سناریوهای بهینه سازی مصرف انرژی و افزایش راندمان بویلر های صنعتی

داود رحیم یار هریس ،قارن درستی حسن کیاده، حسن بیگلریان

عضو هیت علمی پژوهشگاه نفت rahimyard@ripi.ir

عضو هیت علمی پژوهشگاه نفت dorostiq@ripi.ir

عضو هیت علمی پژوهشگاه نفت biglarianh@ripi.ir

Archive of SID

چکیده

یکی از روشهای محاسبه راندمان مصرف انرژی بویلرهای صنعتی روش غیر مستقیم می باشد. این روش به خاطر عدم احتیاج به اندازه گیری جریان جرمی سوخت ورودی دارای دقت زیادی می باشد ولی نیازمند محاسبه تمام اتلافات انرژی بویلر می باشد. بنابراین اطلاعات دقیقی از انواع اتلافات بویلر می دهد با توجه به این اطلاعات تصمیم گیری در مورد سناریو های بهینه سازی ساده تر می گردد.

در این مقاله روشهای معمول افزایش راندمان بویلرهای صنعتی از قبیل تنظیم مشعلهای بویلرها و بهبود راندمان احتراق، تنظیم هوای اضافه در بویلرها، استفاده از اکنومایزرهای تقطیری یا کندانسی، بازیافت حرارت از آب زیرکش بویلر تشریح شده است. پیشنهادات مذکور برای یک نمونه صنعتی بکار گرفته شده و میزان کاهش مصرف انرژی و صرفه جویی اقتصادی سالانه به ازائ به کارگیری راهکار محاسبه شده است.

www.SID.ir

۱-مقدمه

رشد بی رویه مصرف سوخت و اثرات نامطلوب زیست محیطی آن، عواملی هستند که هرگونه تلاش در زمینه منطقی کردن مصرف سوخت در واحدهای مختلف به ویژه واحدهای صنعتی را توجیه می نماید. در این بین، واحدهای جانبی صنایع مرتبط با نفت، گاز و پتروشیمی که یکی از پرمصرف ترین واحدهای مصرف کننده سوخت درکشور می باشند، از این قاعده مستثنی نبوده و لازم است تمهیداتی برای کاهش مصرف سوخت آنها اندیشیده شود.

یکی از شیوه های موثر برای رسیدن به این هدف، انجام آزمونهای دوره ای تعیین عملکرد می باشد. وضعیت موجود سیستم توسط آزمونهای دوره ای سنجیده می گردد و برای بهبود وضعیت موجود سناریو های مناسب جهت بهینه سازی مصرف انرژی برنامه ریزی می گردد.

۲- سناریو های بهینه سازی مصرف انرژی

در سیستمهایی که مرتبط با احتراق می باشند افزایش راندمان احتراق و جلو گیری از اتلافات حرارتی ازجبهه شعله یکی از عوامل موثر در بهینه سازی مصرف انرژی اینگونه تجهیزات می باشند. همچنین کاهش به کار گیری مجدد انرژی خروجی از این سیستمها در غالب دود خروجی باعث افزایش هر چه بیشتر راندمان این تجهیزات می گردد.

در این مقاله روشهای بهینه سازی مصرف انرژی بویلر ها جهت یکی از مجتمع های یوتیلیتی که دارای چهار عدد بویلر با ظرفیت نامی تولید بخار ۱۱۰ تن بر ساعت میباشد در قالب عدد و ارقام توضیح داده شده است.

تنظیم مشعلهای بویلرها و بهبود راندمان احتراق

با توجه به مطالعات و اندازه گیریهای انجام شده مشخص شده است که مشعلهای بویلرهای تنظیم نمی باشند. به عنوان نمونه آزمایش SPOT CHECK را می توان مبنا قرار داد. در این آزمایش داده های ثبت شده O2، CO2 و دمای دود در دودکش می بایست در شرایط پایدار مورد مقایسه قرار گیرد. اگر در حالتی که میزان O2 ثابت باشد ولی مقدار CO افزایش داشته باشد این افزایش می تواند دلالت بر نقصان مشعلها باشد. اگر دمای دود خروجی حدود ۵ درجه سلسیوس یا بیشتر تغییر یافته باشد ولی میزان گونه های شیمیایی فوق الذکر در آن ثابت باقی مانده باشد نیز دلیل دیگری بر نقصان مشعلها و خصوصا الگوی نامناسب جریان درون کوره باشد.برای اثبات این موضوع داده های بویلرها در جدول زیر آورده شده اند.

جدول ۱ – مقایسه داده های دود بویلرها

		Boiler A	Boiler B	Boiler C	Boiler D
Superheated Steam flow	**ton/hr**	**99.6**	**95.8**	**99.7**	**96**
Gas Temperature C	**C**	**214.6**	**200**	**213.4**	**214.5**
O2 %	**%**	**3**	**2.7**	**3.9**	**5.6**
CO ppm	**ppm**	**419**	**292**	**341**	**299**

Archive of SID

www.SID.ir

همانگونه که مشاهده می گردد میزان مونوکسید کربن در ماکزیمم توان بویلر A تقریبا دو برابر میزان آن در بویلر B است در حالی که مقدار اکسیژن آن نیز اندکی بیشتر است. همچنین در دو بویلر A و D دمای دود خروجی از حجم کنترل بویلرها برابر است ولی میزان گونه های شیمیایی به گونه ای محسوس متفاوت است.

در جدول زیر دو نمونه اندازه گیری انجام شده برای بویلر D را در بار ۵۴ تن نشان می دهد که در زمانهای مختلف انجام شده است.

جدول ۲ – مقایسه داده های دود بویلرها در بار کاری ۵۴ تن بر ساعت

		Boiler A	Boiler B	Boiler C	Boiler D
Superheated Steam flow	**ton/hr**	**99.6**	**95.8**	**99.7**	**96**
Gas Temperature C	**C**	**214.6**	**200**	**213.4**	**214.5**
O2 %	**%**	**3**	**2.7**	**3.9**	**5.6**
CO ppm	**ppm**	**419**	**292**	**341**	**299**

با توجه به اطلاعات جدول می توان بیان نمود که مغشوش کننده های جریان (Furnace Baffling) در این بویلر انحراف دارد یا الگوی توزیع جریان گازهای احتراق نامناسب است.

محاسبات مربوط به صرفه جویی ابتدا با تنظیم میزان دبی سوخت انجام شده است. برای اینکار می بایست از معادله اتلاف حرارتی راندمان را محاسبه نمود و سپس با مشخص بودن راندمان و همچنین میزان بخار تولید شده در بویلرها و ارزش حرارتی سوخت مقدار جدید دبی سوخت را از معادله مستقیم راندمان محاسبه نمود.

جدول زیر نتایج این محاسبه را نشان می دهد.

جدول ۳ – نتایج محاسبات مربوط به صرفه جویی با تنظیم دبی سوخت

LHV	48631.41222	kJ/kg
Main Steam Energy	37088.60203	kW
Efficiency	78.073	%
Fuel Flow	1.0237108	kg/s
Fuel Flow (LogSheet)	0.976833348	kg/s
Error	4.58%	

بنابراین مقدار اندازه گیری دبی سوخت با حدود ۵٪ خطا همراه است.

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به شرایط احتراق اندازه گیری شده در بویلرها میزان افزایش راندمان محاسبه شده بواسطه بهبود مشعلها حدود ۰/۰۲ درصد می باشد که صرفه جویی حدود پنج میلیون ریال در سال را به همراه خواهد داشت.

تنظیم هوای اضافه در بویلرها

اندازه گیری های انجام شده با دستگاه آنالیزر دود بر روی بویلرها نشان داده است که میزان هوای اضافه در آنها بسیار بالاست. یکی از پارامترهای مهم جهت بررسی وضعیت عملکردی بویلرها به لحاظ مصرف انرژی، تعیین مقدار هوای اضافی می باشد. تعیین مقدار هوای اضافی به دو صورت، از طریق اندازه گیری ترکیب سوخت یا آنالیز گازهای حاصل از احتراق توسط دستگاه آنالایزر دود امکان پذیر می باشد.

در این مطالعه مبنای محاسبات بر اساس آنالیز گازهای احتراقی صورت گرفته و نتایج حاصل از اندازه گیری ترکیب گازهای خروجی از دودکش بویلر در جداول زیرارائه شده است.

جدول ۴ – اطلاعات دود خروجی بویلر A در بارهای مختلف

	Boiler A			
LOAD	**56**	**72**	**82**	**100**
Gas Temperature C	162	178.6	195.1	214.6
Dew Point	52.8	51.8	53.9	55.3
O2 %	4.8	6.5	5	3
CO2 %	8.4	7.9	9	9.8
CO ppm	227	249	342	419
CO/CO2 %	0.27	0.315	0.38	0.428
NOX pmm	163	186	252	313
SO2 ppm	0	0	0	0
CH4 %	0	0.002	0.007	0.003

جدول ۵ – اطلاعات دود خروجی بویلر B در بارهای مختلف

	Boiler B			
LOAD	**42**	**50**	**80**	**100**
Gas Temperature C	166.1	169.5	190	200
Dew Point	51.8	52	53.5	55.1
O2 %	6.7	6	5.4	2.7
CO2 %	7.9	8	8.8	9.7
CO ppm	170	185	276	292
CO/CO2 %	0.216	0.232	0.314	0.301
NOX pmm	127	144	206	231
SO2 ppm	0	0	0	0
CH4 %	0.002	0.004	0	0.002

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶ – اطلاعات دود خروجی بویلر C در بارهای مختلف

	Boiler C			
LOAD	**42**	**50**	**80**	**100**
Gas Temperature C	155	179.1	197	213.4
Dew Point	47.3	47	53.9	53.9
O2 %	9.7	10.1	4.3	3.9
CO2 %	6	5.9	9	9
CO ppm	153	160	284	341
CO/CO2 %	0.255	0.271	0.316	0.379
NOX pmm	111	125	217	268
SO2 ppm	0	0	0	0
CH4 %	0	0	0.003	0.004

جدول ۷ – اطلاعات دود خروجی بویلر D در بارهای مختلف

	Boiler D							
LOAD	**47**	**49**	**50**	**52**	**56**	**75**	**80**	**100**
Gas Temperature C	174	176.8	178.4	180.8	185.3	191.5	193.1	214.5
Dew Point	48.1	49.8	48.8	50.5	50.9	50.9	54.3	52.6
O2 %	8.6	7.5	6.4	7.4	7.3	6.9	6.9	5.6
CO2 %	6.3	7	6.6	7.3	7.4	7.5	9.2	8.3
CO ppm	139	147	100	127	156	195	221	299
CO/CO2 %	0.221	0.211	0.151	0.174	0.208	0.26	0.24	0.36
NOX pmm	109	108	96	111	123	154	191	232
SO2 ppm	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 %	0	0	0.005	0.005	0.004	0.001	0	0.012

با نوشتن معادله احتراق و برقرار نمودن موازنه، می توان تخمین دقیقی از میزان هوای اضافی حاصل نمود. نتایج حاصل از محاسبات، متوسط میزان هوای اضافی را ۵۰٪ گزارش می دهد که نشان دهنده وجود مقدار هوای اضافی بالا در بویلر است و بدین طریق مقدار زیادی از اکسیژن نسوخته از طریق دودکش خارج می گردد.

با توجه به آنکه بیشترین افت راندمان ناشی از دمای بالای گازهای خروجی از دودکش بوده بطوریکه تقریبا سهمی معادل ۷۰٪ از کل افت راندمان را شامل می گردد و مابقی آن حدود ۳۰٪ از کل افت راندمان را در بر می گیرد، بررسی این موضوع حائز اهمیت است.

از آنجا که خروجی هر نوع جرم اضافی از دودکش نمایانگر اتلاف انرژی می باشد، لذا یکی از فعالیتهای لازم بمنظور بهینه سازی مصرف انرژی، نظارت و مانیتورینگ بویلرها است. تجهیز نمودن پتروشیمی به دستگاههای مورد نیاز جهت جمع آوری اطلاعات و تحلیل های مصرف انرژی بعنوان اولین گام جهت دسترسی به اطلاعات و آگاهی از وضعیت عملکردی پیشنهاد می گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

از آنجا که مقدار هوای اضافه به بارگذاری روی بویلرها مرتبط است لذا محاسبه آن برای میزان متوسط بار تولیدی ۸۰ تن در ساعت برای هریک از بویلرها محاسبه شده است. میزان هوای اضافه هریک از بویلرها در بار مذکور عبارت بوده است از:

جدول ۸ – درصد هوای اضافه محاسبه شده بویلر ها

Boilers	Excess Air (%)
A	31.68
B	34.55
C	31.76
D	29.2

با توجه به تجربه انجام شده روی یکی از بویلرهای مجتمع (بویلر C) می توان مقادیر فوق را تا میزان ۱۰٪ هوای اضافه کاهش داد. در جدول زیر مقادیر قبل و بعد از بهبود بویلر مذکور نشان داده شده است.

جدول ۹ – اطلاعات دود و هوای اضافه بویلر C قبل از بهبود

Exhaust Gases (Before)	***Dry Volume Percent***	***Wet Volume Percent***	***Wet Mass Percent***	***Exhaust Weight (kg)***
Constituent				
Ar	1.013%	0.862%	1.235%	0.34454
N2	84.443%	71.903%	72.192%	20.14244
O2	6.900%	5.875%	6.738%	1.88004
CO2	7.600%	6.471%	10.208%	2.84806
H2O	0.000%	14.850%	9.588%	2.67530
SO2	0.000%	0.000%	0.000%	0.00000
CO	0.026%	0.022%	0.022%	0.00608
NO	0.019%	0.016%	0.017%	0.00483
NO2	0.000%	0.000%	0.000%	0.00000
A/F Stoichiometric (mass)	**16.75000**			
A/F Actual (mass)	**25.40181**			
Excess Air (%)	**43.76276%**			

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۰ – اطلاعات دود و هوای اضافه بویلر C بعد از بهبود

Exhaust Gases (After)	*Dry Volume Percent*	*Wet Volume Percent*	*Wet Mass Percent*	*Exhaust Weight (kg)*
Constituent				
Ar	1.043%	0.842%	1.222%	0.33639
N2	86.926%	70.204%	71.417%	19.66652
O2	2.100%	1.696%	1.971%	0.54271
CO2	9.900%	7.996%	12.778%	3.51884
H2O	0.000%	19.237%	12.585%	3.46558
SO2	0.000%	0.000%	0.000%	0.00000
CO	0.015%	0.012%	0.012%	0.00339
NO	0.017%	0.013%	0.015%	0.00402
NO2	0.000%	0.000%	0.000%	0.00000
A/F Stoichiometric (mass)	**16.75000**			
A/F Actual (mass)	**19.74111**			
Excess Air (%)	**9.89963%**			

نتیجه محاسبات صرفه جویی در جدول زیر برای بویلر C آورده شده است.

با در نظر گرفتن ساعات کاری سالانه و ارزش حرارتی سوخت مصرفی، می توان نرخ کاهش سوخت در هر سال را محاسبه نمود. نتایج حاصل از کاهش درصد هوای اضافی تا ۱۰٪ باعث افزایش حدود ۰/۳ درصد در راندمان حرارتی خواهد شد و با احتساب کاهش میزان دمای گازهای خروجی از دودکش افزایش راندمان به مرز ۲درصد خواهد رسید. این میزان افزایش راندمان برای مجموعه بویلرها صرفه جویی معادل ۷۷ میلیون ریال در سال را با قیمت گاز ۱۵۸ریال به ازای هر نرمال متر مکعب بدنبال خواهد داشت. لازم به ذکر است که میزان درصد هوای اضافی بر اساس هدفگذاری اولیه با فرض ترکیب مولی اکسیژن به میزان ۲٪ در گازهای خروجی حاصل شده است. در نمودار شکل زیر تنظیم میزان هوای اضافه بر مبنای مقدار اکسیژن بهینه در دود خروجی بویلرها نشان داده شده است.

Archive of SID

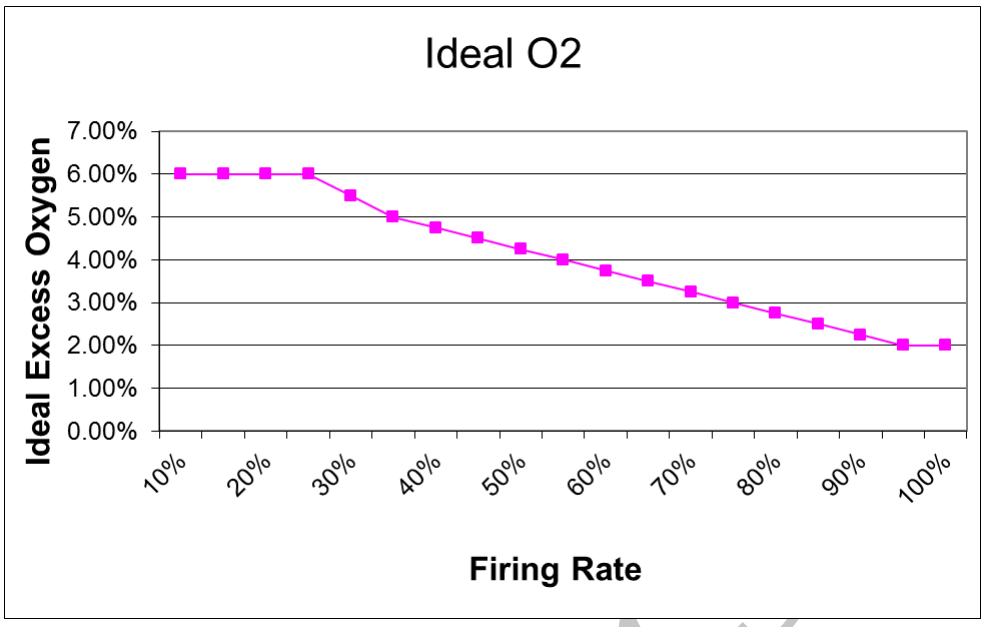
www.SID.ir

جدول ۱۱ – نتیجه محاسبات صرفه جویی در برای بویلر C

Typical Calculation for Boiler C			
Fuel (Gas =1, Oil =2)	1		
Rated Boiler Hp	7500	**Minimum O2 Allowed This Fuel Type**	
Name Plate Efficiency	90.00%	2.00%	
Current O2 % as found	6.90%	**Steaming Rate PPH**	
Current Co2 % as found	7.60%	207000	
Air Diluted CO ppm as found	255.00		
CO in Flue Gas ppm Corrected	380.68		
Approximate Fuel Loss out stack	0.11%		
Normal Firing Rate **NFR** (0-100)	80%		
Recommended O2% @ NFR	2.75%		
Average Hours/Day Run Time	24		
Average Days/Month Run Time	30		
Fuel Cost (Rials) / Therm from billings	430		
Average Combustion Air Temp (F)	122		
Stack Temp at Firing Rate (F)	392		
Net Flue Gas Temp Rise	270	**Performance Data**	
Net Efficiency Loss to Wasted Fuel as Co	0.3807%	32%	Present Excess Air Mass.
As Found Combustion Efficiency	82.2%	13%	New Excess Air Mass.
New Calculated Combustion Efficiency	84.0%	$0.50	OLD Fuel Cost per 1,000 Lb/Steam.
New Stack Temp (F)	386	$0.49	NEW Fuel Cost Per 1,000 Lb/Steam.
New Net Flue Gas Temp Rise (F)	264	3.18%	Percent Fuel Cost Savings.
Net Combustion Efficiency Gain	2.12%		
Current Cost to Operate Per Month (Rials)	75,256,580		
New Cost to Operate Per Month (Rials)	73,661,250		
Savings Per Month (Rials)	1,595,330		
Savings Per Year (Rials)	19,143,970		

Archive of SID

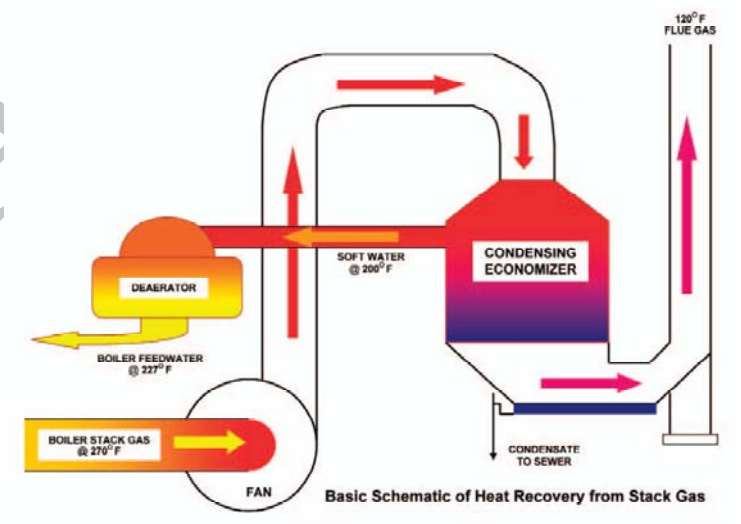
www.SID.ir



شکل ۱ – نمودار اکسیژن بهینه بر حسب نرخ آتش

استفاده از اکنومایزرهای تقطیری یا کندانسی

در این حالت، اکونومایزر با یک اکونومایزر بهینه که قادر است دمای گازهای داغ خروجی دودکش را به پائین تر از دمای نقطه شبنم بخار آب موجود در آن برساند، تعویض می¬شود. در این اکونومایزر که شماتیک آن در شکل دیده می¬شود، بایستی دمای گازهای خروجی تا حد امکان پائین کشیده شود؛ بشرطیکه دمای خروجی به حدی کافی باشد تا گازهای خروجی توسط نیروی شناوری از دودکش خارج شوند. طرح اجمالی عملکرد اکونومایزر چگالشی در شکل نشان داده شده است.



شکل ۲ – شماتیک باز یافت حرارت از گاز های دودکش

Archive of SID
www.SID.ir

این اکونومایزرهای نسل جدید، دارای هزینه نصب زیادی بوده و بایستی از نظر اقتصادی، مقرون به صرفه بودن آنها بررسی شود. در این حالت، مقدار حرارتی که میتوان از گازهای خروجی استحصال نمود، از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$Q_{FGT} = \dot{m}_{FGT} \cdot Cp_{dry} (T_{FGInT} - T_{FGOutT})$$

مقدار پیش فرض برای دمای خروجی گازها از اکونومایزر برابر ۵۰ فرض می شود. در صورت وارد کردن عددی پائینتر از این دما، بازدهی اکونومایزر بالاتر رفته ولی مقدار افت فشار در مسیر نیز به شدت زیاد شده و همچنین قیمت خود اکونومایزر نیز با کاهش دمای خروجی گازها، رشد سریعی خواهد داشت. با دادن این مقدار انرژی به آب تغذیه بویلر، می¬توان مقدار دمای خروجی آن را در خروج از اکونومایزر محاسبه نمود که افزایش آن نسبت به دمای خروجی در حالت عملکردی، می تواند باعث کاهش مصرف سوخت در گرم کردن آب تغذیه شود.

محاسبات مربوط به افزایش راندمان در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۱۲– نتایج محاسبات افزایش راندمان با بکارگیری اکونومایزر چگالشی

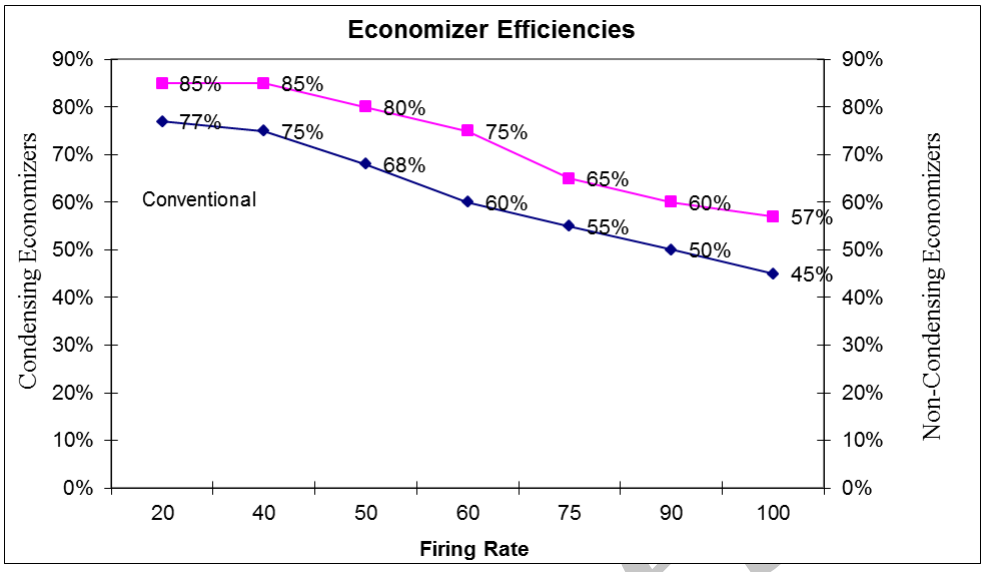
Boiler Type Watertube/Firetube	**W**
Fuel Type Gas or Oil	**G**
Boiler Rated Horsepower	**7550**
Boiler Rated Efficiency	**90.00%**
Normal Firing Rate (NFR)	**80.0%**
Boiler Operating Pressure PSIG	**600**
Combustion Make-up Air Temperature	**122**
Entering Feedwater Temperature	**250**
Fuel Cost (Rials/Therm)	**428**
Hours/Day Operation	**24**
Days/Month Operation	**30**
Operating Steam Temperature (Saturated)	**489.00**
Firing Boiler Horsepower @ NFR	**6040**
Boiler Fuel Input @ NFR	224,587,333
BTU Output @ NFR	202,128,600
Net Operating Efficiencies as found	**93.53%**
Actual BTU Input	**216,120,747**
Theoretical Entering Stack Temperature	**594.00**
Actual Observed Stack Temperature	**392.00**
Temperature Rise Across Econ.	**142.00**
Water Flow #/Hr	208,380.00
Gross BTU to Feedwater/Hr	**5,540,329.81**
Exiting Feedwater Temperature "F"	**276.59**
Exiting Stack Temperature	**331.51**
Gain in Efficiency	**1.97%**
New Net Calculated Thermal Efficiency	**95.50%**
Fuel Savings (Rials)/Hr	**1,900**
Total Annual Savings / Economizer (Rials)	**4*16,390,160**

در نمودار زیر

Archive of SID

www.SID.ir

مقایسه راندمان اکنومایزر جدید با اکنومایزر فعلی نشان داده شده است.



شکل۳ – نمودار تغییرات راندمان اکنومایزر بر حسب ترخ آتش

بازیافت حرارت از آب زیرکش بویلر

مقدار دبی آب زیرکش دیگ از روی کسری (حدود ۰/۵تا ۲ درصد) از دبی کل آب تغذیه بویلر به‌دست می‌آید. این آب با دما و فشار آب اشباعی که در دیگ وجود دارد از آن زیرکش شده و دورریز می‌شود. بهینه ترین مبدل حرارتی که به‌توان تعبیه نمود تا از انرژی حرارتی این آب استفاده کند، مبدلی است که بتواند دمای آنرا به دما و فشار آنرا به شرایط محیط برساند. در این صورت، مقدار حرارتی که از آب زیرکش اخذ می‌شود برابر است با

$$Q_{BD} = \dot{m}_{BD}(Hin_{BDInT} - Hout_{BDOutT})$$

$H_{MOut} = Q_{BD} / \dot{m}_M + H_{MInT}$ این حرارت صرف گرم کردن آب جبرانی بویلر می‌شود و آنتالپی آنرا طبق رابطه افزایش می‌دهد. این آنتالپی افزایش یافته نشانگر دمای زیادتری برای آب جبرانی است که رابطه مستقیمی با کاهش مصرف سوخت دارد.

محاسبات مربوط به افزایش راندمان در جدول زیر آورده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۳– محاسبات مربوط به بازیافت حرارت از آب زیرکش بویلر

Steam Boiler Flow PPH at Capacity	242508	
TDS of Make-up Water	25	
Desired TDS in Boiler Water	1250	
Operating Pressure	600	
Operating Temperature	825	
Boiler Rated Efficiency	90%	
Normal Firing Rate	80%	
Hours/Day Run Time	24	
Days/Month Run	30	
Blowdown as % of Steaming Rate	**2.04%**	**Blowdown within normal limits**
Fuel Cost (Rials) per Therm include transport cost	430	
Deaerator Operating Temperature	266	
Calculated Boiler Horsepower	**5,623**	**At Operating Firing Rate**
Fuel Input at rated efficiency & firing rate	**209,095.79**	**Cubic Feet/Hr**
Therms per hour at efficiency & firing rate	**2,090.96**	
Calculated Cost to Operate per 30 day billing (Rials)	**644,349,580**	
Blowdown in PPH	**3,959.31**	
Equivalent Boiler Horsepower Loss	**114.76**	
Total Heat Available for Recovery	**2,939,791**	**BTU/Hr.**
Equivalent Boiler Horsepower Recovered	**87.85**	
	70,554,981	**BTU/Day**
	2,116,649,417	**BTU/Billing Period**
	25,399,793,006	**BTU/Year**
Total Annual Cost for Blowdown & Make-up (Rials)	**108,711,110**	
BTU Heat for Recovery to Make-Up	**587,245,495**	**Per Billing Period**
Total Monthly Savings for Recovery	**2,513,410**	**Per Billing Period**
Total Annual Savings for Recovery	**30,160,930**	

۳- نتیجه گیری

با توجه به حجم عظیم مصرف انرژی صنایع نفت و گاز و پتروشیمی بهینه سازی مصرف انرژی در این صنایع از اولویتهای این صنایع محسوب می گردد. یکی از تجهیزات عمده مصرف کننده انرژی در این مجتمع های بویلر های می باشند از اینرو اجرای سناریو های مذکور مقدار قابل توجه صرفه جویی در مصرف سوخت مجتمع های پالایشگاهی و پتروشیمی خاصل می آورد.

Archive of SID

www.SID.ir

۴- مراجع

[1] ASME-PTC 6, "Steam Turbines — Interpretations", New York, 2000.

[2] Guidelines for Industrial Boiler Performance Improvement, Boiler Adjustment Procedure to Minimize Air Pollution and to Achieve Efficient Use of Fuel, ABMA

[3] “Efficient boiler operations sourcebook”, F. William Payne, Fairmont Press 1985

[4] “Energy Saving by Increasing Boiler Efficiency”, Lee Yaverbaum, Noyes Data Corporation, 1979

Archive of SID

www.SID.ir