

امکان‌سنجی استفاده از بویلر بازیافت اتلاف حرارت در واحد آیزوماکس شمالی پالایشگاه تهران

پژوهش‌نفت

سال هفدهم
شماره ۱-۵۶
صفحه ۳۳-۲۸

فاطمه گودرزوند چگینی*، معصومه فرخنده و کاظم کاشفی
پژوهشگاه صنعت نفت، مرکز تحقیقات انرژی
goodarzvandf@ripi.ir

چکیده

کاهش مصرف سوخت در بویلرها یکی از راهکارهای مؤثر در زمینه مدیریت انرژی بوده و سرمایه‌گذاری انجام شده در این راه نیز در مدت زمان مناسبی قابل برگشت خواهد بود. صرفه جویی در مصرف سوخت، علاوه بر کاهش مستقیم هزینه‌ها سبب کاهش آلودگی هوا نیز خواهد شد. در این پژوهش، کاربرد یکی از این فناوری‌های بازیافت انرژی در واحد آیزوماکس شمالی پالایشگاه نفت تهران بررسی شده است.

به طور کلی عمده منابع اتلاف حرارت در واحد آیزوماکس شمالی، شامل گازهای حاصل از احتراق در دودکش‌های پنج دستگاه کوره می‌باشد. با توجه به پتانسیل مطلوب تولید بخار پر فشار در واحد فوق، امکان جمع‌آوری این گازها در یک کانال و در نهایت هدایت به یک بویلر اتلاف حرارتی برای تولید بخار با سرمایه‌گذاری مناسب وجود دارد که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحلیل نشان داده است که با استفاده از بازیافت انرژی اتلافی گازهای داغ کوره‌های واحد فوق در یک بویلر اتلاف گرمایی، معادل ۱۸/۱ تن در ساعت، بخار با فشار متوسط قابل تولید خواهد بود که با توجه به هزینه سرمایه‌گذاری مورد نیاز، میزان بازگشت سرمایه نیز با نرخ بهره ۱۸ درصد معادل ۳/۶ سال برآورد شده است.

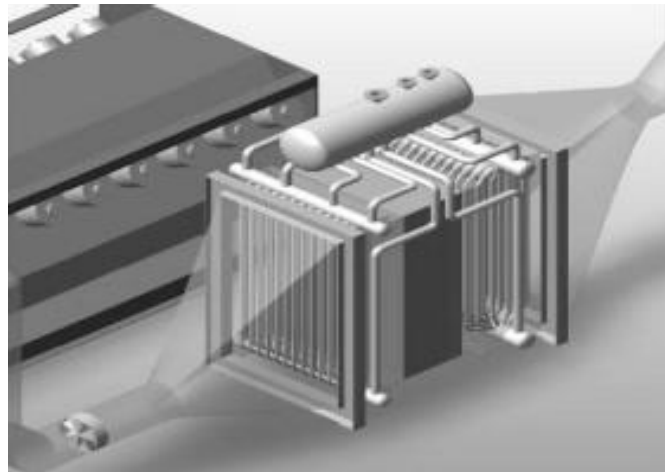
واژه‌های کلیدی: بویلر اتلاف حرارت، گازهای احتراق، کوره، صرفه‌جویی انرژی

مقدمه

در بویلرهای بازیافت حرارت اتلافی^۱، از انرژی حرارتی اتلافی سیستم فرایندی برای تولید بخار استفاده می‌شود. مکانیزم انتقال حرارت در این بویلرها، از نوع جابه‌جایی است. تکیه بر این مکانیزم به معنی استفاده از حجم زیادی از گازهای احتراق^۲ است که از روی دسته‌ای از لوله‌های موازی حامل آب عبور می‌کند و به همین دلیل، این تجهیزات نسبت به بویلرهای معمولی ابعاد بزرگی دارند. شکل ۱، جزئیات داخلی یک نمونه از این بویلرها را نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه گازهای خروجی معمولاً در دامنه دمایی متوسط (۷۰۰-۲۰۰ درجه سانتیگراد) قرار دارند، برای ایجاد ظرفیت اضافی حرارت می‌توان از تعداد بیشتری بویلر استفاده کرد و در کنار آن با پره‌دار کردن لوله‌های آب، اثر سطح انتقال حرارت در سمت جریان گازی را نیز افزایش داد. فشار و شدت تولید بخار به دمای گازهای داغ ورودی

1. Waste Heat Boiler (WHB)
2. Flue Gas



شکل ۱- جزئیات داخلی بخش اصلی بویلر بازیافت اتلاف حرارت

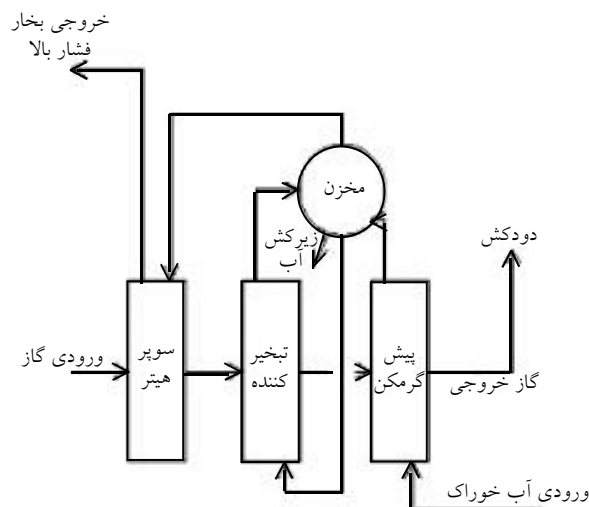
می‌گیرند. تغییر در طراحی بویلر، سبب تغییر در کارایی هزینه سوخت، سرمایه‌گذاری و میزان نشر آلاینده‌ها خواهد شد.

متغیرهای طراحی

متغیرهای مهم بویلر بازیافت اتلاف حرارت که به‌منظور بهینه‌سازی باید مورد توجه قرار گیرند عبارتند از فشار بخار، درجه حرارت جریان‌ها، اختلاف دمای گلوگاه^۱، دمای نقطه تقارب^۲ و دمای محصولات خروجی. شکل ۲ یک سیکل نمونه برای بویلر بازیافت اتلاف حرارت تک فشار را نشان می‌دهد.

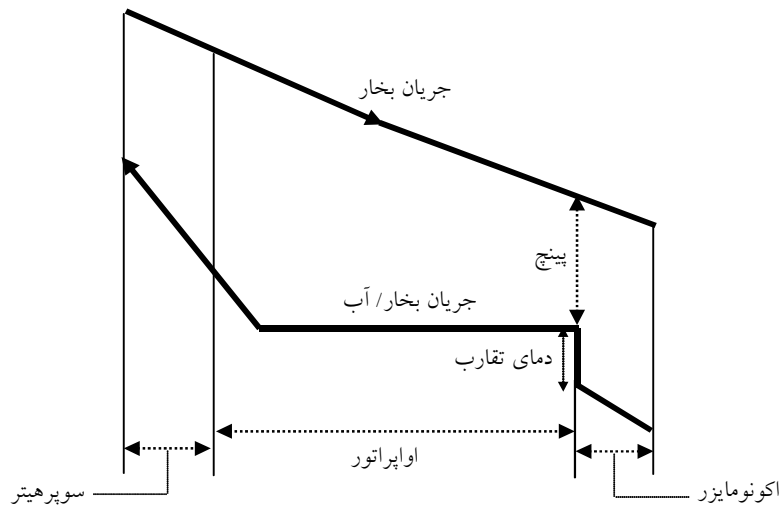
بویلر، دبی گازهای داغ و بازدهی بویلر بستگی دارد. کاربرد بویلرهای بازیافت حرارتی، شامل بازیافت انرژی گازهای داغ خروجی توربین‌های گازی، کوره‌های فرایندی و کوره‌های سوزاننده می‌باشد. بر اساس طراحی این بویلرها و فشار مورد نیاز، بازدهی در حدود ۸۵ الی ۹۵ درصد برای آن‌ها قابل دستیابی است [۳].

بویلرهای بازیافت حرارت در دو نوع افقی و عمودی ساخته می‌شوند. ساختار عمودی به دلیل اینکه به زمین کمتری نیاز دارد، برای اضافه شدن به کارخانه‌های در حال کار، مناسب‌تر به نظر می‌رسد. در طراحی بویلرهای بازیافت حرارت، متغیرهای مختلفی مورد بررسی قرار



شکل ۲- سیکل بویلر بازیافت اتلاف حرارت تک فشار

1. Pinch Point
2. Approach Temperature



شکل ۳- منحنی ترکیبی بویلر بازیافت اتلاف حرارتی

شده است. این فرایند از سه بخش کمپرسورهای بالا برنده فشار گاز هیدروژن، راکتورها و جداسازی تشکیل شده است. ظرفیت این واحد معادل ۱۵۰۰۰ بشکه در روز طراحی شده است و خوراک آن از طریق واحدهای تقطیر و هیدروژن تغذیه می‌شود. از جمله ویژگی‌های خاص واحد آیزوماکس، دما و فشار بالای فرایند برای انجام واکنش‌های مورد نیاز می‌باشد. خوراک واحد باید قبل از ورود به راکتورها آماده‌سازی شود. بدین منظور برای تأمین فشار مورد نیاز واحد، خوراک ورودی در یک کمپرسور سه مرحله‌ای با محرک بخار، تحت عمل تراکم تا فشار ۱۹۴ atm قرار می‌گیرد.

به‌منظور تأمین دمای مورد نیاز واحد، خوراک از دو ردیف موازی که هر ردیف آن شامل ۴ مبدل حرارتی و یک کوره حرارتی است عبور می‌کند و پس از آنکه دمای آن به حدود ۴۲۵ °C رسید، برای انجام واکنش‌های لازم به راکتورها وارد می‌شود. جریان خروجی از راکتورها برای دستیابی به محصولات نهایی به قسمت جداسازی شامل برج‌های تفکیک و سه کوره حرارتی ارسال می‌شود. به‌دلیل تأمین فشار و دمای بالای جریان‌های فرایندی، بار حرارتی کوره‌ها و در نتیجه دبی و دمای گازهای حاصل از احتراق در منطقه تشعشع بالا بوده که به‌دلیل عدم استفاده از انرژی این جریان در منطقه انتقال حرارت همرفتی، دمای گازهای خروجی از دودکش‌ها نیز بالا بوده که این امر موجب اتلاف حرارت در واحد خواهد شد.

دمای گلوگاه و تقارب همانند شکل ۳، مهمترین متغیرهای طراحی در بویلر بازیافت اتلاف حرارت محسوب می‌شوند. محدوده تقریبی این متغیرها در جدول ۱ ارائه شده است [۲].

جدول ۱- دمای پیشنهادی پینچ و تقارب

دمای تقارب (°C)	دمای پینچ (°C)		دمای گاز ورودی (°C)
	نوع تبخیر کننده		
	Finned	Bare	
۷۰ - ۴۰	۶۰ - ۳۰	۱۵۰ - ۱۳۰	۹۵۰ - ۶۵۰
۴۰ - ۱۰	۳۰ - ۱۰	۱۳۰ - ۸۰	۶۵۰ - ۳۷۰

مقدار بهینه نقطه پینچ و دمای تقارب، تابعی از سطح فشار بویلر بازیافت اتلاف حرارت است. کاهش دمای پینچ و دمای تقارب سبب افزایش هزینه سرمایه‌گذاری و کاهش هزینه‌های سالانه و بالعکس افزایش دمای پینچ و دمای تقارب سبب کاهش هزینه سرمایه‌گذاری و افزایش هزینه‌های سالانه خواهد شد [۳].

بررسی فرایند آیزوماکس شمالی شرکت پالایش نفت تهران

واحد آیزوماکس شمالی پالایشگاه تهران، تحت لیسانس UOP است که با هدف تبدیل خوراک نفت-گازی به محصولاتی نظیر بنزین، نفت سفید و گازوئیل تأسیس

محاسبات انرژی قابل بازیافت

و همچنین در نقطه شبنم اسیدی (H_{dp}) با استفاده از جداول موجود مرجع [۱]، گرمای قابل بازیافت بویلر بازیافت اتلاف حرارت (ΔH_{WHB}) با احتساب بازده ۹۵ درصد از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$\Delta(H_{WHB}(BTU/hr))=0.95 \times m_{flue\ gas} \times (H_{flue\ gas} - H_{dp}) \quad (1)$$

اطلاعات مربوط به دما، دبی و هوای اضافی و آنالیز گازهای حاصل از احتراق کوره‌ها در جداول ۲ و ۳ آمده است. شایان ذکر است که کوره 2H-405، به دلیل حجم کم گازهای خروجی، از پتانسیل لازم برای تولید بخار مورد نیاز برخوردار نبوده و در محاسبات در نظر گرفته نمی‌شود.

میزان بخار ۲۰۶۸ kPa قابل تولید در بویلر بازیافت اتلاف حرارت ($m_{300\text{ psig steam}}$) از آب سرد ورودی از مخزن هوازدا، از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$m_{300\text{ steam}}(lb/hr) = \Delta H_{WHB} / (H_{300\text{ steam}} - H_{cond}) \\ = \Delta H_{WHB} / (1282.7\text{ BTU/lb} - 93\text{ BTU/lb}) \quad (2)$$

در رابطه فوق، ($H_{300\text{ psig steam}}$) آنتالپی بخار ۲MP تولیدی

مطابق جدول ۲، درجه حرارت گازهای داغ دودکش‌های پنج دستگاه کوره (2H-401 تا 2H-405) در واحد آیزوماکس شمالی، همگی در محدوده دمایی متوسط (۷۰۰-۲۰۰ درجه سانتیگراد) قرار دارند. از این دسته از منابع گرمای تلف شده به‌طور متعارف در مصارف مکانیکی، تولید بخار یا عملیات توربین‌گازی استفاده می‌شود. بر همین اساس، به‌نظر می‌رسد امکان جمع‌آوری این گازها در یک کانال و در نهایت هدایت به یک بویلر اتلاف گرمایی برای تولید بخار وجود دارد که در ادامه بررسی شده است.

نظر به اینکه گازهای دودکش حاوی اجزای خورنده هستند، حداقل دمای عملیاتی بویلر باید بالاتر از دمای نقطه شبنم گاز باشد. لذا برای اطمینان کامل از حذف این مشکل در عملیات آبی بویلر، دمای نقطه شبنم^۱ گازهای دودکش با احتساب حاشیه امنیت کاملاً محتاطانه حدود ۱۵۰ °C در نظر گرفته شده است.

با دانستن دبی گازهای داغ حاصله از احتراق خروجی از کوره‌ها ($m_{flue\ gas}$) و آنتالپی گاز خروجی از دودکش بویلر بازیافت اتلاف حرارت در دمای خروجی ($H_{flue\ gas}$)

جدول ۲- مشخصات گازهای حاصل از احتراق کوره‌های واحد

2H-401	2H-402	2H-403	2H-404	2H-405	
۶۸۱/۷	۷۱۵/۶	۴۵۱	۴۴۳/۸	۶۲۳/۳	دمای دودکش (°C)
۲۵۸۰۰	۲۳۶۰۰	۲۸۹۰۰	۲۸۱۰۰	۲۴۰۰	دبی گازهای احتراق (kg/hr)
۵۴	۴۰	۶۰	۴۵	۱۰۳	درصد هوای اضافی

جدول ۳- آنالیز گازهای حاصل از احتراق کوره‌های واحد

CO (%)	SO ₂ (ppm)	NO _x (ppm)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	نام کوره
۰/۰	۲۰۵	۹۱	۷/۴	۷/۷	2H-401
۱۰	۱۸۹	۸۳	۶	۸/۵	2H-402
۵	۲۶۰	۸۵	۷/۹	۷/۴	2H-403
۲	۲۵۴	۷۳	۶/۶	۸/۲	2H-404
۲۰۰	۱۳۹	۷۷	۱۰/۷	۵/۸	2H-405

1. Dew Point (dp)

2. Medium Pressure (MP)

آن‌ها می‌توان به انتقال گازهای داغ خروجی از دودکش‌ها توسط یک کانال به بویلر بازیافت اشاره کرد. بدین منظور تمامی تمهیدات لازم همچون نصب دمنده و دیگر سیستم‌های کنترلی مورد نیاز برای جلوگیری از ایجاد اختلال در عملیات کوره‌ها نیز در نظر گرفته شده است، به طوری که شرایط اغتشاش از یک کوره به کوره دیگر منتقل نشود. لازم به توضیح است که ماکزیمم افت فشار مجاز مربوط به گازهای داغ خروجی نیز حدود $2/2$ kPa منظور شده است.

هزینه‌های متغیر

هزینه‌های متغیر طرح شامل هزینه نیروی انسانی، هزینه برق مصرفی، هزینه مواد شیمیایی مصرفی، هزینه تعمیر و نگهداری کل سیستم و هزینه تأمین لوازم یدکی (هر دو سال یک بار) در نظر گرفته شده که تقریباً معادل $3/14$ میلیارد ریال در سال برآورد شده است.

نتیجه‌گیری

از آنجا که عمده منابع اتلاف حرارت در واحد آیزوماکس شمالی گازهای حاصل از احتراق در دودکش‌های کوره‌های موجود می‌باشد، لذا در این پژوهش امکان جمع‌آوری این گازها در یک کانال و در نهایت هدایت به یک بویلر اتلاف حرارتی برای تولید بخار با سرمایه‌گذاری مناسب مورد بررسی قرار گرفته است. مهمترین سود قابل دستیابی، صرفه‌جویی در میزان مصرف سوخت بویلرهای اصلی پالایشگاه است که این خود ناشی از تولید بخار در بویلر اتلاف حرارت پیشنهادی می‌باشد. میزان بخار 2068 kPa قابل تولید توسط بویلر بازیافت اتلاف حرارت معادل $18/1$ تن در ساعت برآورد شده است. با توجه به آنکه مقدار مصرف این نوع بخار در واحد آیزوماکس معادل $4/47$ تن در ساعت است، لذا بخار 2068 kPa تولید شده توسط بویلر بازیافت اتلاف حرارت، کلیه مصارف واحد به این نوع بخار را تأمین کرده و در نتیجه می‌توان مازاد آن را نیز به ورودی بخار 2068 kPa پالایشگاه ارسال کرد. بر همین اساس، میزان بازگشت سرمایه با نرخ بهره ۱۸ درصد معادل $3/6$ سال و IRR برابر $24/3$ درصد خواهد بود.

در دما و فشار موردنظر پالایشگاه تهران و (H_{cond}) نیز آنتالپی آب سرد ورودی به بویلر اتلاف حرارت می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبات فوق نشان داده است که میزان بخار 2068 kPa قابل تولید در بویلر بازیافت اتلاف حرارت حدود $18/1$ تن در ساعت خواهد بود. لازم به ذکر است شرایط معمول بخار MP در پالایشگاه تهران، فشار 2068 kPa و دمای 285 °C است.

محاسبات اقتصادی

بیشترین سود قابل حصول از طرح، ناشی از تولید بخار و در نتیجه صرفه‌جویی در سوخت بویلرهای اصلی پالایشگاه خواهد بود. در اینجا از سود حاصل از کاهش مصرف آب، مواد شیمیایی و برق و کاهش انتشار ترکیبات کربن در بویلرها صرف نظر شده است که در صورت اعمال، زمان بازگشت سرمایه به سود این طرح کاهش خواهد یافت. برای بررسی تأثیر کاهش مصرف سوخت در بویلرها، بازدهی ۷۰ درصد برای آن‌ها در نظر گرفته شده است که در صورت کمتر بودن بازدهی بویلرها، طبیعتاً زمان بازگشت سرمایه نیز کاهش خواهد یافت. بدین ترتیب با در نظر گرفتن قیمت سوخت مصرفی در بویلرها برابر $1/875$ دلار به ازای هر هزار فوت مکعب و 8750 ساعت کاری در سال، می‌توان پیش‌بینی کرد سودی معادل $10/5$ میلیارد ریال در سال قابل استحصال خواهد بود.

هزینه سرمایه‌گذاری

با توجه به این پتانسیل قابل ملاحظه، برای به دست آوردن تخمینی قابل اعتماد در مورد قیمت این دستگاه و هزینه‌های جانبی آن از یکی از سازندگان داخلی استعلام برآورد قیمت به عمل آمد. بر اساس اعلام کتبی شرکت سازنده، هزینه خرید دستگاه بویلر بازیافت حرارت و سیستم‌های جانبی آن نظیر مخزن گاز زدا، کانال برای هدایت گازهای دودکش از کوره‌ها به سمت بویلر، دمنده، پمپ‌های آب، تمامی سیستم‌های کنترل، لوله کشی و ...، حدود $26/5$ میلیارد ریال می‌باشد.

از جمله ویژگی‌های این پژوهش، توجه به محدودیت‌های عملیاتی مربوط به اجرای طرح فوق می‌باشد که از مهمترین

