



وزارت صنعت، معدن و تجارت
دفتر امور بهداشت، ایمنی، محیط زیست و انرژی

راهنمای مدیریت انرژی حرارتی

Manual of Thermal Energy Management

تدوین و گردآوری:

دفتر امور بهداشت، ایمنی، محیط زیست و انرژی

وزارت صنعت، معدن و تجارت

ویرایش اول - تیر ۱۳۹۶

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	مقدمه
۱.....	افزایش بهره وری انرژی حرارتی در کوره ها و سیستم بخار و آب گرم
۶.....	ممیزی های دوره ای انرژی
۶.....	تعیین و ارزیابی شاخص های عملکردی انرژی
۷.....	پیوست: توضیحات مرتبط با برخی اقدامات و راهکارها

پیشگفتار

انرژی در اقتصاد صنعتی جوامع، نقش زیربنائی را ایفا می‌کند، به این معنا که هرگاه انرژی به مقدار کافی و به موقع در دسترس باشد توسعه اقتصادی نیز میسر خواهد بود. خوشبختانه ایران از نظر دارا بودن منابع و ذخایر متنوع انرژی از ثروتمندترین کشورهای جهان به حساب می‌آید. این منابع در کشور ما با قیمت‌هایی به مراتب نازل‌تر از سایر کشورها و با سهولت بیشتری به مصرف‌کننده عرضه می‌شود. متأسفانه میزان مصرف و اتلاف انرژی در کشور ما به مراتب بالاتر از کشورهای صنعتی است و این وضعیت مصرف انرژی در کشور، با اصول مربوط به ارتقاء بهره‌وری و بازدهی انرژی در جهان، مغایرت دارد. این روند مصرف قطعاً منجر به بروز مشکلات زیست محیطی و چالش‌های اساسی در تولید، بهره‌وری و رشد اقتصادی خواهد داشت. در راستای افزایش بهره‌وری، مدیریت و مصرف بهینه انرژی در بخش صنعت، معدن و تجارت، مجموعه دستورالعمل‌ها و راهنماهای زیر تهیه شده است. راهنمای حاضر راهنمای مدیریت انرژی حرارتی از مجموعه ۸ گانه مذکور می‌باشد

مجموعه دستورالعمل‌ها و راهنماهای حوزه انرژی

دستورالعمل مدیریت سبز	دستورالعمل ممیزی عبوری انرژی
راهنمای مدیریت انرژی حرارتی	راهنمای مدیریت انرژی الکتریکی
راهنمای انرژی خورشیدی	راهنمایی استفاده از انرژی زمین گرمایی
ارزیابی اقتصادی سیستم‌های انرژی	راهنمای سیستم مدیریت انرژی
تجدید پذیر	

رسول یاراحمدی

مدیرکل دفتر امور بهداشت، ایمنی، محیط زیست و انرژی

مقدمه

کنترل شرایط بهره برداری و عملیاتی سیستم تولید و تبدیل (دیگ‌های بخار و ...)، توزیع (خطوط انتقال حرارت) و نقاط مصرف یا تجهیزات مصرف کننده انرژی حرارتی نقشی مهم در کاهش تلفات و تقاضای انرژی حرارتی خواهند داشت.

مدیریت همزمان سیستم تولید و تبدیل انرژی حرارتی و سیستم‌های مصرف کننده انرژی در یک فرآیند منجر به بهره‌برداری سیستم تولید و مصرف در شرایط بهینه و در نتیجه افزایش بهره‌وری انرژی در فرآیند خواهد شد. لذا در نظر گرفتن نکات فوق و انجام اقدامات مرتبط با آن روشی موثر برای مدیریت انرژی حرارتی در یک فرآیند محسوب می‌شود.

افزایش بهره‌وری انرژی حرارتی در کوره‌ها و سیستم بخار و آب گرم

کوره‌ها و بویلرها مهمترین سیستم‌های مصرف سوخت و تولید و تبدیل حامل‌های انرژی حرارتی محسوب می‌شوند از رویکردهای مهم برای به حداقل رساندن مصرف سوخت و کاهش هزینه‌های انرژی در سیستم می‌توان موارد زیر را بر شمرد:

کاهش بار حرارتی بویلر

کلیه اقدامات کنترلی که بمنظور کاهش تلفات در سیستم‌های انتقال، توزیع و مصرف بخار یا آب گرم مورد استفاده قرار می‌گیرد نقش و سهمی موثر در کاهش

تقاضای انرژی حرارتی و کاهش بار حرارتی سیستم های تولید خواهد داشت. از مهمترین راهکارهایی که عمدتاً کم هزینه نیز بوده و می بایست در این بخش مدنظر قرار گیرند عبارتند از:

- بررسی دوره‌ای و اصلاح عایق کاری:
 - خطوط بخار و خطوط توزیع آن
 - خطوط جمع آوری و برگشت کنندانس
 - سطوح مبدل‌های حرارتی
 - سطوح دیگ بخار و کوره
- رفع نشتی های خطوط بخار
- تعمیر و تعویض تله های بخار معیوب
- بازیافت و برگرداندن کنندانس
- کنترل و کاهش بلودان بویلرها
- افزایش کیفیت آب تغذیه و آب جیرانی دیگ بخار
- ترمیم نشتی های کنندانس
- قطع جریان Steam Tracing در فصول گرم سال
- خاموش کردن بویلرها در زمان های طولانی غیر کارکردی

- کنترل و کاهش زمان آماده بکار گرم در کوره ها و بویلر ها
- کاهش تلفات بخار flash
- حذف سیستم پیلوت پیوسته و جایگزینی آن با سیستم الکترونیکی

🔧 شناسایی پتانسیل های بازیافت و استفاده از تجهیزات بازیافت حرارت

تعیین و به کارگیری پتانسیل های بازیافت حرارت در واحد، علاوه بر امکان کاهش نیاز به انرژی حرارتی و کاهش مصرف سوخت در برخی از موارد منجر به کاهش بار سرمایه‌اشی (کاهش مصرف آب خنک کن یا کاهش بار مبدل های خنک کننده هوایی) در فرآیند نیز می گردد. برخی از راهکارها که در این بخش می بایست در نظر گرفته شوند عبارتند از:

- استفاده هر چه بهتر و بیشتر از بخار flash
- بهره گیری از اکونومایزر برای پیش گرم کردن آب تغذیه و آب جبرانی
- پیش گرم کردن هوای احتراق در Recuperator (استفاده از انرژی حرارتی گازهای دودکش)
- استفاده از تلفات حرارتی آب بلودان
- استفاده از حرارت گازهای خروجی از دودکش بمنظور تامین سایر نیازهای حرارتی سازمان یا واحد.

- استفاده از تلفات حرارتی سایر بخشها در پیش گرم کردن آب جبرانی یا تغذیه بویلر
- نصب سیستم بازیافت حرارت بر روی زباله سوز یا کوره
- نصب سیستم باز یافت حرارتی چگالشی

🔧 بهبود راندمان بویلر و کوره

مهمترین مواردی که می تواند برای کنترل و بهبود راندمان عملیاتی سیستم تولید بخار در نظر گرفته شود عبارتند از:

- کاهش درصد هوای اضافی
- تامین هوای لازم برای احتراق کامل
- نصب سیستم کنترل هوای اضافی و کنترل CO
- بهینه سازی بار بین بویلرها در سیستم های چند بویلری
- خاموش کردن بویلرهای غیر ضروری
- نصب بویلرهای کوچک برای بارهای جزئی فصلی (مانند تابستان)
- نصب مشعل های با درصد هوای اضافی کم
- تعمیر و تعویض بموقع مشعل ها
- نصب تجهیزات تولید اغتشاش در جریان گاز در بویلرها
- تمیز کاری بموقع سطوح حرارتی و رسوب زدایی

- بهبود کیفیت آب جبرانی و تغذیه بویلر برای کاهش تولید رسوب
- تبدیل بویلر مکش طبیعی به بویلر مکش اجباری

کاهش هزینه سوخت:

یکی از روشهای مدیریت انرژی حرارتی، کاهش هزینه انرژی از طریق روشهای زیر می باشد:

- جایگزینی سوخت مناسب
- امکان سنجی استفاده از پمپ حرارتی

سایر راهکارها:

علاوه بر راهکارهای ذکر شده در بالا، سایر روشهای قابل اعمال نیز می بایست مورد بررسی قرار گیرند. برخی از این راهکارها منجر به بهبود عملکرد سیستم تولید و تبدیل انرژی حرارتی شده و همزمان بر روی کاهش مصرف انرژی الکتریکی نیز اثر مثبت می گذارند.

- پاکیزه نگهداشتن سطوح انتقال حرارت
- کنترل نفوذ هوا به داخل دیگ بخار
- استفاده از دور متغیر در پمپ آب تغذیه
- استفاده از دور متغیر در فن بویلر
- استفاده از موتور و پمپ با راندمان بالا برای آب تغذیه و کندانس برگشتی

- استفاده از موتور و دمنده با راندمان بالا برای هوا
- حصول اطمینان از عدم وجود نشتی هوا یا محصولات احتراق بین محفظه احتراق و محیط
- اطمینان از عملکرد صحیح مشعل

ممیزی های دوره ای انرژی

بمنظور کنترل شرایط عملیاتی مرتبط با موارد اشاره شده در بالا، تهیه چک لیست و انجام ممیزی های دوره ای از سیستم تبدیل، تولید، انتقال و مصرف انرژی حرارتی امری ضروری خواهد بود.

تعیین و ارزیابی شاخص های عملکردی انرژی

یکی از ابزارهای مدیریت انرژی جهت کنترل شرایط عملیاتی، تعیین پتانسیلهای بهبود و کاهش تلفات انرژی و همچنین ارزیابی اثربخشی اقدامات انجام شده بر اساس شاخصهای عملکردی انرژی در واحد می باشد. برای این منظور، تعیین و تحلیل شاخص مصرف ویژه انرژی حرارتی و کل به ازای سطوح فعالیت در هر بخش یا واحد از سازمان و همچنین تعیین و تحلیل شاخصهای عملکردی برای تجهیزات عمده مصرف کننده/ تولید کننده انرژی مهم می باشد. در این راستا همچنین لازم است هدفگذاری مناسب برای شاخصهای مذکور به ازای سطح فعالیت نیز اعمال گردد.

پیوست: توضیحات مرتبط با برخی اقدامات و راهکارها

کنترل کیفیت آب

حفظ و کنترل کیفیت آب مصرفی در دیگهای بخار عاملی موثر در افزایش راندمان و طول عمر این تجهیز می باشد. عدم کنترل کیفیت آب منجر به افزایش رسوب گذاری روی سطوح انتقال حرارت و بروز خوردگی می گردد. ترسیب بدلیل وجود املاح کلسیم، منیزیم و سیلیکا منجر به افزایش ضخامت لایه رسوبی می شود و بالا رفتن دمای لوله های دیگ و ترکیدگی لوله ها را بدنبال داشته و می تواند راندمان دیگ بخار را تا ۱۰٪ کاهش دهد. علاوه بر املاح فوق، کنترل دی اکسید کربن، اکسیژن محلول، مواد معلق جامد و pH آب نقشی مهم در کنترل کیفیت آب خواهد داشت.

احتراق

هوای اضافی

احتراق کامل سوخت نیازمند هوای بیش از حد تئوری میباشد. اثر نامطلوب افزایش هوای اضافی نیز افت بازدهی کوره خواهد بود. بنابراین پایش و کنترل مستمر هوای اضافی (بمنظور کاهش درصد هوای اضافی و تامین هوای لازم برای احتراق کامل) از طریق نصب سیستم کنترل هوای اضافی و کنترل CO، نصب مشعل های با درصد هوای اضافی کم و حصول اطمینان از عدم وجود نشتی هوا یا

محصولات احتراق بین کوره یا بویلر و محیط (نظیر: کنترل نقاط اندازه گیری هوای اضافی، دریچه های دسترسی به محفظه احتراق و سایر نقاط دارای پتانسیل نشت که این امر از طریق مشاهده چشمی و یا استفاده از ترموگراف و پیرومتر و ... قابل انجام خواهد بود) نقشی موثر در ارتقاء بازدهی کوره یا دیگهای بخار خواهد داشت.

○ دمای هوای احتراق

تغییر دمای هوای احتراق منجر به تغییر درصد هوای اضافی (بدلیل تغییر دانسیته) می گردد لذا می تواند شدیداً بازدهی دیگ بخار را تحت تأثیر قرار دهد. از این رو با تغییر دمای فصلی لازم است تنظیم اولیه هوای اضافی بویلر مجدداً انجام شود. در صورت عدم تجهیز کوره به آنالیزور اکسیژن، علایمی نظیر رنگ شعله و یا صدای کوره نیز می تواند بیانگر تنظیم یا عدم تنظیم کوره باشد.

○ نوع سیستم احتراق

عملکرد اجزاء مختلف سیستم احتراق می بایست به نحو صحیح کنترل شود. برای این منظور باید:

- نسبت سوخت به هوا به تناسب بار تنظیم گردد

- آرایش و چیدمان مشعل ها در دیگهای بخار چند مشعلی باید به گونه ای باشد که استفاده همزمان از کلیه مشعل ها به حداقل برسد.
- صحت عملکرد و دستورپذیری دمنده‌های هوا از سیستمهای کامپیوتری بصورت روزانه مورد بررسی قرار گیرد.
- عملکرد شیرآلات کنترل و تنظیم جریان گاز و فشار نازل گاز بصورت مرتب بررسی شود. نوسان فشار گاز منجر به احتراق ناقص و کاهش راندمان احتراق خواهد شد
- علاوه بر موارد فوق برای سیستمهای با سوخت مایع نظیر نفت گاز یا مازوت نیز می بایست موارد زیر لحاظ شود:
 - تمیز کردن نازل مشعلهای سوخت مایع جهت دستیابی به بازدهی بیشتر. هرگونه تغییر در رنگ شعله و یا شکل آن میتواند در اثر تجمع دوده در نوک نازل باشد که میبایست نسبت به پاک سازی آن اقدام شود.
 - فشار سوخت ارسالی به مشعل تثبیت شود فشار متغیر سوخت مایع ارسالی به نازل منجر به کاهش بازدهی، احتراق ناقص وتشکیل دوده میگردد.

۳-۵ تجهیزات جانبی

از جمله تجهیزات جانبی دیگهای بخار می‌توان فن‌ها، پمپ‌های تغذیه آب، موتورها و توربین‌ها، محرکه‌های الکترونیکی موتور، وسایل نگهداری مواد و دمنده‌های دوده را نام برد.

○ فن‌ها

کنترل دبی و فشار هوا یا گاز عبوری از فن‌های نوع FD (دمنده) یا ID (مکنده) معمولاً به یکی از روشهای زیر انجام می‌شود:

- کنترل دور یا سرعت متغیر
- کنترل پره‌های ورودی
- کنترل دمپر ورودی

روشهای مذکور به ترتیب کاهش کارایی ذکر شده‌اند. برای موتورهای تک سرعت یا دو سرعت معمولاً کنترل جریان هوا یا محصولات احتراق توسط کنترل دمپر ورودی و یا تغییر وضعیت پره‌ها انجام می‌شود کنترل جریان هوا توسط تغییر زاویه‌های پره‌ها نرمتر از کنترل توسط زاویه دمپر انجام میشود. کنترل دور، بازدهی بیشتری نسبت به سایر روشها دارد. بخصوص در مواردیکه از فن برای مدت زمان زیاد و بدفعات در بارهای کم استفاده شود.

نگهداری و تعمیر مناسب و بموقع فن‌ها می‌تواند در بهبود راندمان انرژی سیستم موثر واقع شود. قرار گرفتن گردو غبار روی سطوح پره، تغییر مشخصه کاری فن و کاهش کارایی آن را به همراه خواهد داشت. از این رو بازرسی دوره‌ای سطوح پره‌ها، یاتاقان‌ها و بلبرینگ‌های فن و همچنین فاصله آزاد بین فن و محل استقرار آن نقشی موثر در حفظ راندمان فن خواهد داشت.

○ پمپ‌های تغذیه آب دیگ بخار

وظیفه پمپ‌های مذکور تامین جریان و فشار مورد نیاز برای جریان آب ورودی به بویلر می‌باشد. روش‌های زیادی برای کنترل دبی و فشار آب تغذیه خروجی از پمپ‌ها وجود دارد. یکی از راههای مناسب و موثر در کنترل دبی و افزایش راندمان سیستم، استفاده از موتورهای با کنترل سرعت متغیر یا دور متغیر می‌باشد. روش دیگر استفاده از موتور الکتریکی با سرعت ثابت و متصل به سیستم کنترل سرعت متغیر هیدرولیکی می‌باشد. ساده ترین روش نیز که غالباً مورد استفاده واقع می‌شود استفاده از شیرهای مکانیکی در مسیر پمپ و دیگ بخار، جهت کنترل دبی و فشار جریان BFW می‌باشد که توام با ایجاد افت فشار و در نتیجه تلفات انرژی می‌باشد. در مواردیکه از بخار برای به گردش در آوردن پمپ‌های تغذیه آب دیگ بخار استفاده می‌شود. امکان کنترل دور پمپ از طریق

کنترل مصرف بخار وجود خواهد داشت. پمپ‌های گردش مجدد آب نیز باید طوری تنظیم شوند که حداقل زمان عملکرد را داشته باشند تا حداکثر صرفه جوئی انرژی حاصل شود.

○ موتورها و توربین‌ها

از موتورهای الکتریکی القایی یا توربین‌های بخار بعنوان محرک فن‌ها، پمپ‌ها و سایر ماشین‌های موجود در فرآیند استفاده میشود. در شرایطی که در فرآیند بخار فشار بالا در دسترس باشد و نیاز به بخار فشار متوسط و پایین نیز در فرآیند وجود داشته باشد استفاده از محرک بخار، مقرون به صرفه تر می‌شود. (در کنار ارزیابی قیمت برق و بخار)

○ محرک‌های الکترونیکی موتور

ترکیب محرک‌های الکترونیکی موتور با موتورهای راندمان بالا منجر به صرفه جوئی انرژی و همچنین کاهش هزینه تعمیرات خواهد شد. این امر از طریق کنترل جریان روشن و خاموش شدن موتورها و تنظیم سرعت موتور فراهم می‌آید. محرک‌های جدید شاخصه‌های حفاظتی مناسبی را برای موتور ارائه میدهند و به خوبی از پس ضربه‌های ولتاژ ناگهانی در شبکه توزیع (Inrush Current) بر می‌آیند. از جمله دیگر مشخصه‌های حفاظتی این سیستم میتوان

به محدود کردن جریان و قطع آن در صورت اضافه بار شدن موتور که بعضاً منجر به خرابی موتور میشود، اشاره نمود. محرکه الکترونیکی موتور همچنین می تواند سوختن سیم پیچ های موتور را به حداقل برساند. مهمترین نکته در این محرکه ها صرفه جوئی انرژی است. به عنوان مثال تغییر سرعت گردش یک پمپ به جای بستن شیر در مسیر جریان می تواند به ۲۰ الی ۴۰ درصد صرفه جوئی برق منجر شود. قراردادن موتور در حالت آماده بکار، به جای گردش مداوم آن در حالت بی باری باعث صرفه جوئی انرژی می شود. بطور کلی یک موتور، سالانه تا چند برابر قیمت خود، انرژی الکتریکی مصرف می کند و هزینه نصب تجهیزات کنترل اغلب در کمتر از ۳ سال بازگشت می شود. تخمین زده می شود که کمتر از ۳ درصد موتورهای جریان متناوب از محرکه های الکترونیکی برخوردار باشند. عوامل دیگری که به استفاده از محرکه های الکترونیکی جذابیت می بخشد، عبارتند از: کاهش قیمتها، زمان پاسخگویی کوتاه تر، قابلیت اطمینان بیشتر، کاربردهای جدیدتر. از دیگر مزایای کنترل کننده الکترونیکی سادگی نصب، راه اندازی و تنظیم آن است. محرکه های آنالوگ قدیمی تر بوسیله پتانسیومترهای الکترومکانیکی تنظیم می شوند. این تنظیم کننده ها دائماً در معرض گرد و غبار بوده و اغلب به دفعات نیازمند کالیبره شدن و تنظیم مجدد خواهند داشت.

○ سایر ملاحظات:

- اطمینان از عملکرد صحیح مشعل: دیگ های بخاری مجهز به چندین مشعل با فنآوری ریزپردازنده ها عملکرد بهتری نسبت به سیستمهای قدیمی تر از خود نشان می دهند، تنظیم سوخت به هوا برای سیستمهای قدیمی زمانیکه یکی از چند مشعل خاموش شود دشوار بوده و نشت جریان هوا از مشعل خاموش به داخل محفظه احتراق باعث برهم خوردن نسبت سوخت و هوا شده و عملاً بازدهی دیگ بخار کاهش میابد. در حقیقت در سیستمهای جدید از تنظیم کننده خودکار و مستمر سوخت به هوا استفاده می شود. اغلب مشعل ها در زمان کاهش بار نیاز به هوای (اضافی) بیشتری نسبت به زمان پرباری دارند. با کمک سیستم های هوشمند کامپیوتری میزان بار دیگ بخار شناسایی و تنظیمات لازم بعمل می آید. بعبارت دیگر سیستمهای کامپیوتری با اندازه گیری میزان اکسیژن در گاز خروجی تنظیمات دقیق تر را در نسبت سوخت به هوا ایجاد می نمایند. اگر هوای احتراق بیش از حد کاهش یابد، احتراق ناقص حادث شده و بازدهی دیگ بخار کاهش می یابد. برای تنظیم بهتر سیستم سوخت به هوا علاوه بر کنترل کننده اکسیژن، وسیله دیگری برای کنترل مونواکسید کربن نیز تعبیه می گردد. در اینصورت سیستم کامپیوتری با اندازه گیری غلظت مونواکسید کربن در گاز خروجی،

دستور لازم را برای تنظیمات بهینه صادر می کند. نیازسنجی بخار در یک واحد برمبنای نیاز بخش‌های مصرفی صنعت بدقت معین می‌گردد. تنظیمات دیگ بخار باید به نحوی برنامه ریزی شود که بخار مورد نیاز تولید و از تولید بی رویه جلوگیری شود.

تنظیم فشار کوره موجب افزایش راندمان دیگ بخار شده و مانع از تخریب دیگ بخار میگردد. در اثر تغییر بار در دیگ بخار، فشار در داخل کوره تغییر یافته و به همین دلیل کوره با استفاده از یک برنامه غیرخطی نسبت به تنظیم فشار اقدام نموده و بازدهی دیگ بخار را حفظ می‌نماید. دمای بخار خروجی از دیگ بخار بر استفاده کنندگان بخار و عملکرد دیگ بخار تأثیرگذار است. اگر دمای بخار به حد کافی نرسد، امکان تخریب وسایلی که از بخار تغذیه می شوند وجود خواهد داشت و از طرفی دمای مازاد بر طراحی دیگ بخار موجب کوتاه شدن طول عمر دیگ بخار می‌گردد. لذا لازم است دمای بخار تولیدی بنحو مناسب کنترل و تثبیت شود.

آدرس دسترسی اینترنتی

سایت وزارت صنعت، معدن و تجارت / قسمت خدمات / قوانین مقررات و بخش نامه‌ها
WWW.mimt.gov.ir/Web_Directory/۴۷۸-مقررات-قوانین-نامه.html

نحوه استناد به راهنما:

در صورت ارجاع به این راهنما، از عبارت زیر در بخش منابع و مراجع استفاده نمائید:

دفتر امور بهداشت، ایمنی، محیط زیست و انرژی، وزارت صنعت، معدن و تجارت، راهنمای مدیریت انرژی حرارتی، ویرایش اول، ۱۳۹۶، WWW.mimt.gov.ir/Web_Directory/478-مقررات-آیین-نامه-قوانین-مقررات-478

منابع و ماخذ

- ۱- بهره وری انرژی در دیگهای بخار عبدالرضا کرباسی - محمد علی شفیع زاده وزارت نیرو - سازمان بهره وری انرژی ایران ۱۳۸۴
- ۲- مبانی صرفه جویی و اصول مدیریت انرژی. کامبیز رضاپور، محمد حسن زربخش - سازمان بهره وری انرژی ایران ۱۳۸۴
- ۳- Energy Management Handbook, Eighth Edition Steve Doty, Wayne C. Turner