

طراحی و ساخت آسیای جهت تعیین شاخص توان (SPI) آسیای نیمه خودشکن - مطالعه موردی: آسیای نیمه خودشکن (SAG) مجتمع مس سرچشمه

ابراهیم عظیمیⁱ، صمد بنیسیⁱⁱ، غلامرضانگریزادهⁱⁱⁱ

چکیده

امروزه استفاده از تکنولوژی آسیاهای نیمه خودشکن در معادن بزرگ، بدلیل کاهش هزینه‌های تمام شده و افزایش کارآئی سیستم‌های خردایش عمومیت پیدا کرده است. در سال ۱۹۹۳ آزمایش کوچک مقیاس شاخص توان آسیای نیمه خودشکن (SPI) توسط شرکت Minnovex، جهت بررسی مقاومت ماده معدنی در مقابل خردایش (سختی) و توان مورد نیاز برای خردکردن ماده معدنی ارائه شد. در مجتمع مس سرچشمه آسیایی برای تعیین SPI نمونه‌های سنگ معدن طراحی و ساخته شد. در این تحقیق با تهیه نمونه‌های ۱۰ کیلوگرمی از روی نوار خوراک‌دهنده به آسیای نیمه خودشکن و انجام آزمایش SPI و در نظر گرفتن عوامل عملیاتی موثر بر توان مصرفی آسیاهای نیمه خودشکن (سختی نمونه، اندازه محصول، درصد پرشدگی و مدت زمان کارکرد آسترها)، مدلی نیمه تجربی برای تخمین توان ویژه مصرفی ارائه شد. با توجه به ارزیابی انجام شده، خطای مدل ۲/۵٪ بدست آمد.

کلمات کلیدی:

مجتمع مس سرچشمه، شاخص توان (SPI) آسیاهای نیمه خودشکن، قابلیت خردایش ماده معدنی، سختی سنگ معدن

Designing and constructing a grinding mill for SPI determination - Case study: the Sarcheshmeh copper mine SAG mill

E. Azimi; S. Banisi; G. Langarizadeh

ABSTRACT

As the capacity of processing plants increases, the use of SAG mills increases mainly due to improving the comminution circuit efficiency and also a significant reduction in the grinding costs. SPI test (SAG Power Index) was introduced by Minnovex, a mineral processing company in Canada, in 1993 to provide some information about ore hardness and power consumption for mill designers. A grinding mill was designed and constructed to determine SPI at the Sarcheshmeh copper complex. In order to perform SPI tests 10 kg samples were taken from the conveyer belt feeding the SAG mill. Considering some important operational parameters influencing power draw of SAG mills such as ore hardness, product fineness, mill filling and mill liners condition a semi empirical power model was proposed. Finally the model was validated using an independent sample. It was found that the error of the model was 2.5%.

KEY WORDS:

Sarcheshmeh copper complex, SAG Power Index (SPI), Grindability, Ore hardness

ⁱ دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند Azimi_ebrahim@yahoo.com

ⁱⁱ بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان Banisi@mail.uk.ac.ir

ⁱⁱⁱ متالورژی تغلیظ، مجتمع مس سرچشمه

بررسی اجمالی معادن بزرگ نشان می‌دهد که اکثر پروژه‌های آسیاکنی جدید و یا توسعه‌ای از تکنولوژی آسیاکنی خودشکن یا نیمه خودشکن استفاده کرده‌اند. استفاده از آسیاهای خودشکن و یا نیمه خودشکن در معادن بزرگ باعث افزایش ظرفیت مدار و کاهش هزینه‌های آسیاکنی می‌شود. بخش آسیاکنی معمولاً بیش از نصف هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. استفاده از خود ماده معدنی به عنوان تامین کننده بخشی از واسطه خردایش، باعث افزایش ظرفیت نرم کتی مدار و جلوگیری از وارد شدن مواد خارجی ناخواسته به ماده معدنی و آلوده نشدن آن شده است [۲] [۶] [۱۱].

تهیه نمونه شاخص برای انجام آزمایش‌های اولیه و انتخاب دستگاه‌ها از چالش‌های اصلی صنعت فرآوری است. اغلب اشتباهات در طراحی آسیاهای نیمه خودشکن و خودشکن، از عدم انتخاب صحیح نمونه معرف ناشی می‌شود. با وجود این مشکلات حتی تهیه چنین نمونه‌ای هزینه زیادی داشته و مقدار آن معمولاً به بیش از ۲۰ تن نیز می‌رسد [۲] [۷] [۱۱].

در سال ۱۹۹۳ شرکت Minnovex با ارائه آزمایشی کوچک مقیاس، تحت عنوان آزمایش تعیین شاخص توان آسیاهای نیمه خودشکن (SAG Power Index; SPI) سعی کرد که اطلاعاتی در مورد مقاومت ماده معدنی در مقابل خردایش و توان مورد نیاز برای خرد کردن ماده معدنی را در دسترس طراحان قرار دهد [۳] [۱۰] [۱۲]. اکنون بعد از گذشت بیش از ۱۰ سال این آزمایش علاوه بر بدست آوردن مقبولیت عمومی در میان طراحان و کاربران آسیاها، بعنوان بخشی جدا ناپذیر از آزمایش‌های اولیه طراحی آسیاها مطرح است [۴] [۸].

با توجه به استقبال معادن بزرگ مس ایران از تکنولوژی آسیاکنی نیمه خودشکن، انجام آزمایش SPI برای کنترل و همچنین بهینه سازی فرآیند خردایش و وارد کردن واژه سختی برای توصیف نوع خوراک بطور کمی در این فرآیند، الزامی است. بنابراین در مجتمع مس سرچشمه تصمیم گرفته شد تا آسیایی برای اندازه‌گیری مقدار شاخص SPI طراحی و ساخته شود. با ساخت آسیا از خوراک ورودی آسیای نیمه خودشکن نمونه برداری شد. با انجام آزمایش SPI بر روی نمونه‌ها، با استفاده از رابطه ارائه شده توسط شرکت Minnovex مقدار توان ویژه (مقدار انرژی مصرفی به ازاء یک تن خوراک در آسیای نیمه خودشکن برحسب kWh/t) مصرفی در آسیای نیمه خودشکن محاسبه شد [۳]. نتایج بدست آمده نشان داد که رابطه بکار گرفته شده دقت و کارآئی لازم برای استفاده در این مدار را ندارد. لذا تصمیم گرفته شد تا رابطه‌ای جدید بدست آید.

در نهایت با نمونه‌گیری از مدار و اتمام آزمایش‌های مربوط و با در نظر گرفتن عوامل موثر عملیاتی، رابطه تجربی جدیدی برای استفاده در مجتمع مس سرچشمه بدست آمد. در مرحله نهایی با استفاده از نمونه‌ای مستقل کارآئی مدل ارزیابی شد. اعداد بدست آمده از مدل با توان ویژه مصرفی واقعی بدست آمده در کارخانه هم خوانی قابل قبولی داشت. حداکثر خطای مدل ۲/۵٪ تعیین شد.

علاوه بر مشکل تهیه نمونه شاخص، تغییر در سختی سنگ معدن باعث نوسانات شدید در میزان بار ورودی می‌شود. در کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی در نگاه اول برای مقابله با تغییرات سختی معمولاً دو راه مطرح می‌شود. ۱- نصب تجهیزات خردایشی معمول در کنار آسیا به منظور خرد کردن و حذف ذرات با ابعاد بحرانی (۳-۵ cm). ۲- نصب تجهیزات همگن‌سازی خوراک به منظور اختلاط گونه‌های مختلف و دست‌یابی به خوراکی همگن. هر دو روش ارائه شده علاوه بر هزینه‌های سرمایه‌ای اولیه، معمولاً هزینه‌های عملیاتی بالایی را نیز دارند. آزمایش SPI مشکلات ناشی از تهیه نمونه‌های غیرشاخص را برطرف کرده و هم چنین توزیع توان مورد نیاز برای خرد کردن ماده معدنی در کل کانسار را بر اساس اطلاعات سختی سنجی بعمل آمده مشخص می‌کند. با استفاده از آزمایش SPI که آزمایشی کوچک مقیاس است حتی می‌توان از مغزه‌های حفاری به قطر ۲/۵ سانتی‌متر برای انجام این آزمایش استفاده کرد و با نمونه برداری با فواصل کم، توزیع واقعی سختی در توده معدنی را می‌توان مشخص کرد و از پروفیل تغییرات سختی بدست آمده برای بررسی توزیع و نوسان انرژی ویژه مصرفی در کل کانسار استفاده کرد [۴] [۷] [۹] [۱۰] [۱۲].

رابطه بین توان، اندازه محصول و SPI بصورت زیر ارائه شده است:

$$P_{80}^{0.33} \times (2.2 + 0.1t) = \text{توان آسیای نیمه خودشکن صنعتی برحسب (kWh/t)} \quad (1)$$

در این رابطه P_{80} اندازه محصول نهایی آسیای نیمه خودشکن صنعتی برحسب میلی متر و t زمان بدست آمده از آزمایش سختی (SPI) برحسب دقیقه است [۳] [۵].

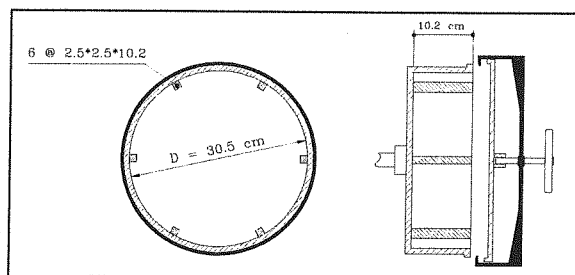
۲- روش تحقیق

۲-۱- تجهیزات و وسائل مورد نیاز

آسیای نیمه خودشکن آزمایشگاهی به قطر ۳۰۵ mm و طول ۱۰۲ mm

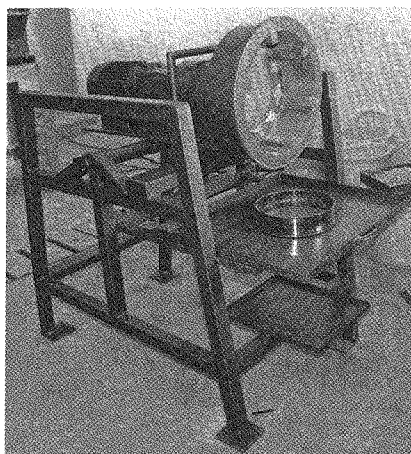
۳-۲- ساخت آسیای آزمایشگاهی

با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از منابع مختلف [۳] ابتدا مشخصات ابعادی و عملیاتی آسیای مورد نظر تعریف شد و طی مراحل ساخت باتوجه به اطلاعات موجود و روند انجام آزمایش، سعی شد در اجزاء تشکیل دهنده آسیا تغییراتی اعمال شود تا به هنگام استفاده، کاربر بتواند به راحتی آزمایش را انجام داده و آن را به اتمام رساند.



شکل ۱: نمای کلی آسیای ساخته شده

همان طور که گفته شد آسیای ساخته شده دارای قطر درونی ۳۰/۵ و طول ۱۰/۲ سانتی متر است، درون آسیا ۶ بالابر برای سهولت حرکت بار در داخل آسیا، نصب شد. ابعاد بالابرها ۲/۵×۲/۵ سانتی متر بوده و کل طول آسیا را پوشش می‌دهند. برای نصب بالابرها محیط داخلی آسیا به ۶ قسمت مساوی تقسیم شد، بالابرها به طور کامل به بدنه جوش داده شدند تا از عبور و تجمع مواد در فضاهای خالی پشت آن‌ها جلوگیری شود (شکل ۲).



شکل ۲: تصویر آسیای ساخته شده

یک موتور الکتریکی تک فاز با توان ۰/۷۵ kW متصل به یک گیربکس به عنوان منبع تامین کننده نیروی چرخشی بر روی آسیا نصب شد. موتور نصب شده با توجه به مبدل (Converter) نصب شده بر روی آن قابلیت دوران از ۰/۵ تا ۱۰۰ دور در دقیقه را دارد لذا می‌توان به راحتی هر ضریبی از سرعت بحرانی آسیا را به هنگام آزمایش فراهم کرد، ذکر این

گلوله فولادی به قطر ۲۵ mm به عنوان واسطه خردایش معادل ۱۵ درصد حجم آسیا.

سنگ شکن فکی آزمایشگاهی برای آماده‌سازی خوراک آزمایش.

ترازوی دیجیتالی، زمان‌سنج و تقسیم کننده مجرائی.

سری سرندهای استاندارد از ۱۹mm تا ۲۸ میکرون [۳] [۵].

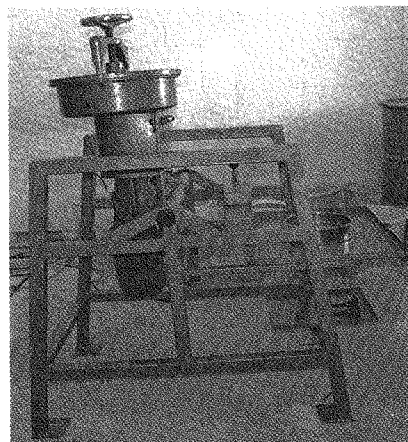
۲-۲- روند آماده‌سازی نمونه و انجام آزمایش SPI

آزمایش شامل یک سری مراحل خردایش و سرندکنی خشک است، بدین صورت که نمونه سنگ معدن تهیه شده ابتدا با استفاده از سنگ شکن فکی خرد می‌شود به نحوی که تمام نمونه از سرند ۱۹ میلی متری عبور کند. بعد از خرد کردن نمونه، یک آنالیز سرندی کامل روی آن انجام می‌گیرد. نمونه‌ای که باید به داخل آسیا ریخته شود دارای وزن ۲ کیلوگرم بوده و K_{80} (اندازه سرندی که ۸۰ درصد مواد از آن عبور می‌کنند) آن باید ۱۲/۷ میلی متر باشد. برای این کار ۴۰۰ گرم از ابعاد بزرگ تر از ۱۲/۷ میلی متر برداشته و با ۱۶۰۰ گرم از سنگ معدنی که از سرند ۱۲/۷ میلی متر عبور کرده است مخلوط کرده و به داخل آسیا ریخته می‌شود، با این کار نمونه داخل آسیا دارای وزن ۲ کیلوگرم با $K_{80} = ۱۲/۷$ mm خواهد بود. با اضافه کردن گلوله ۲۵ میلی متری به اندازه ۱۵٪ حجم آسیا (معادل ۶۸ گلوله ۲۵ میلی متری) آزمایش قابل انجام خواهد بود. شایان ذکر است در طول آزمایش ماده دیگری به مواد داخل آسیا اضافه نمی‌شود. برای معتبر بودن نتایج این آزمایش مقدار K_{80} خوراک آسیا بایستی حتماً برابر ۱۲/۷ mm باشد [۵] [۱۰] [۱۲].

بعد از بستن درب آسیا، آسیا و زمان سنج بطور هم زمان شروع به کار می‌کنند. اولین زمان نرم‌کنی (بطور تجربی) در حدود نصف زمانی که برای نرم‌کنی کامل لازم است، تخمین زده می‌شود. بایستی توجه داشت که نمونه جدید یا ناشناخته بیش از حد نرم نشود. پس از اولین مرحله نرم‌کنی، نمونه از داخل آسیا تخلیه شده و با سرند ۱۰ مش (۱/۷ میلی متری) سرند می‌شود. در صورتی که وزن مواد مانده روی این سرند بیش از ۴۰۰ گرم باشد همه نمونه به همراه گلوله‌ها جهت نرم‌کنی بیش تر به داخل آسیا برگردانده می‌شود [۵] [۱۰] [۱۲].

با تکرار این فرآیند (در صورت لزوم چندین مرحله) نمونه تا ۸۰٪ عبوری، از سرند ۱۰ مش نرم می‌شود. مجموع زمان‌های بدست آمده از این آزمایش برحسب دقیقه نمایان گر میزان سختی نمونه (SPI) مزبور است. بعد از اتمام آزمایش یک آنالیز سرندی کامل روی محصول آزمایش انجام می‌گیرد.

نکته لازم است که سرعت بحرانی آسیا زمانی که از گلوله‌های ۲۵mm استفاده می‌شود برابر ۸۰ دور در دقیقه است لذا با توجه به سرعت استاندارد انجام آزمایش (۷۰٪ سرعت بحرانی) سرعت دوران آسیا بر روی ۵۶ دور در دقیقه تنظیم شد. با توجه به این که می‌توان به راحتی سه وضعیت مختلف کاری (باردهی، نرم کنی و تخلیه) را برای آن ایجاد کرد استفاده از آسیا آسان است. این حالات با استفاده از باز کردن دو پیچ نگه‌دارنده و با تغییر وضعیت قطعه موجود در زیر صفحه نگه‌دارنده موتور و آسیا امکان پذیر است (شکل ۳).



شکل ۳: آسیا در وضعیت باردهی

در قسمت جلوی دستگاه دو سینی قرار داده شده، تا از ریخته شدن مواد به اطراف به هنگام تخلیه آسیا جلوگیری کنند. بر روی سینی بالایی یک سوراخ به اندازه قطر خارجی یک سرند استاندارد ایجاد شده است تا موقع تخلیه مواد از آسیا و با استفاده از یک سرند ۱۹ mm، گلوله‌ها به راحتی از محصول آزمایش که در ظرف زیری جمع می‌شود، جدا شوند.

۲-۴- نمونه گیری برای کالیبراسیون آسیا

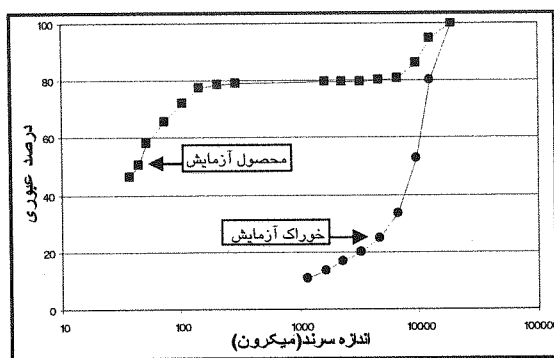
با توجه به بررسی‌های انجام گرفته، مشخص شد که برای پیش‌بینی توان مصرفی آسیای نیمه‌خودشکن نصب شده در مجتمع مس سرچشمه استفاده از رابطه تجربی ارائه شده امکان پذیر نیست. در جدول ۱ مقادیر توان مصرفی واقعی در کارخانه و توان محاسبه شده از طریق رابطه موجود، آورده شده است. با بررسی مقادیر مربوط به توان‌ها خطاهای موجود، استفاده از این رابطه برای تخمین توان مصرفی و یا بررسی کارآئی مدار آسیاکنی نامعقول بنظر می‌رسید. لذا تصمیم گرفته شد تا یک سری نمونه‌گیری برای کالیبراسیون آسیای آزمایشگاهی ساخته شده (به منظور پیش‌بینی توان مصرفی آسیا) انجام گیرد، تا بر اساس مقادیر بدست آمده برای SPI نمونه‌های سنگ معدن، توان مصرفی توده را به هنگام ارسال آن توده از معدن بطرف کارخانه پیش‌بینی کرد.

جدول ۱: مقادیر توان‌های واقعی و محاسباتی آسیای نیمه‌خودشکن

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵
SPI میانگین نمونه (min)	۱۲۸/۳	۱۸۰	۱۸۱/۱	۱۴۸/۴	۱۴۲
P_8 محصول نهایی (mm)	۱/۴۲۸	۰/۵۱	۰/۷۴	۱/۴۷	۰/۶۰۶
توان واقعی (kWh/t)	۱۱/۷۱	۱۰/۱۵	۹/۴۶	۷/۲۶	۸/۲۷
توان محاسباتی (kWh/t)	۱۶/۹۴	۱۶/۱۸	۱۸/۳۹	۱۹/۳۵	۱۳/۹
مقدار خطای مدل (%)	۴۴/۷	۵۹/۴	۹۴/۴	۱۶۶/۵	۶۸/۱

طول مدت زمان نمونه‌گیری برای نمونه‌هایی که برای کالیبراسیون آسیا گرفته می‌شود، یک ساعت در نظر گرفته شد. در واقع هدف از تهیه این نمونه‌ها، علاوه بر فراهم آوردن نمونه برای انجام آزمایش SPI، بدست آوردن مقدار P_8 محصول نهایی آسیای نیمه‌خودشکن نیز بود. با توجه به چپش دستگاه‌ها امکان تهیه نمونه به طور مستقیم از محصول نهایی آسیای نیمه‌خودشکن وجود نداشت. در واقع می‌بایست از سه جریان مربوط به سیکلون‌ها و جریان خروجی آسیای گلوله‌ای نمونه تهیه می‌شد تا بتوان با موازنه جریان‌ها، دانه‌بندی محصول نهایی را بدست آورد.

در شکل ۴ دانه بندی یکی از نمونه‌های آماده شده برای انجام آزمایش SPI، و هم چنین نمودار دانه بندی محصول آزمایش آورده شده است. همان‌طور که از نمودار دانه‌بندی خوراک آسیا نیز مشخص است F_8 خوراک ۱۲/۷ میلی‌متر است. در عین حال برای این نمونه P_8 بدست آمده بعد از اتمام آزمایش که در کل ۱۶۳ دقیقه طول کشیده است، معادل ۱/۷ میلی‌متر است.



شکل ۴: دانه‌بندی خوراک و محصول آزمایش SPI.

در شکل ۵ نیز نرخ تولید ذرات ریزتر از ۱/۷ mm برحسب زمان برای همین نمونه ارائه شده است.

مصرفی برای خرد شدن ذرات در داخل آسیا می‌شود. لذا تصمیم گرفته شد تا از مدت زمان کارکرد آسترها به عنوان عاملی تاثیر گذار در توان مصرفی آسیای نیمه‌خودشکن به هنگام ارائه رابطه توان مصرفی استفاده شود. با توجه به توضیحات ارائه شده، فرم کلی زیر برای معادله توان مصرفی در نظر گرفته شد:

$$P_{(kWh/t)} = a.SPI^b + c.(K_{80})^d + f.\left(\frac{H}{1000}\right) + g.\left(\frac{P}{1000}\right) \quad (2)$$

در این رابطه a, b, c, d, f, g ضرایب ثابت‌اند، SPI مقدار میانگین بدست آمده از سه تکرار برای یک نمونه برحسب دقیقه، K_{80} اندازه محصول نهایی آسیای نیمه‌خودشکن برحسب میلی‌متر، H مدت زمان کارکرد آسترهای جداره برحسب ساعت و P فشار یاتاقان آزاد آسیای نیمه‌خودشکن برحسب کیلوپاسکال است.

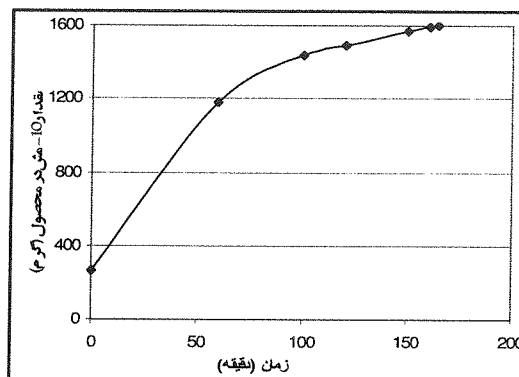
مقادیر ضرایب a, b, c, d, f, g با استفاده از کمینه سازی مجموع مربعات خطا و با استفاده از نتایج ۵ نمونه به ترتیب $۰/۵۵, ۰/۰۱, -۷/۳۶, ۰/۰۱, ۰/۶۹$ و $۲/۸۱$ بدست آمد. مقدار ضریب رگرسیون برای مدل ارائه شده $۰/۷۶$ بدست آمد. از ویژگی‌های این رابطه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- در رابطه ارائه شده مدت زمان کارکرد آسترها نیز لحاظ شده، از این عامل تاکنون در روابط ارائه شده برای محاسبه توان مصرفی آسیاها استفاده نشده بود. استفاده از ساعت کار آسترها باعث می‌شود کاهش کارایی آسیا، زمانی که آسترهای آن سائیده شده‌اند، در نظر گرفته شود. بنابراین مدل ارائه شده همواره توانی نزدیک به حالت واقعی را بدست خواهد داد.

۲- با در نظر گرفتن مقادیری متوسط برای عوامل عملیاتی (H, P, K_{80}) ، مقدار توان ویژه مصرفی در آسیای نیمه‌خودشکن را برای توده‌های سنگ معدن قبل از ارسال به سمت کارخانه تغلیظ با نمونه‌گیری در معدن از توده و بدست آوردن SPI نمونه محاسبه کرد. در صورتی که توان محاسبه شده بیش از مقدار معمول (مورد نظر) باشد، می‌توان با تغییر درصد گلوله شارژ شده به آسیا و یا مخلوط کردن سنگ معدن از دو یا چند جبهه کار مختلف با مشکل کاهش تناژ ورودی به مدار و هم چنین نوسان شدید انرژی مصرفی مقابله کرد.

۳- علاوه بر مقدار SPI نمونه، از این رابطه می‌توان برای کمی کردن واژه سختی سنگ معدن استفاده کرد.

۴- با استفاده از رابطه ارائه شده برای توان ویژه مصرفی، می‌توان مقدار انرژی که یک توده سنگ لازم دارد تا در آسیخ خرد شود و به K_{80} مورد نظر برسد را از طریق نمونه‌گیری، با



شکل ۵: نرخ تولید ذرات ۱۰-مش (۱/۷ mm) در طول آزمایش.

۳- ارائه یافته‌ها و نتایج

۳-۱- ارائه رابطه‌ای برای محاسبه توان ویژه مصرفی در

آسیای نیمه‌خودشکن

عوامل موثر بر توان مصرفی آسیای نیمه‌خودشکن را با توجه به شرایط عملیاتی موجود در کارخانه می‌توان به سختی سنگ معدن، اندازه محصول خروجی، پرشدگی حجمی آسیا، درصد گلوله وارد شده و هم چنین وضعیت آسترهای نصب شده در داخل آسیای نیمه‌خودشکن نسبت داد.

در یک آسیای نیمه‌خودشکن درصد گلوله شارژ شده به آسیا همواره کم تر از مقدار پرشدگی کلی آن است و بخش قابل توجهی از بار داخل آسیای نیمه‌خودشکن را واسطه‌های سنگی درشت تشکیل می‌دهند لذا نمی‌توان مقدار سنگ معدن موجود در داخل آسیای نیمه‌خودشکن را بطور دقیق محاسبه کرد. از طرفی نسبت بین پرشدگی کلی آسیا و هم چنین مقدار گلوله شارژ شده به آن را می‌توان به دانسیته متوسط بار در داخل آسیا نسبت داد. در واقع در یک پرشدگی ثابت با افزایش مقدار گلوله، دانسیته متوسط بار افزایش می‌یابد و برعکس. با توجه به این مسائل تنها عاملی که می‌تواند تغییرات پرشدگی و درصد گلوله آسیا را در هر لحظه نشان دهد فشارهای ترانسیون‌های آسیا (یاتاقان) هستند. لذا به هنگام ارائه رابطه توان مصرفی آسیای نیمه‌خودشکن، از فشار ترانسیون آزاد آسیای نیمه‌خودشکن به‌عنوان نماینده مقدار گلوله و هم‌چنین پرشدگی حجمی آسیا استفاده شد.

تغییر در ارتفاع بالابرها نیز به شدت بر روی توان مصرفی تاثیر می‌گذارد بدین صورت که با کاهش ارتفاع بالابرها معمولاً بار تا ارتفاع مورد نظر بالا نمی‌رود لذا به هنگام سقوط از انرژی کافی برخوردار نبوده و هم چنین باعث افزایش زمان ماند مواد در داخل آسیا می‌شود. این افزایش زمان ماند و کاهش انرژی ذرات به هنگام برخورد، باعث افزایش انرژی

مقدار واقعی آن مقایسه کرد. با این کار می‌توان کارآئی مدار آسینخ را با مقایسه توان‌های ویژه مصرفی (عملیاتی و پیش بینی شده) بدست آورد.

۳-۲- ارزیابی مدل توان ویژه مصرفی

برای بررسی دقت مدل، نمونه‌ای از مدار آسینخ و جریان‌های سیکلون‌ها با همان روند قبلی تهیه شد. مقدار SPI نمونه ۱۴۳ دقیقه تعیین شد. با استفاده از نتیجه آزمایش SPI و مدل ارائه شده، مقدار توان ویژه محاسباتی $8/01 \text{ kWh/t}$ تعیین گردید. مقدار توان ویژه مصرفی عملیاتی (واقعی) نیز از طریق مقادیر ثبت شده در اتاق کنترل $7/81 \text{ kWh/t}$ بدست آمد. با تخمین صحیح توان مصرفی پی‌برد. در واقع مدل ارائه شده مقدار توان ویژه را $0/2 \text{ kWh/t}$ کم تر از مقدار واقعی آن تخمین زده است که برابر $2/5$ درصد خطا در تخمین مقدار توان ویژه مصرفی است. لازم به ذکر است در صورتی که از رابطه پیشنهادی استفاده می‌شد مقدار توان با توجه به مقدار P_{80} ($P_{80}=1/58 \text{ mm}$) برابر با $19/14 \text{ kWh/t}$ بدست می‌آمد.

۴- نتیجه گیری

- ۱- آسیایی آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری شاخص توان آسیای نیمه خودشکن طراحی و ساخته شد.
- ۲- با بررسی‌های انجام گرفته مشخص شد که رابطه تجربی توان با استفاده از شاخص SPI، برای آسیای نصب‌شده در مجتمع مس سرچشمه قابل استفاده نیست.
- ۳- براساس نمونه‌گیری‌ها و آزمایش‌های انجام گرفته با استفاده از آسیای آزمایشگاهی ساخته شده، رابطه‌ای تجربی برای توان ویژه مصرفی در آسیای نیمه‌خودشکن ارائه شد که در آن برخلاف روابط موجود، ساعت کارکرد آسترهای آسیا نیز لحاظ شده است.
- ۴- خطای مدل ارائه شده در تخمین توان ویژه $2/5$ درصد بدست آمد.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از زحمات مهندس پورکانی، خانم مهندس زیدآبادی، مهندس نوری، مهندس حبیبیان، مهندس منتظری و هم چنین مسئولین محترم امور تحقیق و توسعه و کارخانه تغلیظ مجتمع مس سرچشمه

که امکان انجام این تحقیق را فراهم کردند تشکر نمایند.

۶- منابع:

- [۱] عظیمی، ابراهیم؛ بررسی کارآئی مدار آسیاکنی کارخانه جدید پرعیارکنی مجتمع مس سرچشمه، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی مهندسی، بخش مهندسی معدن، ۱۳۸۵.
- [۲] بنیسی، صمد؛ فن‌آوری آسیاهای نیمه خودشکن (مجموعه سه جلدی)، گروه فرآوری بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهیدباهنر کرمان، زمستان ۱۳۷۹.
- [۳] Starkey, J.; Dobby, G.; Kosick, G.; "A new tool for SAG hardness testing", 26th Annual CMP Meeting, Ottawa, Ontario, 18-20 January, Paper No. 7, 1994.
- [۴] Starkey, J.; "Accurate, economical grinding circuit design using SPI and Bond", 22nd International Processing Congress (IMPC), Cape town, South Africa, P.P. 270-279, 2003.
- [۵] Starkey, J.; Dobby, G.; "Application of the Minnovex SAG power index at five Canadian SAG plants.", Int. Autogenous and Semiautogenous Grinding Technology, Vancouver, Vol. 1, P.P. 345-360, 1997.
- [۶] Starkey, J.; Hindstrom, S.; Orser, T.; "Choosing a SAG mill to achieve design performance", 35th Annual CMP Meeting, Ottawa, Ontario, P.P. 305- 316, 2003..
- [۷] Erickson, M.T., "Comparison of SAG mill power draw estimated over the last 20 years", SAG 2006, Vancouver, Canada, P.P. I-69-I-78, 2006.
- [۸] Starkey, J.; Holmes, G.; "Design of the Kubaka grinding circuit using SPI and Bond", 33rd Annual CMP Meeting, Ottawa, Ontario, P.P. 119-133, 2001.
- [۹] Starkey, J.; "Getting more from drill core-preliminary SAG design", Randol Gold Forum, 1997.
- [۱۰] Sherman, M., "Grinding power: Too much of a good thing?", SAG 2006, Vancouver, Canada, P.P. I-164-I-179, 2006.
- [۱۱] T.J. Napier-Munn, S. Morrel, R.D. Morrisson and T. Kojovic; Mineral comminution circuits their operation and optimization, Julius Kruttschnitt Mineral Research Center, Queensland 4068 Austrialial, 1999.
- [۱۲] Kosick, G.; Bennett, C.; "The value of orebody power requirement profiles for SAG circuit design", 31st. Annual CMP Meeting, Ottawa, Ontario, P.P. 241-253, 1999.