

بهره‌وری انرژی

در

دیگ‌های بخار

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
1	- مقدمه
3	فصل 1 - اصلاح آب
3	1-1- مشکلات آب دیگ‌های بخار
4	1-2- مشکلات رسوب‌گذاری
8	1-3- مشکلات خوردگی
11	1-4- اصلاح آب دیگ‌های بخار
20	1-5- سود اقتصادی ناشی از اجرای صحیح برنامه اصلاح آب
21	فصل 2 - احتراق
21	2-1- تزریق هوای اضافی
22	2-2- دمای هوای احتراق

23	2-3- نوع سیستم احتراق
26	2-4- چک لیست متصدیان سیستم‌های احتراق

**صفحه**

**عنوان**

29	فصل 3 - دیگ‌های بخار
29	3-1- بازدهی دیگ بخار
29	3-2- ابقاء انرژی
30	3-3- منابع اتلاف انرژی
32	3-4- چک لیست متصدیان برای تعمیر و نگهداری دیگ بخار
37	فصل 4 - کنترل‌ها
38	4-1- کنترل مشعل
40	4-2- راهبردهای کنترل و پایش
45	فصل 5 - بازیافت حرارت
45	5-1- اکونومایزرها
47	5-2- گرم‌کن‌های هوا
49	5-3- سایر منابع بازیافت حرارت
51	فصل 6 - تجهیزات جانبی
51	6-1- فن‌ها
53	6-2- پمپ‌های تغذیه آب دیگ بخار
54	6-3- موتورها و توربین‌ها
55	6-4- محرکه‌های الکترونیکی موتور

57	5-6- تجهیزات کنترل مواد
60	6-6- دمنده‌های دوده از دیگ بخار
62	7-6- تولید همزمان برق و حرارت
64	8-6- فروش انرژی الکتریکی مازاد
<b>صفحه</b>	<b>عنوان</b>
65	<b>فصل 7 - ممیزی انرژی</b>
65	1-7- سیستم‌های تولید بخار
67	2-7- مصرف بخار
68	3-7- برج‌های خنک کننده
68	4-7- هوای فشرده
69	5-7- فن‌ها
70	6-7- پمپ‌ها
71	<b>فصل 8 - پالایش گازهای خروجی</b>
71	1-8- روشهای کاهش $NO_x$
74	2-8- حذف ذرات جامد
79	<b>فصل 9 - سیستم‌های بخار</b>
81	1-9- دستورالعمل عمومی بهره‌برداری
83	2-9- تله‌های بخار
84	3-9- عایق‌ها
85	4-9- نشتی‌ها
87	5-9- فشار

**فصل 10 – سیستم‌های هوای فشرده و موتورهای دیزلی تولید همزمان**

**89**

**برق و بخار**

**93**

**1-10- چک لیست کاربران برای سیستم‌های هوای فشرده**

**94**

**2-10- موتورهای دیزلی تولید همزمان برق و بخار**

97	فصل 11 - سیستم‌های توزیع برق
98	11-1- روش‌های پایش و اندازه‌گیری
101	فصل 12 - برج‌های خنک کننده
102	12-1- فرآیند بازرسی برج خنک کننده
105	12-2- بهره‌وری انرژی در برج‌های خنک کننده
107	- مراجع
109	پیوست‌ها و ضمائم
109	الف - میزان هوای اضافی
	ب - پتانسیل صرفه‌جویی انرژی از راه بازیافت حرارت از زیرکش پیوسته و کنترل
113	بهینه زیرکش
117	ج - ضرایب هم‌ارزی و تبدیل واحدهای انرژی

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
5	جدول 1- حلالیت ترکیبات شیمیایی ( بر حسب میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم )
11	جدول 2 - حد کیفیت مطلوب آب ورودی به دیگهای بخار
22	جدول 3 - تأثیر دما بر میزان هوای اضافی در کوره‌های احتراق
32	جدول 4 - میزان اتلاف حرارتی از دیگهای بخار با عایق کاری مناسب
34	جدول 5 - کاربرد برای قرائت دو بار در یک شبانه‌روز
35	جدول 6 - کاربرد برای قرائت ساعتی در یک شبانه‌روز
38	جدول 7 - مقایسه سیستم‌های کنترلی دستی و کامپیوتری
55	جدول 8 - راندمان موتورهای راندمان بالا
76	جدول 9 - مقایسه هزینه روش‌های گردآوری ذرات جامد از گاز خروجی
86	جدول 10 - تخمین میزان تلفات ناشی بخار
105	جدول 11 - جدول یادداشت اطلاعات اجزاء برج خنک کننده
	جدول 12 - تغییرات کارآیی دیگ بخار نمونه برای سوخت‌های متداول به ازای
111	تغییرات هوای اضافی

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
7	شکل 1 - اثر رسوب دیگ بخار بر دمای لوله
14	شکل 2 - فرآیند میززال زدائی دو بستری
15	شکل 3 - فرآیند هوازدائی
62	شکل 4 - منحنی افزایش فشار استاتیکی و توان نسبت به جریان هوا
63	شکل 5 - سیستم تولید همزمان برق و بخار صنعتی
64	شکل 6 - سیکل ترکیبی توربین صنعتی جهت تولید همزمان برق و بخار
64	شکل 7 - مقایسه سیستم‌های جداگانه و تولید همزمان برق و بخار



## مقدمه

کتاب راهنمای بهره‌وری انرژی به منظور ارتقاء دانش متصدیان و مالکین دیگ‌های بخار تدوین شده است. بدون شک رعایت نکات و راهنمایی‌های مندرج در کتاب به افزایش بهره‌وری در سیستم‌های دیگ بخار منجر خواهد شد. در فصل‌های مختلف کتاب تقریباً به تمامی موارد مرتبط با دیگ‌های بخار (اصلاح آب، بازیافت حرارت، احتراق، تولید همزمان و اصلاح گاز خروجی) اشاره شده است. نگارش کتاب به نحوی است که درک آن آسان بوده و از تعاریف پیچیده فنی پرهیز شده است. برای درک بهتر مطالب، اقدامات ساده برای دستیابی به بهره‌وری انرژی، ارائه شده است. از آنجا که نوع و طبیعت دیگ‌های بخار بسیار متفاوت است لذا سعی شده است تا فقط به نکات مشترک پرداخته شود. در هر فصل از کتاب برای

افزایش بازدهی در دیگ‌های بخار چک لیست خاصی ارایه شده است که متصدیان امور با بهره‌گیری از آنها می‌توانند اثر بخشی اقدامات خود را ارزیابی نمایند.

سازمان بهره‌وری انرژی ایران از خوانندگان کتاب تقاضا دارد برای ارتقاء کیفیت مطالب و همچنین پوشش بهتر نیاز صنایع به اطلاعات علمی، نظرات اصلاحی و پیشنهادات خود را به سازمان ارسال دارند.

# فصل 1

## اصلاح آب

آب برای تولید بخار، یک سیال ضروری به شمار می‌آید. حفظ کیفیت آب موجب ارتقاء بازدهی و افزایش طول عمر دیگ‌های بخار می‌شود. استفاده از آب با کیفیت پائین باعث بروز مشکلات جدی برای دیگ‌های بخار شده و در خیلی مواقع موجب تخریب کامل آن می‌گردد. در این فصل متداول‌ترین و جدی‌ترین مشکلاتی که در رابطه با دیگ‌های بخار صنعتی صورت می‌پذیرد تشریح و روش‌های صحیح نگهداری از دیگ‌های بخار بیان می‌گردد. معمولاً مشکلات دیگ‌های بخار خاص خود بوده و شدیداً به نوع آب و نحوه بهره‌برداری وابسته است، لیکن سعی بر آن است تا مبانی عمومی و متداول در این فصل تشریح گردد. بهره‌گیری از مشاورین ذیصلاح برای دستیابی به سیستم‌های مناسب اصلاح آب و یا استفاده از مواد شیمیایی مناسب، موجب افزایش بهره‌وری در دیگ‌های بخار خواهد شد.

### 1-1- مشکلات آب دیگ‌های بخار

معمولاً مشکلات آب دیگ‌های بخار به دو گروه زیر قابل تقسیم‌بندی می‌باشند:

الف - مشکلات ناشی از ترسیب مواد یا رسوب‌گذاری

ب - مشکلات ناشی از خوردگی

از آنجائیکه این دو مورد از عمده‌ترین و متداول‌ترین مشکلات دیگ‌های بخار به شمار می‌آیند، بسیار محتمل است که هر دو مشکل بطور همزمان برای دیگ‌های بخار حادث گردد. بسیاری از مشکلات خوردگی در اثر رسوب‌گذاری پدیدار می‌شوند و همچنین در بسیاری از موارد عامل خوردگی باعث بروز مشکلات رسوب‌گذاری می‌شود. بهرحال هر دو مشکل فوق را می‌توان با تمهیدات علمی از میان برداشت و برطرف کرد.

### 1-2- مشکلات رسوب‌گذاری

متداول‌ترین مشکل رسوب‌گذاری در اثر واکنش موادی چون کلسیم، منیزیم و سیلیکا با فلز دیگ بخار بوجود می‌آید. این مواد بطور گسترده‌ای در داخل آب تغذیه وجود دارد و بنابراین پتانسیل واکنش با فلز دیگ بخار همیشه وجود خواهد داشت.

در اثر واکنش کلسیم، منیزیم و سیلیکا با فلز داخلی دیگ بخار، لایه سختی تشکیل می‌گردد که در اثر کاهش انتقال حرارت، زمینه لازم برای از دست رفتن بازدهی بوجود می‌آید. در اثر افزایش ضخامت لایه رسوبی، لوله‌های داخل دیگ بخار تحت دمای مازاد قرار گرفته و نهایتاً ترکیدگی در آنها بوجود می‌آید. به عبارت دیگر لایه رسوبی همانند یک لایه نازک عایق بین گاز و آب دیگ بخار عمل می‌نماید.

رسوب‌گذاری در دیگ‌های بخار می‌تواند بین 10 تا 12٪ از بازدهی سیستم بکاهد. رسوبات زمانی بوجود می‌آیند که حلالیت نمک‌های تشکیل دهنده رسوب در آب کاهش یافته و از طرفی دما و غلظت نمک‌ها افزایش یابد. زمانی که دمای آب تغذیه به سطح دمای دیگ بخار می‌رسد، حلالیت نمک‌های تشکیل دهنده رسوب کاهش یافته و ترسیب بر سطح داخلی

---

دیگ آغاز می‌شود. حلالیت مواد شیمیایی که بصورت عادی در آب تغذیه وجود دارد در جدول شماره (1) ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که در اثر افزایش دما از شرایط محیط به نقطه جوش، حلالیت مواد کاهش می‌یابد.

جدول 1- حلالیت ترکیبات شیمیایی ( بر حسب میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم )

ترکیب	دمای محیط ( سانتی‌گراد)	100 درجه سانتی‌گراد
ترکیبات کلسیم :		
بی کربنات	1620	تخریب می‌گردد
سولفات	15	13
ترکیبات منیزیم:		
بی کربنات	37	تخریب می‌گردد
کربنات	101	75
سولفات	170000	356000
ترکیبات سدیم :		
بی کربنات	38700	تخریب می‌گردد
کربنات	61400	290000
کلرید	225000	243000
هیدروکسید	370000	970000
سولفات	33500	210000

بنابراین عملی‌ترین روش برای جلوگیری از ترسیب مواد آن است که کلسیم و منیزیم موجود در آب تغذیه قبل از ورود به دیگ بخار حذف گردد. روش‌های حذف یا کاهش غلظت کلسیم و منیزیم از آب به خوبی شناخته شده است و شامل بهره‌گیری از شلات، پلیمر و یا فسفات می‌باشد. شایان ذکر است که ترسیب مواد فوق در بخش اکونومایزر، پمپ‌های تغذیه و خطوط انتقال آب نیز رخ می‌دهد. تشکیل رسوب حتی در دیگ‌های بخار با فشار کم نیز بوجود می‌آید، خصوصاً که در این نوع دیگ‌ها، آب ورودی، تحت فرآیند پیش تصفیه قرار نگرفته باشد.

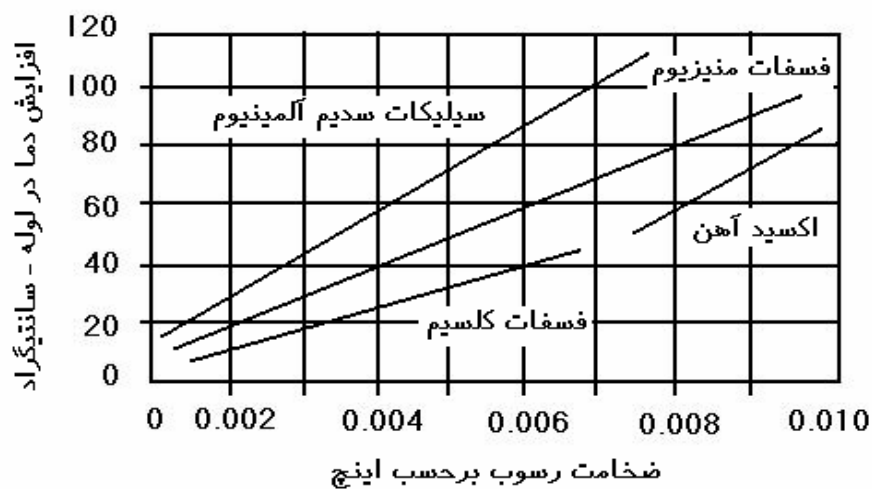
رسوب‌گذاری سیلیکا نیز به همان طریق رسوب‌گذاری کلسیم و منیزیم تشکیل می‌شود با این تفاوت که جداسازی سیلیکا از منبع آب تغذیه به سادگی جداسازی کلسیم و منیزیم نیست. رسوبات سیلیکا در انواع مختلف سیلیکات منیزیم و سیلیس بی شکل پدیدار می‌شود. سیلیکات بی شکل بصورت لایه نازک و شیشه‌مانندی بر سطح داخلی دیگ بخار تشکیل می‌گردد که جداسازی آن بسیار دشوار است. معمولاً از محلول‌های اسیدی ( هیدروفلوریک ) برای جدا نمودن لایه‌های شیشه‌ای مانند استفاده می‌شود. رسوبات سیلیکات منیزیم دارای بافت ناهموار بوده و جداسازی آن از سطح دیگ بخار نسبت به سیلیس بی شکل راحت‌تر است. رسوبات سیلیکاتی معمولاً در سیستم دیگ‌های بخار با فشار پائین دیده می‌شود و معمولاً این نوع سیستم‌ها فقط مجهز به جداسازی کلسیم و منیزیم بوسیله ژئولیت سدیم از آب می‌باشند.

در پاره‌ای از موارد رسوبات سیلیکاتی در دیگ بخار با فشار بالا نیز رویت شده است که عمدتاً ناشی از نشت سیلیکا از واحدهای آنیونی بوده است. هر قدر که سیلیکات آب ورودی بیشتر و قلیائیت آب کمتر باشد، ترسیب لایه سیلیکاتی سریع‌تر صورت می‌پذیرد. خاصیت عایقی لایه سیلیکاتی به مراتب بیشتر از لایه‌های رسوبی کلسیم و منیزیم است و به همین دلیل باعث کاهش بازدهی بیشتری در دیگ‌های بخار می‌شود. معمولاً برای جلوگیری از ترسیب سیلیکات‌ها در دیگ‌های بخار، نسبت هیدرات قلیائیت به سیلیکای آب تغذیه را در حد 3 به 1 حفظ می‌نمایند.

بطور کلی ساختار شیمیایی رسوب، تخلخل آن و روش بهره‌برداری از دیگ بخار به عنوان اصلی‌ترین عوامل در به هدر رفتن حرارت محسوب می‌شوند. به عنوان مثال ضخامت رسوب در حد سه میلی‌متر حدود 2 الی 3 درصد کاهش بازدهی در دیگ‌های بخار از نوع فایرتیوب و واتر تیوب را به دنبال خواهد داشت.

دومین اثر مخرب رسوب‌گذاری در دیگ‌های بخار به افزایش دمای لوله‌های فلزی باز می‌گردد که در بسیاری موارد موجب ترکیدگی لوله‌ها نیز می‌گردد. در دیگ‌های بخار مدرن

که ویژگی آن نرخ بالای انتقال حرارت است، ترسیب لایه بسیار نازک موجب افزایش حرارت در لوله‌ها می‌گردد. در شکل شماره (1) اثر رسوبات دیگ بخار بر دمای لوله نشان داده شده است.



شکل 1- اثر رسوب دیگ بخار بر دمای لوله

(فشار معادل 105 کیلوگرم بر سانتی متر مربع، انرژی معادل 750 هزار کیلوکالری بر متر مربع در ساعت)

سومین اثر سوء ناشی از رسوب‌گذاری، ایجاد خوردگی در دیگ بخار است. معمولاً دیگ‌های بخار با ظرفیت بالای انتقال حرارت (بیش از 75 هزار بی تی یو بر فوت مربع در ساعت) در معرض خوردگی‌های موضعی قرار می‌گیرند. در واقع رسوبات داخل دیگ بخار زمینه لازم را برای ایجاد خوردگی فراهم می‌آورند.

اکسیدهای آهن از جمله موادی هستند که در سطح داخلی دیگ‌های بخار تجمع می‌یابند. اکسیدهای آهن یا از طریق آب خام وارد دیگ بخار می‌گردد و یا اینکه در اثر خوردگی داخلی ایجاد می‌شود. اکسیدهای آهن در رسوبات نرم و سخت دیگ‌های بخار حضور دارند و



معمولاً در رسوبات نرم جهت‌گیری آنها به سمت داخل دیگ بخار و در رسوبات سخت به سمت جدار دیگ بخار است.

اکسیدهای آهن از جمله رسوبات خلل و فرج دار محسوب می‌شوند که امکان نشت آب از دیگ بخار به داخل بخار را فراهم ساخته و مواد جامد محلول را بر جا می‌گذارند. مواد جامد محلول نظیر سود و شلات که در آب دیگ بخار وجود دارند، نهایتاً در خلل و فرج رسوبات اکسیدهای آهن ترسیب یافته و غلظت تجمعی آنها به هزاران قسمت در میلیون (ppm) خواهد رسید. تجمع غلظت بالای این مواد در نهایت منجر به خوردگی فلزی در داخل دیگ بخار خواهد شد. مؤثرترین روش مقابله با این پدیده، کاهش غلظت آهن در دیگ بخار است. بنابراین منبع آب تغذیه باید مورد پیش تصفیه (نظیر فیلتراسیون و پاک‌سازی) قرار گیرد. هنگامی که بخار تغلیظ شده مجدداً به داخل دیگ بخار هدایت شود، برای کاهش اثر خوردگی می‌بایست از روش‌های شیمیایی مناسب جهت اصلاح کیفیت آب برگشتی بهره جست. اصلاح آب توسط مواد شیمیایی نظیر شلات‌ها، پلیمرها و فسفات‌ها موجب کاهش ترسیب یونهای آهن در دیگ بخار خواهد شد.

همچنین مناسب است تا توجه خاصی به مراکز یا نقاطی که می‌توانند موجب افزایش غلظت آهن شوند، بعمل آید. به عنوان مثال تجهیزات آهک زنی (سرد یا گرم)، فیلترها، تجهیزات سدیم زئولیت و پمپ‌های تغذیه از جمله مواردی هستند که می‌توانند موجب افزایش غلظت آهن در دیگ‌های بخار شوند. بنابراین سیستم‌های یاد شده می‌بایست تحت نظارت دایم قرار گرفته و اطمینان کامل از عملکرد صحیح آنها بعمل آید.

### 1-3- مشکلات خوردگی

اکسیژن محلول با مواد موجود در سطح داخل دیگ بخار واکنش برقرار نموده و باعث تشکیل مواد جدید بر سطح فلز دیگ بخار می‌شوند. به مرور زمان این مواد جدید بزرگتر شده و به داخل فلز دیگ بخار نفوذ می‌نمایند و نهایتاً منجر به از کار افتادن دیگ‌های بخار

می‌شوند. اکسیژن محلول موجود در آب تغذیه دیگ‌های بخار در اثر افزایش حرارت، واکنش‌زایی مضاعف پیدا نموده و باعث خوردگی در پیش‌گرمکن‌ها و اکونومایزرها می‌شود. اکسیژن محلولی که به نوعی وارد دیگ بخار می‌شود نیز باعث انواع تخریب در سیستم‌های غلطک‌های بخار، غلطک‌های لای، لوله‌های دیگ و شیرآلات می‌گردد. در این مسیر سیستم‌های خنک‌کن و لوله‌های تقطیر نیز صدمه خواهند دید. بنابراین حذف اکسیژن در مسیر استفاده از الزامات بسیار مهم به شمار می‌آید. کنترل اکسیژن محلول در منبع آب تغذیه از دو طریق هوازدایی و شیمیایی انجام می‌گیرد. سیستم‌های هوازدایی مدرن قادرند تا میزان اکسیژن محلول را تا حد 15 میلیاردرقسمت (ppb) در لیتر کاهش دهند و بدین ترتیب نیازی به افزودنی‌های شیمیایی برای جذب اکسیژن محلول وجود نخواهد داشت. به هر حال در صورت نیاز به استفاده از مواد شیمیایی برای حذف اکسیژن محلول، می‌توان از سولفات سدیم استفاده نمود، ضمن آنکه مواد آلی نیز مورد استفاده واقع می‌شوند. برخی از مواد شیمیایی لایه نازکی بر سطح اکونومایزر و پیش‌گرمکن ایجاد نموده و از خوردگی جلوگیری می‌نمایند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که استفاده از مواد شیمیایی به تنهایی نمی‌تواند اثر بخشی روش هوازدایی را داشته باشد و معمولاً استفاده از مواد شیمیایی نمی‌تواند میزان اکسیژن محلول را به زیر 50 ppb در لیتر برساند. میزان اکسیژن در حد 50 ppb قادر به ایجاد خوردگی می‌باشد.

معمولاً حضور اکسیژن محلول و یا دی‌اکسید کربن در بخار تغلیظ شده از عوامل اصلی ایجاد خوردگی به شمار می‌آیند. حضور دی‌اکسید کربن موجب تشکیل اسیدهای کربنیک شده و نهایتاً PH بخار کاهش و خوردگی اسیدی حادث می‌گردد. عملکرد اکسیژن محلول کمی متفاوت با دی‌اکسید کربن است چرا که اکسیژن مستقیماً با فلز دیگ بخار واکنش برقرار می‌نماید و باعث خوردگی می‌گردد. معمولاً خوردگی ناشی از حضور دی‌اکسید کربن در آن دسته از دیگ‌های بخار ملاحظه می‌شود که از مواد شیمیایی برای اصلاح آب تغذیه استفاده

می‌گردد. بنابراین یکی از روش‌های جلوگیری از این نوع خوردگی استفاده از آب تقطیر شده به جای آب اصلاح شده توسط مواد شیمیایی می‌باشد.

در اثر ترسیب موادی چون سود، حفره‌های عمیقی در سطح فلز دیگ‌های بخار بوجود می‌آید. این نوع رسوبات معمولاً در نقاطی از دیگ بخار که حرارت بالاتری داشته و یا ته نشست‌های خلل و فرج دار ( نظیر اکسیدهای آهن) وجود دارد، پدیدار می‌شوند. در زیر این نوع ترسیب‌ها، سود آب دیگ بخار با غلظت بیشتری جمع شده و موجب خوردگی موضعی می‌گردد. شایان ذکر است که ایجاد خوردگی به روش فوق فقط مستلزم گذشت زمان به میزان چند ساعت تا چند روز است و مجموعاً نیاز به طی یک فرآیند طولانی ندارد. بنابراین شیمی آب دیگ بخار می‌بایست به صورت منظم و دائم مورد پایش قرار گرفته و به محض افزایش هیدروکسیدهای قلیایی می‌بایست نسبت به اصلاح مناسب آب اقدام نمود. همچنین جلوگیری از ترسیب‌های خلل و فرج‌دار اکسیدهای آهن نیز در عدم تشکیل این نوع خوردگی مؤثر است.

یکی از منابع احتمالی ورود سود به داخل دیگ بخار، شارژ مجدد منبع تبادل آنیونی است. معمولاً برای شارژ منبع تبادل آنیونی از سود استفاده می‌شود که بخشی از آن همراه با آب تغذیه وارد دیگ بخار می‌شود.

یکی دیگر از عوامل خوردگی در دیگ‌های بخار کاهش PH آب به زیر 8/5 است. معمولاً حضور رسوبات خلل و فرج‌دار اکسیدهای آهن در کاهش پ‌هاش آب دیگ‌های بخار نقش مهمی دارند، علاوه بر این موضوع نشت اسیدهای سولفوریک و کلریدریک از بخش تقطیر آب و کندانسور برج‌های خنک کننده نیز به عنوان منابع احتمالی ورود اسید در نظر گرفته می‌شوند. برای جلوگیری از خوردگی اسیدها پایش مستمر پ‌هاش آب بسیار حائز اهمیت است.

## 1-4- اصلاح آب دیگ‌های بخار

اصلاح آب دیگ‌های بخار به سه دسته زیر قابل تقسیم است:

الف - اصلاح خارجی ( بیرونی )

ب - اصلاح داخلی ( درونی )

ج - اصلاح بخار تقطیر شده

کیفیت آب ورودی به انواع دیگ بخار متفاوت بوده و عمدتاً به ظرفیت و فشار آن بستگی دارد. بطور کلی هر قدر که فشار دیگ بخار افزایش یابد آب تغذیه باید با کیفیت مطلوب‌تری وارد دیگ شود. در جدول شماره (2)، رابطه فشار و کیفیت آب تغذیه ارائه شده است. البته آمار و ارقام این جدول نباید به عنوان کیفیت مطلق در نظر گرفته شود و لازم است تا برای تعیین دقیق پارامترها از مشاورین ذریبط استعلام نمود.

جدول 2 - حد کیفیت مطلوب آب ورودی به دیگ‌های بخار

پارامتر	فشار غلطک (psig)	<300	-450 301	-600 451	-750 601	-900 751	-1000 901	-1500 1001	-2000 1501
اکسیژن محلول (mg/l)	<0/007	<0/007	<0/007	<0/007	<0/007	<0/007	<0/007	<0/007	<0/007
آهن کل (mg/l)	≤0/1	≤0/1	≤0/5	≤0/3	≤0/25	≤0/2	≤0/2	≤0/1	≤0/1
مس کل (mg/l)	≤0/05	≤0/05	≤0/025	≤0/02	≤0/02	≤0/15	≤0/01	≤0/01	≤0/31
سختی کل (mg/l)	≤0/3	≤0/3	≤0/3	≤0/2	≤0/2	≤0/1	≤0/05	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص
PH در 25°C	8/3-10	8/3-10	8/3-10	-/10 8/3	-/10 8/3	8/3-10	8/8-9/6	8/8-9/6	8/8-9/6
کل مواد آلی غیر فرار (mg/l)	<1	<1	<1	<0/5	<0/5	<0/5	<0/2	<0/1	<0/2
مواد روغنی و نفتی (mg/l)	<1	<1	<1	<0/5	<0/5	<0/5	<0/2	<0/1	<0/2
سیلیس (mg/l SiO <sub>2</sub> )	150	≤90	≤40	≤30	≤20	≤8	≤2	≤1	≤1
مجموع قلیانیت (mg/l)	<350	<300	<250	<200	<150	<100	اعلام نشده است	اعلام نشده است	اعلام نشده است
هدایت الکتریکی (μCm <sup>-1</sup> )	1100	900	800	300	200	200	-1000 200	-1000 150	<580

0/1	0/1	0/1-0/5	0/1-0/5	-0/5 0/1	1-2	1-2	1-2	مجموع مواد جامد محلول (mg/l)
-----	-----	---------	---------	-------------	-----	-----	-----	---------------------------------

در بخش اصلاح بیرونی معمولاً جداسازی پارامترهای زیر مد نظر است:

الف - مواد معلق جامد

ب - سختی و دیگر ناخالصی‌های محلول

ج - اکسیژن محلول

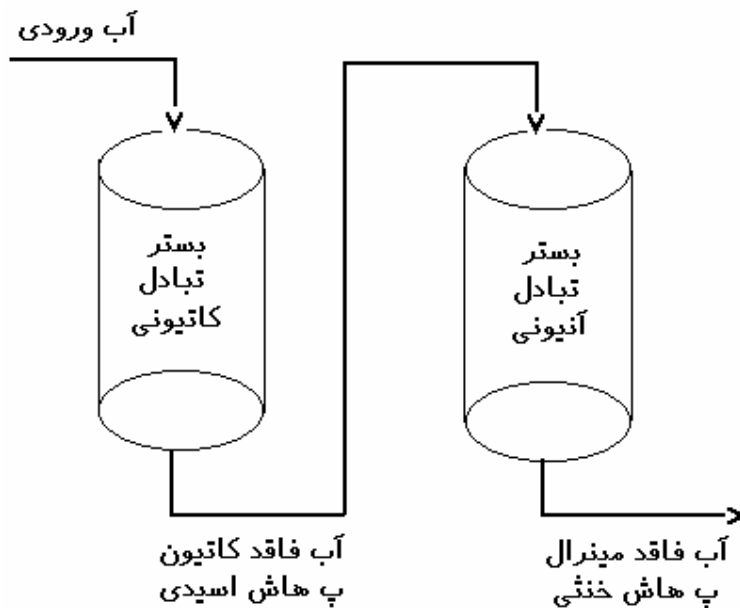
معمولاً منابع آب حاوی مقادیر معتدایی مواد معلق جامد ( گل، سیلیت و باکتری) می‌باشند که در صورت ورود به دیگ بخار موجب اختلال در سیستم خواهند شد. فرآیند تصفیه ( کلاریفایر) و فیلتراسیون قادر به جداسازی بخش عمده‌ای از مواد معلق جامد می‌باشند. بهترین حالت آن است که ابتدا آب از کلاریفایر عبور داده شده و سپس مورد عمل فیلتراسیون واقع گردد. برای بهره‌گیری از روش کلاریفایر معمولاً از انعقاد کننده استفاده می‌شود. به عبارت دیگر انعقاد کننده به آب خام اضافه می‌شود و در اثر افزودن مواد منعقد کننده اندازه ذرات بزرگ شده و در اثر نیروی ثقل ته نشین می‌گردند. سپس آب فوقانی به طرف واحد فیلتراسیون هدایت می‌گردد. لجن باقی مانده ناشی از افزودن منعقد کننده از بستر واحد عملیات جمع‌آوری و دفع می‌گردد. برای انجام عمل فیلتراسیون مناسب است تا از بستر شن- آنتراسیت استفاده نمود. به هر حال نوع فیلتر، عمق بستر فیلتر و دیگر پارامترهای طراحی بر اساس کیفیت آب ورودی و نوع آب مورد نیاز دیگ‌های بخار تعیین می‌گردد.

جداسازی ناخالصی‌های دیگر نظیر کلسیم، منیزیم و سیلیس که موجب ایجاد ترسیب در سطح داخلی دیگ بخار می‌شوند نیز از موارد الزامی برای بهره‌برداری بهینه از دیگ‌های بخار محسوب می‌شود. متداول‌ترین روشهای جداسازی مواد یاد شده مواردی چون استفاده از آهک، تبادل کاتیونی بوسیله سدیم ( سدیم زئولیت )، اسموز معکوس، الکترولیز و تقطیر توسط یون زدایی (تبادل یونی) می‌باشند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که انتخاب یکی از روش‌های فوق‌الذکر وابسته به نوع آب مورد نیاز جهت تغذیه دیگ بخار است. اضافه نمودن آهک به آب خام موجب می‌شود که کلسیم، منیزیم و تا حدی سیلیس محلول در آب خام

منعقد و به صورت جامد ته‌نشین شوند. شایان ذکر است که آهک به تنهایی نمی‌تواند کیفیت آب ورودی به دیگ بخار را تأمین نماید و لذا در مرحله دوم استفاده از تبادل یونی و یا تبادل کاتیونی برای اصلاح کامل آب خام الزامی است.

معمولاً از روش تبادل کاتیونی در دیگ‌های بخار با فشار کم ( کمتر از 450 psig ) و از تبادل یونی برای دیگ‌های بخار با فشار بالا ( بیش از 600 psig ) استفاده می‌شود. فرآیند تبادل یونی بصورت خیلی ساده در مخازنی به اجراء گذارده می‌شود که حاوی رزین‌های تبادل یونی هستند. رزین نوعی پلاستیک جامد است که در اثر واکنش با آب خام به حالت محلول در نمی‌آید. رزین‌ها به دو دسته کاتیونی و آنیونی قابل تقسیم‌بندی می‌باشند که هر یک از این دو نوع قابلیت تبادل یونی را دارند. در روش تبادل یونی با استفاده از سدیم زئولیت، پس از واکنش آب خام با رزین، کلسیم و منیزیم جذب و سدیم آزاد می‌گردد. استفاده از این روش جهت اصلاح آب فقط برای دیگ‌های بخار با فشار کم مناسب است.

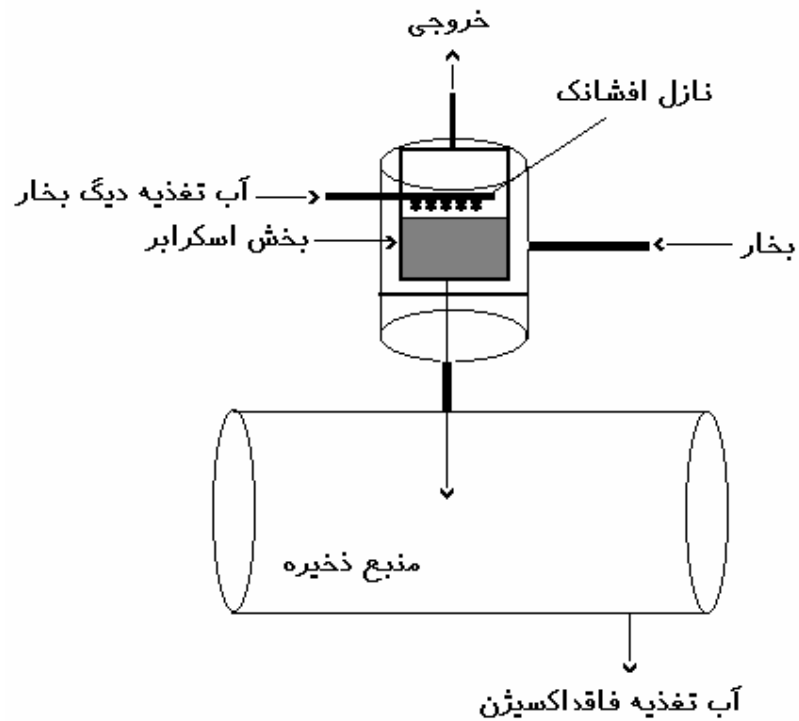
برای دیگ‌های بخار با فشار بالا حتماً باید از آب فاقد منیرال استفاده نمود. معمولاً مخازن تبدیل آب خام به آب بدون منیرال از چند لایه یا بستر تبادل کاتیونی و متعاقب آن چند لایه تبادل آنیونی تشکیل شده است. در شکل شماره (2) نمونه ساده‌ای از سیستم تبدیل آب خام به آب بدون منیرال ارائه شده است. در این سیستم ابتدا کاتیون‌های آب خام شامل کلسیم، منیزیم و سدیم با مولکول هیدروژن تبادل می‌گردند. در این حالت آب خام فاقد کاتیون‌ها می‌شود ولی پ‌هاش آن اسیدی شده و قابل استفاده در دیگ بخار نخواهد بود. در مرحله دوم آب خام فاقد کاتیون به مخزن تبادل آنیونی هدایت می‌شود و در آنجا آنیون‌هایی چون سولفید، کلرید، کربنات و سیلیکا با یون‌های هیدروکسید تبادل می‌شوند و نهایتاً هیدروژن تولید شده در مرحله اصلاح کاتیونی با هیدروکسید تولید شده در مرحله اصلاح آنیونی با هم ترکیب و آب مناسب را برای استفاده در دیگ بخار تولید می‌نمایند.



شکل 2 - فرآیند مینرال زدایی دو بستری

شایان ذکر است که ظرفیت رزین‌های تبادل آنیون و کاتیون محدود بوده و به مرور زمان پتانسیل اولیه خود را از دست می‌دهند. بنابراین هر چند گاه یک بار نیاز به شارژ مجدد رزین‌های تبدلی می‌باشد. برای این منظور از آب شور برای شارژ مجدد بسترهای تبادل کاتیونی از جنس سدیم ژئولیت استفاده می‌شود. برای شارژ مجدد بسترهای تبادل کاتیونی و آنیونی به ترتیب از اسید کلریدریک ( یا اسید سولفوریک ) و سود سوزآور استفاده می‌شود. دیگر روش‌های جداسازی ناخالصی از آب خام استفاده از اسموز معکوس، الکترولیز و الکترو دیالیز می‌باشد. این سه روش تحت عنوان فرآیند ممبران ( پوستی ) نیز شناخته شده‌اند. همچنین در فرآیند اصلاح آب، ضروری است که اکسیژن محلول در آب خام و قبل از ورود به سیستم حذف گردد تا از ایجاد خوردگی جلوگیری شود. برای این منظور معمولاً از طریق

گرم نمودن آب جهت کاهش اکسیژن محلول استفاده می‌شود. گرمای مورد نیاز برای افزایش دما از بخار دیگ تأمین می‌گردد ( شکل شماره 3 ). غلظت اکسیژن محلول قبل از ورود به دیگ بخار می‌بایست به کمتر از 15 پیلیون در قسمت (ppb) کاهش یابد.



شکل 3 - فرآیند هوا زدایی



برای بهره‌برداری بهینه از دستگاه اکسیژن زدایی باید توجه داشت که بخار آب از بخش هواکش به خوبی تهویه شود. بخاری که از دریچه تهویه به بیرون هدایت می‌شود می‌بایست قابل رویت باشد و ارتفاع آن حدود 15 سانتی‌متر بالاتر از دریچه تهویه باشد. طول یا ارتفاع بخار قابل رویت نباید بیش از 60 سانتی‌متر باشد چرا که در غیر اینصورت بخار، بی‌جهت در حال به هدر رفتن می‌باشد. همچنین بایستی اکسیژن محلول آب پس از افزایش دما بصورت مستمر اندازه‌گیری شود تا از حذف آن اطمینان حاصل گردد.

مطالبی که تاکنون ارایه شد بیشتر جنبه اصلاح آب خام و قبل از ورود به دیگ بخار را پوشش می‌دهد لیکن برای بهره‌برداری بهینه، مناسب است تا در داخل دیگ بخار نیز تمهیداتی اندیشیده شود. برای این منظور لازم به ذکر است که سطح داخلی دیگ‌های بخار از لایه نازکی (عمدتاً اکسید آهن مغناطیسی و سیاه رنگ) برای جلوگیری از خوردگی آسترکشی می‌شود. لذا برنامه‌های اصلاح آب باید بگونه‌ای برنامه‌ریزی شود که علاوه بر اصلاح آب خام، حفظ و نگهداری از آستر داخلی دیگ بخار را نیز در برگیرد. برای این منظور دو اقدام جدی برای تنظیم مناسب غلظت اکسیژن محلول و پ‌هاش آب ضروری است. قسمت اعظم اکسیژن محلول در واحد اکسیژن زدایی که قبلاً بحث آن آمد جداسازی می‌شود، لیکن مقادیر بسیار کمی نیز وارد دیگ بخار شده و در عمل ایجاد خوردگی تأثیر می‌گذارد. بنابراین باید از مواد شیمیایی در منبع تغذیه آب برای اکسیژن زدایی کامل بهره گرفت. معمولاً سولفید سدیم به عنوان عامل کاهنده اکسیژن محلول مورد استفاده قرار می‌گیرد.

استفاده از این ماده شیمیایی بسیار ارزان قیمت بوده و اثر بخشی آن نیز بسیار بالا است. البته استفاده بی‌رویه از سولفید سدیم در دیگ‌های بخار با فشار بیش از 900 بار می‌تواند باعث ورود این ماده به بخار شده و در سیستم خنک کننده اختلال ایجاد نماید. در این گونه موارد می‌توان از جاذب‌های اکسیژن با پایه آلی استفاده نمود.

علاوه بر مواد یاد شده، استفاده از فسفات برای کاهش اکسیژن محلول نیز مرسوم است.

مزایای استفاده از فسفات به شرح زیر می‌باشد:

الف - فسفات نقش بافر را برای تنظیم پ‌هاش ایفاء می‌نماید و بدین ترتیب موجب جلوگیری از خوردگی می‌شود.

ب - فسفات موجب ترسیب کلسیم و منیزیم بصورت رسوب نرم می‌گردد که به آسانی از دیگ بخار قابل جداسازی است.

ج - فسفات به تشکیل لایه نازک اکسیدها بر روی لایه داخلی دیگ بخار کمک نموده که بدین ترتیب جدار داخلی در برابر خوردگی مقاومت بیشتری پیدا می‌کند.

متداول‌ترین ترکیبات فسفات که در اصلاح آب دیگ‌های بخار بکار می‌روند موادی همچون فسفات سدیم (مونو فسفات سدیم، دی فسفات سدیم و تری فسفات سدیم) و یا پلی فسفات سدیم هستند. عملکرد تمامی مواد یاد شده تقریباً یکسان است و انتخاب هر یک از آنها تابع شرایط دیگ بخار می‌باشد. همانگونه که قبلاً ذکر شد استفاده از ترکیبات فسفات موجب تشکیل لجن حاوی کلسیم و منیزیم می‌شود که برای جداسازی آن می‌بایست برنامه منظمی تدوین گردد. گرچه استفاده از فسفات موجب افزایش تعداد دفعات پاک‌سازی دیگ بخار به لحاظ افزایش حجم لجن می‌گردد، لیکن تجربه نشان داده است که استفاده از این ماده در دیگ بخار خوردگی را به حداقل می‌رساند.

باید توجه داشت که استفاده از پلیمرها و شلات‌ها در اصلاح آب دیگ بخار موجب ترسیب کلسیم و منیزیم نمی‌شود بلکه با این مواد ادغام شده و ترکیب نسبتاً پایدارتری را بوجود می‌آورند.

در بعضی از دیگ‌های بخار پلیمرها و شلات‌ها به همراه فسفات بطور همزمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. مهم‌ترین ترکیبات شلاتی اسید نیتریلوتری استیک (NTA) و اتیلین دیامین (EDTA) هستند که عمدتاً در دیگ‌های بخار با فشار کمتر از 150 بار مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته مناسب است تا از EDTA در دیگ‌های بخار با فشار بالا استفاده شود. غالب پلیمرهایی که در اصلاح آب دیگ بخار مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای ترکیبات مصنوعی بوده که پاره‌ای از آنها در عملکرد بسیار مشابه EDTA می‌باشند. استفاده از پلیمرها

باعث پخش و از هم گسیختگی مواد جامد معلق می‌گردد که از این جهت تحت نام ”پراکنده‌سازی“ نیز شناخته شده‌اند. تنوع پلیمرها بسیار زیاد است که تعدادی از آنها برای کنترل سختی آب بکار گرفته می‌شوند و تعدادی برای کنترل رسوبات آهنی مورد استفاده واقع می‌شوند. در برنامه‌های پیشرفته اصلاح آب دیگ بخار از پلیمر و شلات‌ها بطور همزمان استفاده می‌شود. البته تصمیم‌گیری در این خصوص مجدداً به نوع کیفیت آب مورد نیاز و به چگونگی عملکرد دیگ بخار باز می‌گردد.

زیرکش ( بلودان ) از موارد اساسی در اصلاح آب دیگ‌های بخار به شمار می‌آید. هدف از زیرکش ( بلودان ) محدود ساختن غلظت ناخالصی‌ها به آب دیگ بخار است. میزان زیرکش بسیار حساس و بحرانی است، چنانچه مازاد زیرکش موجب افزایش بی‌رویه مصرف انرژی و هزینه‌های مرتبط با مواد شیمیایی می‌شود و زیرکشی کم نیز موجب افزایش غلظت ناخالصی‌ها در آب دیگ بخار می‌گردد. معیار دقیقی برای میزان زیرکشی در دسترس نمی‌باشد چرا که این میزان تابعی از کیفیت آب بوده و لذا می‌تواند بین 1 الی 25٪ متغیر باشد. حتی محل زیرکشی ( بلودان ) نیز می‌تواند از سطح آب در محل غلظک بخار، غلظک لای، هدر تحتانی و یا زیر دیگ بخار باشد.

عمل زیرکش می‌تواند به صورت‌های مستمر و متناوب انجام شود. ذیلاً قواعد پایه که در عمل زیرکشی باید رعایت شوند، ارائه می‌گردد.

الف - در دیگ‌های بخار از نوع غلظکی بهتر است تا غلظت از طریق زیرکش در محل غلظک بخار صورت پذیرد. توصیه شده است که عمل زیرکشی از نوع مستمر انجام شود.

ب - زیرکش از محل غلظک لای موجب جداسازی ذرات معلق جامد می‌گردد، ولی استفاده از این روش می‌تواند باعث ایجاد وقفه در جریان آب ورودی به دیگ بخار شده و صدمات جدی به دیگ وارد نماید. در صورتیکه زیرکش از قسمت تحتانی دیگ بخار انجام می‌شود باید سعی شود تا در کوتاه‌ترین زمان این عمل انجام گیرد و به صورت منظم صورت پذیرد.

ج - در خصوص زیرکش از دیگ‌های بخار از نوع فایر تیوب می‌توان عمل زیرکش را بصورت مستمر یا متناوب انجام داد.

یکی از روش‌های جلوگیری از اتلاف انرژی، نصب دستگاه بازیافت حرارت بوده که اکنون به صورت اقتصادی در بازار به فروش می‌رسند و ظرفیت‌های پائین زیرکش تا حد 500 کیلوگرم در ساعت را پوشش می‌دهند.

سود بصورت ترکیب هیدروکسید سدیم یا هیدروکسید پتاسیم بطور جداگانه یا همزمان برای کنترل پ‌هاش آب دیگ‌های بخار مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بعضی موارد سود را به همراه پلی فسفات استفاده می‌نمایند. هیدرازین و آمونیاک از دیگر مواد شیمیایی هستند که در اصلاح آب دیگ‌های بخار بکار گرفته می‌شوند. استفاده از هیدرازین و آمونیاک در اصلاح آبهایی که دارای سختی زیاد هستند، توصیه نمی‌گردد چرا که اثر بخشی آنها در این نوع آبها بسیار ضعیف است. از طرفی هیدرازین که به نوعی از جمله مواد شیمیایی خطرناک محسوب می‌شود، بطور متداول در صنایع مورد استفاده واقع نمی‌شود و استفاده از آن بیشتر مختص نیروگاه‌های تولید برق است.

خوردگی در کندانسورها، تله‌های بخار و لوله‌های تقطیر بطور متداول صورت می‌گیرد. لذا پ‌هاش آب می‌بایست توسط مواد شیمیایی نظیر آمین‌ها در حد خنثی قرار گیرد. متداول‌ترین آمین‌هایی که مورد استفاده قرار می‌گیرند مورفولین، سیکلوهکسیلامین و دی اتیل آمینو اتانول (DEAE) هستند. بهترین گزینه استفاده همزمان از مخلوط آمین‌ها است و برای این منظور باید درصد اختلاط انواع آمین‌ها توسط مشاورین ذیصلاح تعیین گردد. در اثر استفاده از انواع آمین‌ها لایه نازکی بر سطوح داخلی تأسیسات یاد شده ایجاد می‌گردد که مانع واکنش اکسیژن محلول با فلز بدنه تأسیسات می‌شود و بدین ترتیب از خوردگی جلوگیری بعمل می‌آید.

**1-5- سود اقتصادی ناشی از اجرای صحیح برنامه‌های اصلاح آب**

در بخش‌های مختلف این فصل قویاً و مکرراً توصیه شد تا برای اصلاح آب خام و جلوگیری از خوردگی و دیگر صدمات از مشاورین خبره و ذیصلاح استفاده شود. در یکی از کارخانه‌های واقع در آریزونا، مشاورین پی بردند که یکی از شش واحد کارخانه با بازدهی 56٪ مشغول فعالیت است. پس از بررسی‌های دقیق مشخص شد که مشکل رسوب‌گذاری در سیستم حادث شده است و با استفاده از اسیدهای مناسب نسبت به رفع مشکل اقدام و بازدهی 99/5 درصدی حاصل شد. ادامه بررسی‌ها نشان داد که تعداد 5 واحد از 6 واحد برج‌های خنک کن نیز دارای گرفتگی و تجمع بیولوژیکی است که با استفاده از آب فشار قوی، نسبت به رفع گرفتگی‌ها اقدام شد. نهایتاً در اثر پاک‌سازی و اجرای برنامه‌های جدید اصلاح آب خام مجموعاً 26 هزار دلار در مصرف مواد شیمیایی و 70 هزار دلار در مصرف انرژی صرفه‌جویی بعمل آمد. همچنین مصرف آب به میزان ده میلیون لیتر کاهش یافت. لذا اقدامات اصلاحی نه تنها موجب افزایش بهره‌وری می‌شود، بلکه از توقف خط تولید برای اجرای تعمیرات کلی نیز جلوگیری می‌نماید.

## فصل 2

### احتراق

سوزاندن بهینه سوخت مستلزم توجه و رسیدگی به کلیه وسایل احتراق می‌باشد. قبل از آنکه به مشکلات خاص برخی از سیستم‌های احتراق پرداخته شود، ابتدا آن دسته از مشکلات که بطور مشترک در سیستم‌های احتراق وجود دارد، مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

#### 2-1- تزریق هوای اضافی

هوای اضافی به معنای میزان هوایی می‌باشد که بیش از حد تئوری که برای احتراق کامل سوخت نیاز است، وارد سیستم می‌گردد. هوای اضافی با فرآیند بهینه احتراق تداخل نموده و از بازدهی سیستم می‌کاهد. بنابراین با اجرای برنامه‌های خاص و مستمر، میزان هوا مرتباً مورد

پایش قرار می‌گیرد تا تنظیمات لازم بعمل آید. ساده‌ترین و بهترین روش جلوگیری از ورود هوای اضافی آن است که منافذ و محل‌های ورود هوا به داخل محفظه احتراق شناسایی و مسدود گردند. برای پیدا کردن منافذ می‌توان با روشن کردن یک شمع و جهت‌گیری شعله شمع به طرف جریان هوا به نقطه مورد نظر پی برد. البته در روشهای پیشرفته، محفظه احتراق را با دود زیاد پر می‌کنند و این دود مسیر خود را از منافذ به بیرون پیدا و نهایتاً محل مورد نظر شناسایی می‌گردد.

در نسل‌های جدید کوره‌های احتراق، سیستم‌های اندازه‌گیری اکسیژن تعبیه گردیده است که بطور مستمر وضعیت هوای داخل کوره مورد پایش قرار می‌گیرد.

## 2-2- دمای هوای احتراق

دمای هوای احتراق از عوامل متداول در بازدهی کلیه کوره‌های احتراق به شمار می‌آید. به عبارت دیگر دمای هوای احتراق می‌تواند شدیداً بازدهی دیگ بخار را تحت تأثیر قرار دهد. تغییر در دمای هوای احتراق مستقیماً بر میزان هوای مورد نیاز جهت احتراق کامل تأثیر می‌گذارد. بعبارت دیگر استفاده از هوای اضافی به منزله هدر رفتن انرژی، افزایش دمای دودکش و کاهش بازدهی دیگ بخار است. کمبود هوای لازم در کوره احتراق نیز موجب احتراق ناقص سوخت و ایجاد دوده می‌شود. برای کاهش اتلاف انرژی از مشعل‌های پیشرفته استفاده بعمل می‌آید تا حتی تحت 15٪ هوای اضافی بتواند با توان لازم و با راندمان و بازدهی بالا به کار خود ادامه دهد. البته به علت تغییر دما در کوره احتراق ( در فصل‌های مختلف سال) میزان هوای اضافی نیز تغییر می‌یابد. در جدول شماره 3، تأثیر تغییر دما بر سطح هوای اضافی نشان داده شده است.

جدول 3 - تأثیر دما بر میزان هوای اضافی در کوره‌های احتراق

دمای هوا ( فارنهایت )	تأثیر بر هوای اضافی (%)	حداکثر وضعیت مطلوب
40	25/5	

	20/2	50
نقطه تنظیم اولیه	15	80
	9/6	100
	1/1	120

از ارقام جدول می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اگر دمای هوای احتراق به میزان 30 درجه فارنهایت کاهش یابد، حدود 5٪ به میزان هوای اضافی افزوده می‌شود و اگر کاهش دما به 40 درجه فارنهایت برسد در آن صورت 10٪ به هوای اضافی افزوده می‌شود. در صورتیکه کوره احتراق مجهز به سیستم اندازه‌گیری میزان اکسیژن نباشد، می‌توان از علایمی نظیر رنگ شعله، شکل شعله و حتی صدای کوره به تنظیم یا عدم تنظیم کوره احتراق پی برد. علاوه بر کوره‌هایی که مجهز به دستگاه آنالیزور اکسیژن می‌باشند در سال‌های اخیر وسایل الکترونیکی پیشرفته‌تری وارد بازار شده است که از قابلیت‌های بالاتری برخوردارند. به عنوان مثال این نوع وسایل جدید ضمن آنالیز کیفی سوخت ورودی، تنظیمات لازم را به کوره احتراق نسبت به تغییر در کیفیت سوخت اعمال می‌نماید.

### 2-3- نوع سیستم احتراق

سیستم احتراق گازی شامل تجهیزاتی چون کنتور گاز، افشانک (نازل) احتراق، سیستم کنتور و تحویل هوا و سیستم شعله می‌گردد. اگر کنترل اکسیدهای نیتروژن در سیستم وجود داشته باشد در آن صورت تجهیزات دیگری چون گردش مجدد گاز خروجی نیز در سیستم وجود خواهد داشت. بنابراین برای بهره‌وری بهینه از سیستم احتراق گازی کلیه تجهیزات فوق‌الذکر می‌بایست به خوبی اداره و مدیریت شوند. عمده‌ترین مواردی که باید در مورد سیستم‌های احتراق گازی در نظر گرفت به شرح زیر می‌باشد:



الف - در دیگ‌های بخار که دارای چندین مشعل می‌باشند آرایش و چیدمان مشعل‌ها باید به گونه‌ای باشد که استفاده همزمان از کلیه مشعل‌ها به حداقل برسد. برای چیدمان بهتر مشعل‌ها باید توجه خاصی به دمای محیط در بیرون از دیگ‌های بخار داشت.

ب - شیرآلات کنترل و تنظیم جریان گاز می‌بایست به صورت روزانه بررسی و از صحت دستورپذیری آنها توسط سیستم‌های کامپیوتری اطلاع حاصل نمود.

ج - فشار افشانک (نازل) گاز مرتباً بازدید شود.

د- دمنده‌های هوا و دستورپذیری آنها از سیستم‌های کامپیوتری مورد بررسی قرار گیرد.

ه - نسبت سوخت به هوا به تناسب بار تنظیم گردد.

و - سیستم مدیریت مشعل می‌بایست برای قله (پیک) هر بار تنظیم گردد و سیستم شعله باید طوری تنظیم شود که برای عملکرد ایمن، پذیرای حداقل هوای اضافی باشد.

ز - فشار گاز از مهم‌ترین مواردی است که در عملکرد صحیح مشعل و بازدهی احتراق تأثیر مستقیم دارد. بنابراین فشارهای غیر منظم موجب احتراق ناقص، تولید مونو اکسید کربن و دوده خواهد شد که نهایتاً منجر به کاهش بازدهی دیگ بخار می‌شود. یکی از مواردی که موجب غیر منظم شدن فشار گاز می‌گردد، سیستم‌های تحویل گاز شهری است و در پاره‌ای از موارد رگلاتورهای سیستم فشار گاز نیز در اثر گرفتگی موجب بالا و پائین شدن فشار گاز می‌گردد.

سیستم‌های احتراق نفتی نیز شامل سیستم شیرآلات کنتور نفت، افشانک مشعل، سیستم‌های تحویل و کنتور هوا و سیستم مدیریت شعله می‌گردد. همانند مشعل‌های گازی اگر کنترل اکسیدهای نیتروژن در سیستم وجود داشته باشد در آن صورت تجهیزات دیگری چون کنترل و تنظیم اکسیدهای نیتروژن نیز وجود خواهند داشت. عمده‌ترین مواردی که باید در مورد سیستم‌های احتراق نفتی در نظر گرفت به شرح زیر می‌باشد:

الف - همانند مشعل‌های گازی، در دیگ‌های بخاری که دارای چندین مشعل می‌باشند، آرایش و چیدمان مشعل‌ها باید به شکلی باشد که استفاده همزمان از کلیه مشعل‌ها به حداقل برسد.

برای چیدمان بهتر مشعل‌ها باید توجه خاصی به تغییرات فصلی دمای محیط در بیرون از دیگ‌های بخار داشت.

ب - پاکسازی افشانک (نازل) مشعل برای دستیابی به بازدهی بیشتر از ضروریات است. معمولاً در مشعل‌های نفتی، تجمع دوده در نوک افشانک مشکل‌زا خواهد بود. بنابراین هرگونه تغییر رنگ در شعله و یا شکل شعله باید به منزله تجمع دوده تلقی و نسبت به پاک‌سازی آن اقدام شود.

ج - آن دسته از مشعل‌هایی که نفت سنگین می‌سوزانند می‌بایست بطور مرتب تحت مراقبت تغییرات شعله قرار گرفته و به تناسب دمای نفت تنظیم گردد. معمولاً مبدل‌های حرارتی کثیف موجب تغییر در دمای نفت می‌شوند.

د - سیستم‌های باز چرخش نفت باید به خوبی عمل نمایند و تحت فشار مورد نظر، نفت را به افشانک برسانند. اگر فشار تحویل نفت به افشانک متغیر باشد، موجب احتراق ناقص و تجمع دوده می‌گردد و نهایتاً منجر به افزایش هزینه‌های تولید و کاهش بازدهی سیستم خواهد شد. بنابراین عوامل ایجاد تغییر در فشار نفت ( شامل پمپ‌های فرسوده، شیرآلات قدیمی و محل‌های نشتی) می‌بایست ردیابی و نسبت به رفع مشکل اقدام شود. همچنین کمپرسورهای هوا برای حصول اطمینان از تنظیم سوخت به هوا می‌بایست مورد بازرسی قرار گیرند.

سیستم‌های فعلی احتراق زغال سنگ عمدتاً مبتنی بر زغال سنگ پودر شده است. احتراق بستر سیال نیز از جمله سیستم‌های احتراق زغال سنگ به شمار می‌آید که به لحاظ پیچیدگی موضوع در این کتاب راهنما مورد بحث قرار نمی‌گیرد.

تشابه زیادی بین سیستم‌های احتراق گاز و نفت با سیستم‌های احتراق زغال سنگ پودر شده وجود دارد. سیستم‌های زغال سنگ پودر شده دارای تجهیزات سوخت‌رسانی پیچیده‌تری نسبت به سیستم‌های نفتی و گازی می‌باشند. همانند سیستم‌های گازی و نفتی، سیستم‌های زغال‌سنگ پودر شده نیز دارای سیستم کنترل هوا و شعله بوده و سیستم احتراق آن با سوخت

نفت و گاز است. بسیاری از توصیه‌هایی که برای حفظ و نگهداری سیستم‌های احتراق نفت و گاز ارائه شد، برای سیستم‌های زغال‌سنگ پودر شده نیز صادق است. سیستم‌های زغال‌سنگ پودر شده دارای تجهیزات نقلی تحویل سوخت به بخش احتراق می‌باشند که جهت بهره‌برداری بهینه از سیستم، تنظیم میزان تحویل سوخت به بخش احتراق بسیار مهم و ضروری است. تجهیزات انتقال سوخت به کوره دارای سیستم محاسبه وزن بوده و به طور مستمر وزن زغال‌سنگ پودر شده بر روی نقاله را اندازه‌گیری می‌کند. شاید مهم‌ترین نکته در سیستم‌های زغال‌سنگ پودر شده تنظیم دقیق اندازه زغال‌سنگ و تنظیم دمای هوای ورودی به محفظه پودر کننده زغال باشد.

شایان ذکر است که در بعضی مواقع سوخت جامدی که به کوره تزریق می‌گردد نمی‌سوزد و نهایتاً همراه با خاکسترهای باقی‌مانده از بستر کوره تخلیه می‌گردد. لذا به نوعی سوخت جامد به هدر می‌رود. برای جلوگیری از این حالت نیاز است تا از ورود تکه‌های بزرگ زغال‌سنگ به داخل کوره جلوگیری نمود. برای این منظور باید بطور مرتب از خط نقاله نمونه‌برداری و آنالیز دانه‌بندی بر روی نمونه‌های زغال‌سنگ بعمل آید. از طرفی پراکنش یا توزیع زغال‌سنگ در سطح کوره باید یکسان و همگن باشد. از خاکستر باقی‌مانده در کوره نیز باید نمونه‌برداری بعمل آید و این نمونه‌ها برای آنالیز زغال‌سنگ‌های نسوخته مورد استفاده قرار گیرند.

#### 2-4- چک لیست متصدیان سیستم‌های احتراق

- الف - نشی هوا بررسی شود. برای این منظور از فندک‌های صنعتی به جای کبریت استفاده شود. بطور مرتب نقاط جوش بر روی کوره را بررسی نمائید.
- ب - نفوذ هوا را به داخل مولد بخار بررسی نمائید.
- ج - بازدهی (راندمان) دیگ بخار در مقاطع مختلف زمانی اندازه‌گیری شود.

- د - دمای هوای احتراق بررسی شود. بخاطر داشته باشید که تغییرات دمای محیط بیرون در فصل‌های مختلف می‌تواند بر دمای هوای احتراق تأثیر بگذارد.
- ه - نسبت سوخت به هوا بررسی شود.
- و - کوره‌هایی که دارای چند مشعل هستند، باید بر روی حداکثر بار تنظیم شوند تا روشن شدن تمام مشعل‌ها به صورت همزمان کاهش یابد.
- ز - در مورد سیستم‌های گازی دستور پذیری شیرآلات از سیستم‌های کامپیوتری بررسی شود.
- ح - فشار گاز بطور مرتب بررسی شود.
- تمامی موارد ذکر شده باید در مقاطع مختلف زمانی بررسی و تکرار شوند. معمولاً فروشندگان لوازم تناوب بازرسی‌ها را به خریدار اعلام می‌نمایند.



## فصل 3

### دیگ‌های بخار

در این فصل بدون در نظر گرفتن روش احتراق، افزایش بازدهی دیگ‌های بخار مورد نقد و بررسی قرار خواهد گرفت. در بعضی از بندهای این فصل موارد خاص نیز مورد بحث واقع خواهند شد.

#### 3-1- بازدهی دیگ بخار

راندمان اغلب دیگ‌های بخار بین 65 الی 85٪ متغیر می‌باشد و لذا می‌بایست از به هدر رفتن انرژی ( 15 الی 35٪ ) جلوگیری نمود. البته جلوگیری از به هدر رفتن تمام انرژی غیر

ممکن است ولی می‌توان با شناخت مسیرهای اتلاف، آن را به حداقل رساند. اتلاف حرارتی واژه‌ای است که به طور متداول برای به هدر رفتن انرژی بکار گرفته می‌شود.

### 3-2- ابقاء انرژی

بر اساس یکی از قوانین فیزیک، انرژی همیشه ابقاء می‌شود. در فرآیند احتراق، انرژی شیمیایی به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود. اگر انرژی موجود در بخار، گاز خروجی، تشعشعات دیگ بخار و دیگر انرژی‌هایی که از دیگ بخار خارج می‌شود با یک دیگر جمع شوند، مجموع آنها دقیقاً برابر با انرژی گاز، نفت و یا زغال‌سنگی خواهد بود که سوزانده شده است. به عبارت دیگر :

انرژی موجود در سوخت (گاز، نفت و زغال‌سنگ) = انرژی موجود در بخار + اتلاف حرارتی انرژی

راندمان دیگ بخار، میزان درصد تبدیل زغال‌سنگ، نفت و یا گاز به انرژی بار است. معمولاً بهترین روش محاسباتی راندمان دیگ بخار، برآورد میزان اتلاف انرژی است. برای این منظور، درصد اتلاف انرژی در بخش‌های مختلف محاسبه و از 100٪ کسر می‌گردد. عدد باقی‌مانده میزان راندمان دیگ بخار را نشان خواهد داد. به عبارت دیگر:

$$\text{راندمان دیگ بخار} = (\text{اتلاف حرارت} - 100) \%$$

### 3-3- منابع اتلاف حرارت

قسمت اعظم اتلاف انرژی از طریق دودکش صورت می‌پذیرد. در بدترین شرایط حدود 30 الی 35٪ از کل انرژی اولیه از طریق دودکش خارج می‌شود. اتلاف انرژی از طریق دودکش شامل موارد زیر می‌گردد.

الف - اتلاف حرارت به دلیل گاز خشک

ب - اتلاف حرارت به دلیل رطوبت در سوخت

ج - اتلاف حرارت به دلیل آب ناشی از احتراق هیدروژن  
 میزان اتلاف انرژی حرارتی وابسته به دما و حجم گازی است که از دیگ بخار خارج می‌شود، بنابراین کاهش هر یک از دو مورد ذکر شده می‌تواند موجب کاهش اتلاف حرارتی شود. جلوگیری از اتلاف حرارت در دودکش به میزان صد در صد عملاً امکان‌پذیر نخواهد بود، مگر آنکه دمای گاز خروجی از دودکش به دمای هوای اطراف دیگ بخار کاهش داده شود. امکان چنین عملی وجود ندارد. کاهش دمای گاز دودکش خروجی به زیر 300 درجه فارنهایت به صلاح نیست چرا که دمای کمتر موجب تشکیل بخارهای اسید سولفوریک شده که نهایتاً خوردگی بسیار شدید ایجاد می‌نماید. چهار استراتژی عمده برای به حداقل رساندن اتلاف انرژی از دودکش به شرح زیر می‌باشد:

الف - به حداقل رساندن هوای اضافی

ب - پاکیزه نگهداشتن سطوح انتقال حرارتی

ج - بکارگیری تجهیزات بازیافت حرارت

د - کنترل نفوذ هوا به داخل دیگ بخار

زمانی که حجم هوای اضافی کم شود به تبع آن ضمن اینکه حجم گاز دودکش کاهش می‌یابد، دمای گاز خروجی از دودکش نیز کاهش خواهد یافت. چرا که سرعت گاز خروجی کم شده و در اثر کم شدن سرعت گاز خروجی، امکان جذب حرارت گاز در دیگ بخار به لحاظ افزایش زمان ماندن در داخل مسیر خروجی ازدیاد می‌یابد. سود ناشی از کاهش اتلاف، بسیار چشمگیر است به طوری که به ازای کاهش 15٪ هوای اضافی؛ 1/3٪ کاهش در اکسیژن و 40 درجه فارنهایت کاهش در دمای گاز خروجی از دودکش، می‌توان یک درصد راندمان دیگ بخار را افزایش داد.

در سیستم‌های احتراق زغال‌سنگی نیز اتلاف حرارت به دلیل سوخت ناقص بوجود می‌آید. میزان اتلاف حرارتی در این نوع سیستم‌ها تا حد 5٪ نیز حادث می‌گردد. قبلاً بحث دانه‌بندی زغال سنگ و تحویل منظم آن به کوره احتراق شده است و در اینجا از تکرار مطالب



خودداری می‌شود. بطور کلی برای جلوگیری از اتلاف حرارتی باید شاخص انتشار مونو اکسید کربن در حد 400 میلیون در قسمت (ppm) حفظ شود.

بخشی از اتلاف حرارتی از جداره‌های کوره احتراق ( به صورت تشعشع ) صورت می‌پذیرد. البته نمی‌توان اتلاف از دیواره‌های کوره احتراق را به میزان صد در صد کنترل نمود ولی می‌توان با استفاده از عایق‌های حرارتی مناسب آن را به حداقل رساند. میزان اتلاف حرارتی از دیگ‌های بخار که به نحو مناسبی عایق‌کاری شده‌اند، نباید بیش از حدودی باشد که در جدول شماره 4 ارایه شده است. ارقام مندرج در جدول را به عنوان راهنما برای برآورد و مقایسه اتلاف انرژی مورد استفاده قرار دهید. همچنین از ارقام جدول مشخص است که اتلاف حرارتی از دیگ‌های بخار بزرگتر به مراتب کمتر از دیگ‌های بخار کوچک‌تر است.

جدول 4- میزان اتلاف حرارتی از دیگ‌های بخار با عایق‌کاری مناسب

اندازه دیگ بخار ( کیلو بخار در ساعت )	اتلاف حرارتی بصورت تشعشع (%)
100000	0/5
50000	0/7
25000	0/9
10000	1

از دیگر نواحی که باعث اتلاف حرارتی می‌شود، می‌توان به روش زیرکش برای خارج نمودن مواد جامد محلول اشاره نمود. خارج نمودن این مواد به معنای خارج کردن انرژی است که توسط آنها جذب شده است. قبلاً بحث زیرکش ارایه شد و در بخش مربوط اشاره گردید که بهتر است از تجهیزات بازیافت حرارت در عمل مستمر زیرکش استفاده شود. این نوع تجهیزات برای دیگ‌های بخار با حداقل تولید 250 کیلوگرم بخار در ساعت به صورت تجاری در اختیار می‌باشد.

### 3-4- چک لیست متصدیان برای تعمیر و نگهداری دیگ بخار

پایش مستمر دیگ‌های بخار به صورت ساعتی و یا حداقل 2 بار در طی روز بسیار مهم است. به عنوان مثالی بسیار ساده می‌توان به از بین رفتن عایق حرارتی لوله‌های خروجی از دیگ بخار اشاره نمود. میزان اتلاف حرارتی از یک لوله بدون عایق به قطر 5 سانتی و طول 33 سانتی‌متر که حاوی بخار با فشار 150 psig است، معادل یک تن زغال سنگ به ازای هر 12 روز خواهد بود. بنابراین علاوه بر مواردی که مستقیماً در بازدهی کمی دیگ بخار مؤثر هستند، می‌بایست به دیگر موارد ( نظیر مثال فوق ) توجه خاص بعمل آید. لذا موارد زیر می‌بایست به طور مستمر پایش شوند.

- توزیع یکنواخت هوا
- نفوذ هوا
- عایقکاری
- نشست بخار
- فشار بخار
- دمای گاز خروجی

برای سهولت در امر پایش می‌توان از جدول‌های شماره 5 و 6 استفاده نمود.

جدول 5 - کاربرگ برای دو بار کنترل و خواندن در یک شبانه‌روز

پنج‌شنبه		چهارشنبه		سه‌شنبه		دوشنبه		یکشنبه		شنبه		جمعه		
PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	
														سطح آب
														فشار بخار
														فشار پمپ تغذیه
														دمای آب تغذیه
														دمای بخار تقطیر شده
														دمای گاز خروجی
														کنترل سطح آب
														ستون آب
														شیشه میزان آب
														پمپ تغذیه
														مخزن بخار تقطیر شده
														عملکرد مشعل
														تأمین سوخت
														اصلاح آب
														زیرکشی دیگ بخار
														حضور متصدی
														ملاحظات

AM : نیمه اول روز

PM : نیمه دوم روز





## فصل 4

### کنترل‌ها

از سال 1950 میلادی تاکنون پیشرفت‌های چشمگیری در فن‌آوری‌های کنترل دیگ‌های بخار حاصل شده که موجب افزایش بازده و ارتقاء عملکرد آنها گردیده است. بسیاری از مدیران و مالکان سیستم‌های قدیمی، کنترل دیگ‌های بخار خود را با سیستم‌های کامپیوتری تعویض نموده‌اند و در اثر این اقدام علاوه بر دستیابی به راندمان بیشتر متوجه شدند که طول عمر دیگ‌های بخار نیز افزایش می‌یابد. از دیگر مزایای استفاده از سیستم‌های کنترلی کامپیوتری می‌توان به قابلیت اطمینان آن در کنترل واحدهای مختلف اشاره نمود. بعبارت دیگر سیستم‌های کامپیوتری بطور همزمان تمام قسمت‌های تولید بخار را بررسی و در یک زمان تنظیمات لازم را اعمال می‌نماید. در جدول شماره (7) مقایسه‌ای بین دو سیستم کنترل دستی

---

و کامپیوتری بعمل آمده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که چرا باید از سیستم‌های کامپیوتری بهره گرفت.

جدول 7 - مقایسه سیستم‌های کنترلی دستی و کامپیوتری

سیستم‌های کنترل دستی	سیستم‌های کنترل کامپیوتری
نیاز مستمر به کالیبراسیون	یک بار تنظیم و رها کردن سیستم به حال خود
نیاز به تغییرات دستی	تغییرات توسط نرم‌افزار کامپیوتری
دشواری در افزایش بار	سهولت در افزایش بار
دشواری در تعمیرات	تشخیص عیب و رفع آن
نیاز به جمع‌آوری آمار جداگانه	جمع‌آوری آمار از طریق نرم‌افزار
ضربه‌پذیر در برابر تغییرات ناگهانی	انعطاف پذیر در برابر تغییرات ناگهانی

#### 4-1- کنترل مشعل

دیگ‌های بخاری که مجهز به چندین مشعل با فن‌آوری‌های جدید ریزپردازها (میکروسور) هستند، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند. سیستم‌های قدیمی قادر به اندازه‌گیری جریان هوا و سوخت به دیگ بخار بوده و متعاقب آن نسبت سوخت به هوا را برای احتراق بهینه تنظیم می‌نمود. زمانی که یکی از چند مشعل خاموش می‌شد، تنظیم سوخت به هوا برای سیستم‌های قدیمی دشوار بوده و در حقیقت نشت جریان هوا از مشعل خاموش به داخل محفظه احتراق باعث برهم خوردن نسبت سوخت و هوا می‌شد و عملاً بازدهی دیگ بخار کاهش می‌یافت. اما سیستم‌های جدید کامپیوتری که عمدتاً دارای منطق فازی (لوژیک فازی) هستند، تنظیمات دقیق‌تری از سوخت به هوا را فراهم می‌آورند و صرفه‌جویی سوخت را تا حد 3٪ میسر می‌سازند. در حقیقت در سیستم‌های جدید کامپیوتری از تنظیم‌کننده خودکار و مستمر سوخت به هوا استفاده می‌شود. بعبارت دیگر محدود نمودن ورود هوای اضافی موجب جلوگیری از اتلاف حرارتی می‌شود. اغلب مشعل‌ها در زمان کاهش بار نیاز به



هوای (اضافی) بیشتری نسبت به زمان پرباری دارند، چرا که در دوره‌های کاهش بار، دمای شعله کاهش می‌یابد و تنظیم سوخت به هوا اثربخشی خود را از دست می‌دهد. با کمک سیستم‌های هوشمند کامپیوتری میزان بار دیگ بخار شناسایی و تنظیمات لازم بعمل می‌آید. عبارت دیگر سیستم‌های کامپیوتری با اندازه‌گیری میزان اکسیژن در گاز خروجی تنظیمات دقیق‌تر را در نسبت سوخت به هوا ایجاد می‌نمایند.

اگر هوای احتراق بیش از حد کاهش یابد، احتراق ناقص حادث شده و بازدهی دیگ بخار کاهش می‌یابد. کمترین هزینه تولید بخار زمانی صورت می‌پذیرد که هوای احتراق متناسب با نیاز تنظیم شده باشد (نه کمتر و نه بیشتر). بنابراین برای تنظیم بهتر سیستم سوخت به هوا علاوه بر کنترل‌کننده اکسیژن، وسیله دیگری برای کنترل مونواکسید کربن نیز تعبیه می‌گردد. در حقیقت سیستم کامپیوتری با اندازه‌گیری غلظت مونواکسید کربن در گاز خروجی، دستور لازم را برای تنظیمات بهینه صادر می‌کند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که در طرح جامع نیازسنجی بخار تمام بخش‌های صنعت بدقت مورد بررسی قرار می‌گیرند و بخار مورد نیاز هر واحد تعیین می‌گردد. تنظیمات دیگ بخار باید به نحوی برنامه‌ریزی شود که بخار مورد نیاز تولید و از تولید بی‌رویه جلوگیری شود.

تنظیم فشار کوره موجب افزایش راندمان دیگ بخار می‌شود و از طرفی از تخریب دیگ بخار جلوگیری می‌کند. در اثر تغییر بار در دیگ بخار، فشار در داخل کوره تغییر یافته و به همین دلیل کوره با استفاده از یک برنامه غیرخطی نسبت به تنظیم فشار اقدام نموده و بازدهی دیگ بخار را حفظ می‌نماید. دمای بخار خروجی از دیگ بخار بر استفاده‌کنندگان بخار و عملکرد دیگ بخار تأثیرگذار است. اگر دمای بخار به حد کافی نرسد، امکان تخریب وسایلی که از بخار تغذیه می‌شوند وجود خواهد داشت و از طرفی دمای مازاد بر طراحی دیگ بخار موجب کوتاه شدن طول عمر دیگ بخار می‌گردد. برای تنظیم بهتر دمای بخار مورد نیاز در سیستم‌های جدید کامپیوتری از منطق فازی بهره گرفته می‌شود.

#### 4-2- راهبردهای کنترل و پایش

استفاده از سیستم‌های کامپیوتری در کنترل فرآیندهای دیگ بخار موجب بهره‌برداری بهینه می‌گردد، لیکن باید در نظر داشت که اکثر سیستم‌های کامپیوتری فقط برای تنظیم عملکرد فرآیند و آمار برداری طراحی شده‌اند.

لذا در صورت بروز مسایل و مشکلات جدید که نیاز به خاموش کردن کل سیستم است، مسئول فرآیندهای دیگ بخار می‌بایست رأساً تصمیم‌گیری نماید. بعبارت دیگر سیستم‌های کامپیوتری علاوه بر تنظیمات ساده و حساس، نسبت به ارسال آمار و اطلاعات دیگر بخش‌ها به متصدی اقدام می‌نماید. مسئول ذیربط با مشاهده آمار و اطلاعات می‌بایست تصمیم نهایی را در مورد خاموش کردن و یا ادامه فعالیت دیگ بخار اتخاذ نماید. از دیگر مزایای بهره‌گیری از سیستم‌های کامپیوتری می‌توان به عدم لزوم پر کردن فرم‌های بازرسی سیستم بصورت ساعتی یا روزانه اشاره نمود، چرا که اینگونه آمارها بطور مستمر توسط سیستم کامپیوتری جمع‌آوری، پردازش و در اختیار قرار می‌گیرد. پردازش داده‌ها توسط سیستم کامپیوتری موجب تسریع در انجام محاسبات پیچیده شده و از این بابت وقت مسئول دیگ بخار برای دیگر امور آزاد می‌شود. ضمن آنکه کلیه محاسبات بر اساس استانداردهای انجمن‌های بین‌المللی نظیر انجمن مهندسی مکانیک آمریکا (ASME) انجام می‌پذیرد. بعنوان مثال عملکرد توربین‌های گازی براساس محاسبات روش ASME-PTC-22 انجام می‌شود که طی آن محاسبات بازدهی حرارتی، برق حرارتی، مصرف ویژه سوخت توربین گازی و نرخ حرارتی توربین گازی اندازه‌گیری می‌شود. محاسبات ژنراتور بازیافت حرارت از بخار با روش ASME-PTC E-E انجام می‌شود که شامل موارد زیر می‌گردد:

- مصرف سوخت مشعل داکت
- بازدهی ژنراتور بازیافت حرارت از بخار
- تلفات ژنراتور بازیافت حرارت از بخار

- اثربخشی کلی ژنراتور بازیافت حرارت از بخار
- تعیین نقطه بهینه عملکرد سیستم بازیافت حرارت

در خصوص محاسبات عملکرد توربین بخار از روش ASME-PTC6 استفاده می‌شود که موارد زیر را تحت پوشش قرار می‌دهد:

- جریان بخار و آنتالپی کندانسور
- نرخ حرارتی توربین بخار
- بازدهی فشار بالا
- بازدهی فشار میانی
- بازدهی فشار پایین

همچنین برای محاسبات دیگر عملکردها به شرح زیر عمل می‌شود:

- معادلات سیکل توربین (ASME -6-1)
- محاسبات عملکرد دیگ بخار (ASME - 4-1)
- معادلات محاسبه عملکرد گرم‌کننده آب تغذیه

در خصوص محاسبات عملکرد کندانسور از روش ASME-PTC-12.1 استفاده می‌شود که موارد زیر را دربرمی‌گیرد:

- فشار کندانسور
- انتقال کلی حرارت
- فاکتور پاکیزگی نسبت به طراحی اولیه انتقال حرارت
- عمل خنک‌سازی سیستم
- تجمع و یا مقاومت بیولوژیکی در داخل سیستم

- دمای آب سرد
- عملکرد برج خنک‌کن
- کل سوخت مصرفی سیستم
- میزان استفاده از حرارت

همانگونه که از موارد فوق‌الذکر مشخص است، آمار و اطلاعات در مورد عملکرد فعلی و طراحی شده همزمان در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. در نهایت آمار و اطلاعات عملکرد فعلی با آن چیزی که سازنده مدعی آن بوده است بصورت منحنی در اختیار قرار می‌گیرد. بنابراین میزان تلفات سیستم سریعاً شناخته می‌شود و از لحاظ اقتصادی کمی می‌گردد. بطور خلاصه جهت ارزیابی عملکرد سیستم، موارد زیر کلیدی به شمار می‌آید:

- محاسبه لحظه به لحظه عملکرد سیستم
- اندازه‌گیری عملکرد مورد انتظار
- نمایش داده‌ها و نتایج برای مسئول سیستم
- محاسبه عملکرد کمی سیستم

برای جلوگیری از صدور دستور نادرست جهت تصحیح وضعیت سیستم، بهتر است تا ارقام محاسباتی مورد آنالیزهای آماری قرار گیرد. این نوع آنالیزها مسئول دیگ بخار را از 2 مورد زیر مطلع می‌نماید و بر اساس آن تصمیم صحیح اتخاذ خواهد شد.

الف - آیا تغییر در عملکرد سیستم به لحاظ اندازه‌گیری غلط است؟

ب - آیا تغییر در عملکرد سیستم به لحاظ خرابی در بخش‌های مختلف است؟

ذکر این نکته حائز اهمیت است که بازدهی یک دیگ بخار به تنهایی مربوط به طراحی آن دیگ به منظور دستیابی به بازدهی مورد نظر نیست، بلکه عوامل دیگری چون چیدمان

واحدهای مختلف صنعت، فن‌آوری‌های عملیاتی و ساختار اهداف در بازدهی دیگ بخار مؤثر خواهند بود. این عوامل همچنین در اقتصاد احتراق تأثیرگذار می‌باشند. بطور کلی هر صنعت دارای چندین واحد مختلف می‌باشد که هر یک از آنها هزینه‌هایی را دربر می‌گیرد. بعنوان مثال انرژی بخار برای چرخاندن پمپ‌ها مورد استفاده واقع می‌شود و واحد تصفیه و اصلاح آب، مواد شیمیایی را به مصرف می‌رساند. بنابراین هزینه‌های کارخانه به تنهایی در اثر بکارگیری حداکثر بار برای استفاده از حداکثر بازدهی دیگ بخار صورت نخواهد پذیرفت. عبارت دیگر هزینه‌های بخار می‌بایست دقیقاً محاسبه و در بهینه‌سازی کلی سیستم وارد گردد. بطور کلی هزینه‌های (قیمت تمام شده) بخار بر اساس فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$\text{هزینه انرژی بخار} = \frac{[\text{هزینه سوخت} \times (\text{آنتالپی بخار} + \text{آنتالپی آب تغذیه}) + \text{هزینه‌های وسایل یدکی}]}{(\text{ریال / ساعت}) \times (\text{ارزش حرارتی سوخت} \times \text{بازدهی})}$$

برای بهره‌برداری صحیح از دیگ بخار می‌بایست تخصیص مناسب بار به اجراء گذارده شود. برای این منظور باید از فن بهینه‌سازی غیرخطی، استفاده نمود. در این فن تغییر در قیمت بخار و تغییرات بار بطور همزمان در نظر گرفته می‌شود. حتی در بعضی موارد شاید لازم باشد تا بمنظور کاهش هزینه‌های تولید بخار، بار مورد نیاز از یک دیگ بخار که هزینه‌های بالاتری دارد به دیگ دیگری که هزینه‌های کمتری دارد، منتقل شود.



## فصل 5

### بازیافت حرارت

تجهیزات بازیافت حرارتی در برگیرنده انواع مختلفی از مبدل‌های حرارتی می‌باشد که در محل‌هایی از فرآیند نصب می‌شوند و امکان جذب حرارت از گازهای حاصل از احتراق و گازهایی که از سوپر هیترها و بخش‌های تولید کننده بخار عبور کرده‌اند، را بوجود آورد.

#### 5-1- اکونومایزرها

اکونومایزرها از راه جذب حرارت ناشی از گازهای خروجی از بخش سوپر هیتر انتهایی واحد گرمایش مجدد یا گازهای خروجی از مجموعه تبخیر کننده‌های بویلر فاقد گرمایش

مجدد، به بهبود راندمان دیگ بخار کمک می‌کنند. حرارت جذب شده به آب تغذیه که با دمای بسیار پائین‌تری نسبت به بخار اشباع شده وارد دیگ بخار می‌شود، منتقل می‌گردد. اکونومایزراز مجموعه‌ای از لوله‌ها تشکیل شده است و در دو شکل استوانه‌ای و یا سطحی ساخته می‌شود. نوع استوانه‌ای معمولاً دارای لوله‌هایی با قطرهای مختلف است که می‌تواند دارای لوله‌های موئین و یا بخش‌هایی با حلقه‌های چند گانه باشد. لوله‌هایی که با سطوح داغ ارتباط دارند، عموماً از فولاد با کربن پائین ساخته می‌شوند. چون فولاد حتی در مجاورت مایعی با اکسیژن پائین نیز در معرض خوردگی خواهد بود، لذا آب موجود در سیستم باید عملاً و بصورت 100 درصد فاقد اکسیژن آزاد باشد. در ایستگاه‌های مرکزی و دیگر مجموعه‌های بزرگ معمول است که از جداکننده‌های اکسیژن استفاده می‌کنند ( برای اطلاعات بیشتر به فصل 1، اصلاح آب، مراجعه شود).

در دیگ‌های بخار کوچک و فشار پائین، اکونومایزر از آهن ریخته‌گری شده ساخته می‌شود. کاربرد این نوع از اکونومایزرها معمولاً به فشارهای کمتر از 250 Psig محدود می‌شود.

### خوردگی و نشتی در اکونومایزر

در دیگ‌های بخار زغال سوز، تجمع ذرات باقیمانده از سوختن زغال موجب بروز خوردگی در لوله‌های اکونومایزر می‌شود. عملکرد مداوم در بالاتر از توان نامی و عدم کنترل هوای اضافی نیز باعث ایجاد خوردگی خواهد شد.

وجود هرگونه مانع در مسیر عبور ذرات خاکستر زغال موجود در گازهای خروجی، بدلیل جمع شدن این ذرات در بخش‌هایی که مانع وجود دارد، موجب تسریع در خوردگی فلزات محیط می‌شود. لذا لازم است تا در برنامه تعمیر و نگهداری دوره‌ای سیستم، حتماً شستشوی لوله‌ها در زمانی که سیستم در مدار نمی‌باشد در نظر گرفته شود.



بروز شکستگی و نشی در لوله‌های اکونومایزر باید به سرعت مورد توجه واقع شود. هرگونه تأخیر در تعمیرات ممکن است منجر به خسارات جدی شود و تعمیرات جزئی را مبدل به تعمیرات اساسی نماید. عدم توجه به شکستگی در لوله‌های اکونومایزر، همچنین موجب مخلوط شدن آب موجود در لوله‌ها و ذرات معلق موجود در گازهای احتراق می‌شود. یکی دیگر از نکاتی که باید در بکارگیری اکونومایزرها در زمانی که فشار در حال افزایش می‌باشد مورد دقت قرار گیرد، انباشته شدن بخار در اکونومایزر است. در طول این مدت هیچ آب تغذیه‌ای به اکونومایزر وارد نمی‌شود. با این حال، حتی در اکونومایزرهایی که در مناطق کم فشار قرار گرفته‌اند، بخار تولید می‌شود و تا زمان جاری شدن آب تغذیه در آنجا باقی مانده و انباشته می‌شود. این مسأله موجب دشواری کنترل تخلیه آب اضافی می‌شود و ضربات ناشی از آب را بوجود می‌آورد. برای رفع این مسأله می‌توان آب تغذیه را بطور مداوم تأمین نمود و همزمان بخار اضافی را از اکونومایزر خارج کرد و یا آب دیگ بخار را در اکونومایزر جاری کرد. اگر بین دیگ بخار و اکونومایزر یک خط لوله گردشی وجود داشته باشد، شیر موجود در این خط لوله باید در زمان‌های جاری شدن مداوم آب تغذیه از اکونومایزر به دیگ بخار، باز باشد.

### 5-2- گرم‌کن‌های هوا

گرم‌کن‌های هوا، بخشی از گرمای گازهای خروجی را قبل از ورود به محیط بیرونی جذب می‌کنند و به عبارت دیگر سبب خنک شدن گازهای خروجی می‌شوند و گرمای جذب شده از این راه را به هوای ورودی به سیستم احتراق منتقل می‌کنند و به این ترتیب بازدهی سیستم احتراق افزایش می‌یابد.

در دیگ‌های بخار صنعتی گازسوز و یا مازوت سوز، لازم نیست که گرمای جذب شده توسط گرم‌کن‌های هوا به سوخت مایع و یا گاز طبیعی ورودی منتقل شود. اما در کوره‌های با

سوخت زغال پودری، باید این حرارت را به پودر زغال ورودی منتقل نمود تا رطوبت موجود در آن قبل از احتراق کاهش یابد.

در دیگ‌های بخار با سوخت جامد تا زمانی که رطوبت سوخت کمتر از 25 درصد است نیازی به استفاده از این هوای گرم جذب شده نمی‌باشد.

خوردگی مهمترین مشکل مرتبط با بهره‌برداری بهینه از گرمکن‌های هوا می‌باشد. گوگرد موجود در سوخت، رطوبت موجود در گاز و نوع احتراق همگی در ایجاد خوردگی سهمیم هستند. در حالیکه طراحی خوب و بکارگیری روش‌های مناسب تعمیر و نگهداری سبب عملکرد بهینه گرمکن‌های هوا می‌شود.

از جمله روش‌های مناسب تعمیر و نگهداری می‌توان به دوده‌زدائی و شستشوی با آب اشاره نمود.

### دوده زدائی

بعضی از انواع گرمکن‌های هوا به تجهیزات زدودن دوده مجهز می‌باشند. در این گرمکن‌ها از بخار فوق گرم یا هوای فشرده خشک بعنوان واسطه تمیز کردن گرمکن استفاده می‌شود. البته استفاده از هوای فشرده خشک به بخار ترجیح دارد چون فاقد رطوبت است، ولی لازم است تا تمهیدات کافی برای استفاده از تله‌های بخار و جداکننده‌های رطوبت، به منظور حذف هرگونه رطوبت از هوا اندیشیده شود.

(به فصل 10، سیستم‌های هوای فشرده و موتورهای دیزلی تولید برق و بخار، برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد هوای فشرده مراجعه شود.)

همچنین تمهیدات مشابه در مورد استفاده از بخار نیز باید در نظر گرفته شود تا بخار تا حد ممکن فاقد هرگونه رطوبت باشد.

### شستشوی با آب

استفاده از آب برای جدا کردن ذرات ریز و فوق العاده ریز در جاهائیکه نتوان از روش دوده‌زدائی استفاده کرد، مؤثر می‌باشد. بیشتر ذرات ریزی که در گرمکن‌ها وجود دارند، قابل حل شدن در آب هستند و با استفاده از تجهیزات مناسب پاشش آب بسادگی از گرمکن هوا جدا می‌شوند. شستشوی با آب معمولاً در زمانی انجام می‌شود که سیستم در مدار نیست. چنانچه بار دیگ بخار کم باشد و گرمکن هوا کاملاً در فضای ایزوله از دیگ بخار قرار گرفته باشد، عمل شستشو را می‌توان در زمان فعالیت سیستم نیز انجام داد.

### 5-3- سایر منابع بازیافت حرارت

به فصل 10، سیستم‌های هوای فشرده و موتورهای دیزلی تولید برق و بخار، برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد سایر منابع بازیافت مراجعه شود.



## فصل 6

### تجهیزات جانبی

در این فصل به تجهیزات جانبی دیگرهای بخار شامل فن‌ها، پمپ‌های تغذیه آب، موتورهای و توربین‌ها، محرکه‌های الکترونیکی موتور، وسایل نگهداری مواد و دمنده‌های دوده پرداخته می‌شود. همچنین در مورد تولید همزمان و فروش برق مازاد نیز بحث خواهد شد.

#### 6-1- فن‌ها

فن‌های دمنده (FD) و فن‌های مکند (ID) که عموماً در نیروگاهها استفاده می‌شوند، به سه دسته تقسیم می‌شوند: فن‌هایی از نوع سانتریفوژ با پره‌های خمیده (air foil)، فن‌های با پره صاف و فن‌های با پره شعاعی (Radial). فن‌های نوع اول بیشترین راندمان را دارند (در

حدود 90 درصد). سایر مزایای این نوع شامل: عملکرد پایدار، صدای کم و مناسب بودن برای کار در سرعت بالا می‌باشد.

فن‌های با پره مستقیم و شعاعی بیشتر در جاهایی به کار می‌رود که امکان خوردگی بیشتر است. به عنوان مثال فن‌های با پره خطی اصولاً برای خروجی اصلی گاز و فن‌های با پره شعاعی برای زیرکش از سیستم‌های جداکننده ذرات معلق استفاده می‌شوند.

میزان هوا یا گاز عبوری از فن و فشار آن به یکی از روشهای زیر کنترل می‌شود:

- کنترل دمپر ورودی

- کنترل پره‌های ورودی

- کنترل سرعت متغیر

تغییر وضعیت دمپرها یا پره‌ها زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که فن به یک موتور تک سرعته یا دو سرعته مجهز است. کارخانجات سازنده فن‌ها معمولاً تغییر وضعیت پره‌ها را به تغییر وضعیت دمپر ترجیح می‌دهند، چرا که کنترل جریان هوا توسط پره‌ها به نرمی صورت می‌پذیرد و در واقع چرخش و تغییر وضعیت پره‌ها موجب می‌شود که جریان هوا یا گاز در داخل مسیر متعادل باقی بماند و دچار آشفتگی نشود.

اما کنترل سرعت متغیر در هر صورت بازدهی بیشتری دارد و توان ورودی مورد نیاز را برای مقابله با مقاومت سیستم، تحت شرایط معلوم، تنظیم می‌نماید. خصوصاً وقتی که از فن برای مدت طولانی و مکرر در بارهای کم استفاده شود.

### نقاط کنترل برای تعمیرات فن

- 1- فن‌ها و محل استقرارشان از نظر گرد و غبار باید بطور مداوم مورد بررسی قرار گیرند. انباشته شدن خاک و گرد و غبار موجب تغییر مشخصه کار فن می‌شود و همچنین وزن آن را افزایش می‌دهد و لذا باعث کاهش کارایی آن می‌گردد.

این بازرسی باید حداقل دو بار در سال انجام شود و تعداد آن در صورت قرار گرفتن فن در محیط آلوده از نظر گرد و غبار باید افزایش یابد.

2- یاتاقان‌ها و بلبرینگ‌های فن از نظر پوشش و روغن کاری باید کنترل شود. فاصله آزاد بین فن و محل استقرار آن نیز باید کنترل گردد.

### 6-2- پمپ‌های تغذیه آب دیگ بخار

وظیفه پمپ‌های تغذیه آب دیگ بخار، تحویل دادن آب تحت فشار به دیگ بخار است. آنها این کار را از طریق مکش آب از گرمکن‌های آب تغذیه و پمپ کردن آن به بویلر از مسیر گرمکن‌های فشار بالا انجام می‌دهند. روش‌های زیادی برای کنترل حجم آب تغذیه و فراهم کردن ارتفاع مکش کافی برای پمپ‌ها وجود دارد.

یک راه کنترل حجم، استفاده از موتورهای با کنترل سرعت متغیر است. روش دیگر استفاده از موتور الکتریکی با سرعت ثابت است که به یک سیستم کنترل سرعت متغیر هیدرولیکی متصل شده است.

در جاهایی که هزینه کنترل سرعت متغیر قابل پذیرش نمی‌باشد، حجم آب تغذیه را می‌توان بوسیله شیرهای مکانیکی در مسیر پمپ و دیگ بخار کنترل نمود. تصمیم‌گیری در این رابطه بستگی به سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای سیستم کنترل سرعت متغیر و تأثیر آن بر صرفه‌جویی انرژی دارد. شیر مکانیکی برای کنترل آب تغذیه افت زیادی در فشار بوجود می‌آورد و بنابراین لازم است تا ظرفیت ارتفاع آب افزوده گردد.

در این نوع از کاربرد، غلظت در هوازدا به مرز اشباع خواهد رسید و لذا لازم می‌شود که هوازدا تا حد ممکن نسبت به پمپ تغذیه دیگ بخار در ارتفاع بالاتری قرار گیرد تا ارتفاع مکش کافی را فراهم نماید. این ارتفاع ممکن است منجر به تغییر در سازه و لوله‌کشی اضافی شود که طبعاً هزینه‌هایی را در بر خواهد داشت.

بجای تغییر سازه و لوله‌کشی اضافی می‌توان از پمپ کمکی در مسیر استفاده نمود. معمولاً حداقل دو پمپ تغذیه آب دیگ بخار در سیستم نصب می‌شود تا بنا به نیاز به تعمیرات دوره‌ای و ایرادات بوجود آمده در یک پمپ، دیگری انجام وظیفه نماید.

گردش آب تغذیه و بازگشت آن به هوازدا در زمانی که از یک پمپ با موتور تک سرعت استفاده می‌شود و یا جریان آب پائین‌تر از حداقل جریان مجاز پمپ است، لازم خواهد بود. برای به گردش در آوردن پمپ‌های تغذیه آب دیگ بخار، معمولاً از توربین‌های بخار استفاده



می‌شود چون سرعت توربین و پمپ همانند یک موتور با سرعت متغیر می‌تواند تغییر نماید. سیستم کنترل گردش اتوماتیک و یا شیر کنترل شده بوسیله سیستم کنترل یکپارچه می‌تواند وظیفه تغییر سرعت و جریان آب را به عهده بگیرد. پمپ‌های گردش مجدد آب باید طوری تنظیم شوند که حداقل زمان عملکرد را داشته باشند تا حداکثر صرفه‌جویی انرژی حاصل شود.

### 6-3- موتورها و توربین‌ها

موتورهای الکتریکی القایی یا توربین‌های بخار می‌توانند فن‌ها، پمپ‌ها و سایر ماشین‌های موجود در فرآیند را بچرخانند. انتخاب هر یک از آنها بستگی به در دسترس بودن بخار و یا قیمت برق دارد.

اگر بخار با فشار بالا موجود باشد و بخار با فشار کم نیز در فرآیند مورد استفاده باشد، توربین می‌تواند به عنوان کاهنده فشار عمل کرده و در عین حال موجب گردش فن و یا پمپ نیز بشود. اگر در فرآیند نیازی به بخار فشار پائین نباشد، می‌توان از توربین بخار تغلیظ شده استفاده کرد، هر چند که استفاده از این توربین‌ها در اندازه‌های پائین به صرفه نمی‌باشد. اگر الکتریسیته در مجموعه تولید شود، معمولاً استفاده از موتورهای الکتریکی به صرفه‌تر است.

امروزه موتورهای با راندمان بالا در بازار موجود است که بسیار پر هزینه می‌باشند ولی راندمان آنها نیز زیاد است و از این طریق زمان بازگشت سرمایه را کوتاه می‌کنند. مثلاً اگر هزینه هر کیلووات ساعت برق حدوداً  $6/5$  سنت و یا بیشتر باشد، اینگونه موتورها دارای توجیه اقتصادی خواهند بود.

جدول شماره (8) راندمان اینگونه موتورها را به عنوان نمونه نشان می‌دهد.

جدول 8- راندمان موتور بر حسب اندازه

راندمان ( درصد )	اندازه موتور ( اسب بخار )
85	5-10
90	15-40
94	50-150
95	200 و بالاتر

موتورها باید بطور منظم از نظر ارتعاش، پوشش بلبرینگ و یاتاقان‌ها مورد بررسی قرار گرفته و روغن‌کاری آنها نیز بر اساس دستورالعمل‌های بهره‌برداری و کارخانه سازنده انجام پذیرد.

معمولاً موتورهای نصب شده از قدرت بیشتری نسبت به کاری که باید انجام دهند برخوردار می‌باشند و به عبارت دیگر دارای قدرت اضافی و در اندازه‌های بزرگتر انتخاب شده‌اند که موجب افزایش هزینه‌ها نیز می‌شوند. بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد که بیش از 60 درصد موتورهای صنعت زیاده از حد بزرگ انتخاب می‌شوند.

#### 6-4- محرکه‌های الکترونیکی موتور

استفاده از نسل جدید محرکه‌های الکترونیکی موتور و ترکیب آنها با موتورهای راندمان بالا، قطعاً صرفه‌جویی انرژی و کاهش هزینه تعمیرات را به دنبال خواهد داشت. این محرکه‌ها قابلیت کنترل جریان روشن و خاموش شدن موتورها، تنظیم سرعت، تغییر جهت گردش و حتی تغییر موقعیت موتور را دارند.

محركه‌های جدید شاخصه‌های حفاظتی مناسبی را برای موتور ارائه می‌دهند و به خوبی از عهده جریان الکتریکی زیاد (Inrsuh Current) و ضربه‌های ولتاژ ناگهانی در شبکه توزیع بر می‌آیند.

از جمله دیگر مشخصه‌های حفاظتی می‌توان به محدود کردن جریان و قطع آن در صورت اضافه بار شدن موتور که بعضاً منجر به خرابی موتور می‌شود، اشاره نمود. محركه الکترونیکی موتور همچنین می‌تواند سوختن سیم پیچ‌های موتور را به حداقل برساند.

مهمترین نکته در این محركه‌ها صرفه‌جویی انرژی است. به عنوان مثال تغییر سرعت گردش یک پمپ به جای بستن شیر در مسیر جریان می‌تواند به 20 الی 40 درصد صرفه‌جویی برق منجر شود.

قراردادن موتور در حالت آماده بکار، به جای گردش مداوم آن در حالت بی‌باری باعث صرفه‌جویی انرژی می‌شود. بطور کلی یک موتور، سالانه 10 تا 20 برابر قیمت خود، انرژی الکتریکی مصرف می‌کند و هزینه نصب تجهیزات کنترل اغلب در کمتر از دو سال بازگشت می‌شود.

تخمین زده می‌شود که کمتر از 3 درصد موتورهای جریان متناوب از محركه‌های الکترونیکی برخوردار باشند. بررسی دیگری نشان می‌دهد که حداقل یک چهارم موتورهای جریان متناوب را می‌توان به این تجهیزات مجهز نمود. عوامل دیگری که به استفاده از محركه‌های الکترونیکی جذابیت می‌بخشد، عبارتند از: کاهش قیمت‌ها، زمان پاسخگویی کوتاه‌تر، قابلیت اطمینان بیشتر، کاربردهای جدیدتر و مقبولیت بیشتر نزد مصرف کنندگان.

یکی دیگر از مزایای کنترل کننده الکترونیکی سادگی نصب، راه‌اندازی و تنظیم آن است. این تنظیمات از طریق صفحه کلید یا رابط سخت‌افزاری امکان‌پذیر است. کنترل کننده‌های جدید به صورت دیجیتالی تنظیم می‌شوند در حالیکه محركه‌های آنالوگ قدیمی‌تر بوسیله پتانسیومترهای الکترومکانیکی تنظیم می‌شدند. این تنظیم کننده‌ها دائماً در معرض گرد و غبار بودند و اغلب به دفعات نیازمند کالیبره شدن و تنظیم مجدد می‌شدند.

محركه‌های الكترونيكي جديد داراي دامنه عملكرد بسيار وسيع تري هستند كه اين دامنه گسترده را مديون تركيب تكنيكيهاي الكترونيك قدرت از جمله مدولاسيون پهناي باند (PWM) مي‌باشند.

محركه‌هاي صنعتي قديمي تر مانند يكسو سازهاي كنترل شده سيليكوني داراي دامنه تغييرات محدودى، در حد 5 الى 10 درصد بودند، ولي با سيستم‌هاي جديد، دامنه تغييرات از 10 درصد شروع مي‌شود و تا 30 درصد نيز قابل افزايش است.

#### 6-5- تجهيزات كنترل مواد

نيروگاه‌هاي برق با سوخت جامد به سيستم‌هاي دريافت، ذخيره و جابجائي سوخت و سيستم‌هاي جمع‌آوري، ذخيره و دفع خاكستر نياز دارند. از جمله اين سيستم‌ها كوره طراحي شده براي سوزاندن زغال سنگ، چوب پسماندهاي زباله غذايي، شهري و صنعتي مي‌باشد. اندازه و پيچيدگي اين سيستم‌ها بسيار متغير است، اما همه آنها براي كار به انرژي نياز دارند.

#### سيستم‌هاي كنترل سوخت رساني

اكتر سيستم‌هاي كنترل سوخت رساني به صورت مكانيكي با استفاده از تسمه و يا نقاله‌هاي كشنده، كار مي‌كنند. اما سيستم‌هاي بادي ( با هواي فشرده) نيز وجود داشته و در صنعت کاربرد دارند.

راهكارهاي صرفه‌جوئي انرژي براي تسمه نقاله‌ها خيلي كم و محدود است. البته بعضي از تجهيزاتى كه به عنوان بخشي از سيستم تسمه نقاله كار مي‌كنند، قابل بازنگري مجدد مي‌باشند. به عنوان مثال يكي از مصرف كننده‌هاي اصلي توان در يك سيستم كنترل زغال آسياب مواد است كه براي خرد كردن زغال بكار مي‌رود. در بعضي از حالات با تغيير نوع آسياب و يا هنگاميكه جداكننده‌ها به خوبي عمل مي‌كنند و زغال‌هاي ريز را جدا مي‌نمايند مي‌توان صرفه‌جوئي انرژي داشت. اين زغال‌ها را مي‌توان تغيير مسير داد تا از آسياب مواد عبور نكنند

و انرژی اضافی مصرف نشود، در بعضی اوقات نیز با تغییر محل خرید و تهیه زغال حتی ممکن است بتوان آسیاب مواد را از خط فرآیند حذف کرد. بخش‌های آلوده به گرد و غبار که در آنها تجهیزات الکتریکی وجود دارد، باید مورد شناسایی قرارگیرد تا با نظافت منظم موجب کاهش تلفات در این تجهیزات شود.

سیستم‌های جمع‌آوری گرد و غبار معلق باید در کنار تسمه نقاله‌های حمل مواد بکار گرفته شود. این سیستم‌ها معمولاً فیلترهای بسته هستند و باید در بازه‌های زمانی مشخص مورد نظافت قرار گیرند تا مصرف فن‌های موجود در آنها به حداقل برسد.

از هر دو نوع سیستم‌های بادی کنترل سوخت (کم فشار و پر فشار) در فرآیندها استفاده می‌شود. باید توجه داشت که این سیستم‌ها نسبت به نوع مکانیکی معمولاً توان بیشتری مصرف می‌کنند اما از طرفی تعمیرات صحیح و منظم می‌تواند در مصرف این توان صرفه‌جویی به عمل آورد.

در بعضی از حالات می‌توان طراحی سیستم را مورد بازنگری قرار داد تا تغییر مسیرها به حداقل برسد و از این طریق تلفات مسیر کاهش یابد. از جمله راه‌حل‌های میان مدت، جایگزینی کل سیستم‌های کنترل با سیستم بادی می‌باشد.

### سیستم‌های کنترل خاکستر

اگر چه سیستم‌های کنترل خاکستر نسبت به سیستم کنترل سوخت با تناژ کمتری از مواد سرو کار دارند، اما اغلب توان مصرفی آنها به دلایل طراحی و شرایط بکارگیری، نسبت به حالت استاندارد بیشتر است. سیستم متداول کنترل خاکستر بدین شکل است که، با ایجاد خلاء در مجموعه‌ای از لوله‌ها و استفاده از تخلیه‌کننده‌های بخاری و یا دمنده‌های موتوری، خاکستر را به حرکت در آورده و جابجا می‌کنند. از پاشش آب نیز برای متراکم کردن خاکسترهای معلق در واحدهایی که زغال سنگ می‌سوزانند، استفاده می‌شود.

در سیستم‌های با ظرفیت بیش از 15 تن در ساعت از دمنده‌های خلا استفاده می‌شود و در واحدهای کوچکتر معمولاً سیستم تخلیه بخاری بکار گرفته می‌شود. آلودگی آب و مشکلات بهره‌برداری باعث شده است که بسیاری از این سیستم‌ها از تخلیه بخار به دمنده‌های موتوری تغییر یابند. البته این تغییر باعث کاهش مصرف انرژی نیز می‌شود.

اگر بنا بر این باشد که از سیستم خلاء استفاده شود، نکته اساسی در عملکرد بهینه سیستم تعمیرات و نگهداری مناسب از لوله‌ها خواهد بود و لذا بکارگیری یک برنامه شناسائی نشستی ضروری خواهد بود چرا که نشستی سبب کاهش ظرفیت سیستم، افزایش زمان کار و تعمیرات لوله‌ها، اتصالات و تجهیزات فیلتر هوا شده، و از طرفی مصرف انرژی را نیز افزایش می‌دهد. در فصل 10 (سیستم‌های هوای فشرده و موتورهای دیزلی برق و بخار) دربارهٔ نشستی بابتی به تفصیل پرداخته خواهد شد.

اگر از سیستم تخلیه بخاری استفاده شود، لازم است تا پاشنده‌های بخار و گلوگاهها مرتباً سرویس شوند.

سیستم‌های بادی کنترل خاکستر اغلب به صورت متناوب و دوره‌ای کار می‌کنند و خاکستر را به صورت بسته‌ای جابجا می‌نمایند. با افزایش ظرفیت سیستم انتقال می‌توان مصرف انرژی را کاهش داد. اگر سیستم به صورت دستی کار کند، اپراتور باید حداکثر مقدار خاکستر را در بسته‌های جابجا شونده بریزد. سیستم کنترل نیز باید به نحوی بهینه شود که زمان‌های غیر مفید به حداقل برسد.

در حالت بکارگیری سیستم تسمه نقاله مداوم، اغلب از ظرف‌های حمل خاکستر استفاده می‌شود و کنترل کننده‌ها باید از جابجائی ظرف‌های خالی جلوگیری نمایند.

در واحدهای بزرگی که سوخت آنها زغال سنگ است، عملاً از یک سیستم مکانیکی استفاده می‌شود که مصرف انرژی بسیار کمی دارد اما در مقابل هزینه سرمایه‌گذاری برای تغییر سیستم زیاد خواهد بود.

عموماً بویلرهایی که از مواد بیوماس به عنوان سوخت استفاده می‌کنند، دارای سیستم مکانیکی کنترل خاکستر می‌باشند و بطور کلی از سیستم‌های هیدرولیکی کنترل خاکستر به ندرت استفاده می‌شود، چون مصرف آب و انرژی بالائی را می‌طلبند. با تبدیل سیستم‌های هیدرولیکی به سیستم‌های مکانیکی و یا بادی مصرف آب و انرژی بر اساس نوع تغییرات کاهش قابل توجهی می‌یابد.

#### 6-6- دمنده‌های دوده از دیگ بخار

انتقال مناسب حرارت یکی از عوامل مهم در بهره‌وری انرژی دیگ‌های بخار به شمار می‌رود. یکی از اجزاء جانبی بسیار مهم و مؤثر در عملکرد دیگ بخار، تمیز کردن سطوح جذب کننده حرارت در حین کار می‌باشد. این کار دو فعالیت مهم را در برمی‌گیرد:

- 1- انتقال حرارت مناسب را تضمین می‌نماید 2- از آلودگی سطوح دیگ بخار جلوگیری می‌کند. قسمت‌های کثیف و آلوده از جریان گاز جلوگیری کرده و محدودیت بار بوجود می‌آورند.

نصب سیستم‌های دمنده دوده بر روی کوره‌هایی که با زغال سنگ یا گازوئیل کار می‌کنند، لازم است. چون میزان خاکستر گازوئیل ناچیز است و ذرات باقیمانده بسیار کوچک و قابل شستشو با آب هستند، لذا جداسازی، برطرف کردن و تغییر محل ذرات باقیمانده بوسیله شستشوی دیواره‌های کوره با آب در هنگام تعمیر سالانه انجام می‌شود. به این دلیل در کوره‌هایی که با گازوئیل کار می‌کنند، نصب سیستم‌های دمنده دوده برای دیواره‌های کوره لزومی ندارد.

در دیگ‌های بخاری که سوخت مایع می‌سوزانند، بر روی سطوح لوله‌های بخش‌های فوق داغ و گرمکن‌های مجدد، خاکستر می‌نشیند. خصوصاً وقتی که از نفت کوره استفاده شود و به سوخت، مواد جامد و یا مایع نیز به منظور افزایش درجه حرارت افزوده شود، میزان

خاکستر زیادتر می‌شود. خوشبختانه ذرات باقیمانده به راحتی خرد شده و از سطوح کنده می‌شوند و با بکارگیری دمنده‌های دوده به سهولت قابل رفع می‌باشند.

واحدهایی که از سوخت جامد ( زغال سنگ، چوب) استفاده می‌کنند، به دمنده‌های دوده بیشتر و بزرگتری نیاز دارند که دائماً به واحد متصل بوده و کار کند. تعداد و اندازه دمنده‌ها بستگی به نوع سوخت و ذرات باقیمانده ( خاکستر ) آن دارد.

بخار فوق داغ یا هوای فشرده به عنوان واسطه حذف و رفع ذرات بکار گرفته می‌شود و توسط یک دمنده از راه پاشنده‌های ساده و باریک، ذرات را جابجا می‌کنند و سطوح مورد نیاز را در شعاع 2متری تمیز می‌نمایند. میزان ساعات کارکرد این سیستم به مقدار خاکستر تولید شده بستگی دارد، ولی معمولاً بین 4 تا 8 ساعت می‌باشد.

بخش‌های پیش گرمکن، گرمکن مجدد و تولید بخار داغ در دیگ‌های بخار از قسمت‌هایی هستند که باید مرتباً از نظر رفع دوده مورد توجه قرار گیرند و دمنده‌های دوده باید دائماً سطوح مربوطه را تمیز و عاری از دوده نمایند.

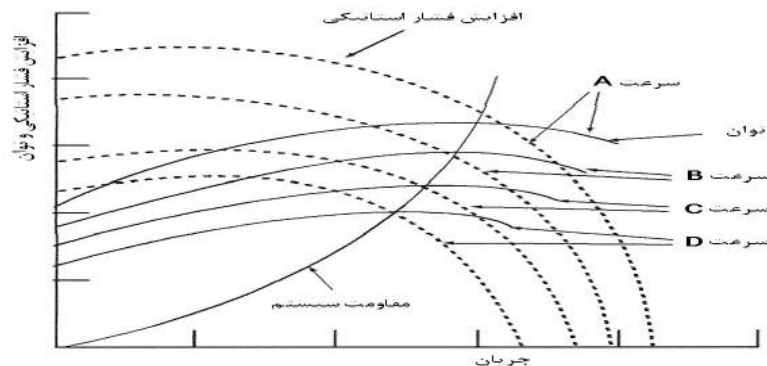
### عملکرد دمنده دوده

از آنجا که ذرات باقیمانده بر روی سطوح تشعشعی و جابجائی حرارت دیگ‌های بخار متنوع بوده و از نوع سرباره سخت تا پودرهای خشک متغیر است، لذا ترتیب و دفعات کار سیستم دمنده دوده نیز از قاعده و قانون ثابتی تبعیت نمی‌کند و باید در حین کار تنظیم گردد.

بسته به نوع سوخت و میزان دوده حتی ممکن است در برخی موارد در یک دوره زمانی 8 ساعته دمنده‌ها بطور کامل عمل نمایند. اپراتورها باید با توجه به میزان جذب دوده از راه مشاهده مستقیم و یا بازرسی در زمان خاموشی و تعمیرات، کار دمنده‌ها را تنظیم نمایند.

تنظیمات جزئی و لازم بعداً قابل انجام خواهد بود و به مرور زمان دامنه و نحوه کار دمنده‌ها قابل پیش‌بینی و قابل برنامه‌ریزی خواهد بود.





شکل 4- منحنی افزایش فشار استاتیکی و توان نسبت به جریان هوا

#### 6-7- تولید همزمان برق و حرارت

منظور از تولید همزمان، تولید الکتریسیته و انرژی حرارتی برای مصرف در فرآیند و یا مصارف جانبی توسط عملکرد یک سیستم است. بطور کلی در این سیستم در مقایسه با اینکه برق و حرارت بصورت جداگانه تولید شوند، سوخت کمتری مصرف خواهد شد.

استفاده از سیستم تولید همزمان گام بزرگی در جهت حداکثر بهره‌وری انرژی و حداقل آلودگی به شمار می‌رود. به عنوان مثال در بسیاری از حالات، کارخانجات و مؤسسات، بخار مورد نیاز خود را تولید می‌کنند و برق مورد نیاز را از شرکت‌های تولید و توزیع برق خریداری می‌کنند. عموم سیستم‌های تولید همزمان مورد استفاده در صنایع دارای کارایی حرارتی 75-85 درصد می‌باشند در حالیکه کارایی حرارتی سیستم‌های تولید برق در حدود 35 درصد است. البته بنا به میزان و درصد بخار و الکتریسیته تولید شده در سیستم تولید همزمان کارایی واقعی آن بین 66 تا 80 درصد متغیر خواهد بود.

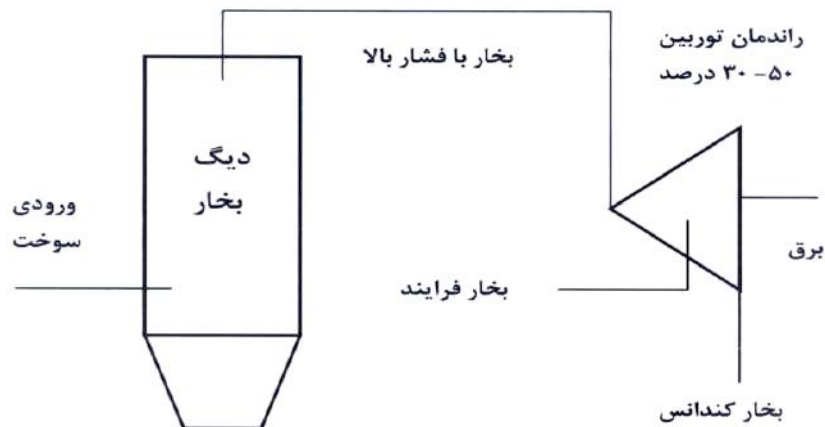
در این سیستم‌ها معمولاً بخار فشار بالا ابتدا انرژی الکتریکی را تولید می‌کند و سپس بخار خروجی از توربین به منظور استفاده در فرآیند بکار برده می‌شود. در این حالت با توجه به

کارایی بالای سیستم (تا 88 درصد) بین 15 تا 20 درصد در مصرف سوخت صرفه‌جویی می‌شود.

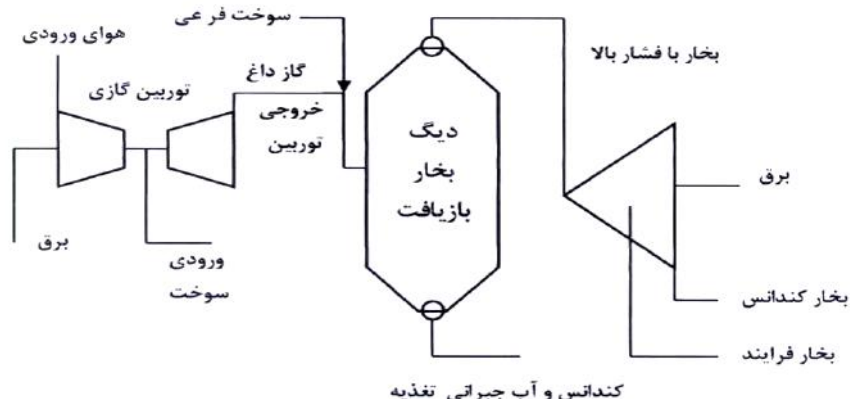
سوخت این سیستم می‌تواند گاز، سوخت مایع، زغال سنگ، چوب، زباله‌های جامد شهری و یا زباله‌های صنعتی باشد.

در سیستم تولید همزمان گازی، بعد از تولید الکتریسیته، گاز گرم خروجی از محفظه توربین ژنراتور، برای تولید بخار بکار برده می‌شود. بخار تولیدی را می‌توان مجدداً برای تولید الکتریسیته و یا مصرف در فرآیند و یا گرمایش محیط بکار برد. کارایی کلی تا حد 90 درصد نیز قابل حصول می‌باشد. در حالیکه در یک سیستم جداگانه تولید برق و یا حرارت حداکثر کارایی قابل دستیابی 58 درصد می‌باشد. سوخت مورد استفاده معمولاً گاز و یا گازوئیل است. نیروگاههای تولید همزمان عموماً به دو نوع تقسیم می‌شوند:

در نوع اول، بخار ابتدا انرژی الکتریکی را تولید می‌نماید و تمامی و یا بخشی از انرژی حرارتی خروجی از توربین صرف فرآیند، گرمایش و یا سرمایه‌گذاری محیط می‌شود. در نوع دوم، حرارت تلف شده از فرآیند صنعتی و یا فرآیندهای دما بالا بازیافت شده و از طریق تولید بخار در یک دیگ بخار بازیافت، انرژی الکتریکی تولید می‌نمایند.

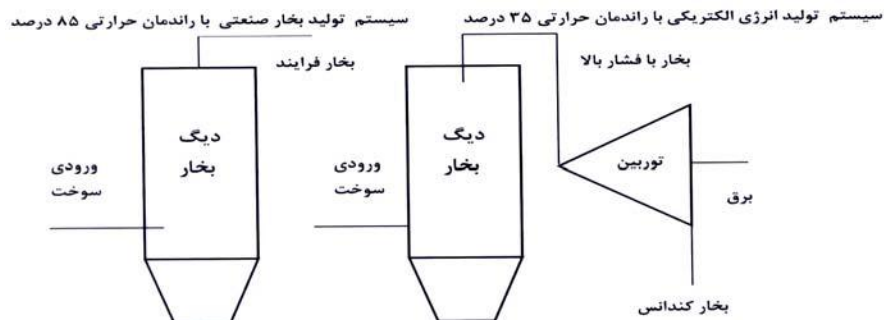


شکل 5- سیستم تولید همزمان برق و بخار صنعتی (کارایی حرارتی سیستم بین 80 تا 90 درصد)



کندانسور، و آب جواته، تغذیه

شکل 6- سیکل ترکیبی توربین صنعتی جهت تولید همزمان برق و بخار ( کارایی حرارتی سیستم بین 80 تا 90 درصد )



شکل 7- مقایسه سیستم‌های جداگانه و تولید همزمان برق و بخار

### 6-8- فروش انرژی الکتریکی مازاد

یک جنبه اقتصادی دیگر برای سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت، توانایی فروش توان اضافی تولید شده است. بنابر مقررات وضع شده در هر کشور به جهت تشویق صنایع به

استفاده از سیستم‌های تولید همزمان، معمولاً شرکت‌های تولید و توزیع برق، برق تولیدی صنایع را به قیمت‌های بالایی خریداری می‌کنند.

## فصل 7

### ممیزی انرژی

کلیات و رئوس راهکارهای صرفه‌جویی انرژی که در سایر فصول به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است، در این بخش بطور یکجا گردآوری شده است و برای تشریح و تبیین هر عنوان می‌توان به فصل مربوطه مراجعه نمود.

#### 7-1- سیستم‌های تولید بخار ( فصل 9 )

- اکسیژن اضافی را زیر 5 درصد نگهدارید. ( کمتر از 8 درصد برای مشعل کوره‌ها )
- دمای خروجی از دودکش را به کمتر از 330 درجه سانتیگراد برسانید. ( برای سوخت‌های دارای گوگرد).

- میزان مواد سوختی را در گاز خروجی از دودکش و خاکستر باقی مانده از احتراق به حداقل برسانید.
- درجه حرارت منبع ذخیره سوخت را در حداقل دمای ممکن نگهدارید.
- نسبت سوخت به هوا را بطور منظم کنترل کنید.
- در خروجی هوازدا جریان آب را به کمتر از 0/1 درصد و جریان بخار را به کمتر از 0/5 درصد برسانید.
- در سیستم‌هایی که در آنها از توربین استفاده می‌شود، فشار و درجه حرارت بخار را در حداکثر وضعیت نگهدارید.
- اگر توربینی در سیستم وجود ندارد، از بخار با فشار و درجه حرارت پائین استفاده کنید.
- از زباله‌های سوختنی به عنوان سوخت دیگ بخار استفاده کنید.
- زیرکش‌ها و خروجی‌های بخار را در دیگ‌های بخار به صورت اتوماتیک کنترل کنید.
- مصرف سوخت‌های تثبیت کننده را به دلیل گران بودن این نوع سوخت‌ها به حداقل برسانید.
- دامنه کنترل فن‌های مجهز به محرکه سرعت متغیر را به چند قسمت کوچک‌تر تقسیم‌بندی نمایید.
- از مبدل‌های حرارتی در قسمت زیرکش استفاده کنید.
- تقسیم بار بین دیگ‌های بخار را به خوبی انجام دهید.
- مسیر عبوری گازهای خروجی را از نظر نشستی هوا بررسی نمایید.
- راندمان دیگ بخار را به طور مداوم کنترل کنید.
- بازدهی توربین و کندانسور را به طور منظم کنترل کنید.
- از سرهای پاشش کوچک‌تر در توربین استفاده کنید.

- برنامه زمانی غبارزدائی را بهینه نمایید.
- هزینه‌های سوخت را تحت کنترل داشته باشید.
- فشار تخلیه از پمپ‌های تغذیه دیگ بخار را به حداقل برسانید.
- گرمکن‌های آب تغذیه را به منظور تبادل حرارتی بهینه کنترل کنید.
- برای مرطوب کردن خاکستر از آب کاملاً تمیز استفاده نمایید.

#### 7-2- مصرف بخار ( فصل 9)

- برای بخار تخلیه شده مصارف مناسبی را در نظر بگیرید و به شکل مطلوبی از آن استفاده کنید.
- اگر خروجی توربین باید تخلیه شود، آنرا در هوای آزاد رها کنید.
- برای به گردش درآوردن توربین از بخار فشار پائین استفاده کنید.
- از عدم نشستی شیرهای مسیر انحرافی اطمینان حاصل نمایید.
- همه آب‌های کندانس شده را به سیستم آب تغذیه برگردانید.
- از نشستی بخار جلوگیری کنید.
- لوله‌های مسیرهای غیر مصرفی بخار را عایق‌بندی نمایید.
- برنامه تعمیرات مؤثری را برای تله‌های بخار در نظر گرفته و اجرا نمایید.
- تله‌های بخار معیوب را به کمتر از 5 درصد کل برسانید.
- کلیه مسیرهای عبور بخار و کندانس را کاملاً عایق‌بندی کنید.
- فشار بخار توربین را در حداکثر میزان عملکرد توربین تنظیم کنید.
- از کمپرسورهای سرعت بالا استفاده کنید تا امکان بهره‌برداری از بخار کم فشار بوجود آید.
- مصرف‌کننده‌ها را در پائین‌ترین فشار بخار قرار دهید تا حداکثر بهره‌برداری از توربین به عمل آید.



- نسبت به بستن شیرهای کناری توربین اقدام نمایید و یا از سیستم پنوماتیک استفاده کنید.
- تا حد امکان بخار تلف شده را بازیافت نمایید.
- با استفاده از اندازه مناسب موتور و توربین، از بخار به نحو بهینه بهره‌برداری کنید.
- برای بازیابی بخار فشار پائین از منبع ذخیره در سیستم کندانسور استفاده کنید.
- موتورهای جت خلاء بخار را با پمپ‌های خلاء مکانیکی جایگزین کنید.
- مطمئن شوید که جت‌های خلاء دارای سرهای پاشنده مناسب ( از نظر اندازه) می‌باشند.
- حداقل تعداد جت‌های خلاء را به کار بگیرید.
- مطمئن شوید که جت‌های خلاء دارای میزان بخار کافی و تخلیه مناسب هستند.
- فشار بخار داغ را در هوای گرم کاهش دهید.

### 7-3- برج‌های خنک کننده ( فصل 12)

- عیوب برج‌های خنک کننده را جهت دستیابی به راندمان طراحی در درجه حرارت تر (Wet bulbs)، بر طرف نمایید.
- حداقل تعداد پمپ‌ها را بکار بگیرید.
- جریان آب در سیستم را کنترل کنید به نحوی که اختلاف درجه حرارت بالاتر از 10 درجه فارنهایت در طول برج بدست آید.
- سرعت گردش فن‌ها را با توجه به شرایط محیطی تنظیم کنید.
- از فن‌های با پره‌های قابل تنظیم استفاده نمایید.
- تجهیزات برج خنک کننده را تحت شرایط طراحی بکار بگیرید.

### 7-4- هوای فشرده ( فصل 10)

- مصرف انرژی الکتریکی به ازای 100 استاندارد فوت مکعب در دقیقه (100 SCFM) برای فشار 100 psi باید کمتر از 19 کیلووات و برای فشار 160 psi بایستی کمتر از 24 کیلووات باشد.
- از حداقل تعداد کمپرسورها برای تأمین بار استفاده نمائید.
- شیرهای مقاوم در برابر جریان‌های شدید را بسته نگه دارید.
- شیرهای مقاوم در برابر جریان‌های شدید را بر اساس جریان کنترل نمائید نه بر اساس فشار.
- برای بارهای پایه ( بارهای سانتیفوژ) از کمپرسورهای رفت و برگشتی استفاده کنید.
- فشار سیستم را به حداقل مورد نیاز برسانید.
- از شیرهای گاورنر برای کنترل فشار تخلیه کمپرسورهای سانتیفوژ استفاده نمائید.
- بر درجه حرارت و فشار مراحل و طبقات کمپرسور بطور کامل نظارت کنید تا مشکلات و عیوب به سرعت شناسائی شوند.
- نشتی‌های هوا را به حداقل برسانید.
- تقویت کننده کمپرسور را برای تأمین بارهای کوچک پر فشار بکار بگیرید.
- از هوای فشرده برای نظافت و رفع گرد و غبار استفاده نکنید.
- درجه حرارت هوای تخلیه شده از کمپرسور را کنترل کنید تا نشتی‌های پیستون یا شیرها مشخص شود.
- فیلترهای هوای ورودی را تمیز نگه دارید.
- حرارت را از قسمت بعد از خنک کننده‌ها بازیافت نمائید.
- قسمت‌های دارای نشتی را تعمیر کنید.
- از دمنده‌های فشار پائین به جای کمپرسور هوا استفاده کنید.

- میزان مصرف هوای کمپرسور را تحت نظارت قرار دهید تا تغییرات غیر معمول شناسائی شوند.

### 7-5- فن‌ها (فصل 6)

- از محرکه‌های دور متغیر استفاده کنید.
- با استفاده از جعبه دنده سرعت را کاهش دهید تا تغییرات دمپرها به حداقل برسد.
- خروجی را با IGV کنترل کنید تا تلفات سرگردان به حداقل برسد.
- کانال‌های هوا را طوری تنظیم کنید که تلفات فشار استاتیکی به کمترین حد ممکن برسد.
- نشی‌های کانال‌های هوا را برطرف کنید.
- بست‌های فن‌ها را محکم کنید تا از لغزش آنها جلوگیری شود.

### 7-6- پمپ‌ها

- فشار سیستم را به حداقل میزان مورد نیاز تقلیل دهید.
- پره‌های پمپ را محکم کنید تا از تلفات سرگردان جلوگیری شود.
- مبدل‌های حرارتی مجموعه را به طور سری به گونه‌ای به هم متصل کنید تا گردش آب خنک کننده به حداقل برسد.
- از پمپ‌های تقویت کننده برای افزایش فشار استفاده کنید.
- حداقل تعداد پمپ‌ها را برای تغذیه بارها بکار ببرید.
- پمپ‌ها را طوری تنظیم کنید که فشار تخلیه طراحی شده را تأمین نمایند.
- حتی الامکان از گرانش زمین استفاده کنید.
- پره‌های پمپ را هنگامی که تغییرات فشار در فصول مختلف زیاد است، تغییر دهید.



## فصل 8

### پالایش گازهای خروجی

پالایش گازهای خروجی موجب به حداقل رسیدن و یا محدود شدن آلاینده‌های زیست محیطی مانند اکسید نیتروژن ( $\text{NO}_x$ ) و دی اکسید گوگرد ( $\text{SO}_2$ ) می‌شود و همچنین ذرات جامد باقیمانده از عدم سوختن کامل سوخت‌های فسیلی قبل از پراکنده شدن به محیط را جمع‌آوری می‌کند. این دو فعالیت در چند مرحله به شرح زیر انجام می‌پذیرد.

8-1- روش‌های کاهش  $\text{NO}_x$

انتخاب سوخت

کنترل آلودگی و میزان  $\text{NO}_x$  ابتدا با انتخاب مناسب سوخت آغاز می‌شود. زغال سنگی که بر اساس آزمایشات سوخت، میزان نیتروژن آن در حد مطلوبی باشد (کمتر از 1/5 درصد) به روش‌های کاهش  $\text{NO}_x$  در خروجی نیاز نخواهد داشت. گاز طبیعی هم فاقد نیتروژن است و سوخت مایع نیز عموماً نیتروژن کمتری نسبت به زغال سنگ دارد.

ترکیب پذیری و واکنش زغال سنگ ضمن اینکه سبب می‌شود عمل احتراق به خوبی انجام پذیرد، همچنین باعث کاهش درجه حرارت و حداقل تولید  $\text{NO}_x$  نیز خواهد شد.

درجه حرارت پائین شعله باعث می‌شود که  $\text{NO}_x$  کمتری در سوخت مایع و سیستم‌های گازسوز تولید گردد. آن دسته از دیگ‌های بخار که شعله ناپایدار و متلاطم دارند و همچنین کوره‌هایی که در درجه حرارت بالا کار می‌کنند، معمولاً به سوخت با نیتروژن پائین نیاز خواهند داشت که این نوع سوخت نیز کمتر یافت می‌شود. لذا در این صورت باید از روش‌های کاهش  $\text{NO}_x$  استفاده کرد.

### اندازه کوره

این اقدام فقط در صورتی عملی است که واحد در مرحله طراحی باشد. افزایش سطح تبادل کننده حرارتی کوره و خنک کردن آن، موجب پائین آمدن درجه حرارت و کاهش تولید  $\text{NO}_x$  خواهد شد. به این ترتیب در انتخاب سوخت‌های جامد مختلف نیز آزادی عمل به وجود خواهد آمد.

### انتخاب مشعل

انتخاب مشعل متناسب با اندازه کوره، اکسیژن موجود برای تشکیل  $\text{NO}_x$  را کاهش می‌دهد و همزمان با شکل شعله نیز می‌توان درجه حرارت را کنترل نموده و به حداقل رسانید. از این طریق می‌توان قوانین و محدودیت‌های زیست محیطی را در مورد میزان  $\text{NO}_x$  خروجی به خوبی رعایت نمود. این روش عموماً نتایج مطلوبی به همراه دارد.

### کاهش هوای اضافی احتراق

این روش اکسیژن موجود را کاهش و کارایی را در مشعل‌ها افزایش می‌دهد. این روش نتایج روشن و قابل محاسبه‌ای را به همراه خواهد داشت. همچنین باید توجه داشت که در زمانی که از این روش استفاده می‌شود، مجموعه‌ای از کنترل‌ها باید بکار گرفته شود تا احتراق به بهترین وجه صورت پذیرد. با توجه به کاهش اکسیژن، خاکستر سوخت جامد افزایش خواهد یافت.

### احتراق دو مرحله‌ای

در این روش از طریق افزودن اکسیژن به منظور انجام احتراق کامل، اکسیژن آزاد موجود کاهش می‌یابد. از این روش برای سوخت‌هایی که دارای نیتروژن زیادی هستند، استفاده می‌شود. امکان کاهش کربن نسوخته و جذب حرارت بدنه کوره و افزایش حرارت در سمت شعله مشعل نیز وجود دارد.

### آنالیز سوخت قبل از احتراق

این روش در واحدهای بزرگ با تعداد و سطوح مختلف مشعل امکان‌پذیر است و موجب محدود شدن اکسیژن آزاد و درجه حرارت شعله می‌شود. این روش موفقیت زیادی به همراه دارد و در واحدهای موجود به خوبی قابلیت اجرا را دارد. همانند روش‌های قبل، همچنین موجب کاهش کربن و افزایش خاکستر خواهد شد.

### گردش مجدد گازهای خروجی

این روش دارای این امتیاز است که نیتروژن موجود در سوخت را بیشتر به  $N_2$  تبدیل می‌کند و لذا از میزان  $NO$  کاسته می‌شود. این روش بسیار مؤثر اما هزینه‌بر است و نصب و

اجرای آن دارای مشکلاتی می‌باشد. همچنین باید توجه داشت که در این روش تجهیزات کنترل احتراق و الزامات بهره‌برداری با فن‌ها و تنظیم هوا و دمپرها پیچیده‌تر می‌شود و مشکلاتی را به همراه خواهد داشت.



### استفاده از افزودنی‌ها

دو نوع افزودنی غیر کاتالیزوری برای کنترل میزان  $\text{NO}_x$  دیگ‌های بخار صنعتی وجود دارد. یکی از آنها آمونیاک و دیگری اوره می‌باشد. این مواد،  $\text{NO}_x$  را در گاز خروجی کاهش می‌دهند به شرط آن که درجه حرارت بین 1600 تا 2000 درجه فارنهایت ( تقریباً 1100 – 870 درجه سانتیگراد) باشد. البته اگر از کاتالیزور استفاده شود، درجه حرارت لازم تا حد زیادی کاهش می‌یابد و به 575 تا 800 درجه فارنهایت (300 تا 430 درجه سانتیگراد) خواهد رسید. این مواد معمولاً به قسمت بعد از احتراق تزریق می‌شوند. از آنجا که میزان بار دیگ‌های بخار صنعتی دارای تغییرات زیادی است و دامنه درجه حرارت بهینه دائماً تغییر می‌کند، کاربرد و تأثیر این گونه روشهای پالایش گاز خروجی با محدودیت‌هایی روبرو می‌باشد.

### 8-2- حذف ذرات جامد

حذف ذرات جامد از گازهای خروجی حاصل از احتراق، یک بخش مهم از عملیات احتراق محسوب می‌شود که انتخاب بهینه سیستم احتراق و تعمیرات مناسب آن نقش بسزایی در این زمینه ایفا می‌کنند و باعث کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و همچنین رعایت قوانین الزامی خواهند شد. این ذرات جامد در حقیقت اجزاء سوخت ورودی هستند که در احتراق دخالتی نداشته و به صورت نسوخته از سیستم خارج گردیده‌اند. روش‌های کنترلی مختلفی برای حذف این ذرات وجود دارد که بنا به نوع سوخت (جامد یا مایع) و تجهیزات منصوبه احتراق تغییر خواهد کرد.

### جمع آوری مکانیکی

این روش قدیمی‌ترین روش گردآوری ذرات جامد است. ذرات جامد خاکستر از جریان گاز خروجی جدا شده و به ظرف‌هایی در بخش بیرونی منتقل می‌گردد. در بسیاری از

دیگ‌های بخار از جمع‌آوری کننده مکانیکی به همراه شتاب دهنده ذرات با کیسه‌هایی برای جذب ذرات معلق و افزایش کارایی سیستم استفاده می‌شود.

### جداسازی از طریق جریان جانبی

این روش بوسیله جمع‌آوری مکانیکی کمک می‌کند تا کارایی جمع‌آوری ذرات جامد افزایش یابد. عملاً در حدود 10 الی 20 درصد گاز خروجی از ظرف‌های پائینی جمع‌کننده‌ها خارج می‌شوند و ذرات جامد خود را در آن ظرف‌ها به جای می‌گذارند. با ایجاد یک جریان هوای جانبی و راندن گازهای خروجی بیشتر به سمت ظرف‌های جمع‌کننده، این درصد به 35 تا 50 می‌رسد.

### فیلترهای الکترواستاتیک

ذرات خاکستر قابلیت یونیزه شدن را دارند. لذا آنها را از یک میدان الکتریکی می‌گذرانند و جذب صفحات فلزی عمودی می‌شوند. این صفحات متناوباً تکانده می‌شوند و بدین وسیله ذرات، درون ظرف‌ها ریخته و جمع‌آوری می‌شوند.

### جمع‌کننده‌های کیسه‌ای

این سیستم‌ها کاملاً ساده بوده و مانند تمیز کننده‌های صنعتی که خلاء ایجاد می‌کنند، خاکستر به یکی از این دو راه جمع‌آوری و حذف می‌گردد. یک جریان معکوس هوا از داخل کیسه جاری می‌شود و ذرات جامد را به داخل ظرف‌هایی می‌کشد. روش دیگر جمع‌آوری ذرات در بیرون از کیسه‌ها است. با ایجاد جریان ناگهانی و منقطع هوا در زمان‌های مشخص ذرات را گردآوری می‌نمایند و با تکاندن کیسه‌ها آنها را درون ظرف‌هایی جمع می‌کنند.

**تمیز کننده‌های نمودار**

این سیستم به گونه‌ای است که ذرات معلق و خاکستر را مرطوب می‌کنند، به این ترتیب که آب با فشار بالا و به صورت پودر و همراه با جریان هوا پاشیده می‌شود و با نمودار کردن ذرات معلق و افزایش وزن آنها را به داخل بخش‌های مربوطه انتقال می‌دهند. در این حالت آب دارای اسید سولفوریک و اسید هیدروکلریک خواهد بود و در دفع آن باید توجه کافی نمود. همچنین باید دقت داشت که آب پاشیده شده کاملاً از گاز خروجی جدا شود. مزیت این روش این است که حرارت نیز از گاز خروجی گرفته می‌شود و می‌توان این حرارت را بازیافت نمود و از آن برای گرم کردن آب ورودی به دیگ بخار استفاده کرد. در جدول شماره (9) هزینه روش‌های فوق بطور مقایسه‌ای ارائه شده است. در این جدول هزینه سیستم مکانیکی، مبنا فرض شده است.

جدول 9 - مقایسه هزینه روش‌های مختلف جمع‌آوری ذرات جامد از گاز خروجی

روش جمع‌آوری	ضرایب هزینه
جمع کننده مکانیکی	1
جداکننده جانبی	2
فیلتر الکترواستاتیک سرد	4
فیلتر الکترواستاتیک گرم	6
جمع کننده کیسه‌ای	4
تمیز کننده نمودار	3/5

### کنترل و حذف دی اکسید گوگرد

همهٔ سوخت‌های جامد و مایع دارای مقداری گوگرد هستند. لذا الزاماً مقداری دی اکسید گوگرد در فرآیند احتراق حاصل می‌گردد. میزان کاهش آلودگی بستگی به روش مورد استفاده خواهد داشت.

### عیار بندی سوخت جامد

استفاده از زغال سنگ شسته شده بهترین روش برای رعایت مقررات مربوط به گوگرد است. پارامترهایی همچون حمل و نقل مواد، میزان موجودی آن و قیمت سوخت باید مد نظر قرار گیرد.

### تمیز کننده‌های نمدار یک بار مصرف

این سیستم‌ها به حالت یک بار مصرف استفاده می‌شوند و در جاهایی که گاز دی اکسید گوگرد با موادی همچون سنگ آهک ترکیب و حاصل به عنوان گچ فروخته می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرند. با انجام فرآیندهای اضافی می‌توان گوگرد را نیز جداسازی و آماده فروش نمود.

### تمیز کننده‌های نمدار قابل بازیافت

این تمیز کننده‌ها به نحو مؤثری فرآیند جمع‌آوری گوگرد را تسریع می‌کنند. اما در هر حال تأثیر آنها منوط به هزینه کردن هیدروکسید سدیم یا کربنات سدیم است که برای سیستم بازیافت ضروری می‌باشد. اما در این روش جامدسازی گوگرد، عیاربندی و کنترل اسیدیته (PH) آن مشکل خواهد بود.

**تمیز کننده‌های خشک**

در اینجا گاز خروجی با عناصر شیمیایی در یک فضای مرطوب ترکیب می‌شود. گرما و حرارت در گاز خروجی رطوبت را خشک می‌کند و محصول جامدی را در کیسه‌ها به جا می‌گذارد. درجه حرارت گاز در این روش باید به اندازه کافی زیاد باشد تا رطوبت به طور کامل خشک شود و عناصر شیمیایی کاملاً با ذرات معلق در گاز خروجی ترکیب شوند.

## فصل 9

### سیستم‌های بخار

اولین و اصلی‌ترین وظیفه دیگ‌های بخار، تولید بخار است. در بعضی از صنایع که 40 تا 60 درصد انرژی در بویلرها برای تولید بخار بکار می‌رود، استفادهٔ بهینه و تعمیرات منظم دیگ بخار صرفه‌جویی انرژی قابل توجهی را به دنبال خواهد داشت. بعنوان مثال، اگر برنامه تعمیرات مؤثری وجود نداشته باشد، تقریباً 15 تا 20 درصد تله‌های بخار بدرستی کار نخواهند کرد. یکی دیگر از محل‌های تلف شدن انرژی، نشتی‌های بخار است که 3 تا 5 درصد بخار تولیدی خواهد بود. خرابی و از بین رفتن عایق‌ها می‌تواند موجب 5 تا 10 درصد تلفات بخار بشود. خصوصاً وقتی که بر اثر نشتی بخار عایق‌ها خیس شده و اثر خود را از دست بدهند.

تمیز نبودن توربین و مبدل‌های حرارتی نیز می‌تواند تا 25 درصد از انرژی حرارتی بخار را تلف نماید. در سیستم‌های تولید بخار، وقتی که راجع به دستورالعمل تعمیرات و

بهره‌برداری بحث می‌شود، بسیاری از مباحث هم‌پوشانی دارند. بعنوان مثال فصل دوم، پالایش آب، راجع به افزودن آمین‌ها به آب بحث می‌کند که PH آب کندانس را در حد بالایی نگهداری می‌کند تا از آسیب‌های اسیدی پرهیز شود.

در این فصل، همان موضوع در ارتباط با خوردگی تله‌های بخار مطرح می‌شود که یک مشکل خاص در سیستم‌های بخار است.

صرفنظر از استفاده بخار در تعداد زیادی از فرآیندهای صنعتی و تولید الکتریسیته، بخار همچنین برای گرداندن پمپ‌ها، کمپرسورها و جلوگیری از یخ‌زدگی تجهیزات در زمستان به کار می‌رود.

بهره‌برداری از سیستم‌های بخار بسیار پیچیده است، چون تولید، توزیع، بازیافت و کاربرد آن در چند مرحله مختلف انجام می‌پذیرد.

پنج قاعده کلی وجود دارد که به منظور به حداکثر رسیدن کارایی تولید بخار باید رعایت شود. این قواعد عبارتند از:

1. از دیدگاه ترمودینامیکی و اقتصادی همواره بایستی بخار را در بالاترین فشار و درجه حرارت ممکن تولید کنید.

2. همواره بخار را در فرآیند با پائین‌ترین فشار و درجه حرارت ممکن مصرف کنید.

3. در دیگ‌های بخار سوختی، بخار را فقط به اندازه نیاز مصرف کننده نهائی تولید کنید.

4. برای تقلیل فشار بخار از بهینه‌ترین تجهیزات ممکن استفاده کنید.

5. همواره بیشترین بخار ممکن را از سیستم‌های بازیافت حرارت به دست آورید.

طراحی مناسب سیستم بخار به میزان قابل ملاحظه‌ای در افزایش کارایی سیستم مؤثر می‌باشد.

طراحی ضعیف سیستم تله‌های بخار یکی از نکاتی است که سبب عملکرد نامناسب یا از کار افتادن کامل سیستم می‌شود.

سیستم‌های پایش بخار ( مثلاً سیستم نشان دهنده درجه حرارت بخار در لوله‌های فرآیند) بارها باز و بسته می‌شوند که اغلب نیز به جهت رفع یک مشکل کوچک همچون تعمیر یا تعویض تله بخاری که کار نمی‌کند، می‌باشد.

بسیاری از نشتی‌ها، مسدود شدن مسیر و خراب شدن تجهیزات، نتیجه طراحی نامناسب می‌باشد. با طراحی مناسب سیستم عایقکاری و تعمیرات خوب می‌توان از تلفات حرارتی جلوگیری نمود.

چون در سیستم‌های بخار بخش‌های زیادی وجود دارند که ممکن است دچار مشکل شوند، لذا تفکیک این مشکلات و دسته‌بندی آنها در گروه‌های مشترک، کمک خوبی به بهره‌برداری مناسب خواهد نمود.

#### 9-1- دستورالعمل عمومی بهره‌برداری

1. با بکارگیری روش‌های تجزیه و تحلیل فرآیند و تکنیک‌های پیشرفته کنترل می‌توان مصرف انرژی مجموعه را به حداقل رسانید. بسیاری از سیستم‌های بخار از پیشگرمکن‌ها برای گرم کردن آب تغذیه استفاده می‌کنند. بهره‌برداری بهینه از پیشگرمکن‌ها صرفه‌جویی انرژی به دنبال خواهد داشت. تنظیم کنترل‌های سیستم باید با دیدگاه صرفه‌جویی انرژی انجام گیرد.
2. استفاده از سیستم‌های نامناسب خلاء باعث افزایش مصرف بخار خواهد شد و هرگونه نشتی موجود باید تعمیر و برطرف شود.
3. کلیه بخش‌های سیستم باید دارای چک لیست و دستورالعمل استاندارد بهره‌برداری باشند و بر اساس این دستورالعمل و چک لیست باید تله‌های بخار و تجهیزات پایش اضافی از مسیر و مدار خارج شوند، چون هر یک از آنها مقداری بخار مصرف می‌کنند.



4. تنظیمات میزان و راهنمای مصرف بخار در تمامی تجهیزات و برای همه بخش‌های اصلی باید تهیه شود و این تنظیمات بایستی بطور منظم با توجه به تغییرات فرآیندی مورد بازنگری قرار گیرد تا بخار اضافی وارد سیستم نشده و مصرف بخار متناسب با بار سیستم باشد. ( منحنی بار - بخار )
5. هر مولد بخار را باید بر اساس مشخصات فنی و ضرایب کارایی مربوط به خود بکار گرفت. به این ترتیب در زمان‌هایی که تقاضای مصرف بخار زیاد است، در ابتدا دیگ‌های بخار با کارایی بیشتری تحت بار قرار می‌گیرند و مصرف انرژی به حداقل خواهد رسید. همچنین در جاهایی که امکان انتخاب و جابجایی دیگ‌های بخار وجود دارد، ابتدا باید از دیگ‌های کارآتر استفاده نمود.
6. سیستم‌های بخار باید بطور مداوم و منظم مورد بازرسی قرار گیرد تا خطوط لوله بخاری که به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد و امکان حذف آنها وجود دارد، از مسیر بخار حذف گردد. تنظیمات سیستم باید بر اساس احتیاجات و نیاز فرآیند انجام پذیرد. اگر این تنظیمات اتوماتیک نیستند، دستورالعمل‌های مربوطه باید کاملاً شفاف و روشن باشند تا کاربران بسادگی از عهده تنظیم سیستم برآیند.
7. سیستم‌های پایش بخار باید بطور مطلق به حداقل تعداد لازم برسد، چون هر چه تعداد این تجهیزات بیشتر باشد، موجب کاهش کارایی سیستم خواهد شد و بخشی از بخار را به مصرف می‌رساند. حتی می‌توان به فکر سیستم‌های جایگزین همچون سیستم‌های پایش از راه دور الکتریکی بود. البته لازم است تا هزینه‌های مربوطه نیز مورد محاسبه قرار گیرد.
8. سیستم‌های توزیع بخار و بخار کندانس باید بگونه‌ای طراحی شود که خوردگی در لوله‌ها به حداقل رسیده و سیستم پالایش بتواند بطور مناسب و کارآ عمل کند. در فصل 2 (اصلاح آب)، اطلاعات بیشتری در این مورد وجود دارد.

9. سیستم‌های بخار باید به نشانگرهای میزان بخار مجهز باشند تا بتوان تعادل بخار تولیدی و مصرفی در بخش‌های مختلف فرآیند را مورد محاسبه قرار داد.

**9-2- تله‌های بخار**

1. در هر منطقه کاری باید برنامه منظمی برای بررسی عملکرد تله‌های بخار وجود داشته باشد و هر از چندگاهی باید به آزمایش تله‌های بخار پرداخت (حداقل سالی یکبار).
2. همه تله‌های بخار باید شماره‌گذاری شوند و محل آنها بر روی نقشه فرآیند مشخص شود تا بتوان به سادگی آنها را مورد آزمایش قرار داد و سوابق مربوطه را ثبت نمود. مسیرهای رفت و برگشت بخار به تله‌های بخار باید به خوبی عایق‌کاری شده باشند.
3. کاربران و پرسنل تعمیر و نگهداری باید به خوبی آموزش دیده و با روش‌های آزمایش تله‌های بخار آشنایی کامل داشته باشند. در جایی که نیاز به آزمایشات مافوق صوت وجود دارد باید پرسنل آموزش‌های خاص دیده باشند.
4. در سیستم‌های تعمیر و نگهداری باید برای تعمیر تله‌های بخار از کار افتاده اولویت خاص قائل شد و به این ترتیب میزان خرابی‌ها را به حداقل رسانید. تله بخاری که از کار افتاده و بازمانده است، تقریباً 50 تا 100 پوند بخار را در هر ساعت تلف می‌نماید.
5. همه تله‌های بخار موجود در سیستم بسته باید به خروجی مناسبی مجهز باشند تا به سادگی بتوان آزمایشات دوره‌ای را بر روی آنها انجام داد. در غیر این صورت باید تله‌های بخار را تعویض نمود.
6. طراحی مناسب تله‌های بخار برای هر کاربرد خاصی باید مورد توجه واقع شود و در هر فرآیندی از تله‌های بخار مناسب استفاده نمود.
7. یک نکته مهم توانایی مشاهده میزان خروجی از تله‌های بخار است. اگر چه روش‌های مختلفی همچون استفاده از تجهیزات مافوق صوت، منعکس کننده صدا و حرارت سنجی برای این کار وجود دارد، اما بهترین روش برای آزمایش عملکرد تله‌های بخار، مشاهده میزان خروجی است.

8. اندازه‌گیری تله‌های بخار باید متناسب با بار کندانس بخار باشد. اندازه نامناسب تله بخار سبب تلف شدن بخار، انسداد و اشکالات مکانیکی می‌شود.
9. سیستم‌های گردآوری بخار کندانس نیز باید بطور مناسبی طراحی شوند تا باعث خرابی تله‌های بخار نشوند و لوله‌های کندانس نیز باید به اندازه‌ای باشد که اگر 10 درصد تله‌های بخار خراب شده و باز بمانند، همچنان قابلیت انتقال بخار را داشته باشند.

### 9-3- عایق‌ها

1. سیستم بخار باید بطور مداوم مورد بررسی قرار گیرد تا قسمت‌های بدون عایق و عایق‌های معیوب شده تعویض و یا تعمیر شوند. این موضوع خصوصاً وقتی که تمامی عایق‌ها به منظور تعمیر نشستی‌ها برداشته شده باشند، بسیار مهم است.
  2. هر پنج سال یکبار باید خطوط انتقال بخار مورد بررسی قرار گیرد (یا یک پنجم تجهیزات در هر سال) و محل‌هایی که عایق‌کاری آنها معیوب شده است، تعمیر شود.
- عوامل اصلی از بین رفتن عایق عبارتند از: رطوبت، عناصر شیمیایی و چربی‌ها در مسیرهای طولانی. تجهیزات اندازه‌گیری میزان مؤثر بودن عایق‌ها شامل تجهیزات گرمانگاری است که دمای سطح را با رنگ‌های مختلف نشان می‌دهد و برای مسیرها و بخش‌های بزرگ ایده‌آل است. البته تجهیزات گرمانگاری دستی و کوچک نیز موجود می‌باشد که به تفنگ حرارتی مشهور است و دمای سطوح را با موج مادون قرمز اندازه‌گیری می‌کند. نوع دیگری از تجهیزات گرمانگاری ترمومتر سطحی است که باید به سطح مورد نظر متصل شود تا دمای آن را نشان دهد.
3. بعد از هر نوع عملیات تعمیر، سطوحی که مورد تعمیر قرار گرفته‌اند، باید دقیقاً مورد بررسی قرار گیرند تا عایق‌های مربوطه جایگزین و یا تعمیر شوند. عایق‌هایی که

قابلیت جدا شدن دارند، باید مجدداً روی تمامی تجهیزات پوشانده شوند. آخرین قدم در هر برنامه تعمیر و نگهداری باید تعمیر، جایگزینی و نصب مجدد عایق‌ها باشد. اغلب تجهیزات سیستم مانند شیرها، توربین‌ها، پمپ‌ها و اتصالات بدون عایق رها می‌شود.

4. در لوله‌گذارهای جدید باید ضخامت عایق کاری بهینه باشد.
5. در طول بازرسی خطوط بخار سیستم، عایق کاری لوله‌ها باید مورد توجه خاص قرار گیرد تا عیوب زیر مشخص و رفع گردد.
  - خرابی‌های مکانیکی
  - ترک‌های محافظ‌های بخار
  - شکستگی‌های تسمه‌ها و نوارها
  - شکستگی و عیب در موانع و اتصالات جلوگیری کننده از ورود آب و هوا
  - پوشش‌های آسیب دیده مقاوم در برابر آب و هوا

#### 9-4- نشستی‌ها

1. تمام نشستی‌های بخار باید در اسرع وقت تعمیر و بر طرف شوند. نشستی‌ها یکی از قابل مشاهده‌ترین نوع تلفات انرژی می‌باشند. جدول شماره (10) میزان تلفات بخار را برای نشستی‌های با سایزهای مختلف نشان می‌دهد. وجود نشستی بخار نشانگر بی تفاوتی مدیریت در مقابل بهره‌برداری بهینه از سیستم است که می‌تواند منجر به بروز خطراتی نیز بشود. برای رفع نشستی‌ها باید هزینه نمود و بدون هزینه نمی‌توان نشستی‌ها را کاهش داد.
2. دستورالعمل استاندارد برای اثر گذاری و آب بندی اتصالات سیستم بخار و شیرها باید تهیه شود.

3. در سیستم‌هایی که امکان قطع بخار وجود ندارد، باید از روش‌های تخصصی برای رفع نشتی‌ها در حین کار استفاده نمود.
4. طراحی سیستم بخار باید طوری باشد که حداقل نشتی در آن وجود داشته باشد. به کارگیری حداقل اتصالات یکی از این راهکارهاست.

جدول 10 - تخمین میزان تلفات نشتی بخار

فشار بخار (psi)	اندازه سوراخ (اینچ)	تلفات بخار (lb/hr)	*هزینه تلفات (\$/yr)
115	1/16	15	400
115	1/8	60	1600
115	1/4	240	6400
115	1/2	1010	27000
115	1	3900	104000
415	1/16	55	1450
415	1/8	220	5800
415	1/4	3520	92800
415	1	14080	372000

\* برای محاسبه هزینه سالانه تلفات، ارزش هر 1000 پوند بخار 3 دلار منظور شده است.

**9-5- فشار**

1. به منظور کاهش مصرف انرژی عموماً باید بخار را در حداقل فشار ممکن تولید و مصرف نمود. تغییرات در تجهیزات و یا فرآیند اغلب امکان استفاده از بخار فشار پائین را به وجود می‌آورد. این موضوع باید در مرحله طراحی سیستم مد نظر قرار گیرد و هرگونه توصیه‌ای در رابطه با تغییرات باید از دیدگاه اقتصادی نیز تجزیه و تحلیل شود.
2. تا حد ممکن باید از بخار در فشارهای مختلف استفاده نمود به عبارت دیگر نباید فشار بخار تولیدی را از طریق شیرهای کنترل کاهش داد و یا بخار با فشار پائین را به محیط آزاد انتقال داد. به طور کلی لازم است تا کاهش فشار بخار تولیدی و یا رها سازی آن در محیط به حداقل برسد چرا که این موضوع باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در مصرف سوخت خواهد شد. میزان کاهش فشار بخار و یا بخار رها شده باید دائماً توسط لوازم اندازه‌گیری مورد پایش قرار گیرد.
3. پیش گرمکن‌های بخار باید برای بخار با پائین‌ترین فشار ممکن بکارگیری شود. این کار اغلب با استفاده از لوله‌های سطحی (مسطح) امکان پذیر می‌باشد.

**ملاحظات خاص در توربین‌ها**

1. توربین‌های بخار همواره باید با پائین‌ترین فشار خروجی ممکن مورد استفاده قرار گیرند. افزایش فشار خروجی عموماً بر اثر لوله‌گذاری نامناسب و یا مصرف زیاده از حد بخار بوجود می‌آید و کارایی توربین را کاهش می‌دهد. افت فشار زیاد بین خروجی توربین و بخار ورودی می‌تواند به معنی لوله‌گذاری نامناسب باشد. در توربین‌های چگالشی فشار خروجی زیاد بر اثر مشکلات و عیوب سیستم خلاء ایجاد می‌شود.

2. توربین‌های چگالشی خیلی کارآ نیستند و فقط 15 تا 20 درصد انرژی حرارتی بخار جذب می‌نمایند. در بعضی حالات، باید امکان تعویض این توربین‌ها با توربین‌های سطح بالا (Topping)، موتورهای الکتریکی و یا توربین‌های مستقیم‌گازی را بررسی نمود.
3. در صورتی که آب تغذیه توربین به طور کامل تصفیه نشده باشد، موجب کثیفی پره‌ها و نتیجتاً موجب کاهش کارایی توربین می‌شود. آب تغذیه نامناسب همچنین سبب صدمات درازمدت و دائمی بر روی سطوح و دیواره‌های دیگ بخار و لوله‌های بخار فوق داغ خواهد شد.



## فصل 10

### سیستم‌های هوای فشرده و موتورهای دیزلی تولید همزمان برق و بخار

سیستم‌های هوای فشرده از تجهیزاتی هستند که تلفات انرژی در آنها زیاد می‌باشد. بعضی از برآوردها حاکی از آن است که عموماً 20 درصد توان مصرفی برای تولید هوای فشرده تلف می‌شود. حتی بسیاری از متصدیان امر آگاهی ندارند که برای تولید یک اسب بخار هوای فشرده نیاز به معادل 7 اسب بخار انرژی الکتریکی است. با دانستن این موضوع کاربران و مدیران مجموعه‌های صنعتی ممکن است استفاده و جایگزینی انرژی الکتریکی و یا بخار به جای هوای فشرده را مد نظر قرار دهند. یک اشتباه دیگر اعتقاد به این مطلب است که چون هوای فشرده در بعضی از کاربردها به عنوان یک نیاز عملکرد فرآیند مطرح می‌باشد، لذا به هر قیمتی باید آن را مهیا نمود.

### نشستی‌ها در سیستم هوای فشرده

یک برنامه مؤثر و موفق مدیریت هوای فشرده با نشست‌یابی و رفع نشستی سیستم شروع می‌شود. ضررهای اقتصادی ناشی از نشستی در سیستم هوای فشرده به سادگی قابل محاسبه می‌باشد. به عنوان مثال اگر قیمت انرژی الکتریکی 6/5 سنت به ازای هر کیلووات ساعت باشد، هزینه تمام شده هوای فشرده تولید شده به 2/65 دلار به ازای 100 فوت مکعب در ساعت خواهد رسید. هزینه‌های اضافی ناشی از نشستی در سیستم هوای فشرده مانند آن است که چند کارگر را به استخدام درآورده و به آنها حقوق پرداخت گردد ولیکن آنها دائماً مریض بوده و در مرخصی استعلاجی به سر ببرند. بسیاری از مدیران هزینه‌های ناشی از نشستی را دقیقاً مشابه سایر هزینه‌های تجاری به حساب می‌آورند. به هر حال تشخیص و رفع نشستی‌ها صرفه‌جویی قابل توجهی از لحاظ انرژی و اقتصادی برای بنگاه در پی خواهد داشت. در بسیاری از حالات برای به گردش درآوردن کمپرسورهای هوای فشرده از موتورهای الکتریکی خیلی بزرگ استفاده می‌شود و مدیریت خوب و رفع نشستی از سیستم هوای فشرده بین 15 تا 20 درصد مصرف انرژی الکتریکی این موتورها را کاهش می‌دهد. مزیت و حسن دیگر کاهش نشستی، کاهش نویز و صدای اضافی در محیط و فضای کارگاه می‌باشد.

یک راه ساده و مناسب برای نشست‌یابی و اولویت‌بندی رفع نشستی‌ها، یافتن نشستی‌هایی است که صدای آن قابل شنیدن باشد. این گونه نشستی‌ها معمولاً حداقل 2 فوت مکعب در ساعت هوای فشرده را به هدر می‌دهند. قدم بعدی، بکارگیری یک برنامه نشست‌یابی است که احتمالاً به تجهیزات مخصوص نشست‌یابی نیاز خواهد داشت. مانند دستگاه‌های میکروسونیک یا تشخیص‌دهنده‌های مافوق صوت. این دستگاه‌ها را می‌توان در محیط‌هایی که دارای سر و صدای محیطی زیاد هستند و یا در جاهایی که محدودیت دسترسی وجود دارد، بکار گرفت. هزینه استفاده از این تجهیزات اغلب با پولی که با رفع نشستی‌ها صرفه‌جویی می‌شود، برابری می‌کند و حتی از نظر اقتصادی به صرفه نیز خواهد بود.

1. به غیر از نشتی‌ها، عمده هوای فشرده تلف شده توسط مصرف کننده به هدر می‌رود. آنان از هوای فشرده برای کارهایی استفاده می‌کنند که روش‌های بهتر و اقتصادی‌تری نیز برای انجام آن کارها وجود دارد. یک مثال خوب برای این موضوع استفاده از هوای فشرده برای تمیز کردن سطوح و محیط‌های دارای گرد و غبار است. در یک کارخانه صنعتی یک دستگاه دمنده الکتریکی به این منظور خریداری گردید تا به جای سیستم هوای فشرده از آن استفاده شود. بازگشت سرمایه هزینه خرید این دستگاه در مقابل استفاده از هوای فشرده سه ساله بوده است، که بیانگر هزینه واقعی تولید و مصرف هوای فشرده می‌باشد.

مدیریت سیستم هوای فشرده با مسائل متنوعی همچون نشت‌یابی و رفع نشتی، آموزش پرسنل، بازنگری در موارد استفاده از هوای فشرده و بکارگیری جایگزین‌های اقتصادی برای آن می‌باشد. ذیلاً چند نمونه از پیشنهادات مفید برای کنترل بهتر سیستم‌های هوای فشرده ارائه می‌شود.

### افت فشار

یکی از منابع مهم تلفات، کاهش فشار در سیستم هوای فشرده است. اگر فشار سیستم به کمتر از فشار لازم برای عملکرد تجهیزات کاهش یابد، در این صورت کارایی سیستم به سرعت کم خواهد شد.

به عنوان مثال بسیاری از ابزارهای بادی برای کارکردن در فشار 90 تا 100 psig طراحی و ساخته می‌شود. لذا ده درصد افت فشار به معنی چهل درصد افت کارایی برای این ابزارها خواهد بود.

بعضی از دلایل افت فشار به شرح زیر است:

- کوچک بودن اندازه کمپرسور
- افزایش زیاده از حد تجهیزات بادی و پنوماتیک در سیستم

- نشستی‌های قابل توجه
- اصطکاک هوا در لوله‌های سیستم
- مورد آخر با بکارگیری چند دستورالعمل و راهکار ساده قابل رفع خواهد بود.
- با افزایش حجم هوا در داخل لوله‌ها، افت فشار نیز زیاد خواهد شد.
- در تحت همان شرایط با کاهش فشار هوای درون لوله‌ها، افت فشار افزایش می‌یابد و با افزایش فشار هوای درون لوله‌ها، افت فشار کاهش می‌یابد.
- سطح صیقلی داخل لوله‌ها موجب کاهش افت فشار می‌شود و بالعکس سطح ناهموار داخلی لوله افت فشار را زیاد می‌کند.
- اتصالات و شیرها افت فشار را افزایش می‌دهند.

### خشک کردن هوای فشرده

رطوبت می‌تواند مشکلاتی را در هر سیستم هوای فشرده به وجود بیاورد. رطوبت، کارایی تجهیزات سیستم را کاهش می‌دهد و موجب افزایش هزینه‌های تعمیرات می‌شود و زمان به وجود آمدن خوردگی و از کار افتادن آنان را کم می‌کند. در حالی که فشرده کردن هوا اگرچه حجم آن را کاهش می‌دهد اما تأثیری در میزان رطوبت هوا نخواهد داشت.

به عنوان مثال یک کمپرسور با قدرت 25 اسب بخار که 100 فوت مکعب در دقیقه هوا را با فشار 100 psig تحویل می‌دهد، 18 گالن آب را در شرایط استاندارد ( 50 درصد رطوبت و 90 درجه سانتی‌گراد) تولید می‌نماید. در حالی که اگر هوای خروجی از کمپرسور خنک شود، حدوداً 66 درصد از این رطوبت را از بین می‌برد، ولی با این حال هنوز 6/2 گالن آب در هر روز در داخل سیستم گردش می‌کند. این رطوبت در مسیر خود می‌تواند موجب وارد آوردن صدمه به ابزارهای بادی، تجهیزات و لوازم اندازه‌گیری، فرآیندهای پاشنده و عملیات سند بلاست و بسته‌بندی غذاها و تجهیزات شود.

جداسازهای رطوبت می‌تواند تا 98 درصد آب‌های جاری در سیستم ( رطوبت) را از مسیر عملیات دور نماید ولی توانایی جدا کردن رطوبت از هوای اشباع شده را ندارد. کاهش درجه حرارت نقطه شبنم در سیستم هوای فشرده، رطوبت را به طور کامل از سیستم حذف خواهد کرد. این کار به صورت فیزیکی به کمک عناصر شیمیایی و یا انجماد انجام می‌شود.

خشک کننده‌های منجمد هوا را به صورت مکانیکی سرد می‌کنند و بخار آب کندانس شده را از هوا جدا می‌نمایند. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و همچنین هزینه تعمیر و نگهداری این تجهیزات نسبتاً پائین است و قابلیت کارکردن در محیط‌های با درجه حرارت کمتر از 35 درجه فارنهایت را نیز دارا می‌باشند.

تقویت‌کننده‌ها یا خشک‌کن‌های مجدد سیستم خشک‌کننده هوای فشرده، دارای منافذی هستند که مولکول‌های آب را از بخار هوا جذب می‌کنند و به سطح خشک کن مجدد هدایت می‌نمایند و هوای خشک شده مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرد. در زمان نصب کمپرسورهای روغنی باید از فیلترهای جاذب روغن در ورودی خشک‌کن‌ها استفاده نمود تا از ورود قطرات آب و روغن به داخل خشک‌کن‌ها و آسیب رساندن به خشک‌کن‌های مجدد جلوگیری شود. همچنین استفاده از فیلترهای خروجی در انتهای خشک کن نیز توصیه می‌شود تا ذرات رطوبت به هیچوجه وارد مسیر هوای فشرده نشوند. این نوع خشک‌کن‌ها و فیلترها را می‌توان در هر سیستمی با درجه حرارت نقطه شبنم کمتر از 35 درجه فارنهایت بکار گرفت.

#### 10-1- چک لیست کاربران برای سیستم‌های هوای فشرده

- میزان هوای فشرده مورد نیاز را تحت کنترل قرار دهید. این کار از طریق بهره‌گیری از استانداردهای مربوطه، کنترل‌های سیستم، فشار هوا، افزایش حجم ذخیره‌سازی
- ( هوای فشرده یکی از معدود منابع انرژی است که قابلیت جابجایی و ذخیره سازی

را دارد) و برنامه‌ریزی جهت کاهش مصرف هوای فشرده برای نظافت، پمپاژ و غیره امکان پذیر می‌باشد.

- یک راه دیگر برای کاهش میزان هوای فشرده مورد نیاز، اعمال برنامه کنترل نشتی‌ها است. همچنین برنامه‌ریزی مجدد زمان‌های عملکرد سیستم هوای فشرده نیز در بهینه‌سازی و تأمین تقاضای تجهیزات مؤثر می‌باشد.
- مصرف انرژی الکتریکی را با کاهش فشار سیستم تا حد ممکن، به حداقل برسانید و تجهیزات بلا استفاده را از سیستم هوای فشرده منفک نمایید.
- برنامه تعمیرات را به طور منظم اجرا نمایید و در جاهایی که از نظر اقتصادی توجیه پذیر می‌باشد از روش‌های تعمیرات پیشگیرانه و کنترل‌های اتوماتیک استفاده کنید.
- در سیستم‌های بزرگتر یا در جاهایی که مجموعه‌ای از کمپرسورهای هوا وجود دارند، استفاده از خدمات یک مشاور با تجربه، روش‌های بیشتری را برای صرفه‌جویی و جلوگیری از تلفات به همراه خواهد داشت.

### 10-2- موتورهای دیزلی تولید همزمان برق و بخار

موتورهای دیزلی یکی از انتخاب‌های اصلی برای تولید همزمان برق و بخار و همچنین استفاده در ساعات قطع برق اصلی هستند. این موتورها فضای نسبتاً کمی را اشغال می‌کنند و می‌توانند به سرعت راه‌اندازی شده و وارد مدار شوند و با حداقل عملیات پرسنلی به تولید برق پردازند. این موتورها در اندازه‌های بسیار متنوع تولید می‌شوند (چند کیلووات تا چندین مگاوات).

یک روش برای صرفه‌جویی انرژی در موتورهای دیزلی، تولید بخار و حرارت به عنوان یک محصول جانبی است. در حین کار، انرژی ورودی که سوخت فسیلی می‌باشد در چهار مسیر توزیع و مصرف می‌شود. بخشی از انرژی ورودی به انرژی مکانیکی تبدیل شده و صرف

گرداندن محور توربین می‌شود. بخش دیگر آن به وسیله آب خنک‌کننده سیلندرها جذب می‌شود و بخش سوم نیز توسط سیستم روغن‌کاری موتور جذب شده و یا از آگزوز خروجی دفع می‌شود. یک قسمت کوچکتر نیز از طریق پوسته موتور (هدایت و تابش) تلف می‌گردد. انرژی و ظرفیت کار موجود در حرارت آگزوز قابلیت بازیافت و تولید بخار را دارا می‌باشد. به علاوه از آب خنک‌کننده موتور هم می‌توان برای تولید آب گرم و یا در بعضی حالات برای تولید بخار با دمای پائین استفاده کرد.

کارایی حرارتی خالص موتور دیزلی تا حدود 50 درصد بار موتور ثابت است و بعد از آن به شدت کاهش می‌یابد. خصوصاً ارتباط مستقیمی با حرارت جذب شده توسط آب خنک‌کننده موتور خواهد داشت.

حرارت خروجی از آگزوز با تغییرات بار تقریباً ثابت باقی می‌ماند و بیش از 5 درصد تغییر نخواهد داشت. بکارگیری موتورهای دیزلی برای تولید همزمان برق و بخار از راه‌هایی است که منجر به بازیافت حرارتی خواهد شد. البته حدود کاربرد عملیاتی این روش منوط به درجه حرارت و نرخ مشخصات گرمایی آب خنک‌کننده موتور و گرمای خروجی از دودکش می‌باشد.

این گرما را می‌توان به شکل هوای گرم، آب گرم و یا بخار بازیافت نمود. لازمه بازیافت هوای گرم از بدنه موتور، آب خنک‌کننده و یا گرمای خروجی از دودکش، استفاده از مبدل حرارتی است. وقتی که ترکیب اجزاء این هوای گرم چندان مهم نباشد، می‌توان از گرمای خروجی از دودکش به صورت مستقیم استفاده نمود. البته برای بازیافت حرارت به صورت آب گرم هم استفاده از مبدل حرارتی ضرورت دارد، تا اجزاء موجود در گاز گرم خروجی و یا آب خنک‌کننده به آب گرم بازیافتی وارد نشود.

برای بازیافت حرارت به صورت بخار با فشار بالاتر از 205 کیلو پاسکال (Kpa) لازم است تا از یک دیگ بخار بازیافت استفاده شود.

برای فشارهای کمتر از این مقدار، انرژی حرارتی جذب شده از آب خنک‌کننده را می‌توان به عنوان یک منبع تولیدبخار اضافی از طریق بکارگیری یک دیگ بخار جانبی بکار گرفت. با توجه به اینکه بخار تولیدی از طریق بازیافت حرارت آب خنک‌کننده به 205 کیلو پاسکال محدود می‌گردد، می‌توان چیلرهای جذبی فشار پائین ( تقریباً 184 کیلو پاسکال) را به این طریق تغذیه نمود.



## فصل 11

### سیستم‌های توزیع برق

سیستم‌های توزیع توان الکتریکی وظیفه تأمین توان الکتریکی مورد نیاز تجهیزات مصرف کننده انرژی الکتریکی را به عهده دارند و این توان را در محل مورد نیاز آن تجهیزات تأمین می‌نمایند.

در حقیقت سیستم توزیع، رابط بین تأمین کننده انرژی الکتریکی و مصرف کننده آن است. فرآیندهایی که تأمین برق و بخار را بصورت توأم عهده‌دار می‌باشند (CHP) دارای سیستم توزیع دیگری خواهند بود. این نوع سیستم در فصل 10، (سیستم‌های هوای فشرده و موتورهای دیزلی برق و بخار) توضیح داده شده است.

معمولاً توان الکتریکی تولید شده در نیروگاه به ترانسفورماتور افزایش پست نیروگاه منتقل می‌شود که در سطوح ولتاژی بالایی همچون 400، 230 و یا 132 کیلوولت قرار دارد. این توان پس از انتقال به پست‌های کاهنده در مسیر، نهایتاً به پست تبدیل ورودی مجتمع محل

مصرف وارد می‌شود ( پست اصلی کارخانه یا ساختمان ) و با ولتاژهای کمتری نظیر 63، 20، 11 و یا 6 کیلوولت خارج می‌گردد. این ولتاژ معمولاً وظیفه تغذیه پست‌های فرعی در سطح کارخانه را عهده دار است و در بعضی موارد مصرف کننده‌های بزرگ موتوری نیز مستقیماً از طریق یک ترانسفورماتور اختصاصی از این طریق تغذیه می‌شوند و بقیه بارهای الکتریکی موجود در سطح کارخانه بوسیله ولتاژ خروجی از ثانویه یک یا چند ترانسفورماتور موجود در پست‌های فرعی تغذیه می‌گردند، که سطح عمومی ولتاژ در این قسمت، 400 ولت فاز سه

(230 ولت تک فاز) می‌باشد.

روشنایی ساختمان‌ها، کارگاهها و محوطه از طریق تابلوهای توزیع برق، انرژی الکتریکی مورد نیاز را دریافت می‌کنند که عموماً سطح ولتاژ آنها تک فاز ( 230 ولت ) می‌باشد. در روند این سیستم توزیع از تجهیزات اندازه‌گیری ثابت (نصب شده) همچون ولت‌متر، آمپر‌متر و کنتور در سطوح مختلف ولتاژی استفاده می‌شود و در صورت لزوم به اندازه‌گیری در سایر نقاط مورد نظر می‌توان از دستگاههای اندازه‌گیری قابل حمل نیز استفاده نمود. این تجهیزات اندازه‌گیری به واسطه ترانسفورماتورهای ولتاژ جریان به مسیر برق متصل می‌شوند و در اندازه‌گیریها باید به نسبت تبدیل این ترانسفورماتورها دقت نمود.

### 11-1- روش‌های پایش و اندازه‌گیری

بکارگیری یک دستگاه آنالیزور توان الکتریکی اطلاعات فراوانی را از چگونگی مصرف انرژی الکتریکی در اختیار قرار می‌دهد. یک دستگاه آنالیزور خوب، توانایی اندازه‌گیری، ثبت و نمایش تقاضای توان الکتریکی، تعادل بار، ولتاژ، جریان، ضریب توان و ... را خواهد داشت و با این اطلاعات می‌توان بررسی‌های مورد نیاز را به خوبی انجام داد و تصمیمات مدیریتی لازم را اخذ نمود.

بر اساس این اطلاعات در نرم افزار دستگاه آنالیزور می‌توان گزارشات برنامه‌ریزی شده‌ای را استخراج کرد که مبنای گزارشات ممیزی انرژی الکتریکی خواهد بود. این آنالیزورها را می‌توان به صورت دائم یا موقت در چند مکان مختلف نصب کرد. نصب دائم این آنالیزورها معمولاً در ورودی اصلی توان الکتریکی یا پست اصلی صورت می‌پذیرد.

هنگامی از این آنالیزورها به عنوان دستگاه قابل حمل استفاده می‌شود که قصد انجام ممیزی انرژی الکتریکی و ثبت شرایط مصرف انرژی الکتریکی در بازه زمانی مشخصی وجود داشته باشد. (یک روز، یک هفته، یک ماه) و یا حتی برای اندازه‌گیری‌های لحظه‌ای پارامترها نظیر بررسی ضریب توان موتورهای جداگانه.

#### **اندازه‌گیری‌های لحظه‌ای و کوتاه مدت به دلایل ذیل انجام می‌شود:**

1. تفکیک مصارف بخش‌های مختلف: معمولاً در پایان هر ماه یا دوره میزان انرژی مصرفی و هزینه آن برای کل مجموعه داده می‌شود، ولی سهم بخش‌های مختلف نامشخص است. با این اندازه‌گیری‌ها می‌توان سهم هر بخش را تفکیک نمود.
2. حسابرسی و حسابداری انرژی مصرف شده: با اندازه‌گیری می‌توان میزان مصرف انرژی به ازای هر واحد محصول یا خدمات ارائه شده را تعیین نمود (SEC)
3. محاسبه کارایی تجهیزات الکتریکی و فرآیندهای مصرف کننده
4. گردآوری اطلاعات مورد نیاز برای پروژه‌های ممیزی انرژی
5. کارهای تعمیراتی، شناسایی مشکلات بهره‌برداری و گزارش به مدیران: گردآوری اطلاعات مصرف انرژی جهت پشتیبانی از کارهای تعمیراتی بسیار ارزشمند است و کمک شایانی به شناسایی مشکلات بهره‌برداری بهینه از تجهیزات می‌نماید. از طرف دیگر آن دسته از مشکلات بهره‌برداری که مرتبط با نیروی انسانی می‌باشند نیز به راحتی مشخص می‌گردد و مدیریت توانائی تصمیم‌گیری و انجام اقدام اصلاحی را خواهد داشت.

6. تعیین پتانسیل صرفه‌جویی انرژی



## فصل 12

### برج‌های خنک‌کننده

به دلایل متعدد برج خنک‌کننده در تجهیزات صنعتی توجه خاصی را می‌طلبد. اولاً برج خنک‌کننده در بیرون از ساختمان نصب می‌شود و لذا در معرض آسیب‌های ناشی از وضعیت جوی هوای محیط قرار دارد. ثانیاً غفلت از تعمیرات منظم و ضروری می‌تواند تأثیر بسزائی بر هزینه‌های بهره‌برداری داشته باشد. سوم آنکه همین غفلت می‌تواند موجب خرابی زودرس تجهیزات بدلیل خوردگی بشود.

برج‌های خنک‌کننده حرارت را از آب جاری در سیستم جذب نموده و از طریق تبخیر به هوای محیط انتقال می‌دهند.

دو حیطة اصلی در برج‌های خنک‌کننده که نیاز به توجه خاصی دارند عبارتند از: بدنه خارجی برج و دقت در پالایش و تصفیه آب به منظور به حداقل رساندن اندازه برج و میزان خوردگی آن.

اجرای یک برنامه بازرسی مداوم و منظم، کلید اصلی رفع مشکلات فوق می‌باشد. در انتهای این فصل چک لیستی ارائه شده است که بر اساس نوع برج و سازنده آن قابلیت تغییر را نیز دارا می‌باشد.

### 12-1- فرآیند بازرسی برج خنک‌کننده

عموماً سیستم و سازه برج خنک‌کننده که در آب و هوای گرم نصب شده است هر شش ماه یکبار باید مورد بازرسی قرار گیرد. در مناطق کویری بازه‌های زمانی بازرسی باید کوتاه‌تر باشد و در این مورد باید به دستورالعمل‌های کارخانه سازنده و توصیه‌های مهندسين نیز توجه نمود. بخش‌های مختلف برج که باید مورد بازرسی قرار گیرد، به شرح زیر است:

1. قسمت‌هایی از سازه برج که چوبی هستند. قسمت‌های پوسیده و شکسته، تجهیزات شل شده و قسمت‌هایی که دارای قارچ زیاده از حد هستند، باید مشخص شود. بخش‌های تحت فشار که بعد از شناورهای محدودکننده جریان آب قرار دارند، از قسمت‌هایی است که موجب پوسیدگی چوب می‌شوند، چون از رسیدن آفت‌کش‌ها به این قسمت جلوگیری می‌نمایند.
2. در سایر بخش‌های سازه برج باید به بادبندهای نگهدارنده و قسمت‌هایی که در معرض خوردگی هوا و شکستگی قرار دارند و همچنین به وجود خوردگی در فلزات توجه شود. در قسمت‌های فایبرگلاس و لوله‌ها، باید مراقب شکستگی‌ها و قطع اتصالات بود.
3. توزیع آب در داخل برج باید یکسان باشد و از نشستی در لوله‌ها جلوگیری شود.

4. فن‌های برج نباید دارای لرزش اضافی باشند، پیچ‌ها و بست‌های فن‌ها را بررسی نمائید. کج شدگی، خارج شدن از فرم، خوردگی و جرم‌گیری را در پره‌های فن مورد دقت قرار دهید. در فصل 6 (تجهیزات جانبی) اطلاعات بیشتری در مورد فن‌ها ارائه شده است.
5. بایستی بازرسی‌های لازم برای یافتن دریچه‌های شکسته و یا خرد شده انجام شود. دریچه‌های خروجی آب تنظیم گردند.
6. بازرسی‌های لازم برای شناسایی شناورهای محدودکننده جریان که بر روی آنها خزه روئیده است و یا دچار سائیدگی شده‌اند، بایستی انجام شود.
7. در پاشنده‌های قسمت آب گرم باید به رشد خزه‌ها و جلبک‌ها و میزان پاشش توجه نمود. در فصول گرم پاشنده‌ها باید ماهیانه مورد بازدید و بررسی قرار گیرند.
8. تمامی مشاهدات و بررسی‌ها باید در چک لیست کاربران ثبت شود که شامل سطح روغن جعبه دنده، میزان روغن اضافه شده (دفعات اضافه کردن روغن می‌تواند نشانگر وجود نشتی باشد)، اطلاعات مربوط به آب، عناصر شیمیایی و دریچه‌های آب گرم خواهد بود.

### پایش آب خنگ‌کننده

1. ثبت اطلاعات مربوط به آب بایستی بطور مرتب و روزانه انجام پذیرد. محدوده‌های کنترل، ظرفیت‌ها و توانائی‌های سیستم کنترل (خصوصاً برای کلسیم، PH، خاصیت قلیایی، میزان آفت کش، عناصر شیمیایی، قابلیت هدایت، میزان فسفات). روشهای پالایش و تصفیه آب کاملاً پیگیری و اجرا گردد.
2. رنگ ظاهری آب برای کنترل گل‌آلود بودن و مقدار کف آب بایستی بطور مداوم مورد بررسی قرار گیرد.



3. سطوح نمناک به منظور پیشگیری از تشکیل لجن، جلبک و ایجاد حشرات مختلف باید مورد بازرسی قرار گیرد. همین اقدام برای بخش‌هایی که داخل آب قرار دارند نیز لازم است. در جاهایی که امکان بروز خوردگی وجود دارد از تجهیزات تشخیص دهنده خوردگی استفاده شود.
4. افزودنی‌های شیمیایی را کنترل کنید تا جریان و دبی آب یکسان و قابل مشاهده باشد.

### اندازه‌گیری کارایی برج خنک‌کننده

برای مشخص کردن عملکرد مناسب برج خنک‌کننده، یک روش مناسب، اندازه‌گیری و تعیین میزان کارایی آن است. این کار با انجام یک آزمایش گرمایی که در استاندارد ATL-105 (مربوط به انیستیتو برج خنک‌کننده) تشریح شده است، امکان پذیر می‌باشد. محاسبات و روابط ریاضی به صورت برنامه‌های کامپیوتری و برنامه‌های قابل اجرا در ماشین حساب‌های مهندسی در بازار یافت می‌شود. در یک روش دیگر کارایی برج خنک‌کننده با اندازه‌گیری دبی آب در گردش، درجه حرارت آب سرد و گرم و درجه حرارت هوای مرطوب و با اختلاف 10 درصد قابل محاسبه است.

این آزمایشات و اندازه‌گیری‌ها را می‌توان بوسیله پرسنل مجرب مجموعه و یا با استفاده از پیمانکاران انجام داد. مبدل‌های حرارتی نیز می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد تا عملکرد انتقال حرارت پایش شود و نواقص سیستم تصفیه آب زودتر معلوم شود.

رشد باکتریها و خزه‌ها در داخل آب می‌تواند منجر به خرابی سریع سیستم شود. پدیدار شدن لجن روی اجزاء غوطه‌ور در آب نشانه خوبی برای وجود مشکل می‌باشد. در صورتی که ذرات معلق لجن و خزه در تانک ذخیره برج خنک‌کننده یافت شود، بیانگر رشد خزه‌ها و وجود لجن در قسمت‌های دور از دسترس برج می‌باشد. وقتی که این اتفاق افتاد رعایت توجه به موارد زیر ضروری است:

1. سطح و میزان آفت کش را مجدداً بررسی کنید. اگر کمتر از حد لازم بود، مقدار آن را افزایش دهید.
2. اگر سطح و میزان آفت کش مناسب است، اضافه کردن آن ممکن است در عملکرد سیستم اختلال ایجاد کند، لذا نباید میزان آن را از حد تعیین شده بیشتر نمود تا از بروز مشکلات مسمومیت احتمالی جلوگیری شود.
3. باید از انواع متنوع آفت کش استفاده شود تا میکروارگانیزم‌های موجود در آب نسبت به نوع خاصی ایمنی پیدا نکنند.

### 12-2- بهره‌وری انرژی در برج‌های خنک کننده

بیشترین هزینه بهره‌برداری در برج خنک کننده مربوط به هزینه‌های برق برای فن‌های موجود در برج است. فن‌ها معمولاً چند سرعت هستند. بهترین زمان تغییر سرعت فن از سرعت پائین به سرعت بالا و بالعکس بر اساس تجربه بدست می‌آید که اگر توسط کاربران به موقع انجام شود، سبب صرفه‌جویی مصرف انرژی خواهد شد.

جدول 11- کاربرگ یادداشت اطلاعات اجزاء برج خنک‌کننده

کاربر:		تاریخ:
توجه: برای کنترل سطح روغن جعبه دنده فن‌ها باید خاموش شوند.		
کنترل روغن و صدا	کنترل مکانیکی	فن شماره 1
کنترل روغن و صدا	کنترل مکانیکی	فن شماره 2
کنترل روغن و صدا	کنترل مکانیکی	فن شماره 3

افزودنی‌های شیمیایی	
لیتر	تصفیه شیمیایی 1 - (سطح ماده در تانک)
لیتر	کنترل کف (سطح در تانک)
لیتر	کنترل لجن (سطح در تانک)
ml/min	جریان مواد شیمیایی از پمپ تغذیه
	بررسی وضعیت ظاهری پمپ
	فشار آب برگشتی
	پمپ‌های برگشت آب
	فشار تخلیه پمپ‌ها
	سطح روغن پمپ‌ها
	دمای بدنه پمپ‌ها

## مراجع

1. Zeitz Ronalds A., Energy Efficiency Hand book, Council of Industrial Boiler Owners (GIBO), 2004, USA
2. Wulfinghoff Donald R. , Energy Efficiency Manual , Energy Institute Press, 1999. US
- 3 – امانی سعید، عبدالرضا کرباسی، عایق‌های حرارتی، سازمان بهره‌وری انرژی ایران، تهران، 1383
- 4- صرفه‌جوئی و مدیریت انرژی در سیستم‌های حرارتی، سازمان بهره‌وری انرژی ایران، تهران، 1383



## ضمائم

### الف - میزان هوای اضافی

به ازای ظرفیت‌های مختلف تولید بخار در دیگ‌های بخار، اگر میزان هوای اضافی در حد بهینه باشد، دیگ بخار در حداکثر راندمان خودکار خواهد کرد. میزان بهینه هوای اضافی یا اکسیژن اضافی معادل آن، درصدی است که بهترین تعادل را بین سوخت احتراق نیافته و تلفات گرمائی گاز خروجی ایجاد می‌نماید. دیگ‌های بخار به دلایل زیر معمولاً با میزان هوای اضافی بیشتر از حد بهینه کار می‌کنند:

- نسبت سوخت به هوا در دیگ‌های بخار توسط سیستم‌های مکانیکی کنترل می‌شود. لذا لازم است تا بطور منظم و مداوم مورد بررسی قرار گرفته و تنظیم مجدد شود. اتصالات این سیستم معمولاً طوری تنظیم می‌شوند که دیگ بخار با میزان هوای اضافی بیشتری کار کند تا سیستم پاسخگوی تغییر فشار منبع سوخت ( یا به عبارت دیگر دبی سوخت ورودی)، میزان حرارت تولیدی و غیره باشد.

- آنالیز اکسیژن در دیگ‌های بخار به صورت لحظه‌ای و مداوم عمل نمی‌کند بلکه در مقاطع مختلف زمانی عمل می‌نماید.
  - مدیریت کاربری سیستم علاقه‌مند است تا نسبت سوخت به هوا در دیگ بخار بالا باشد تا از پتانسیل سوخت‌های با ارزش حرارتی بالا نیز بهره‌مند شود.
  - به عنوان یک قانون کلی اگر 1 درصد از میزان اکسیژن اضافی کم شود، مصرف سوخت 1 درصد کاهش خواهد یافت، چون به این ترتیب با کاهش اکسیژن یا هوا، گاز خروجی کمتری تولید می‌شود، سرعت حرکت گاز نیز کمتر می‌شود، مدت زمان احتراق طولانی‌تر شده و انتقال حرارت بهبود می‌یابد. بعضی دیگر از متغیرها به شرح زیر می‌باشند:
  - وجود 5 درصد رطوبت در سوخت معادل یک درصد کاهش کارایی دیگ بخار است.
  - هر 1٪ خاکستر اضافه بر 10٪، معادل 0/3 درصد کاهش کارایی دیگ بخار را به دنبال دارد.
  - به ازای هر 25 درجه سانتی‌گراد افزایش دمای هوای ورودی، راندمان دیگ بخار به میزان 1٪ افزایش می‌یابد.
  - وجود 1٪ هیدروژن اضافی معادل 1٪ کاهش کارایی دیگ بخار است.
  - هر 40 درجه سانتی‌گراد افزایش درجه حرارت در گاز خروجی معادل کاهش 1٪ کارایی دیگ بخار است.
- یک روش مناسب برای ارزیابی بهبود در عملکرد دیگ بخار، اندازه‌گیری میزان کاهش هوای اضافی است که کارایی دیگ بخار را قبل و بعد از تغییر میزان هوای اضافی نشان می‌دهد. روابط ریاضی محاسبات کارایی دیگ بخار با این روش را می‌توان در دستورالعمل آزمایش دیگ بخار انجمن مهندسين مکانیک آمریکا (ASME) با شماره PTC 4.1 پیدا نمود.

برای نشان دادن کارایی دیگ بخار، اطلاعات مربوطه نسبت به حالت بار پایه در هر بار مشخص گردآوری می‌شود. میزان هوای اضافی در این حالت توسط سیستم کنترل تنظیم می‌شود و لازم نیست که تغییری در این تنظیمات بوجود آید. این میزان هوای اضافی در سطحی تنظیم می‌شود که دقیقاً دود روی شعله قابل مشاهده باشد و یا میزان دی اکسید کربن در حد قابل قبولی قرار گیرد. در این نقطه، کارایی دیگ بخار اندازه‌گیری می‌شود. برای سوخت‌های جامد، میزان هوای اضافی کمی بیشتر خواهد بود یا میزان کربن در خاکستر به جای مانده به حداقل برسد.

روش گردآوری اطلاعات معتبر برای محاسبه کارایی با کالیبره کردن آنالیزورها و ترانسمیترها شروع می‌شود. سپس باید شرایط پایدار برای تولید بخار به میزان ثابت برای دیگ فراهم گردد. اطلاعات باید در یک بازه زمانی ثبت گردد و در طی این بازه زمانی شرایط دیگ بخار ثابت باقی بماند. متوسط فشار و درجه حرارت و کل میزان تولید بخار و مصرف سوخت در نظر گرفته می‌شود، به منظور قابل قبول بودن نتایج، ASME توصیه می‌نماید که بازه زمانی برای سوخت گاز یک ساعت و برای سوخت مایع و جامد چهار ساعت منظور گردد. جدول شماره (12) اطلاعات کارایی (راندمان) نمونه را برای دیگ‌های بخار به ازای تغییرات میزان اکسیژن اضافی نشان می‌دهد. دیگ بخار در نظر گرفته شده دارای اکونومایزر و گرمکن‌های هوا می‌باشد.

جدول 12 - تغییرات کارایی (راندمان) دیگ بخار نمونه برای سوخت‌های متداول به ازای

تغییرات هوای اضافی

هوای اضافی (%)	گاز طبیعی	سوخت مایع سبک	سوخت مایع سنگین	زغال سنگ دارای قیر
2	٪83/08	-	-	-
2/5	٪82/37	٪85/35	٪88/91	-
3	٪81/68	٪84/63	٪86/11	٪87/58
3/5	80/71	٪83/61	٪85/22	٪86/74



---

4	:79/72	:82/57	:84/22	:85/79
4/5	:78/60	:81/40	:83/08	:84/72
5	:77/31	:80/05	:81/78	:83/48
5/5	:75/32	:78/51	:80/27	:82/07
6	:74/03	:76/68	:78/51	:80/40
<b>6/5</b>	<b>:72/01</b>	<b>:74/52</b>	<b>:78/43</b>	<b>:78/42</b>

با محاسبه مقادیر کارآیی در قبل و بعد از تغییر میزان هوای اضافی، صرفه‌جویی در میزان سوخت مصرفی مستقیماً قابل محاسبه می‌باشد. نسبت کارآیی قبل و بعد از تغییرات، درصد سوخت لازم برای تولید همان مقدار بخار در کارآیی جدید را نشان می‌دهد. صرفه‌جویی سوخت تفاضل عدد یک از این درصد می‌باشد.

به عنوان مثال اگر کارآیی دیگ بخار قبل از تغییر هوای اضافی 82 درصد و بعد از آن 85 درصد باشد، در این صورت خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \text{کارآیی (پایه)} - 1 = \text{صرفه‌جویی سوخت} &= \frac{\text{کارآیی (پایه)}}{\text{کارآیی (بهبود یافته)}} \\ \text{کارآیی (بهبود یافته)} &= 1 - \frac{\text{صرفه‌جویی سوخت}}{\text{کارآیی (پایه)}} \\ &= 1 - \frac{0/82}{0/85} \\ &= 0/0353 \text{ یا } 3/53\% \\ \text{کارآیی (پایه)} &= \frac{\text{کارآیی (بهبود یافته)}}{\text{کارآیی (پایه)}} \\ &= \frac{0/82}{0/85} \\ &= 0/9647 \text{ یا } 96/47\% \end{aligned}$$

وقتی که این رابطه با جدول فوق مورد استفاده قرار گیرد، روشی را برای تخمین میزان صرفه‌جویی سوخت از طریق کاهش اکسیژن اضافی ارائه می‌کند. این صرفه‌جویی‌ها با اتخاذ یک روش کنترل مداوم میزان اکسیژن اضافی قابل حصول می‌باشد. همانطور که پیش از این گفته شد، از آنجا که میزان هوای اضافی توسط سیستم‌های مکانیکی تنظیم می‌گردد، سیستم باید بطور دائم مورد بررسی قرار گیرد تا از دامنه تنظیم خارج نشود و عملکرد صحیحی داشته باشد.

ب - پتانسیل صرفه‌جوئی انرژی بوسیله بازیافت حرارت از زیرکش پیوسته و کنترل

بهینه زیرکش

بازیافت حرارت از زیرکش پیوسته :

شرایط:

دبی بخار = 1000000 lb.steam/hr

فشار دیگ بخار = 200 psig

درجه حرارت آب تغذیه = 60 °F

دبی زیرکش = 5%

کارایی دیگ بخار = 80%

1 \$/gal و 150000 Btu/gal گازوئیل با ارزش حرارتی = سوخت دیگ بخار

فرض می‌کنیم:

آب تغذیه = 0/05 = زیرکش

زیرکش  $\times 20 =$  آب تغذیه

یا

زیرکش + بخار = آب تغذیه

با جایگذاری و محاسبه برای زیرکش:

زیرکش = 52/631 lb/hr

با بکارگیری یک تانک تخلیه با فشار 5 psig ، مقدار بخار آماده در 5 psig از دو روش

قابل محاسبه است:

(1)

$$\text{درصد بخار تخلیه شده} = \frac{(hf)_S (hf)_F}{(hf)_g} \times 100$$

**hf<sub>S</sub>** : آنتالپی مایع در فشار دیگ بخار Btu/lb**hf<sub>F</sub>** : آنتالپی مایع در فشار تانک تخلیه Btu/lb**hf<sub>g</sub>** : گرمای نهان بخار در فشار تانک تخلیه Btu/lb

(2) یک روش دیگر برای درصد تقریبی بخار تخلیه شده از زیر کش دیگ بخار، استفاده از اطلاعات حاصله از نمودارهای دیگ بخار می‌باشد.

از روش 1:

$$\text{درصد بخار تخلیه شده} = \frac{362 - 196}{96} = 17/3\%$$

$$\text{بخار تخلیه شده} = 52631 \times 0/173 = 9105 \quad \text{lb/hr}$$

$$\text{زیرکش از تانک تخلیه} = 52631 - 9105 = 43526 \quad \text{lb/hr}$$

$$\text{کل بخار تخلیه شده در فشار 5 psig} = 1156 \quad \text{Btu/lb}$$

$$\text{حرارت صرفه‌جوئی شده در بخار تخلیه شده} = 1156 \times 9105 = 10525380 \quad \text{Btu/hr}$$

آب گذرنده از تانک تخلیه از داخل مبدل حرارتی عبور می‌کند و به مجرای فاضلاب می‌ریزد. درجه حرارت آب خروجی از مبدل حرارتی 20 درجه فارنهایت بیشتر از آب ورودی به دیگ بخار (80 درجه فارنهایت) می‌باشد.

$$\text{حرارت آب خروجی از مبدل حرارتی در 80 درجه فارنهایت} = 48 \quad \text{Btu/lb}$$

$$\text{حرارت آب ورودی به مبدل حرارت در 5 psig} = 196 \quad \text{Btu/lb}$$

$$\text{حرارت بازیافتی} = 196 - 48 = 148 \quad \text{Btu/lb}$$

$$\text{حرارت صرفه‌جوئی شده در مبدل حرارتی} = 43526 \quad \text{lb/hr} \times 148 \quad \text{Btu/lb}$$

$$= 6441848 \text{ Btu/hr}$$

$$\text{صرفه جوئی کل} = 10525380 + 6441848 = 16967228 \text{ Btu/hr}$$

با احتساب 80 درصد کارآیی برای دیگ بخار، 20 درصد حرارت ورودی تلف می شود.

$$\text{مفید Btu} = 150000 \text{ Btu/gal} \times 0/8$$

$$= 120000 \text{ Btu/gal} \text{ گازوئیل}$$

$$\text{صرفه جوئی سوخت} = \frac{16967228}{120000} \times 24 \text{ hr/day} \times 1 \text{ \$/gal} = 3393 \text{ \$/day}$$

### بازیافت حرارت از کنترل بهینه زیرکش

صرفه جوئی واقعی و قابل توجهی از طریق کنترل بهینه زیرکش قابل دستیابی است. صرفه جوئی های بیشتر نیز با کاهش مواد شیمیایی که موجب کاهش هزینه های پالایش خروجی زیرکش در واحد تصفیه آب می شود و با کاهش میزان آب تغذیه مورد نیاز دیگ بخار، بدست خواهد آمد.

داده ها :

$$\text{فشار دیگ بخار} = 600 \text{ Psig}$$

$$\text{دبی بخار} = 1000000 \text{ lb/hr}$$

$$\text{درجه حرارت آب تغذیه} = 60^\circ\text{F}$$

$$\text{کارآیی دیگ بخار} = 80\%$$

$$\text{سوخت فسیلی} = 1 \text{ \$/gal} \text{ و } 150000 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{دبی زیرکش موجود} = 8\%$$

$$20 \text{ درصد تغییر در میزان واقعی زیرکش} = \text{میزان کاهش زیرکش}$$

محاسبات :

$$\text{دبی کاهش یافته زیرکش} = 8\% - 0/2 \times 8\%$$

$$= 6/4$$

$$\text{آب تغذیه در 8 درصد زیرکش} = 1086956 \text{ lb/hr}$$

$$\text{آب تغذیه در 6/4 درصد زیرکش} = 1068376 \text{ lb/hr}$$

$$\text{آب تغذیه صرفه‌جوئی شده} = 18580 \text{ lb/hr}$$

$$\text{حرارت آب دیگ بخار در 600 psig} = 475 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{حرارت آب تغذیه در 60 درجه فارنهایت} = 28 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{حرارت صرفه‌جوئی شده} = 475 - 28$$

$$= 447 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{حرارت صرفه‌جوئی شده کل} = 18580 \times 447$$

$$= 8305260 \text{ Btu/hr}$$

$$\text{Btu مفید} = 150000 \times 80$$

$$= 120000 \text{ Btu/gal}$$

$$\text{سوخت صرفه‌جوئی شده} = 8305260 / 120000$$

$$= 69/21 \text{ gal/hr}$$

$$\text{صرفه‌جوئی اقتصادی} = 69/21 \times 24 \text{ hr/day}$$

$$= 1660 \text{ \$/day}$$

$$= 606280 \text{ \$/hr}$$

## ج – ضرایب هم ارزی و تبدیل واحدهای انرژی

### Energy Conversions and Equivalencies

#### Length units:

- 1 foot (ft) = 0.3048\* meter (m) = 30.48\* centimeters (cm)
- 1 inch (in.) = 0.0254\* m = 2.54\* cm
- 1 mile (mi.) = 1609.344\* m = 1.609344\* kilometers (km)
- 1 km = 1000\* m
- 1 fathom (fath) = 6 (ft)
- 1 micron =  $10^{-4}$  cm
- 1 furlong = 220 yd
- 1 inch(in.) = 0.0833 foot
- 1 foot (ft) = 12\* inch
- 1 yard(yd) = 3\* foot
- 1 mile(mi) = 5280\*foot=1760\* yard

#### Area units:

- 1 square inches(in<sup>2</sup>) = 6.452 square centimeters(cm<sup>2</sup>)
- 1 square foot (ft<sup>2</sup>)= 144\* square inches (in<sup>2</sup>)
- 1 square meters(m<sup>2</sup>) = 10.76 square foot (ft<sup>2</sup>)
- 1 square miles (mi<sup>2</sup>) = 3097600\*square yards
- 1 square yards = 9\* square foot (ft<sup>2</sup>)
- 1 darcy =  $9.8697*10^{-13}$  m<sup>2</sup>
- 1 hectare= 10 m<sup>2</sup> = 2.47105 acre

#### Volume (capacity) units:

- 1 barrel (bbl) = 42\* U.S. gallons = 0.1589873 m<sup>3</sup>

- 1 U.S. gallon = 3.785412 liters =  $3.785412 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
- 1 cubic foot (cu ft,  $\text{ft}^3$ ) =  $2.831685 \times 10^{-2} \text{ m}^3$
- 1 liter (L) =  $0.001 \text{ m}^3$
- 1 milliliter (mL) =  $0.001 \text{ L} = 1 \text{ cubic centimeter (cm}^3) = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
- 1 liter(L) = 1.057 quarts (u.s.liquid)
- 1 pint = 0.125 gallon
- 1 u.s.gallon = 0.8327 imperial gallons
- 1 kilo liter = 6.2898 barrels
- 1 cubic inches( $\text{in}^3$ ) = 16.39 cubic centimeters
- 1 cubic foot ( $\text{ft}^3$ ) = 1728\* cubicinches ( $\text{in}^3$ )
- 1 u.s.gallon= 0.1337 cubic foot ( $\text{ft}^3$ )

#### Mass or weight units:

- 1 pound-mass (lbm) = 0.4535924 kilogram (kg) = 453.5924 grams (g)
- 1 short ton (ts) = 1\* U.S. ton = 2000\* lbm = 907.1847 kg
- 1 long ton (tl) = 1\* U.K. ton = 2240\* lbm = 1016.047 kg
- 1 metric ton (tm) = 1\* tonne = 1000\* kg = 1,000,000\* grams(g) = 1\* Megagram (Mg) = 2205\* lbm
- 1 ounce = 0.0625 (lbm)

#### Pressure units:

- 1 N =  $10^5$  dyne = 0.224809 lbf
- 1 (lbf) = 4.4475 newton(N)
- 1  $\text{lbm/in}^2$  (absolute ) (psia) = 6.895  $\text{KN/m}^2$
- 1  $\text{lbm/in}^2$  (psia) = 0.0680 atmospheres
- 1  $\text{lbm/in}^2$  (psia) = 27.67 (in-water)
- 1  $\text{lbm/in}^2$  (psia) = 51.72 (mm-mercury Hg)(torr)
- 1  $\text{lbm/in}^2$  (gauge)(psia) = 1 psia + 14.70
- 1  $\text{Kg/cm}^2$  = 735.6 (mm-mercury ) (torr)
- 1 mm Hg = 1333.22 dyne/ $\text{cm}^2$



- $1 \text{ Kg/cm}^2 = 0.9678 \text{ atmospheres}$
- $1 \text{ atmosphere} = 101.3 \text{ KN/m}^2$
- $1 \text{ Kg/cm}^2 = 14.22 \text{ psia}$
- $1 \text{ atmosphere} = 14.70 \text{ psia} = 29.92 \text{ (in-mercury Hg)}$
- $1 \text{ bar} = 100 * \text{ KN/m}^2 = 0.9869 \text{ atmospheres}$
- $1 \text{ bar} = 1.020 \text{ Kg/cm}^2 = 0.1 \text{ mpa}$
- $1 \text{ KN/m}^2 = 0.1450 \text{ psia} = 0.009869 \text{ atmospheres}$
- $1 \text{ (in-water)} = 0.03614 \text{ psia}$

### Density:

- $1 \text{ lbm/ft}^3 = 1.601846 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^3 = 16.01846 \text{ kg/m}^3$
- $1 \text{ lbm/bbl} = 2.853010 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3 = 2.853010 \text{ kg/m}^3$
- $1 \text{ lbm/U.S. gallon} = 0.1198264 \text{ g/cm}^3 = 119.8264 \text{ kg/m}^3$
- $1 \text{ g/cm}^3 = 1000 * \text{ kg/m}^3 = 62.42 \text{ lbm/ft}^3$

### Viscosity:

- $1 \text{ centipoises} = 0.0006720 \text{ lbm/ft.s} = 0.001 * \text{ N.S/m}^2$
- $1 \text{ lbm/ft.s} = 1488 \text{ centipoises}$
- $1 \text{ poises} = 100 * \text{ centipoises} = 1 * \text{ gr/cm.s}$
- $1 \text{ N.s/m}^2 = 1000 \text{ centipoises}$

### Energy units:

- $1 \text{ British thermal unit (Btu)} = 1055.056 \text{ joules (J)} = 252.1644 \text{ cal} = 778.1693 \text{ ft-lbf}$
- $1 \text{ foot-pound (ft-lbf)} = 1.355818 \text{ joules (J)} = 0.3240483 \text{ cal}$
- $1 \text{ calorie (cal)} = 4.184 * \text{ joules (J)}$
- $1 \text{ dietary (food) Calorie (Cal)} = 1000 * \text{ calories} = 1 * \text{ kilocalorie (kcal)}$
- $1 \text{ hp-hr} = 2.684520 \times 10^6 \text{ J} = 0.7456999 \text{ kilowatt-hour (kW-hr)}$
- $1 \text{ kilowatt-hour (kW-hr)} = 3.6 * \times 10^6 \text{ J} = 3412.141 \text{ Btu} = 2.655224 \times 10^6 \text{ ft-lbf}$

- 1 Quad = 1\* quadrillion Btu =  $1.0 \times 10^{15}$  Btu = 1.055056 exajoule (EJ)
- 1 megajoule (MJ) =  $1.0 \times 10^6$  J
- 1 gigajoule (GJ) =  $1.0 \times 10^9$  J =  $9.478170 \times 10^5$  Btu
- 1 terajoule (TJ) =  $1.0 \times 10^{12}$  J
- 1 petajoule (PJ) =  $1.0 \times 10^{15}$  J
- 1 exajoule (EJ) =  $1.0 \times 10^{18}$  J =  $9.478170 \times 10^{14}$  Btu = 0.9478170 Quad
- 1 Therm = 100,000\* Btu =  $1.055056 \times 10^8$  J
- 1 erg =  $2.39 \times 10^{-8}$  cal = 1 dyne.cm =  $10^{-7}$  J

#### Power units:

- 1 watt (W) = 1\* joule/second (J/s) = 3.412141 Btu/hr
- 1 horsepower (hp) = 550\* ft-lbf/s = 2544.433 Btu/hr = 745.6999 W
- 1 quadrillion Btu per year (Quad/yr) =  $1.055056 \times 10^{12}$  MJ/yr =  $1.055056 \times 10^6$  TJ/yr = 1.055056 EJ/yr
- 1 newton – meter (torque) = 0.737562 (lbf-ft)

#### Thermal Conductivity:

- 1 Btu/ft.hr.°F = 1.731 W/m.°K = 1.488 Kcal/m.°C.hr
- 1 W/ m.°K = 0.5778 Btu/ft.hr.°F
- 1 Kcal/m.°C.hr = 1.163 W/m.°K = 0.6720 Btu/ft.hr.°F
- 1 Btu/ft<sup>2</sup>.hr.°F = 5.678 W/m<sup>2</sup>.°K

#### Heat capacity:

- 1 Btu/lbm.°F = 1 \* cal/gr.°C = 4187 J/Kg.°K
- 1 J/Kg.°K = 0.0002388 Btu/lbm.°F
- 1 cal/gr.°C = 1\* Btu/lbm.°F

#### Calorific value = Heating value:

- Mass basis:
  - 1 Btu/lbm =  $2.326 \times 10^3$  J/kg

- 1 cal/g = 4184\* J/kg
- 1 cal/lbm = 9.224141 J/kg
- Volume basis:
  - 1 Btu/U.S. gallon =  $7.742119 \times 10^{-2}$  (kW-hr)/m<sup>3</sup> =  $2.787163 \times 10^5$  J/m<sup>3</sup>
  - 1 Btu/ft<sup>3</sup> =  $1.034971 \times 10^{-2}$  (kW-hr)/m<sup>3</sup> =  $3.725895 \times 10^4$  J/m<sup>3</sup>
  - 1 ft-lbf/U.S. gallon =  $3.581692 \times 10^2$  J/m<sup>3</sup>
  - 1 cal/cm<sup>3</sup> =  $4.184* \times 10^6$  J/m<sup>3</sup>

**Temperature Units:**

- 1 (°K) kelvin = 1.8 (°R) Rankin
- 1 (°R) = 0.5556 (°K)
- 1 (°F) Fahrenheit = 1.8 (°C) +32
- 1 (°K) = (°C) + 273
- 1 (°R) = (°F) + 459.7

**Geothermal gradient:**

- 1 °F/ft = 1.822689 °C/m
- 1 °C/m = 0.54864\* °F/ft
- 1 °F/1000 ft = 1.822689 °C/km
- 1 °C/km = 0.54864\* °F/1000 ft

**Concentration (in water solution):**

- 1 parts per million (ppm) = 1\* (mg/lit) (milligram per liter)
- 1 parts per billion (ppb) = 1\* (mg/lit) (microgram per liter)
- 1 milligram per cubic meter (mg/m<sup>3</sup>) = 10<sup>-9</sup> (gr/cm<sup>3</sup>)
- 1 lbm/ft<sup>3</sup> = 0.01602 gr/cm<sup>3</sup>
- 1 gr/cm<sup>3</sup> = 10<sup>9</sup> ( mg/m<sup>3</sup>) = 62.42 lbm/ft<sup>3</sup>

**Flow :**

- 1 ft<sup>3</sup>/s = 448.9 u.s.gallons/min
- 1 ft<sup>3</sup>/min ( cfm) = 1.699 m<sup>3</sup>/hr

**Approximate fuel relationships:**

- 1 barrel (bbl) crude oil = 42\* gallons =  $5.8 \times 10^6$  Btu =  $6.12 \times 10^9$  J
- 1 standard cubic foot (std ft<sup>3</sup>) of natural gas (SCF) = 1000 Btu
- 1 gallon gasoline =  $1.24 \times 10^5$  Btu
- 10<sup>6</sup> cubic feet of natural gas = 172 barrels of crude oil
- 1 ton coal = 20-40  $\times 10^6$  Btu
- 1 lbm bituminous coal =  $1.3 \times 10^4$  Btu
- 1 ton uranium-235 (<sup>235</sup>U) =  $70 \times 10^{12}$  Btu
- 1000 bbl/day of oil =  $2.117 \times 10^{12}$  Btu/yr
- 1 million barrels of oil per day (1 MBOPD)  
=  $5.8 \times 10^{12}$  Btu/day  
= 80 million tons per year of coal  
=  $5.8 \times 10^9$  ft<sup>3</sup> per day of natural gas
- 1 million tonnes of coal equivalent = 29.0 PJ
- 1 million tonnes of oil equivalent = 41.868 PJ
- 1 barrel condensate = 0.935 barrels of equivalent
- 1 PJ of Natural gas = 172000 barrels of oil equivalent
- 1 tonne LPG = 8.46 barrels of oil equivalent

**Approximate calorific values:**

- Petroleum:  
=  $5.8 \times 10^6$  Btu/bbl  
=  $1.4 \times 10^5$  Btu/U.S. gallon  
= 19,000 Btu/lbm (using a density of 7.4 lbm/gallon)  
= 42,000 Btu/kg
- Coal:  
= 6,000 to 15,000 Btu/lbm, depending on the [rank](#) of coal  
= 13,200-33,000 Btu/kg
- Natural gas:  
= 1000 Btu/ft<sup>3</sup>  
= 25,000 Btu/lbm (using a density of 0.04 lbm/ft<sup>3</sup>)  
= 55,000 Btu/kg

- Uranium-235:  
=  $3.3 \times 10^{10}$  Btu/lbm  
=  $7.3 \times 10^{10}$  Btu/kg

**Emission indices (Kg CO<sub>2</sub>/GJ)**

- LPG 60
- Natural Gas 58
- Crude Oil 76
- Coal (electricity) 290

**Multiples of Ten:**

- pico (p) =  $10^{-12}$
- nano (n) =  $10^{-9}$
- micro ( $\mu$ ) =  $10^{-6}$
- milli (m) =  $10^{-3}$
- kilo (k) =  $10^3$
- mega (M) =  $10^6$
- giga (G) =  $10^9$
- tera (T) =  $10^{12}$

**Fuel Heating Values:**

• Solid Fuel		GJ/tonne		
Black Coal	Export coking coal	29.0		
	Export steaming coal	27.0		
	Local coal (electricity)	24.0		
Brown Coal		9.5		
Coke		27.0		
Wood	Dry	16.2		
Bagasse		9.6		
Plant Biomass	Cotton trash	18.0		
• Gaseous Fuel		MJ/m <sup>3</sup>		
Natural Gas		39.0		
Ethane		66.0		
LPG	Propane	93.3		
LPG	butane	124.0		
Town Gas	reformed gas	20.0		
Gas	coke oven	18.1		
Gas	blast furnace	4.0		
• Liquid Fuel		MJ/litre	Litre/Tonne	GJ/tonne
LPG	propane	25.3	1960	49.6
LPG	butane	27.7	1750	49.1
LPG	mixture	25.7	1928	49.6
Gasoline	aviation	33.0	1412	49.6
Gasoline	automotive	34.2	1360	46.4
Kerosene	power	37.5	1230	46.1
Kerosene	turbine fuel	36.8	1261	46.4
Kerosene	lighting	36.6	1270	46.5
Heating Oil		37.3	1238	46.2
Diesel Oil	automotive	38.6	1182	45.6
Diesel Oil	industrial	39.6	1135	44.9
Fuel Oil	low sulphur	39.7	1110	44.1
Fuel Oil	high sulphur	40.8	1050	42.9
Refinery Fuel		40.9	1050	42.9
Naphtha		31.4	1534	481
Lubricants		38.8	1120	43.4
Bitumen		44.0	981	42.7
Solvents		34.4	1229	44.0
Waxes		38.8	1180	45.8
Crude Oil		38.7	1160	44.9
Ethanol		23.4	1266	29.6
LNG	-160C & 300kPa	25.0	2174	54.4
• Uranium		GJ/tonne		
Uranium	metal (U)	560,000		
Uranium	oxide (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	470,000		

وزارت نیرو  
سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سایا)

# بهره‌وری انرژی در دیگ‌های بخار

تدوین و تألیف:  
 دکتر عبدالرضا کرباسی  
 مهندس محمد علی شفیع‌زاده

کرباسی، عبدالرضا، 1338  
 بهره‌وری انرژی در دیگ‌های بخار/ تدوین و تألیف عبدالرضا کرباسی، محمد علی شفیع‌زاده.-  
 تهران : سازمان بهره‌وری انرژی ایران، 1384  
 124ص.: جدول، نمودار.

ISBN 964-6553-22-2

فهرست‌نویسی بر اساس اطلاعات فیبا.  
 1.دیگ‌های بخار- مصرف انرژی 2.دیگ‌های بخار. الف. شفیع‌زاده، محمد علی، 1343.-  
 ب. سازمان بهره‌وری انرژی ایران، ج.عنوان.  
 9ب4/ک TJ 288 621/15  
 کتابخانه ملی ایران  
 84-26905م

## بهره‌وری انرژی در دیگ‌های بخار

ناشر : وزارت نیرو - سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)

تدوین و تألیف : عبدالرضا کرباسی - محمد علی شفیع‌زاده

ویراستار : علیرضا محمدیه

تایپ و صفحه‌آرایی: لیلا سهرابی

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: چاپ فرشپوه

نوبت چاپ : اول - پائیز 1384

تیراژ : 1000 جلد

شابک : ISBN 964-6553-22-2/964-6553-22-2

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

هرگونه نقل و استفاده از مطالب این کتاب صرفاً با ذکر مأخذ و نام ناشر امکان‌پذیر است.



