

# مدیریت انرژی و ارائه راهکارهای صرفه‌جویی در یک کارخانه شیمیایی

حسین بهرامی<sup>۱</sup>، احمدرضا توکلی<sup>۲</sup>  
سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)، وزارت نیرو

## چکیده

محصولات شیمیایی این کارخانه شامل فرمالین، چسب صنعتی، پودر ملامین فرمالدئید، پودر اوره و چسب خشک می‌باشد. حدود ۱/۵ میلیون مگاوات ساعت انرژی الکتریکی و ۲/۶ میلیون مترمکعب گاز طبیعی سالانه در این واحد صنعتی مصرف می‌شود.

براساس مطالعه ممیزی انرژی و اندازه‌گیری واقعی مصرف برق و سوخت، مصرف انرژی به ازاء واحد محصول تولیدی (مصرف ویژه انرژی، SEC) برای واحدهای مختلف تعیین گردیده است. در این کارخانه برای تهیه یک تن از محصولات فرمالین، پودر، چسب مایع و چسب خشک به ترتیب ۲۰۸، ۶۸، ۷۱، ۱۴۴۳ کیلووات ساعت برق و ۱۴۶۴، ۳۰۱، ۶۵۱ و ۱۱۸۹۹ مگاژول انرژی حرارتی مصرف می‌شود.

تنظیم سوخت به هوا در بویلرها، عایق‌کاری، تولید بخار توسط مبدل‌های واحد فرمالین، استفاده از پیشگرم هوای خشک‌کن‌ها، مدیریت بار در بالمیل‌ها و روشنایی راهکارهای کاهش تلفات و هزینه انرژی در کارخانه می‌باشد.

با اجرای راهکارهای پیشنهادی سالیانه بیش از ۶۰۰ MWh انرژی الکتریکی و GJ ۳۴۰۰۰ انرژی فسیلی صرفه‌جویی خواهد شد. در مجموع پتانسیل کاهش مصرف انرژی در این واحد صنعتی بیش از شش هزار بشکه معادل نفت خام در سال است.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های انرژی الکتریکی و فسیلی، مصرف ویژه انرژی (SEC)، تلفات، پتانسیل صرفه‌جویی انرژی

**مقدمه**

مصرف ویژه انرژی در بخش‌های مختلف شامل صنعت، ساختمان، کشاورزی، حمل و نقل و ... مبین وضعیت نسبی شدت انرژی کشور در جهان است. تعیین معیارها و شاخص‌های انرژی و شناسایی تلفات، از اقدامات اولیه و اجتناب‌ناپذیر در بهینه‌سازی انرژی می‌باشد. برای نمایان کردن مشخصه‌های حامل‌های انرژی در بخش صنعت کشور به منظور اعمال مدیریت در مصرف برق و سوخت، انجام ممیزی انرژی در کارخانه‌ها و بررسی دقیق و کامل فرآیندهای تولید محصول ضروری است. این تحقیق بر مبنای انجام اندازه‌گیری‌های واقعی، توسط تجهیزات مناسب حامل‌های انرژی الکتریکی و حرارتی در بخش‌های مختلف و آمار تولید یک واحد صنعتی نسبتاً بزرگ صورت گرفته است. پس از تجزیه و تحلیل اطلاعات، تلفات انرژی بر پایه شاخص‌های واقعی حاصل از نتایج اندازه‌گیری شناسایی شده و پتانسیل صرفه‌جویی انرژی براساس ارائه راهکارهای قابل اجرا برآورد شده است. هدف دیگر این مقاله طرح نکات فنی دانش بهینه‌سازی انرژی در فرآیندهای صنعتی حاصل از ممیزی انرژی می‌باشد که در صنایع مشابه کاربرد دارد. قابل ذکر است انتخاب نمودارهای آماری مناسب، سنجش دقیق و بررسی کامل و جامع موارد در مطالعات ممیزی انرژی، موجب کاهش انحراف از معیارهای واقعی تعیین وضعیت انرژی صنعت کشور می‌شود.

۴۴

**شاخص‌های انرژی، تلفات، پتانسیل‌ها و راهکارهای صرفه‌جویی**

**الف) شاخص‌های انرژی**

**۱- شاخص‌های الکتریکی ( $SEC_e$ )**

با توجه به آمار تولید و انجام اندازه‌گیری انرژی الکتریکی و محاسبه توان متوسط مصرف برای محاسبه توان متوسط مصرفی برای بخش‌های چسب خشک، چسب مایع، فرمالین و پودر میزان شاخص مصرف انرژی الکتریکی ( $SEC$  - مصرف ویژه انرژی) مطابق جدول شماره (۱) می‌باشد. برق مصرفی در این جدول برای مدت حداکثر یک هفته اندازه‌گیری شده است.

**جدول ۱- شاخص‌های انرژی الکتریکی**

نام بخش	میزان انرژی مصرفی (KWh)	میزان تولید (ton)	$SEC_e$
چسب خشک	۱۰۷۰۴/۶	۵۱/۵	۲۰۷/۹
چسب مایع	۱۵۶۷۲/۱	۲۳۰	۶۸/۱
فرمالین	۴۹۵۴۱/۵	۷۰۰	۷۰/۸
پودر	۹۲۶۷۹/۶	۶۴/۲۵	۱۴۴۲/۵

لازم به ذکر است سهم انرژی الکتریکی مصرفی در تولید هوای فشرده، بخار مصرفی و سیستم آب فرآیند برای بخش‌های فوق‌الذکر در نظر گرفته شده است.

یکی از دلایل بالا بودن شاخص‌ها عدم کارکرد تجهیزات در ظرفیت اسمی می‌باشد. بنابراین توصیه می‌شود جهت افزایش راندمان انرژی و کاهش مصرف ویژه انرژی که کاهش قیمت تمام شده محصول را به دنبال خواهد داشت، واحدها و ماشین‌آلات در ظرفیت نامی مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

## ۲- شاخص مصرف انرژی فسیلی (SEC<sub>f</sub>)

برای محاسبه شاخص مصرف انرژی فسیلی ابتدا مصارف بخار و گاز بخش‌های مختلف اندازه‌گیری و محاسبه شده است. سپس تراز انرژی برای کارخانه به تفکیک بخش‌های کارخانه رسم شده است. با محاسبه مقدار انرژی و گرفتن مقدار تولید هر بخش در مدت اندازه‌گیری شاخص مصرف انرژی فسیلی محاسبه شده است که در جدول شماره (۲) آمده است.

جدول ۲- شاخص‌های انرژی حرارتی

ردیف	نام بخش	تولید (Ton/day)	انرژی MJ/day	شاخص مصرف انرژی (SEC <sub>f</sub> ) (MJ/ton)
۱	فرمالین	۷۲	۴۶۸۶۲	۶۵۰/۸
۲	چسب مایع	۶۳/۴	۱۹۱۰۱	۳۰۱/۳
۳	چسب خشک	۲۰/۷	۳۰۳۰۷	۱۴۶۴/۱
۴	پودر	۱۲/۲	۱۴۵۱۷۰	۱۱۸۹۹/۲

## ۳- مقایسه مصرف ویژه انرژی با یک نمونه خارجی

۳-۱- مصرف انرژی فسیلی برای تولید یک تن فرمالین در کارخانه مورد مطالعه:

$$650.8 \text{ MJ/ton}$$

در کارخانه نمونه خارجی:

$$\text{تولید بخار از فرآیند} \quad 0.55 \text{ Ton/ton}$$

در این فرآیند نه تنها انرژی برای تولید بخار مصرف نمی‌شود بلکه  $0.55$  تن بخار به ازاء یک تن فرمالین تولید می‌شود.

## ۳-۲- مصرف برق برای تولید یک تن فرمالین:

در کارخانه مورد مطالعه:

$$70.8 \text{ KWh/ton} = 294 \text{ KWh در ساعت} \quad 4/2 \text{ تن در ساعت تولید فرمالین}$$

در کارخانه نمونه خارجی:

$$85 \text{ KWh/ton}$$

## ۳-۳- شاخص کل انرژی:

در کارخانه مورد مطالعه:

$$650.8 \text{ MJ/ton} + 70.8 \text{ KWh/ton} \times 3/6 \text{ MJ/KWh} = 905.7 \text{ MJ/ton}$$

در کارخانه نمونه خارجی:

$$80 \text{ KWh/ton} \times 2/6 \text{ MJ/KWh} = 306 \text{ MJ/ton}$$

ملاحظه می‌شود که این کارخانه حدود سه برابر یک کارخانه تولید فرمالین در کشور سوئد انرژی مصرف می‌کند، که راهکارهای کاهش مصرف انرژی در متن مقاله تحت عنوان تولید بخار از واحد فرمالین، حذف سیستم کولینگ داخلی و کاهش مصرف انرژی کولینگ اصلی ارائه گردیده است. قابل ذکر است عامل بالا بودن شاخص انرژی الکتریکی در نمونه خارجی، بکارگیری سیستم‌های بازیافت (که عمدتاً مصرف برق دارند) جهت جلوگیری از انتشار آلاینده‌های محیط‌زیست به محیط اطراف کارخانه می‌باشد.

### ب) تعیین تلفات انرژی

#### ۱- بررسی وضعیت بویلرها

به منظور تأمین بخار مورد نیاز جهت فرآیند، کارخانه دارای سه دستگاه بویلر با مشخصات مندرج در جدول شماره (۳) می‌باشد که معمولاً دو دستگاه در مدار می‌باشند.

جدول ۳- مشخصات بویلرها

ظرفیت مشعل: ۲۹۰۰۰۰۰۰ Kcal/hr	نوع بویلر: فایر تیوب
مقدار سوخت: ۳۵۰۰ Nm <sup>3</sup> /day	ظرفیت اسمی: ۱۱ t/hr
فشار بخار تولیدی: ۱۰ bar	تعداد مشعل‌ها: یک عدد
دمای بخار تولیدی: ۱۸۰ C	نوع سوخت: گاز طبیعی
کشور سازنده: انگلستان	قدرت فن: ۳۰ KW

به منظور بررسی وضعیت احتراق از نقطه نظر نسبت سوخت به هوا و دمای گازهای خروجی اندازه‌گیری و آنالیز احتراق از دودکش انجام شد.

#### بویلر A:

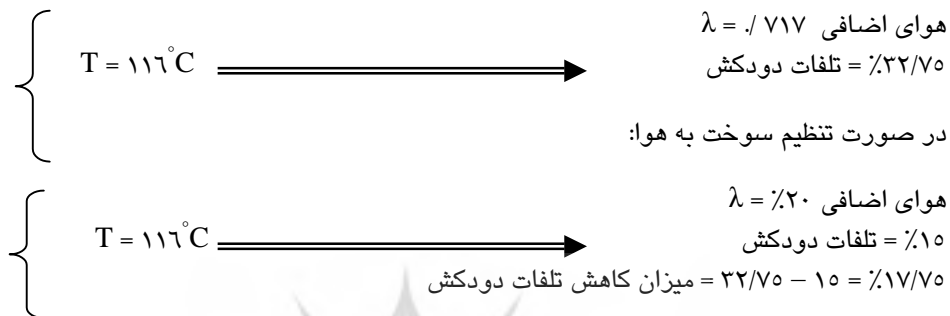
با توجه به اطلاعات اندازه‌گیری شده میزان هوای اضافی اندازه‌گیری شده برابر ۷۱۷٪ می‌باشد که این میزان با توجه به گاز سوز بودن مشعل بویلر، بالا بوده و باعث اتلاف انرژی حرارتی می‌گردد. با تنظیم نسبت سوخت به هوا می‌توان میزان تلفات ناشی از هوای اضافی در دودکش را کاهش داد. براساس شرایط استاندارد به ازای هر مترمکعب گاز طبیعی به منظور احتراق کامل ۲۰٪ هوای اضافی در نظر گرفته شده که به میزان حدود ۱۳ کیلوگرم هوا نیاز است. با توجه به مصرف سوخت ۸۵۰ Nm<sup>3</sup>/hr میزان هوای مصرفی بویلر باید برابر ۱۱۰۵۰ Kg/hr (۸۶۰۰ Nm<sup>3</sup>/hr) باشد. در حال حاضر بویلر A با درصد هوای اضافی بسیار بالا (۷۱۷٪) به میزان ۶۴۶۰۰ Kg/hr (۵۰۰۰۰ Nm<sup>3</sup>/hr) هوا مصرف می‌کند.

عدم تنظیم نسبت سوخت به هوا به معنی مصرف انرژی بیهوده به منظور گرم کردن ۴۱۴۰۰ Nm<sup>3</sup>/hr = ۸۶۰۰ - ۵۰۰۰۰ هوا و رساندن آن از دمای محیط به دمای دودکش می‌باشد. که می‌توان براساس اطلاعات موجود میزان انرژی تلف شده در این حالت را حساب نمود.

همچنین وجود هوای اضافی باعث افزایش بار بر روی فن بویلر شده و توان مصرفی فن را بالا می‌برد.

#### محاسبه تلفات حرارتی و الکتریکی در بویلر A:

- محاسبه تلفات حرارتی  
قبل از تنظیم مشعل:



مدیریت انرژی و ... / حسین بهرامی و ...

۴۷

یعنی با تنظیم نسبت سوخت به هوا در مشعل می‌توان به میزان  $17/75$ ٪ تلفات دودکش را کاهش داد. با توجه به مصرف سوخت بویلر که حدود  $3500 \text{ Nm}^3/\text{day}$  می‌باشد میزان کاهش مصرف سوخت را می‌توان محاسبه نمود.

$$\text{گاز طبیعی} = 621/3 \text{ Nm}^3/\text{day} = 3500 \text{ Nm}^3/\text{day} \times 17/75 \text{٪} = \text{میزان کاهش مصرف سوخت}$$

با توجه به اینکه بویلر سالانه حدود ۳۵۰ روز کار می‌کند پتانسیل قابل صرفه‌جویی برابر خواهد شد با:  $217450 \text{ Nm}^3/\text{year} = 621/3 \times 350 = \text{سوخت قابل صرفه‌جویی سالانه}$

#### - محاسبه تلفات الکتریکی

وجود هوای اضافه علاوه بر کاهش راندمان حرارتی بویلرها، باعث افزایش قدرت فن بویلر و در نتیجه مصرف انرژی بیشتر آن می‌گردد.

براساس اندازه‌گیری‌های انجام شده مصرف فن بویلر  $22 \text{ KW}$  می‌باشد که این مصرف برای تأمین حدود  $50000 \text{ Nm}^3/\text{hr}$  هوا استفاده می‌شود و با توجه به کاهش هوا خواهیم داشت:

$$82 \text{٪} = 100 \times (50000 - 86000) \div 50000 = \text{درصد کاهش هوا}$$

به عبارت دیگر با تنظیم نسبت سوخت به هوا به میزان  $82$ ٪ از قدرت فن کاسته خواهد شد.

$$18 \text{ KW} = 22 \text{ KW} \times 82 \text{٪} = \text{کاهش قدرت فن}$$

با توجه به شرایط کار کرد میزان صرفه‌جویی سالانه برابر:

$$90720 \text{ KWh/year} = 18 \times 24 \times 350 \times 0/6 = \text{صرفه‌جویی سالیانه}$$

نشریه انرژی ایران / سال نهم / شماره ۳۱ / بهمن ۱۳۸۳

**بویلر B:**

با توجه به اطلاعات اندازه‌گیری شده میزان هوای اضافی اندازه‌گیری شده برابر ۴۶/۷٪ و دمای دودکش حدود  $160/2^{\circ}\text{C}$  می‌باشد که ه این میزان بالا بوده و باعث اتلاف انرژی حرارتی می‌گردد. با تنظیم نسبت سوخت به هوا می‌توان میزان تلفات ناشی از هوای اضافی در دودکش را کاهش داد. همانند بویلر A، بویلر B به  $11050 \text{ Kg/hr}$  ( $8600 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ ) هوا نیاز دارد. در حال حاضر بویلر B با درصد هوای اضافی ۴۶/۷٪ به میزان  $16210 \text{ Kg/hr}$  ( $12570 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ ) هوا مصرف می‌کند.

عدم تنظیم نسبت سوخت به هوا به معنی مصرف انرژی بیهوده به منظور گرم کردن  $3970 \text{ Nm}^3/\text{hr}$  =  $8600 - 12570$  هوا و رساندن آن از دمای محیط به دمای دودکش می‌باشد. که می‌توان براساس اطلاعات موجود میزان انرژی تلف شده در این حالت را حساب نمود. همچنین وجود هوای اضافی باعث افزایش بار روی فن بویلر شده و توان مصرفی فن را افزایش می‌دهد.

**محاسبه تلفات حرارتی و الکتریکی در بویلر B:****- محاسبه تلفات حرارتی**

قبل از تنظیم مشعل:

هوای اضافی  $\lambda = 46/7\%$

Loss تلفات دودکش =  $18/12\%$

در صورت تنظیم سوخت به هوا:

هوای اضافی  $\lambda = 20\%$

Loss تلفات دودکش =  $14/98\%$

$3/14\% = 18/12\% - 14/98\%$  = میزان کاهش تلفات دودکش

یعنی با تنظیم نسبت سوخت به هوا در مشعل می‌توان به میزان ۳/۱۴٪ تلفات دودکش را کاهش داد. با توجه به مصرف سوخت بویلر که حدود  $3500 \text{ Nm}^3/\text{day}$  می‌باشد میزان کاهش مصرف سوخت را می‌توان محاسبه نمود.

$109/9 \text{ Nm}^3/\text{day} = 3500 \text{ Nm}^3/\text{day} \times 3/14\%$  = میزان کاهش مصرف سوخت

با توجه به اینکه بویلر سالانه حدود ۳۵۰ روز کار می‌کند پتانسیل قابل صرفه‌جویی سالانه برابر خواهد بود با:

گاز طبیعی  $38465 \text{ Nm}^3/\text{year} = 109/9 \text{ Nm}^3/\text{day} \times 24 \times 350 =$  سوخت قابل صرفه‌جویی سالانه

## محاسبه تلفات الکتریکی

وجود هوای اضافی علاوه بر کاهش راندمان حرارتی بویلرها، باعث افزایش فن بویلر و در نتیجه مصرف انرژی بیشتر آن می‌گردد.

$$\%31/6 = 100 \times 12570 / (12570 - 86000) = \text{درصد کاهش هوا}$$

به عبارت دیگر با تنظیم نسبت سوخت به هوا به میزان  $\%31/6$  از قدرت فن کاسته خواهد شد.

$$6/95 \text{ KW} = 22 \text{ KW} \times \%31/6 = \text{کاهش قدرت فن}$$

با توجه به شرایط کارکرد میزان صرفه‌جویی سالانه برابر خواهد بود با:

$$28028 \text{ KWh/year} = 6/95 \times 24 \times 350 \times 0/6 = \text{صرفه‌جویی سالیانه}$$

## ۲- بررسی وضعیت عایق‌ها

اصولاً با توجه به مصارف بخار در پروسه تولید و نیاز به حرارت در مراحل مختلف، مسئله عایق و عایق‌کاری از مسائل مهم در کارخانجات می‌باشد.

با توجه به اینکه سطوح داغ (مبدل‌ها، لوله‌های بخار و ...) در محدوده دمایی  $200^{\circ}\text{C}$  -  $100^{\circ}\text{C}$  می‌باشند میزان تلفات ناشی از تشعشع و جابجایی آزاد برای این رنج دمایی تقریباً برابر  $2 \text{ KW/m}^2$  یا به عبارت دیگر  $5 \text{ Nm}^3/\text{daym}^2$  گاز طبیعی می‌باشد.

با بازدید از کارخانه و اندازه‌گیری دمای لوله‌های بدون عایق که حدوداً  $20$  مترمربع می‌باشد با عایق‌کاری میزان سوخت قابل صرفه‌جویی را می‌توان محاسبه نمود.

$$41250 \text{ Nm}^3/\text{year} = 20 \times 5 \times 330 = \text{تلفات ناشی از عدم عایق‌کاری } 0/8$$

## ج) پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی و راهکارهای کاهش تلفات

### ۱- واحد فرمالین

در حال حاضر در بخش فرمالین مقدار  $2240 \text{ Kg/hr}$  بخار با فشار  $2/5$  بار و دمای  $140^{\circ}\text{C}$  مصرف می‌گردد و همچنین از حرارت واکنش انجام شده در رآکتور فرمالین استفاده می‌شود. در صورت بهبود سیستم و استفاده بیشتر از حرارت خروجی رآکتور می‌توان بخار مصرفی را به میزان  $437 \text{ KG/hr}$  کاهش داد. این مقدار صرفه‌جویی با استفاده از مبدل با راندمان بالا و نصب تله‌های بخار بعد از مبدل‌های ۲ و ۱۱ (این دو مبدل واحد فرمالین مجموعاً مبدل Vapor cooler را تشکیل می‌دهند) شکل شماره (۱) و استفاده از حداکثر انرژی بخار به دست می‌آید. جدول شماره (۴) مقادیر دما و جرم مواد ورودی و خروجی به این مبدل‌ها نشان داده شده است.

جدول ۴- مقادیر دما و جرم

شماره مبدل	مواد خروجی		مواد ورودی		ردیف
	Out T°C	مقدار Kg/h	In T°C	مقدار Kg/h	
شماره ۲	۶۷	۷۵۰	۲۵	۷۵۰	۱
شماره ۲	۶۷	۱۴۵۰	۲۵	۱۴۵۰	۲
شماره ۱۱	۶۷	۶۳۷/۲	۲۵	۶۳۷/۲	۳
شماره ۱۱	۶۷	۲۰۹۷	۲۵	۲۰۹۷	۴
شماره ۲	۱۰۰	۱۳۷	۱۳۹	۱۳۷	۵
شماره ۱۱	۱۰۰	۱۶۶۶	۱۳۹	۱۶۶۶	۶
شماره ۲ و ۱۱	۱۰۰	۱۸۰۳	۱۳۹	۱۸۰۳	مجموع
شماره ۲ و ۱۱	۶۷	۴۹۳۴	۲۵	۴۹۳۴	

براساس اطلاعات به دست آمده و طراحی این سیستم، مقدار زیادی انرژی در کندانسور بعد از Vaper Cooler توسط آب سرد از برج‌ها خنک می‌گردد. در حالی که می‌توان از حرارت این مبدل جهت گرمایش مخلوط آب و متانول استفاده نمود.

اجرای این طرح مستلزم تغییر در خطوط انتقال خوراک ورودی بعد یا قبل از میکسر می‌باشد و یا می‌توان از گرمای این مبدل جهت تولید بخار استفاده نمود. در صورت ورود آب کندانس  $100^{\circ}\text{C}$  به این مبدل می‌توان معادل  $750 \text{ Kg/hr}$  بخار  $2/5$  بار ( $139^{\circ}\text{C}$ ) را تولید نمود. ولی بهتر است آن را جهت گرمایش خوراک (مخلوط آب و متانول) استفاده نمود زیرا دمای خروجی محصولات بعد از کندانسور می‌بایستی  $50^{\circ}\text{C}$  گردد.

#### ۱-۱- محاسبه انرژی قابل صرفه‌جویی در این بخش

- تولید معادل  $750 \text{ Kg/hr}$  بخار با دمای  $139^{\circ}\text{C}$  و فشار  $2/5 \text{ bar}$  از مبدل ۲ و ۱۱ از دمای  $100^{\circ}\text{C}$  مقدار سوخت معادل برای تولید این مقدار بخار با راندمان  $80\%$  بویلر برابر  $64 \text{ m}^3/\text{hr}$  گاز طبیعی می‌باشد که ارزش ریالی آن برای ۳۰۰ روز بهره‌برداری سالیانه و قیمت ۱۳۰ ریال برای هر مترمکعب گاز معادل است با:

$$\text{ریال در سال} = 64 \times 130 \times 24 \times 300 = 59904000$$

- صرفه‌جویی حاصل از حذف پمپ‌های آب سیرکولاسیون و Cooling

توان هر دو پمپ به ترتیب  $39 \text{ KW}$  و  $12 \text{ KW}$  می‌باشد که مجموعاً معادل  $51 \text{ KW}$  می‌شود، که در این محاسبه قیمت هر کیلووات ساعت الکتریسیته  $150$  ریال و بهره‌برداری سالیانه  $300$  روز در نظر گرفته شده است.

$$\text{ریال در سال} = 51 \times 24 \times 300 \times 150 = 55080000$$

- کاهش مصرف بخار به میزان  $437 \text{ Kg/hr}$  برای کل واحد فرمالین  
میزان این صرفه‌جویی با فرضیات بالا معادل  $27/7 \text{ m}^3/\text{hr}$  گاز طبیعی می‌باشد که صرفه‌جویی سالیانه آن برابر است با:



$$37/7 \times 24 \times 300 \times 130 = 30287200 \quad \text{ریال در سال}$$

## ۲- واحد چسب خشک

در این واحد با استفاده از حرارت هوای داغ ورودی، رطوبت چسب تر گرفته شده و چسب خشک تولید می‌گردد. در جدول شماره (۵) خلاصه‌ای از مقادیر جریان‌ها ارائه شده است.

جدول ۵- مقادیر جرم و دما

توضیحات	Out		IN		نوع مواد	ردیف
	دما T°C	مقدار Kg/h	دما (T°C)	مقدار (Kg)		
ورودی و خروجی به Air Heater	۱۷۰	۳۴۸۳	۱۸	۳۴۸۳۰	هوا	۱
ورودی به Drying Chamber	-	-	۴۵	۱۷۶۰	خوراک (گلایزر)	۲
مقدار این هوا شامل هوای ورودی به بالا و پائین Drying Chamber می‌باشد	۷۲	۱۷۵۰	۱۸	۱۷۵۰	هوا	۳
ورودی به چیلر و خروجی از هیتر	۱۲	۴۷۱۷	۱۸	۴۷۱۷	هوا	۴
آب کندانس به فاضلاب ریخته می‌شود	۱۳۷	۵۶	۱۳۹	۵۶	بخار	۵
خنک کاری کندانسور چیلر	۳۱	۶۰۰۰۰	۲۵	۶۰۰۰۰	آب Cooling	۶

### ۱-۲- راهکارهای صرفه‌جویی واحد چسب خشک

#### - استفاده از آب کندانس خروجی از مبدل آبگرم

با برگشت آب کندانس به سیستم می‌توان به میزان ۵۶ Kg/hr آب کندانس را بازیافت نمود که خود باعث صرفه‌جویی هزینه در قسمت تصفیه‌خانه و همچنین صرفه‌جویی در مصرف سوخت می‌گردد که مقدار این صرفه‌جویی معادل  $1220 \text{ Nm}^3/\text{year}$  گاز طبیعی می‌باشد که صرفه‌جویی ریالی آن سالانه برابر ۱۵۸۹۰۰ ریال می‌باشد.

#### - استفاده از هوای خروجی Bag Filter جهت گرمایش هوای ورودی Air Heater

همانطور که از اطلاعات پیوست مشخص است دمای خروجی هوای Bag Filter حدوداً  $77^\circ\text{C}$  می‌باشد. این مقدار هوا شامل مقدار زیادی انرژی قابل بازیافت است که به وسیله نصب یک مبدل حرارتی بر سر راه این مبدل می‌توان دمای هوای ورودی Air Heater را از  $20^\circ\text{C}$  به  $45^\circ\text{C}$  رساند که محاسبات مربوطه و صرفه‌جویی آن در ذیل محاسبه شده است.

$$\text{Bag Filter دبی هوای خروجی } m_1 = 42000 \text{ Kg/hr}$$

$$\text{Bag Filter دمای هوای خروجی } \theta_1 = 77^\circ\text{C}$$

$$\text{Air Heater دبی هوای ورودی } m_2 = 34000 \text{ Kg/hr}$$

$$\text{Air Heater دمای هوای ورودی } \theta_2 = 20^\circ\text{C}$$

$$C/r (\theta_2 - \theta) = C/r (\theta - \theta_1)$$

$$42000 (77 - \theta) = 34000 (\theta - 20)$$

$$\rightarrow \theta = 51/5^\circ\text{C}$$

محاسبات فوق ایده‌آل در نظر گرفته شده ولی با راندمان ۸۵٪ می‌توان دمای هوا را تا  $45^{\circ}\text{C}$  افزایش داد.

$$\dot{Q} = \dot{m}C \Delta \theta = 34000 \times 1/1 (45 - 20) = 935000 \text{ KJ/hr}$$

$$\text{مقدار سوخت معادل آن} = 25/6 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

که برای ۱۰۰ روز کاری در سال صرفه‌جویی ریالی آن معادل

$$\text{ریال در سال} = 5320000 = 25/6 \times 16 \times 100 \times 130 \text{ صرفه‌جویی ریالی سالانه}$$

قابل ذکر است که هزینه تجهیزات و دستگاه‌ها برای این طرح حدوداً معادل ۵۰ میلیون ریال در نظر گرفته شده است که بازگشت سرمایه برابر ۹/۵ سال می‌باشد. البته لازم به ذکر است در صورتی که این واحد ۳۰۰ روز کاری در سال تولید داشته باشد صرفه‌جویی سالیانه آن معادل ۲۳۹۷۷۰۰۰ ریال خواهد بود که برگشت سرمایه آن به حدود ۲ سال کاهش می‌یابد.

### ۳- واحد پودر

واحد پودر پرمصرف‌ترین واحد چه از نظر انرژی الکتریکی و چه از نظر انرژی فسیلی می‌باشد. مصرف‌کننده‌های عمده الکتریکی این واحد در بخش الکتریکی گزارش مشخص و به راهکارهای مربوطه در آن قسمت اشاره شده است. این بخش بیشترین مقدار مصرف بخار را به خود اختصاص داده است. براساس محاسبات در زمان اندازه‌گیری مقدار  $1440 \text{ Kg/h}$  برای هر Dryer بخار  $2/5$  بار با دمای  $139^{\circ}\text{C}$  مصرف می‌شود. بخار کندانس نیز از دمای  $139^{\circ}\text{C}$  به  $100^{\circ}\text{C}$  در سایر قسمت‌ها کاهش دما داده و مصرف می‌گردد و به طور معمول دو Dryer همیشه در مدار می‌باشند یعنی مقدار  $2880 \text{ Kg/h}$  بخار برای این دو Dryer نیاز می‌باشد. شرایط ورودی و خروجی مواد و انرژی‌های مربوطه در قسمت Dryer در جدول شماره (۶) مشخص شده است.

۵۲

جدول ۶- شرایط مواد ورودی و خروجی

توضیحات	محل استفاده	Out		IN		نوع مواد	ردیف
		دما T°C	مقدار Kg/h	دما (T°C)	مقدار (Kg/h)		
این مقدار مجموع هوای اولیه و ثانویه می باشد مقادیر بخار ۱۰۰٪ به آب کندانس تبدیل می شود هوای خروجی شامل مقداری رطوبت می باشد.	در هر درایر	۱۲۰	۳۰۷۰	۲۰	۳۰۷۰۰	هوا	۱
	مبدل جهت گرمایش هوا	۱۳۹	۱۴۴۰	۱۳۹	۱۴۴۰	بخار	۲
	ورودی و خروجی درایر	۷۵	۳۱۰۰	۱۲۰	۳۰۷۰۰	هوا	۳
	-	-۷۰ ۵۰	۵۴۰	۲۰-۲۵	۷۲۰	خوراک Dryer	۴

همانطور که مشاهده می گردد مقدار تقریبی ۳۱۰۰۰ Kg/h (حدوداً ۲۸۰۰۰ m<sup>3</sup>/h) هوا با دمای محیط وارد شده و با دمای حدود ۷۵°C از سیکلون خارج می شود (دمای این هوا گاهی به ۱۰۰°C هم می رسد). این مقدار هوا حاوی مقدار زیادی انرژی می باشد که قابل بازیافت است. بازیافت این حرارت توسط نصب یک مبدل هوا قبل از سیکلون قابل اجرا است.

راهکارهای صرفه جویی سوخت فسیلی در واحد پودر

۱-۳- راهکارهای صرفه جویی سوخت فسیلی در واحد پودر

- نصب مبدل پیشگرم کن هوای Dryer ها

برای نصب این مبدل دو سناریو برای محاسبات در نظر گرفته شده است که در ذیل به تفصیل در مورد آنها توضیح داده شده است.

۱- سناریوی اول: سناریوی اول با فرض کارکرد دو درایر به طور دائم در مدت ۳۰۰ روز در سال می باشد. با این فرض محاسبات صرفه جویی برای این دو درایر بقرار زیر می باشد. براساس محاسبات انجام شده توسط نرم افزار که در صفحه بعد به همراه شکل مربوطه ملاحظه می فرمائید مقدار انرژی تبادل شده بین هوای خروجی از درایر (جریان شماره ۲) و هوای ورودی به پیشگرم کن (جریان شماره ۱۲) برابر با ۹۳۵۹۸۲ KJ/h می باشد این مقدار انرژی معادل ۳۲/۴ m<sup>3</sup>/h گاز طبیعی است که در یک بویلر با راندمان ۸۵٪ تبدیل به بخار می شود. این مقدار بازیافت انرژی نیازمند سرمایه گذاری در حدود ۱۲۰۰۰۰۰۰ (سیزده میلیون ریال) برای هر مبدل می باشد.

و مقدار صرفه جویی و سود حاصل از این راهکار برای دو Dryer عبارت است از:

$$\text{ریال در سال} = ۳۲/۴ \times ۲۴ \times ۳۰۰ \times ۱۳۰ \times ۲ = ۶۰۶۵۲۸۰۰$$

که بازگشت سرمایه آن (Simple payback time) برابر ۰/۴ سال می باشد (حدود ۵/۲ ماه)

۲- سناریوی دوم: سناریوی دوم با فرض کارکرد دو درایر به طور دائم در مدت ۳۰۰ روز در سال و یک درایر در مدت ۱۵۰ روز می باشد. با این فرض مقدار صرفه جویی کل معادل است با صرفه جویی دو درایر فوق به علاوه درایر سوم که مجموعاً برابر است با:

$$\text{ریال در سال} = ۳۲/۴ \times ۲۴ \times ۱۵۰ \times ۱۳۰ = ۱۵۱۶۳۲۰۰$$

ریال در سال  $۱۵۱۶۳۲۰۰ + ۶۰۶۵۲۸۰۰ = ۷۵۸۱۶۰۰۰$

و زمان بازگشت سرمایه برای هر سه مبدل پیشگرم هوا برابر است با:

$$۳۹۰۰۰۰۰۰ \div ۷۵۸۱۶۰۰۰ = ۰/۵۱۶۷ \approx ۶ \text{ ماه}$$

### نتیجه‌گیری

براساس مطالعات این تحقیق پتانسیل صرفه‌جویی انرژی الکتریکی و فسیلی سالیانه از طریق اجرای راهکارهای پیشنهادی به صورت خلاصه در جدول ذیل آمده است.

راهکارهای پیشنهادی	صرفه‌جویی انرژی الکتریکی (MWh)	صرفه‌جویی انرژی فسیلی (m <sup>3</sup> گاز طبیعی)	ارزش ریالی صرفه‌جویی (میلیون ریال)
تنظیم نسبت سوخت به هوا در بویلرها	۱۲۵/۷	۲۵۵۹۲۰	۵۲/۱
عایق‌کاری	-	۴۱۰۰۰	۵/۴
تولید بخار توسط مبدل ۲ و ۱۱ واحد فرمالین	-	۴۶۰۸۰۰	۵۹/۹
حذف پمپ‌های آب سیرکولاسیون و Cooling واحد فرمالین	۳۶۷	-	۵۵
کاهش مصرف بخار واحد فرمالین	-	۲۷۱۴۰۰	۳۵/۳
استفاده از آب‌کنده خروجی مبدل آب گرم واحد چسب	-	۱۲۲۰	۰/۱۶
استفاده از هوای گرم خروجی Bag Filter	-	۴۰۹۶۰	۵/۳
نصب مبدل پیشگرم هوای Dryer	-	۴۶۶۵۰۰	۶۰/۷
کاهش دیماندر و تعویض کنتور برق	-	-	۱۱۰
مدیریت بار در بخش بالمیل‌ها	-	-	۶۴
مدیریت مصرف در بخش روشنایی	۲۰۶	-	۳۰

## منابع

- ۱- قبوض برق مصرفی دو سال کارخانه
- ۲- قبوض گاز مصرفی دو سال کارخانه
- ۳- اطلاعات حاصل از دستگاه‌های اندازه‌گیری برق و حرارت نصب شده در زمان انجام تحقیق
- ۴- گزارشات ممیزی انرژی سابا
- ۵- اطلاعات تجهیزات و ماشین‌آلات کارخانه

