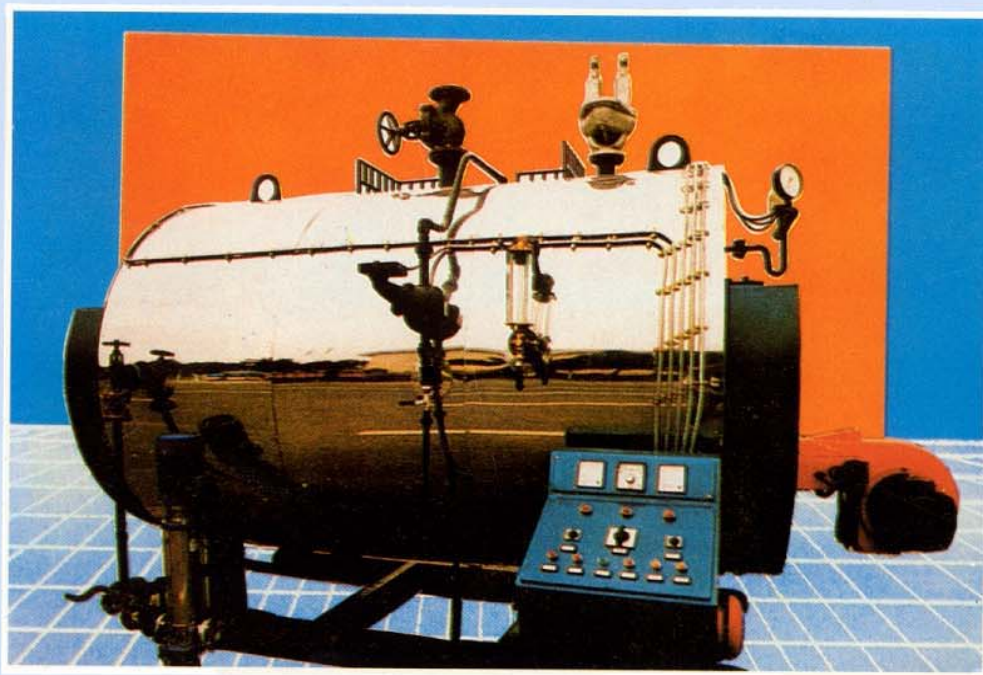




جمهوری اسلامی ایران  
وزارت نیرو  
امور انرژی

## راهنماهای فنی مدیریت انرژی



تفلیس  
دبلیو  
بخار

۱۳

دفتر بهینه سازی مصرف انرژی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## پیشگفتار

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

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

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

اتلاف این انرژی الکتریکی و اصولاً هر نوع انرژی تولید شده از منابع فسیلی، علاوه بر خسارات مالی جبران‌ناپذیری که دارد، زیانهای غیرقابل انکاری نیز بر محیط زیست ملی ما و جهان وارد خواهد آورد.

اکنون سالیان متمادی از زمانی می‌گذرد که کشورهای پیشرفته که حتی برخی از آنها از حداکثر امکانات طبیعی و صنعتی برای تولید انرژی برخوردارند، در کنار تلاش در جهت استفاده از انرژی‌های نو (خورشید، باد،

امواج، ...)، استفاده صحیح از انرژی را در رأس اهم اهداف خود قرار داده و صاحبان صنایع، صنعتگران، مدیران سازمانها، ..... و حتی سازندگان ساختمانهای مسکونی و بالاخره استفاده‌کنندگان این بناها را مخاطب قرار داده و با وضع دستورالعملها و در مواردی ضوابط و قوانین بازدارنده، آنها را تشویق، راهنمایی و حتی راهبری در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی می‌نمایند.

انجام پاره‌ای از این اقدامات، اگر در زمان مناسب نسبت به اعمال آنها اقدام گردد، حتی هیچگونه هزینه اضافی را نیز تحمیل نخواهد نمود و جهت همه‌گیر شدن جنبش جلوگیری از اتلاف انرژی، دائماً جلسات توجیهی و سمینارهایی برای تصمیم‌گیرندگان برگزار می‌گردد تا از پی‌آمدها و بهتر بگوئیم عواقب مختلف آن آگاه گردند.

در کنار اقدامات فوق، تلاش متخصصین و دانشمندان در جهت اختراع، ابداع و تولید وسایل و تجهیزات کارآمد نیز جبهه دیگری است که برای مبارزه با اتلاف انرژی گشوده شده است که از جمله آنها می‌توان به تولید صنعتی تجهیزات و لامپهای پر انرژی، کم مصرف و بادوام اشاره کرد.

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

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

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

در همین راستا، معاونت انرژی وزارت نیرو نیز اقدام به ترجمه و چاپ جزوه‌ای که ملاحظه می‌فرمائید نموده است که در کشور انگلستان و بتوسط "مرکز تحقیقات ساختمان" (Building

Research

Establishment)، "واحد صرفه‌جویی انرژی مرکز تحقیقات ساختمان" (Building Research

Energy Conservation Support Unit) "واحد پشتیبانی تکنولوژی انرژی" (Energy

Technology Support Unit) "اداره کارآئی انرژی" (Energy Efficiency Office) تهیه

گردیده‌اند که این معاونت به لحاظ ضرورت تسریع در نشر و ارائه راهنماها و دستورالعملهای فنی، هیچگونه تغییری در ارقام، آمار، نمودارها، جداول و اشکال آن نداده است ولیکن امیدوار است که انشاء... چاپ‌های بعدی این جزوه و همچنین جزوات دیگری که در دست ترجمه و چاپ قرار دارند، براساس آمار و اطلاعات کشور ایران تهیه شده و در اختیار شما قرار داده شوند.

معاونت انرژی وزارت نیرو

## فهرست مطالب

۶	.....	مقدمه
۷	.....	دیگ‌های بخار قدیمی و جدید
۷	.....	روشهای تخلیه دیگ بخار
۸	.....	هزینه‌های تخلیه
۱۰	.....	تغییر در شرایط جوشش در دیگ بخار
۱۱	.....	کنترل تخلیه دیگ بخار
۱۲	.....	تخمین میزان دبی تخلیه دیگ بخار
۱۲	.....	نمونه برداری
۱۳	.....	تخلیه پیوسته
۱۴	.....	تغییرات بار دیگ بخار
۱۵	.....	کنترل اتوماتیک TDS
۱۶	.....	کاهش مقدار TDS از میزان طبیعی
۱۸	.....	شیرهای تخلیه پیوسته
۱۸	.....	باز یافت حرارت تلف شده
۲۰	.....	جلوگیری از آلوده شدن آب تغذیه

## تخلیه دیگ بخار

موضوع تخلیه دیگ بخار که بمنظور پاکسازی آن و جلوگیری از اتلاف انرژی بکار می‌رود بسیار پیچیده است. این موضوع شامل روابط بین عوامل مختلفی از جمله نوع دیگ بخار، مقدار درصد حداکثر مجاز ذرات محلول و معلق، کیفیت آب تغذیه و پردازش آب تغذیه می‌باشد.

روشهای موجود کنترل تخلیه دیگ بخار بسیار متفاوت می‌باشند. بعضی از دیگ‌های بخار موجود با روشهایی کنترل می‌شوند که اصلاً مناسب آنها نیست، در نتیجه تلفات انرژی ایجاد شده حتی می‌تواند برای مسئولین تأسیسات ناشناخته باشد.

این کتابچه برای اپراتورها و مهندسين دیگ‌های بخار تدوین شده است و درمورد این موضوع که چگونه می‌توان تلفات و در نتیجه هزینه‌ها راکاهش داد، بحث می‌نماید.

### مقدمه

فرایند تولید بخار برای کاربردهای صنعتی همواره با تجمع ذرات محلول و معلق در آب دیگ بخار همراه است.

چنانچه غلظت ذرات محلول و معلق از یک حد معین، بالاتر رود این مواد، توده‌ای کف شکل را ایجاد می‌نمایند که باعث میشود آب دیگ به صورت مخلوط معلق مایع درگاز در درون بخار ظاهر شود (carry – over)\*. علاوه براین از آنجا که این مواد بصورت جداری نازک در داخل دیگ بخار رسوب می‌کنند، میتوانند باعث افزایش حرارت‌های موضعی و خرابی احتمالی لوله‌ها شوند.

بنابراین کنترل غلظت ذرات امری ضروری است که با روش تخلیه<sup>1</sup> انجام میشود. در این روش حجم معینی از آب دیگ بخار تخلیه شده و بطور خودکار با آب تغذیه<sup>2</sup> جایگزین میشود و به این ترتیب مقدار کل ذرات محلول (TDS)<sup>3</sup> در آب در سطح بهینه باقی می‌ماند.

این مسئله در انواع دیگ‌های بخار نیاز به مراقبت دقیق و نظارت بر کیفیت آب دارد. بویژه دیگ‌های بخار جدید که از نوع پوسته‌ای<sup>4</sup> میباشند بدلیل ظرفیت کم آب و محدود شدن فضای بخار نسبت به خروجی دیگ بخار، بسیار آسیب‌پذیرتر از دیگ‌های بخار قدیمی می‌باشند.

---

\* این کلمه اصطلاح عمومی برای تمام حالاتی است که آب دیگ بخار به صورت مخلوط معلق مایع در گاز در درون بخار ظاهر می‌شود. دلایل عمده عبارتند از: بالا بودن سطح آب در دیگ بخار، TDS بیش از حد، خاصیت بیش از حد قلبایی آب، وجود دترجنت‌ها، سیالهای فرآیندها و معمولتر از همه زیاد بودن ذرات معلق.

<sup>1</sup> Blow Down

<sup>2</sup> feed Water

<sup>3</sup> Total Dissolved Solid

<sup>4</sup> Shell-type packaged

## دیگ‌های بخار قدیمی و جدید

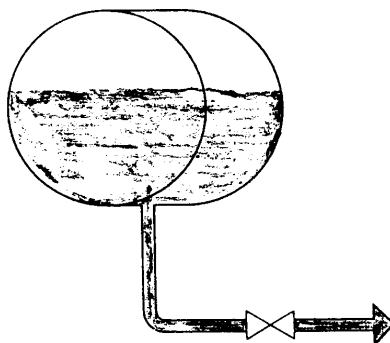
دیگ‌های بخار قدیمی که از نوع Lancashire/Cornish میباشند ظرفیت آب زیادی دارند. این دیگ‌های بخار بطور طبیعی میتوانند مقدار زیادی ذرات محلول (تا حدود  $15000^1$  ppm) را بدون مشکل اختلاط ذرات آب با بخار تحمل کنند.

حرکت آرام آب که از مشخصات این دیگ‌های بخار میباشند باعث میشود که بتوان ذرات ته‌نشین شده در زیر دیگ بخار را جمع‌آوری کرد. برای جمع‌آوری این ذرات به شیرهای تخلیه چرخشی<sup>۲</sup> با عملکرد سریع نیاز است و معمولاً این عمل ۲ تا ۱۰ دقیقه در هر شیفت به طول می‌انجامد. به‌طور کلی این روش دقیق نیست بطوریکه معمولاً اپراتورها در بکار بردن این روش بسیار جانب احتیاط را رعایت می‌کنند و با این کار مقدار قابل ملاحظه‌ای حرارت موجود در آب تخلیه شده تلف میشود.

دیگ‌های بخار جدید که از نوع پوسته‌ای میباشند، ظرفیت آب بسیار محدودی دارند و بنابراین تولید بخار توربولانس قابل ملاحظه‌ای در دیگ بخار ایجاد میکند. این امر موجب می‌شود تا مقدار زیادی از ذرات به صورت معلق باقی بمانند و رسوب نمایند. بدین دلیل در این نوع دیگ‌های بخار مقدار کل ذرات محلول (TDS) باید در سطح بسیار پایین‌تر (حدود  $3500$  ppm -  $2000$ ) از دیگ‌های بخار نوع Lancashire نگهداشته شود زیرا در غیر این صورت کیفیت بخار بدلیل اختلاط ذرات آب با بخار مطلوب نخواهد بود.

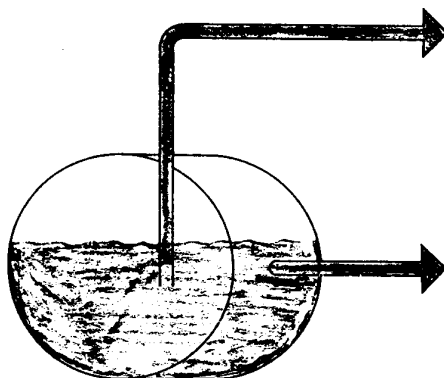
## روشهای تخلیه دیگ بخار

عمل تخلیه برای برداشتن رسوبات میتواند بطور متفاوت و بوسیله لوله‌ای که در زیر دیگ بخار (شکل ۱) قرار دارد، انجام پذیرد. این کار معمولاً یکبار در هر شیفت و بصورت دستی در فواصل زمانی کوتاه به صورت سریع و متوالی انجام میشود و مقدار تخلیه لازم بوسیله کم شدن ارتفاع درجه آب‌نما<sup>۳</sup> تخمین زده میشود. روش فوق، روش سنتی برای دیگ‌های بخار نوع پوسته‌ای است.



شکل ۱: شیر تخلیه (زیر دیگ بخار)

عمل تخلیه میتواند بصورت پیوسته و بوسیله انشعابی که از نزدیکی سطح اسمی آب دیگ بخار (شکل ۲) گرفته میشود نیز انجام گیرد. در سالهای اخیر این روش بصورت پیوسته پله‌ای<sup>۱</sup> تبدیل شده است که در آن شیرهای تخلیه توسط یک سیگنال زمانی و یا توسط سیگنالی که بوسیله بعضی از خواص آب دیگ بخار (مانند هدایت الکتریکی) ایجاد میشود بصورت تناوبی باز و بسته میشوند. این روش تحت عنوان کنترل اتوماتیک TDS نامیده میشود.



شکل ۲: نقاط تخلیه دیگ بخار

در کاربردهای عملی جدید هر دو روش تخلیه تناوبی و تخلیه پیوسته بکار میروند که روش اول عمدتاً برای برداشتن ذرات معلق که ته نشین شده است و روش دوم برای کنترل TDS بکار میرود. لازم به ذکر است که تخلیه تناوبی باید در زمانهایی که بار دیگ بخار کم است انجام گیرد و در این مورد نباید غفلت شود زیرا اگر کیفیت آب، نامرغوب (TDS زیاد) باشد، رسوبات در قسمت تحتانی دیگ جمع شده تا حدی که انتقال حرارت کند می شود و در این صورت گرم شدن دیگ بخار دچار مشکل شده و احتمالاً فاجعه آمیز خواهد بود.

### هزینه‌های تخلیه

اجازه دهید برای چند لحظه تامل کرده و یادآور شویم که خریدن آب، تصفیه آن، پمپ کردن آن به داخل دیگ بخار و حرارت دادن آن تا نقطه جوش و بالاخره دور ریختن آب، شرایط اولیه لازم برای تولید بخار میباشد اما تا زمانیکه این فرآیند بطور مناسب کنترل نشود تولید بخار میتواند انرژی زیادی را تلف کند. همچنین باید بخاطر داشت که با استفاده وسیع از شبکه آبرسانی، ثابت ماندن کیفیت آن از نظر مقدار TDS تضمین نمیشود و ممکن است برای رفع این مشکل روش تخلیه تناوبی کافی نباشد. هزینه‌های تخلیه بندرت مشخص می‌باشند زیرا این هزینه‌ها در بطن هزینه‌های کلی واحد تولید بخار نظیر هزینه‌های آب، تصفیه آب و سوخت مستتر می‌باشند. به مثال زیر توجه کنید:

<sup>1</sup> Step - Continuous



مثال:

دیگ بخاری با بازده ۸۰٪ کار می‌کند و حداکثر بخاردهی آن ۴۵۳۶kg/h (۱۰۰۰۰Ib/h) در فشار ۱۰/۳bar (۱۵۰Ib/in<sup>۲</sup>) می‌باشد و با آب ۶۰°C (۱۴۰°F) تغذیه می‌شود. دیگ بخار در هر ساعت ۴۰۸۲kg (۹۰۰۰ Ib) بخار تولید می‌کند و میزان تخلیه در هر ساعت ۴۵۴kg (۱۰۰۰Ib) می‌باشد. توان گرمایی ورودی لازم عبارت است از:

$$\text{تخلیه } 454 \text{ kg} \times 537 \text{ kJ/kg} = 243798$$

$$\text{بخار } 4082 \text{ kg} \times 2533 \text{ kJ/kg} = 10339706$$

---

$$10583504 \text{ kJ/h}$$

و یا کل توان حرارتی ورودی ۲۹۴۰ kw

و با واحدهای انگلیسی:  $1000 \text{ lb} \times 231 \text{ Btu/lb} = 231000$  تخلیه

$9000 \text{ lb} \times 1089 \text{ Btu/lb} (231 + 858) = 9801000$  بخار

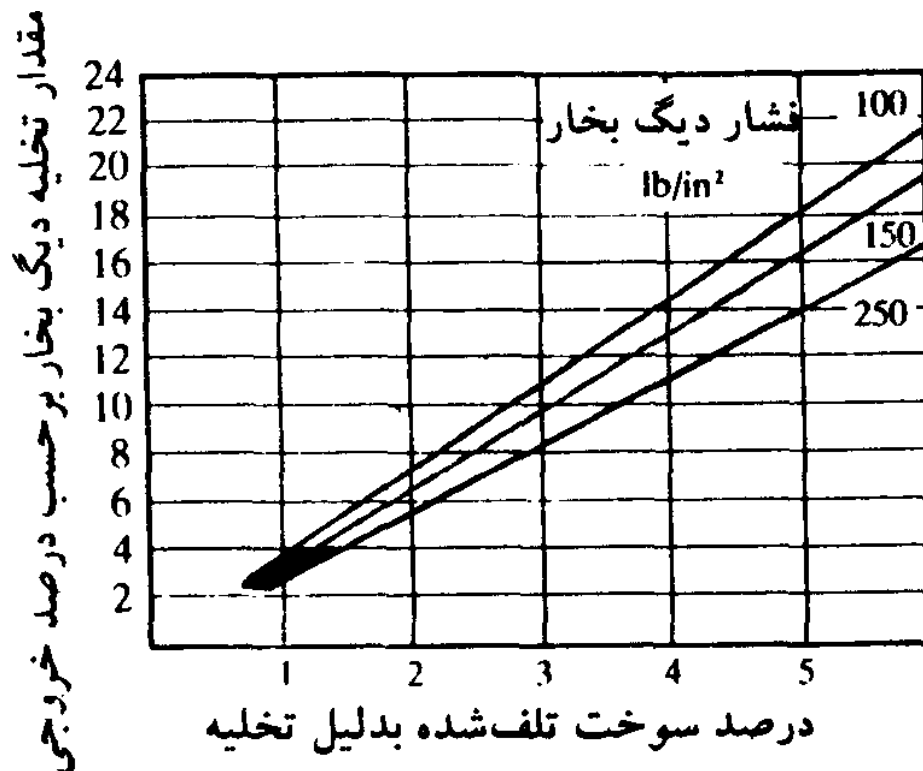
---

$$10032000 \text{ Btu/h}$$

لذا در این مثال که نمونه‌ی عامی می‌باشد، ۹۷٪ از انرژی سوخت مستقیماً برای تولید بخار و ۲/۳٪ آن برای گرم کردن آب تخلیه شده صرف می‌شود. ممکن است رقم ۲/۳٪ ناچیز بنظر برسد. اما اگر این دیگ بخار ۳۰۰۰ ساعت در سال کار کند مصرف سوختی در حدود: ۸۶۰۰ ترم (هر ترم ۱۰۰۰۰۰۰ Btu انرژی دارد) و یا ۲۴۰۰۰ مترمکعب گاز طبیعی، ۲۲۰۰۰ لیتر و یا ۴۹۰۰ گالن مازوت و ۳۹ تن زغال سنگ خواهد داشت.

به مقادیر فوق باید هزینه‌های ۱۳۵۰۰۰۰ لیتر (۳۰۰۰۰۰ گالن) آب، تصفیه آب، پمپ کردن آن و تخلیه فاضلاب را اضافه کرد که بسته به نوع سوخت، هزینه‌ای بالغ بر ۲۵۰۰ تا ۵۰۰۰ پوند در سال دارد. اگر دیگ بخار ۸۰۰۰ ساعت در سال کار کند هزینه کل به ۶۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ پوند در سال افزایش می‌یابد (توجه کنید که ارقام مذکور گرد شده‌اند).

شکل ۳ رابطه بین مقدار تخلیه و درصد سوخت که بصورت گرمای نهان تبخیر و گرم شدن آب تخلیه شده هدر می‌رود را نشان می‌دهد.



شکل ۳: رابطه بین سوخت تلف شده و میزان تخلیه

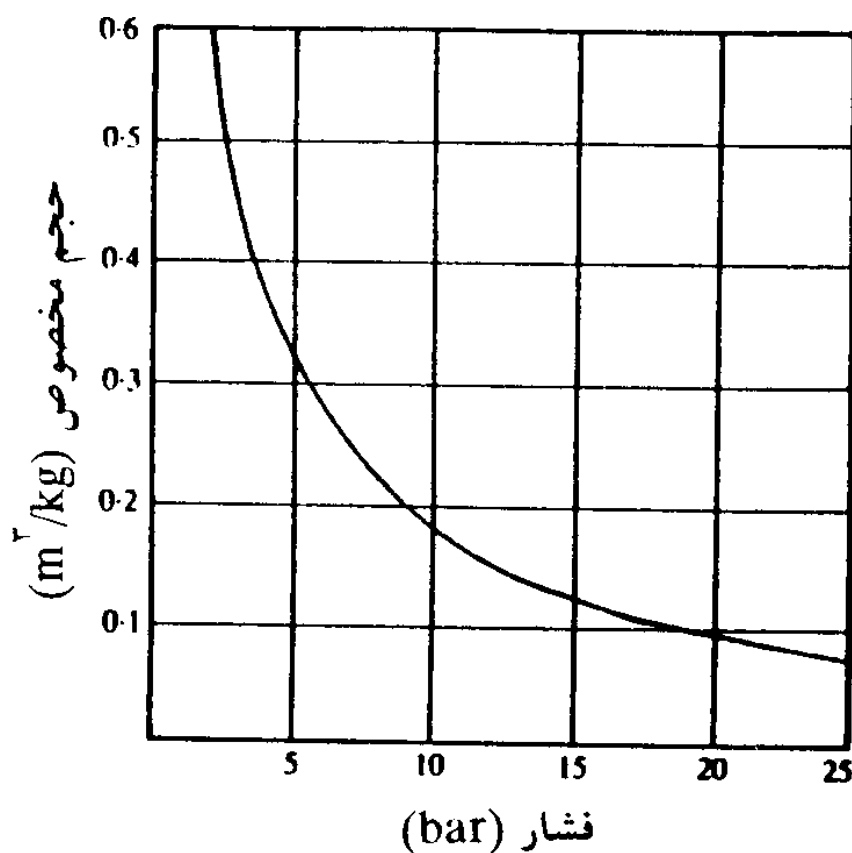
با پذیرفتن اینکه تخلیه ذرات محلول برای سلامت دیگ بخار و کیفیت بخاری که تامین می کند، ضروری است دو مطلب قابل توجه دیگر باقی می ماند:

- ۱- اولین و مهمترین مطلب اینکه مقدار تخلیه نباید از حداقل مقدار لازم تجاوز کند و هر مقدار اضافی باعث تلف شدن انرژی می شود. مهمترین گام، کنترل صحیح است.
- ۲- هنگامی که شرایط مرحله ۱ تامین شد، بازیابی حرارت از آب تخلیه شده مورد مطالعه قرار می گیرد تا معلوم شود که آیا بازیابی انرژی از آب تخلیه شده اقتصادی است یا خیر. بطور متوسط حدود ۵۰٪ از این انرژی قابل بازیابی است.

### تغییر در شرایط جوشش در دیگ بخار

حجم مخصوص بخار با فشار آن ارتباط دارد. در فشار کمتر از  $\bar{v}$  حجم بخار سرعت زیاد می شود از آنجاکه دیگ های بخار شامل آب و بخار می باشند، در این فشار مرز بین آب و بخار بیش از پیش با هم مخلوط می شوند (شکل ۴). بخار می تواند در بالا یا پایین سطح آب، قرار گیرد و اختلاط ذرات آب و

ذرات معلق در آن در داخل بخار زمانی رخ می‌دهد که بخار زیر سطح آب، مقداری از آب را به طرف بالا و به داخل بخار جابجا می‌نماید.



شکل ۴: رابطه بین حجم مخصوص و فشار بخار

اگر بخار کم‌فشار لازم باشد اکیداً توصیه می‌شود که از شیر فشارشکن که بر روی لوله اصلی خروجی بخار نصب می‌شود، استفاده شود. این کار به دیگ‌بخار این قابلیت را می‌دهد که در فشار نامی خود کار کرده و بخار را با کیفیت مطلوب تأمین نماید.

### کنترل تخلیه دیگ‌بخار

در یک سیستم تخلیه ساده که بصورت دستی کنترل می‌شود، شیرهای تخلیه باید با دست روی مقدار تخلیه لازم تنظیم شوند. هدف از کنترل، ثابت نگهداشتن مقدار کل ذرات محلول (TDS) در آب دیگ‌بخار (که معمولاً برحسب ppm بیان می‌شود) در زیر حداکثر مقدار مجاز می‌باشد. این کار باید از طریق نمونه‌برداری و آزمایش آب تا رسیدن به شرایط قابل قبول انجام شود.

## تخمین میزان دبی ۱ تخلیه دیگ بخار

در این قسمت یک روش ساده برای برآورد نرخ جریان تخلیه دیگ بخار (در صورتی که قبلاً برآورد نشده باشد) ارائه می شود:

۱- اگر میزان TDS در آب تغذیه (مخلوط آب جایگزین شده و آب برگشتی) که به دیگ بخار وارد می شود را بتوان بدست آورد، مقدار تخلیه لازم بشکل زیر محاسبه می شود:

$$\% \text{ مقدار تخلیه} = \frac{S_f}{S_b - S_f} \times 100$$

که در آن  $S_f$ : مقدار TDS آب تغذیه کننده بر حسب ppm

$S_b$ : مقدار سطح مطلوب TDS در دیگ بخار بر حسب ppm

۲- در مورد واحدهای موجود، روش فعلی تخلیه مثلاً ۲/۵ سانتیمتر (۱ اینچ) کاهش ارتفاع در درجه آبنا در فواصل زمانی منظم می باشد. با برآورد مساحت سطح آب دیگ بخار (طول × عرض) میتوان این مقدار (۲/۵ سانتیمتر) را بر حسب حجم بیان کرد و با ضرب کردن حجم در فرکانس (تعداد دفعات تخلیه در واحد زمان) می توان نرخ جریان معادل حالت تخلیه پیوسته را محاسبه کرد. باید بخاطر داشت که این مقدار به نرخ متوسط فعلی تولید بخار ارتباط دارد.

۳- در روش دیگر که میتواند جایگزین روش تخلیه فعلی شود میتوان شیر تخلیه زیر دیگ بخار را برای مدت زمان مشخص باز گذاشت. برای شیرهای چرخشی استاندارد، نرخ جریان تخلیه با طول و قطر لوله تخلیه و فشار دیگ بخار کنترل می شود. هنگامیکه شیرها باز هستند برای تخمین نرخ جریان می توان از نمودار شکل ۵ استفاده کرد و همچنین از روی این نمودار میتوان نرخ جریان معادل حالت تخلیه پیوسته را محاسبه کرد. ملاحظه می شود مجدداً مقادیر فوق به نرخ متوسط تولید بخار ارتباط دارند.

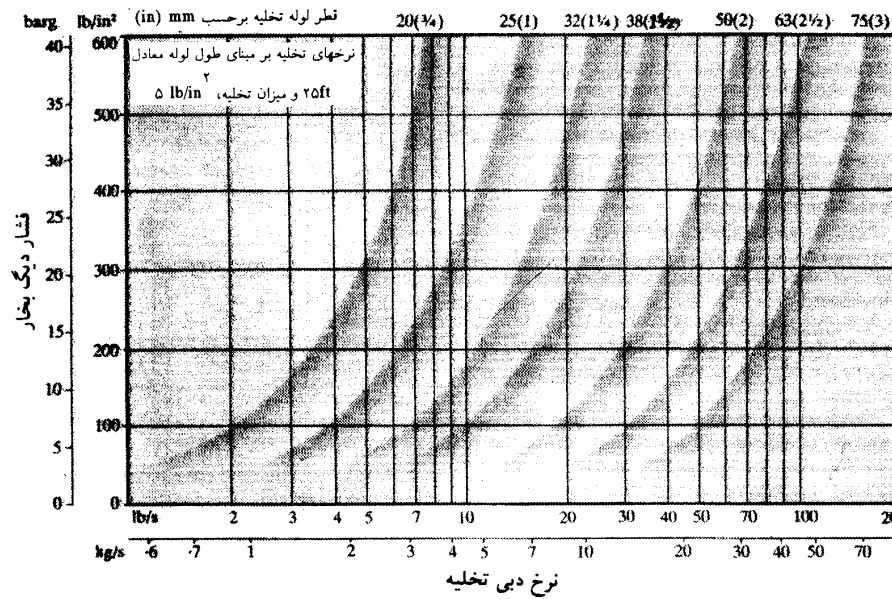
## نمونه برداری

بسیار مهم است که آب نمونه برداری شده به طور صحیح سرد شود و مستقیماً از دیگ بخار یا مسیر تخلیه گرفته نشود در غیر اینصورت تلفات فلاش بر صحت محاسبات تاثیر منفی می گذارد. لذا استفاده از خنک کننده برای آب نمونه برداری شده<sup>۲</sup> ضروری است (شکل ۶). سپس شیر تخلیه A تنظیم می شود اما مانند همه دهانه ها<sup>۳</sup> (سوراخ یا دهانه ای با اندازه معین که برای کنترل جریان سیال بکار می رود) فقط برای شرایطی که در زمان تنظیم و نمونه برداری وجود داشته است می تواند درست عمل کند.

<sup>1</sup> Flow Rate

<sup>2</sup> Sample Cooler

<sup>3</sup> Orifice



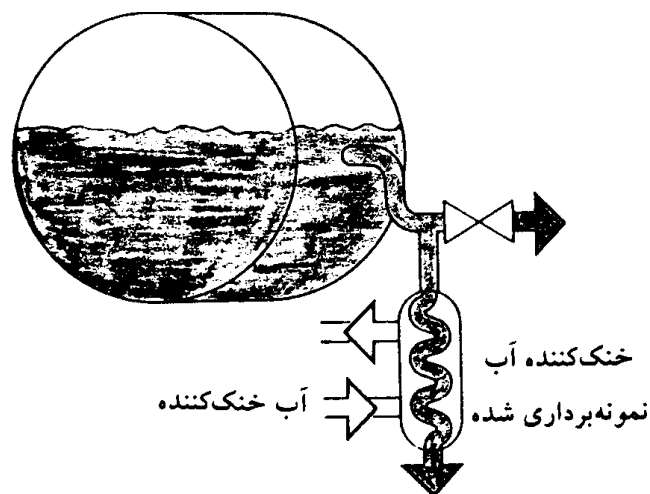
شکل ۵: نرخ جریان تخلیه

### تخلیه پیوسته

در صورتی که متوسط تخلیه لازم از  $40 \text{ kg/h}$  ( $88 \text{ lb/h}$ ) بیشتر باشد، تخلیه دیگ بخار بصورت پیوسته برای کنترل TDS روش مناسبی میباشد. با شرایط ثابت تولید بخار و جایگزینی آن میتوان نرخ تخلیه پیوسته را با دقت تعیین و کنترل کرد. در صورت وجود شرایط متغیر باید در موارد زیر سازش لازم صورت پذیرد.

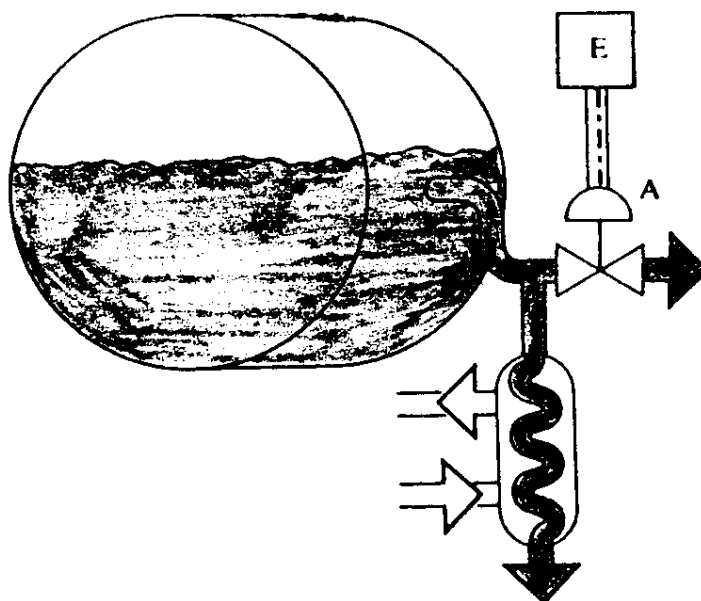
الف) تخلیه بصورت پیوسته و با نرخ متوسط که در بخش قبل محاسبه گردید انجام شود. در نتیجه مقدار واقعی TDS حول و حوش مقدار مطلوب TDS تغییر میکند.

ب) نرخ تخلیه مقدار مبنای TDS را حفظ کند و قلّه‌ها بصورت متناوب کنترل شوند. اما از تخلیه تناوبی دیگ بخار نباید چشم پوشی کرد.



شکل ۶: خنک کننده آب نمونه برداری شده از تخلیه دیگ بخار

یک روش ساده برای کنترل خودکار تخلیه استفاده از یک تایمر (در شکلها با E نشان داده شده) می باشد که براساس زمانبندی از قبل تنظیم شده عمل تخلیه را انجام می دهد. زمانبندی براساس مقدار آب تغذیه و الگوی تولید بخار تعیین می شود. چنین سیستمی در شکل ۷ نشان داده شده است. اما همانطور که دیده می شود این سیستم به نرخ تبخیر توجه ندارد.



شکل ۷: کنترل خودکار تخلیه به صورت زمانبندی

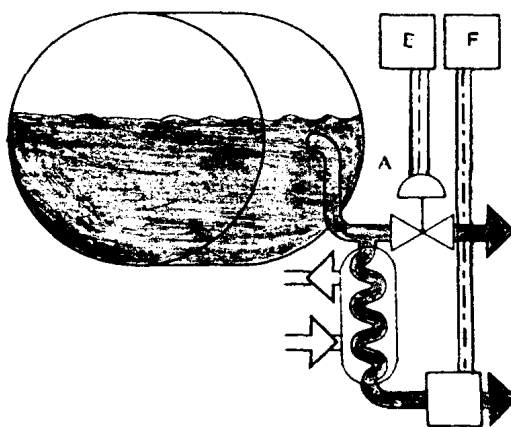
### تغییرات بار دیگ بخار

اگر بار دیگ بخار تغییر کند، مثلاً اگر در نصف بار نامی باشد و شیرهای تخلیه برای حداکثر تقاضای بخار تنظیم شده باشند آنگاه مقدار تخلیه دوبرابر مقدار لازم می باشد که در نتیجه از نظر انرژی بسیار پرتلفات می باشد. برعکس اگر شیرها برای زمانی که دیگ بخار در حالت کم باری باشد، تنظیم شده باشند، هرگونه افزایش بار بدلیل تخلیه ناکافی، باعث افزایش TDS از حد مجاز می شود.

از این مقدمه نتیجه می گیریم که اگر بار دیگ بخار ثابت باشد و اگر مقدار آب متراکم شده برگشتی از نظر کیفیت (مقدار TDS موجود) و از نظر کمیت (حجم آب برگشتی) ثابت باشد و اگر بر پردازش آب تغذیه دیگ بخار بنحو مناسب نظارت شود، روش تنظیم دستی شیر تخلیه می تواند روش کنترلی قابل قبولی باشد بشرط آنکه کنترل نمونه ها (آبی که برای تنظیم TDS از دیگ بخار میگیرند) مرتباً حداقل یکبار در هر شیفت انجام شود.

بهرحال اگر هرکدام از عوامل فوق تغییرکنند (بسیار بعید است که در یک نیروگاه هیچگونه تغییری در مصرف بخار وجود نداشته باشد) روش تنظیم دستی کافی نخواهد بود و احتمالاً نمی‌توان شیر تخلیه را بطور دائم روی مقدار صحیح تنظیم کرد. بدون تردید این روش تخلیه در اغلب اوقات غلط عمل می‌کند. نقائص سیستم ساده شکل ۷ را می‌توان با خنک کردن آب تخلیه شده دیگ بخار و نظارت بر TDS موجود در آن بوسیله اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، تا حدی مرتفع کرد. چنین سیستمی در شکل ۸ نشان داده شده است و در آن F بخار سرد شده تخلیه را نظارت می‌کند و سیگنالی برای تحریک و تنظیم تایمر E ایجاد می‌کند.

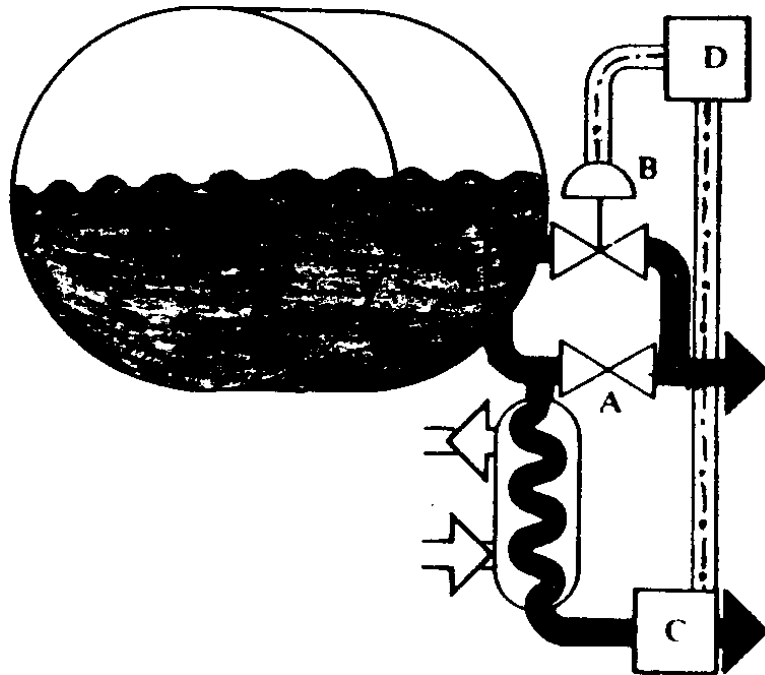
یک اشکال سیستم فوق این است که کنترل باید روی یک شیر تخلیه که تمامی عمل تخلیه از طریق آن می‌باشد، عمل کند و در نتیجه عمل کنترل بطور دقیق مشکل خواهد بود.



شکل ۸: کنترل اتوماتیک زمانی با نظارت کننده مقدار TDS

## کنترل اتوماتیک TDS

هدف از کنترل اتوماتیک مقدار TDS (شکل ۹) غلبه بر مشکل فوق می‌باشد. در شکل ۹، B یک شیر سلونوئیدی یا بادی می‌باشد که موازی با شیر A (که از نوع چرخشی می‌باشد) عمل می‌کند. نمونه خنک شده (برای تعیین TDS) بطور خودکار بوسیله دستگاه نظارت کننده C بررسی می‌شود و از طریق واحد کنترل D، باز یا بسته بودن شیر B را تعیین می‌نماید. بنابراین در شرایط طبیعی شیر A باز و شیر B بسته است. تغییر شرایط بار، مقدار TDS را در آب نمونه برداری شده افزایش می‌دهد که بوسیله C آشکار شده و در نتیجه با باز شدن شیر B مقدار جریان تخلیه زیاد می‌شود. هنگامی که مقدار TDS در نمونه‌گیری جدید به مقدار طبیعی برگردد، نظارت کننده C باعث می‌شود که شیر B بسته شود.



شکل ۹: سیستم تنظیم تخلیه دیگ بخار

البته با وجود اقدامات فوق هنوز راهی طولانی برای غلبه بر عیوب عمده سیستم ساده دستی داریم. بخصوص اگر دیگ بخار در بار نسبتاً ثابت کار کند و فقط نیاز به تنظیم جزئی شیر B برای تامین نوسانات جزئی بار داشته باشیم.

### کاهش مقدار TDS از میزان طبیعی

اشکال سیستم فوق این است که هرچند می تواند از افزایش مقدار TDS جلوگیری کند اما برای کاهش دادن مقدار TDS به زیر حد طبیعی کاری انجام نمی دهد. تا آنجا که به دیگ بخار مربوط می شود هر دو حالت فوق قابل قبول می باشند. سیستم فوق از افزایش مقدار TDS که نامطلوب و مضر است جلوگیری می کند، در حالی که کمتر بودن مقدار TDS از حد طبیعی برای دیگ بخار ضرری ندارد اما این حالت باعث تخلیه اضافی دیگ بخار می شود و در نتیجه پرتلفات و هزینه ساز است.

برای مثال، دیگ بخاری با حداکثر تبخیر  $4536 \text{ kg/h}$  ( $10000 \text{ lb/h}$ ) در فشار  $10/3 \text{ bar}$  ( $150 \text{ psi}$ ) و  $10\%$  تخلیه کار می کند که  $90\%$  از طریق شیر A و  $10\%$  از طریق شیر B عبور می کند و  $50\%$  حرارت از آب تخلیه شده بازیابی می شود.

اکنون بدلیل اینکه ظرفیت تقاضای انرژی به دلیل خاموش شدن گرم کننده های فضا و یا فرآیند مشخصی کم شده، دیگ بخار در نصف بار نامی کار می کند. اما هنوز مقدار تخلیه از شیر A،  $90\%$  حداکثر بار می باشد. با بیش از  $2000$  ساعت کار در سال، شرایط فوق باعث می شود که  $365000$



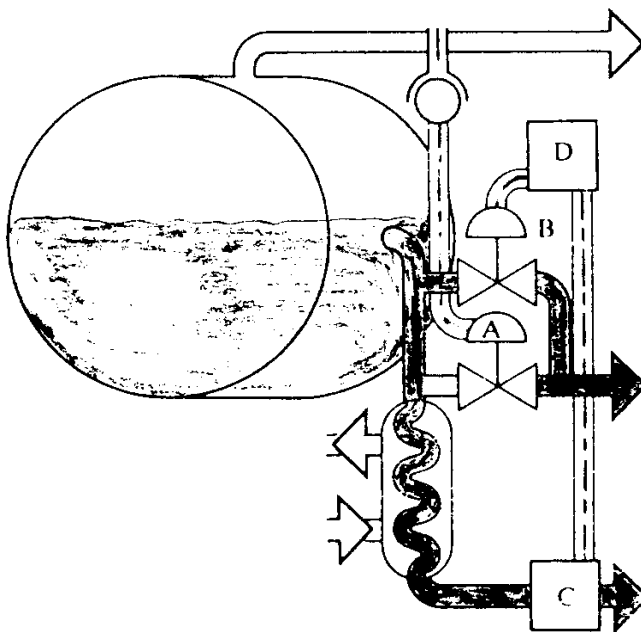
لیتر آب (۸۰۰۰۰ گالن) بانضمام هزینه پردازش و حدود ۳۲۰۰ لیتر (۷۰۰ گالن) مازوت یا ۳۳۶۰ مترمکعب (۱۲۰۰ترم) گاز طبیعی و ۴۰۰ تا ۷۵۰ پوند در سال تلف شود.

اگر واحد، ۲۴ ساعت در روز و تمام روزهای هفته کارکند، تلفات ۴ برابر مقدار فوق می‌شود. از آنجا که دیگ‌بخار تغییرات وسیع بار را تامین می‌کند منطقی است که فکر کنیم آب تخلیه شده طوری بین شیرهای A و B تقسیم شود که بهترین بهره‌برداری اقتصادی حاصل شود. در این روش بدلیل اینکه ظرفیت تقاضای انرژی برای گرمایش فضا در تابستان و زمستان بطور چشمگیری تفاوت دارد بهتر است که سیستم دو بار در سال تنظیم شود.

مشکل دیگر آشکارسازی خودکار سطح TDS، نرخ پاسخ آن است. افزایش مقدار TDS می‌تواند قبل از اینکه توسط فرآیند D و C و B آشکار و اصلاح شود در دیگ‌بخار رخ بدهد.

یک ایده برای کامل شدن این سیستم (شکل ۱۰) این است که شیر A2 یکبار تنظیم شده و پس از آن با مقدار بخار خروجی دیگ‌بخار تنظیم شود و باین ترتیب مقدار تخلیه همیشه با مقدار بخار تولیدی متناسب باشد.

به خوانندگانی که علاقه بیشتری به نصب سیستم‌های اتوماتیک تخلیه در دیگ‌های بخار بزرگ دارند، توصیه می‌شود که برای دریافت اطلاعات دقیقتر در مورد نیازمندیهای مورد نظرشان به شرکتهای متخصص در این رشته مراجعه کنند.



شکل ۱۰: سیستم تنظیم تخلیه دیگ‌بخار با اتصال به جریان بخار

## شیرهای تخلیه پیوسته

قابلیت اطمینان و عدم نیاز به نگهداری در روش تخلیه پیوسته فقط با بکار بردن شیرهای مرغوب عملی می‌باشد. باتوجه به لزوم کنترل دقیق، افت فشار، وجود ذرات معلق و غیره، شیرها باید :

الف) بدقت کنترل شوند و بسهولت برای نرخ جریان معلوم تنظیم شوند.

ب) در برابر شرایط کاری سخت مقاوم باشند.

ج) برای تمیزکردن لایه‌های رسوب کرده بسهولت به محل شستشو قابل حمل بوده و مجدداً به سادگی در مکان تعیین شده نصب و تنظیم شوند.

## بازیافت حرارت تلف شده

بازای هر قطره از آب دیگ‌بخار که از طریق سیستم تخلیه خارج می‌شود به یک قطره جایگزین در دیگ بخار و مخزن تغذیه<sup>۱</sup> نیاز می‌باشد.

چون آب تخلیه شده گرم و آب جایگزین شده سرد می‌باشد از نظر اقتصادی بصرفه است که سیستمی برای بازیافت حرارت تلف شده در نظر گرفته شود.

بازیافت حرارت تلف شده از سیستم تخلیه پیوسته بسیار کنترل‌پذیرتر از سیستم تخلیه تناوبی می‌باشد زیرا در اولی عرضه و تقاضا (مقدار کم کردن و زیاد شدن TDS تقریباً با هم سازگار می‌باشند.

در جاهایی که چند دیگ‌بخار با یک سیستم تخلیه تناوبی کار می‌کنند، بمنظور ایجاد شرایط یکنواخت عملکرد تخلیه آب بهتر است که زمانبندی تخلیه دیگ‌های بخار بنوبت انجام شود.

ساده‌ترین روشی که معمولاً برای بازیافت حرارت تلف شده بکار می‌رود بازیابی حرارت از فلاش بخار<sup>۲</sup> می‌باشد که بدلیل تبخیر مجدد آب هنگام کاهش فشار درشیر تخلیه ایجاد می‌شود.

آب تخلیه شده و فلاش بخار پس از ورود به مخزن فلاش بخار<sup>۳</sup>، از یکدیگر جدا می‌شوند. آنگاه فلاش بخار از طریق لوله مربوط به مخزن تغذیه تخلیه می‌گردد. (شکل ۱۱).

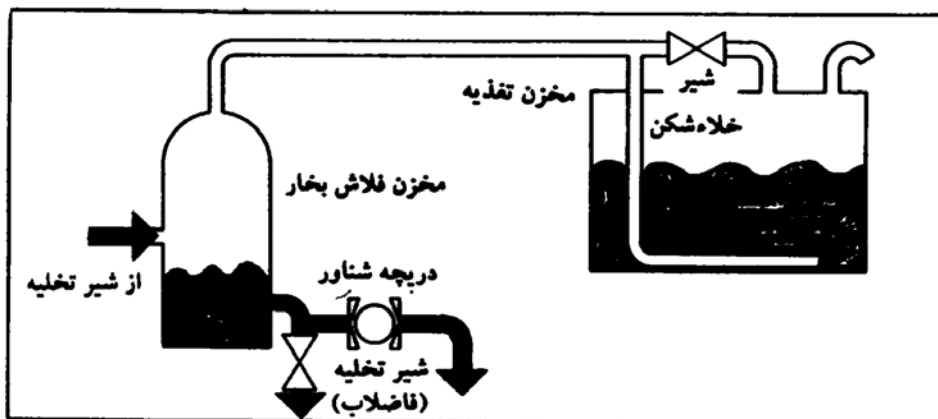
فشار فلاش بخار خودبخود بوسیله فشار لحظه‌ای پشت محل تخلیه و مقاومت شبکه ارتباطی لوله‌ها تعیین می‌شود و معمولاً حدود ۰/۲bar تا ۰/۳bar (۳-psi) می‌باشد.

هدف اصلی از تخلیه دیگ‌بخار، تخلیه کردن آبی می‌باشد که حاوی مقدار زیادی ذرات محلول می‌باشد که با تبخیر مجدد حدود ۵۰٪ از این آب به فلاش بخار تبدیل می‌شود. در اینصورت غلظت ذرات محلول در مخزن فلاش آنقدر زیاد می‌شود که در داخل مخزن تولید توده‌ای کف‌شکل می‌کند که باعث اختلاط ذرات معلق موجود در آب با بخار و در نتیجه آلوده شدن مجدد آب تغذیه می‌شود.

<sup>۱</sup> Feed Tank

<sup>۲</sup> Flash Steam

<sup>۳</sup> Flash Vessel

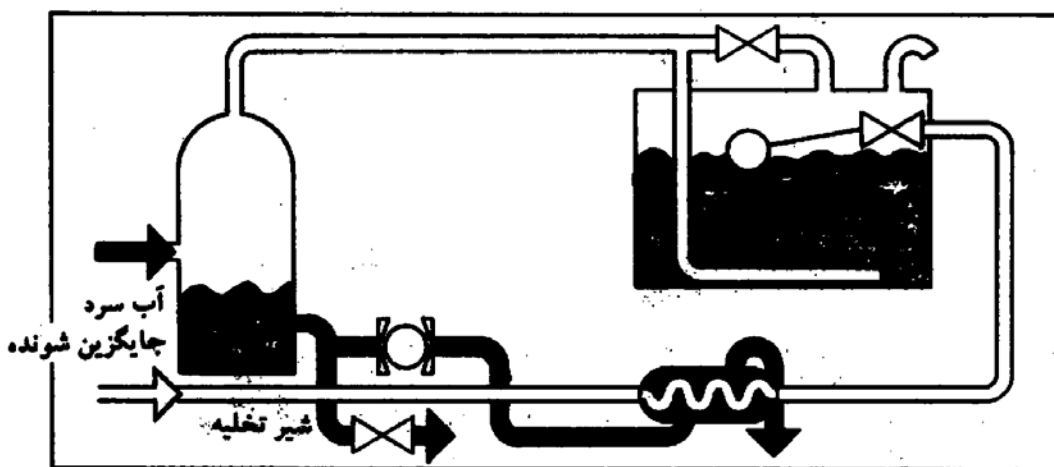


شکل ۱۱: بازیابی حرارت از تبخیر آب تخلیه شده (فلاش بخار)

بنابراین یک عیب سیستم فوق این است که بین آب آلوده تخلیه شده و آب تمیز تغذیه کننده تفکیک خوبی وجود ندارد و این دو سیستم توسط مخزن فلاش با هم مرتبط شده‌اند. در طراحی سیستم بازیاب باید توجه زیادی مبذول گردد. مخزن فلاش باید کلاً اندازه‌ای داشته باشد که سرعتها را پائین نگاهداشته و باقی مانده سیال تخلیه شده، ترجیحاً از طریق یک دریچه شناور تخلیه پیوسته از آن خارج گردد. این مسئله یکی از موارد نادری است که در آن نصب صافی در ورودی دریچه کار صحیحی نمی‌باشد، زیرا که هرگونه محدودیتی در جریان تخلیه باعث افزایش غیرقابل قبول سطح آب در مخزن فلاش می‌شود.

گرمای اضافی (که توسط فلاش بخار جذب نشده است) را می‌توان بوسیله یک مبدل حرارتی که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، بازیابی کرد.

همچنین برای تخلیه رسوبات بصورت دستی باید یک شیر بین دریچه و مخزن فلاش نصب شود.



شکل ۱۲: باز یافت حرارت از فلاش بخار تخلیه دیگ بخار با مبدل حرارتی

## جلوگیری از آلوده شدن آب تغذیه

مشکلاتی از قبیل آلوده شدن آب تغذیه که در روش بازیافت حرارت توسط فلاش بخار رخ می دهد با اختیار سیستمی مانند آنچه در شکل ۱۳ نشان داده شده است، برطرف می شود. در این سیستم آب تمیز و آلوده توسط یک مبدل حرارتی از هم جدا شده اند.

شکل ۱۳: بازیافت حرارت آب تخلیه شده از دیگ بخار با جلوگیری از آلوده شدن آب تغذیه  
بهترین مکان نصب این مبدل حرارتی در خط ورودی تغذیه دیگ بخار می باشد. این کار دو مزیت دارد:  
الف) از آنجا که آب تمیز تحت فشار قرار دارد نقطه جوش آن بالاتر می رود.  
ب) چون بخش آب تمیز در مبدل حرارتی تحت فشار قرار دارد هرگونه نشتی از سمت آب تمیز بسمت آب آلوده جریان می یابد و عکس آن رخ نمی دهد.  
لازم به یادآوری است که در شکل ۱۳ برای جلوگیری از گرم شدن بیش از حد پمپ آب تغذیه، مبدل حرارتی در خروجی پمپ نصب شده است، در غیر این صورت پدیده حفره زایی بوقوع پیوسته و پمپ خراب می شود. همچنین باید دقت نمود که مبدل حرارتی برای فشار مورد نیاز طراحی شده باشد.

برای توضیحات دقیقتر راجع به فلاش بخار به کتابچه جداگانه ای که انتشار یافته است، مراجعه کنید.