

بررسی تکنولوژیهای مختلف آسیاب سیمان از لحاظ مصرف انرژی الکتریکی

سید احسان مجتبوی^۱

ehsanmojtabavi@yahoo.com

شرکت سرمایه‌گذاری و توسعه صنایع سیمان

چکیده: دپارتمان آسیاب سیمان بزرگترین مصرف کننده انرژی الکتریکی در کارخانه‌های سیمان است. از اینرو کاهش مصرف انرژی در این دپارتمان بسیار حائز اهمیت است. آسیابهای گلوله‌ای مدت زمان طولانی به عنوان تنها تکنولوژی قابل قبول جهت آسیاب سیمان به کار گرفته شده‌اند. ولی امروزه آسیابهای غلطکی و ترکیب آسیابهای گلوله‌ای و Roller press به عنوان رقبای جدید آسیاب گلوله‌ای در دپارتمان آسیاب سیمان مطرح شده‌اند. مهمترین مزیت این تکنولوژیهای جدید نسبت به آسیابهای گلوله‌ای میزان مصرف انرژی الکتریکی است. استفاده از ترکیب آسیابهای گلوله‌ای و Roller press در دپارتمان آسیاب سیمان ۱۰ تا ۲۰ درصد مصرف انرژی ویژه الکتریکی را کاهش می‌دهد. اختلاف میان انرژی مصرفی توسط این تکنولوژی و آسیابهای گلوله‌ای در خردایش سیمان با بلین بالای $3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ تا ۵۰ درصد نیز می‌رسد. آسیاب غلطکی عمودی (VRM^۲) تکنولوژی جدید دیگری است که کمترین میزان مصرف انرژی را در دپارتمان آسیاب سیمان دارد. آسیابهای غلطکی ۲۰ تا ۴۰ درصد انرژی ویژه الکتریکی کمتری نسبت به آسیابهای گلوله‌ای مصرف می‌کنند.

لغات کلیدی: آسیاب گلوله‌ای - آسیاب غلطکی - Roller press - انرژی

۱- مقدمه

دپارتمان آسیاب سیمان بزرگترین مصرف کننده انرژی الکتریکی در کارخانه‌های سیمان است. به طوری که ۳۰ تا ۵۰ درصد از کل انرژی الکتریکی مصرفی در کارخانه‌های سیمان را به خود اختصاص می‌دهد. آسیابهای گلوله‌ای مدت زمان زیادی است که در خردایش سیمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. ولی به دلیل نوع مکانیزمی که برای خردایش مواد استفاده می‌کنند. راندمان عملکرد آنها بسیار پایین است.

در سالهای اخیر آسیابهای غلطکی و ترکیب آسیابهای Roller press و گلوله‌ای به عنوان دو تکنولوژی جدید در دپارتمان آسیاب سیمان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. میزان مصرف انرژی، قابلیت اطمینان،

^۱ کارشناس ارشد مهندسی سیستمهای انرژی - دانشگاه صنعتی شریف

^۲ Vertical Roller Mill

کیفیت خردایش سیمان، هزینه سرمایه گذاری، تعمیرات و نگهداری از جمله فاکتورهایی است که در بررسی نحوه عملکرد این تکنولوژیهای جدید باید مورد توجه قرار گیرد.

۲- آسیابهای غلطکی در دیارتمان آسیاب سیمان

خردایش مواد اولیه و سیمان در کارخانه‌های سیمان با یکدیگر بسیار متفاوت است. مهمترین تفاوت میان خردایش مواد در این دو دیارتمان، سختی مواد و اندازه ذرات نهایی است. این تفاوتها سبب شده است که علی‌رغم سابقه طولانی استفاده از آسیابهای غلطکی در خردایش مواد اولیه، این آسیابها تا سال ۲۰۰۲ به عنوان آسیاب سیمان بکار گرفته نشوند.

در آسیابهای غلطکی از غلطکهای فشاری برای آسیاب کردن مواد استفاده می‌شود. این مکانیزم کاهش اندازه ذرات، نسبت به مکانیزم خردایش مواد در آسیابهای گلوله‌ای دارای راندمان بالاتری است. غلطکها در آسیاب غلطکی به گونه‌ای طراحی شده‌اند که در نواحی مختلف با فشارهای متفاوتی مواد را آسیاب می‌کنند.

۲-۱- میزان مصرف انرژی

همانطور که اشاره شد، آسیابهای گلوله‌ای به دلیل شیوه خردایش مواد، دارای راندمان انرژی پایینی هستند. خصوصاً در خردایش دانه‌های درشت‌تر راندمان مصرف انرژی این نوع آسیابها پایینتر است. به طور معمول مصرف انرژی در دیارتمان آسیاب سیمان برای کارخانه‌هایی که از آسیابهای گلوله‌ای مدرن استفاده می‌کنند، برابر $28-40 \text{ kWh/t}$ برای رسیدن به بلین $3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ است که مصرف انرژی بالایی محسوب می‌شود. لذا نیاز به تکنولوژی جدیدی که با مصرف انرژی پایینتر در دیارتمان آسیاب سیمان جایگزین آسیابهای گلوله‌ای شود، از گذشته احساس شده است.

استفاده از آسیابهای غلطکی به منظور خردایش مواد اولیه سابقه‌ای ۲۵ ساله در صنعت سیمان دارد. این آسیابها به دو دسته آسیابهای غلطکی افقی^۱ (HRM) و آسیابهای غلطکی عمودی (VRM) تقسیم می‌شوند. در این نوع آسیابها از ترکیب نیروهای فشاری و برشی به طور همزمان برای خردایش مواد استفاده می‌شود که این مطلب سبب کاهش انرژی الکتریکی ویژه آسیاب می‌شود. به طوری که این آسیابها به میزان ۲۰ تا ۴۰ درصد انرژی کمتری نسبت به آسیابهای گلوله‌ای مصرف می‌کنند. در سال ۲۰۰۲ کارخانه سیمان Phoenix از اولین آسیاب غلطکی عمودی (VRM) در دیارتمان آسیاب سیمان با موفقیت بهره‌برداری کرد. نتایج کارکرد این آسیاب نشان می‌دهد که انرژی مصرفی متوسط توسط این آسیاب ۶۰٪ انرژی مصرفی آسیاب گلوله‌ای در شرایط راهبری مشابه (بلین ۳۹۰۰) بوده است.

مهمترین دلیل کاهش مصرف انرژی در آسیابهای غلطکی افزایش راندمان خردایش آسیاب است. مقایسه میان آسیابهای غلطکی و گلوله‌ای نشان می‌دهد که در آسیابهای گلوله‌ای ۷۵٪ انرژی الکتریکی مصرف شده، به صورت حرارتی جذب مواد می‌شود. در حالی که در آسیابهای غلطکی ۵۰٪

^۱ Horizontal Roller Mill

انرژی الکتریکی مصرف شده، به صورت انرژی حرارتی تلف می‌شود. جدول (۱) مشخصه های مختلف آسیاب گلوله‌ای و غلطکی را در شرایط مشابه مقایسه کرده است.

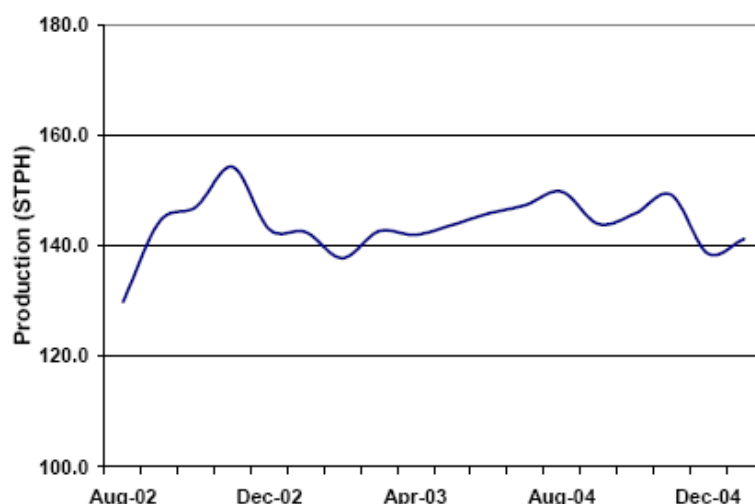
جدول (۱): مقایسه مصرف انرژی در آسیابهای گلوله‌ای و غلطکی برای خردایش نهایی

ظرفیت تولید	واحد	آسیاب غلطکی عمودی	آسیاب گلوله‌ای
ظرفیت تولید	tph	۱۴۴	۳۱
ارتعاش آسیاب	mm/s	۱/۳	---
حداکثر بلین قابل دسترسی	cm ² /g	۳۹۰۰	۳۸۸۰
انرژی الکتریکی ویژه مصرفی			
آسیاب	kWh/t	۱۸/۳	۳۵/۲
کلاسیفایر	kWh/t	۰/۳۶	۴/۷
فن	kWh/t	۷/۱	۲/۵
مجموع	kWh/t	۲۵/۷	۴۲/۴

۲-۲- قابلیت اطمینان

استفاده از تکنولوژیهای جدید در کارخانه‌های مختلف همواره نگرانیهایی را به دنبال دارد. میزان قابلیت اطمینان یک تکنولوژی جدید مهمترین نگرانی مشتریان برای بکارگیری آن است. در مورد آسیابهای غلطکی نیز این نگرانیها وجود داشته است. مهمترین دغدغه کارخانه‌های سیمان در ابتدای ظهور آسیابهای غلطکی به عنوان آسیاب سیمان، نگرانی از میزان توقفات آسیاب غلطکی در دپارتمان آسیاب سیمان است. بهترین راه بررسی قابلیت اطمینان کارکرد آسیابهای غلطکی در دپارتمان آسیاب سیمان، بررسی سوابق کارکرد این تجهیزات در کارخانه‌هایی است که از آسیاب غلطکی به عنوان آسیاب سیمان استفاده کرده‌اند.

گزارشهای تولید در کارخانه سیمان Phoenix به عنوان اولین کارخانه‌ای که از VRM به عنوان آسیاب سیمان استفاده نمود، حاکی از قابلیت اطمینان بالای این نوع آسیاب می‌باشد. این آسیاب برای ظرفیت ۱۴۰-۱۵۰ STPH مورد بهره‌برداری قرار گرفته است که وضعیت تولید آن از آگوست سال ۲۰۰۲ تا دسامبر سال ۲۰۰۴ نشان می‌دهد که این آسیاب از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار بوده است. (نمودار ۱)



نمودار ۱: وضعیت تولید آسیاب غلطکی در کارخانه Phoenix از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴

۳-۲- کیفیت سیمان تولیدی

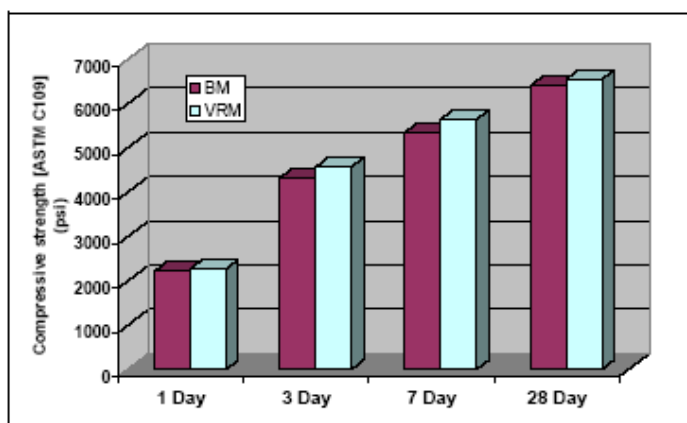
در آسیابهای غلطکی عمودی از سپراتورهای راندمان بالا به صورت مدار بسته استفاده می‌شود. ترکیب این دو تکنولوژی منجر شده است که توزیع اندازه ذرات (PSD) سیمان بهبود پیدا کند. بهبود توزیع اندازه ذرات علاوه بر افزایش مقاومت فشاری سیمان، سبب بهبود دیگر خواص کیفی سیمان نیز می‌شود. جدول (۲) مقایسه بین توزیع اندازه ذرات سیمان را در میان سه آسیاب گلوله‌ای و یک آسیاب غلطکی عمودی نشان می‌دهد.

جدول (۲): مقایسه میان توزیع اندازه ذرات سیمان در آسیابهای گلوله‌ای و غلطکی

بلین	۰/۶um	۱um	۱۰um	۳۰um	۴۵um	۱۰۰um	
۳۹۰۰-۴۰۰۰	۰/۷۸	۲/۵	۳۹/۰	۷۳/۷	۹۶/۶	۱/۰	آسیاب گلوله‌ای ۱
۳۹۰۰-۴۰۰۰	۰/۶۵	۲/۹	۳۹/۲	۷۴/۴	۹۶/۷	۱/۰	آسیاب گلوله‌ای ۲
۳۹۰۰-۴۰۰۰	۲/۳	۲/۸	۳۸/۵	۷۰/۱	۹۴/۰	۱/۲	آسیاب گلوله‌ای ۳
۳۹۰۰-۴۰۰۰	۲/۲	۴/۷	۴۰/۷	۶۸/۸	۹۵/۸	۰/۰	VRM

مقاومت فشاری سیمان حاصل از آسیابهای غلطکی نیز کمی بیشتر از آسیابهای گلوله‌ای است. دلیل این امر بهبود توزیع اندازه ذرات و میزان دی‌هیدراتاسیون گچ در آسیاب است. در آسیابهای غلطکی به دلیل وجود قابلیت کنترل مناسب پارامترهای مختلف کنترلی آسیاب از قبیل سرعت سپراتور، دمای مواد در آسیاب، فشار خردایش و ... می‌توان توزیع اندازه ذرات و میزان دی‌هیدراتاسیون گچ را به خوبی کنترل نمود. با تنظیم دقیق این دو پارامتر در مقادیر بهینه خود امکان کنترل و بهبود مقاومت

فشاری سیمان تولیدی در آسیابهای غلطکی فراهم شده است. در حالی که در آسیابهای گلوله‌ای به دلیل نحوه کارکرد آسیاب امکان کنترل دقیق این پارامترها از طریق راهبری آسیاب عملاً وجود ندارد. نمودار (۲) مقایسه‌ای را میان مقاومت فشاری سیمان تولیدی در آسیابهای گلوله‌ای و غلطکی می‌دهد.



نمودار (۲): مقایسه میان مقاومت فشاری ملات سیمان تولید شده در آسیابهای گلوله‌ای و غلطکی

زمان گیرش اولیه و انتهایی سیمان تولیدی در آسیاب غلطکی (در بلین برابر سیمان) سریعتر از سیمان تولیدی در آسیابهای گلوله‌ای است و با افزایش میزان بلین سیمان، زمان گیرش اولیه سیمان کاهش می‌یابد. (جدول ۳)

در آسیابهای غلطکی مکانیزم مناسبی برای کنترل دقیق بلین سیمان وجود دارد. وجود این مزیت امکان کنترل مناسب زمان گیرش سیمان را فراهم می‌کند. افزایش انرژی مصرفی ناشی از افزایش بلین سیمان تولیدی در آسیابهای غلطکی به مراتب کمتر از آسیابهای گلوله‌ای است.

جدول ۳: مقایسه زمان گیرش سیمان تولیدی در آسیابهای گلوله‌ای و غلطکی

زمان گیرش نهایی	زمان گیرش اولیه	بلین	
۴:۴۵	۲:۳۰	۳۷۰۰	آسیاب گلوله‌ای
۴:۳۰	۲:۰۰	۳۷۰۰	VRM
۴:۲۰	۲:۰۰	۳۹۰۰	آسیاب گلوله‌ای
۳:۴۵	۱:۳۰	۳۹۰۰	VRM

۴-۲- زمان توقفات و هزینه‌های تعمیرات و نگهداری

یکی از نگرانیهای استفاده از آسیابهای غلطکی عمودی، توقفهای ناشی از لرزش آسیاب است. (Vibration trips) برای حل این مشکل مدلهای پیشگیرانه جهت تنظیم لرزشهای آسیابهای غلطکی توسعه پیدا کرده‌اند. استفاده از این مدلهای کنترلی توانسته است که مشکل ناشی از لرزش در

این آسیابها را در هنگام بهره برداری از بین ببرد. به طوریکه گزارشهای کارخانه Phoenix در طی دو سال بهره برداری از این آسیاب نشان می دهد که زمان توقفات آسیاب غلطکی از آسیابهای گلوله ای کمتر بوده است. بیشترین دوره زمانی توقف آسیاب در این کارخانه ۶۶ ساعت بوده است که صرف تعمیرات غلطکها شده است.

هزینه های تعمیرات و نگهداری آسیابهای غلطکی نیز تقریباً با آسیابهای گلوله ای برابر است. موارد بکارگیری آسیابهای غلطکی نیز نشان داده است که هزینه های تعمیرات و نگهداری این آسیابها مشابه با آسیابهای گلوله ای و حتی کمتر بوده است.

در کنار مزیت های آسیابهای غلطکی نسبت به آسیابهای گلوله ای باید به این نکته نیز توجه داشت که راهبری آسیابهای غلطکی دارای دشواریهای بیشتری نسبت به آسیابهای گلوله ای است.

۵-۲- مقایسه میان هزینه سرمایه گذاری اولیه میان آسیابهای گلوله ای و غلطکی

هزینه خرید آسیابهای غلطکی کمی بیشتر از آسیابهای گلوله ای است. مهمترین دلیل این امر جدید بودن تکنولوژی آسیابهای غلطکی است. زیرا همانگونه که در قبل اشاره شد. از راه اندازی اولین آسیاب غلطکی تنها نزدیک به ۵ سال می گذرد. ولی به دلیل رشد فزاینده مصرف آن در کارخانه های سیمان، انتظار می رود که در مدت کوتاهی به دلیل افزایش سازندگان و ایجاد بازار رقابتی در تولید آسیابهای غلطکی قیمت این تجهیزات نیز کاهش پیدا کند.

بهترین راه بررسی و مقایسه قیمت آسیابهای غلطکی و گلوله ای مراجعه به طرحهای سیمان جدیدی است که این دو نوع آسیاب را خریداری کرده اند. جدول (۴) قیمت خرید دو آسیاب غلطکی و گلوله ای را در دو طرح جدید نشان می دهد.

جدول ۴: قیمت دو آسیاب غلطکی و گلوله ای در دو طرح جدید سیمانی

تأمین کننده	ظرفیت (Ton/h)	قیمت آسیاب (یورو)	قیمت آسیاب به ازای هر تن بر ساعت سیمان تولیدی (یورو)
FLS	۱۸۰	۳,۸۳۰,۰۰۰	۲۱,۲۰۰
TKF	۱۲۰	۲,۴۰۰,۰۰۰	۲۰,۰۰۰

همانطور که در جدول فوق نشان داده است. قیمت خرید آسیابهای غلطکی به ازای هر تن سیمان تولیدی در ساعت کمی بالاتر از آسیاب گلوله ای است. البته لازم به ذکر است که قیمت آسیابهای گلوله ای با ظرفیت بیش از ۱۲۰ تن در ساعت به دلیل تغییراتی که در تکنولوژی ساخت آسیاب رخ می دهد، با شیب بیشتری افزایش می یابد. لذا یکی از دلایل مهمی که جهت ظرفیتهای بالاتر از ۱۴۰ تن در ساعت در واحد دپارتمان آسیاب سیمان از دو آسیاب گلوله ای با ظرفیتهای پایینتر استفاده می شود، ملاحظات اقتصادی است.

هزینه نصب آسیابهای غلطکی و گلوله‌ای تفاوت چندانی با یکدیگر نمی‌کند. در مواردی که در طراحی کارخانه سیمان از دو آسیاب گلوله‌ای استفاده شود. بدیهی است که هزینه‌های نصب دو آسیاب گلوله‌ای نسبت به یک آسیاب غلطکی بالاتر خواهد بود.

۳- Roller press ها در دپارتمان آسیاب سیمان

تجربه بکارگیری Roller press ها به عنوان آسیاب مواد و سیمان موفق بوده است. بسیاری از مشکلات اولیه بکارگیری این نوع آسیابها از قبیل کم دوامی غلطک ها امروزه حل شده است و این نوع آسیابها با موفقیت در بسیاری از کارخانه‌ها بکار گرفته شده‌اند. Roller press ها معمولاً به همراه یک آسیاب گلوله‌ای بکار گرفته می‌شوند. آرایشهای مختلفی از ترکیب آسیابهای گلوله‌ای و Roller press تا به حال توسعه پیدا کرده است.

معمولاً در کنار Roller press ها از سپراتورهای V یا VSK استفاده می‌شود. سپراتورهای V دو عملیات را همزمان انجام می‌دهند. عملیات اول باز کردن کیک مواد خروجی از Roller press و عملیات دوم جداسازی ذرات درشت می‌باشد. این سپراتورها بدون استفاده از قسمت‌های متحرک عملیات جداسازی مواد را انجام می‌دهند.

سپراتورهای VSK نسل جدید سپراتورهای V به شمار می‌روند. این نوع سپراتورها علاوه بر خنک کردن و خشک کردن مواد، دارای راندمان جداسازی بالا نیز می‌باشند. تمامی این خصوصیات سبب شده است که ترکیب این نوع سپراتورها با Roller press ها و آسیابهای گلوله‌ای دارای مصرف انرژی الکتریکی ویژه‌ای ۱۰ تا ۲۰ درصد کمتر از آسیابهای گلوله‌ای سیمان به تنهایی باشند.

تجربه‌های بکارگیری این تجهیزات نشان می‌دهد که علاوه بر کاهش مصرف انرژی الکتریکی ویژه، خصوصیات کیفی سیمان تولیدی نیز نسبت به آسیابهای گلوله‌ای بهبود پیدا می‌کند. به عنوان مثال در طرح افزایش ظرفیت کارخانه سیمان Southern عربستان (سال ۲۰۰۲) آسیاب قدیمی گلوله‌ای سیمان با ظرفیت ۱۱۰ tph به آسیاب Roller press با ظرفیت ۱۶۵ tph تبدیل گردید که این تغییر منجر به کاهش مصرف انرژی ویژه در دپارتمان آسیاب سیمان از ۴۰/۴۵ kWh/t به ۳۴/۳۳ kWh/t شده است و بهبود خواص کیفی سیمان را به دنبال داشته است. جدول (۵) خواص کیفی سیمان تولیدی و انرژی مصرفی دو آسیاب گلوله‌ای و ترکیب Roller press و گلوله‌ای را با یکدیگر مقایسه می‌کند.

انتخاب ترکیب Roller press و آسیاب گلوله‌ای در تولید سیمان با بلین بالا بهترین گزینه برای دپارتمان آسیاب سیمان است. زیرا با افزایش بلین سیمان تولیدی مصرف انرژی آسیاب به شدت افزایش می‌یابد. به طور مثال تولید سیمان با بلین $4300 \text{ cm}^2/\text{g}$ توسط دو آسیاب گلوله‌ای تا 60 kWh/t انرژی الکتریکی طلب می‌کند. در حالی که تولید این سیمان با بلین $4300 \text{ cm}^2/\text{g}$ توسط ترکیب Roller press و آسیاب گلوله‌ای $31/5 \text{ kWh/t}$ انرژی الکتریکی مصرف می‌کند.

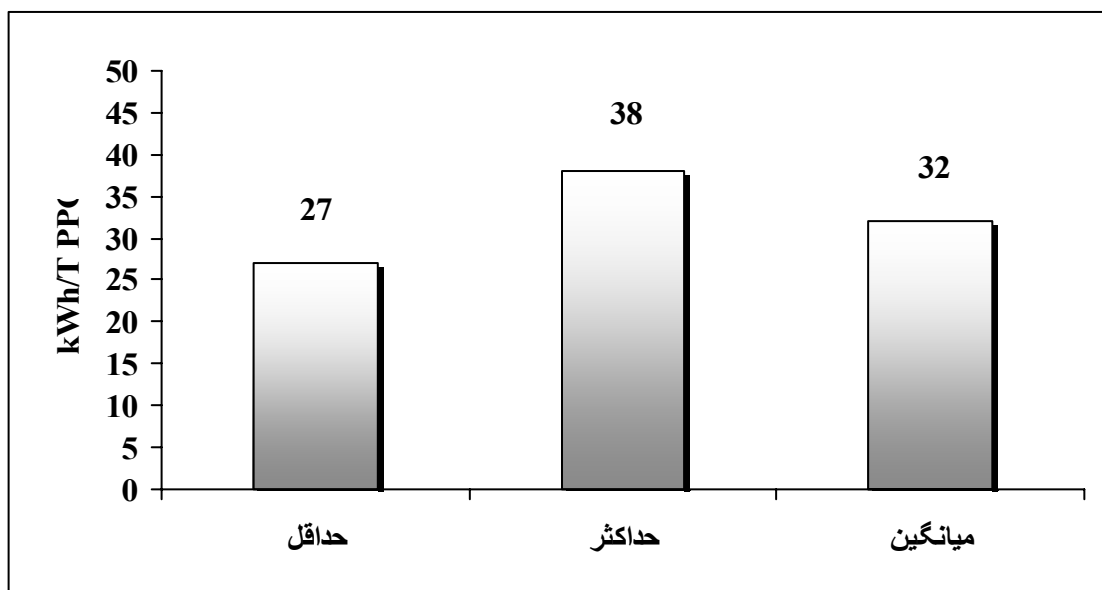
جدول ۵: مقایسه میان آسیابهای گلوله‌ای و ترکیب آسیاب گلوله‌ای و Roller press

ترکیب Roller press و آسیاب گلوله‌ای	آسیاب گلوله‌ای	واحد	
۱۶۵	۱۱۰	tph	ظرفیت
۳۰۰۰	۳۰۰۰	cm ² / g	بلین سیمان
۲۴۸-۲۵۰	۲۰۱-۲۱۵	kg/cm ²	مقاومت ۳ روزه سیمان
۳۰۸-۳۱۲	۲۷۱-۲۸۷	kg/cm ²	مقاومت ۷ روزه سیمان
۴۰۵-۴۱۰	۳۶۷-۳۸۰	kg/cm ²	مقاومت ۲۸ روزه سیمان
۲۰۵	۱۷۶-۱۹۶	min	زمان گیرش اولیه
۲۷۵	۲۳۱-۲۶۴	min	زمان گیرش نهایی
انرژی الکتریکی مصرفی			
۱۲۶۵	---	kW	Roller press+ VSK separator + fan
۳۳۵۰	۳۵۰۰	kW	آسیاب گلوله‌ای
۳۵۰	۳۵۰	kW	سپراتور آسیاب
۷۰۰	۶۰۰	kW	تجهیزات جانبی
۵۶۶۵	۴۴۵۰	kW	مجموع انرژی الکتریکی مصرفی
۳۴/۳۳	۴۰/۴۵	kWh/t	انرژی الکتریکی ویژه مصرفی

۴- به‌کارگیری میزان مصرف انرژی توسط تکنولوژیهای مختلف

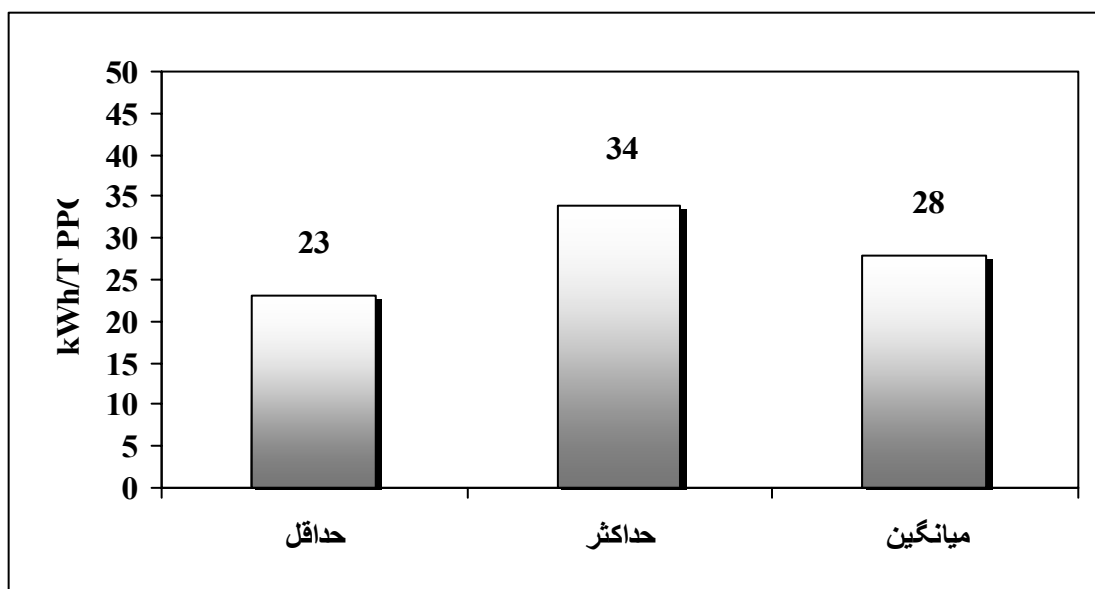
میزان مصرف انرژی آسیابهای گلوله‌ای، غلطکی و Roller press در دپارتمان آسیاب سیمان در کارخانه‌های سیمان با توجه به شرایط کارکرد آسیاب متفاوت است. بنابراین به‌کارگیری میزان مصرف انرژی توسط تکنولوژیهای فوق در کارخانه‌های مختلف و با شرایط کارکرد متفاوت می‌تواند تفاوت‌های مصرف انرژی را بهتر مشخص کند.

نمودار (۳) نتایج مطالعه میزان تغییرات مصرف انرژی در دپارتمان آسیاب سیمان را برای آسیابهای گلوله‌ای در ۹ کارخانه در حال فعالیت نشان می‌دهد. همانطور که در این نمودار نشان داده شده است، تکنولوژی ساخت آسیابهای گلوله‌ای، نحوه بهره‌برداری و نگهداری و تعمیرات آسیابهای گلوله‌ای به نحو موثری در میزان مصرف انرژی آن تأثیر گذار است.



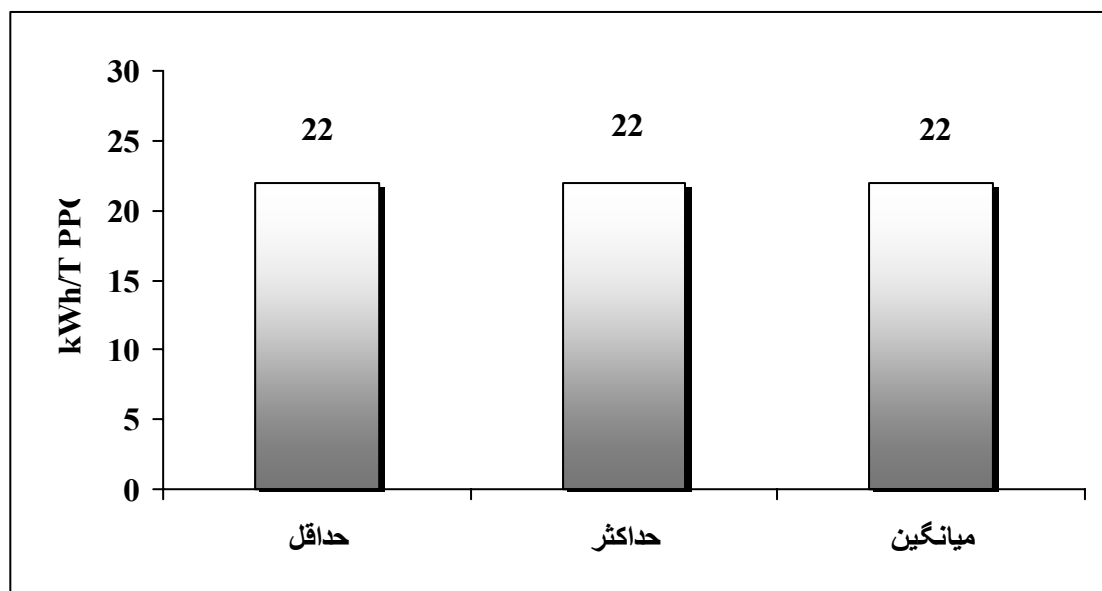
نمودار ۳: انرژی الکتریکی مصرفی در آسیاب سیمان گلوله‌ای در ۹ کارخانه سیمان در حال فعالیت

نمودار (۴) نتایج مطالعه میزان تغییرات مصرف انرژی در دیپارتمان آسیاب سیمان را برای ترکیب آسیابهای Roller press و گلوله‌ای در ۶ کارخانه در حال فعالیت نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق عملی نشان می‌دهد که مجموع انرژی ویژه الکتریکی مصرفی در آسیاب گلوله‌ای و Roller press به طور میانگین ۱۲ درصد از انرژی ویژه مصرفی در آسیاب گلوله‌ای پایینتر است.



نمودار ۴: انرژی الکتریکی مصرفی در آسیاب سیمان گلوله‌ای و Roller press در ۶ کارخانه سیمان در حال فعالیت

همانطور که اشاره شد، آسیابهای غلطکی کمترین انرژی مصرفی در دپارتمان آسیاب سیمان را به خود اختصاص می‌دهند. نمودار (۵) نتایج مطالعه میزان تغییرات مصرف انرژی در دپارتمان آسیاب سیمان را برای ترکیب آسیابهای غلطکی در ۲ کارخانه در حال فعالیت نشان می‌دهد.



نمودار ۵: انرژی الکتریکی مصرفی در آسیاب غلطکی در ۲ کارخانه سیمان در حال فعالیت

با توجه به نتایج آماری ارائه شده در مطالعات فوق، آسیابهای غلطکی به طور میانگین به ترتیب ۳۸ و ۲۹ درصد انرژی ویژه کمتری نسبت به آسیابهای گلوله‌ای و ترکیب آسیابهای Roller press و گلوله‌ای مصرف می‌کنند.

۵- نتیجه گیری

دپارتمان آسیاب سیمان بزرگترین مصرف کننده انرژی الکتریکی در کارخانه‌های سیمان است. به طوری که ۳۰ تا ۵۰ درصد از کل انرژی الکتریکی مصرفی در کارخانه‌های سیمان را به خود اختصاص می‌دهد. نتایج عملی استفاده از آسیاب غلطکی در کارخانه‌های سیمان نشان داده است که آسیابهای غلطکی ۲۰ تا ۴۰ درصد انرژی ویژه الکتریکی کمتری نسبت به آسیابهای گلوله‌ای مصرف می‌کنند. قابلیت اطمینان بالا و بهبود کیفیت سیمان تولیدی در کنار هزینه مناسب سرمایه‌گذاری اولیه از دیگر مزایای استفاده از آسیابهای غلطکی در دپارتمان آسیاب سیمان است. استفاده از ترکیب آسیابهای گلوله‌ای و Roller press در دپارتمان آسیاب سیمان نیز ۱۰ تا ۲۰ درصد مصرف انرژی ویژه الکتریکی را کاهش می‌دهد. اختلاف میان انرژی مصرفی توسط این تکنولوژی و آسیابهای گلوله‌ای در خردایش سیمان با بلین بالای $3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ تا ۵۰ درصد نیز می‌رسد.

- 1- Alsop P., Chen H., Chin A., Jackura A., McCabe M., " Cement plant operation Handbook", 3rd.ed, 2001.
- 2- Simmons M., Gorby L., Terembula J. "Operational Experience from the United States' First Vertical Roller Mill for Cement Grinding", IEEE, 2005
- 3- William T. Choate," Energy and Emission reduction opportunities for the Cement Industry", U.S. department of energy,2003
- 4- Energy Consumption Norms for Cement Sector Under Energy Conservation Act, National Council for Cement Sector & Building Materials of India, 2004
- 5- Bargan A. S., Binner J., "Pressing ahead", International Cement Review Journal, July 2003