

# طراحی و ساخت سامانه خنک کاری آب و بخار بلودان بویلرهای نیروگاهی جهت بازیافت آب و بخار و افزایش راندمان بویلر

مهدی فتحی پور<sup>2،1</sup>

<sup>1</sup> کارشناس دفتر مهندسی مکانیک- شرکت مدیریت تولید برق جنوب فارس- نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون

<sup>2</sup> دانشجوی دکتری دانشگاه بیرجند

fathipour\_mahdi@yahoo.com

چکیده :

در نیروگاه های سیکل ترکیبی بدلیل کنترل شیمیایی و افزایش کیفیت آب بویلر، بایستی مقدار زیادی آب با دما و فشار بالا را به بلودان بویلر تخلیه نمایند(به غیر از نشتی های داخلی) که با توجه به اینکه ، این آب دمین دارای کیفیت بالایی می باشد می توان با تصفیه مجدد وارد چرخه تولید گردد لذا در نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون با اجرای سامانه خنک کاری آب و بخار بلودان باعث افزایش راندمان بویلر و کاهش هدر رفت آب دمین شده است در این طرح با خنک کاری آب و بخار بلودان بویلر و بخار دی رایتور بوسیله آب تغذیه بویلر علاوه بر پیشگرم کردن آب تغذیه بویلر باعث افزایش راندمان بویلر و کاهش هدر رفت آب دمین گردیده که همین امر با اندک هزینه ، باعث سودآوری زیادی برای نیروگاه شده است.

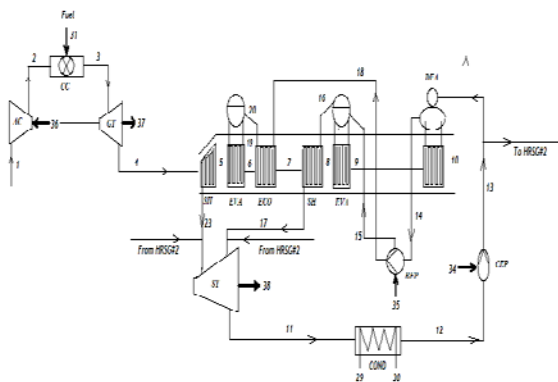
کلمات کلیدی: بویلر نیروگاهی، بلودان، هدر رفت آب و بخار، راندمان بویلر

## 1-مقدمه

dissolved solids)=0.18 ppm می باشد در چنین شرایطی آب و بخار زیادی هدر می رود همچنین در دی رایتور بویلرها ، وجود اکسیژن محلول در آب تغذیه باعث خوردگی می گردد که البته می توان با افزایش مواد شیمیایی آنرا کنترل کرد ولی می توان با ونت دادن آن از درام دی رایتور باعث اکسیژن زدایی و هوازدایی کرد که مقرون به صرفه تر می باشد ولی همراه هوا و اکسیژن

در نیروگاه های سیکل ترکیبی بطور دایم و پیوسته بایستی آب و املاح کف درام های بویلرهای نیروگاهی اعم از درامهای فشار بالا و پایین به مخزن بلودان بویلر تخلیه گردد تا خلوص آب دمین باقی مانده و تجهیزات دچار آسیب نگردد، این درصورتی است که آب تخلیه شده حداکثر TDS=13ppm دارد و آب دمین TDS(Total

برج های خنک کن جهت خنک کردن آب انتقال یافته و آنگاه 2٪ این آب جهت عملیات تولید برق وارد سیکل توربین بخار جهت دو بویلر گردیده یعنی در واقع 1٪ این آب (76 kg/s) وارد یک بویلر گردیده و پروسه تولید بخار و چرخاندن روتور توربین تکرار و برق تولید می گردد. شکل زیر چرخه کامل یک نیروگاه سیکل ترکیبی را از سمت چپ که توربین گازی می باشد و گازهای حاصل از احتراق توربین گازی وارد بویلر گردید و آنگاه آب در بویلر تبدیل به بخار شده و بخار وارد توربین بخار می گردد و از آنجا وارد کندانسور و از کندانسور پس از خنک شدن دوباره بوسیله پمپ CEP وارد بویلر می گردد را نشان می دهد.



شکل 1-نمای کلی نیروگاه سیکل ترکیبی

اما نکته ای قابل ذکر این می باشد که در قسمتهای مختلف بویلر تخلیه مقداری آب وجود دارد که اهم آن از درام های فشار بالا (HP Drum) و درام فشار پایین (LP Drum) می باشد و این آبها بدلیل اینکه خلوص کافی برای سیکل توربین بخار را ندارد بایستی از چرخه خارج گردند چرا که خلوص آب تغذیه بویلر حدود 0.18 ppm می باشد و زمانی که خلوص حدود 13 ppm می شود مقداری املاح از کف مخازن فشار بالا و فشار پایین به سمت بلودان تخلیه می گردند.

## 2-2-سیستم مخزن بلودان بویلر

تانک بلودان مخزنی است که تمام آب درین های بویلر اعم از موقت یا دائم در آن تخلیه می گردد و چون از مکانهای مختلفی با دما و فشار های متفاوت وارد می گردد مقداری از آبها تبدیل به بخار و بقیه به آب با دمای 98 درجه

بخارات آب هم ونت می گردند که می توان با روشهای مناسب هم باعث گرم کردن آب تغذیه بویلر گردید و هم باعث جلوگیری از هدر رفت آب و بخار گردید که از لحاظ اقتصادی به صرفه می باشد.

در این پژوهش با ابداع طرحی مناسب و با استفاده از مدارک فنی و مقالات و همچنین اطلاعات تجربی در سایت داده ها جمع آوری و جهت طراحی و محاسبات مبدل های حرارتی از طریق نرم افزاری تخصصی (Aspen B-JAC) انجام گردیده است. پس از محاسبات اولیه در این پژوهش ، به ارزیابی اقتصادی پرداخته و نشان خواهیم داد که از لحاظ اقتصادی خیلی زیاد به صرفه و سود آور بوده بطوریکه باعث ذخیره انرژی و کاهش مصرف آب در سیکل نیروگاه می گردد.

در مطالعه حاضر در واقع با عبور آب تغذیه بویلر از مبدل حرارتی طراحی شده باعث کاهش دمای آب بلودان و کندانس بخار بلودان و دی رایتور گردیده و جهت استفاده مجدد آن وارد تصفیه خانه نیروگاه جهت بازیافت می گردد. سودآوری این طرح پژوهشی آنقدر زیاد می باشد که بازگشت سرمایه آن در مدت زمانی بسیار کوتاه بوده و باعث افزایش راندمان بویلر می گردد.

## 2-امکان سنجی انجام طرح

### 2-1-سیستم نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون

در سیستم های نیروگاه های سیکل ترکیبی آب تغذیه بویلرها (CEP Water) پس از خنک شدن در برج خنک کن (cooling tower) وارد کندانسور شده و از کندانسور با پمپ CEP با فشار 25 بار خارج شده و با دمای حدود 53 درجه سانتیگراد وارد بویلر می شود و در بویلر تبدیل به بخار شده یعنی در واقع در بویلر با حرارت خروجی از اگزوز توربین گازی و مشعل برنرهای گاز، آب در قسمت فشار بالا تبدیل به بخار با فشار 90 بار و دمای 520 درجه شده که پس از آن وارد توربین بخار فشار بالا شده همچنین آب در قسمت فشار پایین بویلر هم تبدیل به بخار با فشار 8 بار و دمای 204 درجه سانتیگراد شده و وارد بخش فشار پایین توربین بخار می گردد و پس از عبور از توربین بخار و چرخاندن روتور توربین از توربین بخار خارج و وارد کندانسور شده و از کندانسور به سمت

سانتیگراد در فشار اتمسفر می گردد. درینهای بویلر که به تانک بلودان تخلیه می گردد به شرح ذیل می باشد :

- 1- درین بخارات کندانس شده فشار بالا
- 2- درین خط خروجی دی سوپرهیتر
- 3- درین خط ورودی دی سوپرهیتر
- 4- درین سوپرهیتر مرحله اول فشار بالا
- 5- درین اوپراتور فشار بالا
- 6- بلودان متناوب فشار بالا از اوپراتور فشار بالا
- 7- درین اکونومایزر فشار بالا
- 8- خط تخلیه Relief valve اکونومایزر فشار بالا
- 9- درین بخارات کندانس شده فشار پایین
- 10- درین از هدر سوپرهیتر فشار پایین
- 11- خط درین اوپراتور فشار پایین
- 12- بلودان متناوب فشار پایین
- 13- بلودان پیوسته درین درام فشار پایین
- 14- بلودان پیوسته درین درام فشار بالا
- 15- درین بخارات کندانس شده pegging دی رایتور

- 16- بلودان متناوب اوپراتور دیریاتور
- 17- درین اوپراتور دیریاتور
- 18- درین پیش گرمکن آب کندانسور

19- خط تخلیه Relief valve پیشگرمکن آب کندانسور  
تمام این درین ها به سمت بلودان می آیند ولی تمام آنها همیشه نیست و معمولاً ولو تخلیه آنها بسته است و فقط زمانی که خلوص آب پایین بیاید باز می شود ولی تخلیه دائم و همیشه بر روی آب مخازن فشار بالا (HP) و درام فشار پایین (LP) به سمت بلودان داریم. مسیرهای تخلیه دائم باز DRUM HP/LP می باشد. این آنها چون با دما بالا 300 سانتیگراد و فشار 80 بار و 200 درجه سانتی گراد و فشار 7 بار وارد بلودان می شوند مقدار زیادی از آن به بخار تبدیل می شود و مابقی آب دما بالا هم به آب دمای 98 درجه سانتیگراد و فشار اتمسفر تبدیل شده و از بلودان خارج می گردد که در چنین حالتی حدود 44٪ آب ورودی به مخزن بلودان تبدیل به بخار شده و به اتمسفر وارد شده و هدر می رود و 56٪ مابقی به آب 98 درجه تبدیل و از بلودان خارج می گردد که برای اینکه این آب قابل استفاده در سیستم بویلر باشد بایستی دمای آن حدود 58 درجه سانتیگراد شود و وارد تصفیه خانه بخار

شده و خلوص آنرا بالا برده و وارد چرخه توربین بخار گردد.

این آب دارای خلوص خیلی بالایی نسبت به آب چاه دارد به همین دلیل تصفیه آن برای رسیدن به آب 0.2 ppm کمتر می باشد همچنین بدلیل کمبود آب های زیر زمینی مسأله بازیافت آب بسیار مهم و قابل اهمیت می باشد بنابراین بدنبال طراحی سامانه ای جهت خنک کردن آب خروجی از بلودان بدون نیاز به ایجاد منبع سرد بودیم تا مقدار آب و بخار خروجی از بلودان را خنک کرده و از هدر رفت آن جلوگیری گردد، به همین دلیل طرح زیر طراحی تا با خنک کردن آب خروجی بلودان به 58 درجه سانتیگراد و تبدیل بخار 98 درجه به آب 58 درجه ضمن اینکه از هدر رفت آب جلوگیری شده باعث بازیافت حرارت (انرژی) از آب و بخار به آب تغذیه بویلر (CEP Water) گردیده که بعنوان پیشگرم کن برای آب ورودی به بویلر می باشد یعنی مقدار 76kg/s آب تغذیه را به میزان قابل ملاحظه ای پیش گرم می گردد.

### 3- طرح سامانه خنک کاری آب و بخار بلودان بویلرهای نیروگاه سیکل ترکیبی

شکل (3) نمای طرح سامانه خنک کاری آب و بخار بلودان بویلرهای نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون را نشان می دهد. در این طرح درین آبهای بویلر از مسیر (8) وارد بلودان (9) گردیده که پس از ورود به بلودان حدود 44٪ به بخار و 56٪ به آب 98 درجه تبدیل می گردد و آب تغذیه بویلر هم با مشخصات جدول (1) به شرح ذیل وارد مبدل حرارتی 1 می گردد.

پارامتر	مقدار
دبی Q	76 kg/s
چگالی	989.11 kg/m <sup>3</sup>
دما آب T	53 <sup>0</sup> C
فشار P	19.5 bar

جدول (1): مشخصات آب تغذیه بویلر

TDS=K مورد نیاز بویلر

برای بویلر نیروگاه کازرون بصورت زیر بدست می آید:

$$\text{Blow down rate} = \frac{(0.18) \cdot (76)}{13 - 0.18} = 1.067 \text{ kg/s} \quad (2)$$

و مقدار انرژی در هر کیلوگرم در فشار 98 بار برابر با 1402 KJ/kg بدست می آید که برای بویلر برابر با 1496 KW می باشد.

#### 2-4- محاسبه نرخ بخار و آب بلودان

برای محاسبه نرخ بخار بلودان از رابطه زیر استفاده می گردد:

$$\text{Flash steam\%} = \frac{h_f \text{ high pressure} - h_f \text{ low pressure}}{h_{fg} \text{ low pressure}} \cdot 100 \quad (3)$$

که فشار بالا در بویلرهای نیروگاه کازرون 98 بار و فشار بلودان هم 1 بار می باشد.

$$\text{Flash steam\%} = \frac{1402 \text{ kJ/kg} - 419 \text{ kJ/kg}}{2257 \text{ kJ/kg}} \cdot 100 = 43.57\% \quad (4)$$

بنابراین 43.57% از آب بویلر در فشار 98 بار به بخار با فشار 1 بار در بلودان تبدیل می شود.

پس نرخ بخار خروجی از بلودان بویلر برابر است با:

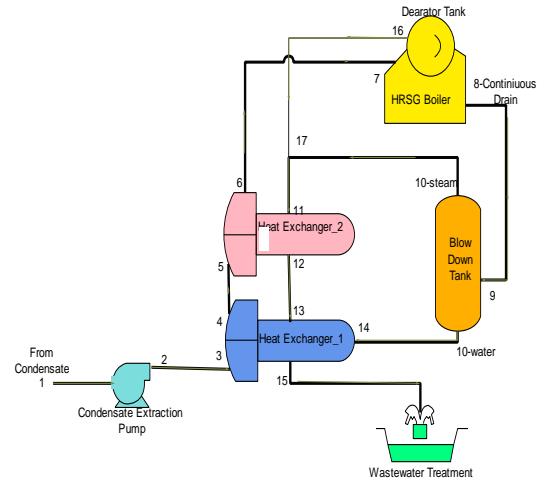
$$\text{Rate of Flash steam} = \frac{(43.57) \cdot (1.067)}{100} = 0.46 \text{ kg/s} \quad (5)$$

و بقیه آن بصورت آب با فشار 1 بار از بلودان خارج می شود:

$$\text{Rate of water flow} = 1.067 - 0.46 = 0.61 \text{ kg/s} \quad (6)$$

که میزان انرژی در بخار و آب بلودان هم بصورت زیر قابل محاسبه می باشد:

آنتالپی آب در فشار 1 بار در دمای 98 درجه سانتیگراد = 410.5 kJ/kg



#### شکل 3- نمای طرح سامانه خنک کاری آب بلودان

آب تغذیه از پمپ تغذیه CEP وارد مبدل حرارتی 1 می گردد و پس از تبادل حرارت با آب خروجی از بلودان و وارد مبدل حرارتی 2 می گردد و پس از تبادل حرارت با بخارات بلودان و ونت دی رایتور از مبدل حرارتی 2 خارج و وارد بویلر HRSG می گردد. اما درینهای بویلر (8) هم بطور پیوسته وارد بلودان شده و در بلودان قسمتی از آنها بدلیل فشار و دمای بالا تبدیل به بخار می گردد که این بخارات با دمای 98 درجه سانتیگراد و فشار 1 اتمسفر از بالای بلودان وارد مبدل حرارتی 2 می گردد و پس از کندانس وارد مبدل حرارتی 1 می گردد. آب خروجی از بلودان با دمای 98 درجه سانتیگراد و فشار 1 اتمسفر مهم از پایین مخزن بلودان وارد مبدل حرارتی 1 می گردد و پس از تبادل حرارت از مبدل حرارتی 1 خارج و با دمای مناسب و مطلوب جهت تصفیه خانه شیمی بصورت ثقلی ارسال می گردد.

#### 4- محاسبه دبی آب و بخار بلودان بویلر

##### 1-4- محاسبه نرخ بلودان

برای محاسبه نرخ آب بلودان از رابطه زیر استفاده می گردد:

$$\text{Blow down rate} = \frac{F \cdot q}{K - F} \quad (1)$$

که:

F= عدد TDS آب تغذیه (ppm)

q=نرخ تولید بخار (kg/s)

ولوهای درینهای بویلر در حالت بهره برداری می باشد که می توان با ترمو گرافی مرتفع گردد ولی بدلیل اینکه در هر زمانی نمی توان بویلر را خارج و جهت تعمیر ولو اقدام کرد چرا که از لحاظ هزینه تولید، به صرفه نمی باشد بنابراین جهت رفع نشتی، موکول به زمان خروج واحد می گردد.

شماره بویلر	دبی آب خروجی از بلودان kg/s
1	2
2	1.67
3	0.55
4	0.6
5	2
6	1.8

#### جدول 2-دبی آب تانک بلودان بویلرهای نیروگاه کازرون

بنابراین جهت طراحی مبدل حرارتی بایستی مقدار دبی آب و بخار و نسبت آنها داشته باشیم تا بتوان مبدل حرارتی طراحی کرده و در سیستم بکار برد. اگر طراحی مبدل حرارتی مناسب نباشد علاوه بر هدر رفت هزینه باعث عدم عملکرد مناسب سیستم و کاهش راندمان می گردد.

در این طراحی هم حداکثر خروجی آب بلودان جهت مبدل حرارتی 1، مقدار 4kg/s در نظر گرفته شده که اگر 56٪ آنرا حساب کنیم 2.24 kg/s می شود که این مقدار در حقیقت مقدار دبی آب خروجی بلودان و مابقی آن یعنی 1.76 kg/s بخارات کندانس شده است که با آب خروجی بلودان ترکیب و وارد مبدل حرارتی 1 می گردد.

#### 5-طراحی مبدل حرارتی تیوب و پوسته

مبدل های حرارتی وسایلی هستند که جریان انرژی گرمایی بین دو یا چند سیال در دماهای مختلف را فراهم می کنند. در این پژوهش علاوه بر محاسبات فیزیکی از طریق نرم افزار ASPEN B-JAC محاسبه گردیده است. نرم افزار ASPEN یکی از نرم افزارهای قوی در زمینه طراحی حرارتی و مقاومت مصالحی در زمینه مبدل های حرارتی می باشد.

آنتالپی آب در فشار 1 بار در دمای 55 درجه سانتیگراد=242.8kj/kg

آنتالپی بخار در فشار 1 بار در دمای 98 درجه سانتیگراد=2675kj/kg

بنابراین میزان انرژی حاصل از بخار بلودان برابر است با:

$$\begin{aligned} \text{Energy flow rate in flash steam} \\ &= (0.46) \cdot (2675) \\ &= 1230.5 \text{ KW} \end{aligned} \quad (7)$$

و میزان انرژی حاصل از آب بلودان برابر است با:

$$\begin{aligned} \text{Energy flow rate in water} \\ &= (410.5 - 242.8) \cdot (0.61) \\ &= 102.3 \text{ KW} \end{aligned} \quad (8)$$

که میزان انرژی بازگشتی از مبدل حرارتی برابر است با:

$$\begin{aligned} \text{Energy recovered from heat exchangers} \\ &= 1230.5 + 102.3 \\ &= 1332.8 \text{ KW} \end{aligned} \quad (9)$$

همانطور که نشان داده شد مشاهده می شود مقدار انرژی بزرگی از بلودان در حالت بهره برداری عادی بویلر از بویلر خارج می شود که می توان با نصب مبدل های حرارتی از خروج این انرژی جلوگیری کرد.

البته قابل ذکر می باشد در پژوهش حاضر، دبی بخارات ونت دی ریتور هم به ورودی بخارات به مبدل حرارتی 2 در نظر گرفته شده است که بدلیل جزئی بودن مقدار ونت(حداکثر 0.15 kg/s) از بیان آن خودداری گردیده است.

در این پژوهش دبی آب خروجی از تانک بلودان را در دو حالت حداقل و حداکثر طراحی شده اما برای اینکه یک طراحی خوب و جوابگو سیستم باشد بایستی بر اساس مقدار دبی حداکثر طراحی گردد تا در تمام شرایط سیستم جوابگو باشد. البته حداقل دبی که بصورت فرمولهای بالا محاسبه گردید که هیچ نشتی در سیستم نداشته باشیم و دبی حداکثر هم از تجربه و اندازه گیری در سایت بدست آمده است. جدول (2) دبی آب خروجی تانک بلودان بویلرهای نیروگاه کازرون می باشد. همانطور که مشاهده می کنید دبی آب حداقل 0.55 kg/s و حداکثر 2 kg/s می باشد که مقدار حداکثر هم بدلیل نشتی نامتعارف از

سانتیگراد وارد و پس از تبادل حرارت با دمای 53.58 درجه سانتیگراد خارج می گردد. مدل این مبدل هم به لحاظ تعمیرات راحتتر مدل AES انتخاب گردیده و بدلیل محدودیت قطر پوسته بدلیل اینکه خروجی آب مخزن بلودان در ارتفاع 1 متری از سطح زمین می باشد قطر پوسته حدود 0.660 متر بدست آمده است و مبدل سمت تیوب 2 بار گذر می باشد همچنین طول لوله تیوب ها در این طراحی 1 متر بدست آمده است. طراحی این مبدل بر اساس حداقل دبی آب خروجی از تانک بلودان می باشد.

Heat Exchanger Specification Sheet									
Customer: شرکت پارس پارس									
Service of Unit:									
Item No: HV-1									
Date: Rev No: 2									
Size: 644-1000 mm Type AES hor Connected in 1 parallel 1 series									
Surf(Linlet): 23.8 m <sup>2</sup> Surf(Shell Lett): 23.8 m									
PERFORMANCE OF ONE UNIT									
Fluid allocation					Shell Side		Tube Side		
Fluid name					Water		Demin Water		
Fluid quantity, Total					kg/h		kg/h		
Vapor (In/Out)					kg/h		kg/h		
Liquid					kg/h		kg/h		
Noncondensable					kg/h		kg/h		
Temperature (In/Out)					°C		°C		
Dew / Bubble point					°C		°C		
Density					kg/m <sup>3</sup>		kg/m <sup>3</sup>		
Viscosity					mPa s		mPa s		
Molecular wt, Vap									
Molecular wt, NG									
Specific heat					kJ/kg K		kJ/kg K		
Thermal conductivity					W/m K		W/m K		
Latent heat					kJ/kg		kJ/kg		
Pressure (abs)					bar		bar		
Velocity					m/s		m/s		
Pressure drop, allow./calc.					bar		bar		
Fouling resist. (min)					m <sup>2</sup> KW		m <sup>2</sup> KW		
Heat exchanger					184.3 KW		MTD corrected 17.77 °C		
Transfer rate, Service					435.4 Dm <sup>3</sup>		731.7 Clean 928.1 W/m <sup>2</sup> K		
CONSTRUCTION OF ONE SHELL									
Design/Test pressure					bar		bar		
Design temperature					°C		°C		
Number passes per shell									
Corrosion allowance					mm		mm		
Connections					In		Out		
Sealing					In		Out		
Tube No. 446					OD 19.05		Thk-wd 2.11 mm Length 1000 mm Pitch 25 mm		
Tube type Plain					Material SA-179		Tube pattern 30		
Shell CS					ID OD 660.4 mm		Shell cover CS		
Channel or bonnet CS					Channel cover CS		Tube-sheet-floating CS		
Tube-sheet-stationary CS					Tube-sheet-floating CS		Impingement protection None		
Floating head cover CS					Type single seg		Cull'd/di 23 hor Spacing c/c 120 mm		
Baffle-crossing CS					Seal type		Inlet 159.65 mm		
Baffle-long					Support-tube U-bend		Type strength weld		
Support-tube					Expansion joint Type		Bundle entrance 2 Bundle exit 0 kg/m <sup>2</sup> s		
Bypass rail					Gaskets - Shell side Compressed Fiber 1/8 Tube Side Compressed Fiber 1/8		Floating head Compressed Fiber 1/8		
Code requirements					ASME Code Sec VIII Div 1		TEMA class C		
Weight/Shell					1936.6 Filled with water 2675.5		Bundle 657.2 kg		

جدول 5-نتایج طراحی مبدل حرارتی با دبی آب

1.1 kg/s

1-1-2- نتایج طراحی مبدل حرارتی با دبی آب 4 kg/s

در این طراحی آب خروجی بلودان با دمای 98 وارد مبدل شده و با دمای 58 خارج می گردد همچنین آب تغذیه هم با دمای 53 درجه سانتیگراد وارد و پس از تبادل حرارت با دمای 55.1 درجه سانتیگراد خارج می گردد. مدل این مبدل هم به لحاظ تعمیرات راحتتر مدل AES انتخاب گردیده و بدلیل محدودیت قطر پوسته بدلیل اینکه خروجی آب مخزن بلودان در ارتفاع 1 متری از سطح

در این طراحی جنس و قطر لوله را بر اساس کاربرد آن جهت استفاده در مبدلهای حرارتی و بویلر انتخاب شده و قطر آن هم براساس کاربرد و در دسترس بودن در بازار انتخاب گردیده است که بر اساس استاندارد ASME sec VIII و TEMA class C در نظر گرفته شده است.

استاندارد TEMA استاندارد مربوط به طرح مبدل های حرارتی می باشد و کلاس C مربوط به بخش عمومی این مبدل حرارتی می باشد.

طبق طرح شکل (3) نیاز به دو مبدل حرارتی یعنی مبدل حرارتی 1 معروف به مبدل حرارتی نوع کولر و مبدل حرارتی 2 معروف به مبدل حرارتی نوع کندانسور می باشد که ابتدا مبدل حرارتی نوع کولر آنرا طراحی می نمایم:

5-1- مبدل حرارتی 1- نوع کولر

جدول (1) مشخصات آب ورودی به تیوب مبدل حرارتی و جدول (4) مشخصات آب ورودی به پوسته مبدل حرارتی را نشان می دهد که براساس این اطلاعات و استاندارد TEMA خروجی نرم افزار برای دو حالت حداقل و حداکثر دبی خروجی آب از بلودان بدست می آید. بر اساس این طراحی آب تغذیه با فشار بالا 19.5 بار در تیوب و آب خروجی مخزن بلودان با فشار اتمسفر و دمای 98 درجه سانتیگراد و ارتفاع حدود 1 متر از سطح زمین (سطح مقایسه) وارد پوسته مبدل گردیده و با دمای 58 درجه سانتی گراد خارج می گردد که نتایج این طراحی توسط نرم افزار در جدول (5) و (6) نشان داده شده است.

پارامتر	مقدار
دبی Q	1.1 kg/s
دما آب T	98 <sup>0</sup> C
فشار P	1 bar

جدول 4- مشخصات آب ورودی به پوسته مبدل حرارتی 1

5-1-1- نتایج طراحی مبدل حرارتی با دبی آب 1.1 kg/s

در این حالت همانطور که مشاهده می کنید آب خروجی بلودان با دمای 98 وارد مبدل شده و با دمای 58 خارج می گردد همچنین آب تغذیه هم با دمای 53 درجه

دبی Q	0.5 kg/s
دما بخار T	99.8 <sup>0</sup> C
فشار P	1 bar

جدول 7- مشخصات بخار خروجی از مخزن بلودان و

ورودی به مبدل حرارتی 2

براساس این اطلاعات و استاندارد TEMA خروجی نرم افزار برای دو حالت حداقل و حداکثر دبی خروجی بخار از بلودان به شرح ذیل می باشد.

بر اساس این طراحی آب تغذیه با فشار بالا 19.5 بار در تیوب و بخار خروجی مخزن بلودان با فشار اتمسفر وارد پوسته مبدل حرارتی 2 گردیده و با دمای 99.8 درجه سانتی گراد کندانس گردیده و وارد ورودی مبدل حرارتی 1 می گردد که نتایج این طراحی توسط نرم افزار به شرح ذیل می باشد.

### 5-2-1- نتایج طراحی مبدل حرارتی با دبی بخار 0.5 kg/s

در این حالت همانطور که از جدول (8) مشاهده می کنید بخار خروجی بلودان با دمای 99.8 وارد مبدل شده و آب با دمای 99.8 خارج می گردد همچنین آب تغذیه هم با دمای 53.5 درجه سانتیگراد وارد و پس از تبادل حرارت با دمای 57 درجه سانتیگراد خارج می گردد.

مدل این مبدل هم به لحاظ تعمیرات راحتتر مدل AEM انتخاب گردیده و قطر پوسته حدود 0.660 متر بدست آمده است و مبدل سمت تیوب 2 بار گذر می باشد همچنین طول لوله تیوب ها در این طراحی 1 متر بدست آمده است. طراحی این مبدل بر اساس حداقل دبی بخار خروجی از تانک بلودان می باشد.

### 5-2-2- نتایج طراحی مبدل حرارتی با دبی بخار 2kg/s

در این حالت همانطور که از جدول (9) مشاهده می کنید بخار خروجی بلودان با دمای 99.8 وارد مبدل شده و آب با دمای 99.8 خارج می گردد همچنین آب تغذیه هم با دمای 55.1 درجه سانتیگراد وارد و پس از تبادل حرارت با دمای 69.2 درجه سانتیگراد خارج می گردد.

مدل این مبدل هم به لحاظ تعمیرات راحتتر مدل AEM انتخاب گردیده و قطر پوسته حدود 0.762 متر بدست آمده است و مبدل سمت تیوب 2 بار گذر می باشد

زمین می باشد قطر پوسته حدود 0.660 متر بدست آمده است و مبدل سمت تیوب 2 بار گذر می باشد همچنین طول لوله تیوب ها در این طراحی 2 متر بدست آمده است. طراحی این مبدل بر اساس حداکثر دبی خروجی از تانک بلودان می باشد.

Heat Exchanger Specification Sheet

Customer: شرکت پتروشیمی گازرون		
Service of Unit:		
Item No.: HX-1		
Date:	Rev No.: 2	
Size: 644-2000	Type: AES	
Surf/(unit/eff.): 50.5 m <sup>2</sup>	Shell/unit: 1	
Surf/shell (eff.): 50.5 m <sup>2</sup>		
Connected in 1 parallel 1 series		
PERFORMANCE OF ONE UNIT		
Fluid allocation	Shell Side	Tube Side
Fluid name	Water	Demin Water
Fluid quantity, Total	kg/s	kg/s
Vapor (In/Out)	4	76
Liquid	kg/h	kg/h
Noncondensable	kg/s	kg/s
Temperature (In/Out)	*C	*C
Dew / Bubble point	98	58
	53	55.11
Density	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Viscosity	mPa s	mPa s
Molecular wt. Vap		
Molecular wt. NC		
Specific heat	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
Thermal conductivity	W/(m K)	W/(m K)
Latent heat	kJ/kg	kJ/kg
Pressure (abs)	bar	bar
Velocity	m/s	m/s
Pressure drop, allow./calc.	bar	bar
Fouling resist. (min)	m <sup>2</sup> KW	m <sup>2</sup> KW
Heat exchnged	670.1 kW	983.3 MTD corrected
Transfer rate, Service	800.8 kW	1374.2 Clean
		16.57 *C
CONSTRUCTION OF ONE SHELL		Sketch
Design/Test pressure	bar	bar
Design temperature	*C	*C
Number passes per shell	1	2
Corrosion allowance	mm	mm
Connections	In	Out
Size/rating	Intermediate	Intermediate
Tube No. 446	OD 19.05	Tks-avg 2.11
Tube type	Plain	Material SA-179 K01200
Shell CS	ID	OD 660.4
Channel or bonnet	CS	Shell cover
Tube-sheet-stationary	CS	Channel cover
Floating head cover	CS	Tube-sheet-floating
Baffle-crossing	CS	Impingement protection
Baffle-long	Type single seg	Cut(%d) 23
Supports-tube	U-bend	Inlet
Bypass seal		Strength
Expansion joint	Type	Tube-tubesheet joint
RhoV2-Inlet nozzle	254	Bundle entrance 5
Gaskets - Shell side	Compressed Fiber 1/8	Tube Side
Gaskets - Floating head	Compressed Fiber 1/8	Tube Side
Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1	TEMA class C
Weight/Shell	2507.6	Filled with water 3517.4
		Bundle 1091

### جدول 6- نتایج طراحی مبدل حرارتی با دبی آب

4kg/s

همانطور که می دانیم در عمل (در سایت) بایستی طراحی بر اساس مقدار دبی ماکزیمم در نظر گرفته شود تا مبدل حرارتی در بین حداقل و حداکثر جوابگو باشد.

### 5-2-2- مبدل حرارتی 2- نوع کندانسور

آب سرد خروجی از مبدل حرارتی 1 وارد مبدل حرارتی 2 می گردد و بخار خروجی از بلودان با مشخصات جدول (7) وارد مبدل حرارتی 2 گردیده و پس از کندانس شدن با دمای 99.8 درجه سانتیگراد از مبدل حرارتی 2 خارج و با آب خروجی از مخزن بلودان ترکیب شده و وارد مبدل حرارتی 1 می گردد.

پارامتر	مقدار
---------	-------

همچنین طول لوله تیوب ها در این طراحی 2 متر بدست آمده است. طراحی این مبدل بر اساس حداکثر دبی بخار خروجی از تانک بلودان می باشد.

### 6- نتیجه گیری

در نیروگاه های سیکل ترکیبی بطور دایم و پیوسته بایستی آب و املاح کف درام های بویلرهای نیروگاهی از درامهای فشار بالا و پایین به مخزن بلودان بویلر تخلیه گردد تا خلوص آب دمین باقی مانده و تجهیزات دچار آسیب نگردد که همین آنها ارزش حرارتی و انرژی بالایی دارند که باعث سودهی و صرفه جویی اقتصادی می گردد همانطور که در این پژوهش بیان شد با طراحی و ساخت پروژه مذکور باعث جلوگیری از هدر رفت آب و انرژی از بویلر به میزان 1332kw گردید که با ایجاد دو مبدل حرارتی انرژی مذکور به سیستم باز گردانیده شد همچنین با کندانس کردن بخار بلودان از آلودگی محیط جلوگیری شده است چرا که در بخارات و آب بلودان مواد فسفات و آمونیاک و ... وجود دارد که با برگشت آب به سیکل جلوگیری از انتشار این بخارات در محیط شده است و مهمتر از آن بدون تزریق انرژی باعث بازیافت انرژی اتلافی بویلر شدیم که باعث افزایش راندمان بویلر می گردد.

**Heat Exchanger Specification Sheet**

Customer: نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون										
Service of Unit:										
Item No.: HX-2										
Date:	Rev No.:	2								
Size:	644-1000	mm	Type:	AEM	hor	Connected in:	1 parallel	1 series		
Surf/Unit (eff. 1)	24.9	m <sup>2</sup>	Shells/unit 1	Surf/shell (eff. 1)						24.9 m <sup>2</sup>
<b>PERFORMANCE OF ONE UNIT</b>										
Fluid allocation	Shell Side				Tube Side					
Fluid name	Steam				Demin Water					
Fluid quantity, Total	kg/s				kg/s					
Vapor (In/Out)	kg/s				kg/s					
Liquid	kg/s				kg/s					
Noncondensable	kg/s				kg/s					
Temperature (In/Out)	°C		99.81		°C		99.81		53.5	67.04
Dew / Bubble point	°C		99.81		°C		99.81			
Density	kg/m <sup>3</sup>		0.58		kg/m <sup>3</sup>		959.01		988.67	987.11
Viscosity	mPa.s		0.0123		mPa.s		0.2841		0.5222	0.4953
Molecular wt. Vap					Molecular wt. NC					
Specific heat	kJ/kg K		2.075		kJ/kg K		4.195		4.186	4.195
Thermal conductivity	W/m K		0.0245		W/m K		0.6773		0.636	0.64
Latent heat	kJ/kg		2252.9		kJ/kg		2252.9			
Pressure (abs)	bar		1		bar		7.62		19.5	1.97
Velocity	m/s				m/s		0.00792		0.5	0.10035
Pressure drop, allow./calc.	bar		0.05		bar		0.00792		0.5	0.10035
Fouling resist. (min)	m <sup>2</sup> K/W		0.00009		m <sup>2</sup> K/W		0.00009		0.00009	0.00009
Heat exchANGED	kW		1126.5		kW		2143.5		MTD corrected	44.83 °C
Transfer rate, Service	1017		Dirty		2143.5		Clean		3768.9	W/m <sup>2</sup> K
<b>CONSTRUCTION OF ONE SHELL</b>										
Design/Test pressure	bar		2/3		bar		21/30		7	
Design temperature	°C		120		°C		100			
Number passes per shell	mm		3.2		mm		3.2			
Corrosion allowance	mm		3.2		mm		3.2			
Connections	In		8 / 150 ANSI		Out		10 / 300 ANSI			
Size/rating	In		2 / 150 ANSI		Out		10 / 300 ANSI			
Supports-tube	In / Intermediate		7 / 150 ANSI		In / Intermediate		7 / 300 ANSI			
Tube No. 453	OD 19.05		Thickness 2.11		mm		Length 1000		mm	Pitch 26
Tube type: Plain	Material SA179				mm		Tube pattern 60			
Shell CS	ID		OD 660.4		mm		Shell cover			
Channel or bonnet CS							Channel cover		CS	
Tube-sheet-stationary CS							Tube-sheet-floating		CS	
Flashing head cover							Impingement protection		Rect. plate on bundle	
Baffle-crossing CS	Type		single seg		Cut(%)		45		vert. Spacing: c/c	400
Baffle-long	mm		550.02		mm		Inlet		353.97	mm
Supports-tube	U-bend				Type					
Bypass seal	Tube-tubesheet joint		strength		weight					
Expansion joint	Type				strength		weight			
RhoV2-Inlet nozzle	410		Bundle entrance		146		Bundle exit		0	kg/(m <sup>2</sup> s)
Gaskets - Shell side	Compressed Fiber 1/8		Tube Side		Compressed Fiber 1/8					
Flashing head										
Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1				TEMA class		C			
Weight/Shell	1920.7		Filled with water		2594.3		Bundle		866.3	kg

### جدول 8- نتایج طراحی مبدل حرارتی با دبی بخار

0.5kg/s

**Heat Exchanger Specification Sheet**

Customer: نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون										
Service of Unit:										
Item No.: HX-2										
Date:	Rev No.:	2								
Size:	742-2000	mm	Type:	AEM	hor	Connected in:	1 parallel	1 series		
Surf/Unit (eff. 1)	61	m <sup>2</sup>	Shells/unit 1	Surf/shell (eff. 1)						61 m <sup>2</sup>
<b>PERFORMANCE OF ONE UNIT</b>										
Fluid allocation	Shell Side				Tube Side					
Fluid name	Steam				Demin Water					
Fluid quantity, Total	kg/s				kg/s					
Vapor (In/Out)	kg/s				kg/s					
Liquid	kg/s				kg/s					
Noncondensable	kg/s				kg/s					
Temperature (In/Out)	°C		99.81		°C		99.81		55.1	69.27
Dew / Bubble point	°C		99.81		°C		99.81			
Density	kg/m <sup>3</sup>		0.58		kg/m <sup>3</sup>		959.01		988.09	980.26
Viscosity	mPa.s		0.0123		mPa.s		0.2841		0.5098	0.4151
Molecular wt. Vap					Molecular wt. NC					
Specific heat	kJ/kg K		2.075		kJ/kg K		4.195		4.185	4.186
Thermal conductivity	W/m K		0.0245		W/m K		0.6773		0.6378	0.6528
Latent heat	kJ/kg		2252.9		kJ/kg		2252.9			
Pressure (abs)	bar		1		bar		24.72		19.5	1.68
Velocity	m/s				m/s		0.03838		0.5	0.11426
Pressure drop, allow./calc.	bar		0.05		bar		0.03838		0.5	0.11426
Fouling resist. (min)	m <sup>2</sup> K/W		0.00009		m <sup>2</sup> K/W		0.00009		0.00009	0.00009
Heat exchANGED	kW		1505.8		kW		2181.9		MTD corrected	37.18 °C
Transfer rate, Service	1968.2		Dirty		2181.9		Clean		3885.8	W/m <sup>2</sup> K
<b>CONSTRUCTION OF ONE SHELL</b>										
Design/Test pressure	bar		2/3		bar		21/30		7	
Design temperature	°C		120		°C		100			
Number passes per shell	mm		3.2		mm		3.2			
Corrosion allowance	mm		3.2		mm		3.2			
Connections	In		16 / 150 ANSI		Out		10 / 300 ANSI			
Size/rating	In / Intermediate		7 / 150 ANSI		In / Intermediate		7 / 300 ANSI			
Tube No. 533	OD 19.05		Thickness 2.11		mm		Length 2000		mm	Pitch 27
Tube type: Plain	Material CS				mm		Tube pattern 60			
Shell CS	ID		OD 762		mm		Shell cover			
Channel or bonnet CS							Channel cover		CS	
Tube-sheet-stationary CS							Tube-sheet-floating		CS	
Flashing head cover							Impingement protection		Rect. plate on bundle	
Baffle-crossing CS	Type		single seg		Cut(%)		44		vert. Spacing: c/c	400
Baffle-long	mm		550.02		mm		Inlet		353.97	mm
Supports-tube	U-bend				Type					
Bypass seal	Tube-tubesheet joint		strength		weight					
Expansion joint	Type				strength		weight			
RhoV2-Inlet nozzle	497		Bundle entrance		569		Bundle exit		3	kg/(m <sup>2</sup> s)
Gaskets - Shell side	Compressed Fiber 1/8		Tube Side		Compressed Fiber 1/8					
Flashing head										
Code requirements	ASME Code Sec VIII Div 1				TEMA class		C			
Weight/Shell	3380.1		Filled with water		4684.4		Bundle		1724.2	kg

### جدول 9- نتایج طراحی مبدل حرارتی با دبی بخار 2kg/s

### 7- قدردانی و تشکر

کمال تشکر و قدردانی از آقایان مهندس عباس دهقان، مهندس رضا بامیان، مهندس غلامعلی بازیار، مهندس قائم پرویزی، مهندس یداله بهمنی و مهندس عبدالرضا داودی را دارم که با حمایت و پشتیبانی آنها در طول پروژه، مراحل طراحی و خرید تجهیزات و ساخت این پروژه هموار و باعث دلگرمی اینجانب شدند.

### 8- مراجع

[1]Dukelow, S.G. 1991. The Control of Boilers, pp. 74-85.

[2]Stultz, S.C. and J.B. Kitto. 1992. Steam. Its Generation and Use, 40th Edition, pp. 9 -22 to 9 - 27.

[3] مدارک فنی نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون

[4] نرم افزار Aspen B-Jac