

# بررسی عوامل موثر بر راندمان دیگ بخار (اکونومایزر)

مهدی شکوهمند<sup>۱</sup>، سید طاها طالبیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور [Mehdi.shokohmand@yahoo.com](mailto:Mehdi.shokohmand@yahoo.com)  
<sup>۲</sup> عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور، [taha\\_talebian@yahoo.com](mailto:taha_talebian@yahoo.com)

## چکیده

موضوع در حال حاضر به بررسی عوامل موثر بر راندمان دیگ های بخار می پردازد، که پس از معرفی دیگ و اجزای آن، به بررسی پیش گرمکن ها در دیگ بخار می پردازیم، که یکی از مهم ترین آن ها اکونومایزر می باشد و آن سیستمی است که باعث افزایش راندمان دیگ بخار و کاهش مصرف سوخت و کاهش آلاینده ها از خروجی دودکش می شود. که با استفاده بهینه از انرژی گرمایی خروجی از اگزوز دیگ بخار در محل دودکش که گرمای زیادی دارد، درجه حرارت آب داخل اکونومایزر را افزایش می دهد و باعث افزایش راندمان دیگ بخار می شود.

## کلمات کلیدی

دیگ بخار، اکونومایزر، راندمان، کاهش آلاینده ها، پیش گرم کن

### دیگ بخار:

دیگ بخار یا بویلر دستگاهی است که با دریافت انرژی حرارتی از سوخت (جامد، مایع، گاز)، آب را به بخار تبدیل می کند.

### راندمان:

شاخص اندازه گیری عملکرد اقتصادی چرخه بقای تجهیزات می باشد

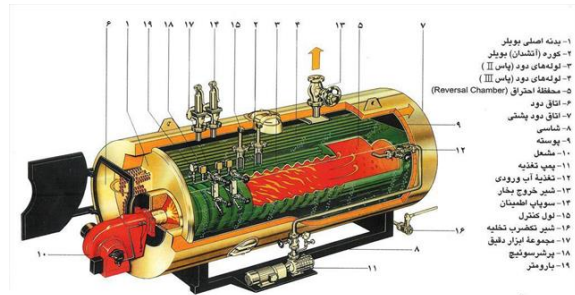
### پارامترهای موثر بر راندمان دیگ بخار:

- ۱- مخلوط شدن و تناسب داشتن سوخت و هوا جهت احتراق (مشعل)
- ۲- استفاده از آب مصرفی مناسب و بدون سختی و املاح
- ۳- ایزولاسیون مناسب بدنه و لوله ها
- ۴- جلوگیری از تشکیل رسوب و دوده
- ۵- چیدمان صحیح لوله ها و عدم نشتی آنها
- ۶- دمای گاز خروجی
- ۷- تعداد چرخش دود در بویلر
- ۸- سطح حرارتی
- ۹- هوای اضافی
- ۱۰- ترکیبات سوخت
- ۱۱- دمای محیط
- ۱۲- استفاده از پیش گرمکن ها (اکونومایزر)

### ۱- مقدمه

#### مقدمه

صنعت کشور در بین صنایع دنیا، به سبب شرایط و جایگاه خاص در اقتصاد ملی، نیازمندی بیشتری به ابزار صرفه جویی انرژی برای ارتقاء و تثبیت وضعیت خود در منطقه و جهان دارد، که می توان با اتخاذ سیاستهای مناسب و توجه خاص به صرفه جویی انرژی و در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی، در این زمینه ها در دنیا پیشرو باشد. دیگ های بخار از جمله تجهیزاتی هستند که برای تولید بخار در صنعت مورد استفاده قرار می گیرند. با توجه به هزینه بر بودن تولید بخار و ارزش اقتصادی آن، بررسی و بهبود عملکرد آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. بر این اساس، بهبود راندمان دیگ های بخار با توجه به حجم تولید بخار و بالطبع آن کاهش مصرف سوخت و نیز اهمیت آن در فرایند تولید ضروری می باشد. در صنعت همواره به دنبال منابع گرمایشی ایمن تر که کاربری آسانی دارند هستیم بخار آب یکی از این موارد می باشد که ما در این تحقیق به نحوه تولید آن از آب با استفاده از سیستم های تولید کننده بخار پرداخت خواهیم کرد و سپس به نقش بازدهی راندمان اکونومایزر پرداخته می شود.



دیگ بخار

شکل (۱): اجزای اصلی دیگ بخار

### تطابق مشعل با بویلر:

مشعل ها به عنوان قلب دیگ بخار نام دارند. نحوه ی عملکرد بویلر بر مبنای قابلیت و توانایی مشعل و بویلر و کارکرد هماهنگ آن هاست. مشعلی که تطابق لازم با بویلر رانداشته باشد، راندمان پایین تری را داشته و هزینه های مصرف انرژی و تعمیر و نگهداری بیشتری را خواهد داشت

### ۲- تصفیه آب:

آب در داخل دیگ بخار به منظور جلوگیری از ایجاد کف یا رسوب یا حداقل کاهش آن، تصفیه می گردد. این عمل به دو صورت انجام می شود. (الف) قسمت عمده تصفیه آب در خارج از دیگ بخار انجام می گیرد، که به آن تصفیه خارجی گویند. (ب) افزودن مواد شیمیایی به آب ورودی (تغذیه) دیگ بخار، که به آن تصفیه درونی گویند

### ۳- دلایل استفاده از عایق های حرارتی:

۱. کاهش تلفات حرارتی
۲. حفاظت کار در بهره برداری از سوختن افراد
۳. در لوله های سرد برای جلوگیری از تعرق روی لوله ها
۴. در لوله های گرم برای جلوگیری از اتلاف حرارت
۵. ایجاد محیط کار مطبوع برای افراد

### ۴- رسوب:

رسوبات لایه هایی هستند از مواد جامد محلول در آب که در شرایط خاص بر روی سطوح و لوله های مبدل حرارتی قرار می گیرند و باعث کندی انتقال حرارت می شوند.

### ۵- چیدمان صحیح لوله ها و عدم نشستی آنها:

در این مورد می توان گفت که چیدمان صحیح لوله ها و جوشکاری به موقع لوله سوراخ شده کمک بسیار زیادی به راندمان و استفاده موثر از انرژی سوخت می توان داشت ،

که لوله ها باید یا از طریق والس یا از طریق جوشکاری به بدنه اتاق احتراق و درام ها متصل شوند. انتقال حرارت این گازهای حاصل از احتراق بر اساس نحوه قرار گرفتن

### ۱- مشعل

مشعل ها وسایلی برای تامین و نگهداری احتراق در محفظه احتراق هستند.

آنها سوخت و هوا را با نسبتی مناسب با هم ترکیب می کنند .

مخلوط سوخت گازی و هوا به همراه ایجاد جرقه، شعله را در مشعل ها به وجود می آورد .

یک احتراق خوب نیاز به شرایط زیر دارد :

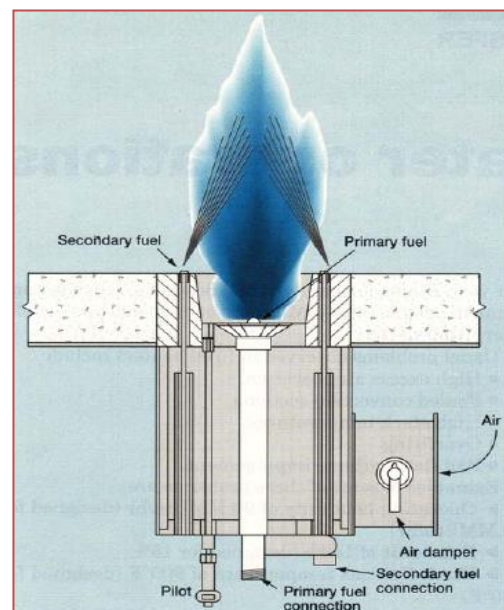
- ۱- هوا و سوخت با نسبت مناسبی با هم ترکیب شوند .
- ۲- پاشش سوخت به درستی انجام پذیرد ( تمیزه گردد )

۳- قرار گرفتن جرقه مناسب بر روی مخلوط

نقش اصلی یک مشعل مخلوط کردن هوا و سوخت

با نسبت مناسب می باشد

که با توجه به نوع سوخت مصرفی ، نوع مشعل نیز فرق می کند



شکل (۲): نمایی از مشعل دیگ

لوله های آب می تواند به صورت تشعشعی و یا جابجایی باشد.

#### ۶- دمای گاز خروجی:

دمای گاز خروجی همان گازهای حاصل از احتراق است که از دودکش بویلر یا دیگ بخار خارج می شود. میزان دمای گازهای خروجی مورد استفاده در محاسبات راندمان بویلر باید واقعی بوده و از صحت کافی برخوردار باشد. باید توجه داشت که در صورتی دمای گازهای خروجی از دودکش، از حد مطلوبی پایین بیاید، مشکلات کندانس به وجود می آید. وجود بخار آب حاصل از احتراق هیدروژن منجر به نشست بخار آب در بدنه دودکش می گردد. در مورد سوخت های حاوی گوگرد نیز در اثر ترکیب گاز تری اکسید گوگرد با بخار آب، اسید سولفوریک تشکیل می شود که باعث خوردگی می شود.

#### ۷- تعداد چرخش دود در بویلر:

تعداد پاس هایی که گازهای حاصل از احتراق قبل از خروج بویلر طی می کند یکی از عوامل تعیین کننده جهت مقایسه بویلرها می باشد. به عنوان مثال یک بویلر سه پاس، سه فرصت جهت تبادل حرارتی مابین گازهای داغ و آب درون بویلر را فراهم می سازد، در نتیجه با توجه به اینکه دمای گاز قبل از خروج از بویلر کاهش یافته و حداکثر انرژی گرمایی جهت تبادل حرارت مورد استفاده واقع شده است، به علت ساختار فیزیکی مبدل حرارتی و ضریب انتقال حرارت، راندمان بالاتر و هزینه مصرف سوخت پایین تری را در مقایسه با بویلر دو پاس دارد. طراحی بویلرهای سه پاسه به گونه ای است که به محض سرد شدن گازهای خروجی، سرعت گازها به حداکثر رسیده که این امر باعث تسهیل در خروج گاز سرد و متعاقباً افزایش راندمان می گردد.

#### ۸- سطح حرارتی:

به طور کلی سطح حرارتی نشانگر این امر است که بویلر در چه شرایط سختی کار می کند. بویلرهایی که سطح حرارتی بالایی هستند دارای تنش حرارتی کمتری بوده که منجر به راندمان بیشتر، استهلاک کمتر و عمر مفید بیشتر خواهد بود.

#### ۹- هوای اضافی:

در عمل، احتراق کامل طبق شرایط ایده آل امکان پذیر نمی باشد و به منظور احتراق کامل، هوای بیشتری نسبت به مقادیر تئوری مورد نیاز می باشد. بنابراین هوای اضافی، مقدار هوایی است که علاوه بر هوای مورد نیاز مشعل، جهت تکمیل احتراق می بایست تامین گردد.

این امر بدان معنا نیست هوای اضافی بیش از حد مورد نیاز تامین گردد، چرا که وجود هوای اضافی برای پروسه احتراق، یکی از زمینه های اتلاف انرژی در صنایع را به وجود می آورد. از این رو میزان هوای اضافی می بایست تحت کنترل قرار گیرد و طراحی بویلر به گونه ای باشد که احتراق در حداقل هوای اضافی صورت گیرد. تغییرات دما و فشار هوا می تواند باعث نوسانات در میزان هوای اضافی مورد نیاز بویلر شود.

احتراق در مقادیر پایین هوای اضافی منجر به افزایش مونوکسید کربن و تولید دوده در بویلر، و نهایتاً کاهش راندمان بویلر می شود.

#### ۱۰- ترکیبات سوخت:

ترکیبات سوخت تاثیر بسزایی بر راندمان بویلر دارد. بنابراین به منظور دستیابی به محاسبات واقعی راندمان، صحت مقادیر ترکیبات سوخت مورد استفاده می بایست بررسی گردد، چرا که در نظر گرفتن سوختی با مشخصات ایده آل راندمان را به طور غیر واقعی افزایش می دهد.

#### ۱۱- دمای محیط:

دمای محیط اثرات قابل توجهی بر روی راندمان بویلر دارد. هنگام بررسی محاسبات راندمان، شرایط محیطی راندمان می بایست در نظر گرفته شود. از این رو به منظور دستیابی به راندمان بالاتر، توصیه می شود که هوای محیط اطراف بویلر گرم باشد.

#### انواع دیگ های بخار:

دیگهای بخار را می توان از جهات مختلف دسته بندی کرد که این تقسیم بندی شامل دسته بندی براساس ظرفیت و محتوای لوله ها، و از نظر تیپ و شکل می باشد.

تقسیم بندی بر اساس تیپ و شکل:

دیگ های بخار دو پاسه (Two pass boiler):

موجب مکش آب به درون لوله ها می شود و آب پس از رسیدن به *Drum* بخار و جدا شدن بخار، مجدداً چرخه فوق را طی می کند.

#### – دیگهای بخار پوسته ای (*Shell Boiler*):

آب در داخل پوسته استوانه ای این دیگهای بخار جریان دارد ، کوره و همچنین لوله های حامل گازهای حاصل از احتراق (*Smoke tube*) که از میان آب می گذرند در داخل پوسته واقع شده اند. قطر لوله های حامل گاز بر روی راندمان و اندازه فیزیکی دیگ بخار تأثیر گذار است . بنابراین در اکثر مواقع ترجیح داده می شود که از تعداد زیادی لوله با قطر کم استفاده شود تا راندمان دیگ بخار بالا بماند.

#### استفاده از بازیافت حرارتی (اکونومایزر):

پس از اینکه گازهای کوره ، قسمتی از حرارت خود را به لوله های آب با دیواره های آبی و سوپرهیترها می دهند ، هنوز مقدار قابل توجهی انرژی حرارتی دارند . اگر این انرژی همراه گازهای احتراق از دودکش تخلیه شود ، از نظر اقتصادی و از نظر راندمان دیگ بخار ، مقرون به صرفه نخواهد بود، به همین جهت از طریق یک اکونومایزر ، از حرارت باقیمانده استفاده می کنند. چون برای صرفه جویی در مصرف ، سوخت این قسمت رابه دیگ های بخار اضافه کرده اند ، آن را صرفه جویی کننده یا اکونومایزر لقب داده اند.

به طور کلی از آنالیز گازهای خروجی دودکش کوره ها در صنعت ، چنین استنباط می شود که مقداری زیادی حرارت مفید ، به صورت گازهای داغ همواره در حال هدر رفتن است. بازیافت این حرارت و استفاده مفید از آن مانند پیش گرم نمودن هوای احتراقی یا تولید آب گرم مبلغ قابل توجهی صرفه جویی را به دنبال خواهد داشت. اکونومایزر را می توان به عنوان یک هیتر آب تغذیه به شمار آورد ، زیرا در اکثر اوقات ، آخرین هیتر آب تغذیه قبل از ورود آن به درام دیگ بخار است.

این دیگهای بخار دارای کوره دوگذر بوده و سطوح انتقال حرارت نظیر لوله های آبی ، *SuperHeater* های دمایی بالا در پاس اول *SuperHeater* های دمایی پایین و *Deheater* ها و اکونومایزر در پاس دوم خواهند بود.

#### دیگ بخار برجی (*tower type boiler*):

در دیگ بخار برجی تمام تجهیزات انتقال حرارت نظیر دیوارهای آبی های و *SuperHeater* اکونومایزر، همگی در یک پاس و پشت سر هم از پایین به بالا نصب می شوند.

#### دیگ های بخار جعبه ای (*box type boiler*):

دیگهای بخار بزرگ فولادی از این نوع می باشند، تمام تجهیزات انتقال حرارتی درون ساختمانی شبیه یک جعبه سازماندهی شده اند.

#### تقسیم بندی براساس ظرفیت و محتوای لوله:

دیگ های بخار با توجه به ظرفیتشان و کاربرد های صنعتی و تجاری عبارتند از:

#### – دیگهای بخار لوله ای (*Water Tube Boiler*)

#### – دیگهای بخار پوسته ای (*Shell Boiler*)

منظور از ظرفیت در طبقه بندی دیگهای بخار این است که به عنوان مثال دیگهای بخار لوله آبی با ظرفیتهای بالای آب گرم برای مصارف صنعتی بخار تولید می کنند و دیگهای بخار پوسته ای با ظرفیتهای متوسط در کارگاهها و کارخانجاتی که مصرف بخار در آنها کم می باشد مورد استفاده قرار می گیرند.

#### دیگهای بخار لوله ای (*Water Tube Boiler*):

این دیگهای بخار از ظروفی (*Drums*) با قطرهای نسبتاً کوچک ساخته شده اند که توسط لوله های به یکدیگر متصل شده تا در فشار های بالا کارایی داشته باشند. آب در این دیگها به این صورت جریان دارد که از *Drum* بخار بالایی از طریق *Down Comers* از قسمت سرد دیگ بخار عبور کرده به *Drum* آب واقع در قسمت پائین دیگ بخار هدایت می شود. قطعاتی بنام *Riser*

## اثرات استفاده از اکونومايزر:

۱- پايين آمدن مصرف سوخت و هزينه های جاری:  
با استفاده از اکونومايزر می توان حرارت گازهای داغ خروجی را که در حالت عادی تلف می شود، بازیافت کرد و از آن برای گرم کردن آب ورودی به بویلر استفاده کرد. این موضوع باعث کاهش هزينه و مصرف سوخت می شود.

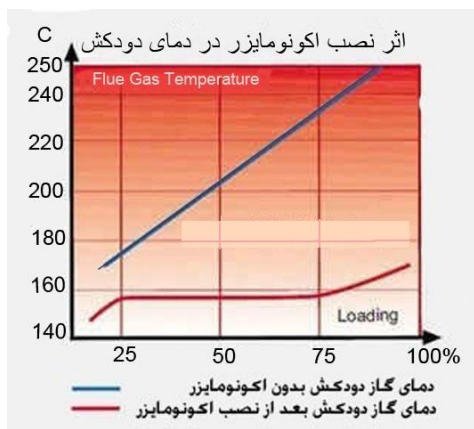
۲- هماهنگی بیشتر برای تغییرات بار:  
به دليل بالا بودن دمای آب تغذيه، توانایی بویلر در هماهنگ شدن با تغییرات ناگهانی بارافزایش می یابد.

## ۳- کاهش آلودگی:

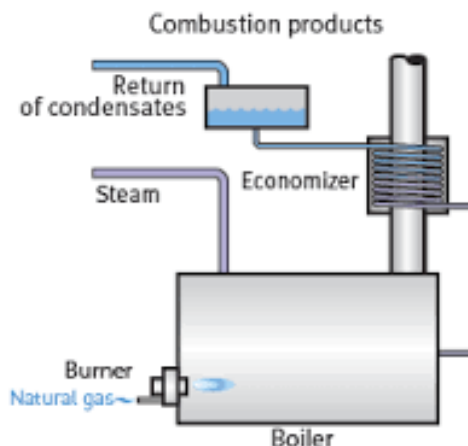
چون ما در مسیر خروجی دودکش از حرارت گازهای حاصل از احتراق استفاده می کنیم در نتیجه آلودگی و گرمای خروجی از دودکش کاهش می یابد

گازهای داغی که از درون بویلر و سوپرهیتر عبور می کند در زمان خروج همچنان داغ می باشند لذا می توان از انرژی حرارتی موجود در این گازها برای افزایش راندمان بویلر استفاده کرد. نتیجه این امر افزایش در راندمان بویلر است. به طور تقریبی یک افزایش ده درجه سلسیوس در دمای آب تغذيه باعث افزایش دو درصدی راندمان می شود.

اکونومايزر با کاهش دمای دودکش می تواند راندمان بویلر را تا ده درصد افزایش دهد. به صورت عمومی کاهش ۲۰ درجه سانتی گراد دمای دودکش معادل یک درصد افزایش راندمان بویلر می باشد.

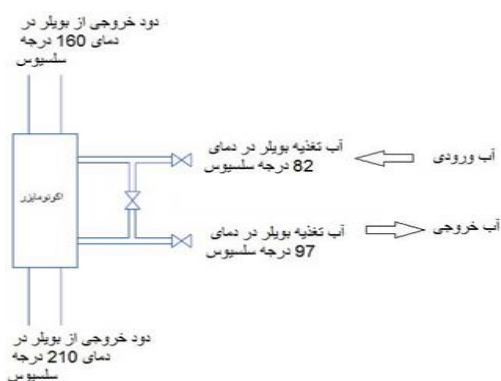


شکل (۴): اثر نصب اکونومايزر در دودکش



شکل (۳): نمایی از کاربرد اکونومايزر

بازیافت حرارت از طریق نصب اکونومايزر در خروجی دودکش: اکونومايزر از یک سری لوله های فین دار تشکیل شده است که گازهای گرم خروجی از بویلر وارد آن شده و با افزایش سطح تبادل حرارتی مقدار حرارت جذب شده بیشتر می شود و قبل از خارج شدن از سیستم و ورود به دودکش آب را پیش گرم می کند. با نصب اکونومايزر در خروجی دودکش ها می توان اتلاف حرارت گازهای داغ خروجی را به حداقل رسانده و از این منبع در پیش گرمایش آب تغذيه بویلرها استفاده نمود.



اکونومايزر تعدادی لوله های سری دارد که در آخرین مرحله در مسیر گازهای حاصل از احتراق قرار می گیرد و آب را گرم میکند. عمده این اتصالات جوشکاری شده است.

## اکونومایزر نباید زیاد بزرگ باشد:

- ۱- نیاز به فلزات مقاوم در برابر خوردگی
- ۲- بوجود آمدن ترکیبات اسیدی و خورنده
- ۳- رسیدن دمای گازهای داغ خروجی به کمتر از دمای شبنم
- ۴- ممکن است آب تغذیه درون اکونومایزر بجوشد

## انواع اکونومایزرها:

### ۱- اکونومایزر آب تغذیه ایستاده



شکل (۵): نمایی از اکونومایزر آب تغذیه ایستاده

همان طور که در این شکل ملاحظه می شود، آب از یک سمت وارد لوله های مبادله گر حرارتی یا همان اکونومایزر شده، از درون آنها عبور کرده و از سمت دیگر خارج می شود. در نتیجه آب و گازهای داغ با یکدیگر در تماس نمی باشند. وبه گونه ایست که دمای گازهای عبوری بالاتر از دمای نقطه ی شبنم ترکیبات سولفور باقی مانده و چگالش صورت نمی گیرد که در این صورت اسید سولفوریک تشکیل نمی شود. لوله های این مبدل، معمولاً از فولاد کربنی بوده و به طور کلی مشکلات دیده شده در آن عبارتند از: حفره های ناشی از خوردگی های اکسیژن، خوردگی های اسیدی و رسوب گیری.

### ۲- اکونومایزر حلزونی:



شکل (۶): نمایی از اکونومایزر حلزونی

در این نوع از اکونومایزرها با طراحی لوله های آب به صورت حلزونی شکل راندمان اکونومایزر را افزایش می دهند. که دارای معایبی از جمله رسوب گیری بالا و امکان جوشش آب (بیشتر از دیگر اکونومایزرها) است

## دلیل استفاده از اکونومایزر به عنوان بخش جداگانه و خارج بویلر:

اکونومایزرها را به صورت واحدی جداگانه از بویلر طراحی کرده و آن را به عنوان یک ابزار کمکی برای پیش گرمایش آب تغذیه استفاده می کنند. در صورتی که می توان بویلرها را به گونه ای طراحی کرد که تمام انتقال حرارت درون آنها صورت گرفته و دمای گازهای داغ خروجی به گونه ای باشد که حرارت زیادی اتلاف نشود. استفاده از اکونومایزرها به صورت بخشی جداگانه از بویلر، به چند دلیل مورد توجه می باشد:

تنظیم می شود که بالاتر از دمای نقطه ی شبنم سولفور در فشار محصولات احتراق باقی بماند.

### اثرات دودکش بر طراحی اکونومایزر:

برای طراحی اکونومایزرها، باید اثرات درجه حرارت بر روی خروج گازهای داغ از دودکش را نیز در نظر گرفت. از آنجا که علاوه بر نیروی ایجاد شده توسط فن مشعل، بالا بودن دمای گازهای داغ خروجی از بویلر نیز، تأمین کننده ی نیروی رانشی آنها به سمت بیرون می باشد، لذا باید اکونومایزر را به گونه ای طراحی کرد که، دما از حد خاصی کاهش پیدا نکند. به این نیروی نیروی مکش دودکش می گویند که می تواند با تغییر ارتفاع دودکش و درجه حرارت ورودی و خروجی آن تغییر کند.

### تأثیر سوخت های مورد استفاده در دیگ های بخار:

#### زغال سنگ:

اجسامی که در موقع ترکیب با اکسیژن هوا بسوزند و تولید حرارت نمایند ، سوخت نام دارند که به صورت مایع ، جامد و گاز هستند. زغال سنگ ماده ای سخت و سیاه رنگ است. زغال سنگ از کربن ، هیدروژن ، اکسیژن ، نیتروژن و مقادیر متغیری سولفور ، تشکیل شده است.

چینی ها اولین انسانهایی بودند که از زغال سنگ استفاده کردند . زغال سنگ در بیشتر ۴۸ ایالت آمریکا و در سایر نقاط جهان یافت میشود.

از زغال سنگ بعنوان سوخت نیروگاهها وسایر کارخانجات استفاده میشود.

زغال سنگ انرژی زیادی دارد ، اما برای محیط زیست سوخت مناسبی نمی باشد و در اثر احتراق آن بر روی

با گرفتن تمام انرژی دود در بویلر، اسید سولفوریک مایع شده و لوله ها بویلر را سوراخ می کند. پس به جای بویلر اکونومایزر حرارت بقیه دود را استفاده می کند.

از آنجا که دمای آب تغذیه پایین تر از دمای آب درون بویلر است، می توان در فضای کوچکتر، انرژی بیشتری را انتقال داد. در صورت تخریب لوله های اکونومایزر، تنها بخش کوچکی از لوله های سیستم بخار تخریب شده و به بویلر آسیبی وارد نمی شود.

### ارتباط نقطه شبنم با اکونومایزر:

همان طور که بالاتر اشاره شد، چگالیده شدن ترکیبات گازهای داغ درون اکونومایزر، زمانی اتفاق می افتد که دمای گازهای داغ به دمایی کمتر از نقطه ی شبنم ترکیبات موجود در آن برسد.

نقطه ی شبنم آب، عبارت است از درجه حرارتی که مقدار معینی از هوا باید در فشار ثابت تا آن نقطه سرد شده تا بخار آب موجود در آن چگالیده شده و به آب مایع تبدیل شود. این دما در واقع همان دمای اشباع آب در فشار بخار موجود است. این آب چگالیده شده را شبنم می نامند.

نقطه شبنم هر ماده، در واقع همان دمای اشباع بخار آن ماده، در فشار بخار موجود است.

در بویلرها، معمولاً از اکونومایزرهایی که در آنها تماس دو سیال به صورت غیرمستقیم است، استفاده می شود. یعنی مدلی که در آن، آب از درون لوله های مبدل جریان پیدا کرده و گازهای داغ از بیرون لوله ها حرکت می کند. در این اکونومایزرها، مهم ترین ترکیبی که چگالش آن باعث بروز مشکلات جدی می شود، سولفور است. این ترکیب در اثر چگالیده شدن، تولید اسید خورنده کرده و مشکلات جدی بر روی لوله های مبدل ایجاد می کند. معمولاً دمای گازهای خروجی از اکونومایزرها، طوری



سطوح جانبی لوله ها دوده می نشینند که باعث کاهش راندمان می شود.

$$\frac{dm_l}{dt} = \dot{m}_v$$

معادلات مومنتوم حاکم بر ذره مایع:

وجود ذرات جامد یا قطرات مایع در داخل جریان فاز گاز یا فاز مایع حالت دو فازی ایجاد می کند.

شکل لاگرانژی معادلات فاز پراکنده از مساوی قرار دادن شتاب ذره در یک راستای خاص با نیروهای خارجی وارد بر آنها در همان جهت به دست می آید. اگر فرض کنیم ذرات یا قطرات در داخل جریانی مثلاً به استوانه قائم قرار دارند که دارای حرکت چرخشی می باشد نیروهای خارجی وارد بر ذره نیروی وزن و نیروی پسا و نیروی گریز از مرکز می باشند. البته لازم به ذکر است که در روابط زیر نیروی جرم واحد در نظر گرفته شده است  $m=1$  پس از مساوی قرار دادن شتاب ذره در یک راستای خاص با نیروهای خارجی وارد بر آن ها در همان جهت و ساده سازی به روابط زیر می رسیم. معادلات اندازه حرکت ذرات مایع با استفاده از موازنه نیروهای خارجی وارد بر قطره بدست می آیند که در راستای فرضی  $x$  بصورت زیر می باشد:

$$\frac{du_p}{dt} = -F(u_p - \hat{u}_f) - g$$

$$\frac{dv_p}{dt} = \frac{w_p^2}{r_p} - F(v_p - \hat{v}_f)$$

$$\frac{dw_p}{dt} = \frac{-v_p w_p}{r_p} - F(w_p - \hat{w}_f)$$

$$F_D = \frac{18\mu_g C_D \text{Re}}{24\rho_p d_p^2}$$

معادله بقای انرژی حاکم بر قطره سوخت مایع با فرض دمای یکنواخت داخل قطره و صرفنظر از تبخیر سطحی به صورت زیر بیان می شود:

$$m_l C_{p,l} \frac{dT_l}{dt} = \dot{Q}_l - \dot{Q}_v$$

$$\dot{Q}_l = -hA(T_l - T_\infty)$$

گاز طبیعی:

گاز طبیعی در زیرزمین بین چین خوردگی لایه ها و سنگهای متخلخل یافت می شود. قسمت اعظم گاز طبیعی از گاز متان ساخته شده است. متان ترکیب شیمیایی ساده ای است که از اتمهای کربن و هیدروژن تشکیل می گردد (یک اتم کربن همراه با ۴ اتم هیدروژن). این گاز بسیار قابل اشتعال است و نسبت به سوخت های دیگر پاک تر است.

مازوت:

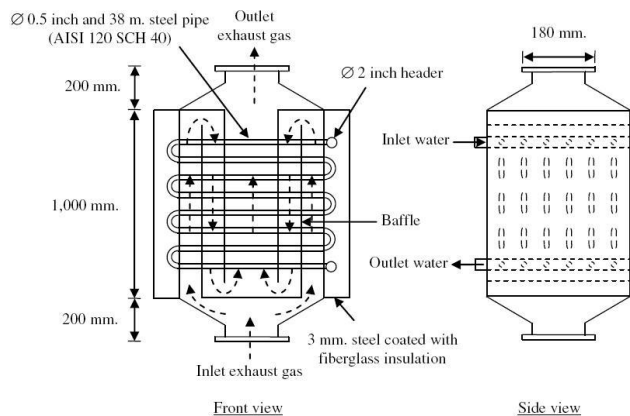
مازوت یکی از پس مانده های تصفیه ی نفت خام است که از نظر خلوص و کیفیت سوختن و آلودگی محیط زیست در درجات پایین تری از سایر پالایش شده قرار می گیرد

معادلات حاکم:

جریان در داخل کورهها و محفظه های احتراق از نوع جریانهای چرخشی و مغشوش می باشند. معادلات حاکم بر این جریانها، معادلات پیوستگی، اندازه حرکت، آشفتگی، انرژی، نرخ تولید و از بین رفتن گونه های شیمیایی و تابش بوده که با حل همزمان این معادلات برای هندسه بویلر با شرایط مرزی مشخص، مشخصات جریان احتراقی در محفظه احتراق محاسبه میگردد. میگردد. لازمه مدلسازی پدیده احتراق مغشوش سوخت مایع در محفظه احتراق، در نظر گرفتن اثرات فاز مایع و گاز بر یکدیگر است.

معادله بقای جرم حاکم بر فاز مایع:





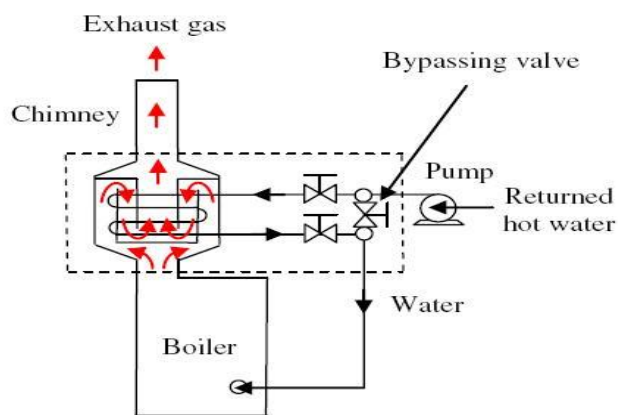
A) Drawing of newly designed economizer

$$Nu = \frac{hD}{k_g} = 2 + 0.6 Re^{1/2} Pr^{1/3}$$

سیستم های گرمایشی مانند کوره و دیگ بخار غالباً برای تولید انرژی حرارتی برای بسیاری از برنامه های انجام شده است. در یک کارخانه شیر پاستوریزه، گرما به طور عمده مورد نیاز برای کشتن ویروس ها و باکتری ها در

### شکل (۷): اکونومایزر مورد استفاده در دودکش بویلر

این پوسته مستطیل شکل از هشت ردیف لوله در جهت طولی و شش ردیف لوله در جهت عرضی می باشد. بانصب تیغه هایی به جریان مسیر گازهای خروجی شکلی می دهیم تا تمام لوله ها بتوانند از این حرارت استفاده کنند.



B) Schematic diagram of economizer placed into an existing boiler system

Fig. 1. Newly designed economizer.

شکل (۸): مسیر جریان گاز خروجی و بازگشت آب خروجی از اکونومایزر طراحی شده

از اکونومایزر فوق، در دیگ بخار کارخانه شیر در کشور تایلند استفاده می شود که در خروجی دودکش قرار می گیرد و برای استفاده از حداکثر انتقال حرارت از گاز خروجی با توجه به زمان ماندگاری گاز خروجی در داخل پوسته، این مدلسازی انجام شده است. و همان طور که

شیر خام است. این به این معنی است که آب گرم عرضه شده به این روند باید بیش از ۷۲ درجه باشد [۱].

علاوه بر این، حرارت نیز برای استفاده استریل کردن سیستم های لوله کشی و تجهیزات قبل و بعد از تولید نیز استفاده می شود [۲]

از این رو، یک دیگ بخار عمدتاً برای تامین انرژی حرارتی به صورت بخار یا آب گرم برای این پروسه سوخت مصرف میکند. این انرژی که دیگ از سوخت می گیرد بعد از انجام عملیات احتراق، در صورت استفاده، اگر از دودکش به بیرون رود جز تلفات چیزی نداریم. پس با قراردادن پیش گرمکن های آب و هوا می شود از این انرژی گازهای خروجی استفاده کنیم. [۳-۵]

پس می توان گفت با قرار دادن اکونومایزر در مسیر خروجی دودکش های حاصل از احتراق و در جهت عکس هو می توان بازده دیگ و مصرف سوخت و کاهش آلودگی را تضمین کرد. [۶-۹]

### شکل هندسی مساله:

برای حل مساله زیر که با نرم افزار فلونت و مدل (k-w) و با تعداد شبکه بین ۶۸۰۰ تا ۲۵۰۰۰ شبیه سازی شده است نقش اکونومایزر بطور واضح در اندام دیده می شود.

### مشخصات دمای گاز خروجی برای آب و در ورودی اکونومایزر:

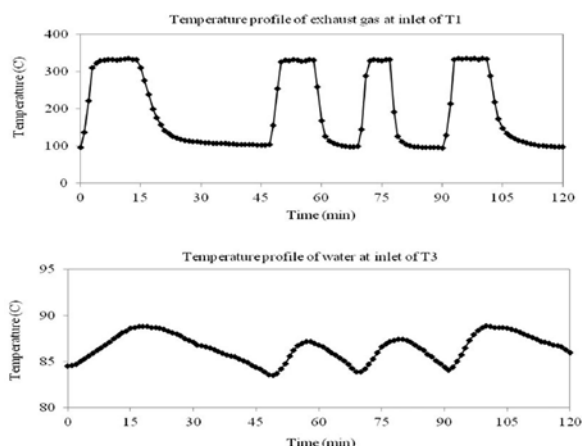


Fig. 3. Observed temperature profile for exhaust gas and water at the inlet of the newly designed economizer.

### شکل (۱۰): مشخصات دمای گاز خروجی برای آب و در ورودی اکونومایزر

در شکل بالا مشخصات دمای گاز خروجی برای آب و در ورودی اکونومایزر به تازگی طراحی شده مشاهده شده است. همانطور که دیده می شود. دمای گاز خروجی تقریباً بین ۳۲۹-۳۳۱ درجه سانتیگراد و در قسمت B دمای گاز خروجی بین ۱۷۵-۱۷۳ درجه سانتیگراد است که طبق نمودار، دیگ برای مدتی روشن و خاموش می شود که طی ۲ ساعت آزمایش، درجه حرارت دودکش بین ۱۰۰ و ۳۳۰ درجه سانتیگراد نوسان دارد، و برای ۲ ساعت درجه حرارت اکونومایزر از ۸۲ درجه به ۹۰ درجه سانتیگراد می رسد که نشان دهنده ی آن است که اکونومایزر از حرارت گازهای خروجی از دودکش استفاده می کند و درجه حرارت آن بالا می رود.

اشاره شد باعث صرفه جویی مالی زیادی در سال شده و سبب بالا رفتن راندمان انرژی و آگزازی دیگ بخار مورد مطالعه به دلیل بهره مندی بیشتر از گرمای حاصل از احتراق سوخت، کاهش آلودگی محیط زیست به دلیل مصرف سوخت کمتر و بالا رفتن ظرفیت عملی تولید بخار بواسطه افزایش یافتن سطح حرارتی می گردد.

همان طور که در شکل دیده می شود آب ورودی از پمپ وارد قسمت بالای اکونومایزر شده و پس از وارد شدن به لوله ها و استفاده از حرارت دودکش با آبی با درجه حرارت بالاتر خارج می شود و برای مصرف وارد دیگ بخار می گردد.

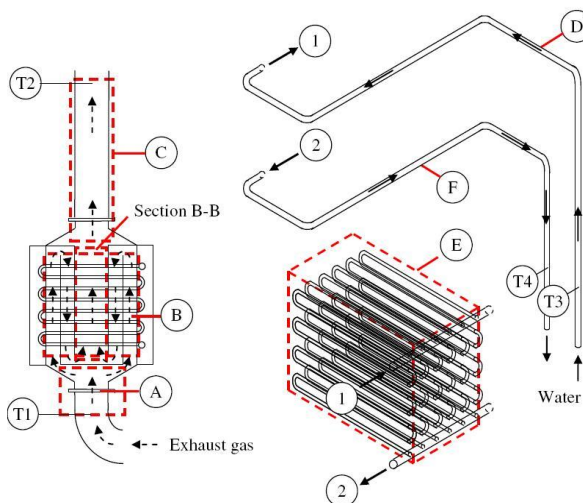


Fig. 2. Boundary of economizer part in this study.

### شکل (۹): نمای کلی از اکونومایزر و دودکش و لوله ها

در شکل فوق نمای کلی از دودکش و مرز بخش اکونومایزر در این مطالعه نشان داده شده است. پروفیل دمای گاز خروجی با استفاده از یک ترموکوپل دیجیتال با ضبط داده ها می باشد ( $T_1 - T_2$ )

مقایسه بین نتایج شبیه سازی شده و داده های مشاهده شده:

توزیع دمای آب در داخل اکونومایزر طراحی شده:

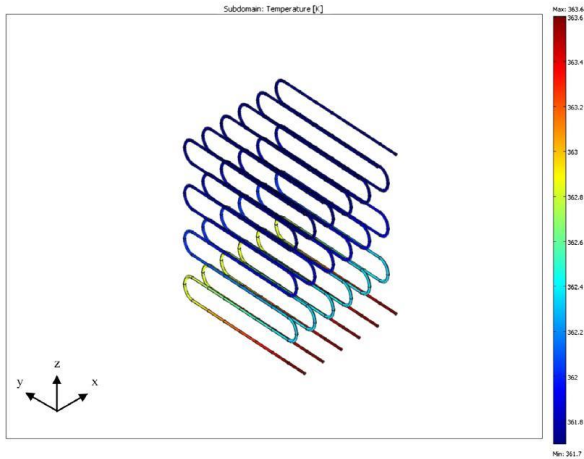


Fig. 5. Water temperature distribution inside the designed economizer (part E) at  $t = 12$  min.

شکل (۱۲): توزیع دمای آب در داخل اکونومایزر طراحی شده در ۱۲ دقیقه

در شکل ۱۱ توزیع دمای آب در داخل اکونومایزر طراحی شده در ۱۲ دقیقه بررسی شده است. آب ورودی به وسیله ی پمپ و از قسمت بالا وارد لوله های اکونومایزر شده و هرچه به خروجی نزدیک می شود (پایین) دمای آب داخل لوله های اکونومایزر بالاتر می رود (۹۰.۶ - ۸۸.۷ درجه سانتیگراد).

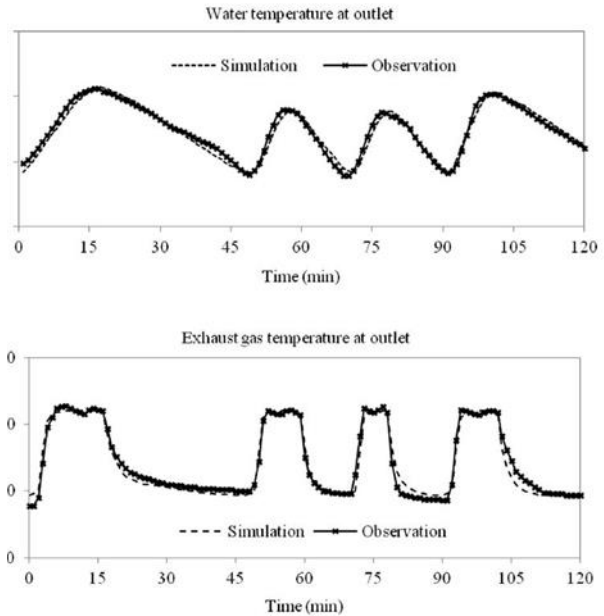
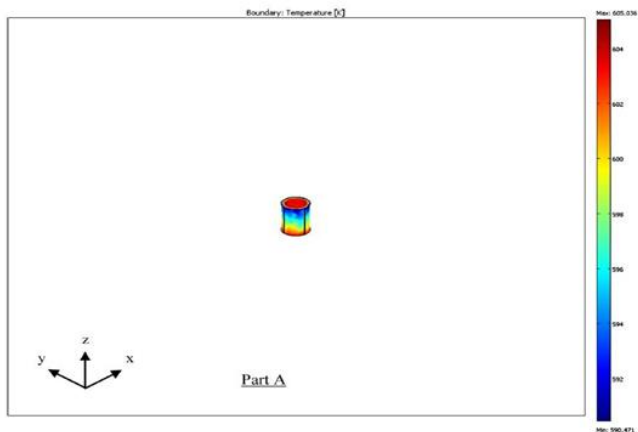


Fig. 4. Comparison between simulation results and observed data.

شکل (۱۱): مقایسه بین نتایج شبیه سازی شده و داده های مشاهده شده

در شکل فوق مقایسه بین نتایج شبیه سازی شده و داده های مشاهده شده بررسی شده است که خیلی نزدیک به هم می باشند.

## توزیع دمای گاز خروجی و ورودی و خروجی دودکش:



شکل (۱۴): توزیع دمای گاز خروجی و ورودی دودکش در ۱۲ دقیقه

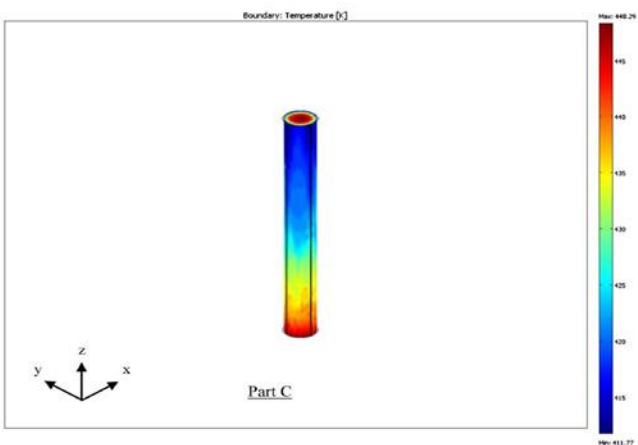


Fig. 8. Exhaust gas temperature distribution in the boiler's chimney (part A and C) at  $t = 12$  min.

شکل (۱۵): توزیع دمای گاز در خروجی دودکش در ۱۲ دقیقه

## توزیع دمای گاز خروجی در اکونومایزر:

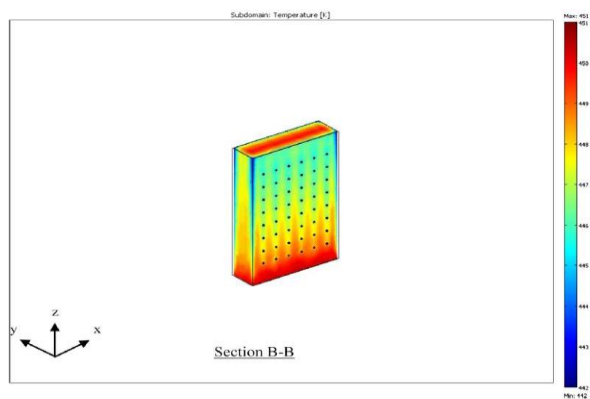
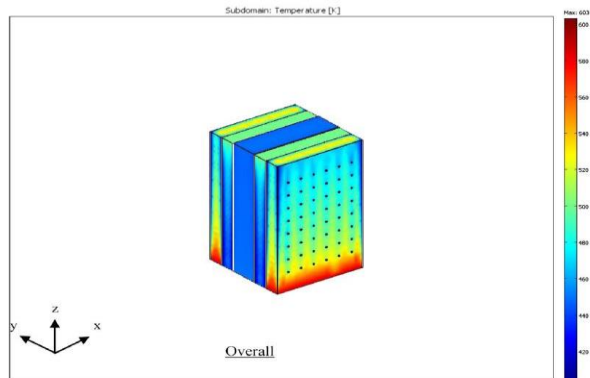


Fig. 6. Exhaust gas temperature distribution inside the desired economizer (part B) at  $t = 12$  min.

شکل (۱۳): توزیع دمای گاز خروجی در داخل اکونومایزر به صورت سرتاسر و برش خورده

در شکل ۱۳ (قسمت بالا) توزیع دمای گاز خروجی در داخل اکونومایزر به صورت سرتاسر در ۱۲ دقیقه نمایش داده شده است، و در شکل پایین توزیع دمای گاز خروجی در داخل اکونومایزر در برش  $B-B$  نمایش داده می شود که توزیع دما نشان دهنده ی آن است که هرچه حرارت خروجی گازها به سمت بالا حرکت می کند گاز خروجی سردتر می شود.

## صرفه جویی اقتصادی:

۳- استفاده از لوله های فین دار در قسمت اکونومایزر کمک زیادی به جذب حرارت بیشتر در نتیجه بالا رفتن راندمان می کند.

۴- در زمان استفاده از سوخت مازوت که نسبت به گاز دارای ارزش حرارتی بیشتری است ، مشاهده می کنیم که پس از مدتی بر روی سطوح خارجی لوله های اکونومایزر دوده می نشیند وزمانی که جرم(دوده) در روی سطح لوله ها قرار می گیرد به شکل عایق عمل کرده و باعث می شود حرارت جذب لوله ها نگردد و از کانال دود خارج شود. این پدیده مقرون به صرفه نبوده و راندمان بویلر را پائین می آورد. (در صورت احتراق کامل)

۵- در زمان استفاده از سوخت گاز مشاهده می کنیم که عوامل فوق که مهم ترین آن ها نشستن دوده بر روی سطوح خارجی لوله ها می باشد، به مقدار بسیار کمی است.(در صورت احتراق کامل)

۶- در هنگام استفاده از سوخت مازوت باتوجه به اینکه نسبت به سوخت گاز دارای ناخالصی بیشتری است در نتیجه انتشار آلاینده ها از دودکش بیشتر است و برای کارکنان و محیط زیست بسیار مضر میباشد .

۷- اکونومایزر در صورتی که درست کار کند باعث پیشگیری از شوک آب سرد که نتیجه آن تنش ورودی به دیگ های بخار است می شود.

۸- در صورت استفاده درست از اکونومایزر عمر مشعل و در نتیجه عمر دیگ افزایش می یابد.

۹- به دلیل بالا بودن دمای آب تغذیه، توانایی بویلر در هماهنگ شدن با تغییرات ناگهانی بارافزایش می یابد.

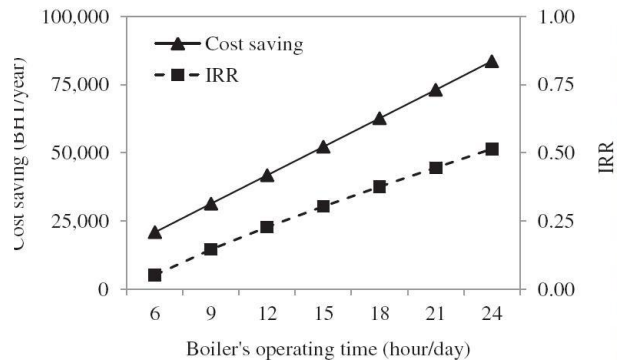


Fig. 11. Relationship between cost saving and IRR for wide boiler's operating time range.

شکل (۱۶): رابطه بین صرفه جویی در هزینه و  $IRR$  (نرخ بازده داخلی) برای محدوده زمانی بویلر

در این شکل رابطه بین صرفه جویی در هزینه و  $IRR$  (نرخ بازده داخلی) برای محدوده زمانی بویلر نشان داده شده است. طبق نمودار اگر دیگ به مدت ۱۲ ساعت در روز روشن باشد ۴۱۸۰۰۰ بات صرفه جویی سالانه و ۱۳ درصد صرفه جویی در مصرف گاز شده است و مقدار  $IRR$  حدود ۲۳ درصد است. اگر دیگ به مدت ۲۴ ساعت در روز روشن باشد ۸۳۵۰۰۰ بات صرفه جویی سالانه و  $IRR$  حدود ۵۱.۴ درصد است. در این مطالعه، طبق نتایج بدست آمده اکونومایزر مورد استفاده توانسته است ۳۸ درصد از انرژی حرارتی تلف شده از سیستم راجددا باز یافت کند و همچنین ۱۳ درصد از مصرف سوخت مورد استفاده صرفه جویی گردد.

نتیجه گیری:

۱- اکونومایزر با کاهش دمای دودکش می تواند راندمان بویلر را تا ده درصد افزایش دهد. به صورت عمومی کاهش ۲۰ درجه سانتی گراد دمای دودکش (در صورت استفاده از اکونومایزر) معادل یک درصد افزایش راندمان بویلر می باشد.

۲- در صورت استفاده بهینه از اکونومایزر از لحاظ اقتصادی کمک قابل توجهی به صنعت و تولیدکنندگان می شود و باعث کاهش هزینه و مصرف سوخت می گردد.

منابع:

[1]G.Bylund,Dairy processing handbook,Tetra pack processing system ,lund,1995

[2] S. Niamsuwan , P. Kittisupakorn s, I.M.Mujta.Minimization of warer and chemical usage in the cleaninig in place process of a milk pasteurization plan ,song klanakarin J.sci.technol 33(2011) 431-440

[3]p.thongkhundam,Design,construction ,and testingof a heat pipe economizer for a packEd Boiler.Master Thesis ,,chiang mai university(2000)

[4]w.munsakul,a study and development of recuperator for heating furnace master thesis,chulalong korn university(2001)

[5]bureau of weater technology and industrial pollution management ,clearer technology code of Practic:dairy industry,department of industrial work,Bangkok(2007)

[6]E.S,Hight economizer boiler,united state patent ,us1,632,231,1924

[7]J.W.Coy,economizer ,united state patent,us 1,632,291,(1969)

[8]F.J.Frank ,economizer ,united state patent,us 4,031,862(1977)

[9]G,A Tompkins,economizer ,united state patent,u