Archive of SID.ir

مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره سه، خرداد ماه ۱۴۰۲ (۱۵۳-۱۴۱)

شبیه سازی یک سایت نیروگاهی چرخه ترکیبی با هدف جذب دی‌اکسیدکربن و کاهش مخاطرات محیط زیستی

علی عبادی[۱]

علیرضا سرائی[۲*]

a_saraei@azad.ac.ir

حمید محسنی منفرد[۳]

سعید جعفری مهرآبادی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۵

چکیده

زمینه و هدف: CO_2 ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی منجر به اثر گلخانه ای خواهد شد. بنابراین کنترل آن در سیکل های تولید توان که یکی از مهم‌ترین عوامل انتشار CO_2 هستند، امری ضروریست. در این تحقیق با استفاده از شبیه‌سازی سیکل تازه اختراع شده آلام و ایجاد سیکل ترکیبی بر مبنای آلام ، از CO_2 تولیدی در سیکل آلام به عنوان سیال عامل استفاده شده و علاوه بر کاهش اثر گلخانه ای، از انرژی اتلافی در سیکل آلام به عنوان تامین کننده انرژی دو سیکل دما متوسط، و دما پایین استفاده خواهد شد. کاهش اتلاف انرژی با استفاده از ایجاد سیکل ترکیبی نو بنیاد، منجر به افزایش راندمان LHV نیروگاه و در نتیجه کاهش پدیده زمین‌گرمایش و مخاطرات زیست‌محیطی خواهد شد.

روش بررسی: با استفاده از نرم افزار ترموفلو شبیه سازی سیکل آلام، رانکین ارگانیک و همچنین سیکل استیم صورت پذیرفت و سپس سیکل های مذکور به منظور کاهش اتلاف انرژی با یکدیگر ترکیب شده و نتایج توسط نرم‌افزار ترموفلو و اکسل مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: سیکل ترکیبی شبیه سازی شده در حالت ایده‌آل نسبت به سیکل آلام به میزان ۰/۵٪ افزایش LHV و با در نظر گرفتن اتلاف انرژی توسط قطعات در سیکل آلام، و سپس ایجاد سیکل ترکیبی، به میزان۰/۹۸٪ افزایش راندمان خواهد داشت.

بحث و نتیجه گیری: ایجاد سیکل ترکیبی منجر به کاهش اتلاف انرژی در سیستم شد. CO_2 تولید شده در نیروگاه در سیستم مهار شده و همچنین با بررسی شرایط محیطی نیروگاه و افزایش فشار به میزان۱/۱۲۷ بار، رطوبت نسبی ۰,۱، دمای صفر درجه، راندمان LHV نیروگاه افزایش پیدا کرد. افزایش راندمان نیروگاه، کاهش اتلاف انرژی و همچنین جذب CO_2، همگی منجر به کاهش پدیده زمین‌گرمایش و حفاظت از محیط زیست خواهد شد.

واژه های کلیدی: سیکل آلام، سیکل نت‌پاور، سیکل رانکین ارگانیک.

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

۲- گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- گروه مهندسی مکانیک، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

J. Env. Sci. Tech., Vol 25, No. 3, July, 2023

Simulation of a combined cycle power plant site with the aim of absorbing carbon dioxide and reducing environmental hazards

Ali Ebadi[1]

Alireza Saraei [2 *]

a_saraei@azad.ac.ir

Hamid Mohsenimonfared[3]

Saeed Jafari Mehrabadi[3]

Admission Date:December 26, 2022 Date Received: September 15, 2022

Abstract

Background and objective: CO_2 originating from the combustion of fossil fuels will cause the greenhouse effect. Therefore, it is necessary to control it in production cycles, which are one of the most important factors of CO_2 emission. In this research, by simulating the newly invented Allam cycle and creating a hybrid cycle based on Allam, CO_2 produced in the Allam cycle is used as the working fluid, and in addition to reducing pollution, waste energy in the Allam cycle is used as an energy supplier. Two cycles of medium temperature and low temperature will be used. Reducing energy loss by creating a new foundation combined cycle will lead to an increase in the LHV efficiency of the power plant and as a result reduce global warming and environmental hazards.

Material and Methodology: Using Thermoflow software, the Allam cycle, organic Rankine and also Steam cycle was simulated. Then the mentioned cycles were combined to reduce energy loss and the results were analyzed by Thermoflow and Excel software.

Findings: The simulated combined cycle increased LHV by 0.5% Compared with the Allam cycle. considering the energy loss by the components in the Allam cycle, and then creating a combined cycle, the LHV will increase by 0.98%.

Discussion and Conclusion: The creation of the combined cycle led to the reduction of energy loss in the system. CO_2 produced in the power plant is contained in the system also by examining the environmental conditions of the power plant and increasing the pressure to 1.127 bar, relative humidity of 0.1, and temperature of zero degrees, it will increase the LHV efficiency of the power plant. Increasing power plant efficiency, reducing energy loss and CO_2 absorption will all lead to a reduction in global warming and environmental protection.

Keywords: Allam cycle, Net Power cycle, Organic Rankine cycle

1- PhD Student, Department of Mechanical Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

2- Department of Mechanical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *(Corresponding author)*

3- Department of Mechanical Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مقدمه

وضعیت آب و هوا در حال حاضر «در طی سده ها و حتی هزاران سال بی‌سابقه است». تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی ایجاد شده توسط انسان، به طور فزاینده‌ای بر تمام نقاط جهان تأثیر می‌گذارد.(۱) سوخت‌های فسیلی محرک های اساسی توسعه فناوری و اقتصاد هستند و همچنان بر بخش انرژی جهانی تسلط دارند. استفاده از سوخت‌های فسیلی بدون عواقب نیست. مجمع بین المللی تغییرات آب و هوایی (IPCC) گزارش داده است که هر ساله حدود ۴۰ میلیارد تن CO_2 آزاد می شود. (۲) در سرتاسر جهان، تحولات مختلفی در حال وقوع است که به باقی ماندن آثار سوء سوخت های فسیلی در زمین منجر شد.(۳) در بین انواع انرژی، انرژی الکتریسیته اغلب مورد استفاده قرار می گیرد، زیرا به راحتی می‌توان آن را به سایر منابع انرژی تبدیل کرد. سازه هایی که برای تولید برق ایجاد می‌شوند، نیروگاه نامیده می‌شوند.(۴) نیروگاه‌های حرارتی معمولی با استفاده از زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی نقش کلیدی در تولید برق در مقیاس بزرگ دارند.(۵) از این رو انتشار دی‌اکسیدکربن در چند دهه اخیر مسئله‌ای بسیار حائز اهمیت شده است لذا توجهات بسیاری را به خود جلب کرده است. (۶) جذب کربن پس از احتراق با یک فناوری جذب کربن با کیفیت تثبیت شده، برای نیروگاه‌های فعلی با سوخت فسیلی حیاتی است.(۷) محققین روش‌های مختلفی را جهت کاهش هزینه و آلایندگی ارائه کرده‌اند که یکی از مهم‌ترین این تحقیقات، توسط شرکت نت‌پاور صورت گرفته است که یک سیکل ترمودینامیکی جدید که سوختش با اکسیژن خالص می‌سوزد را توسعه داده است که از سوخت‌های هیدروکربنی استفاده می کند و ۱۰۰٪ گسیل های جوی شامل دی‌اکسیدکربن را جذب می کند و هزینه‌اش با بهترین سیستم‌های موجود که حتی دی‌اکسیدکربن را جذب نمی‌کنند، رقابت می‌کند. (۸) زیرساخت‌های برق برای شکوفایی اقتصادی و پشتوانه خدمات اساسی انرژی بسیار مهم هستند. (۹) در سال‌های اخیر، ادغام تولید پراکنده در سیستم‌های قدرت با استراتژی‌های عملیاتی جدید همراه شده است. (۱۰) بنابراین، مدل‌های سیستم‌های انرژی و اقتصادی برای آگاه کردن تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران در مورد چالش‌هایی که تولید انرژی ممکن است به همراه داشته باشد، حیاتی هستند. (۱۱) صنعت برق به دلیل نقش زیرساختی و ارتباط نزدیک با پارامترهای مؤثر بر رشد اقتصادی و صنعتی، پویا و مؤثر است . بنابراین افزایش کارایی و بهره‌وری آن بسیار مهم است. ایجاد نیروگاه‌های جدید و بهبود یافته به خوبی می تواند وضعیت فعلی شبکه‌های تامین برق را بهبود بخشد. (۱۲)افزایش آگاهی از بحران انرژی بالقوه باعث شده است که بسیاری از محققان بر روی توسعه راه‌های موثرتر برای استفاده از منابع موجود کار کنند. (۱۳)

معرفی سیکل آلام

سیکل جدید تازه اختراع شده توسط رودنی آلام در سال ۲۰۱۸ توسط (ام‌آی‌تی‌تکنولوژی‌رویو) به عنوان یکی از ده فناوری پیشرفته سال معرفی شد. از تحقیقات آلام طی مرور زمان می‌توان این برداشت را داشت که اهداف و فعالیت‌های وی حول محور جذب گازهای گلخانه‌ای به ویژه گاز دی‌اکسیدکربن بود که سرانجام منجر به اختراع سیکل توان کنونی شده است.

در سال ۲۰۰۶ آلام و همکارانش طی چاپ مقاله‌ای با عنوان "تصفیه CO_2 مشتق از اکسی سوخت برای جداسازی و یا استفاده برای فرآیند ازدیاد برداشت نفت (EOR)" اقدام به معرفی یک فرآیند یکپارچه سازی برای فشرده‌سازی CO_2 و تصفیه همزمان برای تولید جریان‌های دی‌اکسیدکربن خالص به عنوان محصول تخلیص شده نمودند. این اولین اقدام آلام در راستای تخلیص سازی و استفاده مفید از گاز کربن‌دی‌اکسید بود. (۱۴)

در سال های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ آلام و همکارانش طی چاپ دو مقاله جداگانه متوالی اقدام به معرفی سیکل جدید نت‌پاور با عنوان‌های "راندمان بالا و هزینه کم تولید برق از سوخت‌های فسیلی در حالی که انتشار گازهای گلخانه‌ای جوی از جمله دی‌اکسیدکربن را حذف می‌کند" و همچنین " اکسی‌سوخت، دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی در چرخه آلام: تحولات یک چرخه جدید برای تولید برق با هزینه کمتر، به وسیله سوخت‌های فسیلی، بدون انتشارات

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

اتمسفری" اقدام به شرح ماوقع نموده و قول ارائه عملی این سیستم را در آینده‌ای نزدیک داده و این‌چنین بیان داشتند: چرخه نت‌پاور فرصت مهمی برای بخش تولید برق است. در مواجهه با تأثیرات فزاینده تغییرات آب و هوایی ناشی از انتشار CO_2، استفاده از سوخت‌های فسیلی فراوان بدون افزایش هزینه برق، چالشی حیاتی و در عین حال اساسی است که نیازمند رویکردهای جدید نوآورانه است. چرخه نت پاور با تکیه بر کاربردهای جدید فناوری های شناخته شده می تواند یک پیشرفت قابل توجه در تولید انرژی با اکسی سوخت در آینده نزدیک باشد. همچنین با ارائه اولین سیستمی که انتشار CO_2 جوی را حذف می کند در حالی که در تمام سطوح با فناوری‌های معمولی که از جذب کربن استفاده نمی‌کنند رقابت می کند. نویسندگان بر این باورند که حتی در غیاب مقررات کربن، این فناوری این فرصت را دارد که جذب کربن را به یک انتخاب اقتصادی تبدیل کند، و می‌تواند استفاده گسترده‌تر از تولید برق مبتنی بر سوخت فسیلی پاک‌تر و کم‌هزینه‌تر را بسیار زودتر از آنچه قبلا تصور می‌شد امکان‌پذیر سازد. (۱۵ و ۱۶)

سرانجام در سال ۲۰۱۷ ، طی چاپ مقاله‌ای با عنوان " نمایش چرخه آلام: به‌روزرسانی در مورد وضعیت توسعه یک چرخه قدرت دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی با کارایی بالا با استفاده از جذب کامل کربن" دکتر آلام سعی در به‌روزرسانی اطلاعات در خصوص روند اجرای پروژه چرخه مذکور را داشته و همچنین به جزئیاتی در خصوص نحوه ساخت سیکل مورد نظر پرداخت و توضیحاتی در خصوص سیکل مورد بحث ارائه داد. در ادامه به معرفی سیکل مورد نظر خواهیم پرداخت: (۱۷)

سیکل آلام، یک چرخه جدید دی‌اکسیدکربن است. یک سیکل تولید توان اکسی‌سوخت که از سوخت‌های هیدروکربنی استفاده می‌کند. این در حالی است که به صورت ذاتی تقریبا جاذب است و ۱۰۰٪ انتشارات اتمسفری از جمله دی اکسید کربن را جذب کرده و با هزینه پایین تولید الکتریسیته، با بهترین سیستم‌های تولید انرژی که حتی قادر به جذب CO_2 نیستند نیز رقابت خواهد کرد. سیستم اختصاصی این نتایج را از طریق یک چرخه برایتون بازیابی شده با چرخه نیمه بسته، فشار بالا و نسبت فشار کم به دست می آورد که از CO_2 فوق بحرانی به عنوان سیال عامل استفاده می‌کند. کاهش چشمگیر تلفات انرژی در مقایسه با چرخه های مبتنی بر بخار و هوا قابل مشاهده است. در چرخه-های مرسوم، جداسازی و حذف ناخالصی‌های حاصل از احتراق با غلظت کم، مانند CO_2 منجر به هزینه سرمایه اضافی و افزایش قدرت پارازیتی می‌شود. در نتیجه، حذف دی‌اکسیدکربن در چرخه‌های معمولی می‌تواند هزینه برق را بین ۵۰ تا ۷۰ درصد افزایش دهد. اقتصاد قانع‌کننده چرخه آلام با بازده هدف بالا، ۵۹ درصد خالص برای گاز طبیعی‌و ۵۱ درصد خالص برای زغال‌سنگ (بر اساس LHV) معرفی می‌شود.

چرخه آلام رویکرد جدیدی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد: استفاده از احتراق اکسی واستفاده از سیال عامل فوق بحرانی CO_2 با فشار بالا در یک چرخه با شدت بازیابی بالا. (۱۷)

تئوری تحقیق

در این تحقیق، چرخه ترکیبی رانکین بخار و رانکین ارگانیک با محرک اصلی چرخه تولید توان آلام، شبیه‌سازی شده است. چرخه ترکیبی به گونه‌ای پیکربندی شده است که گرمای تلف شده با دمای بالا، ابتدا به عنوان تبخیر کننده چرخه بخار عمل می‌کند و سپس گرمای تلف شده از اواپراتور چرخه بخار به عنوان تبخیرکننده دما پایین چرخه ارگانیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت تاثیر تغییر پارامترهای مختلف مانند دمای اواپراتور و فشار کندانسور چرخه بخار بر مقادیر کار خروجی، برگشت ناپذیری کل، بهره‌وری انرژی، راندمان اگزرژی و متغیر های اقتصادی اگزرژی قابل بررسی خواهد بود.

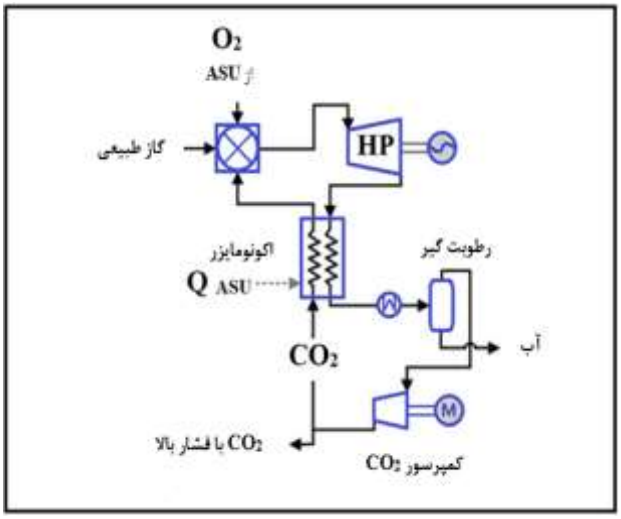
چرخه آلام مورد استفاده در این تحقیق، چرخه بسته است و ۱۰۰٪ دی‌اکسیدکربن تولید شده در فرآیند احتراق جذب می‌شود. نتایج این مطالعه، اگرچه بدلیل جذب دی‌اکسیدکربن می‌تواند از نظر محیطی از اهمیت خاصی برخوردار باشد، با افزایش کارایی از نظر انرژی نیز در مصرف سوخت صرفه جویی به عمل خواهد آمد، که این اهمیت را دوچندان خواهد کرد. توجه به این نکته ضروریست که در اکثر روش های متداول کنترل انتشار کربن، هزینه برق تولید شده توسط نیروگاه به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد، اما استفاده از چرخه آلام بدون تحمیل

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

هزینه‌های اضافی قابل توجه، می‌تواند منافع زیست محیطی را برای پروژه به دنبال داشته باشد.

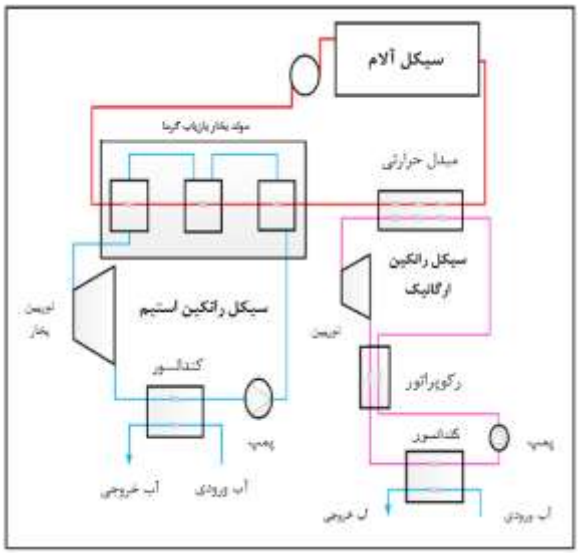
شکل۱، شماتیک چرخه آلام را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می شود گاز طبیعی و اکسیژن، ورودی سیستم هستند و دی‌اکسیدکربن اضافی از سیستم حذف می شود.



شکل ۱- جریان سیال عامل در چرخه آلام

Figure 1. Flow of working fluid in the Allam cycle

شکل ۲، چرخه ترکیبی را نمایش می‌دهد. چرخه ترکیبی متشکل از سیکل آلام، به عنوان محرک اصلی، سیکل رانکین و سیکل رانکین ارگانیک (ORC) است. همانطور که در شکل۲ مشاهده می شود، گرمای اتلافی در چرخه آلام در طی دو مرحله در چرخه رانکین و رانکین ارگانیک استفاده می شود که به عنوان ایده اصلی در این تحقیق در نظر گرفته شده است. (۱۸)



شکل۲- شماتیک چرخه ترکیبی آلام، رانکین و رانکین ارگانیک

Figure 2. Schematic of the combined cycle of Allam, Rankine and organic Rankine

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

برای تجزیه و تحلیل این چرخه، لازم است چهار سری معادلات، از جمله: معادلات حفظ جرم ، معادلات انرژی، معادلات اگزرژی و معادلات اقتصادی در نظر گرفته شود. معادلات جرم و انرژی از تراز معادله (۱) و (۲) بدست می آید. تعادل اگزرژی نیز برای حجم کنترل مطابق رابطه (۳) و بازده اگزرژی مطابق رابطه (۴) بدست می آید. (۱۸)

$$\sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_o = 0 \quad (۱)$$

$$\sum (\dot{m}.h)_i - \sum (\dot{m}.h)_o + \left[\sum Q_i - \sum Q_o + W\right] = 0 \quad (۲)$$

$$\dot{E}_F = \dot{E}_P + (\dot{E}_D + \dot{E}_L) \quad (۳)$$

$$\psi = \frac{\dot{E}_p}{\dot{E}_F} = 1 - \frac{\dot{E}_D + \dot{E}_L}{\dot{E}_F} = 1 - \frac{\dot{I}}{\dot{E}_F} \quad (۴)$$

$$\dot{Z}_k = CRF \times \frac{\Phi_r}{(N \times 3600)} \times PEC_k = (\dot{Z}^{CI} + \dot{Z}^{OM}) \quad (۵)$$

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (۶)$$

مدلسازی چرخه ترکیبی

برای بررسی سیکل آلام، ابتداعا قسمت‌های اصلی این سیکل در نرم افزار ترموفلو مجددا طراحی شده است. توان تولیدی سیکل مذکور همانگونه که در سیکل آلام در نظر گرفته شده، معادل ۳۰۰ مگاوات خواهد بود.

از آنجایی که سیکل مذکور در حالت ایده‌آل توسط رودنی آلام در نظر گرفته شده است، لذا تمامی اعداد ومحاسبات نیروگاهی نیز در شرایط ایده‌آل توسط آلام بررسی و طرح ریزی شده است، به همین دلیل ابتداعا به منظور طراحی این سیکل، سعی شده تا تمام موارد مذکور رعایت گردد.

طراحی سیکل مدل‌سازی شده با توجه به اعداد معرفی شده توسط شرکت نت‌پاورخواهد بود:

جدول۱- خلاصه جریان های سیکل آلام

Table 1. Summary of Allam cycle streams

جریان	فشار(bar)	دما(c)
ورودی توربین	۳۰۰	۱۱۵۰
خروجی توربین	۳۰	۷۲۷
ورودی کمپرسور CO_2	۲۹	۲۰
ورودی محفظه احتراق	۳۰۰	۷۰۰

شرایط ایده آل نیروگاه:

- ارتفاع سایت: صفر
- دمای محیط: ۱۵ درجه سانتی‌گراد
- رطوبت نسبی محیط: ۶۰ درصد
- دمای حباب مرطوب: ۱۰/۸۲
- فشار محیط:۱/۰۱۳ بار

بخش های اصلی این سیکل شامل توربین، اواپراتور، رطوبت‌گیر، کویل، کمپرسور، پمپ CO_2، محفظه احتراق و همچنین (آاس‌یو) یا همان واحد جداساز هوا خواهد بود.

سوختی که در سیکل آلام در نظر گرفته شده است، گاز طبیعی خواهد بود. در ادامه مشخصات گاز طبیعی در جدول مشخص شده است:

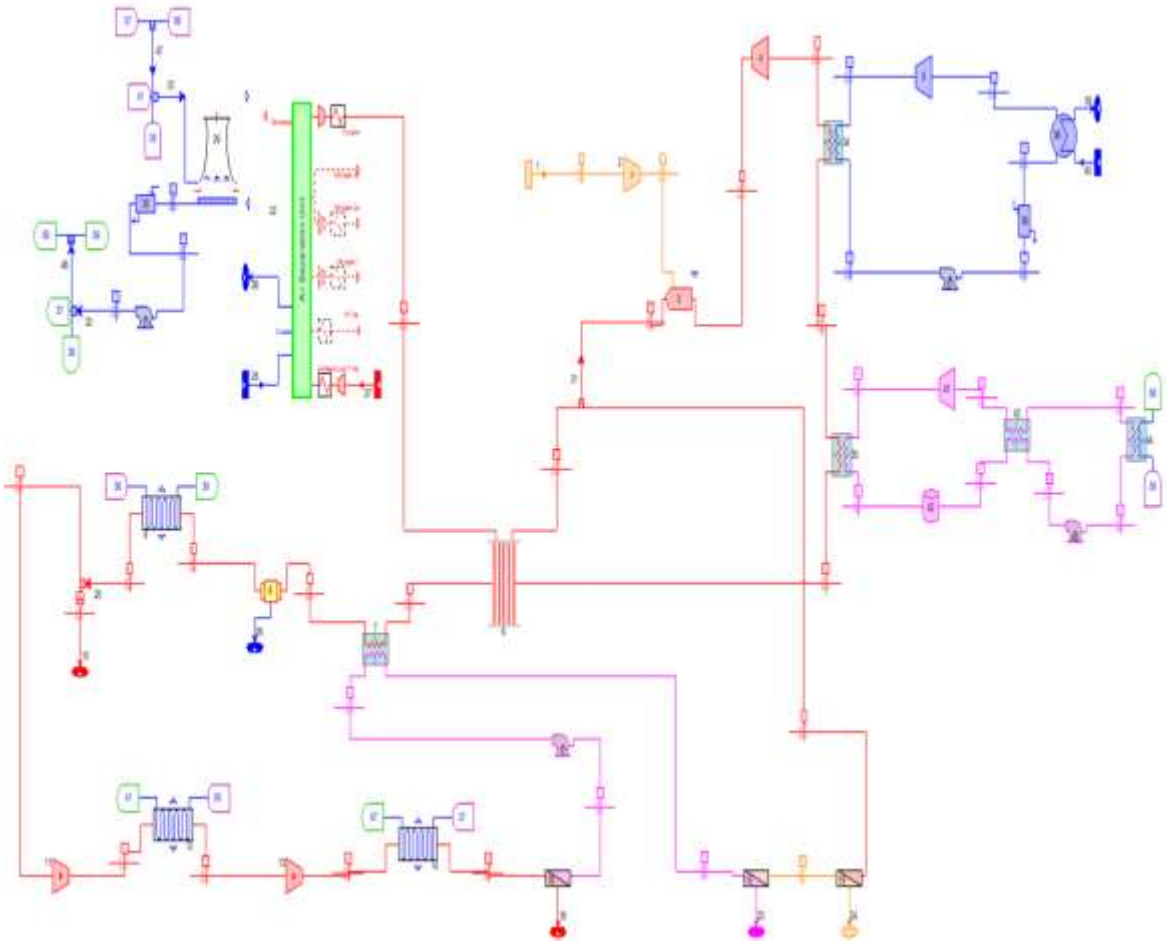
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول۲- آنالیز عناصر گاز طبیعی مستخرج از نرم افزار ترمو فلو

Table 2. Analysis of natural gas elements extracted from thermoflow software

عنصر موجود در گاز	میزان بر حسب درصد
H_2	۰/۳۶
O_2	۰/۰۷
N_2	۳/۶۱
CO	۰/۰۹
CO_2	۰/۳۴
CH_4	۸۷
C_2H_6	۸/۴۶
C_2H_4	۰/۰۳
H_2S	۰/۰۴



شکل۳- شماتیک کامل سیکل ترکیبی مدل‌سازی شده در نرم افزار ترمو فلو

Figure 3. Complete schematic of the combined cycle modeled in Thermoflow software

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

پس از فعالیت مکانیکی توربین، گاز خروجی حاصل از احتراق دارای دمای بیشینه بوده و مناسب‌ترین نقطه برای اتصال میان سیکل آلام و سیکل جدید، خروجی توربین خواهد بود، لذا همانگونه که در سیکل مذکور مشخص است، با استفاده از مبدل‌های گرمایی عمومی موجود در نرم افزار ترموفلو این کوپلینگ صورت خواهد پذیرفت.

سیکل رانکین استیم

این سیکل معروف به سیکل دما متوسط می‌باشد. سیکل رانکین استیم متشکل از یک توربین بخار، ژنراتور، کندانسور، سینک آب، منبع آب، نمایش دهنده آرایش جریان (جهت جریان) و همچنین یک پمپ خواهد بود

سیکل رانکین ارگانیک(ORC)

این سیکل به علت تغییر فاز سیال عامل در دماهای به نسبت پایین، در رسته سیکل های دما پایین قرار داشته و در راستای به حداقل رساندن اتلافات انرژی و بهره‌برداری حداکثری از سیکل‌های تولید توان فعال است.

سیکل مذکور در نرم افزار ترموفلو متشکل از یک توربین مبرد، ژنراتور، کندانسور، سینک و منبع آب، پمپ مبرد و همچنین تعریف کننده مشخصات مبرد خواهد بود.

اتصال سیکل‌های مذکور به سیکل نت‌پاور از طریق اواپراتور به دلیل دو فاز بودن سیالات عامل صورت می‌پذیرد.

انتخاب سیال عامل سیکل رانکین ارگانیک

انتخاب سیال عامل سیستم ORC به دو دلیل زیر اساساً یک کار پیچیده‌تر است:

۱. شرایط کاری و انواع منبع گرمایی ORC بسیار متفاوت است: از منبع حرارتی با دمای پایین ۸۰ درجه سانتیگراد (به عنوان مثال، زمین گرمایی، کلکتور خورشیدی صفحه‌ای) تا دمای بالای ۵۰۰ درجه سانتیگراد منبع حرارتی (مثلاً زیست‌توده).

۲- به جز برخی از مواردی که دمای بحرانی آن‌ها خیلی پایین یا خیلی زیاد است، صدها ماده را می‌توان به‌عنوان نامزد سیال عامل ORC انتخاب کرد که می‌توان به هیدروکربن‌ها، هیدروکربن‌های معطر، اترها، پرفلوئوروکربن‌ها، CFC ها، الکل‌ها و ... اشاره کرد.

روش بررسی سیالات، معمول‌ترین روش برای انتخاب سیال در متون علمی است. مدل شبیه‌سازی شده‌ای از سیکل رانکین ارگانیک در نظر گرفته می‌شود و با سیالات عامل مختلف راه اندازی می شود. (۱۹)

با توجه به بررسی های صورت گرفته در نرم افزار ترموفلو مناسب ترین سیال عامل برای سیکل ترکیبی مدلسازی شده، نرمال پنتان (C_5H_{12}) بوده و بیشترین بازدهی را دارا بود.

بحث و نتیجه گیری

با ایجاد سیکل ترکیبی، راندمان نیروگاه افزایش یافت که سبب کاهش اتلاف انرژی شد. پس از بررسی های صورت گرفته مناسب‌ترین ناحیه جهت اتصال سیکل‌ها به یکدیگر، خروجی توربین بود، زیرا به علت دارا بودن حرارت و دمای بیشینه، محل بازیافت حداکثری گرمای اتلافی از سیکل ارزیابی گردید. همچنین با بررسی شرایط در سیکل رانکین ارگانیک توسط نرم افزار ترموفلو، سیال عامل مناسب با شرایط ایجاد شده نرمال پنتان خواهد بود. از گاز طبیعی به عنوان سوخت در سیکل آلام استفاده گردید که CO_2 تولید شده ناشی از احتراق این سوخت در سیکل مجددا در سیستم به عنوان سیال عامل در سیکل آلام استفاده گردید. کنترل انتشار دی‌اکسیدکربن و اتلاف انرژی، سبب کاهش اثرات زمین گرمایش و مخاطرات محیط زیستی شدند. با توجه به عملکرد قطعات در سیکل آلام و در نظر گرفتن عملکرد این قطعات توسط رودنی آلام به صورت خروجی صددرصد، سیکل آلام در حالت ایده‌آل با دو سیکل دیگر ترکیب شده و نتایج به شرح زیر خواهد بود:

LHV سیکل ایده‌آل آلام ترکیب شده با دو سیکل دیگر به مقدار۵۶/۸۹ ٪ بوده که نسبت به حالت ایده‌آل سیکل آلام که به مقدار۵۶/۳۹٪ است به میزان ۰/۵٪ افزایش LHV را شاهد خواهیم بود. به منظور ارزیابی سیکل شبیه سازی شده در نرم افزار ترموفلو، نتایج سیکل مورد نظر با نتایج سیکل آلام و همکارانش، مورد مقایسه قرار گرفته و نتایج در جدولی به شرح ذیل ذکر شده است:

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول۳- مقایسه اعداد خروجی از سیکل آلام نسبت به نرم افزار

Table 3. Comparison of output numbers from the Allam cycle to software

موارد ارزیابی	سیکل ایده آل آلام	سیکل ایده آل مدلسازی شده در ترموفلو
تولید خالص خروجی	300000KW	300486KW
ارزش حرارتی پایین(LHV)	57.90%	56.39%
فشار ورودی به توربین	300 Bar	301.6 Bar
دمای ورودی به توربین	1150 C	1150 C
دمای خروجی از توربین	727 C	721.9 C
فشار خروجی از توربین	30 Bar	29.6 Bar

سیکل آلام برای شرایط ایده‌آل در نظر گرفته شده و نتایج به دست آمده نیز بر حسب همین تئوری بوده است، که در این وضعیت تلفات انرژی به وضوح قابل بررسی نخواهند بود. لذا در این بخش به پیاده‌سازی سیکل آلام با مفروضات ذکر شده خواهیم پرداخت تا تلفات انرژی در سیکل نت پاور با وضوح بیشتری قابل رویت باشد و از آنجایی که هدف کاهش تلفات انرژی خواهد بود، لذا قطعات موجود در این سیکل، با مفروضات نزدیک به نیروگاه واقعی در نظر گرفته خواهند شد:(۲۰)

جدول۴- مقایسه بازده ایده آل و بازده واقعی کامپننت های اصلی

Table 4. Comparison of ideal returns and actual returns of the main components

کامپننت	آیتم مورد بررسی	درصد بازده واقعی	درصد بازده ایده آل
توربین	بازده مکانیکی	۹۹,۶٪	۱۰۰٪
توربین	بازده پلیتروپیک	۹۰٪	۱۰۰٪
ژنراتور	بازده کلی	۹۸,۵٪	۱۰۰٪
کمپرسور اول	بازده پلیتروپیک	۹۰٪	۱۰۰٪
کمپرسور اول	بازده مکانیکی	۸۵٪	۱۰۰٪
کمپرسور دوم	بازده پلیتروپیک	۸۵٪	۱۰۰٪
کمپرسور دوم	بازده مکانیکی	۸۵٪	۱۰۰٪
پمپ برج خنک کننده	بازده ایزنتروپیک	۸۵٪	۱۰۰٪
پمپ CO_2	بازده ایزنتروپیک	۸۵٪	۱۰۰٪

نتایج حاصل از مدلسازی سیکل نت‌پاور و بررسی درصد بازده واقعی و درصد بازده ایده‌آل نشان خواهد داد که در حالت ایده‌آل راندمان خالص الکتریکی (LHV) برابر با ۵۶/۳۹٪ و در درصد بازده واقعی این راندمان برابر با ۴۹/۵۸٪ خواهد بود. در ادامه با بررسی شرایط محیطی‌مطلوب، جهت احداث مکان مناسب نیروگاه گامی دیگر در جهت افزایش راندمان و کاهش پدیده گرمایش زمین، در این مقاله برداشته خواهد شد.

بررسی شرایط محیطی سایت(دما محیط، فشارمحیط، ارتفاع محیط، رطوبت نسبی محیط)

Archive of SID.ir

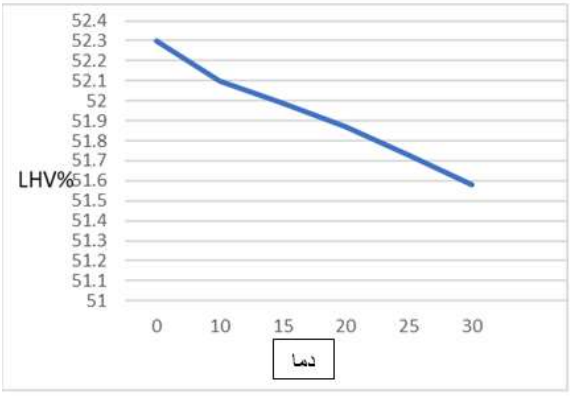
Archive of SID.ir

همانگونه که در مطالب قبلی عنوان گردید، شرایط نیروگاهی در این سایت به صورت ایده‌آل(ارتفاع صفر، فشار محیط ۱،۰۱۳ بار ، دمای محیط ۱۵ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی محیط ۶۰٪) در نظر گرفته شده بود. اکنون به تغییر آیتم‌های ذکر شده در پنج مورد برای هر آیتم خواهیم پرداخت:لازم به ذکر است، با تغییر یک آیتم، سایر آیتم ها ثابت در نظر گرفته شده اند:

تغییر دمای محیط

دمای محیط در بازه صفر تا سی درجه سانتی گراد مورد بررسی قرار گرفت که نتیجه هر آیتم به شرح زیر است:

همانطور که مشاهده می شود، بهترین نتیجه مربوط به کیس۱ بوده و بالا ترین راندمان LHV را داراست. در حالتی که دمای محیط صفر باشد، ارزش حرارتی پایین برابر با ۵۲،۳ خواهد بود:



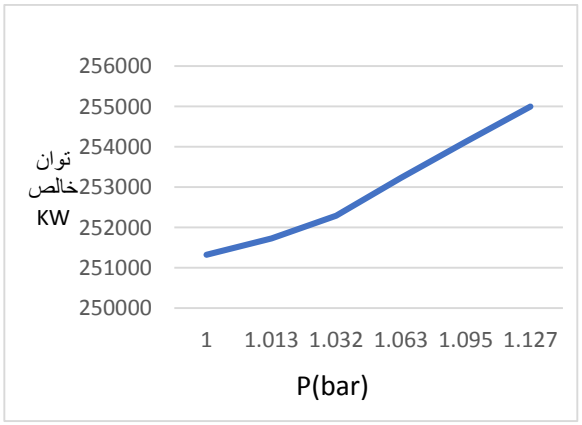
شکل۴- تغییر شرایط محیطی دمای سایت

Figure 4. change in environmental conditions of site temperature

شکل ۴ نشان خواهد داد، افزایش دما در شرایط محیطی نیروگاه سبب کاهش راندمان LHV خواهد بود.

تغییر فشار محیط

تغییر فشار در بازه ۱ بار الی ۱،۱۲۷ بار صورت پذیرفت که نتایج به شرح زیر است:



شکل ۵- تغییرات فشار محیطی سایت نیروگاهی

Figure 5. Changes in environmental pressure of the power plant site

همانطور که مشاهده می شود بالاترین راندمان LHV مربوط به کیس پنج خواهد بود. در حالتی که فشار محیط برابر با۱/۱۲۷ بار باشد، LHV به میزان ۵۲/۶۶٪ خواهد بود.

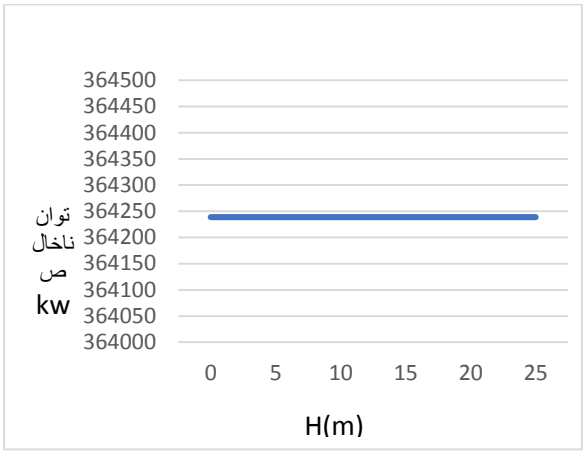
بنابراین با افزایش فشار در محیط سایت، توان خالص با افزایش روبه‌رو خواهد بود.

تغییر ارتفاع سایت

آیتم تغییر ارتفاع در واقع باعث تغییر در آیتم فشار خواهد شد. در این زمینه پنج کیس مورد بررسی قرار گرفت. کیس پایه دارای ارتفاع صفر و سایر کیس‌ها به ترتیب از پنج متر تا بیست و پنج متر متغیرند.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۶- تغییرات ارتفاع سایت نیروگاهی

Figure 6. Changes in the height of the power plant site

همانطور که مشاهده میشود، تغییر ارتفاع از صفر تا بیست‌وپنج متر، تاثیری در توان ناخالص تولیدی نخواهد داشت.

رطوبت نسبی محیط

رطوبت نسبی در هشت کیس متفاوت و از ۰.۱ تا هشتاد درصد متغیر بود، نتایج به شرح زیرند: همانگونه که از نمودار بر می‌آید، افزایش رطوبت نسبی محیط منجر به کاهش ارزش حرارتی پایین سایت خواهد شد.

شکل۷- تغییرات رطوبت نسبی در سایت نیروگاهی

Figure 7. Changes in relative humidity at the power plant site

References

1. van Asselt, H. (2021). "Governing fossil fuel production in the age of climate disruption: Towards an international law of 'leaving it in the ground'." Earth System Governance 9.
2. Koyamparambath, A., et al. (2022). "Supply risk evolution of raw materials for batteries and fossil fuels for selected OECD countries (2000–2018)." Resources Policy 75.
3. Burger, M., Wentz, J., 2018. Holding fossil fuel companies accountable for their contribution to climate change: where does the law stand? Bull. At. Sci. 74 (6), 397–403.
4. Şen, G., et al. (2018). "The effect of ambient temperature on electric power

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

generation in natural gas combined cycle power plant A case study." Energy Reports 4: 682-690.

5. Almutairi, K., et al. (2021). "A review on applications of solar energy for preheating in power plants." Alexandria Engineering Journal.
6. Asadi, m., soleymanpor, m., 2014. Designing a multi-objective optimization model for sustainable supply chain management, the first national conference on industrial engineering research, Hamedan. (In Persian)
7. Nazarzadehfard, A, et al. (2021). "Exergy and thermoeconomic analysis of the combined MED desalination system and the Allam power generation system." International Journal of Energy and Environmental Engineering 12: 679-687.
8. Farsi, A., 2016. Energy Analysis, Exergy and Economic Exergy Combined Supercritical Carbon Dioxide Refrigeration Systems and Multistage Distillation Water Desalination, M.Sc. Thesis, Graduate University of Industrial and Advanced Technology. (In Persian)
9. Kalt, G., et al. (2021). "A global inventory of electricity infrastructures from 1980 to 2017: Country-level data on power plants, grids and transformers." Data Brief 38: 107351.
10. Ahmadi, A. et al. (2021). "Modeling and economic analysis of MED-TVC desalination with Allam power plant cycle in Kish Island." Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering 40: 1882-1892
11. Gjorgiev, B., et al. (2022). "Nexus-e: A platform of interfaced high-resolution models for energy-economic assessments of future electricity systems." Applied Energy 307.
12. Dokhaee, E., et al. (2021). "Simulation of the Allam cycle with carbon dioxide working fluid and comparison with Brayton cycle." International Journal of Energy and Environmental Engineering 12: 543-550.
13. Wan, A., et al. (2021). "Techno-economic analysis of combined cycle power plant with waste heat-driven adsorption inlet air cooling system." International Communications in Heat and Mass Transfer 126.
14. White, V., et al. (2006). Purification of oxyfuel-derived CO2 for sequestration or EOR. 8th International conference on greenhouse gas control technologies, Trondheim, Norway, Citeseer.
15. Allam, R. J., et al. (2013). "High Efficiency and Low Cost of Electricity Generation from Fossil Fuels While Eliminating Atmospheric Emissions, Including Carbon Dioxide." Energy Procedia 37: 1135-1149.
16. Allam, RJ, Fetvedt, JE, Forrest, BA, & Freed, DA. "The Oxy-Fuel, Supercritical CO2 Allam Cycle: New Cycle Developments to Produce Even Lower-Cost Electricity from Fossil Fuels Without Atmospheric Emissions." *Proceedings of the ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition. Volume 3B: Oil and Gas Applications; Organic Rankine Cycle Power Systems; Supercritical CO2 Power Cycles; Wind Energy*. Düsseldorf, Germany. June 16–20, 2014.
17. Allam, R., et al. (2017). "Demonstration of the Allam Cycle: An Update on the Development Status of a High Efficiency Supercritical Carbon

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Dioxide Power Process Employing Full Carbon Capture." Energy Procedia 114: 5948-5966.

18. Ebadi, A., et al. (2021). "Thermo economic analysis of combined steam and organic Rankine cycle with primary mover of Allam cycle." International Journal of Energy and Environmental Engineering 13: 231-239.
19. Bao, J. and L. Zhao (2013). "A review of working fluid and expander selections for organic Rankine cycle." Renewable and Sustainable Energy Reviews 24: 325-342.
20. Manso, R. L. (2013). CO2 capture in power plants-using the oxy-combustion principle. Master's Thesis of energy engineering. Department of Energy and Process Engineering. Norwegian University of Science and Technology.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir