجه زمان لازم برای رسیدن مدار به حالت پایدار هر تغییر، با ضریب اطمینان بالا، یک ساعت در نظر گرفته شد. در صورتی که این رویکرد در بررسی تأثیر درصد جامد بر اندازه محصول آسیا انجام نمی‌شد، امکان تفکیک تأثیر عوامل مختلف بر اندازه محصول عملی نبود. رابطه بین میزان درصد جامد پالپ داخل آسیا و اندازه محصول آن در شکل ۶ آمده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت با افزایش درصد جامد از ۴۰ به ۶۵ اندازه محصول از ۱۳۷ به حدود ۱۰۰ میکرون کاهش پیدا کرد. در زمان انجام این آزمون صنعتی میزان نرخ بار اولیه ورودی به آسیا ثابت نگه داشته شد.

افزایش میزان ذرات جامد در واحد حجم پالپ باعث افزایش نرخ شکست می‌شود. افزایش کارایی آسیاکنی با افزایش درصد جامد در محدوده ۴۰ تا ۷۰ در مطالعات مختلف گزارش شده است [۸، ۱۱، ۱۵]. به منظور کامل کردن زنجیره گلوله درون آسیا علاوه بر اندازه گلوله ۳۰ میلی‌متر، گلوله با اندازه ۲۰

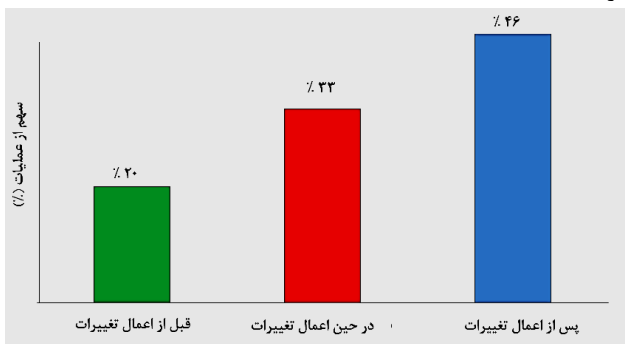
میلی‌متر نیز به آسیا اضافه شد.

پس از اعمال تغییرات در آسیای گلوله ای کارخانه، در بازه زمانی ۶/۵ ماهه اندازه محصول اندازه‌گیری شد. در طول این دوره تغییر بارزی در توان‌کشی آسیاها مشاهده نشد. سهم اندازه محصول‌های زیر ۱۱۰ میکرون در مراحل مختلف اعمال تغییرات در شکل ۷ آمده است. سهم اندازه‌های زیر ۱۱۰ میکرون از عملیات قبل از اعمال تغییرات ۲۰ درصد بوده است که در مرحله بعد از اعمال تغییرات به ۴۶ درصد رسیده است.



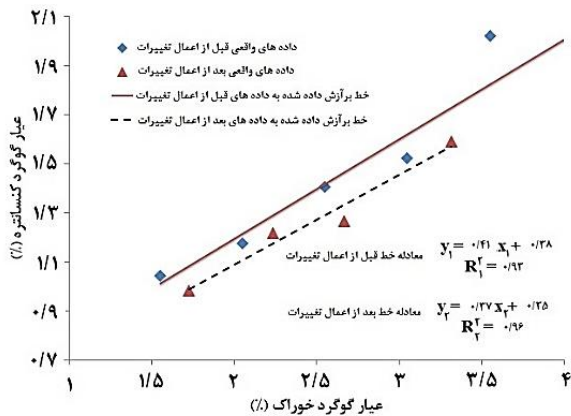
شکل ۶: تغییر اندازه محصول آسیای گلوله‌ای با تغییر درصد جامد ورودی

در این دوره، اندازه محصول آسیا قبل و بعد از اعمال تغییرات مورد پایش قرار گرفت (شکل ۸) با توجه به طولانی بودن مدت مقایسه می‌توان عنوان کرد که نوسان‌های عملیاتی و خصوصیات سنگ معدن برای این دوره در مقایسه در نظر گرفته شده است.



شکل ۷: سهم اندازه‌های محصول‌های کوچک تر از ۱۱۰ میکرون در بازه زمانی ۶/۵ ماهه عملیات آسیاکنی کارخانه

با تحلیل آماری آنالیز واریانس داده‌های واحد آزمایشگاه مجتمع مشخص شد که کاهش اندازه محصول از ۱۲۴ به ۱۰۹ میکرون در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار است. کم شدن نوسان اندازه محصول که در کاهش واریانس آن از ۱۱۴ به ۹۰ مشاهده می‌شود، از دیگر نتایج اعمال تغییرات در مدار بوده است.



شکل ۹: رابطه نسبت گوگرد در بار اولیه به کنسانتره تر قبل و بعد از اعمال تغییرات

۳- نتیجه گیری

- اندازه مناسب محصول آسیای گلوله‌ای (P₈₀) برای دستیابی به میزان گوگرد مجاز (۰/۱۶٪) در کنسانتره، با بکارگیری آزمایش لوله دیویس، ۱۰۰ میکرون به دست آمد.
- با افزایش درصد جامد ورودی آسیا از مقدار ۴۷ به ۷۰، اندازه محصول آسیا از ۱۳۷ میکرون به ۱۰۰ میکرون کاهش پیدا کرد.

- تغییرات اعمال شده در مدار آسیاکنی که شامل افزایش درصد جامد (به طور متوسط تا ۶۵)، افزایش پرشدگی گلوله (به طور متوسط تا ۳۳٪ حجمی آسیا) و شارژ گلوله ۲۰ میلی‌متر بود، باعث کاهش ۱۲ درصدی اندازه محصول و ۲۱ درصدی واریانس شد.

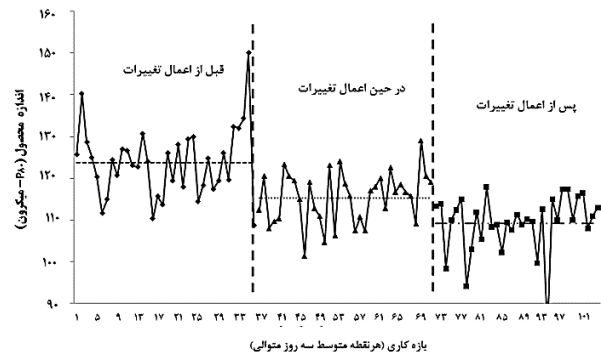
- کاهش اندازه محصول آسیا به واسطه تغییرات اعمال شده باعث جابجایی روبه پایین نمودار بین عیار گوگرد خوراک و کنسانتره به میزان نسبی ۱۰ درصد شد که به معنای کاهش عیار گوگرد کنسانتره است.

۴- تشکر و قدردانی

از پژوهشکده سنگ آهن و فولاد گل‌گهر، بخش فرآوری مجتمع سنگ آهن گل‌گهر و شرکت گهر روش سیرجان به خاطر همکاری صمیمانه و اجازه انتشار مقاله، تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

[1]. McIvor R.E., 1983, "Effect of Speed and Liner Configuration on Ball Mill Performance", Mining Engineering, June, p 817-822.



شکل ۸: تغییرات اندازه محصول آسیا قبل، در حین و بعد از اعمال تغییرات

۳-۳ تأثیر اندازه محصول آسیا بر میزان گوگرد کنسانتره

چون مقدار گوگرد کنسانتره وابسته به میزان گوگرد بار اولیه است، به همین دلیل مقایسه میزان گوگرد کنسانتره بدون در نظر گرفتن میزان آن در بار اولیه منطقی نیست. به منظور رفع این مشکل با استفاده از داده‌های ۷ ماه کارخانه قبل از اعمال تغییرات و ۶/۵ ماه پس از اعمال تغییرات رابطه‌ای بین این دو به دست آمد (شکل ۹). همبستگی مثبت و قوی بین این دو عامل با ضریب های همبستگی ۰/۹۳ و ۰/۹۶ به دست آمد. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود عیار واقعی گوگرد کنسانتره تر در بیشتر موارد کمتر از مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل به دست آمده قبل از اعمال تغییرات است. این تفاوت ناشی از اعمال تغییرات در مدار است. به عبارت دیگر فاصله دو خط در شکل ۹ نشان‌دهنده میزان مؤثر بودن تغییرات اعمال شده، در کاهش گوگرد بوده است.

شرایط جداکننده مغناطیسی در مشخص شدن نتیجه واقعی کاهش اندازه محصول آسیاکنی بسیار مهم است از جمله درصد جامد خوراک ورودی جداکننده که در طول دوره ای به دلیل افزایش درصد جامد دوغاب درون آسیا و تغییر نکردن آب اضافه شده به مدار، افزایش یافته بود و باعث خنثی کردن تأثیر کاهش اندازه محصول مدار آسیاکنی می‌شد.

به منظور بررسی تأثیر میزان نرمه تولیدی در بخش آسیاکنی، میزان آهن وارد شده به باطله این بخش پایش شد که متوسط قبل و بعد آن با ۹۵ درصد اطمینان در محدوده ۱۸±۶ درصد بود و تغییر بارزی مشاهده نشد.

- [13]. Gupta A. Yan D., 2006, "*Mineral Processing Design and Operation*", Elsevier, p 166-168.
- [14]. A.R. Farmad, M. Yahyaei, S. Banisi, 2010, "*Determination of Materials Residence Time Distribution in Grinding and Flotation Circuits using a Spreadsheet-Based Software*", Analytical & Numerical Methods in Mining Engineering, Vol. 1, p 51-55.
- [15]. Lux, J., Clermont, B., 2004, "*The Influence of Mill Speed and Pulp Density on the Grinding Efficiency for Secondary Stage Grinding*", International Platinum Conference "Platinum Adding Value", The South African Institute of Mining and Metallurgy.
- [2]. Austin, L.G., Shoji, K., Luckie, P.T., 1976, "*The Effect of Ball Size on Mill Performance*" Powder Technology.1, 14(1), p 71-79.
- [3]. Bond, F.C., 1961, "*Crushing and Grinding Calculation*", British Chemical Engineering, Vol 6, p 378-385.
- [4]. Concha. F., Magne, L., Austin, L.G., 1992, "*Optimization of the Make-up Ball Charge in a Grinding Mill*", Int. J. Miner.Proc, 34(3), p 231-241.
- [5]. Wills, B.A., Nupier-Munn, T.J. 2006, "*Mineral Processing Technology*", Elsevier, 7th Edition, 146-186.
- [6]. Bond F. C., 1958, "*Grinding Ball Size Selection*"- Mining Engineering, May, p 592-595.
- [7]. Mogdalinovic, N, Trumic, M, Trumic, M, Andric L, 2012, "*The Optimal Ball Diameter in a Mill*", Physicochemical Problems of Mineral Processing, 48(2), p 329-339.
- [8]. Schlanz, J. W., 1989, "*Grinding: An Overview of Operation and Design*", AIME Fine Grinding Conference in Asheville, NC.
- [9]. Purkany, M., Bennis, S., (2007). "Determine the optimum combination of size pellet mills in vitro" research Mjhlmy Amir, No. 80.
- [10]. Banisi. S., Langari-Zadeh, G., Pourkani, M., Kargar, M. and A.R Laplante, 1999, "*Measurement of Ball Size Distribution in a 5 m x 8 m Primary Mill of Sarcheshmeh Copper Mine*", Proc.of 31st Ann. Meet. Of Canadian Mineral Processors, Ottawa, pp.376-388.
- [11]. De Haas B, Van Den Bosch A, Kottgen A, 2012, "*Effect of Slurry Density on Load dynamic and Milling Performance in an Iron Ore Ball Mill- On-Line Estimation of In-Mill Slurry Density*", Comminution Conference, Cape Town.
- [12]. W.A. Hockings, M.E. Volin, A.L. Mular, 1965, "*Effect of suspending fluid viscosity on batch mill grinding*", Transactions of the American Institute of Mining Engineers p 59-62.

