Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
P.P 26-33

Vol. 10 / No. 3/ Autumn 2021
ISSN 2322-2344
eISSN 2717-1639
Archive of SID

A Study on the Effect of Using Absorption Systems on the Performance of an Alstom Gas Unit in Yazd Combined-Cycle Power Plant

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222344.1400.10.3.9.8

Ebrahim Soleimani[1], Seyed Amir Abbas Oloomi[2*], Azadeh Ghashghaei[3], Shahriyar Zandian[4]

1- Power Production Management Company, Combined Cycle Power Plant, Yazd, Iran – Ebrahim.soleimaniii@gmail.com
2- Department of Mechanical Engineering, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran – Amiroloomi@iauyazd.ac.ir
3- Power Production Management Company, Combined Cycle Power Plant, Yazd, Iran – Azadeh.ghashghaee@gmail.com
4- Power Production Management Company, Combined Cycle Power Plant, Yazd, Iran – Shazandiyan@mailfa.com

Abstract

One of the main issues of Iran is power deficiency in hot months. Due to the ever-increasing demand for energy and its consumption, it is of critical importance to optimize power-generating systems, improve their efficiency, address their drawbacks. This research aims at studying the effect of adsorption systems on the performance of the unit (its production power and efficiency) in the climate of Yazd by simulating a G13 Alstom generator in thermoflow. The results showed that using absorption systems-reduced the inlet air temperature by 20ºC, which, in turn, increased overall production power by 20.38% in comparison to when there was no cooling of the inlet air. This system also improved the aforementioned unit's efficiency by 1.88%. The fog system was also simulated in this research. The results demonstrated that the absorption system showed a better efficiency in comparison to the fog system by 5.32%. To ascertain the validity of the model, it was validated against the real operational data for the G13 unit in base load and in different environmental conditions, as well as against the data present in the documents associated with the Yazd Power Plant. One of the novelties of this study is using heat in the craft unit outlet, which is currently released to air. If this system is applied to the unit, the efficiency of the craft unit and power plant will be improved. Moreover, this will reduce the emission of environmental pollutants into the air, which will ultimately cause a major reduction in social expenses.

Keywords: Absorption chiller, Refrigeration cycle, Thermoflow, Yazd Combined Cycle Power Plant, Alstom unit, Craft unit.

Received: 2020 December 2
Accepted: 2021 July 5

www.SID.ir

Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
ص.ص 33-26

Vol. 10 / No. 3/ Autumn 2021
ISSN 2322-2344
eISSN 2717-1639
Archive of SID

بررسی تأثیر استفاده از سیستم جذبی بر عملکرد واحد گازی آلستوم در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد

نوع مطالعه: پژوهشی

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222344.1400.10.3.9.8

ابراهیم سلیمانی[۱]، سید امیرعباس علومی[۲]،استادیار، آزاده قشقایی[۳]، شهریار زندیان[۴]

۱- شرکت مدیریت تولید برق، نیروگاه سیکل ترکیبی ، یزد، ایران
-Ebrahim.soleimaniii@gmail.com

۲- دانشکده مهندسی، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران
-Amiroloomi@iauyazd.ac.ir

۳- شرکت مدیریت تولید برق، نیروگاه سیکل ترکیبی، یزد، ایران
-Azadeh.ghashghaee@gmail.com

۴- شرکت مدیریت تولید برق، نیروگاه سیکل ترکیبی، یزد، ایران
-Shazandiyan@mailfa.com

چکیده: یکی از مشکلات اساسی کشور ما در فصول گرم سال، کمبود برق می‌باشد. با توجه به این مشکل و همچنین افزایش روزافزون مصرف انرژی و اهمیت آن، بهینه سازی سیستم‌های تولید قدرت و تلاش برای افزایش بازده‌ی آنها و رفع کمبودها، امری بسیار مهم و ضروری می‌باشد. پژوهش حاضر با مدل‌سازی و شبیه سازی مولد گازی G13 آلستوم[1] نیروگاه سیکل ترکیبی یزد در نرم افزار ترموفلو، به بررسی تأثیر کاربرد سیستم جذبی بر عملکرد واحد از جمله توان تولیدی و راندمان، با توجه به خصوصیات منحصر به فرد نیروگاه و همچنین شرایط اقلیمی شهر یزد پرداخته است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از سیستم جذبی دمای هوای ورودی به کمپرسور به میزان ۲۰°C کاهش می‌یابد که موجب افزایش توان تولیدی به میزان ۲۰/۳۸٪ نسبت به حالت ساده و بدون انجام خنک‌کاری می‌شود. این سیستم همچنین باعث بهبود راندمان واحد مذکور به میزان ۱/۸۸٪ نسبت به حالت ساده می‌شود. در این تحقیق همچنین شبیه‌سازی سیستم فاگ که در حال حاضر در مولد مذکور مورد استفاده قرار دارد؛ انجام شده که نتایج حاصل نشان از افزایش بیشتر توان در سیستم جذبی نسبت به سیستم فاگ به میزان ۵/۳۲٪ می‌باشد. در ادامه جهت اعتبارسنجی و اطمینان از صحت عملکرد مدل شبیه‌سازی شده، نتایج حاصل با مقادیر واقعی در حالت حداکثر بار[2] و شرایط محیطی مختلف و همچنین مقادیر موجود در اسناد و مدارک مولد G13 نیروگاه یزد مقایسه شده است. یکی از نوآوری‌های پژوهش حاضر استفاده از حرارت خروجی واحد کرافت می‌باشد که در حال حاضر محصولات حاصل از احتراق این مولد به محیط اطراف داده می‌شود. در صورت استفاده از این سیستم شاهد بهبود راندمان واحد کرافت، راندمان کلی نیروگاه و همچنین کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی به محیط خواهیم بود که این امر به تنهایی از هزینه‌های بسیار زیاد اجتماعی جلوگیری می‌کند.

واژه‌های کلیدی: چیلر جذبی، سیکل تبرید، ترموفلو، نیروگاه سیکل ترکیبی یزد، واحد آلستوم، واحد کرافت

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۱۲
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۰/۰۴/۱۴

نام نویسنده‌ی مسئول: سید امیرعباس علومی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

Alstom[1]
BASE LOAD[2]

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

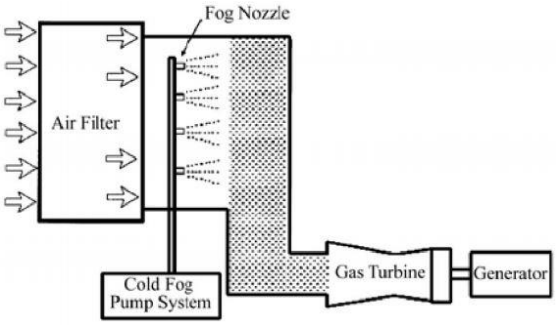
یکی از معضلات و مشکل‌های کشور ما بخصوص صنعت برق، کمبود برق در فصول گرم سال می‌باشد. توربین‌های گازی نقش مهمی در تأمین برق و رفع کمبودها در این زمینه را دارند. توربین‌های گازی در صنایع دیگر نظیر نفت و گاز جهت تولید توان مورد نیاز پمپ‌های انتقال نفت و یا کمپرسورهای تراکم گاز در ایستگاه‌های تقویت فشار کاربرد گسترده‌ای دارند. از آنجایی که راندمان این توربین‌ها به دلایل متعدد از جمله نوع تکنولوژی و استهلاک، معمولاً پایین بوده؛ لذا مطالعه در راستای افزایش راندمان و توان تولیدی نیروگاه که پتانسیل صرفه‌جویی انرژی به میزان زیادی در آنها وجود دارد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نکته‌ی حائز اهمیت این است که عملکرد توربین‌های گازی به شدت تحت تأثیر دما و شرایط محیطی است. در این خصوص با توجه به ثابت بودن حجم هوای ورودی در شرایط محیطی مختلف، افزایش دمای هوای ورودی باعث کاهش چگالی و دبی هوای ورودی به کمپرسور می‌شود که در نتیجه‌ی آن توان تولیدی کاهش می‌یابد. در مجموع کاهش ظرفیت تولیدی بر اثر افزایش دما از یک سو و صرف انرژی بیشتر برای متراکم کردن هوای گرم در کمپرسور از سوی دیگر، باعث کاهش راندمان خواهد بود. از آنجا که کشور ما در منطقه گرم واقع شده است، تقریباً تمام توربین‌های گازی نصب شده در ایران با مسئله کاهش توان در ماه‌های گرم سال مواجه هست. این موضوع باعث می‌شود که از سرمایه‌گذاری صورت گرفته در مدت بیش از یک چهارم طول سال، به نحو مطلوب نتوان استفاده کرد و این در حالی است که بیشترین تقاضا برای مصرف انرژی در همین بازه زمانی اتفاق می‌افتد. یکی از روش‌های بهبود این وضعیت و جبران توان از دست رفته، خنک‌کاری هوای ورودی به کمپرسور توربین گاز می‌باشد. این کار علاوه بر تأثیرگذاری در عملکرد توربین گاز، به صورت غیر مستقیم بر عملکرد بویلر و میزان بخار تولیدی نیز اثر می‌گذارد. روشهای مختلفی برای خنک‌کاری هوای ورودی به کمپرسور وجود دارد که شامل دو بخش عمده می‌باشند:

- سیستم‌های تبخیری (همچون مدیا، فاگ یا مه‌پاش)
- سیستم‌های تبریدی (همچون تراکمی و جذبی)

نوع استفاده از سیستم‌های مذکور بسته به شرایط محیطی محل موردنظر و همچنین هزینه اولیه راه‌اندازی متفاوت می‌باشد. سیستم‌های تبخیری عمدتاً برای مناطق گرم و خشک مفید بوده در حالی که سیستم‌های تبریدی تقریباً برای همه مناطق مناسب می‌باشد. در ادامه به جهت آشنایی، به صورت مختصر به معرفی سیستم فاگ و سیستم جذبی با توجه به نیاز پژوهش حاضر می‌پردازیم.

- **سیستم‌های تبخیری فاگ (مه‌پاش)**

در سیستم فاگ هوا به وسیله‌ی انتقال گرمای خود به آب به روش مستقیم (به واسطه‌ی گرمای نهان تبخیر) خنک می‌گردد. در این روش آب مورد نیاز جهت خنک‌کاری، پس از عبور از یک سری نازل به صورت قطرات بسیار ریز (ذرات مه) به درون هوای ورودی کمپرسور پاشیده می‌شود. این قطرات به علت ریز بودن، سریعاً گرمای نهان تبخیر خود را از هوا اخذ کرده و تبخیر می‌شوند و از طرف دیگر هوای عبوری که گرما از دست داده است، خنک می‌گردد. محل مناسب جهت نصب این سیستم، بعد از فیلترهای هوای ورودی به کمپرسور می‌باشد. شکل ۱ شماتیکی خنک‌کاری به این روش را نشان می‌دهد.



شکل۱- شماتیک خنک‌کاری سیستم فاگ

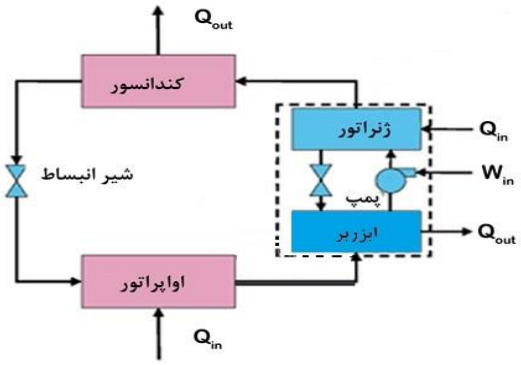
- **سیستم‌های تبریدی (جذبی)**

این سیستم به وسیله‌ی عبور هوا از میان کویل‌های سرمایشی؛ که آب سرد ایجاد شده توسط چیلرها از درون آن‌ها می‌گذرد، باعث خنک‌سازی هوا می‌شوند. در این سیستم از یک ترکیب ترمو شیمیایی (دو ماده تحت عنوان مبرد و جاذب) جهت تکمیل سیکل و ایجاد سرمایش استفاده می‌شود. نحوه‌ی عملکرد این سیکل نیز بدین صورت می‌باشد که در ابتدا مایع مبرد بر روی لوله‌های اواپراتور پاشیده می‌شود که با جذب گرما تبخیر حاصل می‌شود و مایع درون لوله سرد می‌گردد. سپس بخار حاصل از قسمت اواپراتور به سمت جاذب کشیده شده و توسط مایع جاذب جذب می‌گردد. گرمای نهان تبخیر و گرمای واکنش، به مایع جاذب و آب داخل لوله‌های جاذب منتقل می‌شود. محلول جاذب به خاطر جذب سیال مبرد، رقیق شده که برای بازیابی مایع مبرد و همچنین تغلیظ مجدد جاذب، به سمت ژنراتور منتقل می‌شود. در ژنراتور به محلول رقیق حرارت داده می‌شود که این حرارت باعث بخار شدن مایع مبرد و جداسازی آن از محلول جاذب می‌گردد. مایع جاذب به بخش جاذب منتقل می‌شود و بخار مبرد نیز، از کندانسور عبور داده شده و با برخورد به لوله‌های آب سرد به شکل مایع در می‌آید. مایع مبرد حاصل، مجدداً به درون اواپراتور منتقل شده و سیکل

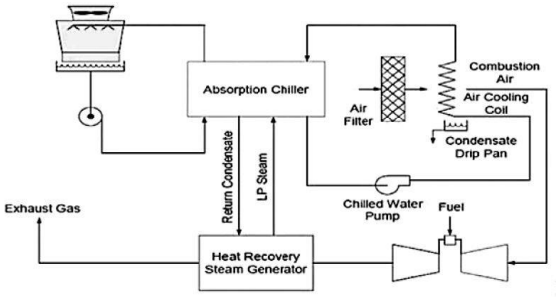
www.SID.ir

Archive of SID

بازیابی می‌شود. در شکل ۲و۳ شماتیکی از سیکل جذبی و نحوه کارکرد آن را مشاهده می‌فرمایید.



شکل۲- نحوه‌ی عملکرد سیستم جذبی



شکل۳- شماتیک خنک‌کاری سیستم جذبی

لازم به ذکر است سیستم‌های تبخیری فقط تا حد اشباع آب می‌توانند هوا را خنک کنند، اما در سیستم‌های تبریدی هوای گرم ورودی تا رطوبت ۱۰۰٪ گرمای خود را از دست می‌دهد و مزیتی که نسبت به سیستم‌های تبخیری دارند، این است که پس از اشباع شدن، خنک‌کاری هوا با تقطیر بخار آب موجود در آن صورت می‌گیرد.

از مزایا و محاسن دیگر سیکل جذبی، استفاده از انرژی حرارتی به جای انرژی برق می‌باشد که نتیجه‌ی آن کاهش مصرف برق می‌باشد. در این روش، انرژی حرارتی مورد استفاده معمولاً از انرژیهای در حال اتلاف (مانند آب داغ یا بخار داغ، حرارت کوره‌ها و یا حرارت خروجی اگزوزهای گازی در سیکل باز) تأمین می‌شود که به نوعی برگشت انرژی و بهبود راندمان می‌باشد که از محاسن دیگر آن می‌باشد. این روش، اساس کار پروژه حاضر می‌باشد که در ادامه به صورت مختصر، به مروری بر مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته در مراکز علمی و صنعتی جهان که در این زمینه انجام شده است، می‌پردازیم.

رامرودی و سالاریان در سال ۱۳۹۳، در پژوهش خود اثر استفاده از چیلر جذبی را بر روی توان و راندمان نیروگاه علی‌آباد کتول مورد بررسی قرار دادند و عنوان کردند که با هر درجه کاهش دمای هوای ورودی حدود ۰/۹٪ افزایش توان و حدود ۰/۰۶۵٪ افزایش راندمان خواهیم داشت. کل افزایش توان خروجی آنها برای نیروگاه مذکور پس از ۱۶ درجه سرمایشهوای ورودی، ۱۳٪ بود. نجار و همکارش در بررسی خود در سال ۲۰۰۴، به نحوه‌ی تغییرات توان تولیدی با تغییر دمای هوای ورودی و همچنین اثر استفاده از روش چیلر جذبی پرداخت و نتیجه گرفت که با استفاده از روش جذبی، توان تولیدی حدود ۲۱ درصد نسبت به حالت بدون چیلر افزایش خواهد داشت. محمد عامری و حجازی (۲۰۰۴) جهت افزایش ظرفیت توربین گاز نیروگاه چابهار، از یک چیلر جذبی به منظور خنک‌کاری هوای ورودی به کمپرسور استفاده کردند و با توجه به دمای بالای هوای محیط نشان دادند که با نصب چیلر، توان خروجی حدود ۱۱٪ افزایش خواهد داشت. در محاسبه آنها، مدت زمان برگشت سرمایه حدود ۴/۲ سال می‌باشد. زارع در سال ۲۰۲۰، در پژوهشی از حرارت خروجی یک توربین گاز جهت بکارگیری چیلر جذبی و خنک‌کاری هوای ورودی به کمپرسور استفاده کرد و نشان داد که این سیستم از نظر ترمودینامیکی و اقتصادی به طور قابل توجهی باعث بهبود عملکرد سیستم و افزایش توان به میزان ۳۰/۱٪ می‌شود. کاکاراس و جانسون در سال ۲۰۰۶، روش‌های مختلف خنک‌کاری را برای یک نیروگاه گازی مورد بررسی قرار دادند که در نهایت با توجه به شرایط محیطی مختلف و با ذکر معایب و محاسن هر کدام، سیستم‌های مختلف را برای خنک‌کاری پیشنهاد دادند. پونوانی نیز در مقایسه پنج روش خنک‌کاری از نظر تأثیر آنها در افزایش ظرفیت تولید توان نیروگاه بر قیمت انرژی، چیلر جذبی و استفاده از آن را بهینه‌ترین گزینه در بین پنج روش دانست. ماتیوداکیس و همکارانش (۲۰۰۱) به بررسی روش جذبی جهت کاهش دمای هوای ورودی به کمپرسور پرداختند و بیان کردند که در نتیجه‌ی کاهش دمای هوای ورودی از ۳۵ به ۵ درجه سلسیوس، حدود ۲۲٪ افزایش توان خواهیم داشت. پاپلی و همکارانش در سال ۲۰۱۳، در پژوهشی یک سیستم جذبی را با یک سیستم مدیا مقایسه کردند و نشان دادند که برای دماهای محیطی یکسان، سیستم چیلر جذبی ۲۳ درصد توان تولیدی را افزایش می‌دهد، در حالیکه سیستم مدیا در همین شرایط ۴/۲ درصد توان تولیدی توربین گاز را افزایش می‌دهد. تانگ و همکارش (۲۰۱۰) طی بررسی چیلر جذبی تک اثره و بهبود ضریب عملکرد آن، نوع جدیدی از چیلر را طراحی کردند که علاوه بر اجزای اصلی، دارای کمپرسور و منبسط کننده نیز بود. آنها نشان دادند که این چیلر نسبت به چیلرهای تک اثره و دو-اثره، دارای ضریب عملکرد بالاتری می‌باشد. کومار سینگ در سال ۲۰۱۶، طی بررسی خود در یک نیروگاه سیکل ترکیبی نشان دادند که در فصل تابستان، استفاده از سیستم جذبی باعث افزایش حدود ۱۰مگاوات در توان تولیدی و ۱/۱۹۳٪ در راندمان خواهد شد. چاو دنگ و گروهش در سال ۲۰۲۰، اثر

www.SID.ir

Archive of SID

چندین سیستم خنک‌کاری هوای ورودی را بر عملکرد یک نیروگاه سیکل ترکیبی مورد مطالعه قرار دادند که در نهایت از بین روشهای مورد مطالعه، بهترین نمونه و راه حل را، سیستم تبرید جذبی با ۲۳٪ بهبود عملکرد عنوان کردند. مجدی یزدی و همکارانش در سال ۲۰۲۰، اثرات خنک‌کاری هوای ورودی به توربین گاز را به روشهای تبخیری و تبریدی برای چهار شهر مختلف ایران بررسی و مقایسه کردند. نتایج آنها نشان می‌داد که بهترین روش خنک‌کاری برای شهرهای گرم، روش جذبی می‌باشد. آنها بهبود توان در بندرعباس و یزد را به ترتیب ۱۸ و ۱۴ درصد، بهبود بازده ۲/۵ و ۱/۵ درصد و کاهش میزان آلایندگی NOx را ۶۰ و ۵۳ درصد عنوان کردند.

هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی شرایط بهبود توان تولیدی و تأثیر استفاده از سیستم تبرید جذبی بر عملکرد واحد گازی آلستوم نیروگاه سیکل ترکیبی یزد می‌باشد که جهت راه‌اندازی سیستم جذبی، از حرارت در حال اتلاف واحد گازی کرافت نیروگاه مذکور استفاده می‌شود. این انرژی پس از عبور از مبدلهای حرارتی و تبدیل آن به بخار، در چیلر جذبی به کار گرفته می شود که در نهایت آب خنک شده در خروجی چیلر، از کویل‌های تعبیه شده در مسیر هوای ورودی به کمپرسور واحد گازی، عبور داده شده و با برخورد هوای عبوری به کویل، باعث تبادل گرما بین دو سیال و کاهش دمای هوای ورودی می‌شود. به کمک این روش در نیروگاه مذکور، شاهد برگشت انرژی و همچنین کاهش مصرف داخلی نیروگاه، علاوه بر بهبود توان و راندمان خواهیم بود. در ادامه، مدل‌سازی روش تبخیری فاگ؛ که در حال حاضر در نیروگاه یزد جهت خنک‌کاری هوای ورودی به توربین‌گاز آلستوم مورد استفاده قرار دارد، انجام شده و جهت مقایسه با روش جذبی مورد بررسی قرار گرفته که به صورت تفصیلی در قسمت‌های بعد به آن پرداخته شده است.

۲- مدل‌سازی و معادلات حاکم

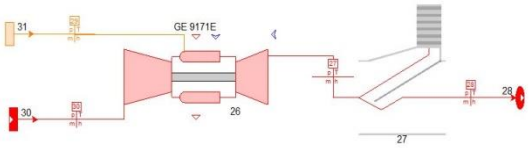
در حال حاضر در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد با واحدهای گازی و بخار، حرارت خروجی واحدهای گازی کرافت با دمای حدود ۴۳۰°C در حال اتلاف می‌باشد که در این پژوهش، این انرژی در ابتدا با استفاده از مبدل‌های حرارتی تبدیل به بخار می‌شود و جهت تغذیه‌ی چیلر جذبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نهایت آب خروجی خنک‌شده با چیلر در کویل تعبیه شده در مسیر هوای ورودی به واحد گازی دیگر نیروگاه (واحد آلستوم) جریان می‌یابد. جهت مدلسازی و شبیه‌سازی سیکل موردنظر از نرم‌افزار قدرتمند ترموفلو و ماژول ترموفلکس در این زمینه استفاده می‌شود که قادر به شبیه‌سازی نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی و همچنین بررسی کارایی آنها در صورت تغییر شرایط می‌باشد. لازم به ذکر است مدل‌سازی سیکل با استفاده از معادلات بالانس جرم و انرژی در تک تک المان‌ها انجام می‌شود.

۲-۱- فرآیند شبیه‌سازی در نرم‌افزار

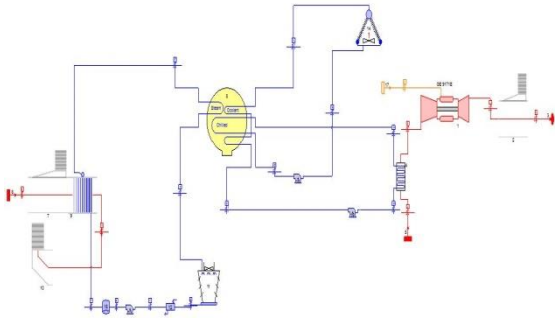
فرضیات شبیه‌سازی در این پژوهش عبارتند از:

- سیکل در شرایط پایدار کار می‌کند.
- تجهیزات توربین، کمپرسور و پمپ آدیاباتیک فرض شده‌اند.
- هوا و گازهای داغ به صورت گاز ایده‌آل فرض می‌شوند..
- از انتقال حرارت تشعشعی صرف‌نظر می‌شود.
- رطوبت نسبی بعد از خنک‌کاری ۱۰۰٪ فرض می‌شود.
- ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت(c_P)، مقدار ثابت در نظر گرفته می‌شود.

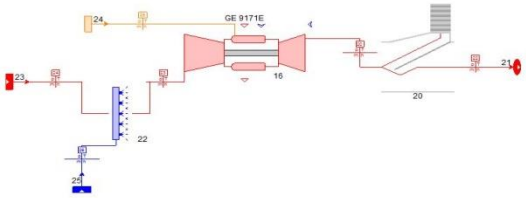
در ادامه نمایی از شبیه‌سازی انجام شده را ملاحظه می‌فرمایید.



شکل۴- سیکل ساده توربین گاز بدون خنک‌کاری



شکل۵- سیکل توربین گاز با خنک‌کاری به روش جذبی



شکل۶- سیکل توربین گاز با خنک‌کاری به روش فاگ

۲-۲- معادلات حاکم

در این تحقیق تحلیل انرژی در شرایط پایا مورد نظر می‌باشد، لذا روابط حاکم، قانون بقای جرم و انرژی و قانون اول ترمودینامیک می‌باشند که عبارتند از:

-قانون بقای جرم

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum m_i = \sum m_e \quad (۱)$$

-قانون اول ترمودینامیک:

$$Q - W = \sum m_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gZ_e \right) - \sum m_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gZ_i \right) \quad (۲)$$

- توان مصرفی کمپرسور بر اساس قانون بقای انرژی

$$\dot{W}_c = \dot{m}_{in}(h_{in} - h_{out}) = \dot{m}_{in} c_P (T_{in} - T_{out}) \quad (۳)$$

در این معادله مقدار کار کمپرسور منفی به دست می‌آید که نشان‌دهنده‌ی مصرف کار است، لذا در معادله‌ی ۶ از $|\dot{W}_c|$ استفاده می‌شود.

- توان حرارتی محفظه احتراق بر اساس قانون بقای انرژی

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{in}(h_{out} - h_{in}) = \dot{m}_{in} c_P (T_{out} - T_{in}) \quad (۴)$$

- توان تولیدی توربین بر اساس قانون بقای انرژی

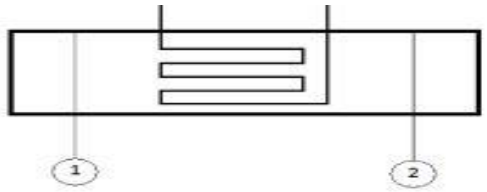
$$\dot{W}_{Turb} = \dot{m}_{in}(h_{in} - h_{out}) = \dot{m}_{in} c_P (T_{in} - T_{out}) \quad (۵)$$

- کار مفید و راندمان حرارتی کل سیکل

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{Turb} - \dot{W}_{com}$$
$$\eta_{net} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{in}} \quad (۶و۷)$$

در روابط فوق اندیس‌های in و out به ترتیب بیانگر مقادیر ورودی و خروجی به تجهیزات، C_P بیانگر ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت، h_{in} و h_{out} نیز به ترتیب آنتالپی سیال در ورودی و خروجی می‌باشند.

از طرفی معادلات حاکم برای محاسبه ظرفیت سرمایش مورد نیاز، طبق حجم کنترل زیر عبارت است از:



- معادله پیوستگی جرم هوای خشک و جرم بخار موجود در هوا

$$m_{a_1} = m_{a_2} \quad (۸)$$

$$m_{v_1} = m_{v_2} + m_{12} \quad (۹)$$

در روابط فوق m_a بیانگر جرم هوای خشک، m_v جرم بخار آب و m_{12} جرم آب کندانس شده در سمت ۲ می‌باشد.

در ادامه با نوشتن معادله‌ی قانون اول ترمودینامیک برای حجم کنترل مذکور و تقسیم کل رابطه بر m_a و همچنین تعریف نسبت رطوبت به صورت $\omega = m_v / m_a$، به رابطه‌ی (۱۰) برای ظرفیت سرمایش خواهیم رسید:

$$\frac{Q_{c.v}}{m_a} = (h_{a_2} - h_{a_1}) + \omega_2 h_{v_2} - \omega_1 h_{v_1} + (\omega_1 - \omega_2) h_{12} \quad (۱۰)$$

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از شبیه‌سازی در حالتهای قبل و بعد از انجام خنک‌کاری برای مولد گازی G13 آلستوم نیروگاه یزد در جدول شماره ۱ ارائه شده است. شایان ذکر است مقادیر نشان داده شده در جدول، در شرایط اقلیمی شهر یزد و دمای محیط ۳۵°C می‌باشند که پس از خنک‌کاری این دما به ۱۵°C کاهش می‌یابد.

۳-۱- اعتبارسنجی

در این پژوهش جهت اعتبارسنجی و اطمینان از صحت عملکرد مدل شبیه‌سازی شده، تعدادی از پارامترهای خروجی نرم‌افزار با مقادیر واقعی در شرایط دمایی مختلف و همچنین مقادیر موجود در اسناد مولد G13 نیروگاه یزد مقایسه شده است که در جداول شماره ۲ و۳ نمایان می‌باشند.

لازم به ذکر است که داده‌های واقعی بر اساس شرایط محیطی چند روز مختلف جمع‌آوری شده‌اند و همچنین اطلاعات موجود در اسناد نیروگاه چون در شرایط ISO بیان شده‌اند، لذا در نرم افزار نیز همان شرایط ISO برای مقایسه اعمال گردیده است.

جدول ۱- نتایج شبیه‌سازی

ردیف	پارامتر	واحد	مقدار حاصل از شبیه‌سازی	
			قبل از خنک‌کاری	بعد از خنک‌کاری
۱	توان تولیدی مولد	kW	۸۴۳۹۰	۱۰۱۵۹۰
۲	راندمان سیکل	%	۳۰/۲۵	۳۲/۱۳
۳	دبی هوای ورودی به کمپرسور	Kg/s	۳۲۲	۳۴۸/۸
۴	فشار هوای خروجی کمپرسور	Bar	۹/۷۲۷	۱۰/۲۵

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مقایسه مقدار توان تولیدی مولد در حالت شبیه‌سازی با مقادیر واقعی

ردیف	تاریخ	توان تولیدی مولد G13		درصد خطا
		مقدار واقعی(MW)	مقدار حاصل از شبیه‌سازی(MW)	
۱	۱۳۹۹/۰۵/۱۲ در دمای ۳۵°C	۸۴/۴	۸۴/۳۹۰	۰/۰۱۱
۲	۱۳۹۹/۰۵/۱۹ در دمای ۳۱°C	۸۷/۰	۸۶/۹۳۰	۰/۰۸
۳	۱۳۹۹/۰۵/۳۰ در دمای ۳۸°C	۸۲/۵	۸۲/۴۸۴	۰/۰۱۹
۴	۱۳۹۹/۰۶/۳۱ در دمای ۲۵°C	۹۱/۰	۹۰/۸۶۵	۰/۱۴
۵	۱۳۹۹/۰۷/۱۶ در دمای ۲۲°C	۹۳/۰	۹۲/۸۷۰	۰/۱۳

جدول ۳- مقایسه پارامترهای خروجی حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر موجود در اسناد مولد آلستوم در شرایط ISO

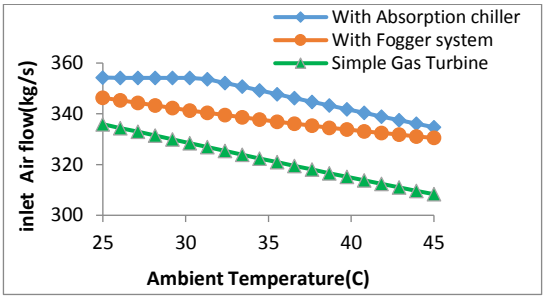
پارامتر	مقادیر حاصل از شبیه‌سازی	مقادیر قرائت شده از اسناد مولد	درصد خطا
توان تولیدی(MW)	۱۲۳/۲	۱۲۳/۴	۰/۱۶
راندمان سیکل(%)	۳۳/۷۹	۳۳/۸	۰/۰۲
دبی گاز داغ خروجی(kg/s)	۴۰۸/۶	۴۱۰	۰/۳

۲-۳- بررسی تأثیر استفاده از سیستم جذبی بر پارامترهای عملکردی مولد گازی آلستوم

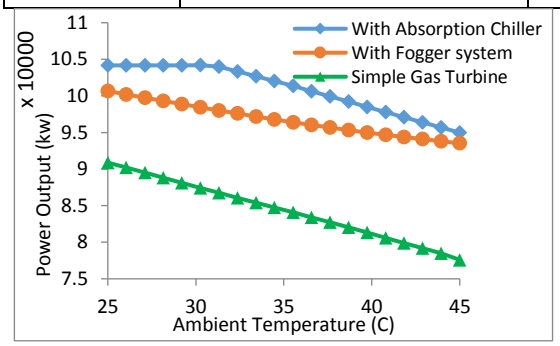
در سیستم‌های خنک کاری از جمله سیستم جذبی، کاهش دمای هوای ورودی باعث افزایش توان تولیدی توربین و در نهایت راندمان مولد می‌شود. برای درک بهتر این موضوع طبق معادله‌ی حالت برای گازهای ایده‌آل داریم:

$$P\,V = mRT \;\rightarrow m = {PV}/{RT} \;\Rightarrow \dot{m} = {P\dot{V}}/{RT} \qquad (11)$$

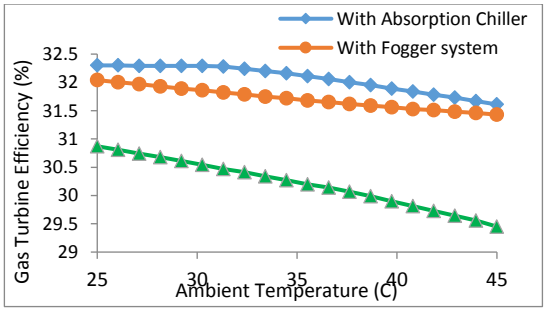
در رابطه‌ی (۱۱) با توجه به ثابت بودن دبی حجمی، می‌توان مشاهده نمود که دبی هوای ورودی با دما نسبت عکس دارد. در نتیجه انتظار داریم با انجام خنک‌کاری و کاهش دما، دبی جرمی افزایش یابد. در نمودارهای ۱ تا ۳ نحوه‌ی تغییرات دبی هوای ورودی، توان تولیدی و راندمان را با افزایش دمای محیط ملاحظه می‌فرمایید. لازم به ذکر است در تمامی نمودار ها عملکرد مولد با سیستم فاگ نیز جهت مقایسه با سیستم جذبی نمایش داده شده است.



نمودار ۱- تغییرات دبی هوای ورودی به کمپرسور با افزایش دما



نمودار ۲- تغییرات توان تولیدی با افزایش دمای محیط



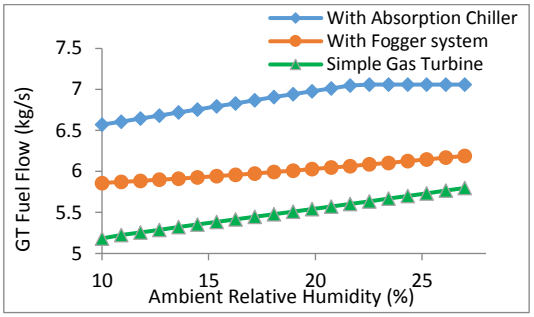
نمودار ۳- تغییرات راندمان با افزایش دمای محیط

با افزایش دمای محیط با توجه به نمودارهای ۱ تا ۳، مشاهده می‌شود که دبی هوای ورودی به کمپرسور، توان تولیدی و همچنین راندمان مولد کاهش می‌یابد. در ادامه با به کار بردن سیستم جذبی مشاهده می شود که دمای هوای ورودی به کمپرسور به میزان ۲۰ °C کاهش می‌یابد و این کاهش دما منجر به افزایش رطوبت نسبی در ورودی کمپرسور و در ادامه افزایش فشار هوای دیس‌شارژ کمپرسور، افزایش مصرف سوخت، افزایش توان تولیدی و در نهایت افزایش راندمان می‌شود. موارد فوق در نمودارهای ۴ تا ۶ مشخص می‌باشند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود؛ میزان افزایش توان و راندمان با استفاده از سیستم جذبی به ترتیب ۲۰/۳۸٪ و ۱/۸۸٪ نسبت به حالت

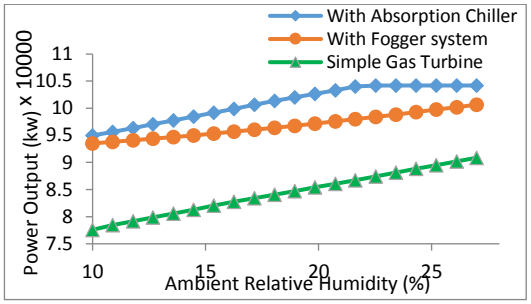
www.SID.ir

Archive of SID

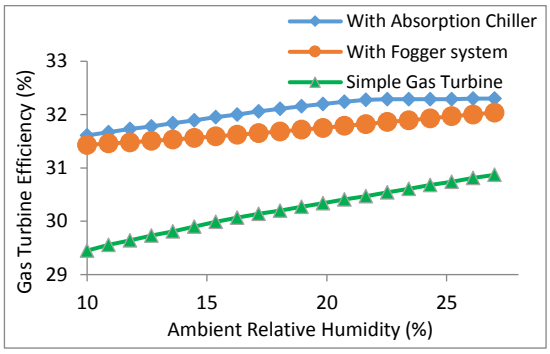
بدون خنک‌کاری می‌باشد و این در حالیست که با سیستم فاگ در شرایط محیطی یکسان، میزان افزایش توان و راندمان نسبت به حالت ساده به ترتیب برابر ۱۵/۰۶٪ و ۱/۵٪ می‌باشند که نشان از عملکرد بهتر سیستم جذبی نسبت به سیستم فاگ برای نیروگاه مذکور می‌باشد.



نمودار ۴- تغییرات مصرف سوخت با انجام خنک‌کاری و افزایش رطوبت نسبی



نمودار ۵- تغییرات توان با خنک‌کاری و افزایش رطوبت نسبی



نمودار ۶- تغییرات راندمان مولد با افزایش رطوبت نسبی

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر خنک‌کاری هوای ورودی به کمپرسور آلستوم به روش سیکل تبرید جذبی مورد بررسی قرار گرفت که برای راه‌اندازی این سیستم، از حرارت خروجی اگزوز مولد کرافت نیروگاه یزد استفاده شد. یکی از محاسن و توجیه اساسی این پروژه، برگشت انرژی به واسطه‌ی استفاده از حرارت در حال اتلاف واحد گازی کرافت می‌باشد که باعث بهبود راندمان واحد مذکور و در نهایت راندمان کلی نیروگاه، و همچنین برگشت سرمایه و صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود. در ادامه تأثیر استفاده از سیستم مذکور بر مقدار توان و بازدهی توربین‌گاز، با حالت‌های بدون انجام خنک‌کاری و همچنین خنک‌کاری به روش فاگ مورد مقایسه قرار گرفت که بهترین حالت در بین آنها از نظر افزایش توان و بازدهی مشخص گردید.

در انتها به صورت خلاصه بیان می‌شود که:

- استفاده از سیستم جذبی در نیروگاه یزد علاوه بر بهبود راندمان واحد کرافت و کاهش آلایندگی‌های زیست محیطی ناشی از آزاد سازی محصولات احتراق آن مولد در هوای محیط، باعث بهبود توان و راندمان واحد گازی آلستوم و به تبع آن واحد بخار سیکل مذکور، به واسطه‌ی کاهش دمای هوای ورودی به کمپرسور آن به میزان ۲۰ °C می‌شود.
- در صورت استفاده از سیستم جذبی، افزایش توان تولیدی مولد آلستوم به میزان ۵/۳۲٪ بیشتر از افزایش توان به وسیله‌ی سیستم فاگ می‌باشد که در حال حاضر در نیروگاه مورد استفاده قرار دارد.
- راندمان مولد آلستوم با کاربرد سیستم جذبی مذکور نسبت به سیستم فاگ، حدود ۰/۳۸٪ بیشتر افزایش می‌یابد.
- کاهش مصرف داخلی نیروگاه در مقایسه با سیستمهای دیگر مانند سیستم فاگ و چیلر تراکمی به واسطه عدم استفاده از کمپرسور و پمپ های عظیم با مصرف برق زیاد

تشکر و قدردانی

در انتها از مجموعه‌ی مدیرعامل و پرسنل شرکت مدیریت تولید برق یزد که در پیشبرد این پژوهش نهایت همکاری و همیاری را داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

مراجع

Y.S.H. Najjar and M.M.Alhazmy," Augmentation of Gas Turbine Performance Using Air Coolers", Applied Thermal Engineering, Vol 24, (2004).

M.Ameri,S.H.Hejazi," The study of capacity enhancement of the Chabahar gas turbine installation using an absorption chiller" .Applied Thermal Engineering 24(2004)59-68.

Zare,V. Performance improvement of biomass-fueled closed cycle gas turbine via compressor inlet cooling using absorption refrigeration, Thermoeconomic analysis and multi-objective optimization. Energy Conversion and Management,Volume 215,1 july 2020,112946

Kakaras," Inlet air cooling methods for gas turbine based power plant",ASME,vol.128,pp312-317.(2006).

Johnsson, M.Yan,J." Humidified gas turbines_A review of proposed and implemented cycle". Energy30,1013-1078(2005).

Punwani DV, Pierson T, Bagley J, Ryan WA. "Absorption chiller application for power generation". International Gas Research Conference Amesterdam. The Netherlands(2001)

K.Mathioudakis and T.Tsalavoutas." Uncertainty reduction in gas turbine performance diagnistic by

www.SID.ir

Archive of SID

accounting for humidity effects" Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, Vol.124,(2001).
S. Popli, P.Rodgers, E. Valerie. "Gas turbine efficiency enhancement using waste heat powered absorption chillers in the oil and gas industry". Appl. Therm. Eng. 50. (2013)
Sahil Popli, Peter Rodgeres, Valerie Eveloy, "Trigeneration scheme for energy efficiency enhancement in a natural gas processing plant through turbine exhaust gas waste heat utilization". Applied Energy, Volume 93,May 2012,Pages 624-636.
Hong D, Tang L, He Y, Chen G, (2010), "*A novel absorption refrigeration cycle*", Applied Thermal Engineering, Vol. 30, pp. 2045-2050.
Omendra Kumar Singh. "Peroformance Enhancement of Combined Cycle Power plant Using Inlet Air cooling by Exhaust Heat Operated Ammonia-Water Absorption Refrigeration System ", Applied Energy, Volume 180,15 october 2016, Pages 867-879.
Hyun Min Kwon, Tong Seop Kim, Jeong Lak Sohn, Do Won Kang, "Performance improvement of gas turbine combined cycle power plant by dual cooling of the inlet air and turbine coolant using an absorption chiller". Energy, Volume 163, 15 November 2018, Pages 1050-1061
Chao Deng, Ahmad T.Al-Sammarraie, Thamir K. Ibrahim, Erfan kosari,Firdaus Basrawi, Firas B.Ismail, Ahmad N.Abdalla. "Air cooling techniques and corresponding impacts on combined cycle power plant(CCPP) performance". International Journal of Refrigeration, Volume 120, December 2020, Pages 161-177.
Alok ku Mohapatra, Sanjay. "Thermodynamic assessment of impact of inlet air cooling techniques on gas turbine and combined cycle performance". Energy,Volume 68, 15April 2014, Pages 191-203.
Mohammad Reza Majdi Yazdi, Fattollah Ommi, M.A. Ehyaei, Marc A.Rosen, "Comparison of gas turbine inlet air cooling systems for several climates in Iran, Using energy, exergy,economic and environmental (4E) analyses". Energy Conversion and Management. Volume 216,15July 2020,112944.
صادقی، ح؛ ناصری، ع؛ شهریاری، ل. (اسفند ۱۳۹۲). بررسی راه های ا فزایش بهره‌وری در نیروگاه‌های گازی در ایران، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران.
مقصودی، ک؛ عتیق، ا. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر روش‌های خنک‌کننده تبخ یری و تبریدی بر سرمایش هوای ورودی توربین گازی، ه شتمین ه مایش م لی انرژی
جمشیدیان، م. (۱۳۹۱). راهکارهای ا فزایش بازدهی سی ستم خ نک کن در نیروگاههای حرارتی از طریق مدل‌سازی در یک وا حد نیرو گاه ب خاری ۲۰۰ مگاواتی، سومین همایش بین‌المللی چیلر و برج خنک‌کن
رامرودی، م؛ سالاریان، ح. (۱۳۹۳). اثر چیلر جذبی بر افزایش توان و را ندمان نیرو گاه ع لی‌آ باد ک تول. دهـ مین ه مایش بین‌الملـ لی ا نرژی

www.SID.ir