

کاهش انرژی در آسیاهای گلوله‌ای موادخام در صنعت سیمان



مهندس مجید عینالو-کارشناس ارشد مهندسی شیمی

مدیر تولید شرکت سیمان فارس و مدرس دانشگاه آزاد اسلامی شیراز

Maj8262007@yahoo.com

چکیده

با توجه به آنالیز مواد اولیه، روش‌های خردایش گوناگونی در صنعت سیمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این صنعت حدود ۲۶٪ انرژی الکتریکی مصرفی مربوط به آسیاهای موادخام است که شامل انرژی مصرفی آسیاها و کراشرهای دوار می‌باشد.

در این مقاله با هدف کاهش میزان مصرف، انرژی مصرف شده در آسیاهای موادخام بر اساس قانون اول و دوم ترمودینامیک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که نتیجه این بررسی‌ها برای آسیاهای موادخام راندمان انرژی ۷۲/۹٪ و راندمان اکسرژی ۲۱/۲٪ را در شرکت سیمان فارس به دست می‌دهد. همچنین تأثیر درجه حرارت محیط و رطوبت مواد اولیه بر روی عملکرد آسیاها مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های جمع‌آوری شده در طی یک دوره ۱۲ ماهه با توجه به قانون اول و دوم (موازنه جرم و انرژی) نشان می‌دهند که با افزایش دمای محیط و کاهش رطوبت مواد اولیه، راندمان آسیاهای موادخام بالا می‌رود و لیکن به دلیل محدودیت‌هایی که این آسیا به خاطر الکتروفیلتر خاص آن دارد، امکان افزایش دما و کاهش کامل رطوبت در آن میسر نمی‌باشد. هم‌اکنون مصرف انرژی برای تولید موادخام (خوراک کوره‌ها) حدود ۲۲/۵ کیلو وات به ازای یک تن مواد می‌باشد.

۱- مقدمه

در حال حاضر سالیانه حدود ۱/۲ میلیارد تن سیمان در جهان تولید می‌شود و حدود ۲ درصد برق تولید شده در سراسر جهان در آسیاهای موادخام صنایع سیمان، صرف فرآیند سایش مواد می‌شود. مجموع مصرف انرژی الکتریکی برای تولید سیمان در حدود ۱۰۰ kwh/ton است که از این مقدار دو سوم آن یعنی حدود ۶۵ درصد انرژی الکتریکی مصرفی در این صنعت صرف خردایش مواد اولیه و کلینکر می‌شود.

جمع‌آوری اطلاعات و ارزیابی داده‌های دوره‌های مختلف به منظور کاهش انرژی مصرفی باعث گردید که در سال ۱۹۷۰ شدت انرژی فیزیکی برای تولید سیمان، ۳۰ درصد کاهش یابد و از مقادیر ۷/۹ GJ/Ton به ۵/۶ GJ/Ton برسد. با این حال در همین زمان تولید سیمان از ۵۷۰ میلیون تن در سال به ۱/۶ میلیارد تن در سال افزایش پیدا کرد (و سپس به دلیل طی شدن روند توسعه در اکثر کشورهای اروپایی، مصرف سیمان رو به کاهش گذاشت).

این واقعیت با توجه به اینکه صنعت سیمان یکی از منابع آلاینده محیط زیست می‌باشد، باعث شد تولید حدود ۵ درصد گازهای گلخانه‌ای (دی اکسید کربن) جهانی از صنعت سیمان باشد که حدود نیمی از این مقدار از واکنش کلسیناسیون و نیم دیگر از فرآیند احتراق است. بنابراین مطالعه برای کاهش مصرف انرژی (بهره‌وری انرژی در صنعت سیمان) دو هدف عمده بالا را به دنبال دارد. اول کاهش هزینه‌های تولید و سپس کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای.

آنالیز اکسرژی (Exergy) یک ابزار تجزیه و تحلیل مدرن در فرآیندهای مهندسی می‌باشد که مورد استفاده قرار می‌گیرد. تجزیه و تحلیل اکسرژی برای قانون اول و دوم ترمودینامیک مورد استفاده قرار گرفته که هدف اصلی از تجزیه

و تحلیل اکسرژی منجر به فهمیدن و درک درست از تأثیر فرآیندهای ترمودینامیکی، مقایسه و اهمیت عوامل مختلف ترمودینامیکی و تعیین مؤثرترین روش برای بهبود فرآیند تحت بررسی می‌گردد و نهایتاً به بررسی دقیق و کاهش انرژی مصرفی و بهبود شرایط محیط زیست می‌انجامد.

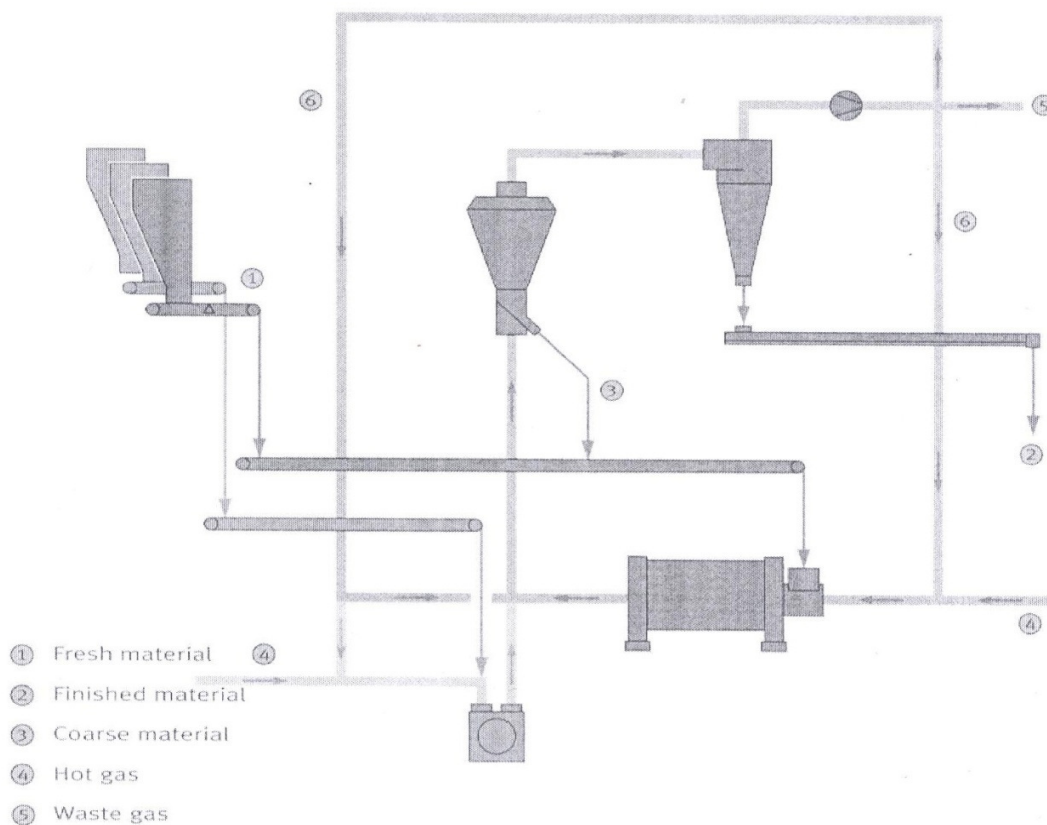
در این مقاله آسیای مواد خام کارخانه سیمان فارس به عنوان مبنا در نظر گرفته شده و عملکرد این آسیا براساس قانون اول و دوم ترمودینامیک بررسی شده است و اثر شرایط آب و هوایی، رطوبت مواد اولیه و یک منبع خارجی گاز داغ بر روی عملکرد آسیا مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. این مقاله می‌تواند کمکی به درک بهتر عملیات آسیاهای مواد خام و پارامترهای مؤثر بر عملکرد آسیا باشد.

۲- تولید خوراک کوره

خرد کردن مواد اولیه و تبدیل آن به خوراک کوره توسط آسیاهای مواد خام انجام می‌گیرد که بعد از این مرحله خوراک کوره وارد کوره‌های دوار گردیده و عملیات پخت بر روی آن انجام و کلینکر تولید می‌شود بعد از این مرحله کلینکر در آسیاهای سیمان پودر و به سیمان تبدیل و نهایتاً فرآیند تولید کامل می‌گردد.

مواد اولیه آسیاهای مواد خام غالباً درصدی رطوبت دارند که عمل خشک کردن این مواد اولیه، معمولاً توسط گازهای داغ کوره‌های دوار می‌باشد. در انتخاب یک آسیای مواد خام شرایط مختلفی از جمله قابلیت خردایش (*grindability*)، اندازه مواد اولیه، سختی مواد اولیه، شکل آسیا، تعداد اتاقچه‌ها، اتلاف حرارت، میزان گازهای داغ ورودی و درصد رطوبت مواد اولیه مدنظر قرار می‌گیرد.

آسیای مواد خامی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته، آسیای مواد خام شرکت سیمان فارس به ظرفیت اسمی 200 ton/hr و قطر داخلی 4630 میلی‌متر با یک اتاقچه به طول 9150 میلی‌متر می‌باشد که رطوبت مواد اولیه در آن به وسیله هوای گرم خروجی از کوره دوار، کاهش یافته و به وسیله سپراتور استاتیکی مواد نرمه از زبره جدا می‌شود.



شکل ۱: فلوشیت چرخه مواد در آسیا مواد خام

۳- آنالیز سیستم

- فرضیات زیر به منظور تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی آسیای مواد خام مورد مطالعه، مد نظر گرفته شده است.
- حالت سیستم پایدار و روند جریان مداوم می باشد.
 - انرژی جنبشی و پتانسیل ورودی و خروجی ناچیز است.
 - گازهای در داخل آسیا ایده آل در نظر گرفته شده است.
 - سیستم آدیاباتیک است و هیچ گرمایی از خارج سیستم به سیستم وارد نمی شود.
 - انرژی الکتریکی موتورها تبدیل به کار شافت می شود.

آنالیز و تجزیه و تحلیل انرژی و اکسرژی فرآیند آسیاها توسط قانون اول و دوم ترمودینامیک بر روی حجمی کنترلی (control volume) در آسیای مواد خام مطابق با شکل (۱) انجام شده است.

ظرفیت گرمایی ویژه، جرمهای ورودی و خروجی، دماها و فشار با استفاده از اطلاعات حال حاضر کارخانه می باشد.

به منظور پیدا کردن انرژی، اکسرژی، بازده و نرخ بازگشت ناپذیری در فرآیند پایدار، معادلات جرم و انرژی را به شرح زیر می نویسیم:

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (1)$$

$$\sum \dot{E}_{in} = \sum \dot{E}_{out} \quad (2)$$

کلمه "in" مخفف input و کلمه "out" مخفف output می باشد.

$$\dot{Q}_{net,in} - \dot{W}_{net,out} = \sum \dot{m}_{out} h_{out} - \sum \dot{m}_{in} h_{in} \quad (3)$$

Model	Inside Diameter (mm)	Length (mm)	Rotate Speed (rev/min)	Ball Charge Capacity (tons)	Feeding mine granularity (mm)	Moisture Content of Feed and discharge (%)	Fineness residue on 90 μ (%)	Processing Capacity (tons/h)	Power (kW)	Weight (tons)
Humboldt	4630	9150	14.3	180	≤ 35	1-15	15	200	3700	260

جدول شماره یک

با استفاده از تعریف قانون اول ترمودینامیک، (انرژی یا بهره‌وری انرژی) را نسبت مقدار انرژی خروجی به مقدار انرژی ورودی تعریف می کنیم.

$$\eta_t = \frac{\sum \dot{E}_{out}}{\sum \dot{E}_{in}} \quad (4)$$

و با استفاده از موازنه کلی انرژی داریم

$$\sum \dot{E} x_{in} - \sum \dot{E} x_{out} = \sum \dot{E} x_{dest} \quad (5)$$

$$\sum (1 - \frac{T_0}{T_p}) \dot{Q}_p - \dot{W}_{net,out} + \sum \dot{m}_{in} \psi_{in} - \sum \dot{m}_{out} \psi_{out} = \sum \dot{E} x_{dest} \quad (6)$$

زیرنویس zero اشاره به حالت استاندارد دما و فشار استاندارد می‌باشد که اگر این جریان انرژی جنبشی را ناچیز فرض کنیم.

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (7)$$

با توجه به برگشت ناپذیری انرژی و معادله (۶) انرژی تولیدی برابر است.

$$\dot{E}x_{dest} = T_0 \dot{S}_{gen} \quad (8)$$

با استفاده از قانون دوم ترمودینامیک (انرژی یا راندمان اکسرژی) می‌توان چنین تعریف کرد.

$$\eta_{II} = \frac{\sum \dot{E}x_{out}}{\sum \dot{E}x_{in}} \quad (9)$$

با توجه به غیرقابل تراکم پذیری مایعات و جامدها می‌توان ظرفیت حرارتی در فشار ثابت و حجم ثابت را مساوی در نظر گرفته بنابراین داریم

$$c_p = c_v = c \quad (10)$$

تغییرات اندازه و انرژی داخلی برابر است با:

$$\Delta u = \int_1^2 c(T) dT = c_{avg} (T_2 - T_1) \quad (11)$$

$$\Delta h = \Delta u + v \Delta P \quad (12)$$

که c_{avg} متوسط ظرفیت حرارتی و v حجم ویژه و ΔP تغییرات فشار می‌باشد. با توجه با اینکه تأثیرات فشار در واحد بسیار ناچیز می‌باشد، می‌توان تغییرات انرژی آنتالپی را با تغییر انرژی داخلی برابر گرفت یعنی:

$$\Delta h_{in} = c_{avg} (T_1 - T_0) \quad (13a)$$

$$\Delta h_{out} = c_{avg} (T_2 - T_0) \quad (13b)$$

T_1 و T_2 اشاره به دمای ورودی و دمای خروجی دارد و T_0 اشاره به دمای هوای محیط می‌کند. برای حالت غیرقابل تراکم‌پذیری مقدار تغییرات انتروپی برابر است با:

$$S_2 - S_1 = c_{avg} \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \quad (14)$$

و برای گازهای ایده‌ال

$$S_2 - S_1 = c_{p,avg} \ln\left(\frac{T_2}{T_0}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_0}\right) \quad (15)$$

که فشار مواد ورودی و خروجی مساوی هستند و مقدار تغییرات انتروپی برای مواد را می‌توان این‌گونه بدست آورد:

$$\Delta S_{in} = c_{p,avg} \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right) \quad (16a)$$

$$\Delta S_{out} = c_{p,avg} \ln\left(\frac{T_2}{T_0}\right) \quad (16b)$$

بعد از بدست آوردن اندازه انتروپی و آنتالپی برای مواد ورودی و خروجی، می‌توان مقدار اکسرژی برای مواد ورودی و خروجی را محاسبه کرد

$$\Delta \psi_{in} = \Delta h_{in} - T_0 \Delta S_{in} \quad (17a)$$

$$\Delta \psi_{out} = \Delta h_{out} - T_0 \Delta S_{out} \quad (17b)$$

انرژی انتقال یافته به سیستم کنترلی توسط جرم، گرما و کار مواد اولیه می‌باشد برای سادگی حل معادلات انتقال حرارت هدایت، جابجایی و تشعشع را یک بعدی و بر روی نمونه استوانه‌ای در نظر گرفته و به شرح زیر حل می‌کنیم:

$$\dot{Q}_{total} = \left(\frac{T_{in} - T_{out}}{R_{total}} \right) \quad (18)$$

مقدار مقاومت کلی R_{total} را از معادله زیر محاسبه می‌کنیم:

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{cond} + \frac{R_{conv,2} * R_{rad}}{R_{conv,2} + R_{rad}} \quad (19)$$

مقاومت حرارتی هدایت، جابجایی و تشعشع از معادلات زیر بدست می‌آید.

$$R_{conv} = \frac{1}{2\pi r_1 h L} \quad (20)$$

$$R_{cond} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k L} \quad (21)$$

$$R_{rad} = \frac{1}{h_{rad} A} \quad (22)$$

که h اشاره به ضریب جابجایی و k ضریب هدایت گرمایی و h_{rad} ضریب انتقال حرارت تشعشعی می‌باشد که از رابطه زیر بدست می‌آید

$$h_{rad} = \varepsilon \sigma (T_{out,surf}^2 + T_{out}^2) (T_{out,surf} + T_{out}) \quad (23)$$

		m (kg/h)	C_p (kj/kgK)	T_0 (k)	T_1 (k)	T_2 (k)	Δh (kj/kg)	Δs (kj/kgK)	$\Sigma m \psi$ (kw)	$\Sigma m h$ (kw)
مواد ورودی	سنگ آهک	۱۰۲۱۱۶	۰/۸۲	۲۹۵	۳۰۲	۳۸۰	۵/۷۴	۰/۰۱۹	۱/۹۰۲	۱۶۲/۸۱۸
	مارل	۱۰۵۸۰	۰/۶۴	۲۹۵	۳۰۲	۳۸۰	۴/۴۸	۰/۰۱۵	۰/۱۵۴	۱۳/۱۶۶
	خاک رس	۶۸۶۲۰	۰/۹۲	۲۹۵	۳۰۲	۳۸۰	۶/۴۴	۰/۰۲۲	۱/۴۳۴	۱۲۲/۷۵۴
	سنگ آهن	۳۰۳۶	۰/۶۲	۲۹۵	۳۰۲	۳۸۰	۴/۳۴	۰/۰۱۵	۰/۰۴۳	۳/۶۶۰
	رطوبت سنگ آهک	۲۰۸۴	۴/۱۸	۲۹۵	۳۰۲	۳۸۰	۲۹/۲۶	۰/۰۹۸	۰/۱۹۸	۱۶/۹۳۸
	رطوبت مارل	۹۲۰	۴/۱۸	۲۹۵	۳۰۲	۳۸۰	۲۹/۲۶	۰/۰۹۸	۰/۰۸۷	۷/۴۷۸
	رطوبت خاک رس	۴۳۸۰	۴/۱۸	۲۹۵	۳۰۲	۳۸۰	۲۹/۲۶	۰/۰۹۸	۰/۴۱۶	۳۵/۶۰۰
	رطوبت سنگ آهن	۲۶۴	۴/۱۸	۲۹۵	۳۰۲	۳۸۰	۲۹/۲۶	۰/۰۹۸	۰/۰۲۵	۲/۱۴۶
	گاز ورودی از کوره دوار	۱۰۷۲۳۰	۱/۴۵	۲۹۵	۵۶۷	۳۸۰	۳۹۴/۴	۰/۹۴۷	۳۴۲۲/۸۷۱	۱۱۷۴۷/۶۴۲
	مواد بازگشتی از سپراتور	۹۲۱۵۴	۰/۸۱	۲۹۵	۳۶۰	۳۸۰	۵۲/۶۵	۰/۱۶۱	۱۲۹/۷۳۸	۱۳۴۷/۷۵۲
	هوای ناشی	۶۸۶۴۳	۱/۰۱	۲۹۵	۳۰۲	۳۸۰	۷/۰۷	۰/۰۲۴	۱/۵۷۵	۱۳۴/۸۰۷
	گرد و غبار	۶۸۳۹	۱/۰۵	۲۹۵	۵۵۸	۳۸۰	۲۷۶/۱۵	۰/۶۶۹	۱۴۹/۵۴۷	۵۲۴/۶۰۸
	کار الکتریکی	-	-	-	-	-	-	-	۳۷۰۰/۰۰۰	۳۷۰۰/۰۰۰
کل	۴۶۶۸۶۶	-	-	-	-	-	-	۷۴۰۷/۹۸۹	۱۷۸۱۹/۳۶۹	

مواد خروجی	مواد ورودی به کوره (Farine)	۱۹۲۰۰۰	۰/۹۲	۲۹۵	۳۰۲	۳۸۰	۷۸/۲	۰/۲۳۳	۵۰۵/۷۴۰	۴۱۷۰/۶۶۷
	هات گاز	۱۹۸۵۷۵	۱/۴۵	۲۹۵	۵۵۸	۳۸۰	۱۲۳/۲۵	۰/۳۶۷	۸۲۴/۳۸۷	۶۷۹۸/۴۳۶
	بخار	۷۶۴۸	۲/۰۱	۲۹۵	۳۰۲	۳۸۰	۱۷۰/۸۵	۰/۵۰۹	۴۴/۰۱۳	۳۶۲/۹۶۱
	هوای ناشی	۶۸۶۴۳	۱/۰۱	۲۹۵	۳۰۲	۳۸۰	۸۵/۸۵	۰/۲۵۶	۱۹۸/۴۹۸	۱۶۳۶/۹۴۵
	کل	۴۶۶۸۶۶	-	-	-	-	-	-	۱۵۷۲/۶۳۹	۱۲۹۶۹/۰۰۹

جدول شماره دو

۴. نتایج آنالیز سیستم:

انتقال توان در سیستم به وسیله شافت صورت می گیرد. همچنین کار الکتریکی در سیستم صرف موتورها، کمپرسورها، بلورها و پمپها می شود. مقادیر داده شده و محاسبه شده شامل دبی جرمی (\dot{m})، دمای ورودی (T_1)، دمای خروجی (T_2)، ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت (C_p)، تغییرات انتالپی (Δh) و انتروپی (Δs)، مقادیر انرژی و اکسرژی برای مواد خام، بازده قانون اول (η_1) و قانون دوم (η_2) و دمای متوسط محیط (T_0) هستند که در جدول ۲ داده شده اند. در ورودی آسیا سه ماشین توزین مواد وجود دارد، که دبی جرمی هر ماده ورودی، از این ماشینها به دست می آید. دمای ورودی و خروجی مواد به آسیا توسط سنسور دمایی اندازه گیری می شود.

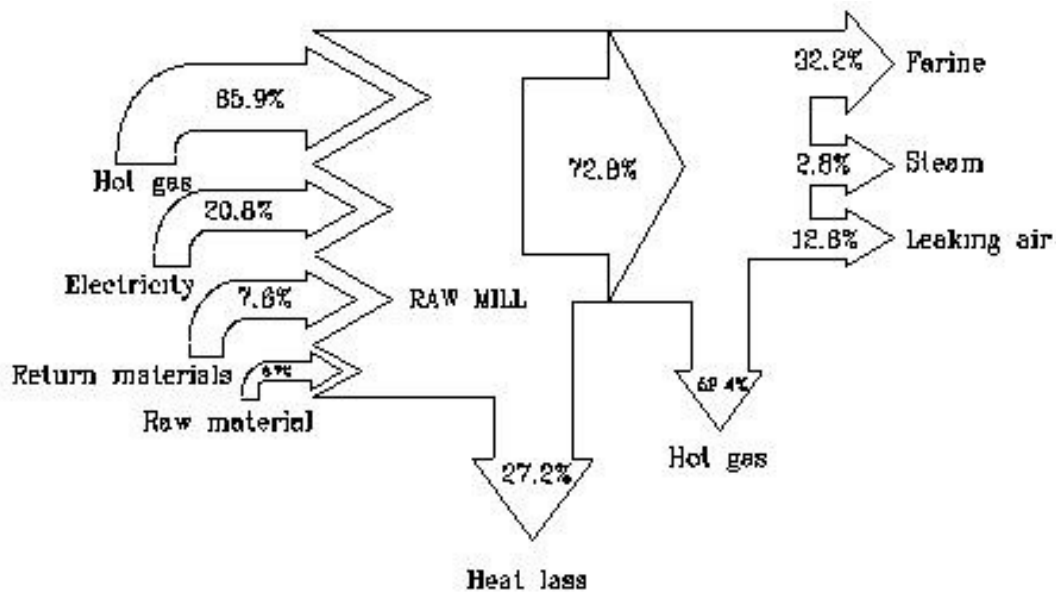


Fig 2: Sankey diagram (energy band diagram) of raw mill

همچنین دمای هات گاز در ورودی آسیا از شعله چرخنده و در خروجی آن توسط سنسورهایی که روی سیستم نصب شده اند، اندازه گیری می شود. دمای بدنه آسیا نیز به وسیله ترمومتر مادون قرمز با حساسیت ۵ درجه سانتیگراد اندازه گیری می شود. با استفاده از رابطه تجربی زیر که از قانون کیرشهف تبعیت می کند، آنالیز ظرفیت گرمایی ویژه هر کدام از مواد ورودی و خروجی بدست می آید. مجموع ظرفیت گرمایی ویژه هر ماده به وسیله جریان جرمی اجزای آن ماده محاسبه شده است.

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (24)$$

در اینجا a ، b ، c و d ثابت هایی برای عناصر مواد خام هستند و T نشان دهنده دمای هر ماده است که می توان ثابت های هر جز از مواد ورودی و خروجی را از منابع به دست آورد.

طبق مقادیری که در جدول ۲ محاسبه شده اند، بازده قانون اول برای آسیای مواد خام با استفاده از معادله ۴ مقدار ۷۲/۹٪ بدست می آید. انرژی تلف شده حدود ۲۷/۱٪ از انرژی ورودی تخمین زده شده است که به دلیل نیروهای اصطکاکی بر روی بلبرینگها، یاتاقانهای بابتی آسیا، اتلاف گرمای لولهها، داکتها و بدنه آسیا ایجاد شده است. به منظور کاهش اتلاف انرژی،

بایستی بین صفحه داخلی و بدنه آسیا و همچنین در خط لوله و داکت‌های هات گاز، عایق بندی مناسبی انجام شود. علاوه بر این روغن کاری و نگهداری صحیح از بلبرینگ به منظور کاهش نیروهای اصطکاکی وارد بر آن لازم می باشد.

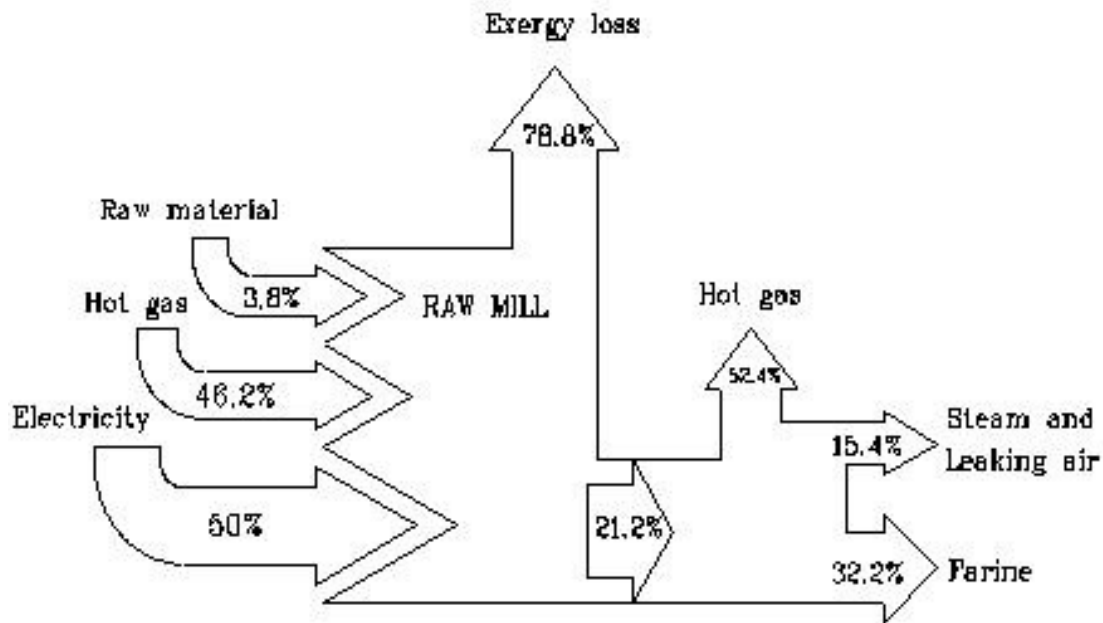


Fig 3: Grassmann diagram(exergy band diagram) of raw mill

بازده قانون دوم برای آسیای مواد با استفاده از معادله ۹ مقدار $21/9\%$ به دست می آید و اتلاف اکسرژی در این واحد حدود $79/1\%$ می باشد که ناشی از اصطکاک و انتقال حرارت با اختلاف دمای محدود است. تعادل انرژی سیستم با استفاده از معادله ۲ محاسبه می گردد. مجموع انرژی ورودی شامل انرژی ورودی مواد خام و الکتریسیته مصرفی می شود که این الکتریسیته به وسیله موتور اصلی سیستم مصرف می شود. همچنین مجموع انرژی خروجی شامل انرژی ناشی از مواد خام خروجی از این واحد است. حرارت تلف شده از بدنه آسیاب نیز $4846/9$ کیلو وات محاسبه شده است.

نمودار جریان انرژی و اکسرژی برای مواد ورودی، خروجی و جریان‌ها با استفاده از نتایج آنالیز انرژی و اکسرژی در جدول ۲ به دست آمده است. شکل (۲) نشان دهنده مقادیر و درصد‌های جریان و اتلاف انرژی است. در حالی که شکل (۳) اطلاعات مربوط به اکسرژی را نشان می دهد.

در واقع عملکرد سیستم شامل انرژی‌های گرمایی است که به صورت هات گاز یا گاز گرم انتقالی از کوره (که هردو در اینجا به اختصار هات گاز نامیده شده‌اند) و الکتریسیته وارد می شوند و همچنین انرژی گرمایی که به صورت برگشتی و همراه مواد خام وارد می شود. خروجی سیستم شامل انرژی‌های گرمایی است که شامل خوراک کوره، هات گاز، همچنین اتلاف انرژی ناشی از اتلاف گرما و نشت هوا و بخار می باشد. بیشتر انرژی ورودی به سیستم مربوط به هات گاز، با مقدار $65/9\%$ از کل انرژی ورودی است. در حالی که مقدار مصرف الکتریسیته، $20/8\%$ و انرژی‌های برگشتی و مواد خام هم فقط $13/3\%$ از کل انرژی ورودی را

تشکیل می‌دهند. حرارت تلف شده ۲۷/۲٪ و نشت هوا و بخار ۱۵/۴٪ از انرژی‌های خروجی را تشکیل می‌دهند. زمانی که انرژی خروجی از هات‌گاز برای هدف خاصی استفاده نشود، این انرژی به عنوان انرژی تلف شده از سیستم خارج می‌شود.

نمودارهای جریان اکسرژی نشان می‌دهند که بیشتر اکسرژی ورودی به سیستم به دلیل الکتریسیته (۵۰٪) و به دنبال آن هات-گاز (۴۶/۲٪) می‌باشد و کمتر از ۳/۸٪ آن به اکسرژی مواد خام اختصاص دارد. باید توجه داشت که اکسرژی الکتریسیته با انرژی آن برابر است در حالی که اکسرژی هات‌گاز خیلی کمتر از انرژی گرمایی آن است. در نتیجه هات‌گاز بیشترین سهم از انرژی ورودی و الکتریسیته، بیشترین سهم از اکسرژی ورودی را دارند.

۵. نتیجه‌گیری

آنالیز و ارزیابی عملکرد آسیا نشان می‌دهد فرآیند خردایش شامل اتلاف انرژی و اکسرژی می‌باشد و این فرآیند تحت تاثیر پارامترهای معینی قرار دارد. نتایج اصلی این مقاله به صورت زیر خلاصه شده است:

- بازده قانون اول برای آسیای مواد خام ۷۲/۹٪ به دست می‌آید. در حالیکه بازده قانون دوم ۲۱/۲٪ است. انرژی الکتریکی ورودی از موتور اصلی به سیستم ۳۷۰۰ کیلو وات است در حالی که اتلاف انرژی سیستم ۴۸۴۶/۹ کیلووات محاسبه می‌شود. همچنین مصرف انرژی ویژه برای تولید خوراک کوره به طور متوسط در سال ۲۲/۵ به دست می‌آید.
- عملکرد سیستم شامل انرژی (اکسرژی)های گرمایی و الکتریکی است که به صورت هات‌گاز و الکتریسیته وارد می‌شوند. خروجی سیستم شامل انرژی (اکسرژی)های گرمایی می‌شود که عبارتند از خوراک کوره و هات‌گاز. همچنین اتلاف گرما ۲۷/۲٪ و نشت هوا و بخار ۱۵/۴٪ از مجموع انرژی‌های خروجی تخمین زده شده‌اند. تعادل اکسرژی نشان می‌دهد که ۷۸/۸٪ از مجموع اکسرژی ورودی در طی این فرآیند از دست می‌رود. به نظر می‌رسد می‌توان با به حداقل رساندن اتلاف‌های گوناگونی که در این واحد رخ می‌دهد، با عملکرد بهینه آسیا در کاهش مصرف سوخت و الکتریسیته صرفه‌جویی کرد.

اقداماتی که می‌توانند به کاهش مصرف انرژی کمک کنند:

- به حداقل رساندن اتلاف حرارت به وسیله عایق‌بندی مناسب، کاهش دادن دمای گازهای خروجی به وسیله انتقال حرارت مناسب و همچنین کاهش دادن نشت هوا و بخار به وسیله درزگیری.
- برای بهبود عملکرد فرآیند خردایش، باید مقدار رطوبت هر ماده خام تا جایی که امکان دارد پایین باشد. نگهداری مواد خام در یک محیط بسته مقدار رطوبت را ۳۰-۲۰٪ کاهش می‌دهد. در صورتی که نیمی از رطوبت فعلی مواد خام گرفته شود، مقدار بازده قانون اول حدود ۱/۵٪ و مقدار بازده قانون دوم حدود ۹٪ افزایش می‌یابد. در این صورت مقدار برق مصرفی برای آماده‌سازی خوراک کوره یک کیلو وات بر تن کاهش می‌یابد که معادل تقریبی ۴٪ است.

- از طرفی باید به آسیاهای گلوله‌ای بزرگ توجه خاصی شود به طوری که بهره‌برداری از حرارت تلف شده کوره به منظور خشک کردن مواد حین فرآیند خردایش بیشینه شود. هر تن هات‌گاز در دمای ۵۸۰ درجه سانتیگراد که از طریق کوره تولید می‌شود، ظرفیت تولید خوراک کوره را برای آسیا افزایش می‌دهد.
- شرایط هوای محیط روی بازده و ظرفیت تولید آسیا تاثیرگذار است به طوری‌که بازده قانون اول، دوم و نرخ تولید آسیای موادخام در ماه‌های تابستان به علت بالا بودن دمای محیط افزایش می‌یابد در حالی که اتلاف حرارت در ماه‌های زمستان بیشتر است.
- آسیای موادخام سالیانه ۵۱۰۰ ساعت کار می‌کند. مقدار تولید کربن دی‌اکسید به ازای هر کیلو وات مصرف انرژی ۶۲ کیلوگرم می‌باشد. مجموع تولید سالانه موادخام آسیا ۹۷۲۵۷۰ تن است و مجموع انرژی مصرفی سیستم در یک سال ۲۱/۸۸ مگاوات و تولید کربن‌دی‌اکسید حدود ۱۷۸۱۷ تن در سال می‌باشد. پس از کاهش رطوبت مواد، تولید کربن-دی‌اکسید به ۱۷۵۶۵ تن می‌رسد.
- آسیاهای موادخام تجهیزات خردایش بزرگی هستند که شامل دو جین از ماشین‌آلات مختلف می‌شوند. پارامترهای گوناگونی وجود دارند که بر روی وضعیت خردایش مواد در این واحد موثرند که این پارامترها عبارتند از: اندازه آسیا، نرخ شارژ گلوله و شکل آسیا، دما و رطوبت مواد ورودی، بار در حال گردش سیستم، مواد شیمیایی (برای سرعت بخشیدن به پودرسازی و برطرف کردن مشکلات چسبندگی)، بازده و عملکرد هر ماشین، و به طور کلی ساختار موادخام و مشخصات هر سیستم.
- نوسان سیستم باعث افزایش مصرف الکتریسیته، انتقال حرارت و تعداد دفعات تعمیر می‌شود. گاهی برای کاهش نوسان سیستم، نرخ تولید استاندارد آسیا را به نصف کاهش می‌دهند. همه این فاکتورها روی مصرف انرژی ویژه تاثیر گذارند.

۶. منابع

- [1] Katsioti M, Tsakiridis PE. Characterization of various cement grinding aids and their impact on grindability and cement performance. Construction and building Materials 2009 ; 23:1954-9.
- [2] Tsakalakis KG , Stamboltzis GA. Correlation of blaine value and the size of cement particle size distribution. Zement – kalk – gips 2008; 61:60-8.
- [3] Utlu Z, Sogut Z. Energy and exergy analyses of a raw mill in a cement production. Applied Thermal Engineering 2006;26:2479-89.
- [4] Worrell E, Nathan M. Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry. Energy 2000;25:1189-214.