



جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو
امور انرژی

راهنماهای فنی مدیریت انرژی



**هزینه های بخار
و صرفه جویی
در سوخت**

۱۴

دفتر بهینه سازی مصرف انرژی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پیشگفتار

در طی دهه آینده، هزینه انرژی الکتریکی چه برای گرمایش و سرمایش، چه برای روشنایی و چه بعنوان نیروی محرکه در فرآیند تولید صنعتی، ادارات، مدارس، منازل، ... رشد چشمگیری پیدا خواهد کرد که البته دلایل این رشد، خارج از بحث این نوشتار است.

در عرصه رقابت جهانی در راستای مصرف کمتر (مصرف بهینه) و تولید هرچه بیشتر، کشورها، جوامع و صنایعی موفقتر خواهند بود که در این رقابت که شاید از دیدگاهی بتوان آن را مبارزه برای تنوع بقا و ادامه فعالیت نامید، با تحقیقات و مطالعات موفق به یافتن و پس از آن بکار بردن راههای جلوگیری از اتلاف انرژی شوند.

انرژی بطور عام و انرژی الکتریکی بطور خاص که امروز در اختیار و خدمت هم میهنان عزیز، قرار می گیرد، با هزینه‌ای به مراتب گزافتر تهیه می‌شود ولیکن دولت جمهوری اسلامی ایران با تأمین بخشی از هزینه‌های تولید آن از محل درآمدهای عمومی خود و یا به قیمت عدم انجام بسیاری از پروژه‌های زیربنایی ملی، آنرا بدینگونه در اختیار وا می‌گذارد.

اتلاف این انرژی الکتریکی و اصولاً هر نوع انرژی تولید شده از منابع فسیلی، علاوه بر خسارات مالی جبران‌ناپذیری که دارد، زیانهای غیرقابل انکاری نیز بر محیط زیست ملی ما و جهان وارد خواهد آورد. اکنون سالیان متمادی از زمانی می‌گذرد که کشورهای پیشرفته که حتی برخی از آنها از حداکثر امکانات طبیعی و صنعتی برای تولید انرژی برخوردارند، در کنار تلاش در جهت استفاده از انرژی‌های نو (خورشید، باد، امواج، ...)، استفاده صحیح از انرژی را در رأس اهم اهداف خود قرار داده و صاحبان صنایع، صنعتگران، مدیران سازمانها، و حتی سازندگان ساختمانهای مسکونی و بالاخره استفاده‌کنندگان این بناها را مخاطب قرار داده و با وضع دستورالعملها و در مواردی ضوابط و قوانین بازدارنده، آنها را تشویق، راهنمایی و حتی راهبری در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی می‌نمایند.

انجام پاره‌ای از این اقدامات، اگر در زمان مناسب نسبت به اعمال آنها اقدام گردد، حتی هیچگونه هزینه اضافی را نیز تحمیل نخواهد نمود و جهت همه‌گیر شدن جنبش جلوگیری از اتلاف انرژی، دائماً جلسات توجیهی و سمینارهایی برای تصمیم‌گیرندگان برگزار می‌گردد تا از پی‌آمدها و بهتر بگوئیم عواقب مختلف آن آگاه گردند. در کنار اقدامات فوق، تلاش متخصصین و دانشمندان در جهت اختراع، ابداع و تولید وسایل و تجهیزات کارآمد نیز جبهه دیگری است که برای مبارزه با اتلاف انرژی گشوده شده است که از جمله آنها می‌توان به تولید صنعتی تجهیزات و لامپهای پراثری، کم مصرف و بادوام اشاره کرد.

با توجه به روند افزایش جمعیت و تبعات آن و هرچه بیشتر مستهلک شدن منابع تولید انرژی، چندان دور نخواهد بود که نه تنها افراد، بلکه جوامع نیز در موقعیتی قرار نداشته باشند که بتوانند به میزان مورد علاقه خود انرژی مصرف نمایند بلکه با هرچه فشرده‌تر شدن جوامع، حتماً اهرمهای ملی و جهانی و خود

محدودکننده‌ای وارد عمل خواهند گردید که ابتکار عمل در زمینه تولید و مصرف انرژی را بعهدہ خواهند گرفت.

علیرغم اینکه کاربرد بعضی از اقدامات صرفه‌جویانه (یا بهتر است گفته شود استفاده صحیح و جلوگیری کننده از اتلاف بیهوده)، نیاز به مقداری سرمایه‌گذاری اولیه دارند که البته میزان آن بستگی به دامنه و وسعت اقدامات بعمل آمده دارد، ولی نکته‌ای که مبرهن و غیرقابل انکار می‌باشد آن است که این سرمایه‌گذاری اولیه در مدت کوتاهی خودبخود مستهلک می‌گردد.

علاوه بر نشست‌ها و سمینارهایی که به آنها اشاره گردید تشکیلات گوناگونی که در کشورهای مختلف جهان جهت سامان دادن به مشکل انرژی و آگاه کردن قشرهای مختلف جامعه ایجاد شده‌اند، اقدام به نشر جزوات، بروشورها و اطلاعیه‌هایی نموده و آنها را در دسترس کلیه افرادی که به نوعی با مصرف و صرفه‌جویی انرژی ارتباط دارند قرار می‌دهند.

در همین راستا، معاونت انرژی وزارت نیرو نیز اقدام به ترجمه و چاپ جزوه‌ای که ملاحظه می‌فرمائید نموده است که در کشور انگلستان و بتوسط "مرکز تحقیقات ساختمان" (Building Research Establishment) "واحد صرفه‌جویی انرژی مرکز تحقیقات ساختمان" (Building Research Energy Conservation Support Unit) "واحد پشتیبانی تکنولوژی انرژی" (Energy Technology Support Unit) "اداره کارائی انرژی" (Energy Efficiency Office) تهیه گردیده‌اند که این معاونت به لحاظ ضرورت تسریع در نشر و ارائه راهنماها و دستورالعملهای فنی، هیچگونه تغییری در ارقام، آمار، نمودارها، جداول و اشکال آن نداده است ولیکن امیدوار است که انشاء... چاپ‌های بعدی این جزوه و همچنین جزوات دیگری که در دست ترجمه و چاپ قرار دارند، براساس آمار و اطلاعات کشور ایران تهیه شده و در اختیار شما قرار داده شوند.

فهرست مطالب

۶.....	مقدمه
۶.....	هزینه بخار
۸.....	هزینه‌های سوخت
۹.....	اندازه‌گیری
۹.....	ارزیابی صرفه‌جویی‌ها
۱۲.....	محاسبه صرفه‌جویی در سوخت بر اثر کاهش تقاضای بخار
۱۶.....	خلاصه سریعی از مواردی که باید بررسی شوند

مقدمه

این کتابچه در اصل برای مهندسان شاغل در بخش خدمات و صنایع در نظر گرفته شده است لیکن برای حسابداران مالی، مدیران امور انرژی و صنعتگرانی که علاقه‌مند به کاهش هزینه‌های تولید هستند نیز مفید می‌باشد. هدف کتابچه این نیست که روش استاندارد را در مورد برآورد هزینه ارائه کند بلکه فقط بعضی ملاحظات اساسی را ارائه و کاربرد را به حسابداران هزینه‌ها واگذار می‌نماید.

در اکثر صنایع تولیدی، انرژی برق، بخار و هوای فشرده در تولید کالای نهایی ایفاء نقش می‌کنند. در عین آنکه آنها بطور معمول بعنوان سرویس‌های خدماتی کارخانه بیان می‌شوند، همگی فاکتورهای مهمی در فرایند تولید هستند.

از آنجائیکه انرژی الکتریسیته توسط شرکت برق، اندازه‌گیری شده و هزینه‌های آن مطالبه می‌شود لذا هزینه آن در مجموع معلوم است ولی ممکن است هزینه برق مربوط به قسمت‌های مجزای فرایند تولید بطور کامل معلوم نباشد.

هزینه هوای فشرده عمدتاً درون هزینه کلی مربوط به انرژی برق به حساب می‌آید. با وجود این بدان سبب که هوای فشرده یکی از سرویس‌های بسیار گران قیمت کارخانه می‌باشد، کنترل آن به کمک اندازه‌گیری مقدار تغذیه هوا در هر یک از بخش‌های تولیدی، از اهمیت بسزایی برخوردار است.

تعداد معدودی از شرکت‌ها می‌دانند که هزینه‌های مربوط به بخار تا چه میزان هستند، اما این موضوع باید یک بخش مهم در برآورد هزینه هر محصول باشد. اغلب این هزینه‌ها به عنوان هزینه‌های بالاسری غیرقابل اجتناب تولید در نظر گرفته می‌شوند.

بخاطر اینکه هزینه این سرویس‌ها در بعضی حالات بیش از ۵ درصد کل هزینه‌های تولید نیست، اغلب کم اهمیت فرض می‌شوند.

در بخش «ارزیابی صرفه جویی‌ها» نشان داده خواهد شد که هزینه بخار می‌تواند هزینه قابل توجه سوخت و پول را شامل شود.

اثرات کامل استفاده مناسب و با بازده بالا از سرویس‌های کارخانه در ارتباط با هزینه‌های تولید تنها وقتی بطور کامل نمایان می‌شود که هزینه مربوط به هر قسمت برای مدیریت سیستم معلوم باشد.

هزینه بخار

هزینه کلی

آنچه که در برآورد هزینه‌ها در نظر گرفته می‌شود باید بطور کامل با علت اصلی برآورد هزینه ارتباط داشته باشد. به عنوان مثال اگر منظور از برآورد هزینه آشنایی صنعتگران با هزینه‌های واقعی هر محصول باشد، باید هر هزینه مربوط به فرایند تولید و توزیع بخار، چه مستقیم و چه غیرمستقیم در نظر گرفته شود.

همچنین اگر واحد صنعتی به‌طور همزمان در حال فروش بخار به یکی از همسایگان خود نیز باشد، برآورد هزینه‌های کلی ضروری می‌شود. در این حالت هزینه‌های اجرایی و شاید هم منافع مربوطه افزوده شود. برخی راهنمایی‌ها در خصوص مواردی که باید در نظر گرفته شود به شرح زیر می‌باشند:

۱- سوخت

این هزینه مربوط به میزان سوختی است که در محل تخلیه می‌شود.

۲- سوخت‌رسانی

الف) سوخت جامد: این هزینه مربوط به هزینه‌های حمل و نقل، ذخیره‌سازی و رساندن سوخت به محل استفاده می‌باشد. همچنین هزینه جمع‌آوری و حمل و نقل خاکستر سوخت‌ها و همچنین اعتبار مربوط به فروش خاکسترها نیز در آن منظور می‌شود.

ب) سوخت مایع، در این هزینه باید هزینه مربوط به گرمایش و پمپاژ سوخت را نیز در نظر گرفت. هزینه گاز یا گاز مایع (LPG)^۱ که برای افروختن استفاده می‌شوند نیز باید در نظر گرفته شود.

ج) گاز: این هزینه باید شامل هر نوع هزینه مربوط به اندازه‌گیری، اضافه‌نرخها و غیره باشد که توسط تولیدکننده وضع می‌شود. در مواقعی گاز به شکل قابل انقطاع تغذیه می‌شود، ناچاراً یک روش احتراق آماده بکار^۲ (جنیی) مورد نیاز است و هرگونه هزینه نگهداری مربوط به این واحد نیز باید در هزینه‌ها منظور گردد.

۳- آب

این هزینه، تمام هزینه‌های مربوط به آب دیگ بخار را می‌پوشاند و بایستی به آن هزینه‌های تصفیه نیز اضافه شود. همچنین باید هزینه‌های وضع شده توسط مسئولین محلی جهت فاضلاب منظور شده و در صورت لزوم هزینه سردکردن آب تخلیه شده منظور گردد.

۴- بازیافت مایع حاصل از میعان

هر نوع هزینه مربوط به پمپاژ در رابطه با مایع برگشتی حاصل از میعان نیز باید در نظر گرفته شود اما بایستی مراقب بود که دوباره‌کاری صورت نگیرد.

برای مثال، بخار مورد استفاده برای کار یک پمپ اتوماتیک یا دریچه پمپ که معمولاً برای برگرداندن مایع حاصل از میعان بکار می‌رود، بدون تردید قبلاً در اندازه‌گیری بخار خروجی از دیگ بخار یا ورودی به بخش، اندازه‌گیری شده است.

۵ - برق

این مورد شامل کل هزینه برق مصرف شده در موتورخانه جهت روشنایی و یا توان مصرفی می‌باشد.

۶- تمیزکردن و جرم‌زدایی دیگ بخار

این هزینه گاهی اوقات به عنوان یک هزینه عمومی تعمیر و نگهداری در نظر گرفته می‌شود.

^۱ Liquefied petroleum gas

^۲ Standby

۷- لوازم یدکی و تعویض‌ها

۸- کارگران (دستمزد و حق بیمه)

۹- بیمه تأسیسات

بخاطر داشته باشید که هزینه‌های بازرسی را نیز در نظر بگیرید.

۱۰- استهلاک

نرخ استهلاک که باید برای یک دیگ بخار اتخاذ شود، به شرایط بستگی دارد و به بهترین صورت توسط حسابدار شرکت تشخیص داده می‌شود (شاید هم همراه با نظر مهندسین مشاور در مورد عمر پیش‌بینی شده تأسیسات).

۱۱- بهره سرمایه

۱۲- نظارت

این هزینه می‌تواند شامل قسمتی از مخارج پرسنل ناظر باشد که در هزینه‌های موتورخانه منظور نشده است.

۱۳- هزینه‌های اجرایی

بخشی از کل هزینه‌های اجرایی می‌تواند جهت موتورخانه تخصیص یابد.

هزینه‌های سوخت

چنانچه بتوان با استفاده بهتر از بخار به صرفه‌جویی دست یافت در اینصورت در هزینه‌های کلی سوخت صرفه‌جویی خواهد شد.

نمی‌توان گفت که کاهش تقاضا برای بخار به میزان ۲۰۰۰ واحد در ساعت (چه واحدها کیلوگرم و چه پوند باشند)، اثری بر روی هزینه‌های در نظر گرفته شده برای استهلاک تأسیسات دیگ بخار، حق بیمه تأسیسات، کارگران و غیره (که تمامی آنها هزینه‌های غیرمرتبط با میزان بخار تولیدی توسط تأسیسات هستند) دارد. بنابراین هزینه بخار باید براساس موارد ذیل بنا شود:

- هزینه‌های سوخت
- سوخت رسانی
- آب و تصفیه

البته، کاهش تقاضای بخار می‌تواند بر میزان تقاضای قدرت الکتریکی مورد نیاز پمپهای تغذیه دیگ بخار، احتراق و غیره تأثیر داشته‌باشد، لیکن برآورد میزان کاهش مشکل است و از طرف دیگر آنقدر کوچک است که می‌توان از آن صرف‌نظر نمود.

با قیمت‌های کنونی، هزینه‌های سوخت در تأسیسات متوسط، تقریباً ۸۰ تا ۸۵ درصد از مجموع هزینه‌های بخار را تشکیل می‌دهد. از اینرو ارزیابی صرفه‌جویی بر روی هزینه‌های سوخت، اغلب به‌تنهایی می‌تواند راهنمای مفید و

ساده‌ای در خصوص صرفه‌جویی کلی در هزینه که از طریق صرفه‌جویی بخار بدست می‌آید، باشد همانگونه که در صفحه قبل دیده شد، هزینه سوخت تنها جزئی از سیزده مؤلفه هزینه است.

اندازه‌گیری

محاسبه هزینه کلی بهره‌برداری از موتورخانه تنها هنگامی می‌تواند سودمند باشد که مقدار بخار تولید شده نیز معلوم باشد. از اینرو در مرحله نخست، اندازه‌گیری بخار خروجی از دیگ بخار ضروری است. نسبت کل هزینه بر مقدار بخار تولیدی، هزینه بر تن یا بر ۱۰۰۰ پوند را نتیجه می‌دهد. اما این موضوع تنها موقعی می‌تواند یک هدف جامع و مفید را برآورد که در مرحله دوم، بخار ورودی به هر بخش، یا استفاده‌کننده‌های عمده، اندازه‌گیری شود. آنچه مسلم است بین مقدار اندازه‌گیری شده بخار در تمام بخش‌ها و بخار تحویل شده از موتورخانه اختلاف وجود خواهد داشت. بدیهی است که این اختلاف بخاطر اتلافهای توزیع و خطا بر مقادیر قرائت شده از بخش‌ها می‌باشد که باید بطور مناسب اصلاح شوند. این اختلاف، می‌تواند معیاری سودمند برای اتلافهای توزیع نیز باشد. مثلاً یک افزایش ناگهانی در مقدار فوق می‌تواند نشانگر تخریب عایق‌بندی، نشت و یا خرابی دریچه‌های بخار باشد. به عنوان یک روش جایگزین برای اندازه‌گیری مستقیم بخار، با توجه به اینکه 1 kg (Ib) بخار چنانچه کاملاً میعان یابد، 1 kg (Ib) * آب را تشکیل می‌دهد، معمولاً عملی‌تر است که بجای مقدار بخار داده شده به یک واحد از کارخانه و یا یک بخش، مایع حاصل از میعان اندازه‌گیری شود.

ارزیابی صرفه‌جویی‌ها

یکی از معمولترین دلایل برای ارزیابی صرفه‌جویی بالقوه، توجیه صرف هزینه بر روی تجهیزات است. غالباً محاسبه مستقیم سوخت صرفه‌جویی شده بجای هزینه اصلی بخار می‌تواند ساده‌تر باشد. مثالی از این مورد در ذیل ارائه می‌شود.

محاسبه سوخت صرفه‌جویی شده

فرض کنید که در نظر است در هر ساعت، $1500 \text{ kg (3000 Ib)}$ مایع حاصل از میعان که در حال حاضر تخلیه شده و هدر می‌رود، بازیافت شود.

مقدار گرمای قابل بازیافت و دمای مایع حاصل از میعان که به مخزن تغذیه می‌رسد، وابسته به شرایط مکانی همچون حضور و بکارگیری صحیح فلاش بخار^۱، طول مسیر، بازده عایق‌بندی و دمای محیط می‌باشد. مایع حاصل از میعان مثلاً در دمای 90°C (200°F) به مخزن وارد می‌شود و در آنجا جایگزین آب اصلی با دمای 10°C (50°F) می‌گردد. پس با بازگرداندن مایع فوق:

$$1500 \times (90 - 10) \times 4 / 187 = \text{kg} / \text{h}$$

* مقادیر انگلیسی داده شده در داخل پرانتزها، تبدیل یافته واحدهای SI جلوی آنها نمی‌باشد.

¹ Flash Steam

(محتوای حرارتی 330 kJ/kg)

$$3000 \times (200 - 50) = 450000 \text{ Btu/h}$$

(محتوای حرارتی 150 Btu/lb)

حرارت بازیافت می شود (جدول ۱ ملاحظه شود)

البته اینکه این اعداد معادل چه مقدار سوخت می باشند بستگی به نوع سوخت و ارزش حرارتی آن، بازده حرارتی دیگ بخار و ساعات کاری دارد.

جدول ۱: صرفه جویی در سوخت توسط بازیافت مایع حاصل از میعان (واحدهای SI)

کیلوگرم بر ساعت	۱۵۰۰	مایع حاصل از میعان بازیافت شده
ساعت	۸۴۰۰	x تعداد ساعات در سال
کیلوگرم در سال	۱۲۶۰۰۰۰۰	= مایع حاصل از میعان بازیافت شده
کیلوژول بر کیلوگرم	۳۳	x محتوای حرارتی
کیلوژول بر سال	۴۱۵۸۰۰۰۰۰	= حرارت بازیافت شده
		x بازده دیگ بخار
	۱/۱۸	%۸۵
	✓۱/۲۵	%۸۰
	۱/۳۳	%۷۵
	۱/۴۳	%۷۰
کیلوژول بر سال	۵۱۹۷۵۰۰۰۰۰	= کل حرارت صرفه جویی شده

گاز	نفت	ذغال سنگ	
۱۰ ^۶ کیلوژول بر گیگازول	۲۲۶۰۰ کیلوژول بر کیلوگرم	- کیلوژول بر کیلوگرم	+ ارزش حرارتی سوخت
- گیگازول در سال	۱۲۲۰۰۰ کیلوگرم در سال	- کیلوگرم در سال	=
-	سنگین ۰/۹۷ کیلوگرم بر لیتر ✓	۱۰۰۰ کیلوگرم بر تن	+ -
-	متوسط ۰/۹۵ کیلوگرم بر لیتر		
-	سبک ۰/۹۳۵ کیلوگرم بر لیتر		
- گیگازول در سال	۱۲۶۰۰۰ لیتر در سال	- تن در سال	= سوخت صرفه جویی شده
قیمت بر گیگازول	۱۴/۴ پنس بر لیتر	- قیمت بر تن	x قیمت سوخت
-	۱۸۱۴۴ پوند	-	= ارزش سالانه
			سوخت صرفه جویی شده

جدول ۱: صرفه جویی در سوخت توسط باز یافت مایع حاصل از میعان (واحدهای انگلیسی)

مایع حاصل از میعان باز یافت شده	۳۰۰۰	پوند بر ساعت
x تعداد ساعات در سال	۸۴۰۰	ساعت
= مایع حاصل از میعان باز یافت شده	۲۵۲۰۰۰۰۰	پوند در سال
x محتوای حرارتی	۱۵۰	بی تی یو بر پوند
= حرارت باز یافت شده	۳۷۸۰۰۰۰۰۰	بی تی یو در سال
x بازده دیگ بخار	۵	۱/۱
	۸۰٪	۱/۲۵
	۷۵٪	۱/۳۳
	۷۰٪	۱/۴۳
= کل حرارت صرفه جویی شده	۲۷۲۵۰۰۰۰۰۰	بی تی یو در سال

گاز	نفت	ذغال سنگ	
۱۰ ^۵ بی تی یو بر واحد گرمایی	۱۸۳۰۰ بی تی یو بر پوند	- بی تی یو بر پوند	+ ارزش حرارتی سوخت
- واحد حرارتی در سال	۲۵۸۱۹۷ پوند در سال	- پوند در سال	=
-	سنگین ۹/۷ پوند بر گالن ✓	۲۲۴۰ پوند بر تن	+
-	توسط ۹/۵ پوند بر گالن		
-	سبک ۹/۳۵ پوند بر گالن		
- واحد حرارتی در سال	۲۶۶۱۸ گالن در سال	- تن در سال	= سوخت صرفه جویی شده
- قیمت بر واحد حرارتی	۶۵/۵ پنس بر گالن	- قیمت بر تن	x قیمت سوخت
-	۱۷۲۳۵ پوند	-	= ارزش سالانه
			سوخت صرفه جویی شده

فرض می شود که سوخت دیگ بخار، نفت سنگین با ارزش حرارتی 42600 kJ/kg (18300 Btu/lb) می باشد. بازده دیگ ۸۰٪ و تأسیسات، ۲۴ ساعت در روز، ۷ روز در هفته و ۵۰ هفته در سال یعنی در مجموع ۸۴۰۰ ساعت در سال، در حال کار است.

جدول ۱، مسیر محاسبات لازم جهت برآورد صرفه‌جویی‌های حاصله را نمایش می‌دهد. این بازیافت ساده مایع حاصل از میعان، مصرف سوخت را به میزان بیش از ۱۲۶۰۰۰ لیتر (۲۶۰۰۰ گالن) در سال تقلیل داده و در این صورت هزینه‌های بهره‌برداری را به میزان ۱۸۰۰۰ پوند در سال کاهش می‌دهد. آنچه که شاید بیشتر اهمیت دارد درک این موضوع است که تا زمان پیاده‌سازی کامل طرح فوق، این مقدار نفت و پول هر ساله به هدر می‌رود. همچنین ارزش آب صرفه‌جویی شده را نیز در نظر داشته باشید. ۱۲۶۰۰۰۰۰ کیلوگرم (۲۵۲۰۰۰۰۰ Ib) مایع بازگردانده شده، جایگزین ۱۲۶۰۰۰۰۰ لیتر (۲۵۲۰۰۰۰۰ گالن) آب اصلی می‌گردد که به ازای ۲۲ پنس برای هر ۱۰۰۰ لیتر (۱ پوند برای ۱۰۰۰ گالن)، صرفه‌جویی متجاوز از ۲۷۷۲ پوند (۲۵۲۰ پوند) بدست می‌آید که می‌توان صرفه‌جویی‌های بدست آمده در هزینه‌های تصفیه آب و عمل تخلیه را هم به آن افزود. محاسبه سوخت صرفه‌جویی شده در اثر کاهش تقاضای بخار، مقداری پیچیده‌تر می‌باشد چرا که میزان حرارت لازم دیگ بخار، به فشاری که در آن کار می‌کند و دمای آب تغذیه بستگی خواهد داشت.

محاسبه صرفه‌جویی در سوخت بر اثر کاهش تقاضای بخار

جدول ۲ پاسخ سریعی را برای این موضوع فراهم می‌کند. بعنوان مثال یک دیگ بخار در حال کار در فشار ۷ bar (۱۰۰ psi) با آب تغذیه در دمای $70^{\circ}C$ ($160^{\circ}F$)، به حرارتی در حدود 2476 kJ (1062 Btu) نیاز خواهد داشت تا یک کیلوگرم، یا یک پوند آن را به یک کیلوگرم، یا یک پوند بخار تبدیل کند. اکنون می‌توان از برگه محاسبات (جدول ۳) استفاده نمود. مثال زیر گزارشی از یک مورد نمونه می‌باشد.

برخی از مخازن کنترل نشده فرآیند نوسابه‌سازی در دمای $80^{\circ}C$ ($180^{\circ}F$) در حال کار هستند و حال آنکه می‌دانیم فرآیند فوق می‌تواند بطور مناسب در $65^{\circ}C$ ($150^{\circ}F$) نیز انجام گیرد.

استفاده از کنترل ساده دما بر روی مخازن فوق در حدود ۱۴۰۰ پوند هزینه خواهد داشت و برآورد می‌شود که تقاضای بخار را به میزانی در حدود 100 kg (250 Ib) در ساعت کاهش دهد.

مخازن، ۲۴ ساعت در روز، ۵ روز در هفته و ۵۰ هفته در سال مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین دیگ بخار در فشار ۸ bar (۱۲۰ psi) و با آب تغذیه با دمای $70^{\circ}C$ ($140^{\circ}F$) کار می‌کند.

جدول ۲: حرارت موردنیاز بر حسب کیلوژول برای تولید یک کیلوگرم بخار (واحدهای SI)

دمای آب تغذیه ($^{\circ}C$)									فشار بویلر (bar)
۱۵۰	۱۲۰	۱۰۰	۹۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۱۰	
۲۱۲۸	۲۲۵۴	۲۳۳۸	۲۳۸۰	۲۴۶۴	۲۵۰۵	۲۵۴۷	۲۵۸۹	۲۷۱۵	مثال
۲۱۲۵	۲۲۶۰	۲۳۳۴	۲۳۸۶	۲۴۷۰	۲۵۱۲	۲۵۵۴	۲۵۹۶	۲۷۲۲	
۲۱۲۰	۲۲۶۶	۲۳۵۰	۲۳۹۲	۲۴۷۶	۲۵۱۸	۲۵۶۰	۲۶۰۱	۲۷۲۷	
۲۱۲۵	۲۲۷۱	۲۳۵۵	۲۳۹۷	۲۴۸۱	۲۵۲۳	۲۵۶۴	۲۶۰۶	۲۷۳۲	
۲۱۵۰	۲۲۷۵	۲۳۵۹	۲۴۰۱	۲۴۸۵	۲۵۲۷	۲۵۶۹	۲۶۱۰	۲۷۳۶	
۲۱۵۶	۲۲۸۲	۲۳۶۶	۲۴۰۸	۲۴۹۱	۲۵۳۳	۲۵۷۵	۲۶۱۷	۲۷۳۳	
۲۱۶۴	۲۲۸۹	۲۳۷۳	۲۴۱۵	۲۴۹۹	۲۵۴۱	۲۵۸۳	۲۶۲۵	۲۷۵۰	

جدول ۲: حرارت موردنیاز بر حسب واحدهای حرارتی انگلیسی برای تولید یک پوند بخار (واحدهای انگلیسی)

دمای آب تغذیه (°f)									فشار بویلر (Psi)
۳۰۰	۲۵۰	۲۱۲	۲۰۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۰۰	۵۰	
۹۱۹	۹۶۹	۱۰۰۷	۱۰۱۹	۱۰۵۹	۱۰۷۹	۱۰۹۹	۱۱۱۹	۱۱۶۹	۸۰
۹۲۱	۹۷۱	۱۰۰۹	۱۰۲۱	۱۰۶۱	۱۰۸۱	۱۱۰۱	۱۱۲۱	۱۱۷۱	۹۰
۹۲۲	۹۷۲	۱۰۱۰	۱۰۲۲	۱۰۶۲	۱۰۳۲	۱۱۰۲	۱۱۲۲	۱۱۷۲	۱۰۰
۹۲۵	۹۷۵	۱۰۱۳	۱۰۲۵	۱۰۶۵	۱۰۸۵	۱۱۰۵	۱۱۲۵	۱۱۷۵	۱۲۰
۹۲۷	۹۷۷	۱۰۱۷	۱۰۲۹	۱۰۶۹	۱۰۸۹	۱۱۰۹	۱۱۲۹	۱۱۷۹	۱۵۰
۹۳۲	۹۸۲	۱۰۲۰	۱۰۳۲	۱۰۷۲	۱۰۹۲	۱۱۱۲	۱۱۳۲	۱۱۸۲	۲۰۰

مثال

با مراجعه به جدول ۲ دیده می‌شود که حرارت مورد نیاز 2523 kJ/kg (1085 Btu/lb) بخار است. با تکمیل برگه محاسبات در جدول ۳ دیده می‌شود که استفاده از کنترل ترموستاتی به منظور کاهش و تثبیت دمای نوشابه در 65°C (150°F)، سالانه در حدود 49000 لیتر (12000 گالن) در مصرف نفت صرفه‌جویی به همراه دارد. با توجه به قیمت‌های فعلی $14/4$ پنس در لیتر ($65/5$ پنی در گالن) سوخت صرفه‌جویی پولی در حدود 7056 پوند (7990 پوند) را نمایش می‌دهد که بوضوح دیده می‌شود هزینه کنترل در زمان بسیار کوتاهی باز می‌گردد.

جدول ۳: صرفه‌جویی در سوخت در اثر کاهش در تقاضای بخار (واحدهای SI)

کیلوژول بر کیلوگرم	۲۵۲۳	حرارت ورودی (جدول ۲ را ببینید)
کیلوگرم بر ساعت	۱۰۰	x مقدار بخار بر ساعت
کیلوژول بر ساعت	۲۵۲۳۰۰	= کل حرارت ورودی
		x بازده دیگ بخار
	۱/۱۸	%۸۵
	۱/۲۵	%۸۰
	۱/۳۳	%۷۵
	۱/۴۳	%۷۰
کیلوژول بر ساعت	۳۳۵۶۰۰	= حرارت صرفه‌جویی شده
ساعت	۶۰۰۰	x تعداد ساعات سال
کیلوژول بر سال	۲۰۱۳۶۰۰۰۰	= حرارت صرفه‌جویی شده

گاز	نفت	ذغال سنگ	
10^6 کیلوژول بر گیگازول	۲۲۶۰۰ کیلوژول بر کیلوگرم	- کیلوژول بر کیلوگرم	+ ارزش حرارتی سوخت
- گیگازول در سال	۲۷۳۰۰ کیلوگرم در سال	- کیلوگرم در سال	=
-	سنگین 0.97 کیلوگرم بر لیتر ✓	۱۰۰۰ کیلوگرم بر تن	+
-	متوسط 0.95 کیلوگرم بر لیتر		
-	سبک 0.935 کیلوگرم بر لیتر		
- گیگازول در سال	۴۹۰۰۰ لیتر در سال	- تن در سال	= سوخت صرفه‌جویی شده
- قیمت بر گیگازول	۱۴/۴ پنس بر لیتر	- قیمت بر تن	x قیمت سوخت
-	۷۰۵۶ پوند	-	= ارزش سالانه
			سوخت صرفه‌جویی شده

جدول ۳: صرفه‌جویی در سوخت در اثر کاهش در تقاضای بخار (واحدهای انگلیسی)

حرارت ورودی (جدول ۲ را ببینید)	۱۰۸۵	بی‌تی‌یو بر پوند
x مقدار بخار بر ساعت	۲۵۰	پوند بر ساعت
= کل حرارت ورودی	۲۷۱۲۵۰	بی‌تی‌یو بر ساعت
x بازده دیگ بخار	۷۵٪	۱/۱۸
	۸۰٪	۱/۲۵
	۷۵٪	۱/۳۳
	۷۷٪	۱/۲۲
= حرارت صرفه‌جویی شده	۳۶۰۷۶۰	بی‌تی‌یو بر ساعت
x تعداد ساعات در سال	۶۰۰۰	ساعت
= حرارت صرفه‌جویی شده	۲۱۶۵۰۰۰۰۰	کیلوژول بر سال

گاز	نفت	ذغال سنگ	
۱۰ ^۵ بی‌تی‌یو بر واحد حرارتی	۱۸۳۰۰ بی‌تی‌یو بر پوند	- بی‌تی‌یو بر پوند	+ ارزش حرارتی سوخت
- واحد حرارتی در سال	۱۱۸۳۰۰ پوند در سال	- پوند در سال	=
-	سنگین ۹/۷ پوند بر گالن ✓	۲۲۴۰ پوند بر تن	+
-	متوسط ۹/۵ پوند بر گالن		
-	سبک ۹/۳۵ پوند بر گالن		
- واحد حرارتی در سال	۱۲۲۰۰ گالن در سال	- تن در سال	= سوخت صرفه‌جویی شده
- قیمت بر واحد حرارتی	۶۵/۵ پنی بر گالن	- قیمت بر تن	x قیمت سوخت
-	۷۹۹۰ پوند	-	= ارزش سالانه
			= سوخت صرفه‌جویی شده

برای کامل‌تر کردن برگه‌های محاسباتی، اطلاعات زیر ممکن است مفید باشند.

جدول ۴: ارزش حرارتی سوخت‌های مختلف

ذغال سنگ*

۱۴۰۰۰ Btu/lb	= ۳۲۰۰۰ kJ/kg	ذغال سنگ خشک:
۱۳۰۰۰ Btu/lb	= ۳۰۰۰۰ kJ/kg	ذغال سنگ قیری مرغوب:
۱۲۰۰۰ Btu/lb	= ۲۸۰۰۰ kJ/kg	ذغال سنگ صنعتی مرغوب:
۹۰۰۰ Btu/lb	= ۲۱۰۰۰ kJ/kg	ذغال سنگ صنعتی نامرغوب:

وزن مخصوص در دمای (۶۰°F) ۱۵/۵°C	ارزش حرارتی ناخالص (Btu/lb) kJ/kg	ویسکوزیته** (Redwood یک ثانیه)	نفت
۰/۸۳۵	۴۵۶۰۰ (۱۹۶۰۰)	۳۵	نفت گاز
۰/۹۳۵	۴۳۵۰۰ (۱۸۷۰۰)	۲۰۰/۲۲۰	نفت سبک
۰/۹۵۰	۴۳۰۰۰ (۱۸۵۰۰)	۹۵۰	نفت متوسط
۰/۹۷۰	۴۲۶۰۰ (۱۸۳۰۰)	۳۵۰۰	نفت سنگین

گاز

$$۱۰۰۰۰۰ \text{ Btu} = ۱۰۵۵۰۰ \text{ KJ} = ۱۰۵/۵ \text{ Mj} = ۰/۱۰۵۵ \text{ Gj}$$

برای یک واحد حرارتی

* ارزش حرارتی ذغال سنگ به طور قابل ملاحظه‌ای بر حسب نوع، مرغوبیت و منبع تهیه آن فرق می‌کند و بنابراین جداول بالا، بیشتر برای راهنمایی هستند.

** برای واحد ویسکوزیته سینتیک اسم مشخص هنوز در سطح بین‌المللی مورد توافق قرار نگرفته است. واحد بین‌المللی کنونی که استفاده می‌شود Centistoke می‌باشد در جدول بالا، هر Redwood یک ثانیه در دمای $f 100^\circ$ معادل واحد Centistoke به صورت زیر است:

$$35 \text{ s} = 3/7 \text{ cst}$$

$$950 \text{ s} = 234 \text{ CSt}$$

$$200/220 \text{ s} = 49/54 \text{ cst}$$

$$3500 \text{ s} = 862 \text{ CSt}$$

و یک Centistoke برابر است با 10^{-6} متر مربع بر ثانیه.

برای افرادی که اعداد آماده و قابل دسترس برای بازده دیگ بخار یا دمای آب تغذیه خود را ندارند، یک ارزیابی سریع و تقریبی از صرفه‌جویی در هزینه در اثر کاهش تقاضا برای بخار می‌تواند با استفاده از برگه محاسبات جدول ۵ تهیه شود.

این جدول بر این فرض متکی است که تحت شرایط متوسط کار:

۸Kg (۸Ib) بخار از ۱kg (۱Ib) ذغال سنگ تولید خواهد شد.

۱۴Kg (۱۴۰Ib) بخار از ۱ لیتر (۱ گالن) نفت تولید خواهد شد.

۳۴۰Kg (۸۰Ib) بخار از ۱Gi (یک واحد حرارتی) گاز تولید خواهد شد.

میزان سوخت = (قیمت بر تن) × (میزان ذغال سنگ (تن بر سال)) ÷ ۱۰۰۰ = (۲۲۴۰)	تعداد ساعات سال	میزان ذغال سنگ (کیلوگرم بر ساعت) × (پوند بر ساعت)	میزان ذغال سنگ (کیلوگرم بر ساعت) ÷ ۸ = (پوند بر ساعت)	میزان بخار بر ساعت	ذغال سنگ
میزان سوخت = (قیمت بر لیتر یا گالن) × (میزان نفت (لیتر در سال)) ÷ ۱۴ = (۱۴۰)	تعداد ساعات سال	میزان نفت (لیتر بر ساعت) × (گالن بر ساعت)	میزان نفت (لیتر بر ساعت) ÷ ۱۴ = (پوند بر ساعت)	میزان بخار بر ساعت	نفت
میزان سوخت = (قیمت بر گیگازول یا واحد حرارتی) × (میزان گاز (گیگازول بر سال)) ÷ ۳۲۰ = (۸۰)	تعداد ساعات سال	میزان گاز (واحد حرارتی بر ساعت) × (گیگازول بر ساعت)	میزان گاز (واحد حرارتی بر ساعت) ÷ ۳۲۰ = (پوند بر ساعت)	میزان بخار بر ساعت	گاز

جدول ۵: صرفه‌جویی در سوخت توسط کاهش تقاضای بخار-روش تقریبی

میزان سوخت = صرفه جویی شده در سال	قیمت زغال سنگ (قیمت بر تن) × (تن بر سال) = ۱۰۰۰ ÷ (۲۲۴۰)	میزان زغال سنگ (کیلوگرم بر ساعت) × (پوند بر ساعت)	تعداد ساعات سال	میزان زغال سنگ (کیلوگرم بر ساعت) × (پوند بر ساعت)	میزان بخار بر ساعت (کیلوگرم بر ساعت) ÷ (پوند بر ساعت)	زغال سنگ
میزان سوخت = صرفه جویی شده در سال	قیمت نفت (قیمت بر لیتر یا گالن) × (لیتر در سال) (گالن بر سال)	میزان نفت (لیتر بر ساعت) × (گالن بر ساعت)	تعداد ساعات سال	میزان نفت (لیتر بر ساعت) × (گالن بر ساعت)	میزان بخار بر ساعت (کیلوگرم بر ساعت) ÷ (پوند بر ساعت)	نفت
۴۱۷۶ پوند = (۲۲۱۷ پوند)	۱۴/۴ پنس × (۶۴۳۰)	۲۹ × (۶/۴۳)	۱۰۰۰	۲۹ × (۶/۴۳)	۴۰۰ ÷ (۱۴۰)	
میزان سوخت = صرفه جویی شده در سال	قیمت گاز (قیمت بر گیگاژول یا واحد حرارتی) × (گیگاژول بر سال) (واحد حرارتی)	میزان گاز (واحد حرارتی) × (بر ساعت) (گیگاژول بر ساعت)	تعداد ساعات سال	میزان گاز (واحد حرارتی) × (بر ساعت) (گیگاژول بر ساعت)	میزان بخار بر ساعت (کیلوگرم بر ساعت) ÷ (پوند بر ساعت)	گاز

جدول ۶: صرفه جویی در سوخت توسط کاهش تقاضای بخار- روش تقریبی

در جدول ۶، مثالی با استفاده از روش تقریبی ارائه شده است.

تأسیسات خشک کننده ای که از هوای گرم استفاده می کند، تقاضای بخاری برابر با 400 kg/h (900 lb/h) دارد لیکن با توجه به تولید در تمام روز (۸ ساعت) تنها به میزان ۵۰ درصد بارگذاری می شود. به دلایل اقتصادی، تصمیم گرفته می شود که تأسیسات برای ۴ ساعت در روز کاملاً بارگذاری شده و برای ۴ ساعت باقیمانده تعطیل شود و بنابراین در ساعت 400 kg (900 lb/h) بخار در طول یک مدت ۴ ساعته، ۵ روز در هفته و ۵۰ هفته در سال (۱۰۰۰ ساعت در سال) صرفه جویی می شود.

خلاصه سریعی از مواردی که باید بررسی شوند

نظارت بر بخار

آیا بخار استفاده شده توسط هر قسمت اندازه گیری می شود؟

آیا بر روی مقدار بخار مصرف شده توسط هر قسمت بازرسی منظمی انجام می گیرد؟

توزیع بخار

آیا اندازه لوله های اصلی بخار مناسب است؟ آیا بطور مناسب قرار گرفته اند؟ آیا بطور مناسب تخلیه شده اند؟ آیا

هوا بطور مناسب تخلیه شده است؟

آیا پیش بینی کافی برای توسعه انجام گرفته است؟

آیا جداسازها می توانند برای افزایش کیفیت بخار استفاده شوند؟
آیا نشتی در اتصالات آببندی وجود دارد؟ در شیرها و شیرهای اطمینان چطور؟
آیا کلیه لوله‌ها، فلانچ‌ها و شیرهای بخار عایق‌بندی شده‌اند؟
آیا لوله‌کشی اضافی بخار را می توان مسدود یا حذف نمود؟

روش‌های فرآیند

آیا پیش از خشک کردن با گرما، حذف رطوبت بصورت مکانیکی به شکل مؤثر انجام گرفته است؟
آیا در صورت عملی بودن، پیش از فرآیند ماده، توسط حرارت هدر رفته پیش گرم می شود؟
آیا سطوح بدون پوشش تأسیسات فرآیند را می توان عایق‌بندی نمود؟
آیا به جریان‌های هوا اجازه داده می شود تا اتاق‌های داغ یا سطوح گرم شده را خنک کنند؟
آیا تأسیسات فرآیند در زمان بیکاری و عدم نیاز به گرما، حتی المقدور بارگذاری شود؟
در خشک‌کن‌های هوای داغ، آیا برای حداکثر استفاده، از هوای داغ استفاده مجدد می شود؟
آیا دماهای فرآیند کنترل می شوند؟
آیا فشارهای بخار فرآیند بالاتر از مقدار لازم می باشد؟
در مواقعی که مایعات بوسیله تزریق مستقیم بخار گرمادهی می شوند، آیا فشار بخار تا حد امکان پایین است؟
آیا بخار تا حد امکان به صورت خشک به تأسیسات فرآیند تحویل داده می شود؟
آیا بارهای اوج غیرقابل اجتناب هستند و اگر اینطور هست آیا به موتورخانه، اخطار کافی داده شده است؟
آیا فرآیندهای اوج مصرف می توانند مرحله‌بندی شوند؟

انتقال مایع حاصل از میعان و هوا

آیا برای هر کاربرد، نوع مناسب دریچه بخار استفاده شده است؟ آیا بطور صحیح نصب شده و بطور منظم تعمیر و نگهداری می شود؟
آیا هر دریچه مجهز به یک صافی محافظت و یک شیشه رؤیت‌کننده می باشد؟
آیا شیرهای یکطرفه برای موارد لزوم بع از دریچه‌ها نصب شده‌اند؟ خصوصاً اگر مایع حاصل از میعان مستقیماً به مسیر برگشت پرفشار ارسال می شود.
آیا مسیرهای جانبی تنها برای شرایط ضروری در اطراف دریچه‌ها قرار گرفته‌اند و آیا به طور صحیح مورد استفاده قرار می گیرند؟
آیا دریچه‌هایی که می توانند در اثر یخزدگی آسیب ببینند، در مواقعی که در محل‌های بدون حفاظ قرار می گیرند، عایق‌بندی شده‌اند؟
آیا هر فضای بخار بطور مناسب برای حداکثر خروجی و گرمادهی یکنواخت، تهویه شده است؟

در جایی که مایع حاصل از میعان مستقیماً از دریچه‌های بخار گرفته می‌شود، آیا امکان جریان یافتن خروجی توسط تخلیهٔ ثقلی به یک دریافت‌کننده و انتقال با یک پمپ وجود دارد؟

بازیافت فلاش بخار، مایع حاصل از میعان و حرارت هدر رفته

آیا تخلیهٔ فلاش بخار مجاز است؟

آیا از گرمای آن می‌توان در تأسیسات کم‌فشار برای پیش‌گرمایش مواد سرد، گرمایش آب و یا برگشت به

منبع تغذیه دیگ بخار استفاده نمود؟

آیا مایع حاصل از میعان بی‌جهت هدر می‌رود؟

آیا سیستم‌های برگرداندن مایع حاصل از میعان و مخازن تغذیه عایق‌بندی شده‌اند؟

آیا حرارت از تخلیه دیگ بخار بازیافت می‌شود؟

آیا گرما می‌تواند بوسیلهٔ مبدل حرارتی از مایعات داغ و یا حاصل از میعان آلوده بازیافت شود؟