

بررسی بازیافت و کاهش مصرف انرژی حرارتی در کوره های ذوب شیشه

موسی خانی^{۱*}، وحید مزرعه فراهانی^۲، عباسعلی می بتی^۳

شرکت مهندسی اسوه عمران انرژی

(m.khani@omranenergy.com *)

چکیده

هدف از این مقاله بررسی فنی و اقتصادی بازیافت و کاهش مصرف انرژی در فرایندهای احتراق در صنایع و به خصوص صنایع شیشه می باشد. در این صنایع مصرف انرژی در سطح بالایی بوده و به دلیل استفاده از تکنولوژی های قدیمی و فرسودگی در اغلب این صنایع هدر رفت انرژی زیادی را از طریق دودکش ها و موارد دیگر شاهد هستیم. در این تحقیق روشهای مختلفی از جمله: استفاده از حرارت بازیافت شده جهت تامین حرارت و برودت ساختمان ها، پیش گرم کردن هوای احتراق و کنترل هوای احتراق مورد توجه قرار گرفته است که مطالعات آن بر روی ۴ کوره ی ذوب شیشه در یکی از شرکت های تولید کننده شیشه داخل کشور انجام گرفته است.

واژه های کلیدی: اکونومایزر، سیستم روغن داغ، کنترل هوای احتراق، پیش گرم کردن هوای احتراق، دستگاه

کنترل اکسیژن، گرمایش و سرمایش، بازیافت انرژی در صنعت شیشه، کاهش دمای دود خروجی

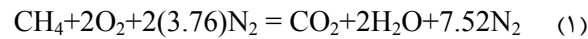
۱- مقدمه

با توجه به آمارهای منتشر شده و تحقیقات انجام گرفته از سوی سازمان های انرژی کشور، طی سال های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۰ مصرف نهایی انرژی با رشد متوسطی برابر ۴/۱٪ در سال افزایش یافته است که سهم صنعت از مصرف انرژی کل کشور در حدود ۲۶٪ بوده است [۱]. در بین مصرف انواع حاملهای انرژی، بیشترین رشد مربوط به گاز طبیعی است که ناشی از اجرای برنامه های توسعه گازرسانی و سیاستهای جایگزینی مصرف گاز طبیعی به جای فرآورده های نفتی بوده است. همچنین به گفته کارشناسان روند شدت انرژی (نسبت مقدار مصرف انرژی بر حسب تن نفت خام به تولید ناخالص ملی) و به تبع آن روند مصرف گاز در کشور به گونه ای لجام گسیخته رو به افزایش است که اگر به همین منوال ادامه یابد، با قیمت های کنونی، خسارتی بیش از ۲۰۰ میلیارد دلار را تا سال ۱۴۰۴ بر کشور تحمیل خواهد کرد که از هم اکنون باید برای کنترل آن برنامه ریزی شود. در گذشته مقالات زیادی در زمینه کنترل و یا پیش گرم کردن هوای احتراق ارائه گردیده که به جنبه های فنی و اقتصادی کمتر توجه شده است. اما در این میان در زمینه امکان بازیافت و استفاده از حرارت خروجی از دودکش ها جهت تامین حرارت و برودت کمتر مقاله ای به چشم می خورد. در این مقاله سعی گردیده تا از جنبه تئوریک خارج شده و بیشتر از جنبه فنی و اقتصادی به موضوع پرداخته شود.

- ۱- کارشناس تاسیسات حرارتی و برودتی، عضو باشگاه پژوهشگران جوان واحد تاکستان، شرکت مهندسی اسوه عمران انرژی
- ۲- کارشناس تاسیسات حرارتی و برودتی، عضو باشگاه پژوهشگران جوان واحد تاکستان، شرکت مهندسی اسوه عمران انرژی
- ۳- کارشناس تاسیسات حرارتی و برودتی، عضو باشگاه پژوهشگران جوان واحد تاکستان، شرکت مهندسی اسوه عمران انرژی

۲- محاسبه میزان هوای تئوریک جهت احتراق

حداقل هوای لازم جهت احتراق را می توان با معلوم بودن ترکیب سوخت و از طریق حل معادله استوکیومتری^۱ (برای سوخت گاز طبیعی) محاسبه نمود. (معادله ۱)

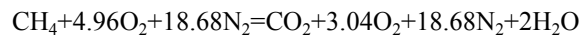


از آنجا که مقدار هوای لازم جهت احتراق در عمل بیش از این مقدار می باشد، با استفاده از آنالیز گازهای خروجی و استفاده از معادله استوکیومتری فرایند احتراق، درصد هوای اضافی بدست می آید که این میزان در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین با داشتن درصد اکسیژن موجود در دود و با استفاده از نمودار ۱ می توان درصد هوای اضافی را بدست آورد. به عنوان مثال برای کوره شماره ۱ خواهیم داشت:



با موازنه نیتروژن: $a = 21.86$ ----- $3.76a = 82.2$ - با موازنه هیدروژن: $d = 2x = 8.8$ - با موازنه کربن: $x = 4.4$

معادله احتراق در حالت واقعی به صورت زیر خواهد بود:



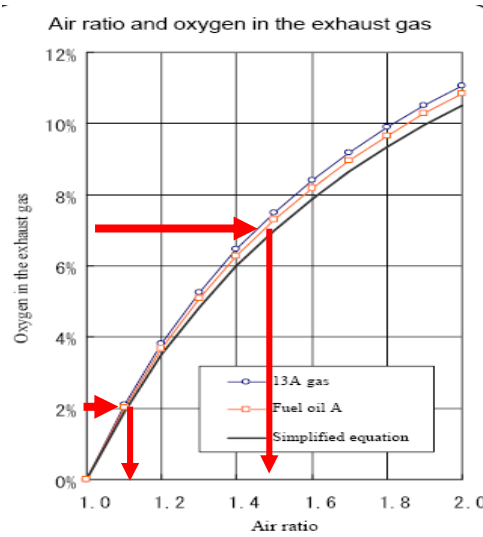
درصد هوای اضافی برابر خواهد بود با:

$$21.86/4.4 = 4.96 \text{ ----- } (4.96/2) * 100 = \underline{248\%}$$

جدول ۱: آنالیز دود و درصد هوای اضافی بدست آمده

شماره کوره	درصد O ₂ در دود	درصد CO ₂ در دود	درصد CO در دود	درصد هوای اضافی
۱	۱۳.۴	۴.۴	.	۲۴۸
۲	۱۲.۸	۴.۷	.	۲۳۳
۳	۱۳.۷	۴.۲	.	۲۵۹
۴	۱۶.۴	۲.۶	.	۴۱۰

همانطور که در جدول ۱ مشخص می باشد میزان هوای دمیده شده به کوره ها بسیار زیاد بوده که این مسئله به عدم آگاهی پرسنل نگهداری ، فرسوده بودن و استفاده از تکنولوژی قدیمی در کوره ها مربوط می باشد.

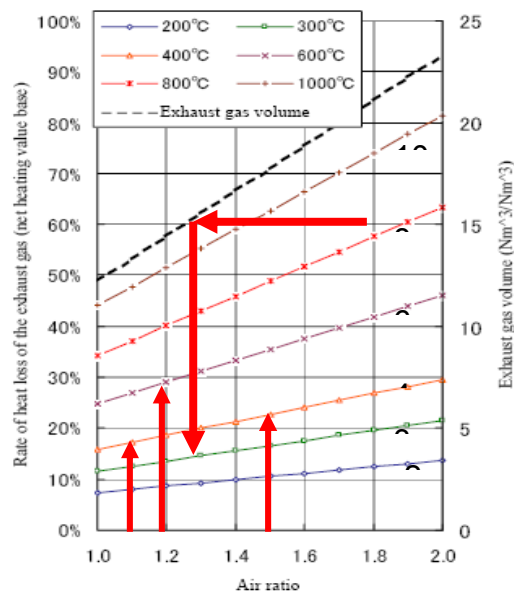


نمودار ۱: رابطه بین درصد هوای اضافی و درصد اکسیژن موجود در دود

۳- محاسبه میزان صرفه جویی انرژی از طریق کنترل و کاهش هوای اضافی

در احتراق ایده آل سوخت به صورت کامل با اکسیژن هوا ترکیب شده و به صورت احتراق کامل می سوزد. یعنی نسبت هوا به سوخت برابر نسبت استوکیومتری ترکیب می شود. اما در واقعیت برای احتراق کامل نیاز به هوای اضافی می باشد تا از ترکیب شدن هوا و سوخت مطمئن بود. در صورتی که میزان هوای احتراق از نسبت استوکیومتری بیشتر باشد، هوای اضافی منجر به جذب گرمای آزاد شده از احتراق سوخت شده و باعث پایین آمدن راندمان کوره خواهد شد. با کمک نمودار ۲ می توان میزان تلفات حرارتی ناشی از هوای اضافی را برای سوخت گاز طبیعی بدست آورد.

Rate of heat loss of the exhaust gas (13A gas)



نمودار ۲: تلفات حرارتی ناشی از هوای اضافی

درصد هوای اضافی مجاز در صورتی که از گاز طبیعی جهت احتراق استفاده شود تا ۱۳۰٪ نیز می رسد [۲] ولی به دلیل تکنولوژی قدیمی کوره ها، در این قسمت هوای احتراق به منظور ترکیب شدن کامل اکسیژن با سوخت در داخل کوره ۱۵۰٪ هوای تئوریک در نظر گرفته شده است.

با مشخص شدن درصد هوای اضافی می توان دبی حجمی هوای دمیده شده به کوره را بدست آورده و با ضرب کردن آن در جرم مخصوص هوا دبی جرمی را بدست آورد. (جدول ۲) با کم کردن دبی جرمی هوای احتراق ۱۵۰٪ هوای اضافی، از دبی جرمی هوای احتراق در شرایط واقعی می توان دبی جرمی هوای اضافی را بدست آورده و با استفاده از معادله ۲ میزان حرارت بازیافت شده را محاسبه نمود.

$$Q = m^a \times (h1 - h2) \quad (2)$$

Q: انرژی حرارتی صرفه جویی شده (kw) - m^a : دبی جرمی (kg/s) - $h1-h2$: اختلاف آنتالپی (kj/kg)

جدول ۲: دبی حجمی گاز مصرفی و دبی جرمی هوای احتراق

شماره کوره	مصرف گاز (m^3/hr)	دبی جرمی هوای تئوریک (kg/h)	دبی جرمی واقعی هوای (kg/h)	دبی جرمی هوای ۱۵۰٪ (kg/h)
۱	۳۸۸/۵	۴۵۴۰/۵۸	۱۱۲۶۰/۶۵	۶۸۱۰/۸۱
۲	۴۰۲/۳۵	۴۷۰۲/۴۵	۱۰۹۵۶/۷۲	۷۰۵۳/۶۸
۳	۳۴۴/۶۵	۴۰۲۸/۰۹	۱۰۴۳۲/۷۷	۶۰۴۲/۱۴
۴	۳۰۸/۸	۳۶۰۹/۰۴	۱۴۷۹۷/۱	۵۴۱۳/۵۷

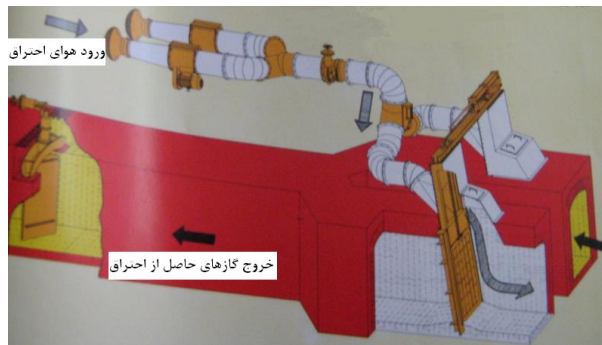
جهت کنترل مداوم نسبت هوا به سوخت و تنظیم آن در بهینه ترین حالت خود از کنترلر های مخصوصی استفاده می گردد. در واقع این کنترلرها با بررسی ترکیب گازهای خروجی از طریق دودکش به تنظیم نسبت هوا به سوخت می پردازند. ساده ترین نوع این کنترلر ها سیستم کنترل اکسیژن به همراه سنسور زیرکونیومی می باشد (شکل ۱). این کنترلر با اندازه گیری میزان اکسیژن موجود در دود و فرمان دادن به یک موتور دمپر که در مسیر هوای احتراق قرار دارد، نسبت هوا به سوخت را به گونه ای تنظیم می نماید که میزان اکسیژن موجود در دود در حد قابل قبولی قرار گیرد. نوع پیشرفته تر از این کنترلر ها قابلیت اندازه گیری درصد بسیاری از گاز ها در دود در شرایط متفاوت احتراق را دارا می باشد. البته در این سیستم ها نیز عمده تنظیمات بر اساس میزان اکسیژن موجود در دود انجام می گیرد [۲].

قابل توجه این که: در این کوره ها از سامانه ای به نام ریژنراتور استفاده می شود که برای پیش گرم کردن هوای مورد نیاز احتراق تعبیه شده است. ریژنراتورها به گونه ای طراحی می شوند که گازهایی با دمای بالای حاصل از احتراق، از بین آجرهای چکر مستقر در ریژنراتور عبور کرده و گرمای آن جذب این آجرها شود. مکانیزم عمل بازیابی حرارت در ریژنراتور به این صورت است که گاز های حاصل از احتراق هنگام خروج از کوره و پیش از ورود به دودکش، به داخل ریژنراتور هدایت می شوند و این عمل در یک بازه زمانی ۱۵-۳۰ دقیقه ای انجام می شود [۳]. سپس هوای احتراق قبل از ورود به داخل کوره از میان این آجرها

عبور کرده و انرژی حرارتی آن را جذب می کند و باعث افزایش قابل ملاحظه دما و پیش گرم شدن هوای احتراق می شود (شکل ۲).



شکل ۱: یک نمونه از دستگاه کنترل اکسیژن به همراه سنسور زیرکونیومی



شکل ۲: یک نمونه از سیستم تغییرسیکل ریژنراتور ساخت شرکت اس.او.آر.جی

درجه حرارت گازهای احتراق در هنگام ورود به ریژنراتور در حدود 1500°C بوده و در هنگام خروج از ریژنراتور تا دمای حدود 400°C کاهش می یابد. هوای احتراق نیز در دمای محیط وارد ریژنراتور شده و هنگام خروج به دمای 1200°C می رسد. این هوا به عنوان هوای ثانویه برای احتراق استفاده می شود. برای بدست آوردن اختلاف انتالپی در این بخش باید انتالپی هوای خروجی از ریژنراتور و انتالپی هوای متناسب با درجه حرارت داخل کوره را مدنظر قرار داد. با مشخص شدن دبی جرمی هوای اضافی و اختلاف انتالپی (جدول ۳) و استفاده از معادله ۲ می توان میزان انرژی صرفه جویی شده را بدست آورد (جدول ۴).

جدول ۳: دبی جرمی هوای اضافی و اختلاف انتالپی

شماره کوره	دبی جرمی هوای اضافی (kg/h)	دمای داخل کوره (C)	دمای هوای ورودی به کوره (C)	Δh (kj/kg)
۱	۴۴۴۹/۸۴	۱۵۳۰	۱۲۱۴	۳۹۷/۹
۲	۳۹۰۳/۰۴	۱۵۱۰	۱۱۱۰	۴۸۶/۱۵
۳	۴۳۹۰/۶۳	۱۵۰۰	۱۱۴۴	۴۳۵
۴	۹۳۸۳/۵۳	۱۴۹۰	۱۲۱۷	۳۳۶

جدول ۴: انرژی صرفه جویی شده از طریق کاهش میزان هوای اضافی

شماره کوره	۱	۲	۳	۴
انرژی صرفه جویی شده (kw)	۴۹۱	۵۲۷	۵۳۰	۸۵۷

با توجه به این که کوره ها به صورت شبانه روزی و در ۲۴ ساعت فعال می باشند، میزان کاهش و صرفه جویی انرژی حرارتی در سال به صورت زیر می باشد .

$$2405 \text{ kw} * \text{ساعت} * ۲۴ * \text{روز} * ۳۶۵ = ۲۱۰۶۷۸۰ \text{ kwh}$$

۴- محاسبه مقدار حرارت مورد استحصال توسط اکونومایزر

استفاده از اکونومایزر^۲ یکی از متداولترین روش های جذب انرژی گازهای اگزاست می باشد. در واقع اکونومایزرها مبدل های حرارتی بوده که انرژی گرمایی محسوس دود پس از خروج از کوره را برای گرم کردن سیال مورد استفاده قرار می دهد. (شکل ۳) البته نوع دیگری از اکونومایزر به نام اکونومایزر تقطیری وجود دارد که علاوه بر جذب انرژی گرمایی محسوس، انرژی گرمایی نهان دود را نیز از طریق تقطیر بخار آب موجود در دود جذب می نماید که به دلیل بالا بودن قیمت این محصول و پیچیدگی طراحی در این مقاله به آن پرداخته نشده است.

اغلب اکونومایزرها ساختار ساده ای دارند و از چند لوله کویلی شکل تشکیل شده و داخل یک پوسته قرار می گیرند. آب یا سیالات دیگر مانند روغن انتقال حرارت از داخل لوله ها عبور کرده و دود نیز از اطراف لوله ها و داخل پوسته انرژی حرارتی خود را منتقل می نماید.

نکته مهمی که باید بدان توجه کرد وجود مشکل خوردگی در اکونومایزر به دلیل ترکیبات اسیدی می باشد. گوگرد و ترکیبات آن در اغلب سوخت های مورد استفاده به صورت ناخالص وجود دارد. در اثر شرکت در احتراق کامل، گوگرد به دی اکسید گوگرد تبدیل می گردد. علاوه بر این از آنجا که سوخت های مورد استفاده از هیدروکربن ها می باشد، در اثر احتراق این ترکیبات با محصولات احتراق بخار آب تولید می گردد. در اثر ترکیب بخار آب و دی اکسید گوگرد اسید سولفوریک تولید می شود. این اسید تا زمانی که به صورت بخار وجود دارد مشکلی ایجاد نمی کند اما بلافاصله پس از تقطیر شدن به سرعت موجب خوردگی شدید فلزات می گردد [۲]. بنابراین همواره این نکته را باید مدنظر قرار داد که در هنگام استفاده از اکونومایزر تا جایی می توان از انرژی دود استفاده کرد که منجر به مایع شدن ترکیبات اسیدی نگردد [۲]. دمایی که در آن اسید از حالت بخار به حالت مایع تبدیل می گردد را "دمای نقطه شبنم اسید" می نامند. این دما برای سوخت های گازی 60°C بوده و برای مشتقات نفت تا 120°C [۴] می رسد که در این پروژه جهت اطمینان از تقطیر نشدن ترکیبات اسیدی در داخل اکونومایزر و دودکش دمای دود خروجی از اکونومایزر 150°C در نظر گرفته شده است.

با جمع دبی جرمی مصرف گاز کوره ها و دبی جرمی هوای احتراق، دبی جرمی دود بدست می آید. (جدول ۵) برای بدست آوردن دبی جرمی گاز مصرفی کوره ها کفایست دبی حجمی را در وزن مخصوص گاز (0.648 kg/m^3) ضرب کنیم. با مشخص بودن دبی جرمی دود خروجی از کوره ها (جدول ۵) و درصد ترکیب عناصر موجود در آن (جدول ۱) دبی جرمی هر کدام از عناصر موجود در ترکیب دود را بدست آورده و با مراجعه به جداول ترمودینامیکی و بدست آوردن اختلاف انتالپی هر کدام از عناصر دود و استفاده از معادله ۲ می توان میزان حرارت بازیافت شده از طریق اکونومایزر را بدست آورد.

جدول ۵: میزان حرارت بازیافت شده از طریق اکونومایزر

شماره کوره	دبی جرمی گاز (kg/h)	دبی جرمی دود (kg/h)	دمای دود قبل از اکونومایزر (C)	حرارت مورد استحصال (kw)
------------	---------------------	---------------------	--------------------------------	-------------------------

۵۸۷/۳	۳۳۴/۷	۱۱۵۱۱/۷	۲۵۱/۷	۱
۸۲۴/۵	۴۰۰/۱	۱۱۲۱۷/۴۲	۲۶۰/۷	۲
۶۳۹/۵۷	۳۵۶	۱۰۵۶۵/۰۷	۲۲۳/۳	۳
۵۶۵/۲۹	۲۸۶/۹	۱۴۹۹۷/۲	۲۰۰/۱	۴



شکل ۳: یک نمونه از اکونومایزر

۵- استفاده از حرارت بازیافت شده جهت تامین حرارت و برودت ساختمان ها

چنانچه استفاده از حرارت بازیافت شده توسط اکونومایزر برای تامین حرارت و برودت ساختمان های اداری مد نظر باشد، می توان جهت تامین انرژی چیلرهای جذبی از این مقدار حرارت استفاده نمود. به وسیله معادله شماره ۳ و با در نظر گرفتن ضریب عملکرد ۵/۰ برای چیلرهای جذبی می توان به مقدار $1308/33 \text{ kW}$ گرما گرفت و برودت مورد نظر را ایجاد نمود. نکته قابل توجه در این رابطه این است که جهت کنترل ظرفیت میزان دود ورودی به اکونومایزر باید از روش کنار گذر کردن دود در مسیر دودکش استفاده نمود که این امر به وسیله یک دمپر قابل انجام می باشد.

$$C.O.P = \frac{Q_e}{Q_g} \quad (3)$$

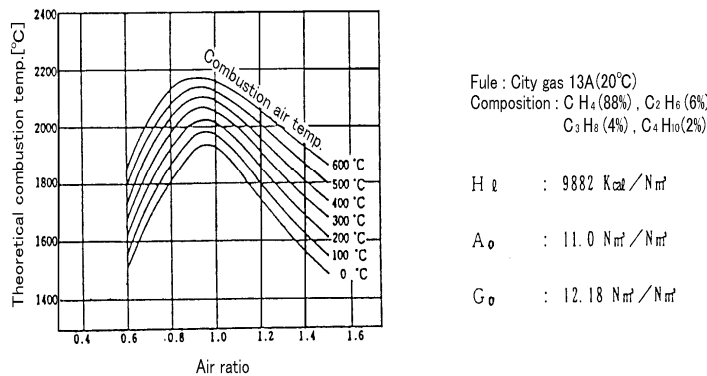
C.O.P: ضریب عملکرد - Q_e : حرارت جذب شده در اواپراتور - Q_g : حرارت مورد نیاز در ژنراتور.

با توجه به این که بارهای حرارتی و برودتی ساختمان ها در طول سال ثابت نیست جهت محاسبه میزان کاهش و صرفه جویی مصرف انرژی، می توان میانگین مصرف ماهیانه حرارت و برودت ساختمان را از طریق نرم افزار های محاسباتی و تحلیلی چون کریر بدست آورد. در نهایت میزان کاهش و صرفه جویی مصرف انرژی در روش فوق برای مصرف برودت $660.827/9 \text{ kW}$ در یک سال و جهت تامین حرارت $396496/74 \text{ kWh}$ در یک سال برآورد می شود.

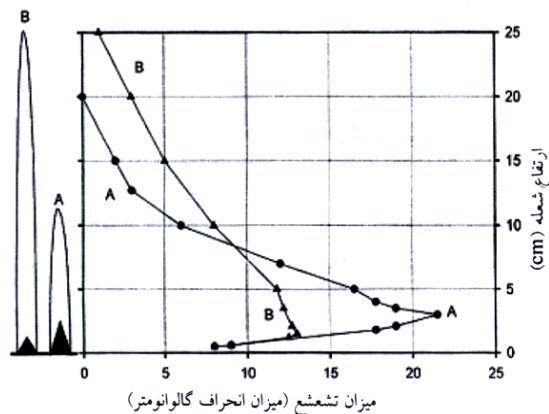
۶- استفاده از حرارت بازیافت شده جهت پیش گرم کردن هوای احتراق

یکی از موفق ترین روش ها در کاهش مصرف سوخت استفاده از انرژی حرارتی محصولات احتراق در دود جهت پیش گرم کردن هوای احتراق و یا سوخت ورودی به کوره می باشد. دمای شعله یک متغیر مهم در مشخص کردن انتقال حرارت از شعله به بار است. پیش گرم نمودن سوخت و یا اکسید کننده، منجر به افزایش انرژی حرارتی محسوس و در نتیجه دمای شعله آدیاباتیک می شود. (نمودار ۲) البته پیش گرم نمودن اکسید کننده موثرتر است چرا که نرخ جرمی آن نسبت به سوخت بیشتر بوده و در نتیجه حرارت محسوس بیشتری به آن اضافه می شود [۴].

به طور کلی به واسطه افزایش دمای شعله، تابش و جابجایی گرما از محصولات احتراق به بار افزایش می یابد. ضمناً با افزایش دما گاز انبساط یافته و نرخ حجمی آن بیشتر می شود که این موضوع خود منجر به افزایش انتقال حرارت جابجایی به بار خواهد بود [۴]. از نمودار ۳ مشاهده می شود که پیش گرم نمودن هوا باعث افزایش طول شعله و یکنواخت تر شدن پروفیل شار حرارتی تابشی آن شده است [۵].



نمودار ۲: تأثیر دمای هوای احتراق بر روی دمای داخل کوره



نمودار ۲: شعله و شار حرارتی تابشی از شعله متان در مشعل بنسن - شکل (A) بدون پیش گرم کردن هوا و شکل (B) با پیش گرمایش هوا تا ۵۵۰ درجه سانتیگراد

در این قسمت می توان انرژی حرارتی حاصل شده از عملکرد اکونومایزر (جدول ۵) را با به کار گیری سیستم روغن داغ صرف پیش گرم کردن هوای احتراق نمود. بدین صورت که در داخل اکونومایزر به جای آب، روغن انتقال حرارت جریان دارد؛ این روغن حرارت را از دود عبوری از اکونومایزر جذب نموده و سپس توسط پمپ به کویل حرارتی که در قسمت مکش هوای احتراق قرار داده می شود انتقال می یابد و حرارتی را که در قسمت اکونومایزر جذب نموده به هوای احتراق پس می دهد.

میزان کاهش و صرفه جویی انرژی حرارتی در سال به صورت زیر می باشد:

$$۲۲۹۲۱۹۴ \text{ kwh} = ۳۶۵ \text{ روز} * ۲۴ \text{ ساعت} * ۲۶۱۶.۶۶ \text{ kw}$$

۷- میزان کاهش مصرف گاز در سه روش فوق

جهت محاسبه میزان مصرف گاز در هر یک از روش های فوق می توان از معادله ۴ استفاده نمود.

$$A = \frac{Q}{G} \quad (4)$$

A: میزان گاز صرفه جویی شده - Q: میزان حرارت صرفه جویی شده - G: قدرت حرارتی سوخت

با در نظر گرفتن 10 kw/m^3 جهت قدرت حرارتی سوخت گاز طبیعی و استفاده از معادله ۴ میزان کاهش مصرف سوخت گاز در سال بر حسب متر مکعب مطابق جدول ۶ بدست می آید .

جدول ۶: میزان کاهش مصرف سوخت گاز طبیعی در یک سال

ردیف	نوع کاهش مصرف	میزان کاهش مصرف (m^3)
۱	کنترل و کاهش هوای اضافی	۲۱۰۶۷۸۰
۲	تامین حرارت و برودت	۱۷۱۸۱۵
۳	پیش گرم کردن هوای احتراق	۲۲۹۲۱۹۴

۸- بر آورد کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی

بدیهی است که با کاهش مصرف انرژی شاهد کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی نیز هستیم. میزان کاهش آلاینده ها در این طرح در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷: میزان کاهش آلاینده ها در یک سال

ردیف	نام طرح	CO ₂ (kg)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)
۱	کنترل و کاهش هوای اضافی	۸۲۹۹۵۵۵	۶۶۹۵۴	۹۸۷۳
۲	تامین حرارت و برودت	۴۱۶۵۵۱	۳۳۶۱	۴۹۰
۳	پیش گرم کردن	۹۰۱۲۷۸۰	۷۲۷۳۵	۱۰۶۲۱

۹- بر آورد اقتصادی

با در نظر گرفتن مبلغ ۱۵۸ ریال به ازای هر متر مکعب گاز طبیعی در بخش صنعت میزان صرفه جویی اقتصادی در هر یک از این طرح ها در جدول ۸ نشان داده شده است. البته با توجه به طرح مهم تحول اقتصادی که یکی از برنامه های اصلی آن حذف یارانه های انرژی می باشد این ارقام تا میزان قابل توجهی قابل افزایش بوده و توجیه اقتصادی طرح را پرثمر تر خواهد نمود و انگیزش بیشتری ایجاد می نماید.

جدول ۸: میزان صرفه جویی اقتصادی

ردیف	نام طرح	صرفه جویی اقتصادی در یک سال (ریال)
------	---------	------------------------------------

۱	کنترل و کاهش هوای اضافی	۳۳۲,۸۷۱,۲۴۰
۲	تامین حرارت و برودت	۲۷,۱۴۶,۷۷۰
۳	پیش گرم کردن هوا	۳۶۲,۱۶۶,۶۵۲

برآورد هزینه‌های هر یک از طرح‌ها با توجه به نرخ‌های استعلام شده از بازار مطابق جدول ۹ می‌باشد.

جدول ۹: برآورد هزینه‌ها

ردیف	نام طرح	هزینه‌های اقتصادی (ریال)
۱	کنترل و کاهش هوای اضافی	۲۸۰,۰۰۰,۰۰۰
۲	تامین حرارت و برودت	۶۰۰,۰۰۰,۰۰۰
۳	پیش گرم کردن هوای احتراق	۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰

با مشخص شدن میزان صرفه جویی اقتصادی و هزینه‌های هر طرح می‌توان دوره بازگشت سرمایه (جدول ۱۰) را محاسبه نموده و اقتصادی‌ترین طرح را انتخاب نمود. لازم به ذکر است در روش تامین حرارت و برودت فقط هزینه تهیه و نصب اکونومایزر در نظر گرفته شده و هزینه چیلر و سایر تجهیزات تاسیسات مرکزی در این قسمت لحاظ نشده است.

جدول ۱۰: بازگشت سرمایه

ردیف	نام طرح	دوره بازگشت سرمایه (سال)
۱	کنترل و کاهش هوای اضافی	۰/۸۴
۲	تامین حرارت و برودت	۲۲
۳	پیش گرم کردن هوای احتراق	۲.۲

۱۰- جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به جدول‌های شماره ۹ و ۱۰ مناسب‌ترین روش، روش کنترل و کاهش هوای اضافی و سپس پیش گرم کردن هوای احتراق می‌باشد و روش تامین حرارت و برودت به دلیل دوره بازگشت سرمایه طولانی‌تر مناسب به نظر نمی‌آید. این طول مدت بازگشت سرمایه البته به دلیل متغیر بودن بارهای حرارتی و برودتی در طول سال و به تبع آن کاهش میزان صرفه جویی انرژی می‌باشد. همچنین می‌توان از دو روش پیش گرم کردن هوای احتراق و تامین حرارت و برودت به طور همزمان استفاده کرد که در این صورت هزینه اولیه و دوره بازگشت سرمایه این طرح برابر با هزینه اولیه پیش گرم کردن هوای احتراق است. در این طرح در مواقعی که نیاز حرارت و برودت در حالت پاره بار و یا حتی صفر باشد، حرارت بازیافت شده صرف پیش گرم کردن هوای احتراق شده و در مواقعی که نیاز به تامین حرارت یا برودت باشد بخشی از حرارت بازیافت شده توسط اکونومایزر جهت تامین انرژی حرارت و برودت مورد نیاز مصرف خواهد شد.

مراجع

- [۱]- بروشورهای آموزشی شرکت بهینه سازی مصرف سوخت کشور، ۱۳۸۶
- [۲]- مجید سلطانی، علیرضا تقی نظری - بهینه سازی مصرف سوخت در سیستم های حرارت مرکزی - تهران، فدک ایستاتیس، ۱۳۸۶
- [۳]- مرکز آموزش و پژوهش صنایع ایران - تعیین معیار مصرف انرژی در صنعت شیشه جام و مظروف - تهران، پیک ادبیات، ۱۳۸۴
- [۴]- سپهر صنایع، جواد محمودی مهر، محمد رضا فجرک - مشعل های صنعتی و استفاده از فن آوری های جدید در افزایش بازده احتراق - سازمان بسیج مهندسیین، فصلنامه علمی کاربردی مهندسی اسوه، سال سوم، شماره ۹، ۱۳۸۶
- [5] - Charles E. baukal, J.R., Heat transfer in industrial combustion ; Boca Roton, CRCpress, 2001