

«برخی محاسبات مورد نیاز و ضروری - قسمت سوم - آب بویلر»

هدف اصلی یک بویلر تولید بخار فوق العاده خالص با حداقل مواد جامد می باشد. اگر مواد جامد معلق یا محلول در بخار وجود داشته باشند و حذف نشوند احتمال بروز مسائلی مانند تشکیل رسوب، خوردگی و Carry over در سیستم وجود دارد که این مسائل در نهایت منجر به کاهش تبادل حرارتی و کاهش عمر مفید تجهیزات می گردد. در معادلات تعادل جرمی که در پایین توضیح داده شده (فقط در مورد بویلرهای تولید کننده بخار) مواد جامد موجود در آب که به فاز بخار منتقل می شوند در حداقل میزان خود فرض شده اند. آب تغذیه (Feed Water FW) که وارد بویلر می شود متشکل از آب میک آپ فرآوری شده (MU) و کندانس برگشتی (C) می باشد.

$$(1) FW = MU + C$$

آب MU عمدتاً آبی است که از سختی گیر یا RO و یا دمیترالایزر عبور کرده است. آگاهی از این مطلب که چند درصد آب FW از آب MU تشکیل شده است می تواند بسیار مفید باشد و این مسأله به کمک کنتور آب و با استفاده از فرمول زیر قابل محاسبه است.

$$(2) \%MU = (MU/FW) \times 100$$

در انجام محاسبات استفاده از واحد «گالن» مرسوم می باشد لیکن در بعضی موارد از واحد «پوند» نیز استفاده می شود. همچنین در صورتیکه ما کندانس برگشت را نسبتاً خالص فرض کنیم می توان با اضافه نمودن یک ماده مانند کلراید (Cl) به آب MU درصد مورد نظر را با توجه به اینکه میزان این ماده در آب کندانس بسیار ناچیز می باشد محاسبه نمود.

$$(3) \%MU = (Cl_{FW}/Cl_{MU}) \times 100$$

یک رویکرد ساده به منظور تعیین درصد C و MU استفاده از میزان هدایت الکتریکی (Cond) در سیستم هایی است که از آب نرم استفاده می کنند.

$$(4) \%C = [(Cond_{MU} - Cond_{FW}) / (Cond_{MU} - Cond_C)] \times 100$$

$$(5) \%MU = 100 - \%C$$

میزان FW باید برابر با میزان بخار تولیدی (S) به علاوه میزان بلودان (BD) باشد.

$$(6) FW = S + BD$$

از آنجا که BD حجم زیادی از Cond را از آب بویلر خارج می کند (مجموع مواد جامد محلول TDS) و این میزان آب کم شده با آب FW که حاوی Cond پایین تر می باشد جایگزین می شود لذا سیکل تغلیظ (CR) را می توان چنین محاسبه نمود.

$$(7) CR = FW/BD$$

$$(8) CR = \text{Cond}_{BD}/\text{Cond}_{FW}$$

باید به خاطر داشت که از روش فوق در شرایطی که اقدام به کاهش pH بویلر به منظور حذف یونهای هیدروکسید آزاد (OH⁻) می نمائیم نمی توان استفاده نمود. این فرایند که به نام «خنثی سازی کانداکت» نامیده می شود را می توان با اضافه نمودن یک معرف که حاوی فنل فنالئین باشد و یک اسید آلی انجام داد.

$$(9) CR = \text{BD}_{\text{Impurity}}/\text{FW}_{\text{Impurity}}$$

بنابراین

$$(10) CR = \text{Cl}_{BD}/\text{Cl}_{FW}$$

جهت محاسبه درصد بلودان سیستم بویلر می توان

$$(11) \%BD = 100/CR$$

که در این فرمول درصد BD درصدی از FW می باشد که در بلودان در نظر گرفته نشده است.

$$(12) BD = \%BD \times FW / 100$$

جهت محاسبه BD با توجه به میزان تولید بخار (S)

$$(13) BD = S/(CR-1)$$

و به منظور محاسبه FW با استفاده از S و CR

$$(14) FW = (S \times CR)/(CR-1)$$

مقدار جریان بخار را نیز می توان با استفاده از روابط ذیل محاسبه نمود:

$$(15) \text{Steam (lb/hr)} = \text{Boiler horse power} \times 34.5 \times \text{Average \%Load}$$

$$(16) \text{Steam (lb/hr)} = 18000 \times \text{تناژ زغال مصرفی در روز}$$

$$(17) \text{Steam (lb/hr)} = \text{Oil Gallon/day} \times 100$$

$$(18) \text{Steam (lb/hr)} = \text{مقدار گاز طبیعی مصرفی (فوت مکعب در روز)} \times 0.067$$

جدول شماره 7 یک مقدار انرژی گرمایی موجود در سوخت های رایج را نشان می دهد.

جدول (1) انرژی گرمایی موجود در سوخت های رایج

مقدار انرژی BTU	نوع سوخت
14000/lb	زغال سنگ آنتراسیت
11000-14500/lb	زغال بیتومینوس
141000- 142000/gal	نفت کوره درجه دو
150000- 152000/gal	نفت کوره درجه شش
1024-1032/ft ³	گاز طبیعی
91500/gal	پروپان
4000-6000/lb*	زباله و نخاله
2500-9000/lb*	چوب

* با توجه به میزان رطوبت موجود در سوخت با توجه به محتوای انرژی موجود در سوختهایی که در جدول فوق اشاره شده است می توان با استفاده از کاهش بلودان و در نتیجه افزایش سیکل تغلیظ میزان صرفه جویی در مصرف سوخت را محاسبه نمود (در این فرمول H_L به معنای دمای مایع می باشد که از جداول بخار قابل استخراج می باشد).

$$(19) \text{ \$ هزینه} = \text{Reduced BD} \times (H_L @ \text{Boiler Pressure} - H_L @ \text{MU Temperature}) \times (\text{Fuel Cost} / \text{BTU})$$

مثال یک: بویلری داریم با 500HP که بصورت 24 ساعته در طول 365 روز سال با 85% کارایی و 75% ظرفیت خود در حال کار می باشد این بویلر از سوخت نفت کوره درجه 2 به قیمت 2/1 دلار به ازای هر گالن کار می کند و بخاری با فشار 100psig تولید می کند. درجه حرارت آب MU برابر با 60°F بوده و هیچ سیستمی برای بازیافت گرمای آب بلودان وجود ندارد.

فرضیه ای که مطرح شد این بود که با تغییر تجهیزات به جای سختی گیر از آب RO استفاده نمائیم و با این کار سیکل تغلیظ از 10 به 40 افزایش یافته و در نتیجه میزان بلودان کاهش خواهد یافت. میزان صرفه جویی که در هزینه سوخت ($\text{\$ Fuel}$) انجام خواهد شد را می توان به روش زیر محاسبه نمود (نکته: در بویلرهای تولید کننده بخار هر اسب بخار قدرت بویلر برای تبدیل 34/5 پوند آب به دمای 212°F در مدت یک ساعت می باشد).

میانگین درصد بار بویلر \times درصد کارایی \times 34/5 = S
قدرت بویلر

$$S = 500\text{HP} \times 34.5 \times 85\% \times 75\% = 10997 \text{ lb/hr}$$

$$\text{اگر } CR=10 \text{ در نتیجه } BD = S / (CR-1) = 10997 \text{ (b/hr)} / (10-1) = 1222 \text{ lb/hr}$$

$$\text{اگر } CR=40 \text{ در نتیجه } BD = S / (CR-1) = 10997 / (40-1) = 282 \text{ lb/hr}$$

$$\text{میزان بلودان کاهش یافته} = 1222 - 282 = 940 \text{ lb/hr}$$

$$H_L @ 100 \text{ Psing} = 309 \text{ BTU/lb}$$

$$H_L @ 60^\circ\text{F} = (60^\circ\text{F} - 32^\circ\text{F}) \times 1 \text{ BTU}^\circ\text{F} = 28 \text{ BTU /lb}$$

در صورتیکه هر گالن سوخت مصرفی 2.1\$ باشد در نتیجه

هزینه تولید هر BTU انرژی تولیدی برابر است با:

$$(2.10\text{\$/gallon}) / (141000 \text{ BTU/gallon}) = 0.0000148\text{\$/BTU}$$

$$\text{\$ هزینه سوخت} = [(940 \text{ lb/hr}) \times (309 - 28 \text{ BTU/lb}) \times (0.0000148\text{\$/BTU})] / 85\%$$

$$\text{در هر سال } = 40296\text{\$} = \text{در هر ساعت } 4.60\text{\$}$$

در صورتیکه هزینه آب تغذیه ($\text{\$ Water}$) به ازای هر هزار گالن برابر با 3.00\$ باشد (0.003\$/gallon) می توان صرفه جویی حاصل از کاهش مصرف آب را نیز محاسبه نمود. هر چند این مبلغ در مقایسه با هزینه کاهش مصرف سوخت نسبتاً ناچیز می باشد اما در توجیه اقتصادی پروژه نمی توان از آن چشم پوشی نمود.

$$\text{\$Water} = (900\text{lb/hr}) \times (24\text{hr/day}) \times (365\text{day/year}) \times (0.003\text{\$/gallon}) / (8.34\text{ lb/gallon}) = 2836\text{\$/year}$$

یکی دیگر از راههای افزایش کارایی سیستم بویلر افزایش میزان کندانس برگشتی بویلر می باشد. بخار کندانس برای بویلر یک کالای با ارزش محسوب می گردد چرا که هم آب آن خالص می باشد و هم حاوی گرما است. یک بخار کندانس با کیفیت دارای حداقل املاح محلول می باشد و همین مسأله علت پایین بودن EC آن است. بطور معمول املاح محلولی که در این آب وجود دارد مواد شیمیایی اصلاح کننده آب پایه آمین می باشد. هر قدر کندانس بیشتری مورد استفاده قرار بگیرد مصرف آب تغذیه کاهش یافته و همچنین مواد اصلاح کننده آمینی بیشتری بازیافت می گردد در نتیجه این مسأله موجب صرفه جویی در مصرف آب تغذیه و کاهش هزینه تأمین مواد شیمیایی اصلاح کننده آب می گردد. از سوی دیگر گرمای موجود در کندانس نیز موجب کاهش مصرف سوخت جهت تولید بخار می گردد. اختلاف درجه حرارت (H, BTU) بین بخار کندانس (C, mass) و درجه حرارت آب تغذیه معرف میزان سوختی است که در صورت استفاده از کندانس دیگر نیازی به مصرف آن نمی باشد. این میزان تفاوت را می توان به سادگی با استفاده از فرمول ذیل محاسبه نمود.

$$\text{Boiler Efficiency} = \frac{(T_C - T_{MU}) \times (1 \text{ BTU}^0\text{F}) \times C}{\%} = \text{Boiler Efficiency} \text{ (20)}$$

واحد زمان

$$T_C = \text{درجه حرارت کندانس بر حسب فارنهایت}$$

$$T_{MU} = \text{درجه حرارت آب تغذیه بر حسب فارنهایت}$$

مثال 2) در سیستمی مشابه مشخصات ذکر شده در مثال یک اگر این سیستم در هر ساعت 1000 پوند بخار به قسمت فرایند ارسال کند و کندانس تولیدی تماماً وارد فاضلاب

شده و بازیابی نگردد در صورتیکه درجه حرارت کندانس T_C برابر با 180^0F باشد با استفاده از کندانس تولیدی چه میزان صرفه جویی در هزینه خواهیم داشت؟

$$H = \text{ذخیره شده} = (190^0\text{F} - 60^0\text{F}) \times (1\text{BTU}^0\text{F}) \times (1000\text{lb/year}) / 85\% = 120000 \text{ BTU/year}$$

همانگونه که در مثال یک محاسبه شد هزینه مرتبط با سوخت عبارتست از $0.0000168/\text{BTU}$ ، میزان سوخت ذخیره شده را می توان به این ترتیب محاسبه نمود:

$$\text{\$Fuel} = (120000 \text{ BTU/hr}) \times (0.0000148 \text{ BTU}) = \$1.78/\text{hr}$$

در صورتیکه خط فرایند روزانه 24 ساعت و در طول سال 250 روز در حال کار باشد میزان صرفه جویی انجام شده در مصرف سوخت عبارتست از:

$$\text{\$Fuel} = (\$1.78/\text{hr}) \times (24\text{hr/day}) \times (250\text{day/year}) = \$10680/\text{year}$$

علاوه بر این در صورتیکه هر گالن آب $0.003\text{\$}$ باشد صرفه جویی انجام شده در مصرف آب نیز عبارتست از:

$$\text{\$Water} = (1000\text{lb/hr}) \times (24\text{hr/day}) \times (250\text{day/year}) \times (40.003/\text{gal}) / (8.34\text{lb/gal}) = \$2158/\text{year}$$

r

محاسبه میزان استفاده از محصول:

عموماً مقدار مصرف محصول (ماده بازدارنده) به رابطه ذیل وابسته می باشد.

$$(21) \text{ مقدار مطلوب ماده (mg/L) = مقدار مصرف محصول (mg/L) / درصد کارایی ماده}$$

این رابطه را می توان برای افزودنی هایی بر پایه سولفیت، فسفات، پلیمر، چلانت، افزودنی های بخار و مواد قلیایی تنظیم کننده pH مورد استفاده قرار داد. در صورتیکه میزان ارتوفسفات مورد نیاز داخل بویلر را 40mg/L در نظر بگیریم و غلظت ماده نیز 3% باشد در این صورت:

$$\text{مقدار ماده مورد نیاز (mg/L) = } 40\text{mg/L} / 3\% = 1333\text{mg/L}$$

زمانیکه میزان بلودان مشخص باشد مقدار ماده مورد نیاز برای مصرف فوق را می توان در میزان بلودان ضرب نمائیم تا میزان ماده مورد نیاز مشخص گردد.

اغلب میزان آب تغذیه مشخص بوده و یا با استفاده از فرمول های 1، 6 یا 14 قابل محاسبه می باشد فلذا میزان تزریق در آب بویلر (BW) را نیز می توان مشخص نمود:
 مقدار مطلوب ماده در آب (mg/L) = (BW) مقدار تزریق ماده به آب تغذیه (FW) (22)
 CR × درصد کارایی ماده (mg/L) / بویلر

در صورتیکه در مثال توضیح داده شده CR=10 در نظر بگیریم در اینصورت تنها 133mg/L ماده می بایست به آب تغذیه تزریق گردد.

برای آب های تغذیه حاوی سختی کلسیم (CaH) محاسبه مقدار تزریق ماده فسفات بدین شرح است:

$$(23) \text{ mg/L PO}_4 = \text{HCa} \times 0.6 + (\text{PO}_4 \text{ بویلر} / \text{CR})$$

سپس با در نظر گرفتن اکتیویته ماده مشابه فرمول شماره 22 می توان مقدار واقعی فسفات مورد نیاز برای تزریق به آب تغذیه را محاسبه نمود.

برای مواد افزودنی بر پایه سولفیت، قانون کلی مسأله میزان اکسیژن محلول در آب تغذیه (FWDO) می باشد.

$$(24) \text{ FW DO} = (\text{FWDO} \times 10) + [\text{SO}_{3\text{BW}} \times 1.6] / \text{CR}$$

در فرمول فوق $\text{SO}_{3\text{BW}}$ میزان سولفیت اندازه گیری شده در آب بویلر می باشد.

محاسبه میزان آمین خنثی جهت تزریق بدین شرح است:

$$(25) \text{ Amine (mg/L) = MAlk}_{\text{FW}} \times \text{Decom} / \text{Position Factor} \times 0.5$$

در این فرمول فاکتور تجزیه براساس مقدار فشار بویلر تعیین می شود و به شرح جدول 2 می باشد:
 جدول 2، فاکتور تجزیه فشار بویلر:

فاکتور تجزیه	Psig
0.22	0-15
0.35	16-60
0.53	61-100
0.66	101-150
0.7	151-300

جهت تعیین میزان دی اکسید کربن (CO_2) موجود در بخار سیستم بویلر، رابطه زیر در نظر گرفته شده است:

$$\text{mg/L} = 0.88 \times M_{\text{FW}} \times [(P/M)_{\text{BW}} - (P/M)_{\text{FW}}]_{\text{absolute}} \quad (26)$$

در این فرمول:

$M_{\text{alk}} = M$ برحسب mg/L CaCO_3

$P_{\text{alk}} = P$ برحسب mg/L CaCO_3

$\text{FW} =$ آب تغذیه

$\text{BW} =$ آب بویلر

سپس مقدار تزریق مورد نیاز آمین را می توان با توجه به میزان CO_2 موجود در بخار تعیین نمود. مواد آمینی اصلاح کننده بخار و مکمل های اکسیژن زدا موجب کاهش بیشتر مسأله خوردگی در بخار و سیستم کندانس می گردند. مقدار تزریق مورد نیاز این مواد بازدارنده را می توان با توجه به میزان مناسبی که از طرف کارخانه سازنده این مواد توصیه می گردد و با توجه به میزان بخار تولیدی بویلر محاسبه نمود.

کارایی تجهیزات و برنامه اصلاحی:

از زمانی که سوخت داخل بویلر مشتعل می شود تا زمان تشکیل بخار می توان با مقایسه میزان بخار تولیدی با مقدار سوخت مصرف شده کارایی سیستم را مورد ارزیابی قرار داد.

$$\text{کارایی بویلر} = S \times (H_s - H_{\text{FW}}) \times 100 / (M_{\text{Fuel}} \times \text{HV}_{\text{Fuel}}) \quad (27)$$

در فرمول فوق:

$S =$ میزان جریان بخار

$H_s =$ مقدار گرمای موجود در بخار

$H_{\text{FW}} =$ مقدار گرمای موجود در آب تغذیه

$M_{\text{Fuel}} =$ میزان سوخت مصرف شده

$\text{HV}_{\text{Fuel}} =$ ارزش گرمایی سوخت مصرف شده

در این فرمول S و M_{fuel} باید دارای واحد اندازه گیری یکسانی باشند.

به طور کلی در این میان همبستگی وجود دارد به این مضمون که به ازای هر 40°F افزایش دما در دودکش بویلر این مسأله به معنای 1% کاهش در کارایی بویلر می باشد. این کاهش در کارایی بویلر در تعیین موفقیت بویلر در زمینه انتقال حرارت از سوخت به آب مؤثر می باشد.

$$\text{درصد کاهش کارایی} = (T_{\text{current}} - T_o) / (40^\circ\text{F} \times 1\%) \quad (28)$$

در این فرمول:

$T_{\text{Corrent}} =$ درجه حرارت دودکش در حال حاضر برحسب $^\circ\text{F}$

$T_o =$ درجه حرارت اصلی یا پایه دودکش ($^\circ\text{F}$)

در شرایطی که هوای خروجی بویلر را برای بررسی کارایی بویلر مورد ارزیابی قرار دهیم، افزایش دمای دودکش

بویلر می تواند نشان دهنده تشکیل رسوب در سمت آتش یا سمت آب بویلر باشد. این رسوبات مانع از انتقال حرارت به آب شده و سبب باقی ماندن حرارت در گازهای خروجی می گردند.

خلاصه:

درک درستی از موازنه های جرمی، آب تغذیه، میک آپ، کندانس برگشتی، بلودان و میزان بخار تولیدی و اینکه این موارد چگونه بر کارایی بویلر مؤثر می باشند بسیار ضروری است. با استفاده از اطلاعاتی که از این مقاله به دست آمد برای تکنسین های تأسیسات به منظور تشخیص درست مشکل و تعیین روش اصلاحی صحیح، مؤثر خواهد بود.

مترجم: آقای علی معماری فر- واحد فنی