

## بازیافت انرژی در سیستم های بخار (8)

شرکت پارس جم کنترل  
نویسنده مقاله: مهندس عادل قهرمانی

### ۸.۱ بحداقل رسانی اتلافات مربوط به خاموشی و روشن شدن سریع<sup>۱</sup> بویلرها

این پدیده (Short Cycling) به کارکرد بویلرهائی با ظرفیت بیش از اندازه اطلاق می شود که پس از تامین سریع بار لازم جهت فرایند یا تهویه مطبوع خاموش و مجدداً با نیاز به بار حرارتی روشن می گردند. نیاز مندی های بار حرارتی فرایند با توجه به موقعیت های مختلف ممکن است بدفعات تغییر کند. بویلرها ممکن است بعلت توسعه آینده (که گاهها هیچگاه اتفاق نمی افتد) بزرگ تر از حد انتخاب شوند. همچنین نصب سیستم های بازیافت انرژی و بهینه سازی آن می تواند منجر به کاهش بار حرارتی شود. در نتیجه گاهها (در زمان های مخصوصی از سال) ، با سایت هائی با چندین بویلر مواجه می شویم که هر کدام دارای ظرفیت بمراتب بیشتر از بار مورد نیاز سایت می باشند. در سیستم های تهویه مطبوع ، بویلرها غالباً بیش از اندازه بزرگ انتخاب می شوند. این افزایش ظرفیت بعلت در نظر گرفتن اتلافات کل حرارتی بعلاوه اتلافات ناشی از تخلیه هوا<sup>۲</sup> و یا هوای نفوذی<sup>۳</sup> در بدترین شرایط ودمای طراحی می باشد. هیچ گونه سهمی جهت شراکت و گرمایش ناشی از چراغ ها ، تجهیزات و یا افراد(در زمستان) در نظر گرفته نمی شود. گاهها افزایش باری نیز جهت گرمایش سریع فضاها پس از خاموشی شبانه سیستم در نظر گرفته می شود.

### اتلافات ناشی از خاموشی و روشن شدن سریع بویلر

یک سیکل بویلر شامل مراحل زیر است :

- مرحله شعله زنی (روشن بودن مداوم مشعل)<sup>۴</sup>
- تمیز سازی و دمیدن فن بعد از اشتعال<sup>۵</sup>
- زمان استراحت و خاموشی مشعل<sup>۶</sup>
- روشن شدن مجدد فن و آماده سازی جهت اشتعال مجدد<sup>۷</sup>

<sup>۱</sup> Short Cycling

<sup>۲</sup> Ventilation

<sup>۳</sup> Infiltration

<sup>۴</sup> Firing Interval

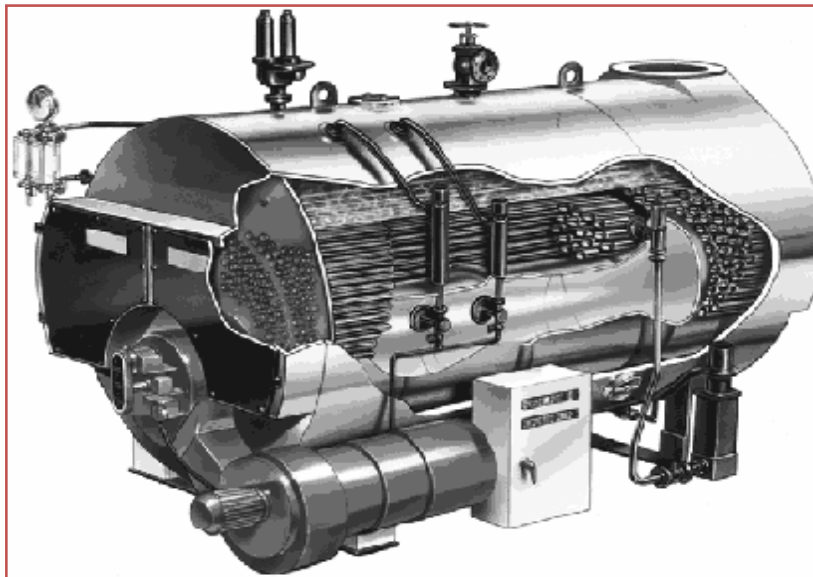
<sup>۵</sup> Post Purge

<sup>۶</sup> Idle period

<sup>۷</sup> Pre purge

## - شروع مجدد اشتعال

راندمان بویلر در یک سیکل عبارت است از حرارت قابل استفاده تقسیم بر انرژی ورودی (حرارت قابل استفاده بعلاوه اتلافات حرارتی). این راندمان در زمان ایجاد سیکل های کاری کوتاه و یا هنگام عملکرد چند بویلر با اشتعال کم<sup>8</sup>، کاهش می یابد. این کاهش راندمان بعلت تقویت اتلافات حرارتی ثابت در شرایط وجود بارهای کم تر است. برای مثال، اگر اتلافات حرارتی تشعشعی از بدنه بویلر در زمان بار کامل برابر 1% کل انرژی ورودی باشد، در شرایط نیمه بار، به 2% تقلیل پیدا کرده و در شرایط 1/4 بار به کمتر از 4% کاهش می یابد. همچنین اتلافات ناشی از تمیز سازی مشعل در قبل و بعد از روشن شدن را اضافه کنید. در زمان تمیز سازی قبل از اشتعال، فن روشن شده تا هرگونه گاز قابل اشتعالی که انباشته شده را از محفظه بیرون براند. تمیز سازی بعد از اشتعال نیز عملکرد مشابهی دارد. در این شرایط، با توجه به گرم شدن هوای خروجی، مقداری از حرارت بویلر تخلیه می شود.



شکل ۱: شماتیکی از بویلر بخار Shell & tube

مثال :

یک بویلر با قدرت 100 hp (1hp=33,475 Btu/hr) با راندمان سیکلی (E1) 72.7% با بویلر 600hp و راندمان سیکلی (E2) 78.8% جایگزین می شود. هزینه بازیافتی را محاسبه کنید .

<sup>8</sup> Low firing rate

نسبت سوخت بازیافتی برابر است با :

$$(1 - E1/E2) = (1 - 72.7/78.8) \times 100 = 7.7\%$$

در صورتی که بویلر اول مقدار 200,000MMBTu سوخت را در طول یک سال مصرف کند با در نظر گرفتن هزینه \$3/MMBTu مقدار هزینه بازیافتی در صورت استفاده از بویلر دوم برابر است با :

$$200,000 \text{ MMBtu} \times 0.077 \times \$3/\text{MMBTu} = \$46,200$$

### عملکرد چندین بویلر :

بالفرازیش بار حرارتی ، ابتدا باید پر راندمان ترین بویلر وارد مدار شده و در زمان کاهش بار ، ابتدا کم راندمان ترین آنها از مدار خارج شود. باتوجه به نشتی های موجود ، نوع بهره برداری و محدوده عملکرد مشعل از بویلرهای با هزینه تولید بخار بالاتر به بویلرهای با هزینه کمتر سوئیچ کنید.

از سیستم کنترل اتوماتیک که هزینه های مرحله ای با توجه به تغییرات بار و تغییر در هزینه تولید بخار هر بویلر را محاسبه می کند استفاده کرده و در زمان مناسب از بویلرهای مختلف استفاده کنید. در صورت امکان ، تغییرات بارها و استفاده از بویلرها را در جدولی خلاصه کنید. در صورت عملکرد هرچه بیشتر بویلرها با شرایط حداکثر اشتعال ، راندمان کلی سیستم افزایش خواهد یافت.

### استفاده از بویلرهای کوچک تر :

در صورت اضافه نمودن یک یا چند بویلر کوچک به سیستم بمنظور تولید بخار در شرایط بارهای کم و متوسط ، در مصرف سوخت صرفه جوئی می گردد. استفاده از این بویلرها بدون ایجاد شرایط اشتعال بیش از حد و یا سیکل های کاری کوتاه مدت ، به سیستم قابلیت اطمینان و انعطاف بیشتری خواهد داد. سایت هائی با تغییرات زیاد بار در فصل های مختلف می توانند از این تمهید بهره جویند.

### اندامات پیشنهادی

- راندمان و هزینه کاری تک تک بویلرها را محاسبه کرده و با ایجاد برنامه کنترل مناسب ، راندمان کاری مجموع بویلرها را به حداکثر برسانید.
- با اضافه کردن بویلرهای کوچک به مجموعه ، قابلیت انعطاف بیشتر و راندمان بالاتری را در تمامی بارها ایجاد کنید .

## ۹ ناکارگیری کندانسور<sup>۹</sup> جهت بازیافت انرژی بخار فلاش خروجی از مخازن کندانسی

زمانی که فشار کندانس اشباع کاهش پیدا می کند ( بطور مثال در زمان عبور از تله های بخار ) مقداری از مایع به بخار کم فشار تبدیل می شود.<sup>۱۰</sup> با توجه به اختلاف فشار موجود ، مقدار انرژی موجود در بخار فلاش بین ۱۰ الی ۴۰٪ انرژی اولیه کندانس است. در بسیاری از تانک ها نظیر مخازن کندانس و یا دی اریتورهای اتمسفریک ، بخار فلاش به محیط آزاد تخلیه شده و انرژی آن اتلاف می گردد.

با استفاده از یک مبدل حرارتی که در لوله خروجی ونت نصب می شود ، می توان انرژی مذکور را بازیافت نمود. جدول زیر نشان دهنده مقدار انرژی موجود در بخار فلاش با فشار اتمسفریک است.

Energy Recovery Potential of a Vent Condenser					
Pipe Diameter (inches)	Energy Content, MMBtu/year*				
	Steam Velocity, feet/min				
	200	300	400	500	600
2	90	140	185	230	280
4	370	555	740	925	1,110
6	835	1,250	1,665	2,085	2,500
10	2,315	3,470	4,630	5,875	6,945

\* Assumes continuous operation, 70°F make up water, and condensed steam at 100°F

جدول ۱: انرژی موجود در بخار فلاش اتمسفریک

مثال: لوله ونتی را با شرایط زیر در نظر بگیرید:

سرعت بخار فلاش: 300 fpm

قطر لوله: 4 inch

زمان استفاده: 8000 ساعت در سال

راندمان بویلر: 82%

هزینه تامین سوخت: \$4.5 برای هر میلیون بی تی یو (MMBtu)

<sup>9</sup> Vent Condenser

<sup>10</sup> Flash Steam

با نصب یک کندانسور جهت بخار فلاش ، انرژی آن قابل استفاده در آب تغذیه ورودی بوده و کندانس حاصل نیز به بویلر بازگردانده می شود. در واقع انرژی اتلافی به دو صورت : آب تغذیه گرم تر و نیز تمیزتر و آماده جهت استفاده ، بازیافت می شود. با توجه به جدول فوق ، پتانسیل بازیافت انرژی بخار فلاش جهت 8760 ساعت کاری برابر 555 MMBtu می باشد. بمنظور تصحیح این مقدار جهت ساعات کاری واقعی و راندمان بویلر :

مقدار انرژی بازیافتی سالیانه برابر است با:

$$555\text{MMBtu/yr} \times 8,000\text{hr/yr} \div 8,760\text{ hr/yr} \times 1/0.82 = 618\text{ MMBtu}$$

پتانسیل هزینه سوخت بازیافتی برابر است با:

$$618\text{MMBtu/yr} \times \$4.5/\text{MMBtu} = \$2,781$$

توجه کنید که مبلغ بالا فقط جهت یک ونت محاسبه شده است. غالباً با توجه به تعدد ونت ها در سایت های بخار ، مبلغ هزینه بازیافتی قابل توجه تر می باشد. هزینه مبدل حرارتی مربوط باید محسوب گردد ، ولی مدارک موجود نشان دهنده برگشت سریع هزینه می باشد.

**جنس مبدل حرارتی :** با توجه به نوع کاربرد ، جنس کندانسور ونت می تواند استینلس استیل و یا فولاد با لوله های مسی باشد. در مورد دی اریتور ، با توجه به حجم زیاد گازهای خروجی استفاده از یک مبدل استینلس استیل توصیه می شود. در تانک های کندانس ، مبدل حرارتی فولادی مناسب است.

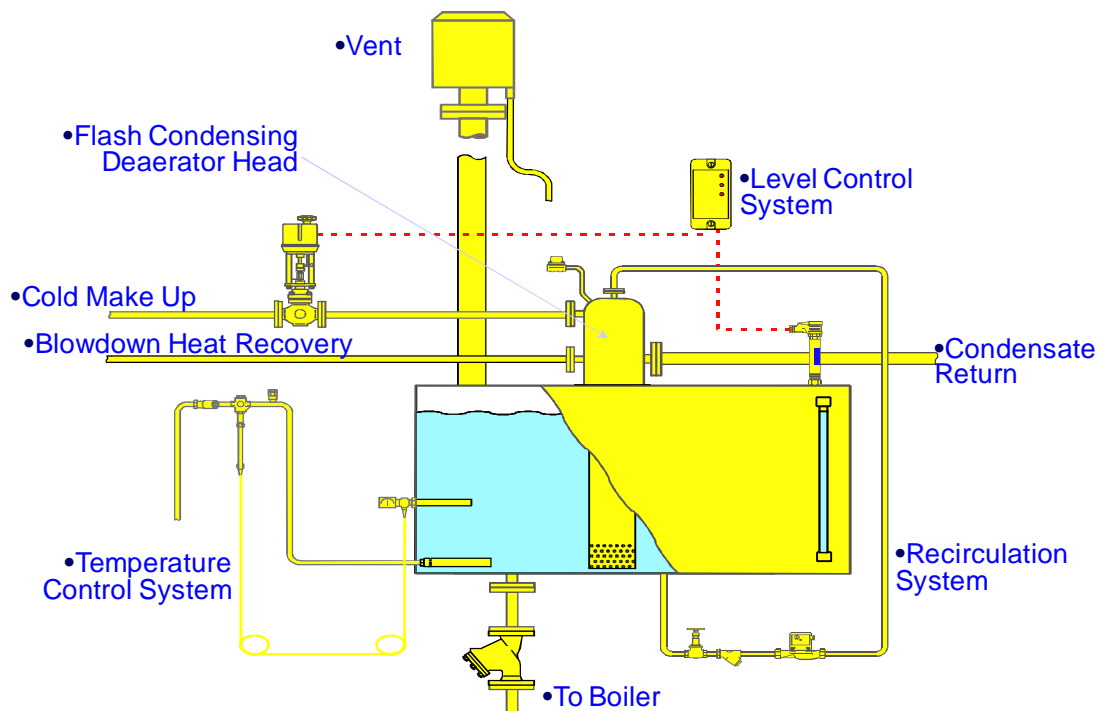
### اقدامات پیشنهادی

- ونت خروجی از دی اریتور و تانک های کندانس را جهت بخار فلاش مازاد بررسی کنید.
- نیازمندی دی اریتور جهت بخار گرمایش را بررسی مجدد کنید.
- انرژی موجود در بخار فلاش را با استفاده از کندانسور ونت بازیافت نمائید.
- در مورد جنس ، نوع و اندازه مبدل مربوط با سازنده مشورت کنید.

## نمای کلی از اریتورها در سیستم های بخار صنعتی

دی اریتورها تجهیزات مکانیکی هستند که گازهای محلول در آب ورودی به بویلر را جداسازی و خارج می کنند. عملیات هوازدائی موجب محافظت سیستم بخار در برابر خوردگی می گردد. این عمل با کاهش گازهای اکسیژن و دی اکسید کربن تا اندازه کمتر از حد مجاز انجام می گیرد. در اکثر بویلرهای بخار فشار بالا ( بیشتر از 200 psig ) حداکثر غلظت مجاز اکسیژن برابر 5 ppm یا کمتر است.

در فشارهای پائین تر ، ممکن است این غلظت حتی تا مقدار 43 ppm نیز قابل قبول بوده و نیازی به اعمال هزینه زیاد جهت حذف کامل گاز اکسیژن نباشد. گاز دی اکسید کربن بطور کامل از دی اریتور جدا و تخلیه می گردد.

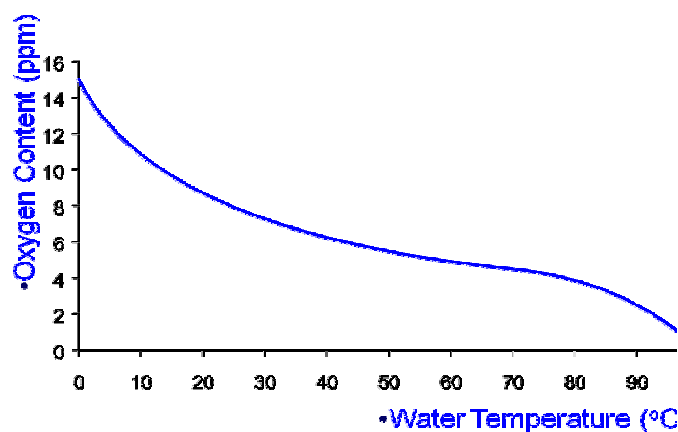


شکل 2: شماتیک سیستم های کنترل ک دی اریتور

### نحوه کار

طراحی یک سیستم دی اریتور مناسب بستگی به مقدار گازهای خروجی و میزان نهائی غلظت گاز اکسیژن دارد. این امر بنوبه خود تحت تاثیر نسبت آب تازه ورودی به کندانس برگشتی و نیز فشار کاری دی اریتور می باشد.

دی اریتورها با استفاده از تزریق بخار ، دمای داخل خود را تا اندازه اشباع ( با توجه به فشار کاری ) بالا برده و گازهای محلول را خارج می کنند. دی اریتور شامل : واحد هوازدائی<sup>11</sup> ، مخزن ذخیره آب و ونت تخلیه می باشد. در واحد هوازدائی ، حباب های بخار داخل آب موجب بهم خوردن و نیز گرمایش آب می شود. قسمت بیشتر بخار موجود توسط آب سرد ورودی در قسمت کنداسور<sup>12</sup> تبدیل به مایع می شود و درصد کمی از آن (بین 5% الی 14% ) باید بمنظور تلاطم و جریان کافی بمنظور هوازدائی تخلیه شود. طراحی نرمال باید طوری باشد تا مقدار بخار لازم جهت گرمایش آب محاسبه شده و همچنین جهت ایجاد تلاطم و هوازدائی فیزیکی نیز کافی باشد. در صورتی که مقدار کندانس برگشتی زیاد باشد ( بیشتر از 80% ) و نیز فشار کندانس برگشتی نسبت به فشار دی اریتور بالا باشد ، بخار کمی جهت گرمایش مورد نیاز بوده و تمهیدات لازم جهت کندانس مجدد بخار فلاش حاصل باید صورت گیرد.



شکل 3 : کاهش حلالیت اکسیژن در آب با افزایش دما

### مصرف بخار دی اریتور

مصرف بخار دی اریتور برابر است با بخار لازم جهت گرمایش آب تا نزدیکی دمای اشباع ، بعلاوه مقدار بخاری که همراه با گازهای محلول از لوله ونت تخلیه می شود منهای بخار فلاش حاصل از کندانس فشار بالا یا تله های بخاری که دارای نشستی هستند.

بالانس حرارتی با توجه به کمترین دمای قابل انتظار جهت آب تازه ورودی انجام می گیرد. دبی بخار خروجی از ونت ، با توجه به نوع دی اریتور ، اندازه آن ( مقدار آب ورودی به بویلر ) و مقدار آب تازه ورودی متغیر است. با توجه به ورود آب سرد تازه ورودی به دی اریتور که سرشار از اکسیژن است ، مقدار ونت باید به اندازه کافی بزرگ باشد.

<sup>11</sup> Deaeration section

<sup>12</sup> Vent Condenser

یک روش محاسبه بخار لازم جهت گرمایش آب دی اریتور ، با توجه به بالانس حرارتی بین انرژی آب تازه ورودی و کندانس برگشتی از یک طرف و مخلوط حاصل در طرف دیگر انجام می شود.

$$m_{in}h_1 + m_s h_g = (m_{in} + m_s)h_2$$

$m_{in}$  = دبی جرمی آب ورودی (مجموع کندانس برگشتی و آب تازه یا همان ظرفیت دی اریتور)

$h_1$  = آنتالپی آب ورودی (در دمای مخلوط قبل از گرمایش که در برخی محاسبات 67 سانتیگراد منظور می شود)

$m_s$  = مقدار بخار لازم جهت گرمایش مخلوط تا دمای مورد نظر

$h_g$  = آنتالپی کل بخار تزریقی (در فشار تزریق که حدود 0.3 بار است)

$h_2$  = آنتالپی مخلوط پس از گرمایش تا دمای مورد نظر (حداقل 93 درجه سانتیگراد)

### وظایف دیگر دی اریتورها

دی اریتورها مقدار زیادی از آب آماده جهت ورود به بویلر را ذخیره سازی کرده وضمن فشار مثبت مکش<sup>13</sup> لازم روی پمپ بویلر را تامین می کنند. در این محل کندانس برگشتی با آب تازه ورودی تلفیق می شود. دمای کاری با توجه به نوع دی اریتور از 215 F تا 350 F متغیر است. این افزایش دما موجب کاهش ایجاد تنش حرارتی در قسمت های داخلی بویلر می شود.

### عایق کاری :

مخزن دی اریتور و کلیه لوله کشی های گرم مربوط باید بمنظور جلوگیری از کندانس بخار و اتلافات حرارتی عایق بندی شوند.

### نکته :

وظیفه دی اریتور تخلیه اکسیژن و گازهای محلول در آب ورودی است. وجود نقص در سیستم لوله کشی ورودی به پمپ بویلر و یا پکینگ های خراب ، موجب نفوذ آزاد هوا به بویلر و اتلاف وقت و سرمایه می شود.

### اقدامات پیشنهادی

- نیاز مندی های بخار دی اریتور باید با توجه به حجم سیستم توزیع بخار ، میزان برگشت کندانس و تجهیزات بازیافت انرژی موجود بررسی گردد.
- با استفاده از تجهیزات نشان گر غلظت گاز اکسیژن ، وضعیت دی اریتور را دائما بررسی کرده و از عملیاتی که موجب برداشت ضعیف گاز اکسیژن می شود اجتناب کنید.

<sup>13</sup> NPSH ( Net Positive Suction Head)



علاقمندان جهت دریافت اطلاعات بیشتر می توانند با شرکت پارس جم (شماره تلفن های 24 , 88708223 و E-mail : [info@pars-jam.com](mailto:info@pars-jam.com)) تماس حاصل فرمایند.  
به ادامه مباحث بازیافت انرژی سیستم های بخار در شماره بعد توجه فرمائید.

