

## شبیه سازی یک سایت نیروگاهی چرخه ترکیبی با هدف جذب دی اکسید کربن و کاهش مخاطرات محیط زیستی

علی عبادی<sup>۱</sup>

علیرضا سرائی<sup>۲\*</sup>

[a\\_saraei@azad.ac.ir](mailto:a_saraei@azad.ac.ir)

حمید محسنی منفرد<sup>۳</sup>

سعید جعفری مهرآبادی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۲۴

### چکیده

زمینه و هدف: CO<sub>2</sub> ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی منجر به اثر گلخانه ای خواهد شد. بنابراین کنترل آن در سیکل های تولید توان که یکی از مهم ترین عوامل انتشار CO<sub>2</sub> هستند، امری ضروریست. در این تحقیق با استفاده از شبیه سازی سیکل تازه اختراع شده آلام و ایجاد سیکل ترکیبی بر مبنای آلام، از CO<sub>2</sub> 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 زمین گرمایش و مخاطرات زیست محیطی 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 نرم افزار ترموفلو و اکسل مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها: سیکل ترکیبی شبیه سازی شده در حالت ایده آل 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 میزان ۰/۹۸٪ افزایش راندمان خواهد داشت.

بحث و نتیجه گیری: ایجاد سیکل ترکیبی منجر به کاهش اتلاف انرژی در سیستم شد. CO<sub>2</sub> تولید شده در نیروگاه در سیستم مهار شده و همچنین با بررسی شرایط محیطی نیروگاه و افزایش فشار به میزان ۱/۱۲۷ بار، رطوبت نسبی ۰،۱، دمای صفر درجه، راندمان LHV نیروگاه افزایش پیدا کرد. افزایش راندمان نیروگاه، کاهش اتلاف انرژی و همچنین جذب CO<sub>2</sub>، همگی منجر به کاهش پدیده زمین گرمایش و حفاظت از محیط زیست خواهد شد.

واژه های کلیدی: سیکل آلام، سیکل نت پاور، 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.

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

**Ali Ebadi<sup>1</sup>**

**Alireza Saraei<sup>2 \*</sup>**

[a\\_saraei@azad.ac.ir](mailto:a_saraei@azad.ac.ir)

**Hamid Mohsenimonfared<sup>3</sup>**

**Saeed Jafari Mehrabadi<sup>3</sup>**

Admission Date: December 26, 2022

Date Received: September 15, 2022

### **Abstract**

**Background and objective:** CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> emission. In this research, by simulating the newly invented Allam cycle and creating a hybrid cycle based on Allam, CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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.

## 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 بین‌المللی تغییرات آب و هوایی (IPCC) گزارش داده است که هر ساله حدود ۴۰ میلیارد تن CO<sub>2</sub> آزاد می‌شود. (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 می‌گیرد، 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 آلاینده‌گی 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 می‌کند و ۱۰۰٪ گسیل‌های جوی شامل دی‌اکسیدکربن را جذب می‌کند 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 می‌تواند 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 (ام‌آی‌تی تکنولوژی‌رویو) 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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 سال‌های 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

اتمسفری" اقدام به شرح مآوقع نموده و قول ارائه عملی این سیستم را در آینده‌ای نزدیک داده و این چنین بیان داشتند:

چرخه نت پاور فرصت مهمی برای بخش تولید برق است. در مواجهه با تأثیرات فزاینده تغییرات آب و هوایی ناشی از انتشار CO<sub>2</sub>، 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<sub>2</sub> جوی را حذف می کند در حالی که در تمام سطوح با فناوری های معمولی که از جذب کربن استفاده نمی کنند 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 می تواند استفاده گسترده تر از تولید برق مبتنی بر سوخت فسیلی پاک تر و کم هزینه تر را بسیار زودتر از آنچه قبلا تصور می شد امکان پذیر سازد. (۱۵ و ۱۶)

سرانجام در سال ۲۰۱۷، طی چاپ مقاله ای با عنوان "نمایش چرخه آلام: به روزرسانی در مورد وضعیت توسعه یک چرخه قدرت دی اکسید کربن فوق بحرانی با کارایی بالا با استفاده از جذب کامل کربن" دکتر آلام سعی در به روزرسانی 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 دی اکسید کربن است. یک سیکل تولید توان اکسی سوخت که از سوخت های هیدروکربنی استفاده می کند. این در حالی است که به صورت ذاتی تقریباً جاذب است و ۱۰۰٪ انتشارات اتمسفری از جمله دی اکسید کربن را جذب کرده و با هزینه پایین تولید الکتریسیته، با بهترین سیستم های تولید انرژی که حتی قادر به جذب CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> فوق بحرانی به عنوان سیال

عامل استفاده می کند. کاهش چشمگیر تلفات انرژی در مقایسه با چرخه های مبتنی بر بخار و هوا قابل مشاهده است. در چرخه های مرسوم، جداسازی و حذف ناخالصی های حاصل از احتراق با غلظت کم، مانند CO<sub>2</sub> منجر به هزینه سرمایه اضافی و افزایش قدرت پارازیتی می شود. در نتیجه، حذف دی اکسید کربن در چرخه های معمولی می تواند هزینه برق را بین ۵۰ تا ۷۰ درصد افزایش دهد. اقتصاد قانع کننده چرخه آلام با بازده هدف بالا، ۵۹ درصد خالص برای گاز طبیعی و ۵۱ درصد خالص برای زغال سنگ (بر اساس LHV) معرفی می شود.

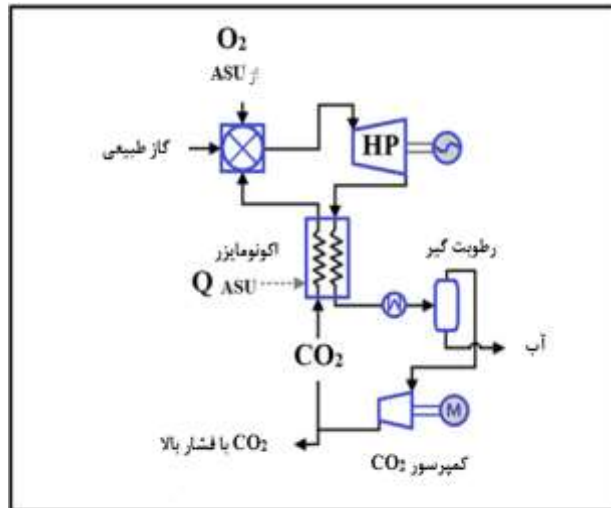
چرخه آلام رویکرد جدیدی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای دارد: استفاده از احتراق اکسی و استفاده از سیال عامل فوق بحرانی CO<sub>2</sub> با فشار بالا در یک چرخه با شدت بازیابی بالا. (۱۷)

### تئوری تحقیق

در این تحقیق، چرخه ترکیبی رانکین بخار و رانکین ارگانیک با محرک اصلی چرخه تولید توان آلام، شبیه سازی شده است. چرخه ترکیبی به گونه ای پیکربندی شده است که گرمای تلف شده با دمای بالا، ابتدا به عنوان تبخیر کننده چرخه بخار عمل می کند و سپس گرمای تلف شده از اواپراتور چرخه بخار به عنوان تبخیر کننده دما پایین چرخه ارگانیک مورد استفاده قرار می گیرد. در این حالت تأثیر تغییر پارامترهای مختلف مانند دمای اواپراتور و فشار کندانسور چرخه بخار بر مقادیر کار خروجی، برگشت ناپذیری کل، بهره وری انرژی، راندمان انرژی و متغیر های اقتصادی انرژی قابل بررسی خواهد بود.

چرخه آلام مورد استفاده در این تحقیق، چرخه بسته است و ۱۰۰٪ دی اکسید کربن تولید شده در فرآیند احتراق جذب می شود. نتایج این مطالعه، اگرچه بدلیل جذب دی اکسید کربن می تواند 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 می یابد، اما استفاده از چرخه آلام بدون تحمیل

شکل ۱، شماتیک چرخه آلام را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود گاز طبیعی و اکسیژن، ورودی سیستم هستند و دی اکسید کربن اضافی از سیستم حذف می شود. هزینه های اضافی قابل توجه، می تواند منافع زیست محیطی را برای پروژه به دنبال داشته باشد.

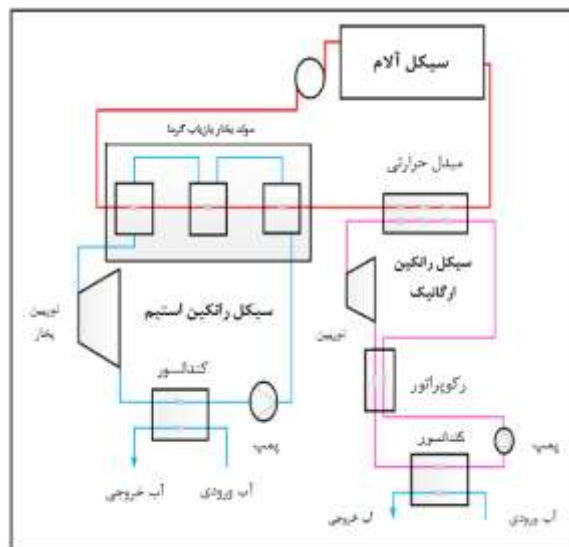


شکل ۱- جریان سیال عامل در چرخه آلام

Figure 1. Flow of working fluid in the Allam cycle

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)

شکل ۲، چرخه ترکیبی را نمایش می دهد. چرخه ترکیبی متشکل از سیکل آلام، به عنوان محرک اصلی، سیکل رانکین و سیکل رانکین ارگانیک (ORC) است. همانطور که در شکل ۲ مشاهده



شکل ۲- شماتیک چرخه ترکیبی آلام، رانکین و رانکین ارگانیک

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

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

### مدلسازی چرخه ترکیبی

برای بررسی سیکل آلام، ابتدا 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 و محاسبات نیروگاهی نیز در شرایط ایده‌آل توسط آلام بررسی و طرح ریزی شده است، به همین دلیل ابتدا 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 نپاور خواهد بود:

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

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

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

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

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

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

### جدول ۱- 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 <sub>2</sub>	۲۹	۲۰
ورودی محفظه احتراق	۳۰۰	۷۰۰

شرایط ایده آل نیروگاه:

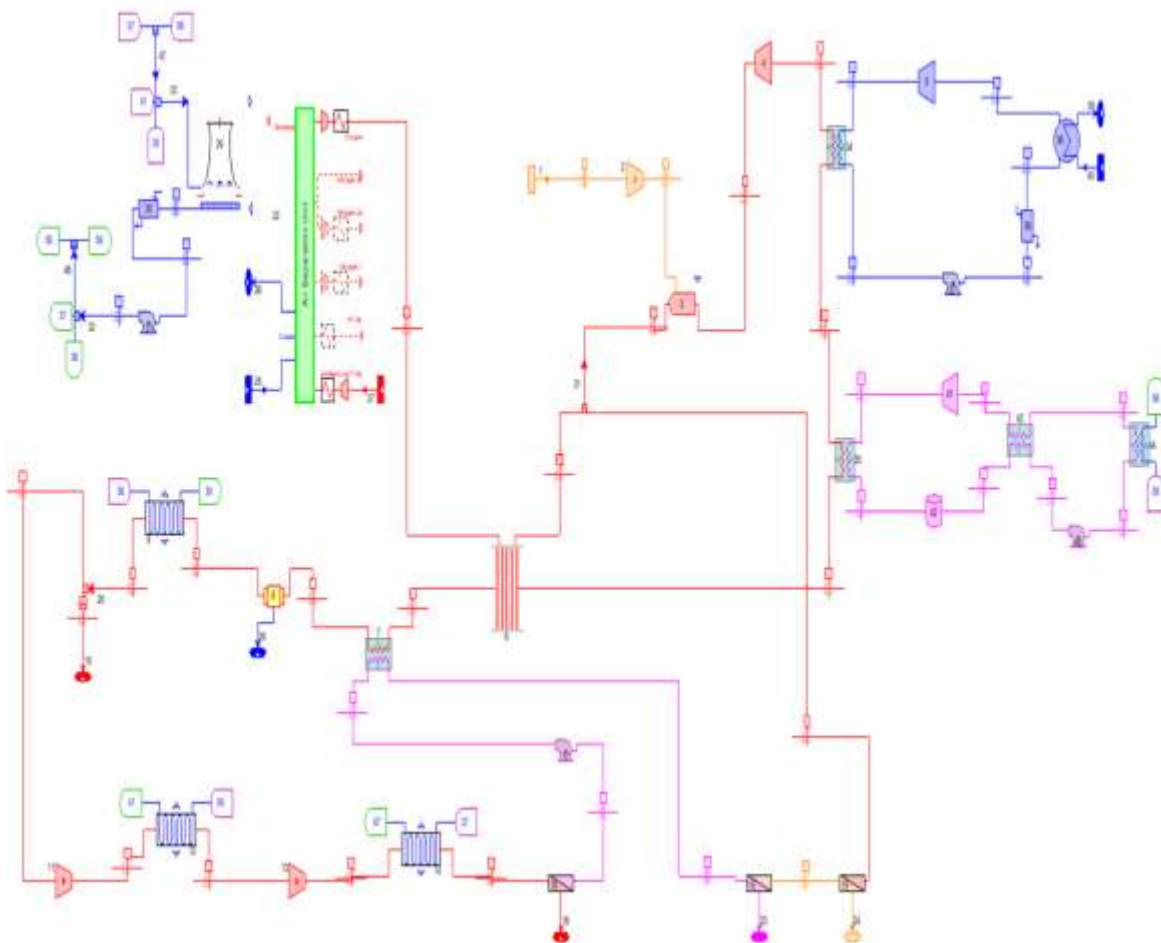
بخش های اصلی این سیکل شامل توربین، اواپراتور، رطوبت گیر، کوپل، کمپرسور، پمپ CO<sub>2</sub>، محفظه احتراق و همچنین (آس یو) یا همان واحد جداساز هوا خواهد بود. سوختی که در سیکل آلام در نظر گرفته شده است، گاز طبیعی خواهد بود. در ادامه مشخصات گاز طبیعی در جدول مشخص شده است:

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

## جدول ۲- آنالیز عناصر گاز طبیعی مستخرج از نرم افزار ترموفلو

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

عنصر موجود در گاز	میزان بر حسب درصد
H <sub>2</sub>	۰/۳۶
O <sub>2</sub>	۰/۰۷
N <sub>2</sub>	۳/۶۱
CO	۰/۰۹
CO <sub>2</sub>	۰/۳۴
CH <sub>4</sub>	۸۷
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	۸/۴۶
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	۰/۰۳
H <sub>2</sub> S	۰/۰۴



شکل ۳- شماتیک کامل سیکل ترکیبی مدل سازی شده در نرم افزار ترموفلو

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

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 می‌شود. (۱۹)

با توجه به بررسی‌های 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 بررسی‌های 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 مجدداً 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 صدرصد، 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 مقدار ۵۶/۸۹٪ بوده که نسبت به حالت ایده‌آل سیکل آلام که به مقدار ۵۶/۳۹٪ 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:

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 سیکل‌های 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، پرفلئوروکربن‌ها، CFC ها، الکل‌ها و ... اشاره کرد.



## جدول ۳- مقایسه اعداد خروجی از سیکل آلآم 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

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)

سیکل آلآم برای شرایط ایده آل 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 پیاده سازی سیکل آلآم با مفروضات ذکر شده

## جدول ۴- 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 <sub>2</sub>	بازده ایزنتروپیک	۸۵٪	۱۰۰٪

نیروگاه گامی دیگر در جهت افزایش راندمان و کاهش پدیده گرمایش زمین، در این مقاله برداشته خواهد شد. بررسی شرایط محیطی سایت (دما محیط، فشار محیط، ارتفاع محیط، رطوبت نسبی محیط)

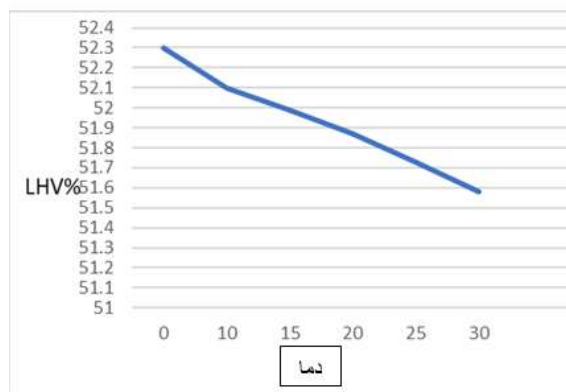
نتایج حاصل از مدلسازی سیکل نت پاور و بررسی درصد بازده واقعی و درصد بازده ایده آل نشان خواهد داد که در حالت ایده آل راندمان خالص الکتریکی (LHV) برابر با ۵۶/۳۹٪ و در درصد بازده واقعی این راندمان برابر با ۴۹/۵۸٪ خواهد بود. در ادامه با بررسی شرایط محیطی مطلوب، جهت احداث مکان مناسب

**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 کیس ۱ بوده و بالا ترین راندمان LHV را داراست. در حالتی که دمای محیط صفر باشد، ارزش حرارتی پایین برابر با ۵۲,۳ خواهد بود:

همانگونه که در مطالب قبلی عنوان گردید، شرایط نیروگاهی در این سایت به صورت ایده آل (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 آیتم های 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:



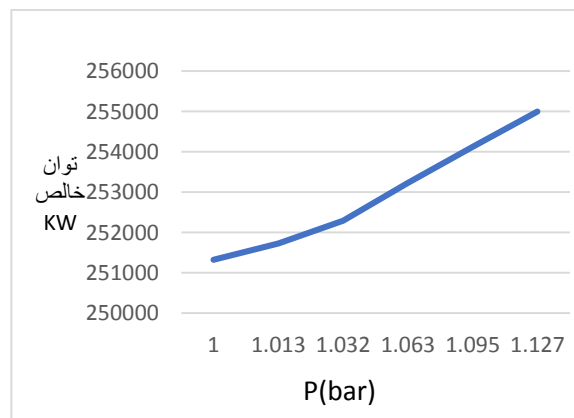
شکل ۴- تغییر شرایط محیطی دمای سایت

Figure 4. change in environmental conditions of site temperature

**تغییر فشار محیط**

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

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



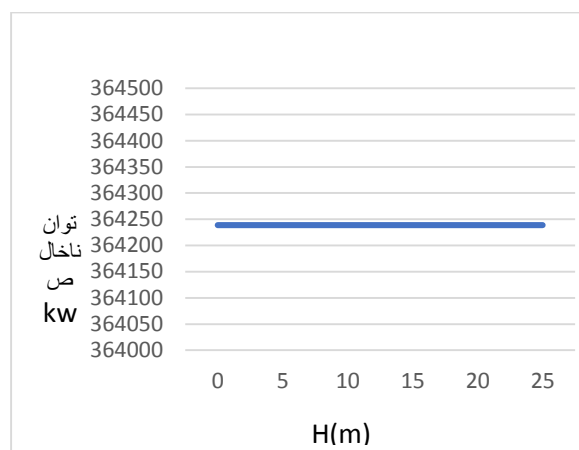
شکل ۵- تغییرات فشار محیطی سایت نیروگاهی

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

**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 کیس ها به ترتیب از پنج متر تا بیست و پنج متر متغیرند.

همانطور که مشاهده می شود بالاترین راندمان LHV مربوط به کیس پنج خواهد بود. در حالتی که فشار محیط برابر با ۱/۱۲۷ بار باشد، LHV به میزان ۵۲/۶۶٪ خواهد بود. بنابراین با افزایش فشار در محیط سایت، توان خالص با افزایش روبرو خواهد بود.



شکل ۶- تغییرات ارتفاع سایت نیروگاهی

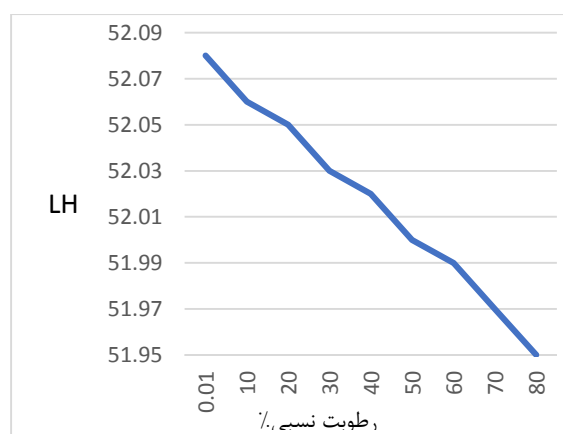
Figure 6. Changes in the height of the power plant site

#### 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 می آید، افزایش رطوبت نسبی محیط منجر به کاهش ارزش حرارتی پایین سایت خواهد شد.

همانطور که مشاهده میشود، تغییر ارتفاع از صفر تا بیست و پنج

متر، تاثیری در توان ناخالص تولیدی نخواهد داشت.



شکل ۷- تغییرات رطوبت نسبی در سایت نیروگاهی

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

OECD countries (2000–2018)." *Resources Policy* 75.

- 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.
- Şen, G., et al. (2018). "The effect of ambient temperature on electric power

#### References

- 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.
- Koyamparambath, A., et al. (2022). "Supply risk evolution of raw materials for batteries and fossil fuels for selected

- 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 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

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. 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.



