درس مدیریت بهره وری انرژی در تاسیسات

دانشکده فنی و حرفه ای امام صادق (ع) بابل

رشته کارشناسی تاسیسات حرارتی و برودتی

استاد: حامد حسین زاده

جلسه اول

با توجه به نکات مذکور در دنیای امروز مدیریت و بهینه‌سازی مصرف این حامل انرژی هم از نقطه نظر حفظ و سیادت از منابع انرژی و هم از نظر کاهش آلودگی‌های محیط زیست بسیار حائز اهمیت می باشد. اغلب کشورهای توسعه‌یافته بدلیل ضرورت این موضوع نسبت به امضاء تفاهم‌نامه‌ها و پروتکل‌های بین‌المللی و رعایت مفاد آن در چهارچوب تعهدات فی‌مابین اقدام نمودهٔ و در راستای کاهش مصرف این نوع سوخت‌ها و آلاینده‌های حاصل از آنها موظف به اجرای تمهیدات گسترده‌ای در بخش‌های مختلف مصرف شده‌اند. در کنار اعمال روش های مدیریت مصرف انرژی حرارتی [۳] بررسی امکان جایگزینی حامل‌های انرژی تجدیدشونده مانند: انرژی خورشیدی، باد و زمین‌گرمایی نیز در اهداف مطالعات و تحقیقات کشورها قرار گرفته است. در کشور ما نیز علی‌رغم تصور عمومی نسبت به اینکه کشور از نظر منابع سوخت فسیلی (نفت و گاز) غنی می‌باشد ولیکن با توجه به گفته‌های بالا ضرورت اعمال مدیریت و بهبود کارآیی مصرف این حامل انرژی منتفی نمی‌گردد. اما برای اعمال روش‌ها و راهکارهای مناسب در این خصوص ابتدا باید مصرف‌کننده‌های این نوع حامل انرژی را شناسایی نمود. سوخت‌های فسیلی اعم از اینکه در نیروگاه‌ها برای تولید برق مورد مصرف قرار می‌گیرند، در بخش‌هایی مانند صنعت، خانگی و تجاری نیز مورد استفاده روزمره می‌باشند. مصرف سوخت‌های فسیلی بطور مستقیم در سیستم‌های تولید حرارت به شکل گرم کردن هوا، آب و سایر سیالات حامل انرژی حرارتی کاربرد داشته و از جمله این المان‌ها می‌توان به دیگ‌های بخار، آبگرم، کوره‌های صنعتی و مشعل‌ها و ... اشاره نمود. در مجموعهٔ حاضر ضمن شناسایی هر یک از تجهیزات فوق، روش‌ها، تکنولوژی‌ها و راهکارهای مناسب در بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی حرارتی در این نوع تجهیزات مصرف‌کننده سوخت و انرژی حرارتی، ارائه گردیده است.

فصل ۱ – مبانی صرفه‌جویی انرژی حرارتی و احتراق

۱- ۱- بررسی سیستم‌های احتراقی

مقدمه

این راهنما پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی را برای بویلرها و کوره‌ها بررسی می‌کند. بخش بویلر با توصیف دیگ‌های بخار مختلف، تجهیزات احتراق مورد استفاده و سوخت‌های موجود شروع می‌شود. تأثیرات محیطی توصیف می‌شوند، روندهای انتخاب دیگ‌ها ترسیم می‌شود و نهایتاً فهرستی از اقدامات و رئوس راهبردها برای صرفه‌جویی انرژی در عملیات دیگ ارائه می‌گردد. سپس به صرفه‌جویی انرژی در کوره‌ها می‌پردازد. انواع مختلف کوره و اقدامات صرفه‌جویی انرژی توصیف می‌شوند. در این جا تأکید بر صرفه‌جویی ناشی از کاهش هوای اضافی و پیش‌گرمایش هوای احتراق، عایق‌بندی صحیح و کنترل فشار کوره است.

۱– ۱–۱– احتراق

در تمام جنبه‌های دیگ‌ها و کوره‌ها (شامل خشک‌کن‌ها و اجاق‌ها) گرما در اثر احتراق یا با استفاده از انرژی الکتریکی تولید می‌شود. در مورد دیگ، گرما به محصول یا آب برای تولید فرآیند انتقال می‌یابد.

سوخت در محفظه احتراق می‌سوزد و بسته به کاربرد از نظر شکل و اندازه با یکدیگر متفاوت می‌باشند. سوخت‌های عمومی شامل گاز طبیعی، گازهای پالایشی، مازوت، گازوئیل و سوختهای جامد مانند بیوماس یا زغال سنگ می‌باشند و چنانچه در محل تولید شود، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در مورد یک کوره، محصول مستقیماً در معرض گرمای تولید شده در محفظه احتراق قرار می‌گیرد، مانند گاز، کک یا گازهای داغ احتراق که توسط روند احتراق تولید شده‌اند.

۱– ۱–۲– هوای احتراق

هوای استویکیومتریک **Stoichiometric** معرف مقدار هوای مورد نیاز برای احتراق کامل با مخلوط کامل سوخت است و هوای **Stoichiometric** گاهی اوقات **theoretical** نامیده می‌شود. اگر مخلوط کامل حاصل شود، هر مولکول سوخت و هوا در روند احتراق شرکت می‌کند. هوای اضافی باید برای تضمین احتراق کامل سوخت تأمین شود زیرا مخلوط کردن سوخت و هوا رخ نمی‌دهد. درصد هوای اضافی عبارتست از کل هوای تأمین شده احتراق منهای هوای **Stoichiometric** تقسیم بر هوای **Stoichiometric** یا به عبارتی دیگر درصد هوای اضافی بصورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\text{Total air} = \text{Stoichiometric air} \times \left(1 + \frac{\%\,Excess}{100}\right)$$

مقدار حداقل هوای اضافی مورد نیاز با توجه به سوخت مورد استفاده و کارآیی مخلوط هوا و سوخت تغییر می‌یابد. اگرکمتر از مقدار حداقل هوا تأمین شود، مقداری از سوخت کامل نمی‌سوزد و اتلاف انرژی سوخت وجود دارد. شواهد احتراق ناقص غالباً به شکل منواکسید کربن (**CO**) در محصولات احتراق ظاهر می‌شود. آنالیزور احتراق گاز با یک دستگاه **Orsat** یا سایر تحلیل‌گرهای O_2 و احتراق می‌تواند برای بررسی **CO** در گازهای خروجی کوره مورد استفاده قرار گیرد.

هوای بیش از حد نیز باعث اتلاف انرژی می‌شود. عمل احتراق معمولاً دارای دمای بالا و شامل انرژی گرمایی زیادی می‌باشد. اگر مقدار هوای زیاد برای کوره تأمین شود، مقدار هوای اضافی نیز گرم خواهد شد. تأثیر تلفات انرژی با تغییر مقدار هوای تأمین شده برای کوره در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. حداقل تلفات، زمانی رخ می‌دهد که مقدار هوای تأمین شده اندکی بیشتر از مقدار **Stoichiometric** باشد.

در صورت بروز اشکال می‌توان به فن تأمین هوا، دریچه ورودی هوا و کانال مربوطه یا روش کنترل جریان هوای نامناسب اشاره نمود. آگاه بودن از مقدار مورد نیاز هوای احتراق کوره امکان بررسی صحت سیستم تأمین کوره را فراهم می‌سازد. نیازهای هوای احتراق می‌تواند محاسبه شده و با ظرفیت اجزا در سیستم تأمین هوا مقایسه گردد.

مثال : هوای مورد نیاز احتراق برای کوره با استفاده از **l/h ۷۰۰** از سوخت شماره ۶ جدول (۱-۱) با ۱۵ درصد هوای اضافی می‌تواند محاسبه شود. بر اساس جدول (۱-۱)، هوای احتراق تئوری **kg/Gj ۳۲۷**است. مقدار ارزش حرارتی سوخت با ۲/۵ درصد سولفور در حدود **Mj/l ۴۲/۳** است. (محتویات سولفور غالباً از تأمین‌کننده سوخت بدست می‌آید).

$$\text{هوای مورد نیاز} = \frac{700 l/h \times 42.3 Mj/l \times 327 kg/Gj \times 1.15}{1000 Mj/Gj} = 11135 \text{ kg/h}$$

$$- \frac{11135 kg/h}{1.204 kg/m^3} = 9248 \text{ m}^3\text{/h}$$

هوای احتراق می‌تواند برای دستگاه بوسیله سیستم‌های مکش طبیعی یا سیستم‌های دمنده برای مشعل تأمین شود. مکش طبیعی از فشار منفی تولید شده توسط دودکش کوره برای جذب هوای احتراق به داخل کوره و خروج گازهای حاصله از اگزوز کوره استفاده می‌کند. مرسومترین نمونه‌ای این گروه گاز خانگی معمولی است. مکش طبیعی غالباً فقط بر کوره‌های کمتر از حدود **Gj/h ۱** استفاده می‌شود.

هوای اضافی Excess Air **:**

درصد واقعی هوای اضافی که برای کوره تأمین می‌شود یکی از مهمترین پارامترهای اطلاع‌دهنده برای اپراتور کوره است، صحیح‌ترین روش آنالیز گازهای خروجی از کوره است.

تحلیل گاز احتراقی کوره‌ها

یک کوره که در آن حرارت بوسیله احتراق سوخت تولید می‌شود می‌تواند بعنوان موردی که دارای سوخت و هوای احتراق بعنوان ورودی است و گاز خروجی بعنوان خروجی آن است مورد مطالعه قرار گیرد شکل (۱-۲). عملاً تمام سوخت‌های مورد استفاده در کوره‌ها هیدروکربن‌ها هستند که شامل عناصر هیدروژن و کربن است. با وجود آن که برخی سوخت‌ها شامل سایر اجزا هستند اما غالبا برای روند احتراق مهم نیستند. هیدروژن در سوخت می‌سوزد تا بخار آب را شکل دهد و کربن می‌سوزد تا دی‌اکسید کربن را شکل دهد (CO_2) یا مخلوطی از دی‌اکسید کربن و کربن منواکسید (CO)، هوا شامل نیتروژن (N2) همچنین اکسیژن (O2) است. N2 در روند احتراق بجز برای شکل دادن مقادیر کم نیتروژن اکسید (Nox) شرکت نمی‌کند.

اجزای عمده محصولات احتراق بخار آب، CO2، CO و N2 و O2 اضافی است که احتراق را تشکیل می‌دهد. همه اجزا در همه موارد حاضر نیستند. وجود CO نشانگر احتراق ناقص است.

تعیین هوای اضافی

آنالیزور احتراق کوره داده‌های کافی برای محاسبه هوای اضافی برای کوره را آماده می‌سازد . در بیشتر کوره‌ها **CO** بعلت بالا بودن هوای اضافی مشخص نمی‌باشد یا خیلی کم است. برای سوخت گاز طبیعی یا مازوت بدون **CO** در گاز خروجی درصد هوای اضافی را می‌توان با استفاده از جدول (۱-۱) تعیین نمود. اگر سایر سوخت‌ها بکار گرفته شود یا اگر **CO** موجود باشد، معادله ذیل می‌تواند مورد استفاده قرار داد.

$$\text{٪ هوای اضافی} = \frac{O_2 - 0.5Co}{0.2682\,N2 - (O_2 - 0.5Co)} \times ۱۰۰$$

که O_2 = درصد حجمی گاز O_2 در گازهای احتراقی است

CO = درصد حجمی منواکسید کربن

N2 = درصد حجمی نیتروژن

مثال‌ها: تجزیه گازهای کوره از نظر درصد حجمی در یک کوره که با گاز طبیعی می‌سوزد نتایج ذیل را نشان می‌دهد.

O2 = ٪ ۹/۸

CO2 = ٪ ۶/۲

CO =٪ ۰

با توجه به شکل (۱-۳)، هوای اضافی تقریباً ۷۹٪ است. این عدد را می‌توان با معادله ذیل مقایسه کرد.

٪N2 = ٪۱۰۰ – (٪۹/۸+٪۶/۲ + ٪۰) = ٪۸۴

$$\text{٪ هوای اضافی} = \frac{9.8 - (0.5 \times 0)}{(0.2682 \times 84) - [9.8 - (0.5 \times 0]} \times ۱۰۰ = ٪۷۷$$

این مقدار برای یک کوره که با گاز طبیعی می‌سوزد خیلی بالاست و امکان کاهش هوای اضافی باید مورد بررسی قرار گیرد.

۱- ۲- تلفات حرارتی Heat Loss :

چنانچه تجهیزات بازیافت در کوره نصب شده باشد، آنالیز می‌بایست بعد از تجهیزات گرفته شود. تلفات حرارتی گازهای خروجی کوره دارای چهار جزء است که می‌تواند جداگانه محاسبه شود.

- تلفات گرمای گازهای احتراقی بر مبنای خشک
- تلفات حرارتی ناشی از بخار آب موجود در هوای احتراق[۶]
- تلفات حرارتی ناشی از بخار آب تولید شده ناشی از هیدروژن موجود در سوخت [۷]
- تلفات ناشی از تولید بخار آب ناشی از احتراق [۸]

۱- ۲-۱- تلفات حرارتی ناشی از احتراق ناقص

حرارت می‌تواند بوسیله احتراق ناقص سوخت نیز تلف شود که این امر بوسیله وجود CO مشخص می‌شود و در مورد زغال سنگ، مواد قابل احتراق بصورت خاکستر باقی می‌مانند.

تلفات ناشی از CO

با کنترل مقدار دوده تولیدی، مقدار CO قابل کنترل می‌باشد. سه عامل مؤثر باعث ناقص‌سوزی هستند که عبارتند از: هوای احتراقی ناکافی، مخلوط سوخت و هوای نامناسب یا نشت هوای سرد به منطقه احتراق که باعث سرد شدن سوخت و هوا می‌شود. این تلفات به علت عدم تبدیل کربن به دی‌اکسید کربن می‌باشد و کم می‌باشد. اما چسبیدن دوده به سطوح انتقال حرارت باعث کاهش ضریب انتقال حرارت و پایین آمدن راندمان می‌شود.

۱-۳-انتقال حرارت

انتقال حرارت از شعله مشعل به محصول می‌تواند با هدایت (Conduction)، جابجایی (Convection) یا تشعشع (Radiation) و در بیشتر موارد ترکیبی از هر سه باشد.

۱-۳-۱- هدایت

انتقال گرما به محصول بوسیله هدایت تنها در تجهیزات گرم شده بصورت غیرمستقیم اهمیت دارد که در آن جا محصول از شعله بوسیله سطح مبادله گرما مجزا می‌گردد. کوره Muffle و کوره‌هایی که از گرم‌کن‌های لوله‌ای تشعشعی استفاده می‌کنند [شکل (۱-۶)] نمونه‌هایی از ترکیب گرمایش غیرمستقیم‌اند. گرمای انتقال یافته از طریق یک جامد را می‌توان محاسبه کرد.

۱- ۳-۲- جابجایی

انتقال حرارت جابجایی بین یک سطح جامد و یک سیال مایع یا گاز رخ می‌دهد.

۱- ۳-۳- تشعشع

انتقال گرما بوسیله تشعشع برای دماهای بالای ۶۰۰ درجه سانیتگراد اهمیت می‌یابد. یک بدنه داغ پرتوهایی را به شکل گرما منتشر می‌کند که می‌تواند توسط جسم جامد دیگری دریافت شود.

مقدار حرارت انتقال یافته از یک جسم جامد با توان چهارم دمای مطلق آن متناسب است و با انتشار آن مستقیماً متناسب است.

جلسه دوم

۱– ۴– سوخت‌ها

هر سوخت متعارف از نظر ویژگی‌های احتراق با سوخت‌های دیگر تفاوت دارد و بر انتقال گرما تأثیر می‌گذارد. سوخت‌ها می‌توانند جامد یا مایع یا گازی باشد و هر یک تجاری یا ضایعات باشد. سوخت‌های تجاری سوخت‌های فسیلی هستند که استخراج می‌شوند و تا درجات مختلف پردازش یا پالایش می‌شوند و توسط سازمان‌هایی مانند شرکت‌های نفت در سرتاسر کشور فروخته می‌شوند. سوخت‌های ضایعاتی محصولات فرعی یا الحاقات فعالیت‌های خانگی هستند که فقط در حد محدودی موجود هستند.

۱– ۴–۱– گاز طبیعی (گاز لوله)

بخاطر اینکه این گاز براحتی با هوا ترکیب می‌شود و بدون ایجاد دود و دوده می‌سوزد، هزینه نگهداری دیگ و کوره پایین است . مشعل‌های گاز طبیعی با داشتن قسمت‌های مکانیکی کمتر ساده‌تر و بنابراین نگهداری آنها ارزانتر است.

گاز طبیعی طبیعتاً سوخت ترجیحی برای سوخت یک دستگاه است اگر راحتی کار فقط مورد توجه باشد. این سوخت لازم نیست ذخیره شود. همراه با تمام هیدروکربن گازی، بسادگی با هوای احتراق مخلوط می‌شود و بصورت مطلوب، محصولات احتراق فقط آب و دی‌اکسید کربن است. این بحث‌های اصلی به نظر می‌رسد مهم باشد چون در سطح جهان اکثریت تأسیسات جدید، دیگ کوره در سال‌های اخیر گازسوز بوده‌اند.

۱– ۴–۳– نفت کوره (مازوت)

نفت خام مخلوط پیچیده‌ای از هیدروکربن‌ها است . استفاده‌کنندگان سوخت‌های دیگر عمدتاً خواستار سوخت های سبکتری هستند. مشکلات مربوط به ذخیره‌سازی نفت کوره شامل هزینه سرمایه مخازن ذخیره سازی و وسائل انتقال نفت می‌باشد . نفت‌های کوره مایعات چسبیده‌ای هستند که هر چه سردتر می‌شوند چگالتر و سخت‌تر می‌شوند. گازوئیل که سبکترین و کمترین میزان چسبندگی را در سوخت‌ها دارد غالباً در شکل مایع باقی می‌ماند بدون توجه به اینکه سرمای زمستان چه اندازه باشد. این باعث می‌شود که سوخت تحت جاذبه مخزن به سوی مشعل جریان یابد یا باعث می‌شود بسادگی پمپاژ شود. این امر صادق است مگر در صورتی که دوره‌های هوای سرد طولانی رخ دهد که در آن دمای هوا در زیر نقطه انجماد بمدت یک یا چند هفته دوام یابد. تحت این شرایط، برخی از موم‌ها داخل نفت به جامدات چسبیده‌ای تبدیل می‌شود. بطور خاص، این جامدات بر روی فیلترهای خط تأمین نیروی مشعل مشکل ایجاد می‌کند و سرانجام باعث مسدود شدن آنها می‌شوند. هر چند این امر زیاد رخ نمی‌دهد، برخی جهت جلوگیری از این پدیده سیستم گرم‌کننده بر روی فیلترها یا روی لوله توزیع نیروی بیرونی برای احتیاط نصب کرده‌اند.

۱– ۴–۴ – ذغال سنگ

ناقص سوزی سوخت‌های جامد بیانگر این مسئله که هوای مورد نیاز برای احتراق در مقایسه با سوخت‌های مایع و غیره و گاز،کمتر است. در نتیجه، سوخت ذغال را عامل مهم در آلودگی هوا قلمداد می‌کنند.

دود، دوده،خاک و غبار تولیدی کارخانه‌های ذغال سنگ جدید که از کنترل کننده‌های دقیق استفاده می‌کنند، کمتر بوده و با استفاده از خرد کردن و ریز کردن سوخت این مشکل را

حذف کرده‌اند. کنترل شدید SOx و ذرات ریز می‌تواند از طریق استفاده از تزریق سنگ آهک، سیلیکون و فیلترهای کیسه‌ای حاصل گردد.

۱– ۴–۵– انتخاب سوخت

انتخاب سوخت موضوع ساده‌ای نیست. این امر در برگیرنده توازن بین یک تعدادی از عوامل از جمله هزینه سرمایه کارخانه، قیمت سوخت و هزینه‌های عملیات و نگهداری است. برخی ملاحظات باید به تعمیرات احتمالی آینده در سوخت و سیاست‌های قیمت گذاری و به مقررات کنترل آلودگی نیز معطوف گردد.

۱– ۵–۱– سوخت‌های فسیلی

به طور کلی سوخت‌های فسیلی به سوخت‌هایی اطلاق می‌شود که معمولاً شامل H_2 هیدروژن، C کربن، گوگرد باشند، این سوخت‌ها ممکن است شامل سایر ترکیبات از قبیل N_2 نیتروژن، آب H_2O و سایر مواد معدنی نیز باشد.

جلسه سوم

۱– ۶– تجهیزات احتراق: مشعل‌های نفت و گاز

به منظور تضمین اختلاط صحیح سوخت با هوای احتراق و شکل‌گیری صحیح شعله برای انتقال حداکثر گرما از شعله به آب / بخار یا محصول گرم شده تجهیزات خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع تجهیزات بستگی به شرایط کوره / دیگ و سوخت یا سوخت‌های مورد نظر دارد. (دیگ‌ها و کوره‌ها را می‌توان برای روشن کردن بیش از یک سوخت ساخت).

۱– ۶–۱– مشعل‌های گازسوز

جدای از تجهیزات ایمنی در طراحی مشعل‌های گازسوز، آنها ضرورتاً ساده‌اند. دیگ‌های خیلی کوچک از یک مشعل اتمسفری ساده استفاده می‌کنند که هوای احتراق آن را از محیط اطرافش مکش می‌کنند. اما چون هوا و گاز با فشار مخلوط نشده‌اند هوای اضافی لازم است تا احتراق کامل را تضمین کند. این افزوده گرم می‌شود و سپس از طریق دودکش خارج می‌گردد و نتیجتاً کارایی دیگ را کاهش می‌دهد.

یک دیگ بزرگتر با یک محفظه احتراق کاملاً بسته نیاز به یک مشعل دارد که باعث شود هوا و گاز مخلوط شده و از آن جا طول و شکل شعله را کنترل کند. کیفیت هوای احتراق می‌تواند با به حداکثر رساندن کارآیی احتراق بدقت کنترل شود.

گاز طبیعی براحتی با هوا ترکیب می‌شود. مشعل‌های گاز نوع حلقه‌ای شامل یک بشکه مدور است که با دریچه‌های خروجی چند گانه احاطه شده است.

۱– ۶–۲– مشعل‌های سوخت مایع

مشعل‌های نفت سوز پیچیده‌ترند زیرا سوخت باید در شرایط صحیح برای احتراق پاک و سریع موجود باشد. این امر متضمن پودر کردن سوخت به شکل قطرات کوچک با اندازه صحیح می‌باشد که در صورتی می‌تواند انجام شود که نفت در دمای صحیح و ویسکوزیته صحیح باشد. در دمای بسیار پایین، قطرات خیلی بزرگند، احتراق ضعیف است و دود و دوده تولید می‌کند. در دمای بسیار بالا، قطرات می‌توانند خیلی کوچک باشد از میان شعله برای سوختن به سرعت بگذرند. در هیچ مورد مقدار انرژی کامل سوخت مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. علاوه بر این، سطوح انتقال حرارت نیز جرم و دوده می‌گیرند.

اتمایزر و پاشش با هوا یا بخار

مزایا :

- در ساخت خیلی قوی است.
- نسبت جریان برگشتی حدود ۱:۴ است.
- کنترل خوب هوا / سوخت
- احتراق خوب برای نفت کوره سنگین‌تر

مشعل‌های با هوای اضافی کم

گاز طبیعی استاندارد و مشعل‌های نفت سوز با ۱۰ تا ۱۵ درصد هوای اضافی در ظرفیت کامل و مقادیر بالاتر در ظرفیت‌های کمتر عمل می‌کنند.

مشعل‌های هوای اضافی پایین امکان عمل در ۲ تا ۵ درصد هوا را می‌دهند. کاهش هوای اضافی از ۱۵ تا ۵ درصد باعث کاهش هزینه‌های سوخت تا تقریباً ۱ درصد می‌شود. این صرفه‌جویی‌ها از وجود هزینه‌ای بالاتر بقرار ذیل ناشی می‌شود.

۱-۶-۳- سیستم‌های کنترل‌های مشعل

در ارتباط با انتخاب نوع مشعل، ملاحظاتی برای سیستم کنترل باید مورد توجه قرار گیرد. ساده‌ترین کنترل (on/off) بمعنی آن است که با مشعل به میزان کامل در حال آتش است با این که خاموش است. عیب عمده این روش کنترل این است که دیگ در معرض شوکهای بزرگ و اغلب مکرر است. بنابراین استفاده اش محدود به دیگ‌های خیلی کوچک یا بازه تا ۳۰۰ کیلووات است.

سیستم اندکی پیچیده‌تر مستقیم High/Low/off است که در آنجا مشعل دارای دو بار است. مشعل ابتدا در درجه آتش پایین‌تر عمل می‌کند و بعد با بار کامل مورد نیاز تغییر وضعیت می‌دهد و از آن طریق بر بدترین شوکهای گرمایی غلبه می‌کند. مشعل همچنین می‌تواند به وضعیت شعله کم در بارهای کاهش یافته برگردد و مجدداً حرارتی را در داخل دیگ محدود سازد. این نوع سیستم بنحو برجسته‌ای با دیگ‌های دارای خروجی تا ۳/۵ مگاوات طراحی شده است.

یک کنترل تنظیم کننده مشعل، شعله را تغییر می‌دهد تا آن را متناسب با بار دیگ تنظیم نماید. هر زمان که مشعل بسته می‌شود و شروع بکار می‌کند، سیستم باید با دمیدن هوای

سرد بداخل کانال‌های دیگ پاک شود. این انرژی را تلف می‌کند و کارآیی را کاهش می‌دهد. اما تعدیل کامل بمعنی آن است که دیگ شعله را حفظ می‌کند، و سوخت و هوا بدقت در سراسر شعله همگام شده‌اند تا کارآیی گرمایی را به حداکثر و شوکهای حرارتی را به حداقل برسانند. این نوع کنترل بنحو برجسته‌ای می‌تواند با دیگ‌های بالای ۱ مگاوات طراحی شوند.

۱– ۶–۴– تجهیزات احتراق: احتراق سوخت جامد

بدلیل اینکه کربن نسبتاً به آرامی می‌سوزد و ذغال به محفظه احتراق نسبتاً بزرگ احتیاج دارد تا باعث احتراق کامل شود، اشکال متعدد سوخت ریز برای انتقال سوخت محفظه احتراق طراحی شده است.

سوخت ریزها

سوخت‌ریزها وسایلی مکانیکی اند که سوخت جامد را در بستر ته محفظه احتراق می‌سوزانند. آنها به این منظور طراحی شده اند تا به تغذیه سوخت مستر یا مقطع، احتراق سوخت، تأمین کافی هوای احتراق، رهایی محصولات گازی و تخلیه خاکستر امکان ببخشند.

سوخت‌ریز زنجیری

سوخت‌ریز پاششی

احتراق بستر سیال

جلسه چهارم

۱– ۷– تجهیزات صرفه‌جویی انرژی حرارتی

در ذیل یک توصیف کوتاه از نیازهای مشترک مورد استفاده برای صرفه‌جویی انرژی در دیگ‌ها و کوره‌ها آورده شده است. در برخی موارد اینها در زیربخش‌های صرفه‌جویی انرژی دیگ ها یا کوره‌ها بحث می‌شود.

۱– ۷–۱– مبدل‌های بازیافت گازهای احتراقی

چون بیشتر تلفات از یک کوره در گاز خروجی ظاهر می‌شود بازیافت این گرما می‌تواند باعث صرفه‌جویی اساسی در انرژی گردد. یک روش متداول نصب یک مبدل در محل خروجی کوره است.

نرخ انتقال حرارت با مساحت سطح مبدل و اختلاف دمای بین گازهای خروجی و ورودی متناسب است.

$Q = U \times A.LMTD^{*} \times ۳/۶$

Q =Kj/h میزان انتقال حرارت

u = ضریب انتقال حرارت w/ $M^{2}{}^{\circ}C$

A = سطح انتقال حرارت

LMTD = اختلاف دمای لگاریتمی

$$\mathbf{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2})}$$

ΔT_1 =°C اختلاف دمای بالای گاز خروجی کوره با آب گرم شده یا هوا

ΔT_2 = °C اختلاف دمای پایین گاز خروجی کوره با آب یا هوا

* Log Mean Temperature Difference (LMTD)

مثال صرفه‌جویی

یک مبدل قرار است به یک خشک کن اضافه شود که m^3/h ۴۵۰۰۰۰ رطوبت هوا را در °C ۱۰۰ خارج می‌کند. هوای خارج شده برای گرم کردن m^3/h ۳۵۰۰۰۰ هوای وارده از یک دمای محیط با دمای °C ۱۰ به °C۸۵ بکار می‌رود که به اندازه °C ۱۵ با هوای داغ اگزاست اختلاف دارد. شکل (۱-۱۱) . طرح مبدل دارای یک ضریب انتقال گرمایی که توسط تولید کننده معادل W/m^2 °C ۲۸ است تعریف شده است. گرمای داده بوسیله هوای تخلیه شده معادل گرمای حاصله از هوای وارده است. چون تلفات حرارتی مهمی در مبدل وجود ندارد.

چگالی هوا در شرایط استاندارد kg/m^3 ۱/۲۰۴ است. و ظرفیت حرارتی ویژه آن $kj/kg°C$ ۱/۰۰۶ است. مساحت سطح مبدل مورد نیاز را می‌توان بقرار ذیل محاسبه کرد.

Q حرارت دریافتی توسط هوای سرد = $V\ (m^3/h) \times D(Kg/m^3) \times CP\ (KJ/kg.°C) \times \Delta T\ (°C)$

$= ۳۵۰۰۰۰ \times ۱/۲۰۴ \times ۱/۰۰۶ \times (۸۵-۱۰) = ۳۱/۷۹ \times ۱۰^۶\ KJ/h$

تلفات حرارتی گازهای خروجی = $۴۵۰۰۰۰ \times ۱/۲۰۴ \times ۱/۰۰۶ \times (۱۰۰ - T_{out})$

تلفات حرارتی گازهای خروجی = حرارت گرفته هوای سرد

$(۱۰۰ - T_{out}) = ۵۸/۳\ °C \rightarrow T_{out} = ۴۱/۷°C$

ΔT_1 اختلاف دمای = $۴۱/۷ - ۱۰°C = ۳۱/۷\ °C$

$\Delta T_2 = ۱۰۰ - ۸۵ = ۱۵°C$

$$LMTD = \frac{۳۱/۷ - ۱۵}{Ln(\frac{31/7}{15})} = ۲۲/۳°C$$

Q حرارت دریافتی مجدد هوای سرد = $۳۱/۷۹ \times ۱۰^۶ = ۲۸w/m^2\ °C \times ۲۲/۳\ °C \times ۳/۶\ °C$

$A = ۱۴۱۴۲\ m^2$

و چنانچه هوای سرد ورودی تا $5\ °C$ کمتر از دمای خروجی اگزوز شود سطح جدید انتقال حرارت برابر خواهد بود با

دمای هوای گرم = $۱۰۰ - ۵ = ۹۵\ °C$

حرارت دریافتی هوای سرد = $۳۵۰۰۰۰ \times ۱/۲۰۴ \times ۱/۰۶ \times (۹۵-۱۰) = ۳۶/۰۳ \times ۱۰^۶\ Kj/h$

$$(۱۰۰ - T_{out}) = \frac{36/03 * 10^6}{450000 * 1/204 * 1/006} = ۶۶/۱\ °C$$

$T_{out} = ۱۰۰ - ۶۶/۱ = ۳۳/۹\ °C$

$\Delta T_1 = ۳۳/۹ - ۱۰ = ۲۳/۹$

$\Delta T_2 = ۱۰۰ - ۹۵ = ۵°C$

$$LMTD = \frac{23/9 - 5}{m(\frac{23/9}{5})} = ۱۲/۱ \ ^\circ C$$

$$A = \frac{36/03 * 10^{6}}{28*12/1 *3 /6} = ۲۹۵۴۱ \ m^2$$

باید توجه داشت که کاهش اختلاف دما تا ۵ °C نیازمند این است که مساحت مبدل در حدود دو برابر باشد. و این میزان سطح انتقال حرارت باعث افزایش انرژی بازیافتی از کوره می‌شود.

جلسه پنجم

پیش گرم کن آب تغذیه (Economizer)

عمدتاً برای بویلرها بکار می‌رود و راهی برای گرم کردن آب ورودی بوسیله گازهای داغ خروجی می‌باشد. دستگاه یک مبدل مایع – گاز است. باید توجه داشت که گازهای کوره زیر دمای نقطه شبنم تبدیل به سولفور سرد می‌شوند. اکونومایزر می‌تواند در جایی که آب داغ مورد نیاز است مورد توجه قرار گیرد. این امکان عملی نیز وجود دارد که یک مخزن ذخیره آب داغ عایق‌بندی شد ه را نصب نمود و آب داغ مورد نیاز مصرفی را تأمین نمود.

پیش‌گرم کن هوا (Air Pre-Heater) Recuperator

در رکوپراتور ، هوای در حال ورود به محفظه احتراق با استفاده از گرمای گاز داغ پیش گرم می‌شود. این روش پیش‌گرمایش هوای کوره است، زیرا پیش گرمایش مواد اولیه با گازهای کوره برای دیگ‌ها مشکل‌تر است. گاز داغ در داخل لوله‌ها بصورت یک مجموعه جریان می‌یابد. هوای احتراق بطرف بیرون لوله‌ها بوسیله یک سری صفحات هدایت می‌شود. پیش گرمکن‌های هوا بزرگ و کم اثر تر از مبدلهای مایع مورد استفاده برای گرم کردن آب یا پیش گرم کن آب می‌باشند.

۱–۷–۲– انباشتگر یا Accumulators

دیگ‌ها برای رفع نیاز بخار تولید می‌کنند. وقتی تقاضا زیاد باشد، اغلب این گونه است یک دیگ اضافی باید بصورت موقت مورد استفاده قرار می‌گیرد یا چندین دیگ افزایش می‌یابد تا نیاز را برطرف کند. در اولین مورد این مسئله می‌تواند بعلت تلفات همراه با گرمایش و سرمایش پوسته دیگ نا کارآمد باشد. در هر دو مورد می‌توان با استفاده از یک انباشتگر از بعضی از ظرفیت‌های مورد نیاز دیگ (راه‌اندازی و هزینه سرمایه) اجتناب نمود.

۱– ۷–۳– عایق‌بندی

عایق‌بندی برای حفظ گرما در داخل کوره یا دیگ بکار می‌رود. مواد عایق‌بندی مرسوم شامل کلسیوم سلیکات ، الیاف معدنی، الیاف سرامیک، سیمان، شیشه سلول دار و الیاف شیشه می‌باشد.

۱– ۷–۴– تحلیل‌گر اکسیژن

در گذشته سیستم‌هایی برای بررسی مقادیر O_2 یا CO_2 یک کوره بکار می‌رفته است. اما از نظر تاریخی هیچکدام بنحو رضایتبخشی برای یک استراتژی کنترل اتوماتیک قابل اعتماد نبوده اند. دستگاه‌های نصب شده یا قابل حمل O2 یا CO2 مورد استفاده اپراتور ماهر هنوز هم بهترین روش برای کنترل هوای اضافی و در نتیجه افزایش کارآیی است.

۱– ۷–۵– کنترل دور موتور با استفاده از VSD

در اروپا و ژاپن کنترل های دور متغیر برای موتورها متداول است. آنها در این زمینه برای سرعت فن‌های هوای احتراق بکار می‌روند. با تغییر سرعت آنها (همراه با ورودی برق) برای تنظیم هوای مورد نیاز انرژی الکتریکی را می‌توان در طی دوره بار کم صرفه‌جویی کرد. بصورت معمول جریان ورودی از طریق دمپرها کنترل می‌شود در حالی که موتور با یک سرعت ثابت حرکت می‌کند. در بارهای پایین این امر می‌تواند به یک مصرف الکتریکی بالای ناموزون منجر شود. محرک‌های دور متغیر از نظر اقتصادی در کشورهای در حال توسعه کمتر جذابیت دارند زیرا هزینه‌های برق نسبتاً پایین است و هزینه دستگاه کنترل‌کننده دور بالاست.

۱– ۷–۶– دمپرهای گازهای خروجی

برای نیروگاه‌هایی که در آنها دیگ‌ها یا کوره‌ها پیوسته بخاطر تغییر در بار تعطیل می‌شوند، افت حرارت بعلت اثر دودکش که هوای سرد را از طریق دیگ می‌کشد می‌تواند مهم باشد. این امر بویژه زمانی درست است که یک تعداد از واحدها به یک مرکز مشترک متصل باشند و در حالت بالانس متغیر اقتصادی عمل کنند.

۱– ۷–۷– دیگ‌های بازیافت

دردیگ‌های بازیافت از گاز داغ کوره برای تولید بخار استفاده می‌کنند. در بیشتر موارد خط بخار وجود دارد که از حرارت‌های تلف شده استفاده نموده و بخار تولید می‌شود. این مقدار بخار بسته به نیاز و تقاضا از تلفات حرارتی تأمین می‌گردد.

جلسه ششم

فصل ۲ – مدیریت انرژی در سیستم‌های تولید و توزیع بخار

۲–۱– مدیریت مصرف انرژی در دیگ‌های بخار (تولید بخار)

بویلرها یا دیگ‌ها وسیله‌ای برای تولید آب گرم یا بخار یعنی تولید انرژی حرارتی می‌باشند که در این قسمت به بررسی بویلرهای بخار و راه‌های صرفه‌جویی در آن می‌پردازیم.

۲–۱–۱ – انواع دیگ‌های بخار

در این قسمت به بررسی دو نوع از این بویلرها می‌پردازیم، یکی Fire tube boilers و دیگری water tube boilers می‌باشد.

الف) Fire tube boilers:

در این نوع بویلرها گازهای احتراق داخل لوله‌ها در جریان بوده و آب پشت لوله‌ها، که در اثر انتقال حرارت آب به بخار تبدیل و از سیستم خارج می‌شود.

ب) Water tube boilers :

این بویلرها همانند بویلرهای **fire tube** می‌باشند با این تفاوت که آب داخل لوله‌ها در جریان بوده و گازهای داغ در بیرون و در اثر انتقال حرارت آب به بخار تبدیل شده و از آن خارج می‌شود. قطر لوله‌های آب **in** ۵ تا **in** ۶ می‌باشد. وقتی که مقدار بخار تولیدی بیش از **۱۰ton/hr**

۲-۱-۲- استفاده اقتصادی از دیگ‌های بخار (بویلرها) و راه‌های افزایش راندمان

در این قسمت روش‌هایی را که می‌توان توسط آن در سوخت و در نتیجه هزینه بهره‌برداری دیگ‌های بخار صرفه‌جویی نمود و راندمان دیگ را افزایش داد ارائه می‌گردد. در این راستا تلفات حرارتی مختلف معرفی شده و میزان آنها مشخص می‌گردد.

بازده یک دیگ بخار معمولی حدود ۷۵٪ می‌باشد. البته دیگ‌های بخار با طراحی جدید دارای بازده بین ۹۰-۸۰٪ نیز می‌باشند.

۲-۱-۲-۱- تلفات گازهای خروجی (Flue gas losses)

تلفات گازهای خروجی معمولاً میزان بالایی را دارا می‌باشند. عمدتاً برای کاهش آنها باید بر روی عوامل زیر مطالعه گردد.

الف) نسبت سوخت به هوا (Excess air)

برای دست یافتن به راندمان بالای دیگ، باید میزان هوای اضافی بنحوی باشد که احتراق کامل صورت گیرد. معمولاً انرژی گرمایی از طریق هوای اضافه به گازهای خروجی منتقل شده و از دودکش خارج می‌شود. در نتیجه اگر میزان هوای اضافی بیش از حد مجاز باشد تلفات مربوط به گازهای خروجی نیز زیاد شده و موجب افزایش هزینه می‌شود. و اگر میزان دبی هوا کم باشد درصدی از سوخت محترق نشده و راندمان احتراق کاهش یافته و بعلاوه تولید دود می‌کند. بنابراین میزان هوای اضافه باید کاملاً تنظیم شود.

ب) کنترل دمای گازهای خروجی

دمای نرمال برای گازهای خروجی باید حدود ۲۰ °C بالاتر از نقطه شبنم باشد.

دمای نقطه شبنم = ۱۳۰-۱۷۵°C

دمای نرمال گازهای خروجی = دمای نقطه شبنم + ۲۰°C

۲-۱-۲-۲- تلفات تشعشی و جابجایی

این تلفات برای بویلرهای مدرن بسیار پایین و حدود ۲-۱ درصد در ماکزیمم ظرفیت حرارتی می‌باشد ولی برای بویلرهای قدیمی تا ۱۰٪ هم می‌رسد.

۲-۱-۲-۳- استفاده از سیستم کنترل دور متغیر برای فن‌های بویلر:

با استفاده از این سیستم بر روی فن بویلر حدود ۵۰-۳۰٪ در انرژی الکتریکی فن صرفه‌جویی خواهد شد که با استفاده از نمودار ۲-۳ می‌توان مقدار صرفه‌جویی انرژی الکتریکی را محاسبه نمود.

۲-۱-۲-۴- پیش‌گرمایش هوای احتراق (air pre-heat) :

با افزایش دمای هوای ورودی به دیگ، راندمان آن افزایش می‌یابد. برای اینکار می‌توان از انرژی حرارتی موجود در گازهای خروجی استفاده نمود. به ازای هر ۲۵ °C افزایش دمای هوای احتراق راندمان بویلر حدود ۱٪ افزایش می‌یابد.

۲-۱-۲-۵- پیش‌گرمایش آب تغذیه (Feed water pre-heat)**:**

با افزایش دمای آب تغذیه می‌توان راندمان بویلر را افزایش داد که این با نصب یک اکونومایز با استفاده از گازهای داغ خروجی انجام می‌شود که با این کار دمای گازهای خروجی کاهش می‌یابد. در حالت کلی با افزایش ۶°C دمای آب تغذیه بویلر به اندازه ۱٪ مصرف سوخت بویلر کاهش می‌یابد.

۲-۱-۲-۶- نیاز به کنترل TDS و بلو دان دیگ بخار:

با کارکرد سیستم و بمرور زمان، مقدار TDS انباشته شده درون آب دیگ در اثر تبخیر مداوم افزایش یافته که به منظور افزایش عمر سیستم، بازده بیشتر ،امنیت بالاتر و تعمیرات و نگهداری سیستم، بایستی بشیوه مناسب کاهش یابد. سختی بالای آب در مرحله اول باعث رسوب در سطوح انتقال حرارت و لوله‌های دیگ شده که باعث کاهش نرخ انتقال حرارت و در نتیجه کاهش راندمان سیستم می‌گردد و در نتیجه سرویس و تمیز کردن سریعتر بویلرها را به همراه خواهد داشت.

۲-۱-۲-۷- عملیات دوده‌زدایی

به مرور زمان و بر اثر کارکرد مداوم بویلرها باعث گرفتگی دوده داخل لوله‌های جریان گازهای داغ و جرم داخل لوله‌های آب می‌شود و این عمل باعث می‌شود عمل انتقال حرارت بین جریان سیال و گازهای داغ بخوبی صورت نگیرد و دمای گازهای خروجی بالا رفته و تلفات گازهای خروجی افزایش یابد.

بدین دلیل باید طبق برنامه منظم و دقیق عملیات دوده‌زدایی و تمیزکاری را انجام داد که معمولاً به طروق زیر انجام می‌گیرد.

- تمیز کاری مکانیکی
- دوده‌زدایی بوسیله بخار
- دوده‌زدایی بوسیله فشار هوا
- عملیات تمیزکاری صوتی

۲-۱-۲-۸- عملیات تصفیه آب (Water treatment):

تصفیه آب بخصوص برای بویلرهای بخار بدلایل زیر صورت می‌گیرد:

- جلوگیری از بوجود آمدن جرم در لوله‌ها
- جلوگیری از بوجود آمدن جرم در تجهیزات جانبی مثل اکونومایزر
- برای کنترل ضریب هدایت در بویلرها
- کاهش خوردگی
- تولید کیفیت بالای بخار
- کاهش یا حذف خوردگی در بویلر به علت نامحلول شدن اکسیژن در آب تغذیه

جلسه هفتم

۲-۲- تراز مصرف و تلفات انرژی در دیگ‌های بخار

از زمانی که بشر توسط جیمزوات اولین ماشین حرارتی را ساخت روزبروز بفکر توسعهٔ ایده‌های طراحی خویش به کمک امکانات بالقوهٔ زمان بود رشد صنایع به کمک توسعهٔ ماشین‌آلات قدیمی در حقیقت در جوهرهٔ خویش نقش تکامل را یدک می‌کشید. تکامل ماشین‌های پر دردسر دیروز به کمک افزایش بهره‌وری آنها میسر گردیده و هر چه جلوتر می‌رویم بهینه‌سازی مصرف انرژی تنها با افزایش بازده ماشین‌های موجود امکان‌پذیر می‌شود.

دیگ بخار بعنوان یک ماشین ترمودینامیکی است که محاسبهٔ آن با دو روش زیر انجام می‌شود:

۱- وضعیت انرژی خروجی نسبت به انرژی داده شده به کورهٔ دیگ مقایسه می‌شود، تا میزان قابلیت انتقال گرما توسط این ماشین را ارزیابی کند. این محاسبه را آنالیز اجمالی می‌گویند.

۲- میزان انرژی تلف شده در طول فرآیند تولید بخار مشخص می‌شود تا علاوه بر محاسبهٔ بازده، امکانات بالقوهٔ صرفه‌جویی و به تبع آن افزایش بازده دیگ بخار امکان پذیر شود این روش را آنالیز تفصیلی می‌گویند.

۲– ۲–۱– بازده حرارتی دیگ بخار

برای بدست آوردن بازده حرارتی در دیگ‌های بخار چنانچه در مقدمه ذکر گردید دو روش وجود دارد:

الف – آنالیز حرارتی دیگ بخار بصورت اجمالی

از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

$$\text{بازده دیگ بخار} = \frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{انرژی ورودی}} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

چنانچه می‌دانیم انرژی خروجی از دیگ بخار، انرژی بخار می‌باشد این مقدار انرژی در کورهٔ دیگ از احتراق سوخت به آب داده می‌شود و مقدار آن از رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود:

$$\text{انرژی خروجی} = m_v(H_2-H_1)\ (Kj) \qquad (۲)$$

مقادیر H_1 و H_2 با توجه به شرایط کار دیگ‌های بخار یعنی فشار و دما، از جدول‌های ترمودینامیکی برای بخار و آب قابل محاسبه است.

انرژی ورودی به دیگ بخار در دو روش اجمالی، انرژی شیمیایی آزاد شدهٔ سوخت مصرفی است که از رابطهٔ (۳) بدست می‌آید:

$$\text{انرژی ورودی} = m_f \times H.H.V \qquad (۳)$$

ب – بازده حرارتی دیگ بخار بصورت تفصیلی

چنانچه قبلاً ملاحظه شد. برای آنالیز اجمالی از انرژی‌های ورودی و خروجی به دیگ بخار استفاده می‌شود:

اما واضح است که تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های دیگ بخار زیاد بوده لذا برای مشخص کردن تک تک آنها جهت آنالیزی با خطای کمتر باید دیگ بخار را بصورت یک حجم کنترل در نظر بگیریم.

برای آنالیز حرارتی تفصیلی کلیهٔ انرژی‌های ورودی و خروجی از مرز سیستم محاسبه می‌شود و با استفاده از رابطه (۴) بازده حرارتی دیگ بدست می‌آید.

$$\text{بازده دیگ بخار} = \frac{\text{انرژی ورودی منهای تلفات}}{\text{انرژی ورودی}} \times ۱۰۰ \qquad (۴)$$

جدول ۲-۵- مثالی از انرژی بالانس در دیگ‌های بخار

انرژی ورودی	Kcal/kg.fuel	٪	انرژی خروجی	Kcal/kg.fuel	٪
۱- ارزش حرارتی سوخت	۹/۷۲۰	۹۹/۸	۱-انرژی بخار اشباع	۷۸۲۰	۸۰/۳
۲- حرارت محسوس سوخت	۲۰	۰/۲	۲- انرژی دریافتی بخار سوپرهیت	۶۵۰	۶/۷
۳- حرارت محسوس هوای احتراق	۰	۰	۳- انرژی دریافتی اکونومایزر	"<۴۶۸>"	"۴/۸"
۴- حرارت محسوس آب تغذیه	۰	۰	۴- انرژی گازهای خشک احتراق	۳۵۳	۳/۵
۵- انرژی ورودی از بخار بازیافتی	"۳۵۵"	"۳/۶"	۵- انرژی بخار برای گرمایش سوخت	۶۱	۰/۶
			۶- تلفات حرارتی ، بخار بازیافتی	۳۴۲	۳/۵
			۷- تلفات حرارتی بدلیل ناقص بودن احتراق	۰	۰
			۸- تلفات تشعشعی، جابجایی و سایر	۳۳۲	۳/۴
کل	۹۷۴۰	۱۰۰	کل	۹۷۴۰	۱۰۰

با توجه به جدول ۲-۵ راندمان بویلر برابر است با : ٪۸۷ = ۱۰۰ ×

$$\eta = \frac{8470}{9740}$$

۲-۳- بهینه‌سازی در سیستم‌های توزیع بخار

۲-۳-۱- کلکتورهای اصلی بخار و اتصال بهینه چند بویلر با یکدیگر

در مواردی که نیاز به بخار به مقدار زیاد باشد باید از چند بویلر بطور همزمان استفاده نمود و برای استفاده از بخار این بویلرها، نیاز است که ابتدا کلیه بخار بویلرها به یک کلکتور اصلی وصل و از آنجا بطرف مصرف‌کننده هدایت شود. در این حالت باید این اتصال به نحوی باشد که تمام بویلرها در یک شرایط بار کار کنند تا باعث نشود که یکی از بویلرها در بار کامل یا بالاتر و دیگری در ۲۰ درصد بار کامل باشد که این باعث می‌شود به یکی از بویلرها فشار وارد شود. در شکل ۲-۸ اتصال نادرست و در شکل ۲-۹ اتصال بهینه چهار بویلر نشان داده شده است.

۲-۳-۲- استفاده از شیرهای کنترل بخار (Control Valves)

جهت کنترل دما و فشار بخار نیازمند به استفاده از شیرهای کنترل می‌باشد تا با ایجاد افت فشار متناسب و محدود کردن عبور جریان، باعث تغییر دبی به میزان دلخواه گردند.

استفاده از شیرهای کنترل باعث ثابت نگه‌داشتن دما، فشار و یا میزان جریان یکنواخت و در نتیجه صرفه‌جویی اقتصادی می‌گردد.

انواع شیرهای کنترل عبارتند از:

- شیرهای کنترل دستی
- شیرهای کنترل ترموستاتیک
- شیرهای کنترل از نوع پایلوت دار
- شیرهای کنترل الکتریکی
- شیرهای کنترل نیوماتیکی

۲– ۳–۳– شیرهای فشار شکن

امروزه اکثر دیگ‌های بخار به منظور کار در فشارهای نسبتاً بالا طراحی می‌شوند در حالی که در بیشتر موتورخانه‌ها،مصرف‌کننده‌هایی با فشار کاری کمتر از فشار ماکزیمم دیگ‌ها وجود دارند. کارکرد دیگ با فشار کمتر از فشار طراحی منجر به کاهش بازده و نیز افزایش احتمال ورود آب به داخل سیستم خواهد شد و به همین دلیل دیگ‌ها باید با فشار ماکزیمم

انواع این شیرها عبارتند از:

- شیرهای فشار شکن با عملکرد مستقیم
- شیرهای فشار شکن از نوع پایلوت دار
- شیرهای فشار شکن نئوماتیکی

۲– ۳–۴– تجهیزات سیستم توزیع بخار

در توزیع بخار ابتدا باید کیفیت بخار تولیدی برای مصرف‌کننده مناسب باشد و همچنین کم کردن تلفات خطوط توزیع بخار قبل از اینکه بخار به مرحله انتهای مسیر برسد بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

از جمله تلفاتی که می‌توان در سیستم توزیع به آن اشاره نمود عبارتند از:

- طراحی لوله‌های انتقال بخار
- عدم عایقکاری لوله‌ها و تلفات تشعشعی
- تلفات فلاش بخار
- عدم برگشت آب کندانس

جلسه هشتم

۲– ۳–۵– طراحی بهینه خطوط توزیع بخار (piping design)

در طراحی خطوط توزیع بخار سه نکته بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

الف) انتخاب سایز (قطر) مناسب لوله‌ها بر حسب سرعت بخار

ب – رعایت فاصله مناسب

در طراحی سیستم توزیع بخار باید مصرف‌کننده‌ها تا منبع تولید بخار کمترین فاصله را داشته باشند. یعنی کوتاهترین مسیر باشد تا از تلفات مسیر کاسته شود.

ج – عایقکاری

در اثرعدم عایق کاری یا عایق نامناسب تلفات تشعشعی از لوله‌ها بسیار بالا می‌باشد در عایقکاری لوله‌ها باید با توجه به دما و فشار بخار موجود، جنس عایق و ضخامت عایق مناسب انتخاب شود

برای کاهش تلفات باید اولاً کوتاه‌ترین مسیر تا مصرف‌کننده را انتخاب نمود ثانیاً اندازه لوله‌ها را تا آنجا که امکان‌پذیر است کوچکتر انتخاب کنیم.

در جدول زیر تلفات حرارتی در لوله‌ها بدون عایق و با عایق با توجه به قطر، دما و ضخامت عایق آمده است.

جدول ۲-۶- تلفات حرارتی در لوله‌های بدون عایق و با عایق بر حسب قطر لوله، دما و ضخامت عایق

قطر لوله (mm)	دمای سطح لوله (°C)	ضخامت عایق (mm)	تلفات حرارتی (w/m)	
			بدون عایق	با عایق
۱۰۰	۹۰	۳۸	۲۹۰	۶۷
	۱۵۰	۵۰	۷۷۰	۱۱۵
	۲۰۰	۶۴	۱۴۴۰	۱۴۴
۱۵۰	۹۰	۳۸	۴۱۰	۹۰
	۱۵۰	۵۰	۱۲۵۰	۱۷۰
	۲۰۰	۶۴	۱۹۲۰	۱۸۵
۲۰۰	۹۰	۳۸	۵۳۰	۱۱۰
	۱۵۰	۵۰	۱۴۴۰	۱۹۵
	۲۰۰	۶۴	۲۶۴۰	۲۴۰

برای مثال اگر لوله‌ای به قطر ۱۰۰ mm و به طول ۶۰ m با دمای ۲۰۰ °C بدون عایق داشته باشیم تلفات حرارتی در اثر عدم عایقکاری با فرض کارکرد ۴۰۰۰ ساعت در سال و راندمان ۸۰ درصد بویلر برابر است با:

$$\text{loss} = \frac{(1440-144) * 60 * 40\,00}{0/8} = ۳۸۸/۸۰۰/۰۰۰ \text{ w/yr} \equiv ۱۳۲۰ \text{ Mj/yr}$$

۲– ۳–۶– محاسبه میزان پاشش مستقیم بخار (Flash Steam) :

یکی از راه‌های کاهش تلفات در سیستم توزیع بخار جلوگیری از فلاش بخار و یا بازیافت آن می‌باشد، چون دارای انرژی بالا برای بازیافت می‌باشد و همچنین کیفیت (خشکی) بخار مصرفی بالا می‌رود و یکی از راه‌های بازیافت آن استفاده از فلاش بخار برای پیش گرمایش آب در واحدهای فشار پایین می‌باشد.

مقدار فلاش بخار تابعی از فشار بخار می‌باشد یعنی هر چه فشار بالاتر رود فلاش بیشتر خواهد شد.

۲–۳–۷– نشتی‌های بخار

یکی از آشکارترین منبع تلفات در سیستم توزیع، نشتی بخار از شیرهای معیوب، اتصالات و فلانج‌ها می‌باشد. این نشتی‌ها که براحتی قابل تشخیص می‌باشند باید برطرف گردند زیرا یک نشتی کوچک می‌تواند انرژی زیادی را تلف نماید. به عنوان مثال در یک سیستم با فشار بخار ۷ bar با سوراخی به اندازه ۰/۸mm ، بیش از ۱۵۰۰ لیتر سوخت مایع در سال تلف می‌شود.

۲–۴– تلــه‌های بخار

مقدمــه :

تله بخار شیر اتوماتیکی است که مانع از خروج بخار از سیستم شده و در صورت لزوم آب و یا گازهای نامحلول موجود در سیستم را تخلیه می‌نماید. تله‌های بخار بصورت موازی با سیستم نصب شده و وظیفه تخلیه کندانس موجود در خطوط را دارا می‌باشند!

۲- ۴-۱- لزوم بکارگیری تله بخار:

در گذشته‌های دور، کندانس موجود در خطوط بخار به غلط نادیده انگاشته می‌شد ولی با پیشرفت علم و تکنولوژی ارزش واقعی تله‌های بخار معلوم شده است. کندانس در واقع آب خالص و تقطیر شده می‌باشد که با صرف هزینه زیادی، عملیات شیمیایی خاص به منظور برطرف کردن سختی موجود در آب بر روی آن صورت گرفته است و بایستی به طریق مقتضی جمع‌آوری و استفاده مجدد گردد. ضمناً دمای کندانس در حد قابل ملاحظه‌ای بوده که هزینه سوخت را دربردارد.

از طرفی آب موجود در خطوط توزیع بخار، باعث خورده شدن لوله‌ها می‌شود و ضمناً اگر میزان آب زیاد باشد، به علت سرعت بالای بخار احتمال ضربه شدید به شیرآلات و در نتیجه صدمه دیدن آنها و حتی از هم پاشیدن سیستم در برخی نقاط وجود خواهد داشت!

ضمناً،آب بعنوان عایقی در برابر انتقال حرارت محسوب می‌شود که باعث کاهش نرخ انتقال حرارت در مصرف‌کننده‌ها و مبدل‌های حرارتی شده و در نتیجه کاهش راندمان کل سیستم را در پی خواهد داشت. وجود هوا و گازهای نامحلول در سیستم نیز به صورت مشابه باعث کاهش نرخ انتقال حرارت به میزان زیاد می‌گردد. مقاومت حرارتی که یک لایه از آهن به ضخامت ۴/۳ فوت ایجاد می‌کند برابر مقاومت لایه‌ای از آب به ضخامت ۱ اینچ و یا معادل لایه‌ای از هوا به ضخامت ۰/۰۴ اینچ می‌باشد. با دقت در اعداد بالا لزوم برداشت سریع هوا و آب از سیستم مشخص می‌گردد. از طرفی وجود هوا در سیستم باعث کاهش سطح مقطع مفید برای

عبور بخار می‌شود و باعث تولید صدا نیز خواهد شد. هوا معمولاً در مبدل‌های حرارتی و نقاط مرتفع سیستم و انتهای مسیرهای لوله‌کشی انباشته می‌شود. مسئله دیگر اینست که هوا بوسیله کندانس جذب می‌شود و باعث کاهش PH کندانس می‌گردد (تولید اسید کربنیک) که به نوبه خود باعث خوردگی لوله‌ها و مصرف‌کننده‌ها و اجزاء مختلف سیستم می‌گردد. اگر چه تله‌های بخار وظیفه خروج هوا از سیستم خصوصاً هنگام راه‌اندازی را نیز به عهده دارند ولی به منظور تخلیه مناسب هوا بایستی از شیرهای تخلیه هوا در مناطق مناسب استفاده نمود.

۲– ۴–۲– انواع تله‌های بخار:

به طور کلی می‌توان تله‌های بخار را به سه دسته مکانیکی، ترموستاتیک و ترمودینامیک تقسیم‌بندی نمود که بایستی از هر گروه در مکان مناسب با توجه به نوع و محل نصب تراپ استفاده نمود. در زیر به طور اجمال به خصوصیات انواع تله‌های بخار و محل مناسب نصب اشاره می‌گردد.

۲–۴–۵– انتخاب صحیح اندازه تله‌های بخار:

ظرفیت تله‌های بخار به اندازه اریفیس، دمای کندانس و اختلاف فشار دو سر تله بستگی دارد. تراپ‌ها در اختلاف فشار ثابت، کندانس سرد را راحت‌تر از کندانس داغ عبور می‌دهند (بعلت فلاش بخار در خروجی و ایجاد فشار برگشتی) و در دمای ثابت، اختلاف فشار بیشتر در دو سر تراپ منجر به گذر بیشتر جریان خواهد شد. میزان کندانس برای زمان

راه‌اندازی سیستم در نظر گرفته می‌شود که معمولاً حدود ۲ برابر ظرفیت در حالت عادی کارکرد سیستم می‌باشد.

علت این امر سرد بودن لوله‌ها و تجهیزات در هنگام راه‌اندازی است که منجر به تشکیل کندانس بیشتر می‌شود و از طرفی بعلت کاهش فشار بخار، ظرفیت عبور کندانس تله‌ها در هنگام راه‌اندازی کمتر از حالت عادی می‌باشد. بنابراین در نقاطی که از شیرهای کنترل استفاده شده است، بعلت افت فشار بیشتر حین راه‌اندازی، ضریب اطمینان تا سه برابر افزایش پیدا خواهد کرد. ضرایب اطمینان جهت محاسبه میزان کندانس هنگام راه‌اندازی برای کاربردهای مختلف طبق استاندارد کارخانه Spirax sarco در جدول زیر آورده شده است.

۲-۴-۷- نظارت و ردیابی عملکرد تله‌های بخار

با وجودیکه بیش از صد سال از تولید اولین تله بخار می‌گذرد و تکنولوژی ساخت این تله‌ها بمرور زمان بهبود یافته است. وقفه‌های ناخواسته و ناگهانی حین کار تله‌ها دیده می‌شود و اولین چیزی که در این موارد لازم است فهمیده شود علت از کار افتادن تله می‌باشد که بایستی به سرعت انجام گیرد. چرا که یک تله بخار خراب معادل کاهش راندمان سیستم و از دست دادن پول می‌باشد.

از عمده‌ترین مسائلی که در تله‌ها حین کارکرد با آن مواجه می‌شوند، بلوکه شدن تله و نشت بخار از تله می‌باشد در هنگام بلوکه شدن تله بخار، توده‌ای از بخار در پشت و داخل تله تشکیل شده و مانع از عبور کندانس به داخل تله می‌گردد و در کل باعث باقی ماندن آب در سیستم ، کاهش راندمان و کاهش عمر اجزا موتورخانه خواهد شد. نشت بخار نیز همانطور که واضح است باعث اتلاف انرژی و کاهش راندمان و ایجاد خطر می‌گردد.

با تعیین سریع و صحیح علت از کار افتادن تله بخار می‌توان به اهداف زیر نائل شد:

- **جلوگیری از اتلاف انرژی**
- **بهبود عملکرد سیستم**
- **بهبود سطح ایمنی در کل سیستم**
- **کاهش زمان و هزینه تولید**
- **کاهش اتلافات و نشتی‌های موتورخانه**
- **کاهش صدمات زیست محیطی**
- **کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری**

با توضیحات مذکور دیده می‌شود که هر سیستم بخار می‌بایست دارای امکانات مونیتورینگ تله‌های بخار باشد تا بتوان به اهداف بالا دست یافت و این امر می‌تواند بصورت دستی، اتوماتیک، محلی و یا کنترل از راه دور صورت گیرد .

جلسه نهم

روشها و تجهیزات اندازه گیری انرژی حرارتی

فصل ۳– روشها و تجهیزات اندازه گیری انرژی حرارتی

۳-۱- آشنایی با دستگاه‌های ممیزی انرژی

اولین گام در مدیریت مصرف انرژی، شناخت کامل سیستم‌های مورد نظر از نقطه نظر مصرف انرژی با هدف شناسایی زمینه‌هایی است که امکان صرفه‌جویی در آنها وجود دارد بی‌آنکه خللی در فرآیند تولید وارد آید. به این منظور لازم است تا تصویر دقیقی از مصارف انرژی و نحوه عمل تجهیزات انرژی بَر داشته باشیم تا بدانیم چه مقدار انرژی، به چه صورت و با چه هزینه‌ای مورد استفاده قرار گرفته و همچنین بتوانیم نحوه عملکرد دستگاه‌ها را با حالت استاندارد مقایسه کنیم و در نهایت با تمهیداتی خاص. کارایی مستقیم را بالا برده و به تبع آن از مصرف انرژی کاسته و سیستم را از این نظر بهینه نماییم.

مزیت‌های استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری قابل حمل عبارتند از:

- استفاده مکرر از یک وسیله اندازه‌گیری در موقعیت‌های مختلف
- استفاده مشترک از یک وسیله اندازه‌گیری در بخش‌های مختلف یک فرآیند
- جهت کنترل و بازبینی اندازه‌گیری ثابت و اطمینان از مقادیر اندازه‌گیری شده توسط آنها

۳-۲-معرفی انواع دستگاه های اندازه گیری حرارتی

- آنالیزور احتراق(Testo 350)
- دبی سنج آلتراسونیک (ultrasonic flowmeter)
- دما سنج مادون قرمز(infrared thermometer)
- جمع کننده داده ها(data logger testo 454)
- طیف سنج(spectrophotometer)
- هدایت سنج و PHمتر

۳-۲-۱ - دستگاه آنالیزور احتراق

دستگاه testo 350 یک آنالیزور احتراق میباشد که دارای رنج اندازه گیری وسیعی برای کنترل فرایندها در کوره های صنعتی و بویلرها و حتی در زمینه تعمیرات و نگهداری آنها میباشد. و میتواند مقدار دقیق NO2,No,Co,Co2,SO2 ودرصد هوای اضافی را نشان بدهد.

۳-۲-۲- دستگاه دبی سنج مافوق صوت

دستگاه اندازه‌گیری به روش آلتراسونیک یکی از ابزارهای معمول جهت اندازه‌گیری موقت دبی سیالات (مایعات) نیوتنی می‌باشد .

کاربرد:

قابل استفاده برای انواع لوله های مختلف

قابل استفاده برای انواع مایعات (نیوتنی)

۳-۲-۳- دماسنج مادون قرمز(Infrared thermometer)

این دستگاه از نوع 3i از انواع دماسنج مادون قرمز با رنج دمایی (30C°– 1200 °C -
)

می باشد. یکی از کاربردهای معمول این ابزار جهت استفاده در فرآیندهای دما بالا (صنایع فولاد) و بهینه کردن دمای ماکزیمم که از نزدیک و به راحتی قابل اندازه‌گیری نباشد بسیار سودمند خواهد بود.

دماسنجهای سری ۳i دارای دو سری می باشد:

الف)نوع لیزری

ب)نوع دوربین دار

در واقع کار برد عمدهٔ آن جهت نظارت ، تعمیرات و نگهداری و بازرسی‌های ماهانه در صنایع مختلف به منظور تعیین دمای مورد نظر استفاده می شود .

نکات مهم در اندازه‌گیری دما بوسیله دماسنج مادون قرمز

- دقت در تعیین نسبت فاصله به سطح چشم مورد نظر

- شرایط محیطی اندازه‌گیری از قبیل (میزان بخار ، گرد و غبار ، میدان مغناطیسی ، ارتعاشات و...)

- توجه به میزان دمای محیط سطح مورد نظر

اساس کار دستگاه ترمومتر :

این دستگاه با توجه به تمرکز کردن روی جسم مورد نظر و میزان دریافت انرژی ناشی از اشعه مادون قرمز که از جسم ساطع می‌شود اندازه‌گیری دمای جسم را تعیین می‌نماید .

۳-۲-۴- جمع کننده اطلاعات (Data logger 454)

این دستگاه میتواند پارامترهایی از قبیل درجه حرارت،رطوبت نسبی،سرعت سِیال،فشاروافت فشار را اندازه گیری و ذخیره کند.

با توجه به پرابهای مورد استفاده ، این دستگاه میتواند بصورت همزمان اطلاعات مورد نیاز را اندازه گیری نماید.

۳-۲-۵- دستگاه اسپکتروفتومتر

از این دستگاه جهت اندازه گیری میزان غلظت یونهای نیترات(No3)؛ فسفات(Po4)؛

سولفات(So4)؛ اهن کل ؛ مس ؛ کروم ؛ منگنز و... را در ابهای مصرفی استفاده میکند.

جلسه دهم

۳-۳- پارامترهای قابل اندازه‌گیری در بویلرها و کوره‌ها

در فصول گذشته در خصوص اهمیت اندازه‌گیری پارامترهای مختلف در بویلرها و کوره‌ها مطالبی عنوان شده است با توجه به اهمیت موضوع مثال‌هایی در جهت روشن شدن مطلب با توجه به اندازه‌گیری‌های عملی در کارخانجات مختلف آورده شده است.

۳-۳-۱ – اندازه‌گیری دما سطوح داغ و محاسبه تلفات تشعشعی

اصولاً با توجه به حجم بالای سطح حرارتی داغ و جابجایی هوا یا بخار در بخش‌های مختلف یک کارخانه استفاده از عایق مناسب یکی از روش‌های کاهش میزان تلفات سوخت فسیلی می‌باشد. میزان تلفات حرارتی از سطوح داغ در جداول مختلف درکتاب‌های انرژی آورده شده است در اینجا به ذکر مثالی در این خصوص می‌پردازیم.

مثال: در یک کوره دمای اندازه‌گیری شده در جداره‌ها برابر ۲۰۰ °C و دمای سقف آن ۲۵۰ °C می‌باشد. در حالیکه ابعاد کوره ۲m × ۲m × ۶m باشد میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از عایق‌کای برای اینکه دمای سطوح به ۵۰ °C برسد چه مقدار می‌باشد؟

میزان تلفات انرژی در دمای ۲۵۰ °C = ۲۱/۵ $MJ / m^2.hr$

میزان تلفات انرژی در دمای ۲۰۰ °C = ۱۱/۶ $MJ / m^2.hr$

میزان تلفات انرژی در دمای ۵۰ °C = ۱/۷ $MJ / m^2.hr$

مساحت سقف = ۲ × ۶ = ۱۲m^2

مساحت جداره‌ها = = (۲×۶×۲)+ (۲×۲×۲) =۳۲ m^2

تلفات حرارتی قبل از عایق‌کاری = ۲۱/۵ × ۱۲ + ۱۱/۶ × ۳۲ = ۶۹۲/۲ MJ/hr

تلفات حرارتی بعد از عایق‌کاری مجدد = ۱۳ × (۱۲ + ۳۲) = ۷۴/۸ MJ/hr

صرفه‌جویی انرژی = ۶۹۲/۲ – ۷۴/۸ =۶۱۷ MJ/hr

با توجه به ارزش حرارتی گاز مصرفی برابر ۳۹/۲ Mj/Nm^3 خواهیم داشت.

میزان صرفه‌جویی سوخت = ۶۱۷ Mj/hr / ۳۹/۲ = ۱۵/۷ Nm^3/hr

با در نظر گرفتن ۶۰۰۰ ساعت کارکرد کوره در سال و مبلغ ۱۵۰ ریال به ازای هر متر مکعب گاز طبیعی خواهیم داشت.

میزان صرفه‌جویی هزینه = ۱۴/۰۰۰/۰۰۰ Rls/year

۳–۳–۲– اندازه گیری درجه حرارت گازهای خروجی (Flue gas temperature)

همانگونه که قبلاً نیز اشاره شده است اندازه‌گیری و کنترل درجه حرارت گازهای خروجی در دودکش بویلرها و کوره‌ها نقش مهمی در کاهش تلفات دودکش دارد. با توجه به روابط مربوط به انرژی مشاهد می‌شود که بالا بودن دمای دودکش رابطه مستقیمی با میزان تلفات آن دارد، در

صورتی که نسبت سوخت به هوا (AF ratio) کنترل نشده باشد، این افزایش دما تشدیدکننده تلفات خواهد بود.

مثال: اندازه‌گیری در یک بویلر صنعتی واتر تیوپ در یک پالایشگاه گاز نشان می‌دهد که درجه حرارت گازهای خروجی برابر ۲۹۵ °C می‌باشد سوخت مصرفی این بویلر گاز طبیعی و به میزان ۵۴۵۴ m^3/hr می‌باشد در صورت تنظیم مشعل و کاهش دمای دودکش به ۲۰۰°C میزان صرفه‌جویی سوخت را محاسبه نمایید، ضمناً حجم گازهای حاصل از احتراق در دودکش برابر ۷۳۱۰۰ m^3/hr اندازه‌گیری شده است؟

راه حل:

میزان تلفات دودکش $Q = \dot{m}\ C_p\ \Delta T$

که در آن: $\dot{m}$ دبی جرم گازهای حاصل از احتراق و C_p گرمای ویژه و ΔT اختلاف درجه حرارت می‌باشد.

$V = ۷۳۱۰۰\ Nm^3/hr$

جرم حجمی گازهای حاصل از احتراق $\rho = ۱/۳\ kg/Nm^3$

$Cp = ۱/۲\ Kj/kg\ °k$

تلفات دودکش در دمای ۲۹۵ °C = $۳۳/۶۴ \times ۱۰^۶\ Kj/hr$

تلفات دودکش در دمای ۲۰۰ °C = $۲۲/۸ \times ۱۰^۶\ Kj/hr$

میزان کاهش تلفات = $۱۰/۸۴ \times ۱۰^۶\ Kj/hr$

با توجه به ارزش حرارتی گاز مصرفی در بویلر برابر ۳۹/۲ Mj/Nm^3 خواهیم داشت:

کاهش تلفات سوخت = ۲۷۶/۵ Nm^3/hr

که با توجه به سوخت مصرفی این کاهش تلفات برابر ۵٪ سوخت مصرفی می‌باشد.

با در نظر گرفتن ۳۰۰ روز کاری برای این بویلر خواهیم داشت.

کاهش تلفات سوخت = ۱/۹۸۰/۰۰۰ $Nm^3/year$

ارزش ریالی صرفه‌جویی شده = ۲۹۷/۰۰۰/۰۰۰Rls/year

۳-۳-۳-اندازه‌گیری‌هوای(ورودی)به سیستم و تنظیم نسبت سوخت به هوا (Exess Air)

وجود هوای اضافی در احتراق یکی از مهمترین پارامترهای اتلاف انرژی در دودکش می‌باشد به عبارت دیگر اگر میزان هوای اضافی بیش از میزان استاندارد مورد نیاز باشد (که در جدول زیر برای بویلرها آورده شده است) به معنی مصرف انرژی جهت گرم نمودن هوای مازاد بدون دخالت در احتراق تا دمای دودکش و خروج آن از دودکش می‌باشد. همچنین علاوه بر کاهش راندمان حرارتی بدلیل استفاده از حجم بالاتر هوای ورودی توان الکتریکی فن‌های بویلر نیز افزایش خواهد یافت.

جدول زیر میزان هوای اضافی مورد نیاز برای بویلرها با سوخت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

سوخت	حداقل هوای اضافی	حداکثر هوای اضافی
گاز طبیعی	٪۱۰	٪۱۵
گازوئیل	٪۱۲/۵	٪۲۰
مازوت	٪۲۰	٪۲۵
زغال سنگ	٪۳۰	٪۵۰

این میزان برای بویلرهای معمولی بدون تجهیزات کمکی جهت کاهش هوای اضافی می‌باشد.

مثال: با توجه به مثال مربوط به بخش گذشته، آنالیز احتراق در این بویلر پالایشگاهی نشان می‌دهد میزان هوای اضافی موجود در گازهای حاصل از احتراق برابر ۲۴/۴٪ می‌باشد. در صورتی که با تنظیم مشعل میزان هوای اضافی را به ۱۵٪ کاهش دهید، میزان صرفه‌جویی سوخت را با در نظر گرفتن دمای دودکش ۲۹۵°C حساب کنید.

λ = ٪۲۴/۴ حجم گازهای خروجی از دودکش = ۷۳۱۰۰ Nm^3/hr

λ = ٪۱۵ حجم گازهای خروجی از دودکش = ۶۷۶۰۰ Nm^3/hr

کاهش دبی حجمی گازهای احتراق = ۵۵۰۰ Nm^3/hr

میزان کاهش تلفات دودکش = ۲/۵ × ۱۰^۶ Kg/hr

که با در نظر گرفتن ارزش حرارتی گاز :

میزان صرفه‌جویی سوخت = ۶۳/۸ Nm^3/hr

که این میزان برابر ۱/۱۶٪ از سوخت مصرفی بویلر می‌باشد.

میزان صرفه‌جویی سالیانه سوخت = ۴۶۰۰۰۰ Nm^3/yr

ارزش ریالی صرفه‌جویی سالیانه = ۶۹× ۱۰^۶ Rls/yr

۳-۳-۴- آنالیز گازهای خروجی از دودکش

یکی از مهمترین موارد اندازه‌گیری در کوره‌ها و بویلرها، آنالیز گازهای خروجی از دودکش می‌باشد پارامترهای قابل اندازه‌گیری در آنالیزورهای احتراق شامل O_2٪ ، CO_2٪ ، PPm Co ، PPm No_x ، PPm So_2 و همچنین دمای گازهای خروجی و میزان هوای اضافی است.

در خصوص کنترل میزان هوای اضافی و اندازه‌گیری دمای دودکش در بخش‌های قبل توضیحاتی ارائه شده است.

وجود هوای اضافی و بالا بودن دمای شعله باعث بوجود آمدن NO_x در دودکش و همچنین وجود گوگرد در سوخت مورد استفاده نیز باعث بوجود آمدن SO_2 در گازهای حاصل از احتراق می‌شود با توجه به عامل خوردگی این گاز در دماهای پایین در زمان تنظیم مشعل و ... باید به دمای دودکش توجه شود تا از نقطه شبنم اسیدی پایین‌تر نباشد.

وجود CO در گازهای حاصل از احتراق به معنی احتراق ناقص و تلفات انرژی می‌باشد که در بخش مربوط به احتراق توضیحاتی داده شده است در مثال زیر با توجه اندازه‌گیری انجام شده تأثیر وجود CO و احتراق ناقص در میزان تلفات انرژی مشخص می‌شود.

مثال : اندازه‌گیری در یک کوره هافمن پخت آجر نشان می‌دهد که میزان CO خروجی از دودکش برابر ۳۸۵ ppm می‌باشد با توجه به اندازه‌گیری دبی حجمی گازهای دودکش که برابر ۲۱۶۰۰ m^3/hr می‌باشد میزان دبی جرمی CO و همچنین تلفات انرژی ناشی از وجود CO در گازهای دودکش را محاسبه کنید؟

راه حل:

CO = ۳۸۵ PPm

حجم گازهای خروجی دودکش = ۲۱۶۰۰ M^3/hr

دمای گازهای خروجی = ۷۶ °C

ارزش حرارتی CO = ۱۰/۲ MJ/kg

$$\text{درصد حجمی CO} = \frac{385}{10000} = ٪ ۰/۰۳۸۵$$

درصد حجمی CO × حجم گازهای خروجی در حالت استاندارد = حجم CO خروجی از دودکش

= ۱۶۹۰۰ × ٪۰/۰۳۸۵ = ۶/۵ Nm^3/hr =۷/۸ Kg/hr

که با توجه به ارزش حرارتی CO :

تلفات ناشی از بدسوزی = ۷/۸ × ۱۰/۲ = ۸۰ MJ/hr = ۲/۲ Lit/hr

با فرض ۳۰۰ روز کاری :

تلفات سالیانه انرژی = ۱۵۸۰۰ Lit/yr

جلسه یازدهم

۳-۴- موازنه جرم و انرژی

موازنه انرژی در واقع رابطه‌ای است بین انرژی‌های ورودی و خروجی به یک سیستم (حجم کنترل) که تحت شرایط طبیعی کار می‌کند.

اولین قدم در موازنه انرژی تعیین مواد و جرم ورودی به یک سیستم و خروجی از آن می‌باشد در حقیقت موازنه جرم و اندازه‌گیری ورودی‌ها و خروجی‌ها یک پیش‌نیاز جهت انجام بالانس انرژی می‌باشد. مهترین نکته‌ای که باید در یک موازنه جرم و انرژی رعایت شود. پایداری سیستم در زمان اندازه‌گیری است، به طوری که در شرایط تعادل میزان جرم ورودی به یک سیستم، برابر جرم خروجی از آن می‌باشد.

درشکل زیر شماتیک موزانه جرم و انرژی نشان داده شده است.

$$Q_{in} = Q_{out} + Q + Losses$$

در این رابطه بسته به نوع فرایند (گرمازا ، گرماگیر) مقدار Q می‌تواند مثبت یا منفی باشد.

مهمترین فوایدی که از موازنه حجم جرم و انرژی بدست می‌آید عبارتند از:

۱) محاسبه مقدار واقعی انرژی که در فرایند مصرف می‌شود.

۲) نظارت منظم بر راندمان و عملکرد تجهیزات

۳) بررسی اثرات ناشی از تعویض تجهیزات و تغییر نوع فرآیند روی انرژی بری سیستم.

۴) تعیین اولویت برنامه‌ریزی‌های کارائی انرژی در سیستم

۵) جمع‌آوری اطلاعات به منظور انجام مطالعات بهبود کارایی شامل اطلاعات ، تغییرات یا جایگزینی با یک سیستم جدید

۶) رسیدن به هدف اصلی که همان حداکثر تولید با حداقل مصرف انرژی ممکن می‌باشد.

جلسه دوازدهم

سیستمهای مدرن صرفه جویی انرژی

فصل ۴– سیستمهای مدرن صرفه جویی انرژی

۴–۱ – بازیافت انرژی :

جهت جلوگیری از رشد بی‌رویه مصرف انرژی و حفظ ذخائر ملی در زمینه انرژی باید توجه بیشتری به بازیافت انرژی‌های تلف شده نمود. با اجرای پروژه‌های بازیافت انرژی در صنایع علاوه بر کاهش مصرف سوخت و افزایش راندمان دستگاه‌ها، از تولید آلاینده‌های محیط زیست نیز کاسته خواهد شد که در نتیجه به حفظ محیط زیست کمک خواهد کرد بازیافت انرژی از هدر رفتن منابع انرژی در کشور جلوگیری و طول عمر این منابع را افزایش خواهد داد.

افزایش روزافزون قیمت انرژی و هزینه‌های تولید، جلوگیری از مصرف بی‌رویه انرژی، کاهش آلاینده‌های گازی و پدیده‌های گلخانه‌ای از جمله دلایلی هستند که اهمیت بازیافت انرژی را نشان می‌دهند.

۴–۱–۲– عوامل مؤثر در انتخاب یک سیستم بازیافت انرژی

جهت انتخاب بهینه یک سیستم بازیافت انرژی باید موارد زیر در نظر گرفته شود:

- درجه حرارت و مقدار منبع تلف شده
- ترکیب شیمیایی سیال منبع تلف شده
- کمترین درجه حرارت ممکن که می‌توان سیال را سرد نمود (نقطه شبنم)
- درجه حرارت سیال سرد که انرژی تلف شده به آن منتقل می‌گردد
- ترکیب شیمیایی سیال سرد
- حداکثر درجه حرارت ممکن که در آن سیال سرد پایدار بماند.

جدول (۴-۱) الگوهای بازیافت انرژی

منابع تلفات گرمایی	درجه حرارت پایین پایین‌تر از ۲۰۰ °C	درجه حرارت متوسط ۲۰۰° - ۶۵۰ °C	درجه حرارت ۶۵۰ °C به بالا
نمونه‌های موجود در صنعت	- خروجی از خنک‌کن کمپرسورها - مبدل‌های تقطیر مایعات و بخار گاز - کوره‌های تنش‌گیری - دودکش دیگ‌های بخار - و...	- خروجی از دیگ‌های بخار - دودکش واحدهای نیروگاه گازی - موتورهای درونسوز (دیزل) - کارخانه‌های سیمان - خشک‌کن‌ها - فرآیندهای پتروشیمی - و ...	- کوره‌های ذوب فلزات (کرم، نیکل، روی، فولاد و ...) - کوره‌های پیشگرم فولاد - رکتی فایرهای تولید ئیدروژن - زباله سوزها - و... .
موارد استفاده توسط بازیافت انرژی	- تأمین آب گرم مصرفی - گرمایش و سرمایش واحدهای مسکونی - گرمایش و سرمایش واحدهای صنعتی - و... .	- تولید بخار مورد نیاز فرآیند - تولید برق وبخار در سیستم CHP - استفاده مستقیم از حرارت موجود در خشک‌کن‌ها و .... . - استفاده مجدد از گازهای داغ - و ... * بارزترین مثال (نیروگاه‌های سیکل ترکیبی)	- استفاده مستقیم در فرآیندهای خشک‌کن - تولید برق و بخار CHP - پیشگرمکن هوای احتراق - استفاده مجدد از گازهای داغ - و... .

۴-۲- تجهیزات بازیافت انرژی حرارتی :

بطور کلی انتقال انرژی از منبع اتلاف انرژی به گیرنده این انرژی بدو صورت مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌شود. اگر ترکیب شیمیایی دو سیال یکسان بوده و اختلاط دو گاز امکان‌پذیر باشد. دو سیال سرد و گرم بطور مستقیم با هم در تماس بوده و انتقال انرژی صورت می‌پذیرد مانند خشک‌کن‌ها

در سیستم‌های غیرمستقیم بازیافت انرژی از یک وسیله جهت انتقال انرژی از منبع تلف شده به گیرنده استفاده می‌شود. در این روش سیستم‌های زیر اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- ریژنراتورها (Regenerators)
- ریکوپراتورها (Recuperators)
- لوله‌های گرمایی (Heat pipes)
- دیگ‌های بازیافت انرژی (Waste Heat Boilers)
- کوره‌های سوخت ضایعات (Incinerators)

۴-۲-۱- ریژنراتورها (Regenerators)

ریژنراتورها نوعی از مبدل‌هیا حرارتی با بستر فشرده هستند که جهت انتقال حرارت بین دو گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دستگاه‌ها به دو نوع بستر ثابت و بستر دوار تقسیم‌بندی می‌شوند: در نوع بستر ثابت دو سیال گرم و سرد در جهت مخالف یکدیگر دردو پریود زمانی متفاوت وارد بستر ثابت شده و در پریود اول سیال گرم حرارت خود را در بستر ذخیره نموده و این انرژی در پریود زمانی متفاوت وارد بستر ثابت شده بعد به سیال سرد منتقل می‌گردد. شکل (۴-۱) شمال کلی یک ریژنراتور با بستر ثابت را نشان می‌دهد.

۴-۲-۲- ریکوپراتورها (Recuperators)

یک ریکوپراتور نوعی از مبدل حرارتی است که در آن انتقال حرارت بین دو گاز انجام می‌شود. کاربرد اصلی آن در پیش‌گرمکن‌های هوا در دیگ‌های بخار و کوره‌های حرارتی می‌باشد. نوع ساده این مبدل بصورت دو لوله در داخل یکدیگر می‌باشند که در خروجی کوره‌ها نصب می‌گردد و گاز داغ از داخل و هوای سرد از جداره خارجی بین دو لوله عبور می‌کند و درجه حرارت آن افزایش می‌یابد. سه نوع ریکوپراتور بنام جابجایی، تشعشع – و جابجایی، می‌باشند. از مزایای استفاده از ریکوپراتورها می‌توان موارد زیر را نام برد:

- کاهش مصرف سوخت
- کاهش مصرف هوای اضافی جهت احتراق
- امکان استفاده از دمای بیشتر شعله
- افزایش سرعت احتراق
- کاهش اکسیداسیون در دودکش
- جلوگیری از احتراق ناقص سخت

۴-۲-۳- لوله‌های گرمایی (Heat Pipes)

یک لوله گرمایی یک لوله سربسته و خلاء می‌باشد که حاوی مقداری مایع می‌باشد و در اثر گرما و سرما بترتیب در داخل آن عمل تبخیر و تقطیر بصورت مداوم صورت می‌گیرد و بدین ترتیب انتقال گرما از سیال گرم به سیال سرد، صورت می‌گیرد. هر لوله گرمایی از سه قسمت تشکیل می‌گردد:

- لوله سربسته (Container)
- سیال داخل لوله (Fluid)
- فتیله (Wick)

شکل (۴-۴) ساختمان یک لوله گرمایی را نشان می‌دهد:

جنس لوله، سیال داخل و فتیله باید با هم همخوانی داشته باشد تا لوله گرمایی بتواند بصورت مداوم عمل نماید در غیر اینصورت پس از مدتی عملیات تبخیر – تقطیر در داخل لوله متوقف می‌گردد. شرایط سیال داخلی لوله بشرح زیر می‌باشد:

- همخوانی جنس سیال با جنس لوله و فتیله
- پایداری حرارتی سیال
- نفوذپذیری سیال در لوله و فتیله
- فشار بخار متعادل
- گرمای نهان تبخیر زیاد
- ضریب هدایت حرارتی زیاد
- ویسکوزینه کم مایع و بخار
- کشش سطحی زیاد
- نقطه انجماد قابل قبول
- قیمت مناسب

نامیده می‌شود که بصورت (Merit)پارامتری که خاصیت سیال داخل لوله گرمائی را تعیین می کند عدد مریت زیر تعریف می‌شود:

$$M = \rho\lambda\delta / \mu$$

که در آن:

δ کشش سطحی مایع

ρ دانستیه مایع

λ گرمای نهان تبخیر مایع

M ویسکوزیته مایع

۴-۲-۴- زباله سوزها (Incinerators)

زباله‌سوزها نوعی از کوره‌های سوخت مایعات هستند که جهت کاهش حجم ضایعات جامد یا سوزاندن مایعات و گازهای قابل احتراق و بدون مصرف فرآیندهای صنعتی، بکار می‌روند. زباله‌سوزها در سال‌های اخیر کاربرد وسیعی در کشورهای صنعتی داشته و اغلب در موارد زیر بکار می‌روند:

- جهت از بین بردن گازهای سمی و آلاینده جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست
- جهت سوزاندن مایعات بدون مصرف و بازیابی مواد باارزش معدنی
- جهت از بین بردن ضایعات جامد مخصوصاً زباله‌های شهری درکشورهایی که مشکل خاک

کردن و از بین بردن لوله‌ها را دارند. شکل (۲-۹) دو نوع از زباله‌سوزها را نشان می‌دهد.

یکی از دستاوردهای استفاده از زباله‌سوزها تولید انرژی حرارتی با ارزش توسط احتراق مواد زائد می‌باشد. (جدول ۴-۲) میزان انرژی حاصل از احتراق مواد مختلف را بر اساس معادل لیتر سوخت بازای هر تن ضایعات نشان می‌دهد.

۴-۲-۵-دیگ‌های بخار بازیاب حرارت (Waste Heat Recovergy Boilers)

دیگ‌های بخار بازیاب حرارت نوع دیگری از تجهیزات بازیافت انرژی می‌باشند که انرژی حاصل از گازهای احتراق را بازیابی می‌نمایند. دو نوع از این دستگاه‌ها در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- دیگ‌های بخار بازیافت گرمای حاصل از گازهای احتراق
- دیگ‌های بخار بازیافت گرمای حاصل از سیال فرایند

نوع خاصی از این سیستم در واحدهای اولفین صنایع پتروشیمی استفاده می‌گردد. در این نوع که یک مبدل حرارتی پوسته و لوله می‌باشد از انرژی گازهای حاصل از شکست حرارتی تولید بخار با فشار بالا استفاده می‌نماید. بویلرهای بخار بازیافت حرارت همچنین بهمراه زباله‌سوزها یک فرایند کامل بازیافت انرژی را تشکیل می‌دهند و گازهای خروجی از محفظه احتراق پس از تبادل انرژی با قسمت‌های مختلف بخش جابجایی کوره، وارد مبدل‌های بازیافت حرارت شده و انرژی بازیابی شده را صرف تولید بخار با فشار بالا می‌کند (۱۲۰-۵۰ بار) شکل (۴-۵) شمای کلی یک دیگ بخار بازیاب حرارت را نشان می دهد.

جلسه سیزدهم

۴-۴- سیستمهای تولید مشترک برق و حرارت

۴-۴-۱- تولید همزمان برق و حرارت (CHP) چیست ؟

معمولاً برق مورد نیاز واحدهای صنعتی، ساختمان‌های تجاری و ساختمان‌های مسکونی از نیروگاه‌های عمده کشور تأمین می‌شود. در حالیکه نیاز حرارتی تمام آنها در همان محل تولید می‌گردد. اما روش دیگری که از دیرباز وجود داشته و امروزه توجه بیشتری را معطوف خود کرده، تولید مشترک برق و حرارت است. که عبارتست از تولید همزمان برق، یا توان محوری و حرارت مفید توسط یک سیستم.

سال‌ها پیش این فناوری برای اولین بار در نیروگاه‌های سیکل بخار بکار رفته و از بخار استخراج شده از سیکل برای مصارف گرمایشی کارخانه و واحدهای اطراف آن استفاده می‌شده است. این عمل گرچه کمی باعث کاهش راندمان نیروگاه بوده اما با تأمین حرارت مورد نیاز واحد از مصرف حجم زیادی سوخت جلوگیری می‌کرده است.

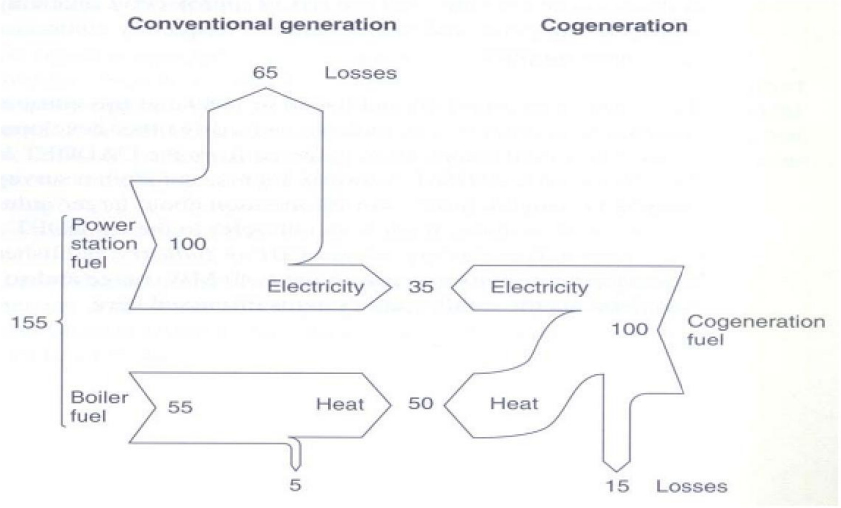
خوشبختانه این ایده تنها به نیروگاه‌های بخار محدود نشد و در طی این سال‌ها، بویژه در سال‌های اخیر، فناوری تولید مشترک برق و حرارت ، که بهره‌وری بالایی را در مصرف انرژی بدنبال دارد، به سایر مولدهای تولید قدرت (مکانیکی یا الکتریکی) گسترش داده شد. بعبارت دیگر امروزه می‌توان با پیشرفت‌های صورت گرفته، هر سیستم مولد قدرتی با هر اندازه و کاربرد را بصورت یک واحد مشترک طراحی نمود. به این ترتیب علاوه بر تولید توان الکتریکی یا مکانیکی توسط دستگاه، امکان استحصال حرارت اتلافی مولد یا موتور بصورت انرژی گرمایی قابل استفاده وجود دارد.

امروزه بدلیل توجه خاصی که به این نوع سیستم‌ها می‌شود و نیز اهمیت کاربرد آن در دنیای امروز و نهادینه کردن فرهنگ استفاده از آن، در ادبیات مهندسی بجای اصطلاح دیر آشنای **Cogeneration** از عنوان " سیستم ترکیبی حرارت و قدرت" **Combined Heat & power (CHP)** استفاده می‌شود.

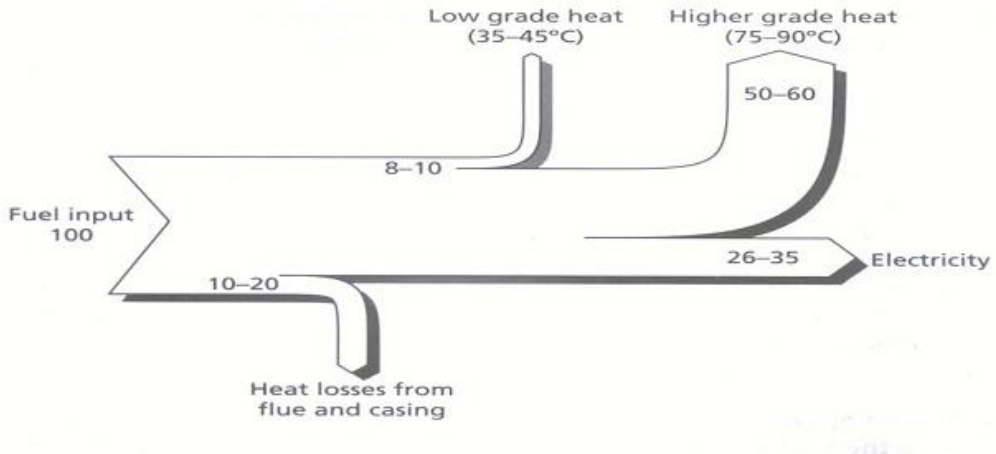
بنابراین سیستم **CHP** در اصل یک فناوری جدید محسوب نمی‌شود. اما آنچنان پیشرفت و گسترش یافته است که کمتر شباهتی با مفهوم کلمه مترادفش ، **Cogeneration** دارد.

همانطور که گفته شد سیستم‌های **CHP** غالباً برای تولید برق و حرارت بصورت همزمان طراحی می‌شود. یک محرک اولیه (موتور یا توربین) انرژی شیمیایی سوخت را آزاد نموده و به توان مکانیکی در محور خروجی تبدیل می‌کند. در این موارد، محور محرک با یک ژنراتور کوپل شده و توان الکتریکی تولید می‌شود، از طرف دیگر، حداکثر راندمان موجود برای محرک اولیه دستگاه و مولد کمتر از ۵۰٪ است و این به معنی اتلاف بیش از نیمی از انرژی سوخت بصورت حرارت می‌باشد.

دستگاه CHP بیشترین بهره‌وری در مصرف انرژی سوخت را دارد. به گونه‌ای که متوسط راندمان یک مولد برق در حدود ۳۵٪ و متوسط راندمان یک بویلر ۹۰٪ است. در حالیکه یک سیستم CHP با تولید هر دوی این محصولات راندمانی بیش از ۸۵٪ دارد. یعنی راندمان الکتریکی آن حدود ۳۵٪ و راندمان حرارتی (منظور از راندمان حرارتی عبارتست از انرژی حرارتی تولید شده به انرژی سوخت مصرفی) ۵۰٪ است. از طرف دیگر در مقایسه با سیستم‌های تولید برق و تولید حرارت متشابه رایج که بصورت مجزا هستند، حدود ۳۵٪ سوخت کمتری مصرف می‌کند.



شکل ۴-۷- مقایسه یک واحد CHP با نوع متداول



Energy balance of a typical CHP unit

شکل ۴-۸- بالانس انرژی یک واحد تولید مشترک برق و حرارت

جلسه چهاردهم

مدیریت مصرف انرژی در ساختمان

فصل ۵- مدیریت مصرف انرژی در ساختمان

مقدمه

مصرف انرژی در چند دهۀ اخیر بطور سرسام‌آوری افزایش یافته، که این افزایش از یکطرف نشانۀ رشد اقتصادی بوده و بیشتر به گردش افتادن چرخ‌های صنعت و در پی آن جابجا شدن کالاهای صنایع به نقاط مختلف و از طرف دیگر شاید به دلیل قیمت ارزان انرژی صورت می‌گیرد و بهمین دلیل صاحبان صنایع و مصرف‌کنندگان خصوصی در کشور ما در پی صرفه‌جویی و استفادۀ منطقی از آن نبوده‌اند. در بحران انرژی در سال‌های ۱۹۷٤ به بعد که با بالا رفتن قیمت نفت خام و قیمت انرژی، بطور کلی روند مصرف انرژی کمی تغییر کرد و کشورهای بدون نفت در مصرف آن بصورت سیستماتیک‌تر عمل نمودند. بهمین دلیل ممالک مصرف‌کنندۀ انرژی در جهت جایگزینی انرژی‌های جدید بجای انرژی فسیلی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهره‌برداری بهتر از انرژی‌های موجود گام برداشته‌اند.

۵-۱-۱-۲- بررسی اجمالی ساختمان (Walk Through)

در این مرحله ممیز انرژی باید بطور اجمال ساختمان را مورد بررسی قرار داده و موارد زیر را شناسایی نماید.

- **تعیین وسایل لازم جهت اندازه‌گیری‌های مورد نیاز**
- **تعیین بخش‌های مختلف ساختمان از نظر میزان مصرف انرژی**
- **تعیین منابع اتلاف که به روشنی مشهود است**
- **بررسی وضعیت کنترل‌کننده‌های انرژی**
- **بررسی کلیه تجهیزات برقی**
- **بررسی نحوهٔ گردش هوا در ساختمان (Infiltration)**
- **تعیین ترکیب تیم تخصصی (آرشیتکت، مهندس برق، مهندس مکانیک)**

۵-۱-۱-۳- دست‌یابی به اطلاعات کلی ساختمان (مشخصات عمومی ساختمان)

دست‌یابی به اطلاعات کلی ساختمان ممکن است شامل مواردی چون مواد بکار رفته در ساختمان، اجزاء مختلف هر ساختمان و لوازم و گروه‌های موجود در ساختمان باشد. برای این منظور توسعه و افزایش درک بهتر از مواد مکانیک، شیمیایی، ترمودینامیکی، خواص نور و همچنین آشنایی با مواد تازه اختراع شده، مدل‌های تحلیلی برای بررسی خواص گرمایشی و سرمایشی مواد بکار رفته می‌تواند مفید باشد. همچنین مطالعاتی در مورد ترمودینامیک، رطوبت، نفوذپذیری دیوارها، سیستم‌های ایزولاسیون، اثر متقابل دیوارها و سقف و پنجره‌ها و تهویه می‌تواند در بررسی اثرات متقابل مؤلفه‌های پیرامونی ساختمان مؤثر باشد. در بحث مربوط به لوازم و دستگاه‌های موجود در ساختمان اثرات متقابل بین مؤلفه‌های گوناگون ساختمان تحلیل و آنالیز می‌شود. ترکیبی از مؤلفه‌های بیرونی ساختمان سیستم‌های مکانیکی و روشنایی تحلیل می‌شوند، تا اینکه بهترین ترکیب تحت شرایط مناسب آب و هوایی حاصل گردد. برای طراحان ساختمان جهت طراحی و انتخاب نیز سیستم‌هایی بسط یافته‌اند که با بکارگیری آنها می‌توان سنجیده‌تر در مورد حالت بهینه ساختمان تصمیم‌گیری نمود. فعالیت در زمینهٔ تجهیزات ساختمان نیز به مواردی چون، تجهیزاتی با شرایط مکانی قابل جایگزین، بهبود تجهیزات، فرآیندهای احتراقی، و تکنولوژی‌های روشنایی مربوط می‌شود. از طرفی بهبود فرآیندهای احتراقی شامل کنترل مخلوط سوخت و هوا، مواد ارزان قیمت برای مبدل‌های حرارتی که در محیط‌هایی با خوردگی بالا قرار دارد نیز می‌تواند مفید باشد. تحقیقات در مورد روشنایی ساختمان سابقهٔ طولانی داشته و مثلاً استفاده از لامپ‌های تخلیه و فسفری می‌تواند مفید باشد، گام دیگر در این جهت استفاده از لامپ‌های بدون الکترود می‌باشد.

محاسبه ضریب انتقال حرارت هدایتی کلی برای یک اتاق

$$K_{ave} = \frac{\text{دیوارها } (K.A) + \text{پنجره } (K.A) + \text{سقف } (K.A) + \text{کف } (K.A)}{\text{دیوارها } A + \text{پنجره } A + \text{سقف } A + \text{کف } A}$$

که در این رابطه A سطح، K_{ave} ضریب انتقال حرارت متوسط و K ضریب انتقال حرارت می‌باشد.

➢ پیشنهاداتی در مورد عایق‌کاری حرارتی

الف : طبقهٔ همکف :

در کف طبقهٔ همکف معمولاً بتن‌ریزی بر روی قلوه‌سنگ‌ها انجام می‌گیرد و این روش عایق خوبی بوده و احتیاج به عایق‌کاری اضافی ندارد. بیشتر اتلاف حرارت در کف از کنارهٔ دیوارها انجام می‌گیرد، لذا عایق‌کاری در کف باید در کنارهٔ دیواره‌ها انجام شود. عایق‌کاری حرارتی بایستی روی عایق‌کاری رطوبتی انجام بگیرد.

سقف طبقهٔ همکف که کف طبقه اول می‌باشد و مانند سقف پارکینگ‌ها به هوای سرد راه دارد. باید عایق‌کاری حرارتی بشود که می‌توان برای اینکار از پشم شیشه یا پشم سنگ استفاده نمود و آنها را بصورت یکپارچه انجام داد. در مناطق مرطوب بهتر است عایق راه تنفس داشته باشد تا از پوسیدگی آن جلوگیری شود.

ب : دیوارهای خارجی:

با دو لایهٔ آجرچینی و یا یک لایه آجرچینی در خارج و یک لایه بلوک از بتن سبک در داخل می‌توان مقاومت حرارتی خوبی ایجاد نمود. برای بهتر شدن عایق‌کاری می‌توان بین دو لایه، فضایی خالی ایجاد نمود. عایق‌کاری باید بعد از اینکه دیوارها کاملاً خشک شد صورت گیرد.

ج : پنجره‌ها :

پنجره‌هایی با یک لایه شیشه از نظر مقاومت حرارتی ضعیف بوده، گرما از میان شیشه خیلی سریع‌تر از کف طبقهٔ همکف که مجاور زمین است عبور می‌کند. شیشه هر قدر که برای ساختمان لازم است ولی دشمن صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌باشد. بهرحال بایستی برای سطوح شیشه‌ها محدودیت‌هایی در نظر گرفت. پنجره‌های دو شیشه‌ای از نظر عایق بودن خیلی بهتر بوده و فرار گرما، از آنها حدود نصف پنجره‌های یک جداره است و منطقهٔ سرد اطراف آنها از بین می‌رود و خطر تعریق روی آنها کاهش می‌یابد. اما از نظر قیمت با صرفه نیستند. زیرا در خانه‌های معمولی نیمه‌چسبیده فقط باعث یک دهم صرفه‌جویی انرژی در کل می‌شود. در

د : بام‌ها :

بام‌های شیبدار که با شیروانی آهن سفید و یا سیمان پوشیده می‌شوند در فضای زیر خط می‌توانند یک عایق ضدپوسیدگی داشته باشند که بصورت پوشش یکپارچه‌ای باید کشیده شوند. این عایق بایستی دارای مقاومت حرارتی حدود $(m^{2\circ}\ c/w)$ ۰/۷۶ باشند. بام‌های صاف بتن یا تیرآهن بهتر است از دو رو عایق‌کاری شوند که در این صورت جسم بام گرم بوده و در صورت از کار افتادن احتمالی تأسیسات گرمایشی یا سرمایشی، درجه حرارت داخل ساختمان برای مدتی قابل قبول خواهد بود. صفحات پلی‌استایرن چه بصورت صاف و چه شیبدار نباید در جایی بکار روند که درجه حرارت آنها از ۸۰ درجه سانتیگراد بالاتر رود. در غیر اینصورت روی بام را باید با یک لایه منعکس‌کننده پوشانید.

هـ : انواع عایق‌ها :

عایق‌هایی که برای اتلاف انرژی بکار برده می‌شود، محدود می‌باشند که بطور اجمال به شرح آنها می‌پردازیم.

پشم شیشه : الیاف حاصل از شیشه ذوب شده بصورت توپ پارچه یا تختهٔ پتو یا مقاومتی در حدود $(m^{2\circ}\ c/w)$ ۳ برای هر اینچ ضخامت .

پشم معدنی یا پشم سنگ: الیافی حاصل از ذوب سنگ‌ها تا حدی شبیه پشم شیشه و با همان مقاومت.

الیاف سلولزی : ساخته شده از پلی‌استایرن و پلی‌اورتان با مقاومتی برابر $m^{2\circ}\ c/w$ ۴ تا $m^{2\circ}\ c/w$ ۶ در هر اینچ ضخامت، ولی قابل اشتعال بوده و باید از آتش دور نگهداشته شود.

کف پلی اورتان: بیشتر در میان دیوارهای دو جداره بوسیله ماشین مخصوصی با فشار داخل جدار می‌شود. مقاومت آنها بیش از $m^{2\circ}\ c/w$ ۵ در هر اینچ ضخامت می‌باشد.

پارتیکل برد: از الیاف چوبی ساخته شده است و برای جلوگیری از نفوذ صدا نیز مناسب است. دارای مقاومتی برابر $m^{2\circ}\ c/w$ ۲/۶ در هر اینچ ضخامت می‌باشد.

۵-۱-۳- سیستم‌های روشنایی

۱- پیشنهادی می‌شود بمنظور پی‌گیری جدی‌تر، مجمع مهندسان روشنایی ایران تأسیس شده تا ضمن مطالعات و بررسی‌های عمیق‌تر نسبت به مسئله روشنایی مقادیر استاندارد روشنایی در اماکن مختلف با توجه به سطح زندگی و آداب و رسوم خاص هر منطقه از کشور تأمین و پس از قانونمند شدن جهت اجرا به ارگان‌ها و سازمان‌های مربوطه ابلاغ گردد.

۲- پیشنهاد می‌شود با تربیت نیروهای متخصص در دانشگاه‌ها در زمینه مهندسین روشنایی، در امر طراحی و سیستم‌های روشنایی ساختمان‌ها از نظرات تخصصی افراد خبره نیز استفاده شده و حتی در امر ساخت و سازها تأییدیه مهندس روشنایی نیز بصورت اجباری برای اخذ پایان کار آورده شود.

۳- با توجه به پیشرفت علم روشنایی در زمینه محاسبات و لوازم و تجهیزات، پیشنهاد می‌شود نرم‌افزاری در این مورد تهیه و در طراحی ساختمان‌ها مورد استفاده قرار بگیرد.

۵-۱-۴- پتانسیل استفاده از انرژی خورشیدی در ساختمان

در شرایطی که تابش کلی خورشید بر سطح عمود بر پرتو آفتاب باشد و آسمان نیز صاف (روز کاملاً آفتابی) باشد، می‌توان ایران را از نظر تابش خورشیدی به سه منطقه با تابش زیاد، متوسط و کم تقسیم می‌شود. سواحل دریای خزر، به علت ارتفاع کم از سطح دریا و بخشی از شمال خراسان و شمال آذربایجان به علت عرض جغرافیایی زیاد در شمار نواحی کم تابشی ایران می‌باشند. مناطق مرتفع غرب و جنوب ایران، جزو مناطق با تابش زیاد و بقیه سرزمین‌های کشور، جزو نواحی با تابش متوسط به شمار می‌روند. در فصل زمستان به علت برودت هوا (دیماه) میزان انرژی دریافتی در هر یک از مناطق کم تابش، متوسط و با تابش زیاد به ترتیب بین ۳/۵-۲ ، ۴/۵-۳/۵ و ۷-۵ کیلووات ساعت بر متر مربع می‌باشد.

همچنین از نظر میانگین سالانه، انرژی خورشیدی دریافتی روزانه در واحد سطح افق، نقاط مختلف کشور به چهار منطقه تقسیم می‌گردد، سواحل دریای خزر با عرض جغرافیایی زیاد، ارتفاع کم و پوشش ابرزیاد کم تابش‌ترین منطقه ایران است. ضمن آنکه، بطور متوسط روزانه ۲/۸ تا ۳/۸ کیلووات ساعت بر مترمربع سطح افقی، انرژی خورشیدی دریافت می‌کند. دومین منطقه تابش با رقمی بین ۳/۸ تا ۴/۵، شامل آذربایجان ، شمال خراسان و خوزستان است. بالاترین منطقه تابشی با رقمی بین ۵/۲ تا ۵/۴، شامل نواحی مرتفع جنوب و مرکزی ایران است (از شهر کرد تا جنوب استان فارس و استان کرمان) که به عنوان چهارمین منطقه تابشی کشور می‌باشد. بالاخره بقیه نقاط کشور، منطقه سوم تابشی هستند که از نظر مساحت، بزرگترین منطقه محسوب می‌شوند و بطور متوسط روزانه ۴/۵ تا ۵/۲ کیلووات ساعت بر متر مربع سطح افقی انرژی خورشیدی دریافت می‌کنند.

ایران از نظر انرژی خورشیدی از پتانسیل بسیار بالایی برخوردار است. رقم متوسط بیش از ۵ کیلووات ساعت بر متر مربع سطح افقی برای بیشتر مناطق کشور، رقم بسیار بالایی است که تنها معدودی ازکشورها، رقمی بالاتر از آن دارند. و برای استفاده از انرژی خورشیدی در مقایس کوچک (از قبیل استفاده گرمایشی و سرمایشی و ...) تمامی مناطق ایران دارای استعداد کافی برای این امر است. البته بررسی‌های اقتصادی لازم به منظور استفاده از انرژی خورشیدی بعنوان جایگزینی انرژی‌های متعارف نشان می‌هد که میزان هزینه یا سرمایه‌گذاری لازم برای این امر مستلزم وقت بیشتری است.

➢ استفاده از انرژی خورشیدی در ساختمان

آبگرم خانگی :

مساعدت‌ترین بخش برای کاربرد انرژی خورشیدی، بخش خانگی است. قسمت اعظم آبگرم مصرفی در این بخش می‌تواند توسط انرژی خورشید تأمین شود. در پاره‌ای از موارد انرژی خورشید برای تأمین آبگرم مصرفی مناسب نخواهد بود. از جمله مجموعه آپارتمان‌های بلند، مناطق جنگلی، خانه‌هایی که در جهت مناسب قرار ندارند و مناطق با تشعشات کم خورشید. ولی بهر صورت می‌توان بیش از ۶۰ درصد آبگرم خانگی را از طریق خورشید تأمین نمود. تکنولوژی آبگرمکن‌های خورشیدی کاملاً توسعه پیدا کرده و به درجه بالایی از بلوغ رسیده است. هر چند که آبگرم خانگی تها چند درصد (حدود ۲ درصد) از کل انرژی مصرفی را تشکیل می‌دهد ولی پرداختن به این مسئله بسیار مهم می‌باشد.

گرم کردن فضا :

گرم کردن فضا در اکثر نقاط ایران خصوصاً در مناطق سرد احتیاج به انرژی قابل ملاحظه‌ای دارد. و شاید یکی از اقلام مهمی باشد که می‌تواند با تکنولوژی موجود توسط انرژی خورشیدی تأمین شود. البته کار ساده‌ای نیست زیرا بسیاری از ساختمان‌های موجود برای این کار مساعد نیستند. علیرغم سیستم‌های آبگرم خانگی که دارای طرح تقریباً یکنواختی هست. طرح‌های مختلفی در این زمینه وجود دارند. مثلاً سیتم‌های هوا، سیستم‌های آبی ، سیستم‌های هوا - آب و سیستم‌های غیرفعال (Passive) . سیستم‌های آبگرم خانگی اقتصادی‌تر از سیستم‌های گرمایشی است. زیرا تنها فقط در فصل سرما مورد استفاده قرار می‌گیرند. تکنولوژی این سیستم‌ها، همانند آبگرم‌کن‌های خانگی است. البته کلکتورهای مسطح باید از یک کیفیت بالاتری برخوردار باشند. این کار توسط پوشش دو جداره، عایق بهتر و یا سطح انتخابی عملی خواهد شد. از آنجا که الکتریسته در اکثر مناطق وجود دارد، بهتر است که سیستم‌های گرمایشی و پمپ حرارتی را در کنار هم مورد استفاده قرار داد. در این صورت انرژی خورشیدی درجه حرارت‌های پایین (۲۸۳ تا ۳۰۰ درجه کلوین یا ۲۷-۱۰ درجه سانتیگراد یا ۸۰-۵۰ درجه فارنهایت) را تأمین می‌کند و پمپ حرارتی آن را به ۱۳۰ درجهٔ فارنهایت (۳۲۸ درجهٔ گلوین یا ۵۵ درجهٔ سانتیگراد) ارتقاء می‌دهد. مشکل اساسی بر سر راه این تکنولوژی سرمایه‌بری آن است.

سرد کردن فضا :

سیستم‌های گرمایشی – سرمایشی برای مناطق مسکونی و تجاری کاربرد دیگری از انرژی خورشیدی است که به تکنولوژی پیچیده‌تری نیازمند است. برای تولید سرما از منابع حرارتی یک ظرافت و پیچیدگی خاصی لازم است. در دهه ۱۹۷۰ سه متد مورد توجه و توسعه قرار گرفته است. روش متداول عبارتست از استفاده از یک موتور حرارتی برای به حرکت درآوردن یک برد کمپرسوری برای ایجاد سرما، روش دوم عبارتست از سرمایش بوسیله تبخیر که برای تولید دوباره " مرطوب ساز" هوای خشک بوسیله انرژی خورشیدی مرطوب می‌شود. روش سوم استفاده از چیلر جذبی است. در تمام این سه روش منبع حرارتی مورد نیاز باید حداقل دارای درجه حرارت ۱۹۰ درجهٔ فارنهایت (۳۶۱ درجهٔ کلوین یا ۸۸ درجهٔ سانتیگراد) باشد. هر چند که درجه حرارت ۳۰۰ درجهٔ فارنهایت (۴۲۲ درجه کلوین و ۱۴۹ درجهٔ سانتیگراد) ارجح‌تر است. در نتیجه کلکتورهای سطح بندرت می‌توانند چنین درجه حرارتی را تولید کنند. در نتیجه بهتر است که از متمرکز کننده‌ها استفاده شود. البته هر چه قدرت تمرکز بالاتر باشد، درجه حرارت بدست آمده نیز بالاتر است، ولی زاویه دریافتی و یا قطر دهانه کلکتور کوچکتر می‌شود و به سیستم‌های دنبال‌کننده اشعه خورشید احتیاج هست، که باعث افزایش پیچیدگی و قیمت سیستم خواهد شد. برای چنین سیستم‌هایی متمرکزکننده با تمرکز متوسط و تنظیم فصلی مناسب‌تر است.

➢ سیستم‌های انرژی خورشیدی:

یک روش اساسی جمع‌آوری انرژی برای حصول گرمایش، روش تأثیر گلخانه است که در آن جهت استفاده از انرژی جذب شده، معمولاً یکی ذخیره کننده حرارت (مثل دال بتنی) و یک سیستم توزیع به کار گرفته می‌شود تا سیستم انرژی خورشیدی کامل گردد.

عمده‌ترین سیستم‌های انرژی خورشیدی عبارت است از سیستم‌های غیرفعال (Passive)، سیستم فعال (Active) و سیستم‌های مرکب فعال و غیرفعال، در سیستم غیرفعال، خود ساختمان به عنوان جذب کننده، ذخیره کننده و توزیع کننده انرژی عمل می‌کند. در حالیکه در سیستم فعال وسیله‌ای برای جذب و ذخیره و توزیع انرژی طراحی می‌شود.

توصیه‌هایی جهت استفاده از انرژی خورشیدی در ساختمان

۱- **کسب حرارت از طریق شیشه** : زاویه بهینه برخورد، حالت عمود بر شیشه است ولی حرارت دریافتی تا زاویه ۳۰ درجه نسبتاً ثابت است.

۲- **جذب خورشیدی و جرم حرارتی** : مصالح ساختمان در بخش‌هایی از ساختمان که از آنها استفاده طولانی می‌شود (در منازل قسمت‌های نشیمن) باید تیره‌رنگ و دارای ظرفیت حرارتی حجمی بالا باشد و در این قسمت‌ها هیچگونه عایق سطحی (نظیر قالی و ...) نباید مورد استفاده قرار گیرد.

۳- **جهت استقرار ساختمان** : نسبت مساحت نمای جنوبی به شرقی یا غربی برابر ۱/۶-۱/۵ به ۱ با بیشترین سطح زیر بنای نشیمن رو به جنوب، و همچنین وضعیت قرار گرفتن ساختمان بین ۱۵ درجه غربی و ۳۰ درجه شرقی حالت بهینه است.

۴- **سایه و نورگیر** : در فصل تابستان کوچکترین وسایل سایه‌کننده در سمت جنوب جوابگو است ولی در جهت غرب تعبیه سایبان‌های عمودی در کنار پنجره و پرده‌هایی در جلو پنجره ضرورت است. عملاً بهتر است در سمت غرب ساختمان، نورگیرها کوچک باشد و یا هیچ نورگیری وجود نداشته باشد.

۵- **گردش هوا** : اصل کلی در طراحی ساختمان‌های خورشیدی فراهم آوردن شرایط مطلوب جهت گردش هوا در ساختمان می‌باشد.

۶- **ذخیره انرژی** : جهت افزایش بازده استفاده از انرژی خورشیدی و ذخیره انرژی حرارتی به منظور استفاده در شب، از مخازن هوای گرم (قلوه‌سنگ ، آب و ...) که دارای ظرفیت حرارتی بالایی هستند استفاده می‌شود.

۷- **استفاده از عایق منکعس کننده پشت رادیاتور شوفاژ:** استفاده از ضخامت منعکس‌کننده موجب انتقال انرژی تشعشعی بهتری از رادیاتور اطاق‌ها به داخل فضا می‌گردد.