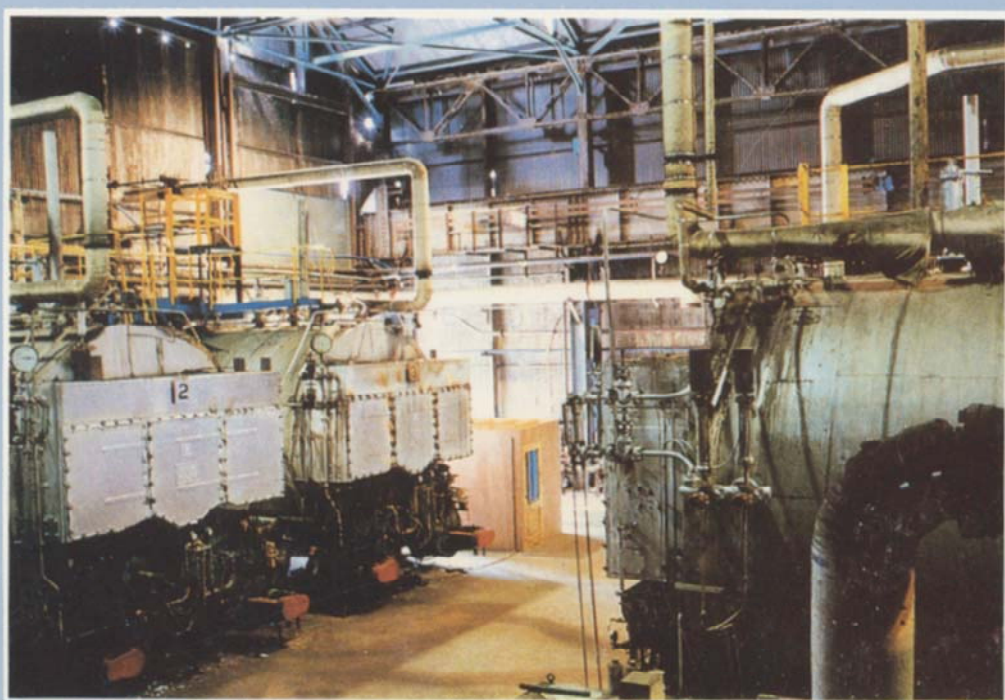




جمهوری اسلامی ایران  
وزارت نیرو  
امور انرژی

## راهنماهای فنی مدیریت انرژی



**استفاده اقتصادی  
از دیدگاههای بخار  
با سوخت نفت**

۱۰

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 تنازع بقاء 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 پر انرژی، 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

- ۱- مقدمه ..... ۶
- ۲- اطلاعات پایه‌ای ..... ۶
  - ۲-۱- تحویل، انتقال و ذخیره سوخت ..... ۶
  - ۲-۲- کنترل آلودگی ..... ۸
- ۳- عوامل تأثیر گذار ..... ۹
  - ۳-۱- دیگ بخار نمونه ..... ۹
  - ۳-۲- بازده حرارتی دیگ بخار ..... ۹
  - ۳-۳- تلفات گاز خروجی ..... ۱۱
  - ۳-۴- تلفات تشعشعی ..... ۱۸
  - ۳-۵- برنامه احتراق کنترل/ ترتیبی دیگ بخار ..... ۱۹
  - ۳-۶- کنترل متمرکز دیگ‌های بخار ..... ۱۹
  - ۳-۷- سیستم‌های کنترل دور متغیر برای فن‌های هوای احتراق ..... ۱۹
  - ۳-۸- پیش گرمایش هوای احتراق ..... ۲۰
  - ۳-۹- تخلیه دیگ بخار ..... ۲۰
  - ۳-۱۰- تصفیه آب ..... ۲۱
  - ۳-۱۱- بازیافت مایع حاصل از میعان ..... ۲۲
  - ۳-۱۲- سرویس‌های آب گرم و بخار ..... ۲۴
- ۴- لیستی از روشهای صرفه‌جویی ..... ۲۷

## ۱- مقدمه

دیگ‌های بخار و تحت فشار آب گرم در مراکز صنعتی و تجاری دارای ظرفیتهای متغیر از ۱۰۰ کیلووات تا بیش از ۳۰ مگاوات، (341,000 Btu/h تا بیش از 102,000,00 Btu/h) می‌باشند. این جزوه عمدتاً به دیگ‌های بخار نوع پوسته‌ای<sup>۱</sup> یعنی آن دسته از دیگ‌های بخار که دارای ظرفیت متوسط می‌باشند می‌پردازد. امروزه هزاران دیگ بخار از این نوع در سیستم‌های گرمایش و فرآیند مورد استفاده هستند. البته اکثر اطلاعات داده شده در این جزوه برای انواع دیگر نیز کاربرد دارد.

این جزوه روشهایی را که می‌توان با تمسک به آنها در سوخت و در نتیجه هزینه بهره‌برداری دیگ‌های بخار صرفه‌جویی نمود ارائه می‌دهد. جهت رسیدن به هدف مذکور مطالعات از تحویل سوخت به دیگ بخار آغاز شده و تا خروج نهایی حرارت از آن استمرار می‌یابد. در این راستا تلفات حرارتی مختلف شناخته شده و میزان این تلفات اندازه‌گیری می‌شود. در نهایت لیستی از روشهای صرفه‌جویی هزینه بیان خواهد شد.

برای آنکه بتوان تصویر خوبی از صرفه‌جویی‌ها ترسیم شود، یک دیگ بخار نمونه با هزینه سوختی معادل ۲۵۰,۰۰۰ پوند در سال به عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود. واضح است که موارد استثنایی نیاز به مطالعات خاص خود را دارد، اما با این وصف امید است با درج یک نمونه کمی در این جزوه بتوان صرفه‌جوییهای ممکن را که استفاده کنندگان می‌توانند کسب کنند، نمایش داد.

بسیاری از دیگ‌های بخار با بازده کمتر از مقدار قابل کسب، بهره‌برداری و نگهداری می‌شوند. صرفه‌جویی در سوخت بسیار ارزشمند است. این کتابچه شما را از چگونگی دستیابی به این صرفه‌جویی‌ها آگاه می‌سازد.

## ۲- اطلاعات پایه‌ای

### ۲-۱- تحویل، انتقال و ذخیره سوخت

۱- سوخت نفت برای انتقال و ذخیره‌سازی نیاز به گرم شدن دارد. لذا بطور معمول سوخت نفت سنگین در درجه حرارت  $50^{\circ}\text{C}$  یا بیشتر تحویل می‌شود جهت انتقال و نگهداری، درجه حرارت سوخت باید مطابق توصیه‌های شماره ۱ شود، سوخت‌های سبک و نیمه سنگین باید در حداقل درجه حرارت مورد نیاز جهت انتقال، تحویل شوند. باید در ذخیره‌سازی و انتقال از گرمایش بیش از حد سوخت در مخازن و لوله‌ها اجتناب گردد، زیرا این امر سبب اتلاف انرژی می‌گردد.

بایستی دریچه‌های بخار<sup>۲</sup> موجود بر روی مخازن و گرم‌کننده‌های جریان خروجی<sup>۳</sup> بطور منظم تعمیر و نگهداری گردند. توصیه می‌شود که سوخت نفت گرم‌شده را در یک سیستم حلقه بسته به مخزن برگشت نداد،

<sup>۱</sup> Shell Type

<sup>۲</sup> Steam trap

<sup>۳</sup> Outflow Heaters

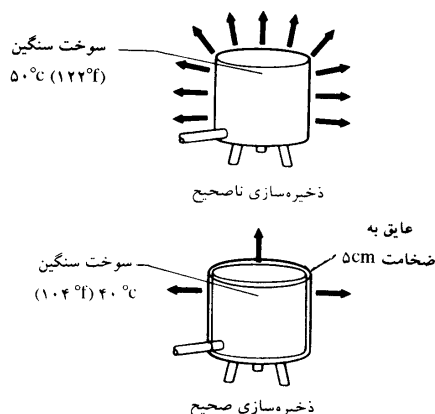
زیرا این امر موجب افزایش شدید و غیر قابل کنترل دمای سوخت ذخیره شده می‌گردد. به علاوه باعث تلفات انرژی می‌شود و نیز می‌تواند فساد تدریجی سوخت و در نتیجه مشکلات بعدی احتراق را سبب گردد. پیشنهاد می‌گردد چنین سوختی به طرف قسمت مکش پمپ بازگردانده شود.

جدول ۱: دماهای توصیه شده جهت ذخیره‌سازی و انتقال سوخت (اقتباس از BS 2869)			
درجه سوخت	BS 2869 بخش ۱۹.۸۸.۲	حدافل درجه حرارتها <sup>a</sup>	
	طبقه بندی	انتقال	ذخیره
سوخت سبک	طبقه E	۱۰°C	۱۰°C
سوخت نیمه سنگین	طبقه F	۳۰°C	۲۵°C
سوخت سنگین	طبقه G	۵۰°C	۴۰°C

\* این حدافل دما فقط مرجعی برای سوخت‌هایی که تحت استاندارد خاص طبقه‌بندی شده‌اند می‌باشد. برای سوخت‌های دیگر، بخصوص برای بعضی از سوخت‌های سنگین‌تر که امروزه در دسترس قرار دارند، باید به تولید کننده سوخت رجوع شود.

۲- همه مخازن و لوله‌های سوخت که در محیط روباز قرار دارند باید کاملاً از محیط اطراف عایق‌بندی شده (شکل ۱) و کلیه لوله‌های سوخت توسط بخار یا گرم‌کننده‌های الکتریکی تا حدافل دمای لازم جهت انتقال گرم شوند.

عایق مخازن عمودی باید حدافل ۳۰ سانتی‌متر از زمین فاصله داشته باشد. این امر از نفوذ آب راکد اطراف تانک به داخل عایق که سبب از بین رفتن خواص عایقی آن می‌شود جلوگیری می‌نماید. اگر از عایقی با ضخامت ۵ سانتی‌متر جهت عایق کاری مخزن ذخیره سوخت استفاده گردد در اینصورت با انرژی بسیار کم، دمای مخزن در سطوح توصیه شده باقی خواهد ماند. ذخیره‌سازی سوخت در دماهایی بیش از حدود توصیه شده سبب اتلاف غیرضروری انرژی خواهد شد.



گرم کننده نصب شده در خروجی مخزن سوخت باید فقط انرژی حرارتی جهت رساندن دمای سوخت به حداقل مقدار مورد نیاز جهت انتقال را تأمین کند.

گرم کننده‌های بخار مربوط به خط سوخت، باید جهت بررسی نشتی و آسیب دیدگی متناوباً بازدید شوند. در صورت استفاده از گرم کننده‌های الکتریکی باید پیوستگی مدار الکتریکی بررسی گردد.

۳- باید در هنگام تخلیه مخزن‌ها احتیاط و دقت لازم صورت پذیرد تا از نشت سوخت بدلیل خرابی اتصالات و بهره‌برداری ناصحیح جلوگیری گردد. تأمین کنندگان سوخت اصرار می‌ورزند که اطمینان از وجود فضای لازم جهت تحویل سوخت و زدن برچسب درجه سوخت بر لوله‌های نفت در حوزه مسئولیت خریدار می‌باشد. اقتصادی‌ترین شیوه خرید نفت آنست که تانکرهای حمل با حداکثر ظرفیت خریداری شوند.

۴- نشان‌دهنده سطح سوخت باید دقیق باشد به ویژه هنگامی که سطح سوخت در مخزن بالا است.

۵- خطوط اضافی سوخت در قسمت‌های ذخیره‌سازی باید جمع‌آوری شوند، زیرا احتمال خطرات ناشی از صدمات اتفافی، خرابیها و زیانهای ناشی از نشت سوخت را افزایش می‌دهد.

۶- باید در خط سوخت فیلترهای دوگانه وجود داشته باشد. این فیلترها نیاز به نظافت مرتب دارند. فیلتر مشعلهای سوخت نیز باید بطور منظم بازدید شود. اندازه فیلترها باید مطابق توصیه‌های ارائه شده در بخش ۴ استاندارد BS 799 باشد.

۷- جهت یافتن نشتی‌های سوخت از مخازن و لوله‌ها باید بازدیدهای مکرر بعمل آید. نشتی‌ها باید در اسرع وقت متوقف شوند، زیرا صرفنظر از اتلاف سوخت، می‌توانند باعث ایجاد حوادث و آلودگی محیط شده و خطر آتش‌سوزی را افزایش دهند.

## ۲-۲- کنترل آلودگی

صرفه‌جویی در انرژی را نباید به تنهایی مورد بررسی قرار داد و نباید به بهای افزایش تشعشعات آلوده‌کننده کسب شود.

بسته به ظرفیت، دیگ‌های بخار با مقررات ویژه هوای سالم<sup>۱</sup> و دستورالعمل حفاظت محیط زیست<sup>۲</sup> بررسی می‌گردند. دیگ‌های بخار با ظرفیت زیر ۲۰ مگاوات، تحت مقررات ویژه هوای سالم می‌باشند، در حالی که دیگ‌های بخار با ظرفیت بین ۲۰ الی ۵۰ مگاوات تحت پوشش مقررات بخش B دستورالعمل حفاظت محیط زیست (EPA) قرار دارند. HMIP (اداره سلطنتی بازرسی آلودگی) در حال حاضر مسئولیت آلودگی ناشی از دیگ‌های بخار بزرگتر که سوخت ورودی آنها براساس ارزش حرارتی خالص، جمعاً متجاوز از ۵۰ مگاوات است را به عهده دارد. با اجرای دستورالعمل و مقررات حفاظت محیط زیست (EPA)، نیاز به روش BATNEEC<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> Clean Air Act Regulations

<sup>۲</sup> Environmental Protection Act

<sup>۳</sup> Best Available Technique Not Entailing Excessive Expenditure



(بهترین روش موجود که مستلزم هزینه سنگین نیست) به جای بهترین روشهای قدیمی احساس می‌شود. در تعیین حدود گازهای آلوده کننده، HMIP هزینه نصب تجهیزات بیشتری جهت کاهش آلودگی را نیز به حساب می‌آورد. اگر این هزینه زیاد باشد، ممکن است کنترل اضافی نیاز نباشد.

### ۳- عوامل تأثیر گذار

#### ۳-۱- دیگ بخار نمونه

به منظور نمایش اهمیت صرفه جوئی ها در بخشهای مختلف، یک دیگ بخار نمونه (شکل ۲) به کار گرفته شده است.

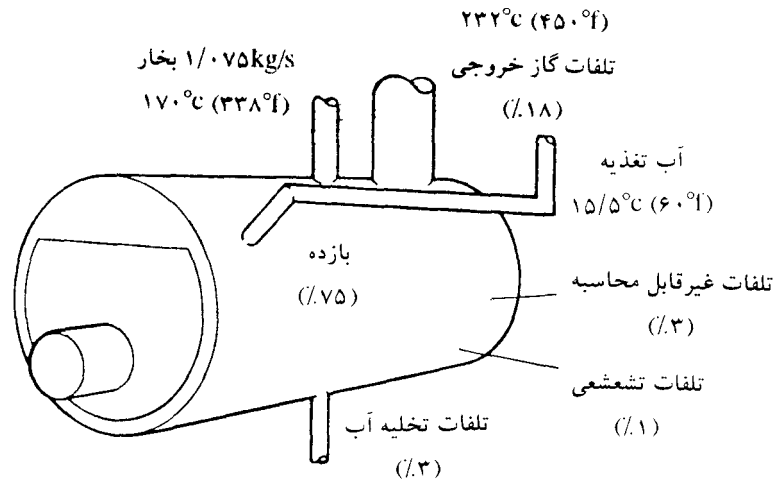
این امر ثابت شده است که دیگهای بخار مدرنی که خوب نگهداری و کنترل شوند می‌توانند در شرایط عادی به بازدههای بیش از ۸۰٪ (ارزش حرارتی ناخالص) دست یابند. با عنایت به اهداف این کتابچه و با توجه به نوسانات روز به روز خروجیهای اضطراری دیگ بخار، رقم ۷۵٪ برای بازده، رقمی معقول فرض شده است. مشخصات دیگ بخار به شرح زیر می‌باشد:

بازده دیگ بخار براساس ارزش حرارتی ناخالص	۷۱٫۸٪
تلفات گاز خروجی	۴٪
تلفات تشعشع، تلفات غیرقابل محاسبه و غیره	۳٪
تلفات تخلیه آب (فقط تشکیل بخار)	۱۰۰-۲۵=۷۵
بازده دیگ بخار	۲۳۲°C (۴۵۰°F)
دمای گاز خروجی	۱/۵°C (۶۰°F)
دمای آب تغذیه/ آب برگشتی دیگ بخار	۱۲/۵MW (سال/ساعت ۷۰۰۰)
تولید متوسط بخار	۷ bar (۱۰۰ psi)
فشار بهره‌برداری	۱۷۰°C (۳۳۸°F) (اشباع خشک)
دمای بخار	سال/پوند ۲۵۰۰۰۰
هزینه سوخت سنگین	۱۱ پنس
قیمت یک لیتر	۲۱۸۲۵۰۰
میزان مصرف برحسب لیتر در سال	

#### ۳-۲- بازده حرارتی دیگ بخار

با بهره‌برداری از دیگ بخار در حداکثر بازده حرارتی، حداقل هزینه کسب می‌شود. این بخش، تلفات مختلف را بررسی نموده و توجه را به چگونگی حداقل کردن آنها جلب می‌نماید.

تلفات حرارتی دیگ بخار شامل: تلفات گازهای خروجی، تلفات از بخش خارجی دیگ بخار (تلفات ناشی از تشعشع)، سایر تلفات متفرقه و تلفات ناشی از تخلیه آب دیگ بخار می‌باشد.



هزینه سالانه ۲۵۰۰۰۰ یوند

تلفات مذکور را می توان در معادله اساسی زیر بیان نمود:

$\% \text{تلفات تشعشعی} + \% \text{تلفات خروجی} - \% \text{بازده حرارتی دیگ} = \% \text{تلفات ناشی از تخلیه آب} + \% \text{تلفات متفرقه}$	بخار
---	------

در این کتابچه، محاسبات بر اساس ارزش حرارتی ناخالص سوخت است. هر جا که از محتوای حرارتی سوخت و یا بازده دیگ بخار صحبت می شود بسیار مهم است که روشن گردد مقادیر داده شده براساس کدامیک از ارزش حرارتی خالص و یا ناخالص بیان شده اند. بنابراین درک این واژه مهم است.

کلیه سوخت ها حاوی مقداری هیدروژن می باشند که در هنگام سوختن تولید بخار آب می نمایند. گرمای نهان در بخار فقط از طریق میعان قابل دستیابی است ارزش حرارتی ناخالص سوخت تمام اشکال انرژی حرارتی موجود در سوخت را شامل می گردد، در حالی که ارزش حرارتی خالص شامل این حرارت منهای نهفته در بخار آب می باشد. وقتی که مقادیر ناخالص در معادله ذکر شده بکار روند تلفات گاز خروجی شامل تلفات گرمایی حاصل از بخار موجود در گاز خروجی نیز می شود، اما هنگامی که مقادیر خالص در معادله فوق بکار روند تلفات گرمایی حاصل از بخار حذف می گردد، به همین دلیل بازده دیگ بخار براساس مقادیر خالص از نظر کمی بیشتر از محاسبات بر اساس مقادیر ناخالص می باشد، علیرغم اینکه مقدار خروجی واقعی حرارتی در هر دو حالت یکسان است. غالباً در بیشتر کشورهای اروپایی ارزش حرارتی خالص بکار برده می شود.

برای محاسبات این کتابچه از مقدار ناخالصی استفاده می شود زیرا این ساده ترین روش جهت ارتباط با هزینه های سوخت است. متوسط اختلاف بین ارزش حرارتی ناخالص و خالص بطور تقریبی برابر ۵/۵٪ می باشد.

## ۳-۳- تلفات گاز خروجی

### • نسبت سوخت به هوا

برای نیل به بازده حرارتی بالا و در نتیجه کاهش هزینه سوخت، در یک دیگ بخار میزان هوای احتراق باید محدود به هوای مورد نیاز جهت احتراق کامل سوخت گردد. در عمل، هوای اضافی، در حدود ۵۱ الی ۵۲ درصد، مورد نیاز است.

میزان واقعی هوای اضافی مورد نیاز به منظور کسب بازده بهینه دیگ بخار، بستگی به نوع سوخت مصرفی، نوع دیگ بخار و مشعلها، روش بهره‌برداری و کارایی گرمایش از طریق هوای اضافی به گاز خروجی انتقال می‌یابد. در نتیجه اگر میزان هوای اضافی بیش از حد باشد تلفات مربوط به گاز خروجی نیز زیاد شده و این امر موجب افزایش هزینه بهره‌برداری می‌گردد. همچنین اگر میزان هوا بسیار کم باشد درصدی از سوخت، احتراق نیافته و در نتیجه باعث ایجاد دود می‌شود که احتمالاً مقررات مربوط به آلودگی را نقض خواهد نمود. در این حالت هزینه بهره‌برداری نیز افزایش خواهد یافت. در مورد میزان هوای اضافی باید با سازنده دیگ بخار یا مشعلها مشورت نمود تا بهترین شرایط جهت سوخت و هوای مورد نیاز بدست آید.

اگر مشعلها تمیز بوده و خوب تعمیر و نگهداری شوند، سیستم کنترل تنظیم کننده نسبت سوخت به هوا در دیگ‌های مدرن بخار قادر خواهد بود هوای اضافی توصیه شده را از طریق تنظیم مشعلها حفظ نماید اما میزان هوای اضافی در درجه پایین تنظیم مشعلها، افزایش می‌یابد.

بطور سنتی در هر مشعل تنظیم نسبت سوخت به هوا توسط تنظیم بادامک‌ها و بازوهای انتقال دهنده صورت می‌پذیرد. این تجهیزات اغلب در معرض کهنگی و فرسودگی قرار دارند. مهم است که تعمیرات و تنظیمات بطور مداوم و پیوسته صورت پذیرد.

### صرفه جویی‌ها یا تلفات در اثر تغییرات بازده

محاسبات ساده امکان صرفه‌جویی‌ها و یا تلفات را بخاطر تغییرات در بازده روشن می‌سازد. در صورتی که مقدار بازده معلوم باشد، اثر بازده بر هزینه سوخت به شرح زیر است:

$$\text{بازده اولیه} - \text{بازده جدید} \times \frac{\text{هزینه اولیه سوخت}}{\text{بازده جدید}} = \text{تغییرات در هزینه سوخت}$$

برای دیگ بخار نمونه با بازده ۵۷٪، اگر بازده با ۴٪ افزایش به ۷۱٪ برسد میزان صرفه‌جویی برابر خواهد بود با:

$$250000 \times \frac{79 - 75}{79} = 12658 \text{ پوند}$$

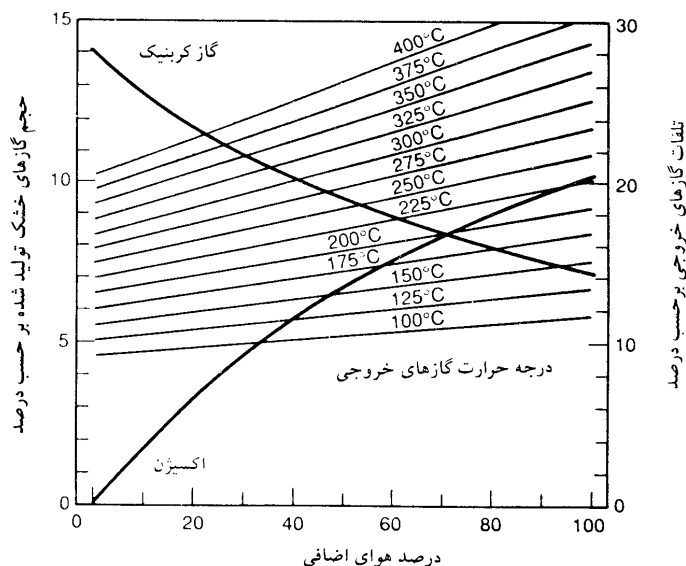
مشابه دیگ بخار نمونه دارای بازدهی برابر ۵۰٪ باشد افزایش بازده به میزان ۵۴٪ صرفه‌جویی بیشتر را نتیجه می‌دهد.

$$250000 \times \frac{54 - 50}{54} = 18529 \text{ پوند}$$

بعلاوه هر جا که مشعلهای دو سوخته در مدار قرار دارند، هرگونه تغییر سوخت نیاز به تنظیم و آزمایش مجدد نسبت سوخت به هوا دارد تا مطمئن شویم که تغییر سوخت مشعلها روی بازده احتراق اثر نامطلوب نگذاشته است. تکنولوژی نوین امکان تنظیم نسبت سوخت به هوا در مقادیر توصیه شده توسط سازنده را در همه اوقات میسر و در نتیجه تثبیت بازده احتراق را تضمین نموده است. سروموتورهای<sup>۱</sup> مربوط به شیرهای سوخت و دمپرهای هوا که با استفاده از تکنولوژی میکروپروسسوری کنترل می‌شوند جایگزین روشهای قدیمی شده‌اند. بدین ترتیب با ایجاد یک سیستم قابل برنامه‌ریزی می‌توان بطور اتوماتیک نسبت سوخت به هوا را با توجه به نوع سوخت انتخاب کرده و کنترل نمود.

غالباً اقتصادی است اگر دیگ‌های بخار بزرگ که تحت شرایط بار زیاد کار می‌کنند، به کنترل کننده‌های اتوماتیک نسبت سوخت به هوا (کنترل کننده‌های تنظیم‌کننده اکسیژن) مجهز شوند تا بازده دیگ بخار را در مقادیر بهینه تثبیت نمایند. این تجهیزات به طور مداوم میزان اکسیژن موجود در گاز خروجی را نظارت کرده و تصحیحات لازم را در تأمین هوای مورد نیاز جهت دستیابی به شرایط بهینه بعمل می‌آورند.

برای آنکه بتوان صحت نسبت سوخت به هوا را بررسی کرد، روش معمول این است که گازهای خروجی دیگ بخار را مورد تجزیه شیمیایی قرار داد و با استفاده از ترکیبات و درجه حرارت آنها، تلفات ناشی از گاز خروجی را ارزیابی کرد. این تلفات را می‌توان از طریق معادلات موجود در استاندارد BS 845: 1987 با عنوان «روشهای ارزیابی عملکرد حرارتی دیگ‌های بخار آب گرم و سیال‌های دما بالای انتقال‌دهنده حرارت» بدست آورد. همچنین می‌توان تلفات را از طریق جداول و منحنی‌های مرجع (اشکال ۳ و ۵) که به اندازه‌کافی جهت اهداف این کتابچه دقیق می‌باشند بدست آورد.



شکل ۳: تلفات گاز خروجی حاصل از سوخت نفت نیمه سنگین

<sup>۱</sup> Servomotor

منحنی‌های فوق حجم گاز خشک خروجی حاصل از سوخت نیمه سنگین که در درجه حرارت محیط اندازه‌گیری شده را نمایش می‌دهد. برای سایر سوختها، اختلاف در بازده کمتر از نیم درصد است. آگاهی از محدودیتهایی که اپراتور دیگ بخار هنگام کار در نزدیکی نقطه استوکیومتریک<sup>۱</sup> نسبتهای هوا به سوخت، در ارتباط با خروج ذرات از دودکش با آن مواجه می‌شود بسیار مهم است. نسبت هوا به سوخت استوکیومتریک، نسبتی است که مقدار هوای موجود دقیقاً برای احتراق کامل کافی است. شدت ایجاد کربن نسوخته در دیگ های بخار با سوخت سنگین به عوامل زیر بستگی دارد:

- میزان هوای اضافی احتراق
- شدت آتش در محفظه احتراق
- کیفیت پودر شدن<sup>۲</sup> سوخت
- کیفیت اختلاط سوخت و هوا
- میزان مواد قیری در سوخت

میزان مواد جامد در گاز خروجی دودکش تحت تأثیر عوامل زیر است:

- هوای اضافی که می‌تواند موجب سرد شدن ذرات کربن موجود در شعله شود
- ویسکوزیته سوخت پودر شده
- مواد قیری موجود در سوخت

اثر این عوامل در شرایط استفاده از سوخت سنگین در شکل ۴ نمایش داده شده است. مقدار بهینه‌ای برای درصد هوای اضافی که باعث حداقل تلفات دودکش می‌شود وجود دارد.

- بررسی گازهای خروجی

در شرایط بهره‌برداری کارآ از دیگ بخار با سوخت سفت، حدود ۵۱ الی ۲۰ درصد هوای اضافی در بار کامل باعث ایجاد ۳۱ الی ۴۱ درصد گازکربنیک در گاز خروجی می‌شود، میزان هوای اضافی در بار کم به ۳۰ درصد نیز می‌رسد.

میزان اکسیژن و یا  $CO_2$  در گاز خروجی اهمیت فراوانی دارد. می‌توان هر یک از گازها را به آسانی کنترل نمود تا از کنترل صحیح میزان هوای اضافی اطمینان حاصل شود ( شکل ۳).

بازده و عملکرد دیگ‌های بخار باید بطور منظم از طریق اندازه‌گیری گازکربنیک، اکسیژن و درجه حرارت موجود گاز خروجی آزمایش شود. این اندازه‌گیریها را می‌توان از طریق یک دستگاه آنالیزور قابل حمل، به ارزش ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ پوند، به دست آورد. بعضی از این دستگاهها بطور خودکار بازده دیگ بخار را محاسبه می‌نمایند. این دستگاهها دمای گاز خروجی از دیگ بخار، هوای اضافی، میزان  $CO_2$  و بازده را تنها با فشردن یک دکمه نشان می‌دهند. دستگاههای آنالیزوی که مقادیر ترکیبات اکسیدگوگرد و ازت را نشان بدهد نیز وجود دارد که

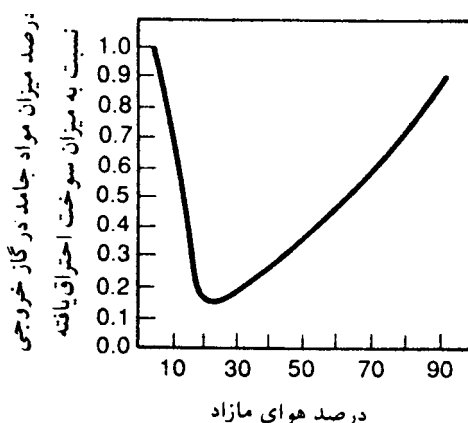
<sup>1</sup> Stoichiometric

<sup>2</sup> Atomisation

قیمت آنها هنگامی که از آنالیزورهای گاز استفاده می‌کنید پیروی از دستورالعمل‌های سازنده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین باید توجه داشت که دستگاه به شکل صحیح و مناسب سرویس شود.

سوخت سنگین با ۲ درصد مواد قیری  
و شدت محفظه احتراق برابر  $1/5 \text{ Mw/m}^3$

نمایش افزایش مواد جامد در گاز خروجی  
بخاطر کاهش میزان اکسیژن در گاز و زمان  
ناکافی اقامت در محفظه احتراق



شکل ۴: ارتباط بین هوای اضافی و گازهای خروجی از دودکش برای دیگ بخار با لوله احتراق استوانه‌ای شکل هزینه بالای نصب تجهیزات دائمی برای دیگ‌های بخار بزرگ و یا در مکانهایی که تعداد دیگ‌های بخار نصب شده زیاد باشد قابل توجه می‌باشد. آزمایش برای تعیین منواکسیدکربن موجود در گاز خروجی ممکن است توسط سازنده دیگ‌های با مشعل توصیه شود. مخصوصاً در تجهیزات کنترل اتوماتیک دیگ بخار بایستی اندازه‌گیری همزمان این گاز و اکسیژن در نظر گرفته شود.

هنگامی که از آنالیزور قابل حمل استفاده می‌شود نمونه‌های گاز خروجی نباید توسط هوای نشت یافته به داخل نمونه‌ها رقیق شود. این امر نتایج بررسی را تغییر می‌دهد. بعلاوه بایستی قبل از برداشتن نمونه جهت آنالیزور نقاط و محل‌های نمونه‌گیری پاکسازی شده تا اطمینان حاصل شود که در داخل آن هوا وجود نداشته و مسدود نشده باشد.

بسیاری از دیگ‌های بخار دارای نقطه انشعاب جهت نمونه‌گیری نمی‌باشند. اما برای دیگ‌های بخار یک پارچه این کار به آسانی با ایجاد یک سوراخ کوچک بر روی سطح فلزی لوله خروجی تا حد امکان نزدیک به دیگ بخار، میسر است. ضمناً باید از اینکه نمونه گرفته شده، نماینده واقعی گاز خروجی است از طریق قرارگرفتن در مقابل مسیر حرکت گاز خروجی اطمینان حاصل کرد و هرگونه تغییرات در  $O_2$  و  $CO_2$  را ارزیابی و تصحیح کرد.

در بعضی از دیگ‌های بخار قدیمی که با آجر پوشانده شده‌اند ممکن است پیدا کردن نقطه‌ای جهت نمونه‌گیری بطوری که هوای محیط به آن نفوذ ننماید مشکل باشد. بنابراین ایجاد یک نقطه نمونه‌گیری جهت این نوع دیگ‌های بخار احتمالاً نیاز به کار زیاد جهت آب بندی نقطه نمونه‌برداری شده خواهد داشت. توجه داشته باشید که در عمل، دمای گاز خروجی ممکن است با افزایش درصد  $\text{CO}_2$  موجود در آن کاهش یابد.

### • تمیزی سطوح انتقال حرارت

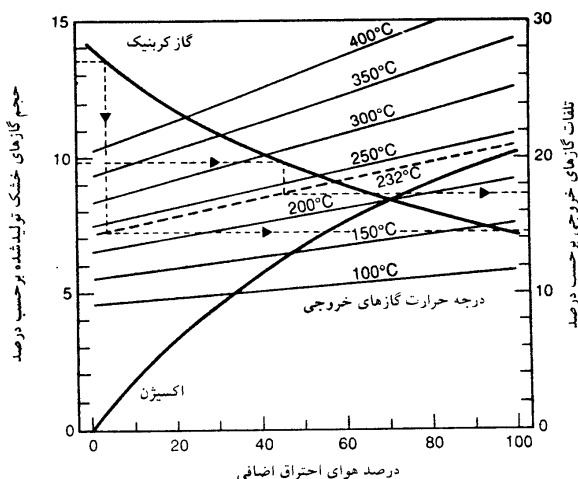
هرگاه لوله‌های دود دیگ بخار توسط دوده و ذرات جامد کثیف شوند میزان حرارت انتقالی از گازهای داغ حاصل از احتراق، به آب داخل لوله‌های دیگ بخار کاهش می‌یابد. این امر موجب افزایش درجه حرارت گاز خروجی و در نتیجه افزایش تلفات ناشی از آن مطابق شکل ۷ خواهد شد. بنابراین لوله‌های فوق باید بطور منظم شسته شوند تا افزایش دمای گاز خروجی به حداقل ممکن کاهش یابد.

#### صرفه جوئی‌ها یا تلفات بخاطر تغییر ترکیبات گاز خروجی

اگر در دیگ بخار مورد مثال، به دلایلی درصد گاز  $\text{CO}_2$  موجود در گاز خروجی در دمای  $232^\circ\text{C}$   $450^\circ\text{F}$  از  $9/8$  درصد به  $13/5$  درصد افزایش یابد تلفات حاصل از گاز خروجی کاهش یافته و بازده دیگ بخار با  $3$  درصد بهبود به  $78\%$  می‌رسد. در نتیجه صرفه‌جویی حاصله در هزینه سوخت نفت به صورت زیر می‌گردد:

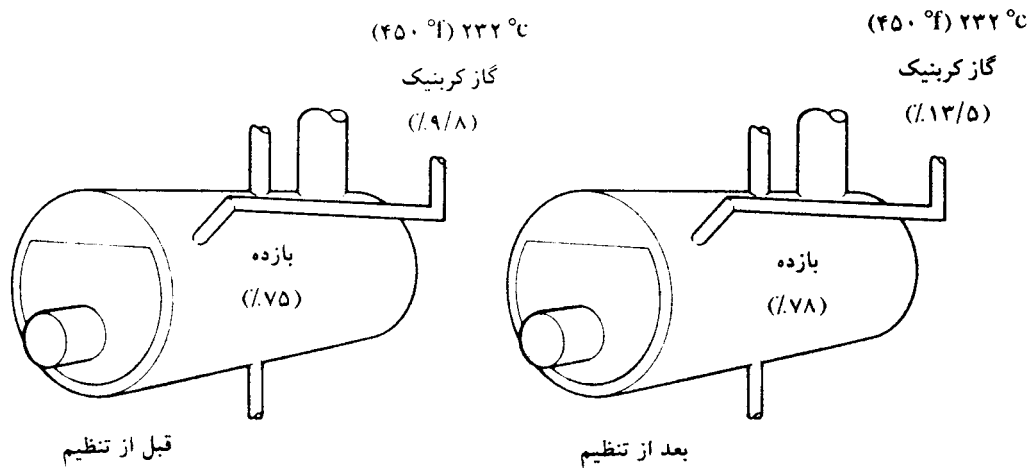
$$\left( \text{شکل 6 ملاحظه گردد} \right) \quad \text{سال/پوند } 9615 = 250000 \times \frac{(78-75)}{78} \text{ پوند در شکل 5، این مثال جهت نمایش نحوه استفاده از منحنی پیاده شده است.}$$

نصب یک ثابت دائمی و ثابت جهت اندازه‌گیری دمای گاز خروجی بسیار مفید است. هرگاه این ثابت، افزایشی معادل  $20$  درجه سانتیگراد در دمای گاز خروجی نسبت به دمای آن در شرایطی که دیگ بخار تمیز می‌باشد را نشان دهد در اینصورت لوله‌های دیگ بخار نیاز به تمیز شدن دارند.



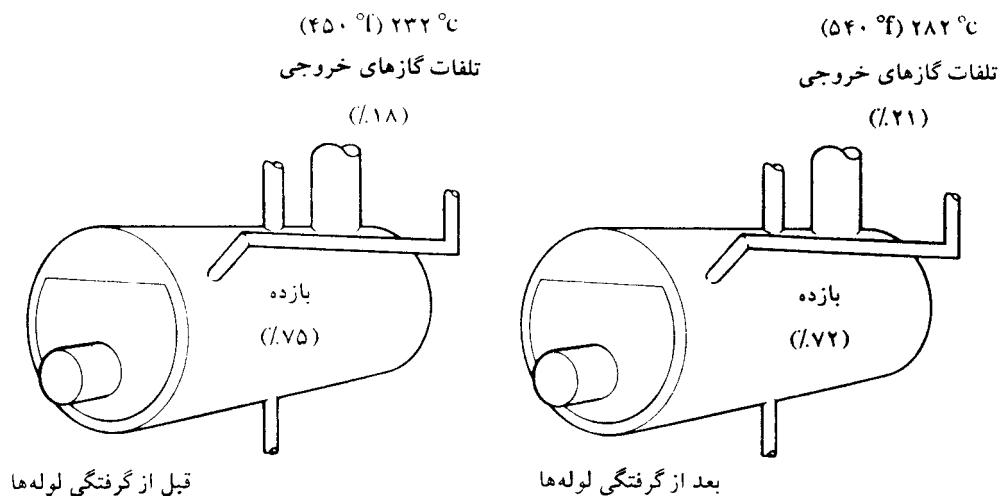
شکل ۵: تلفات گاز خروجی بر مبنای ارزش حرارتی ناخالص (در درجه حرارت محیط  $20^\circ\text{C}$ )

هرگاه درجه حرارت گاز خروجی  $17^{\circ}\text{C}$  افزایش یابد این امر سبب کاهش بازده به میزان یک درصد خواهد شد. دیگ‌های بخاری که در بار پایین بهره‌برداری می‌شوند و متناوباً خاموش و روشن می‌گردند نیاز به شستشو و تمیزکاری دیگ‌های بخاری که بطور دائم در مدار هستند دارند.



۹۶۱۵ پوند صرفه‌جویی سالانه

شکل ۶: تغییر بازده به خاطر تغییر در ترکیبات گاز خروجی



شکل ۷: تغییر در بازده به علت تغییر دمای گاز خروجی

مثالی برای نشان دادن اثر کثیف شدن سطوح انتقال حرارت

$56^{\circ}\text{C}$  تا  $282^{\circ}\text{C}$  ( $450^{\circ}\text{F}$ ) در دمای گاز خروجی شامل  $9/8$  درصد گاز اکسید کربن، سبب افزایش تلفات گاز خروجی به میزان ۲۰ درصد می‌شود. برای دیگ بخار نمونه، این افزایش سبب کاهش ۳ درصد در بازده می‌شود که معادل هزینه اضافی زیر می‌باشد.

$$\text{سال / پوند } 10417 = 250000 \times \frac{72-75}{72} \text{ پوند}$$



## • مواد افزودنی به سوخت و وسایل صرفه‌جویی در سوخت

مواد افزودنی به سوخت و وسایل ساده صرفه‌جویی در سوخت متناوباً جهت استفاده در دیگ بخار پیشنهاد می‌شوند.

اگر دیگ بخاری با حداکثر بازده ممکن بهره‌برداری شود، یعنی توجه درست به نحوه احتراق دیگ بخار و سایر موارد ذکر شده در این کتابچه شده باشد، امکان بسیار کمی برای بهبود بیشتر و قابل توجه در بازده حرارتی وجود دارد.

باور براینست که مواد افزودنی به سوخت سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی نمی‌شود، هرچند که از نظر بهره‌برداری بخصوص در هوای سرد منافی دربردارند.

## • اکونومایزرها<sup>۱</sup>

از ابتدای استفاده گسترده از دیگ‌های بخار نفت‌سوز در دهه ۱۹۵۰ میلادی، اکونومایزرها بطور وسیعی جهت پیش‌گرمایش آب ورودی به دیگ بخار و یا آب برگشتی به گرم‌کننده‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفتند. با سوخت نفت، اسید سولفوریک موجود در گازهای حاصل از احتراق که دارای نقطه بالای شبنم<sup>۲</sup> است به دلیل تقطیر بر روی لوله‌های اکونومایزر باعث خوردگی سریع و سوراخ شدن لوله‌های فوق می‌گردد. بنابراین استفاده از اکونومایزرها در دیگ‌های بخار صنعتی و تجاری نفت‌سوز، عموماً یک پیشنهاد عملی نیست. با وجود این استفاده از اکونومایزرها در دیگ‌های بخار گازسوز بخاطر مطرح نبودن مسئله نقطه شبنم اسید، افزایش یافته است. شکل ۸ یک نمونه از منحنی خوردگی را جهت سوخت نفت نشان می‌دهد. این منحنی دارای دو خمیدگی دما است که در آنها خوردگی، تشدید می‌گردد.

• یکی از نقاط خمیدگی در حدود نقطه شبنم اسید می‌باشد. جایی که اسیدهای متمرکز بطور شیمیایی به فلز حمله می‌کنند.

• یکی دیگر از نقاط، حدود نقطه شبنم آب می‌باشد. در این نقطه اسیدها بسیار رقیق شده و خاصیت خوردگی شدیدتری پیدا می‌کنند.

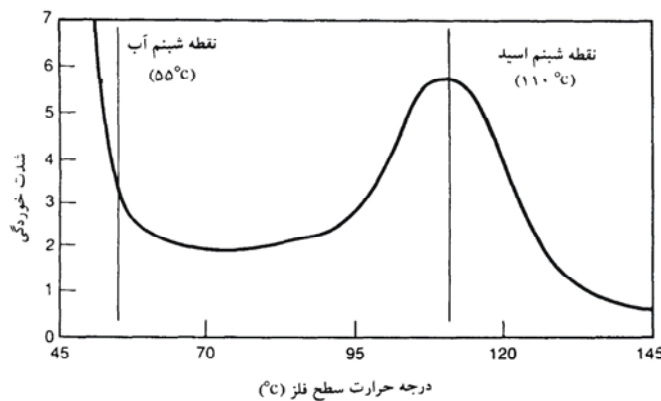
## • دمپ‌های گاز خروجی

در بعضی از موارد ممکن است قرار دادن دمپ‌های ایزوله کننده در مسیر گاز خروجی اقتصادی باشد. برای آنکه بتوان صرفه‌جویی‌ها را تخمین زد، باید ترکیبی از برنامه بهره‌برداری دیگ بخار و شرایط گاز خروجی را مورد بررسی قرار داده و با سازنده دیگ بخار نیز مشورت نمود. در محل نصب دمپ‌ها، بایستی سیگنال‌های ایمنی منطقی<sup>۳</sup> به منظور اطمینان از عدم استارت مشعل در مقابل دمپ بسته گاز خروجی و همچنین پاکسازی سیستم در نظر گرفته شوند. جهت یافتن جزئیات بیشتر در مورد سیگنال‌های ایمنی دیگ بخار و سیگنال‌های منطقی مربوطه به بخش چهارم استاندارد BS 799:1972 پاراگراف ۴، ۵ و ۶ مراجعه نمایید.

<sup>1</sup> Economisers

<sup>2</sup> Dewpoint

<sup>3</sup> Interlock



شکل ۸ منحنی خوردگی (سوخت نفت)

### ۴-۳- تلفات تشعشعی

تلفات تشعشعی به تلفات حرارتی از سطوح دیگبخار اطلاق می‌گردد. بهتر است که آن را به عنوان تلفات تشعشعی و جابجایی تعریف کنیم، اما به طور معمول از کلمه تشعشع در این کتابچه استفاده می‌شود. تلفات تشعشعی در دیگ‌های بخار مدرن کمتر از یک درصد گرمای ورودی به دیگ بخار در حداکثر بار است. این مقدار به هر حال ممکن است در دیگ‌های بخار قدیمی بطور قابل ملاحظه‌ای بالاتر باشد و حتی در دیگ‌های بخاری که عایق‌های حرارتی آن از وضعیت خوبی برخوردار نیست و یا دیگ‌های بخار با طرح قدیمی، به میزان ده درصد افزایش یابد، تلفات تشعشعی به سادگی قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد، اما تجربه نشان می‌دهد که در دیگ‌های بخار با طراحی سنتی، این تلفات برای انواع مختلف دیگ بخار در محدوده‌های مشخصی قرار دارند. این محدوده‌ها در استاندارد BS 845:1987 تعیین شده‌اند. تلفات اصلی دیگری که در این کتابچه در تلفات تشعشعی منظور شده است به تلفات ناشی از گازهای نسوخته (عمدتاً منواکسید کربن) در گازهای حاصل از احتراق و کربن نسوخته مرتبط می‌شود.

تلفات تشعشعی هنگامی که دیگبخار در حال کار است ثابت است. بنابراین اگر دیگ بخار تحت شرایط بار کم کار کند این تلفات بخش بزرگتری از سوخت مصرفی نسبت به حالتی که دیگبخار با بار حداکثر کار نماید را تشکیل می‌دهد.

#### مثال: تأثیر بهره‌برداری از دیگ بخار در بار جزئی

اگر بار در دیگ بخار مورد مثال توسط دو دیگ بخاری که هر یک در نیمه بار حداکثر خودکار می‌کنند تأمین شود و تلفات تشعشعی واقعی هریک در حداکثر بار ۰.۴٪ باشد، مجموع تلفات تشعشعی، دو برابر و برابر ۰.۸٪ خواهد شد. همین امر سبب ۱۰۰۰۰۰ پوند هزینه اضافی (۴ درصد ۲۵۰۰۰۰ پوند) در سوخت سالیانه دیگ بخار مورد مثال در مقایسه با تأمین بار فوق با یک دیگ بخار در حداکثر بار می‌شود.

### ۵-۳- برنامه احتراق کنترل / ترتیبی دیگ بخار

میزان و نمودار گرمای مورد نیاز یک واحد در طول روز و هفته و حداقل تعداد دیگ‌های بخار در مدار برای تأمین تقاضا، باید بطور مکرر مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. ممکن است ارزش ریسک داشته باشد که به منظور نیل به بازده بهینه در صورت وقوع اشکال در یک دیگ بخار، از دست دادن موقتی و کاهش بخار تغذیه را بپذیریم. یک ارزیابی جهت تعیین زمان مورد نیاز برای در مدار قرار دادن یک دیگ بخار ذخیره و یا برطرف کردن اشکالات ضروری است.

در محل‌هایی که تعداد زیادی دیگ بخار نصب شده و در حال بهره‌برداری می‌باشند، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای را می‌توان در میزان سوخت و انرژی از طریق نصب یک سیستم کنترل، جهت استارت ترتیبی دیگ‌های بخار بعمل آورد. این تجهیزات کنترل، تمام اتوماتیک و براساس سیستم‌های کنترل میکروپروسسوری بنا نهاده شده‌اند و وظیفه نظارت بر مراحل مختلف روشن و خاموش کردن دیگ‌های بخار و تجهیزات وابسته مطابق با تقاضا برای مصرف بخار را بعهدہ دارند.

شیرهایی که بطور پیوسته استفاده نمی‌شوند باید بطور منظم مورد بازدید قرار گیرند. شیرهای ایزوله‌کننده یک دیگ بخار از دیگر دیگ‌های بخار گاهی اوقات حتی در حالت بسته نیز نشستی دارند لذا این‌گونه شیرها نیاز به تعمیرات منظم جهت جلوگیری از نشست بخار از دیگ بخار در حال کار، به دیگ بخار ذخیره را دارند. هرگاه دیگ‌های بخار نیاز به توقف دراز مدت داشته باشند باید از طریق قرار دادن صفحاتی در دو طرف شیرهای ارتباطی دیگ‌های بخار، مسیرهای مربوطه کاملاً ایزوله گردند.

### ۶-۳- کنترل متمرکز دیگ‌های بخار

یک سیستم کنترل متمرکز، ترکیبی از سیستم‌های کنترل میکروپروسسوری خاص می‌باشد. همانطور که قبلاً اشاره شد این سیستم شامل کنترل نسبت سوخت به هوا و تنظیم اکسیژن همراه با یک سیستم عیب‌یاب جهت آشکار نمودن اشکالات دیگ بخار تجهیزات وابسته به آن می‌باشد. مزایای سیستم کنترل متمرکز بسیار زیاد است. از جمله می‌توان همه جوانب بهره‌برداری دیگ بخار را همزمان بهینه نمود. در نتیجه حداکثر بازده مجموعه را بدست آمده و زمان توقف دیگ بخار به حداقل کاهش می‌یابد.

### ۷-۳- سیستم‌های کنترل دور متغیر برای فن‌های هوای احتراق

اگر مشخصه بار یک دیگ بخار بزرگ متغیر باشد، آنگاه صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در انرژی از طریق به کارگیری سیستم کنترل دور متغیر<sup>۱</sup> (VCD) امکان پذیر است. سیستم (VCD) مشخصه کارکرد یک فن سرعت ثابت با یک دمپر قابل تنظیم را شبیه‌سازی می‌کند. همچنین این سیستم، متوسط انرژی الکتریکی مورد نیاز موتور فن را بطور تقریبی به میزان ۶۰ درصد کاهش می‌دهد. نشان

<sup>۱</sup> Variable Speed Drive ( VCD )

داده شده است که این سیستم باعث کاهش هزینه شده و همچنین موجب ایجاد شرایط خوب برای احتراق و افزایش بازده دیگ بخار گردیده است.

### ۸-۳- پیش گرمایش هوای احتراق

پیش گرم کردن هوای احتراق یکی دیگر از امکانات صرفه‌جویی در انرژی محسوب می‌شود، به همین دلیل بررسی استفاده از این روش ارزشمند است. منابع حرارتی معمول برای پیش‌گرمایش هوای احتراق عبارتند از:

- انرژی حرارتی باقیمانده در گازهای خروجی
- هوا با دمای بالا که از سقف محفظه دیگ بخار خارج می‌شود.
- حرارت بازیافتی از هوای عبوری از رو یا داخل پوسته دیگ بخار به منظور کاهش تلفات پیوسته اگر دمای هوای احتراقی ۲۰ درجه افزایش یابد، بازده حرارتی دیگ بخار یک درصد افزایش می‌یابد.

### ۹-۳- تخلیه<sup>۱</sup> دیگ بخار

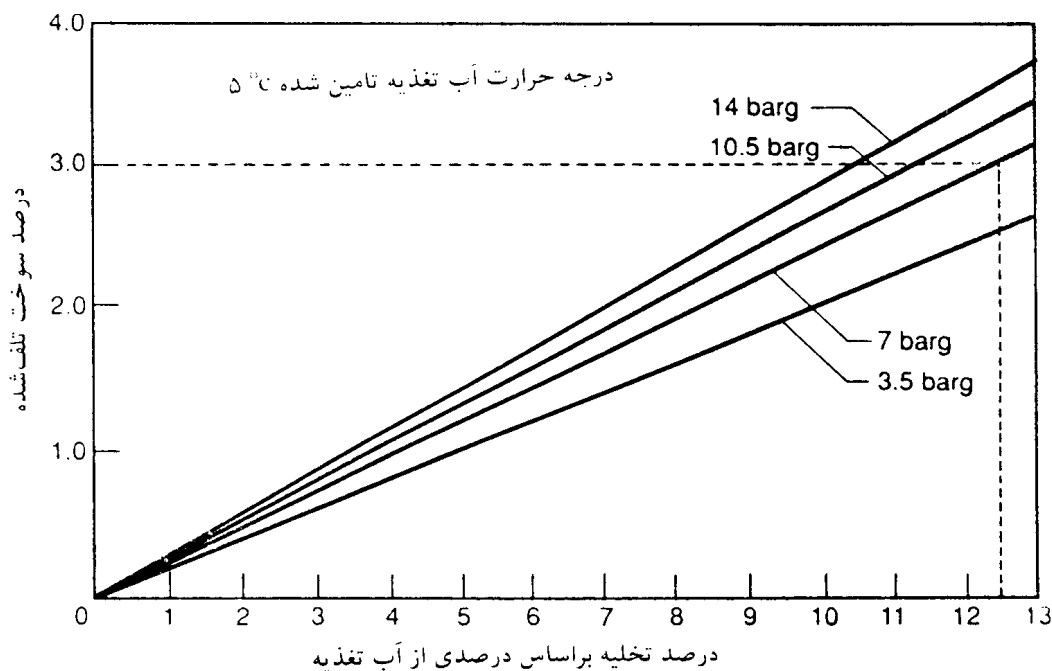
لازم است دیگ بخار بطور منظم به طرق زیر تخلیه شود:

- تخلیه از پائین به منظور خارج کردن گل و لای حاصل از نمک‌های تبخیر شده
  - تخلیه از کنار دیگ بخار بمنظور حفظ و کنترل میزان مواد جامد محلول در آب مطابق استاندارد BS 2486: 1987، بدین ترتیب از ورود املاح به داخل بخار دیگ بخار جلوگیری می‌شود.
- به منظور جلوگیری از تلفات گرمایی غیر ضروری، میزان تخلیه را باید با توجه به سطح املاح توصیه شده و مجاز آب، به حداقل ممکن کاهش داد. استفاده از گرمای تلف شده ناشی از تخلیه دیگ بخار برای اهداف مفیدی چون پیش‌گرمایش آب تغذیه باید مورد بررسی قرارگیرد. میزان اتلاف حرارتی حاصل از تخلیه دیگ بخار در شکل ۹ نمایش داده شده است.

#### مثالی از اثر تخلیه دیگ بخار بر هزینه

در دیگ بخار مورد مثال، تخلیه دیگ بخار موجب ۳ درصد تلفات می‌شود. این امر نشان دهنده تقریباً ۱۲/۵ درصد تلفات در بخار می‌باشد که آنهم به نوبه خود معادل ۱۲/۵ درصد تلفات در آب تغذیه می‌باشد که در مجموع این امر موجب ۸۶۰۰ پوند در سال اتلاف سوخت خواهد شد. به این مبلغ باید هزینه‌های مربوط به تأمین آب و تصفیه آن را در صورت وجود اضافه نمود. این مثال در شکل ۹ به منظور نمایش چگونگی استفاده از منحنی، نمایش داده شده است.

<sup>1</sup> Blowdown



شکل ۹ تلفات حرارتی ناشی از تخلیه دیگ بخار

تلفات بالای تخلیه ممکن است هزینه‌های مربوط به تجهیزات بازیافت حرارت و یا تأسیسات تصفیه آب را توجیه نماید. اگر تمام مایع حاصل از میعان کارخانه به چاه گرم برگشت داده شود در این صورت نرخ تخلیه می‌تواند شدیداً کاهش یابد.

در محله‌هایی که بیش از یک دیگ بخار در یک سیستم دوره‌ای در مدار است، مناسب است که سیکل تخلیه دیگ بخار بگونه‌ای برنامه‌ریزی شود که بتوان بطور یکنواخت از انرژی هدر رفته استفاده نمود. این امر موجب اقتصادی شدن بازیافت انرژی می‌گردد زیرا تجهیزات بازیافت انرژی بدین ترتیب کوچکتر و در عین حال برای مدت بیشتری در حال کار خواهد بود. در این صورت صرفه‌جویی بیشتری در انرژی مصرفی بدست خواهد آمد.

یکی از ساده‌ترین راهها برای بازیابی انرژی حرارتی تلف شده از طریق تخلیه دیگ بخار، استفاده مستقیم از فلاش بخار است. این امر در هنگام کاهش فشار در شیر تخلیه رخ می‌دهد. این بخار به آب خالص تبدیل می‌شود که محتوی هیچگونه مواد جامدی نمی‌باشد، و می‌توان آن را مستقیماً به آب تغذیه دیگ بخار اضافه نمود. حرارت و گرمای بیشتری را نیز می‌توان از طریق یک مبدل حرارتی برای پیش‌گرمایش آب تغذیه دیگ بخار بازیابی نمود ( کتابچه‌ای با عنوان «بخار» این موضوع را با شرح بیشتری بیان می‌کند).

### ۱۰-۳- تصفیه آب

تصفیه آب برای نیل به اهداف زیر ضروری است:

- برای جلوگیری از ایجاد رسوب در دیگ‌های بخار و تجهیزات کمکی که ممکن است موجب گرم شدن بیش از حد مجاز فلز دیگ‌بخار شده و در نهایت به حوادث ناگوار منجر شود ( کتابچه‌ای با عنوان « بخار»، مثالهایی در خصوص اثرات ناشی از رسوب در لوله بر انتقال حرارت را ارائه می‌دهد.
  - برای کنترل تشکیل رسوب و گل و لای در دیگ بخار و کاهش میزان تخلیه دیگ بخار.
  - جهت کاهش و یا حذف خوردگی در دیگ بخار و لوله‌های اصلی بخار ( از دی اکسیدکربن موجود در بخار) که می‌تواند به هزینه بیشتر تعمیرات منجر گردد.
  - برای اجتناب از آلودگی بخار توسط آب دیگ‌بخار که می‌تواند به دلیل پدیده تشکیل توده‌های کفی شکل و تقطیر آب دیگ بخار ایجاد شود.
  - برای حداقل کردن خوردگی در دیگ بخار بعلاوه اکسیژن محلول در آب تغذیه.
- تصفیه کافی آب باید طبق دستورات یک متخصص خبره تصفیه، صورت پذیرد. بایستی از تزریق بیش از حد مواد شیمیایی جهت تصفیه آب پس از اطمینان از تصفیه کافی آن اجتناب نمود. همچنین باید در مواقعی که دیگ بخار از مدار خارج است پمپهای تزریق را قطع نمود. در حالت ایده آل باید تجهیزات تزریق مواد با توجه به عملکرد پمپ آب تغذیه کنترل شوند.
- امکانات و تسهیلات لازم جهت تصفیه آب باید متناسب با نیازها باشد. برای اطمینان از این موضوع باید از پیشنهادات و نظرات شرکت‌های سازنده تجهیزات تصفیه آب، دیگ‌بخار و شرکتهای بیمه استفاده نمود. خرید ارزاترین تجهیزات لزوماً بهترین کار نیست. اکثر تجهیزات تصفیه آب باید در خارج از دیگ بخار نصب شوند. هرگاه کیفیت تصفیه آب بهبود یابد و یا بخش بیشتری از آب حاصل از میعان به سیکل برگشت داده شود، میزان تخلیه لازم کاهش خواهد یافت. مقدار مواد جامد محلول در آب بسادگی از طریق اندازه‌گیری چگالی آب (بکار بردن هیدرومتر مخصوص) و دمای آن معین می‌شود. کیت‌های آزمایش آب دیگ بخار ارزان و بسادگی قابل استفاده می‌باشند و آنها را می‌توان از طریق یک متخصص تصفیه آب خریداری نمود. جزئیات توصیه‌ها در خصوص تصفیه آب را می‌توان در استاندارد BS 2486: 1987 با عنوان « توصیه‌هایی جهت تصفیه آب در دیگ‌های بخار » پیدا نمود.

### ۱۱-۳- بازیافت مایع حاصل از میعان

- هرگاه دمای آب تغذیه پایین باشد، علت آن باید کشف گردد. کاهش دمای آب تغذیه می‌تواند از عوامل زیر باشد:
- شدت کم برگشت مایع حاصل از میعان
  - فقدان عایق حرارتی بر روی لوله‌های مایع برگشتی حاصل از میعان (هرچند این امر ممکن است در سیستم‌هایی که صرفاً برای گرمایش محیط کار می‌روند، مهم نباشند)

• تلفات ناشی از دیواره‌ها و سرریز مخزن آب تغذیه

بایستی برگشت مایع حاصل از میعان، تا آنجا که از نظر اقتصادی امکان‌پذیر است، از منابعی که امکان آلودگی آنها وجود ندارد، صورت پذیرد. این امر موجب صرفه‌جویی در گرما، آب مقطر جبرانی و مواد شیمیایی بکار رفته در تصفیه آب خواهد شد. ضمناً این امر تلفات ناشی از تخلیه دیگ بخار را نیز کاهش می‌دهد.

صرفه‌جویی‌های بعمل آمده در سوخت در نتیجه اضافه کردن مایع برگشتی حاصل از میعان در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

شکل ۱۰ سوخت صرفه‌جویی شده در اثر برگشت مایع حاصل از میعان

در مکانهایی که خطر آلودگی آب وجود دارد، تخلیه اتوماتیک مایع مزبور با اندازه‌گیری هدایت مخصوص آن مرسوم می‌باشد. تجهیزات نظارت بنحوی باید نصب شوند که تنها مایع آلوده تخلیه شود و بقیه به سیکل باز گردد. در تأسیسات صنعتی بزرگ، ضروری است که هر یک از منابع ایجاد مایع حاصل از میعان جداگانه نظارت و به‌طور مستقل به سیستم بازگشت داده شده و یا به آب هرز تخلیه شوند. مایع آلوده می‌تواند موجب خوردگی در دیگ بخار و همچنین آلودگی بخار گردد. بنابراین باید از آن اجتناب نمود.

بدون ترتیبات خاص، بخاطر مسئله حفره‌زائی<sup>۱</sup> در پمپ آب تغذیه بندرت ممکن است که بتوان از آب تغذیه با دمای بالاتر از  $82^{\circ}\text{C}$  ( $180^{\circ}\text{F}$ ) استفاده نمود.

دمای آب تغذیه را میتوان در صورتی که اکنون‌مایزر نصب شده باشد به بالاتر از این سطح افزایش داد. هرگاه شکی در این خصوص وجود دارد باید با سازنده دیگ‌بخار و پمپ تغذیه مشورت نمود.

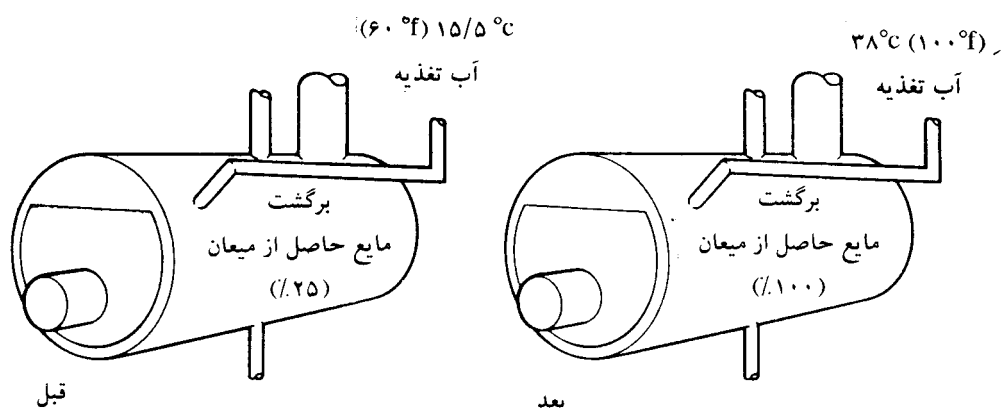
---

<sup>1</sup> Cavitation

کتابچه‌ای با عنوان «بخار» داراب بخشی در خصوص روشهای بازیابی انرژی حرارتی می‌باشد که تمام مطالب این بخش را با جزئیات مربوطه دربرمی‌گیرد.

### مثالی برای صرفه‌جویی‌های ممکن از طریق افزایش میزان مایع برگشتی حاصل از میعان

اگر دمای آب تغذیه در دیگ بخار مورد مثال از  $15/5^{\circ}\text{C}$  ( $60^{\circ}\text{F}$ ) به  $38^{\circ}\text{C}$  ( $100^{\circ}\text{F}$ ) (از طریق افزایش میزان آب برگشتی حاصل از میعان با درجه حرارت  $38^{\circ}\text{C}$  از ۲۵ درصد به ۱۰۰ درصد) افزایش یابد این امر موجب ۳ درصد صرفه‌جویی در هزینه‌های دیگ بخار خواهد شد، یعنی مطابق شکل ۱۱، ۷۵۰۰ پوند در سال صرفه‌جویی خواهد شد. صرفه‌جویی‌های بیشتری نیز از طریق کاهش میزان تلفات تخلیه بطور طبیعی انجام خواهد گرفت.



۷۵۰۰ پوند صرفه‌جویی سالانه

شکل ۱۱: تغییر در هزینه بهره‌برداری دیگ بخار بعثت برگشت به سیکل میزان بیشتری از مایع حاصل از میعان

## ۱۲-۳- سرویسهای آب گرم و بخار

### • تأمین بخار

دیگ‌های بخار نباید کمتر از حداقل فشار توصیه شده توسط کارخانه سازنده بهره‌برداری شوند. اگر تجهیزاتی که از این بخار استفاده می‌کنند فشار بسیار پایینی را نیاز داشته باشند، باید کاهش ظرفیت دیگ بخار یا تعویض آن مورد بررسی قرار گیرد و یا اینکه از بخار فشار بالا در یک توربین بخار جهت تولید الکتریسیته استفاده نمود. این اعمال موجب به حداقل رساندن تلفات توزیع انرژی حرارتی خواهد گردید. افت فشار در خطوط اصلی بخار تا نقطه مصرف نیاز به بررسی دارد. بدین ترتیب می‌توان فشار بهینه ابتدای خط را تعیین نمود. یک شیر ایمنی نیز در خروجی خط بخار نیاز است تا بتوان دستگاههایی که در فشار پایین‌تر کار می‌کنند را حفاظت نمود.



## • اتصالات لوله اصلی<sup>۱</sup> دیگ بخار

در جایی که بیش از دو دیگ بخار به لوله مشترکی متصل باشند، صحت نحوه اتصال بسیار مهم است. شکل ۱۲ اتصال صحیح و ناصحیح و روشهای اتصال چهار دیگ بخار به لوله اصلی را نمایش می دهد.

اتصال ناصحیح می تواند به سلسله وقایع زیر منجر گردد. یک یا چند دیگ بخار ممکن است با تقاضای بیشتر بخار تا ۲۵ درصد (مثال: دیگهای بخار ۳ و ۴ در شکل ۲۱a) مواجه شوند. بخاطر گرمای ورودی محدود، دیگ (های) بخار به این تقاضا با افت فشار، همراه با انبساط مخلوط آب و بخار موجود در دیگ بخار پاسخ می دهند که این امر سبب ایجاد کف و ورود املاح به داخل لوله های بخار می شود. در شرایط نامساعد این امر می تواند موجب تلفات آب دیگ بخار گردد که منجر به خروج دیگ بخار از مدار بعثت کمبود آب شده و در نتیجه بار دیگ بخار فوق به دیگهای بخار باقیمانده اعمال شده. این وقایع به نوبه خود سبب اعمال بار اضافی به دیگهای بخار شده و در نهایت سیستم بهم پیوسته دیگهای بخار در زمانی که به بار همه آنها نیاز باشد از مدار خارج خواهند شد. این پدیده بعثت افت فشار در امتداد لوله اصلی ایجاد می شود که متناسب با مجذور جریان بخار افزایش می یابد.

در شکل ۱۲a، فشار لوله اصلی بشدت از نقطه اتصال دیگ بخار ۱ تا دیگ بخار ۳ و ۴ کاهش پیدا می کند و همچنانکه خروجی دیگهای بخار، پی در پی به لوله اصلی اضافه می شوند دیگهای بخار ۳ و ۴ شدیداً اضافه بار پیدا می کنند. توجه داشته باشید که اختلاف فشار و بنابراین بارگیری بین دیگهای بخار ۱ و ۲ خیلی کم و در حدود ۰.۵٪ خواهد بود که تجهیزات احتراق دیگ بخار می توانند از عهده آن برآیند. جهت اجتناب از مسائلی که ذکر شد باید از اتصال بیش از دو دیگ بخار به یک لوله اصلی یا لوله فرعی مطابق شکل ۱۲a اجتناب نمود.

بسیاری از واحدهای صنعتی دارای دیگهای بخاری هستند که بطور صحیح به سیستم توزیع وصل نشده اند و در نتیجه مشکلات فوق الذکر را در پی خواهند داشت. تغییر اتصالات جهت غلبه بر مشکلات مذکور ارزشمند است. بعنوان یک راه حل موقت، خروجی تمام دیگهای بخار باید به صفحات فلزی مشبک<sup>۲</sup> (محدود کننده میزان دبی بخار) مجهز گردند. این صفحات در حداکثر بار دیگ بخار فقط افت فشاری معادل ۳ بار را موجب می گردند.

مسائل بارگیری در تمام دیگهای بخار بدون توجه به سوخت مصرفی وجود دارد. در صورتی که این مسأله تداوم داشته باشد در آن صورت بطور جدی ضریب اطمینان و بازده کل واحد تولیدکننده و مصرف کننده بخار را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

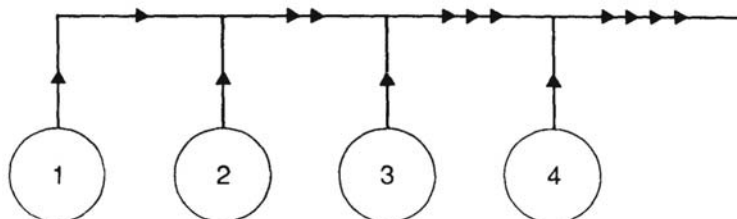
## • لوله کشی

تمام شبکه لوله کشی و شیرهای حامل بخار و مایع حاصل از میعان باید به طور مناسب از لحاظ حرارتی و نشت آب عایق بندی شده باشند بجز در جاهایی که آنها منحصراً قسمتی از یک سیستم گرمایش کنترل شده باشند. بخار تغذیه باید وقتی احتیاجی به گرمایش نیست، قطع شود. عایق بندی لوله هایی با قطر بزرگ چند هفته وقت می گیرد و این عمل برای لوله های کوچک چندین ماه به طول می انجامد.

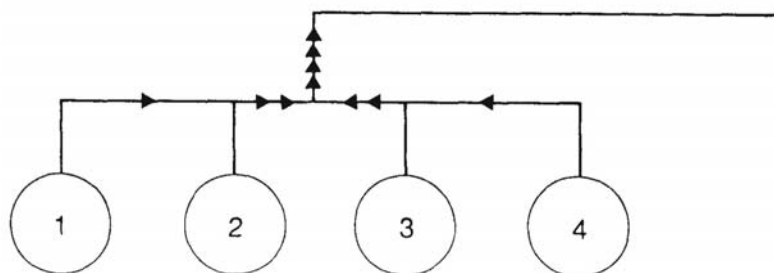
<sup>1</sup> Header

<sup>2</sup> Orifice Plate

اغلب در تأسیسات صنعتی قدیمی شیرهای بخار و فلانج<sup>۱</sup> عایق‌بندی نشده و حرارت را انتقال می‌دادند. لیکن امروزه اقتصادی است که تجهیزات فوق‌الذکر در مقابل انتقال حرارت عایق‌بندی شوند. باید برنامه‌هایی را جهت آزمایش مرتب عایق‌ها و تعویض سریع آنها در نقاط مورد لزوم تهیه کرد. این امر به خصوص در تجهیزات و لوله‌هایی که نیاز به تعمیر و بازشدن دارند، صادق است. ضخامت اقتصادی عایق باید در موقع تعویض مورد ارزیابی مجدد قرارگیرد. بعضی از پیمانکاران تأسیسات و کارخانه‌های تولیدکننده تجهیزات عایقی ممکن است هنوز هم از عایقهایی با ضخامتهای غیراقتصادی استفاده کنند. اطلاعات بیشتر را می‌توان از کتابچه‌ای با عنوان « ضخامت اقتصادی عایق برای لوله‌های گرم » بدست آورد.



(a) روش ناصحیح اتصال دیگ‌های بخار به سیستم توزیع که موجب افزایش بیش از حد تقاضای بخار از دیگ‌های بخار ۳ و ۴ می‌گردد.



(b) روش ناصحیح اتصال دیگ‌های بخار به سیستم توزیع، تقاضای بخار مابین همه دیگ‌های بخار بطور مساوی تقسیم می‌گردد.

شکل ۱۲: روش‌های اتصال دیگ‌های بخار به سیستم توزیع

در محلهائی که حفره‌زایی ممکن است بدلیل افزایش دمای آب بعلت عایق‌بندی لوله‌های آب تغذیه ایجاد شود، باید در مکش پمپ آب تغذیه، ستون آب کافی در نظر گرفته شود.

#### مثالی برای نمایش اثرات عایق‌بندی

در دیگ بخار مورد مثال، لوله بخاری بدون عایق بطول ۳۰ متر (۱۰۰ فوت) و قطر ۸۰ میلی‌متر (۳ اینچ) حامل بخاری با فشار  $100 \text{ psig}$  و دمای  $170^\circ\text{C}$  ( $338^\circ\text{F}$ )، انرژی حرارتی معادل ۲۵۲۰ پوند در سال را از دست می‌دهد. یک شیر عایق نشده معادل یک متر لوله عایق نشده می‌باشد، در این صورت یک شیر با قطر ۸۰ میلی‌متر (سه اینچ) و فشار  $100 \text{ psig}$  در سال معادل ۸۴ پوند را از دست می‌دهد و یک فلانج عایق نشده نصف مبلغ مذکور را از دست می‌دهد.

<sup>1</sup> Flange

## ۴- لیستی از روشهای صرفه جویی

- ۱- خروجی دیگ های بخار را به طور مستقیم از طریق دستگاه سنجش دبی بخار و یا غیرمستقیم از طریق اندازه گیری کل آب تغذیه اندازه گرفته و میزان تخلیه از دیگ بخار را تخمین بزنید. نسبت میزان بخار به سوخت مهمترین شاخص بازده دیگ بخار محسوب شده و باید در سطح مناسب نگهداشته شود.
- ۲- ثبت پیوسته اطلاعات در خصوص عملکرد دیگ بخار موجب می شود که علائم خرابی و اشکال در دیگ بخار بسیار سریع آشکار شده و بدین وسیله می توان به سرعت عملیات تصحیح و تعمیراتی را آغاز نمود. نمونه هایی از صفحات ثبت روزانه و خلاصه وقایع ماهانه برای بخار و آب گرم دیگ های بخار در اشکال ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶، نمایش داده شده است.
- ۳- آب تغذیه را اندازه بگیرید
- ۴- گاهی اوقات دستگاه های اندازه گیر بخار را بازدید نمائید، زیرا عملکرد آنها به مرور زمان در اثر سایش سوراخهای اندازه گیری و یا پیتوت<sup>۱</sup> دستگاه اندازه گیر سرعت سیال، تغییر می کند. دستگاه های اندازه گیری بخار فقط در فشارهای تنظیم شده قرائت صحیحی خواهند داشت. در صورتیکه فشار تغییر کند به تنظیم مجدد نیاز است. ضمناً نمایشگر حجم بخار نیز باید تصحیح گردد.
- ۵- خطوط لوله ای که در حال کار نمی باشند را جدا نموده و لوله های اضافی را باز کنید. ارزیابی های منظمی باید انجام شود بخصوص اگر لوله کشی های در حال کار بطور متناوب تغییر کنند.
- ۶- اطمینان حاصل نمائید که تا حد امکان محاسبه انرژی ورودی و خروجی به محفظه دیگ بخار به واقعیت نزدیک است. رسیدگی به موجودی سوخت بایستی دقیق باشد.
- ۷- روشهای نگهداری از محفظه دیگ بخار را بهبود بخشید. این اقدامات ممکن است موجب شرایط کاری بهتر و انضباط در محوطه دیگ بخار گردد.
- ۸- روشهای نگهداری و تعمیرات در محفظه دیگ بخار بخصوص در نقاطی که تجهیزات احتراق دیگ بخار، کنترل و ابزار دقیق مربوط می شود مورد بررسی و مطالعه قرارگیرد. یک روند منظم برای تمیز کردن سطوح انتقال حرارت و لوله های دود دیگ بخار در نظر گرفته شود. هر تجهیزات و یا وسایل ابزار دقیقی که فرسوده اند و از مدار خارج شده اند برای مثال کنتور آب، نشانگرهای دما، ثبات ها و کونومایزرها (در صورتی که عملی باشد)، باید تعمیر شده و مجدداً در مدار قرار گیرند.
- ۹- وضعیت لوله های محفظه احتراق و مسیر گازهای خروجی باید بطور متناوب بازدید شوند. در دیگ های بخار قدیمی که مسیر گازهای خروجی از زیرزمین عبور می کند، ممکن است نیاز به بازدید جهت نشستی آب نیز وجود داشته باشد.

<sup>1</sup> Pitot

- ۱۰- نشتی‌های بخار را بدون هیچ تأخیری باید برطرف نمود. چنین نشتی‌هایی نه تنها باعث اتلاف انرژی می‌شوند، بلکه از نظر ایمنی نیز خطرناک می‌باشند.
- ۱۱- با کارخانه‌های سازنده در زمینه تعمیرات دیگ بخار قرارداد منعقد گردد.
- ۱۲- دمای سوخت نفت، جهت اطمینان از افزایش غیرمجاز آن بازدید گردد.
- ۱۳- مکرراً مسیر بخار گرم‌کننده سوخت جهت نشتی و آسیب‌های وارده و نیز گرم‌کننده‌های الکتریکی را مورد بازرسی قرار دهید.
- ۱۴- امکان اجرای یک سیستم بازیافت حرارت مورد بررسی قرار گیرد.