



# Parametric Study and Optimization of the Combined Power and Ejector Compression Refrigeration Cogeneration Cycle with Carbon Dioxide as the Working Fluid



## ARTICLE INFO

### Authors

Shokati N<sup>\*</sup>,

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.

### \* Correspondence

Address:, Islamic Azad University, Mahabad Branch  
naser.shokati@iau-mahabad.ac.ir

### How to cite this article

Shokati N. Parametric Study and Optimization of the Combined Power and Ejector Compression Refrigeration Cogeneration Cycle with Carbon Dioxide as the Working Fluid. Proceedings of the 6th National Conference on Mechanical-Civil Engineering and Advanced Technologies. 2024; 24(11):95-101.

## ABSTRACT

In this paper, the combined carbon dioxide power and ejector compression refrigeration cogeneration cycle with the ability to change the production capacity of power and cooling by changing the performance parameters of the cogeneration cycle has been analyzed. Thermodynamic simulation of the studied cogeneration cycle has performed in EES software and the energy and exergy balance equations for each component of the cycle are applied. Then, a parametric study has been carried out and the variations of the performance parameters of the cogeneration cycle, including the turbine inlet temperature and pressure, the outlet pressure of the power cycle, the evaporator temperature, etc. are investigated on the overall thermodynamic performance of the cogeneration cycle. The results indicate that the exergy efficiency of the studied cogeneration cycle reaches to the optimum value of 28.8% at the turbine inlet pressure of 21100 kPa, while the maximum value of the total produced power and cooling of the studied cycle occurs at the turbine inlet pressure of 18600 kPa. Also the contribution of different components of the studied cogeneration cycle in the total exergy destruction rate is calculated and it is revealed that the turbine and the heater have the highest exergy destruction rate values, respectively, among the components of the cogeneration system.

**Keywords** Power, Compression Refrigeration, Ejector, Carbon Dioxide, Exergy

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژهنامه مجموعه مقالات ششمین کنفرانس ملی مهندسی مکانیک، عمران و فناوری‌های پیشرفته



## تحلیل ترمودینامیکی و بهینه سازی سیکل تولید همزمان توان و تبرید دارای اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن



### چکیده

### مشخصات مقاله

#### نویسنده‌ها

ناصر شوکتی\*

گروه مهندسی مکانیک، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

#### \* نویسنده مسئول

آدرس: دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد

naser.shokati@iau-mahabad.ac.ir

در این تحقیق سیکل تولید همزمان توان و تبرید تراکمی دارای اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن با قابلیت تغییر در ظرفیت تولیدی مقادیر توان و سرمایش با تغییر پارامترهای عملکردی سیکل مورد تحلیل قرار گرفته است. شبیه‌سازی ترمودینامیکی سیکل تولید همزمان مورد مطالعه در نرم افزار EES انجام گرفته است و معادلات انرژی و اجزای سیکل برای همه اجزای سیکل نوشته شده است. سپس مطالعه پارامتری صورت گرفته و تغییرات عملکرد ترمودینامیکی کلی سیکل تولید همزمان اعم از مقدار توان و سرمایش تولیدی، بازده انرژی، بازده اجزای سیکل و ... با تغییر پارامترهای عملکردی سیکل شامل دما و فشار ورودی توربین، فشار خروجی سیکل توان، دمای اواپراتور مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نتایج تحلیل نشان داد که بازده اجزای سیکل در فشار ورودی توربین ۲۱۱۰۰ کیلوپاسکال دارای مقدار بهینه ۲۸٪ است در حالی که مقدار بیشینه مجموع توان و تبرید تولیدی سیکل تولید همزمان در فشار ورودی توربین ۱۸۶۰۰ کیلوپاسکال اتفاق می‌افتد. همچنین با بررسی سهم اجزای مختلف سیکل تولید همزمان مورد مطالعه در نرخ تخریب اجزای کل نمایان گردید که توربین و هیتر دارای بیشترین سهم از نرخ تخریب اجزای کل سیستم تولید همزمان هستند.

**کلیدواژه‌ها** توان، تبرید تراکمی، اجکتور، دی اکسید کربن، اجزای

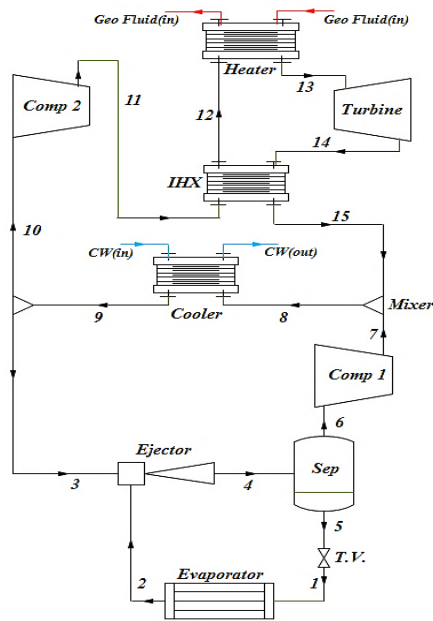
## ۱- مقدمه

به دلیل محدودیت روزافزون سوخت‌های فسیلی و آلاینده‌های محیطی مربوط به استفاده از این نوع سوخت‌ها، استفاده از سیستم‌های تولید انرژی که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند با چالش‌های جدی مواجه گردیده است. در سال‌های اخیر، توجه پژوهشگران در مورد سیستم‌های تبدیل انرژی به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک شامل انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی زمین گرمایی و ... و همچنین استفاده از سیستم‌های تولید همزمان توان، سرمایش و گرمایش به عنوان راهکارهایی برای استفاده بهینه از منابع انرژی و کاهش آلاینده‌های سیستم‌های انرژی، معطوف گردیده است. در ادامه چند مورد از بروزترین تحقیقات در مورد استفاده از سیستم‌های تولید همزمان با استفاده از یک منبع انرژی اشاره شده است. سیمپوکیس<sup>۱</sup> و همکاران [۱] سیستم تولید همزمان توان و سرمایش شامل ترکیب سیکل رانکین آلی و سیکل تبرید تراکمی دی اکسید کربن را مورد بررسی قرار داده است. در این تحقیق سیال ایزوپنتان به عنوان سیال عامل سیکل رانکین آلی در نظر گرفته شد. نتایج بررسی نشان داد که این سیستم ترکیبی می‌تواند سالانه انرژی معادل ۱۰/۳۶ مگاوات ساعت تولید کند که باعث کاهش ۳/۶۹٪ مصرف انرژی سیکل تبرید می‌شود. یانگ<sup>۲</sup> و همکاران [۲] سیستم تولید همزمانی را ارائه دادند که از سیال دوگانه به عنوان سیال عامل سیستم مذکور استفاده گردید که قابلیت آن را داشت که با تغییر ترکیب سیال دوگانه، مقادیر توان و سرمایش تولیدی تغییر یابند. نتایج نشان داد که در حالت بهینه، مقدار ۱۰/۲۹٪ برای بازده انرژی سیستم در حالتی که از هوا با دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس به عنوان منبع حرارتی استفاده گردد، قابل دستیابی است. کسائیان و همکاران [۳] یک تحقیق مروری در مورد پیشرفت‌های انجام شده و چشم انداز سیکل‌های تولید همزمان توان و سرمایش با ترکیب سیکل رانکین آلی و سیکل تبرید تراکمی ارائه دادند. تحقیقات سال‌های اخیر و همچنین چشم اندازهای آینده این نوع سیستم‌ها در تحقیق مذکور به صورت جامع ارائه گردیده و خاطر نشان گردیده است که در انواع مختلف ترکیب سیکل رانکین آلی و سیکل تبرید جذبی با اجکتور، افزایش بازده کلی سیستم را شاهد خواهیم بود. ژائو<sup>۳</sup> و همکاران [۴] سیستم تولید همزمان توان و سرمایش را جهت بهره‌گیری از انرژی زمین گرمایی مورد بررسی قرار دادند و مطالعه پارامتری جهت بررسی تغییرات پارامترهای عملکردی سیکل بر عملکرد کلی سیستم تولید همزمان صورت گرفت. نتایج نشان داد که ژنراتور بخار سیکل تبرید جذبی و توربین بیشترین مقادیر نرخ تخریب انرژی را در بین اجزای

مختلف سیستم تولید همزمان دارا هستند. تیان<sup>۴</sup> و همکاران [۵] یک سیستم تولید همزمان توان و سرمایش را برای بازیافت انرژی از یک سیکل تولید توان زمین گرمایی با دو جداکننده را ارائه دادند. نتایج نشان داد که بازده انرژی و توان تولیدی در مورد سیستم تولید همزمان نسبت به سیکل تولید توان زمین گرمایی به ترتیب ۶۸/۱۱٪ و ۲۰/۵۹٪ افزایش داشته است. در مورد سیال عامل سیکل تبرید تراکمی نیز با توجه به مشخصات ترموفیزیکی سیال‌ها و اثرات زیست محیطی آن‌ها محدودیت‌هایی وجود دارد و سیال عامل سیکل تبرید تراکمی باید طوری انتخاب گردد که هم عملکرد ترمودینامیکی قابل قبولی برای استفاده از منابع گرمایی دما پایین و متوسط داشته باشد و هم اثر زیست محیطی چه در مورد تخریب لایه اوزون و چه در مورد گرمایش جهانی زمین نداشته باشد. در سال‌های اخیر استفاده از دی اکسید کربن به عنوان سیال عامل سیکل تبرید تراکمی به دلیل مشخصات قابل قبول ایمنی از قبیل سمی نبودن، غیر قابل اشتعال بودن و ... و ضریب انتقال گرمای بالا و همچنین عملکرد قابل قبول زیست محیطی با دارا بودن مقدار ضریب تخریب اوزون صفر و مقدار ضریب گرمایش جهانی بسیار پایین، برای استفاده از منابع گرمایی دما پایین مورد توجه قرار گرفته است [۶]. شو<sup>۵</sup> و یان [۷] مدل ترمودینامیکی و بهینه‌سازی یک سیکل تبرید تراکمی دارای دو اواپراتور و اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن در حالت زیربحرانی را مورد تحلیل و بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که کاربرد اجکتور در سیستم مذکور باعث افزایش ۴۳/۳۶٪ ضریب عملکرد سیکل تبرید تراکمی شده و مقادیر بالاتر ضریب عملکرد در فشارهای بالاتر اواپراتور اتفاق می‌افتد. یانگ<sup>۱</sup> و همکاران [۸] مطالعه تجربی در مورد سیستم تبرید تراکمی دو مرحله‌ای با سیال عامل دی اکسید کربن در حالت زیربحرانی در دو حالت با اجکتور و بدون اجکتور انجام دادند. نتایج نشان داد که در حالتی که در سیستم مذکور از اجکتور استفاده گردد، در حالت بهینه مقدار ضریب عملکرد ۰/۷۸ برای سیستم بدست می‌آید که ۲/۲۸ برابر ضریب عملکرد سیستم بدون اجکتور است که همین نتیجه اهمیت استفاده از اجکتور در سیستم تبرید تراکمی را نشان می‌دهد. شی<sup>۶</sup> و همکاران [۹] یک سیکل تولید همزمان توان و سرمایش با سیال عامل دی اکسید کربن در حالت زیربحرانی را ارائه دادند که با توجه به تقاضا، می‌تواند در سه حالت تولید توان، فقط تولید سرمایش و تولید همزمان توان و سرمایش کار کند. نتایج نشان داد که سیستم مذکور می‌تواند در حالت‌های مختلف اشاره شده بین ۲/۹٪ تا ۳/۴٪ در مصرف سوخت مورد استفاده در سیستم صرفه جویی کند. بای<sup>۷</sup> و همکاران [۱۰] سیستم

Shu<sup>۴</sup>  
Yang<sup>۲</sup>  
Shi<sup>۶</sup>  
Bai<sup>۷</sup>

Tsimpoukis<sup>۱</sup>  
Yang<sup>۱</sup>  
Zhao<sup>۳</sup>  
Tian<sup>۴</sup>



شکل ۱) سیکل ترکیبی تولید توان و تبرید تراکمی دارای اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن

### ۳- روش تحلیل

در تحلیل ترمودینامیکی سیکل‌ها، هر جزء بعنوان یک حجم کنترل در نظر گرفته می‌شود و معادلات حالت پایای بقای جرم و انرژی برای هر حجم کنترل نوشته می‌شود. با صرف نظر از تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل داریم [۱۱]:

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{cv} + \sum \dot{m}_i h_i = \dot{W}_{cv} + \sum \dot{m}_e h_e \quad (2)$$

برای تحلیل انرژی سیکل‌ها می‌بایست مقادیر انرژی جریانی برای هر جریان که مجموع آهنگ‌های انرژی فیزیکی، شیمیایی، پتانسیلی و جنبشی است که معمولاً از انرژی‌های پتانسیلی و جنبشی در محاسبات چشم‌پوشی می‌شود.

$$\dot{E}x = \dot{m}[(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (3)$$

که در آن  $T_0$ ،  $h_0$  و  $s_0$  به ترتیب دمای محیط، آنتالپی و آنترپی در دما و فشار محیط هستند. نرخ تخریب انرژی از هر یک از اجزای سیکل از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\dot{E}x_D = \sum \dot{E}x_{in} - \sum \dot{E}x_{out} \quad (4)$$

انرژی سرمایش تولید شده در اواپراتور از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$\dot{E}x_{ref} = \dot{Q}_{eva} \left( \frac{T_0}{T_{eva}} - 1 \right) \quad (5)$$

توان خالص تولیدی سیکل از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{Tur} - \dot{W}_{comp1} - \dot{W}_{comp2} \quad (6)$$

بازده انرژی و بازده انرژی سیکل ترکیبی نیز از روابط زیر قابل

محاسبه هستند:

$$\text{Thermal Efficiency} = (\dot{W}_{net} + \dot{Q}_{eva}) / \dot{Q}_{heater} \quad (7)$$

$$\text{Exergy Efficiency} = (\dot{W}_{net} + \dot{E}x_{ref}) / (\dot{E}x_{gf,in} - \dot{E}x_{gf,out}) \quad (8)$$

تبرید تراکمی با آرایش موازی با سیال عامل دی اکسید کربن در حالت زیربحرانی دارای اجکتور را از نظر ترمودینامیکی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در حالت بهینه، مقادیر ضریب عملکرد سیکل و ظرفیت حجمی سرمایش به ترتیب ۱۵/۸٪ و ۱۷/۱٪ نسبت به سیکل تبرید تراکمی معمول افزایش خواهند داشت.

در این تحقیق، ترکیب سیکل تولید توان دی اکسید کربن با سیکل تبرید تراکمی دارای اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن برای تولید همزمان توان و سرمایش مورد تحلیل قرار گرفته است. سیال زمین گرمایی با دمای پایین نیز به عنوان محرک گرمایی سیکل ترکیبی مورد استفاده قرار گرفته است. معادلات انرژی و انرژی برای سیکل ترکیبی نوشته شده و بعد از شبیه سازی سیستم، برای بررسی اثر تغییر پارامترهای عملکردی سیکل بر عملکرد ترمودینامیکی کلی سیکل ترکیبی اعم از مقدار توان و سرمایش تولیدی، بازده انرژی، بازده انرژی و ...، تحلیل پارامتری صورت گرفته است و نقاط بهینه مربوط به پارامترهای عملکردی سیکل بدست آمده است. در نهایت سهم اجزای مختلف سیکل ترکیبی از مجموع نرخ تخریب انرژی کل محاسبه گردیده است.

### ۲- تشریح سیستم

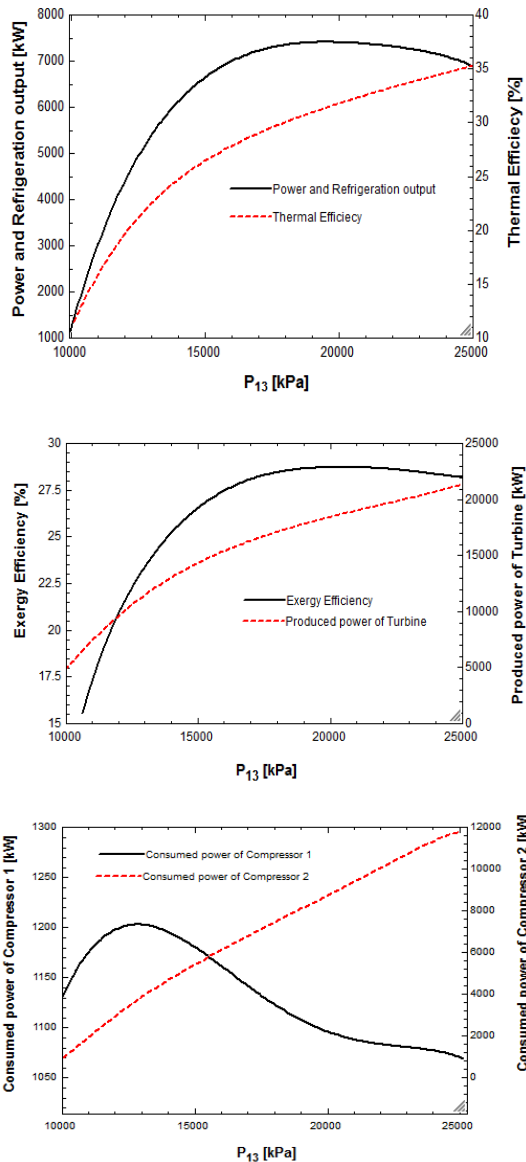
سیکل ترکیبی تولید توان و تبرید تراکمی دارای اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن برای تولید همزمان توان و سرمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که از شکل ۱ ملاحظه می‌گردد دی اکسید کربن با عبور از کمپرسور ۲ به فشار بالای سیکل رسیده و ابتدا وارد مبدل حرارتی داخلی شده و با استفاده از سیال دی اکسید کربن خروجی از توربین پیش گرم شده و سپس وارد هیتر می‌شود. سیال ورودی به هیتر با استفاده از انرژی سیال زمین گرمایی به دمای بالای سیکل رسیده و وارد توربین می‌شود. در توربین سیال دی اکسید کربن پرفشار و دما بالا منبسط شده و توان تولید می‌گردد. بخشی از این توان تولیدی در توربین صرف راه اندازی و توان مصرفی برای کمپرسور ۱ و ۲ شده و بقیه وارد ژنراتور برق می‌شود. سیال خروجی از توربین ابتدا برای پیش گرم کردن سیال ورودی به هیتر استفاده شده و سپس وارد میکسر شده و با سیال دی اکسید کربن خروجی از کمپرسور مخلوط شده و وارد کولر شده و گرمای خود را به محیط پس میدهد. خروجی کولر به دو بخش تقسیم می‌شود. یک بخش به سمت کمپرسور ۲ حرکت کرده و بخش دیگر به سمت اجکتور روانه می‌شود. جریان ورودی دیگر اجکتور نیز از طرف خروجی اواپراتور تامین می‌گردد. سیال خروجی از اجکتور وارد یک جداکننده شده و قسمت بخار اشباع آن به سمت کمپرسور حرکت کرده و بخش مایع اشباع آن نیز با عبور از شیر انبساط وارد اواپراتور شده و در اواپراتور سرمایش تولید می‌کند.

تحلیل اجکتور نیز از طریق مدل و روابط موجود در مرجع [۱۲] انجام گرفته است.

#### ۴- نتایج و بحث

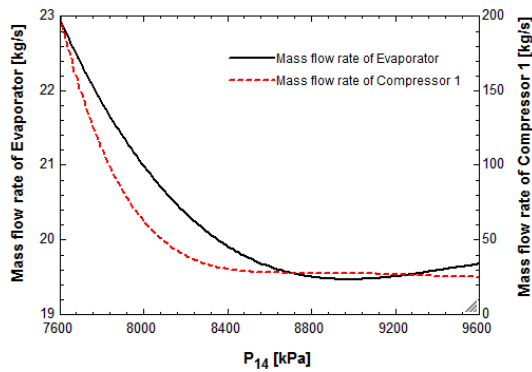
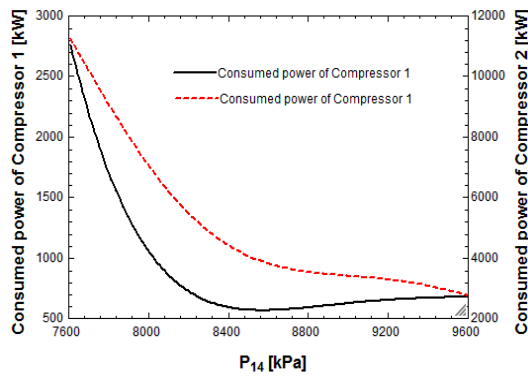
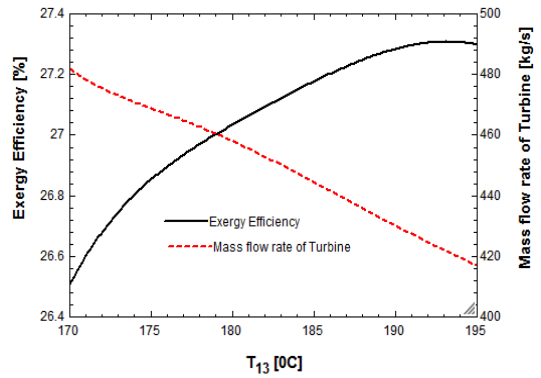
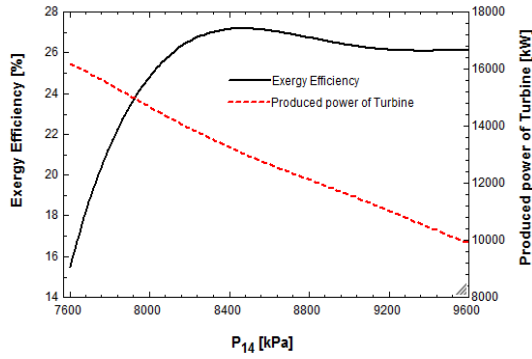
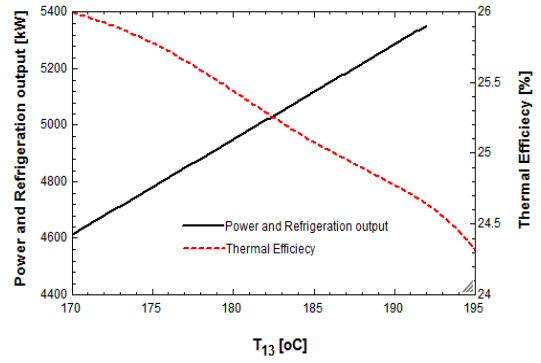
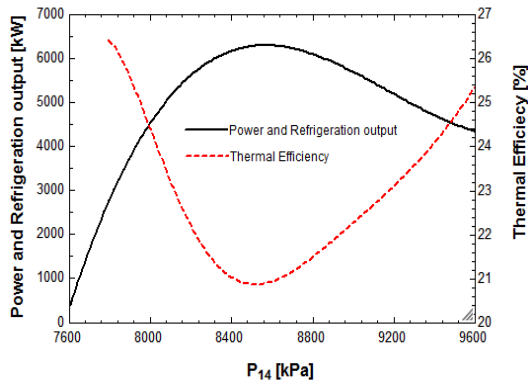
در این بخش مطالعه پارامتری صورت گرفته و تاثیر تغییرات پارامترهای عملکردی سیکل ترکیبی تولید توان و تبرید تراکمی دارای اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن شامل دما و فشار سیال دی اکسیدکربن در خروجی سیکل تولید توان و دمای اواپراتور بر عملکرد ترمودینامیکی کلی سیکل شامل مقدار توان و تبرید تولیدی، بازده انرژی، بازده انرژی و ... مورد بررسی قرار گرفته شده است. شایان ذکر است منبع گرمایی سیکل ترکیبی در این تحقیق سیال زمین گرمایی با دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس و دبی جرمی ۱۷۵ کیلوگرم بر ثانیه در نظر گرفته شده است و گستره تغییرات پارامترهای عملکردی مورد بررسی در شکل‌های ۲ تا ۵ نمایش داده شده است. شکل ۲ تاثیر تغییرات فشار ورودی به توربین در گستره ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ کیلوپاسکال بر عملکرد ترمودینامیکی کلی سیکل نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش فشار ورودی به توربین هم مقدار توان و تبرید تولیدی و هم بازده انرژی از ابتدا روندی صعودی را داشته و به مقدار بیشینه‌ای رسیده و سپس در فشارهای ورودی بالاتر توربین روندی ثابت و حتی با شیب بسیار کم در حال کاهش هستند. نکته مورد توجه آن است که بیشینه مقدار توان و تبرید تولیدی در فشار ورودی توربین حدود ۱۸۶۰۰ کیلوپاسکال اتفاق می‌افتد در حالی که بیشینه مقدار بازده انرژی در فشار ورودی توربین حدود ۲۱۱۰۰ کیلوپاسکال رخ می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار بیشینه بازده انرژی سیکل ترکیبی مورد مطالعه به ۲۸/۸٪ می‌رسد. روند تغییرات مقدار تولیدی توربین، بازده قانون اول (بازده ترمودینامیکی) و مقدار توان مصرفی کمپرسور ۲ نیز با افزایش فشار ورودی توربین روندی کاملاً صعودی است اما مقدار توان مصرفی کمپرسور ۱ با افزایش فشار ورودی به توربین تا حدود فشار ۱۲۸۰۰ کیلوپاسکال روندی افزایشی داشته ولی با افزایش بیشتر فشار ورودی به توربین روندی معکوس و کاهشی را خواهد داشت.

شکل ۳ تاثیر تغییرات دمای ورودی به توربین در گستره ۱۷۰ تا ۱۹۵ درجه سلسیوس بر عملکرد ترمودینامیکی کلی سیکل نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد مقدار توان و تبرید تولیدی و بازده انرژی روندی کاملاً صعودی را با افزایش دمای سیال ورود



شکل ۲) تاثیر تغییرات فشار ورودی به توربین بر عملکرد ترمودینامیکی کلی سیکل ترکیبی تولید توان و تبرید تراکمی دارای اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن

به توربین داشته و با توجه به دمای منبع حرارتی زمین گرمایی که در این تحقیق ۲۰۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است، بیشترین دمای ورود به توربین در بهترین شرایط می‌توان حداکثر تا ۱۹۵ درجه سلسیوس باشد که بیشینه مقادیر بازده انرژی و توان و تبرید تولیدی در این دما اتفاق می‌افتد. همچنین بازده انرژی ترمودینامیکی با افزایش دمای ورود به توربین با توجه به کاهش جزئی مقدار دبی عبوری از توربین و تاثیرگذاری آن بر توان تولیدی توربین روند کاهشی با شیب بسیار ملایم را خواهد داشت. شکل ۴ تاثیر تغییرات فشار خروجی از توربین در گستره ۷۵۰۰ تا ۹۵۰۰ کیلوپاسکال بر عملکرد ترمودینامیکی کلی سیکل نشان داده



**شکل ۴** تاثیر تغییرات فشار خروجی از توربین بر عملکرد ترمودینامیکی کلی سیکل ترکیبی تولید توان و تبرید تراکمی دارای اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن

**شکل ۳** تاثیر تغییرات دمای ورودی به توربین بر عملکرد ترمودینامیکی کلی سیکل ترکیبی تولید توان و تبرید تراکمی دارای اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن

شده است. از شکل ۴ نمایان است که با افزایش فشار خروجی از توربین، مقدار توان تولیدی توربین کاهش می یابد ولی مقادیر بازده انرژی و توان و تبرید تولیدی سیکل ابتدا تا فشار خروجی توربین حدود ۸۶۵۰ کیلوپاسکال روندی افزایشی را داشته و به مقدار بیشینه رسیده ولی سپس با افزایش بیشتر مقدار فشار خروجی از توربین، مقادیر پارامترهای مذکور نیز روندی معکوس را داشته و کاهش می یابند. همچنین مشاهده می شود که توان مصرفی کمپرسورها با افزایش فشار خروجی توربین ابتدا با شیب بالا روندی کاهشی را خواهند داشت ولی سپس در فشارهای بالاتر خروجی توربین، شیب کاهشی آنها نیز کاهش یافته و کاهش ملایم تری را تجربه می کنند. همانند این رفتار در مورد دبی جرمی عبوری از اواپراتور نیز با افزایش فشار خروجی از توربین اتفاق می افتد. در شکل ۵ نیز تاثیر تغییرات دمای اواپراتور در گستره ۲۰- تا ۵ درجه سلسیوس بر عملکرد ترمودینامیکی کلی سیکل نمایش داده شده است. ملاحظه می گردد که با افزایش دمای اواپراتور نیز مقادیر بازده انرژی و توان و تبرید تولیدی روندی صعودی را داشته ولی مقدار افزایش آنها قابل توجه نیست و با شیب ملایمی افزایش می یابند.

همچنین سهم اجزای مختلف سیکل ترکیبی تولید توان و تبرید تراکمی دارای اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن در نرخ تخریب انرژی کل در شکل ۶ نشان داده شده است.

پایین از دید انرژی و انرژی و انرژی شبیه سازی شده و برای بررسی اثر تغییر پارامترهای عملکردی سیکل بر عملکرد ترمودینامیکی کلی سیکل ترکیبی اعم از مقدار توان و سرمایه‌ش تولیدی، بازده انرژی، بازده انرژی و ...، تحلیل پارامتری صورت گرفته است. مهمترین نتایج بدست آمده عبارتند از:

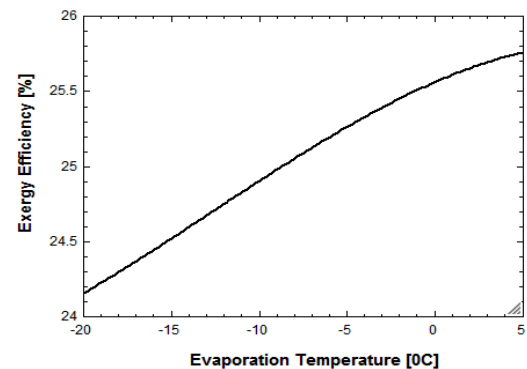
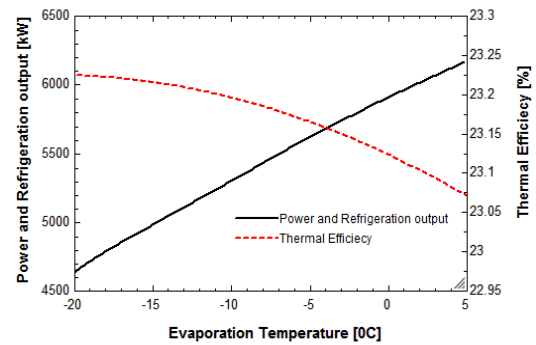
- با افزایش فشار ورودی به توربین هم مقدار مجموع توان و تبرید تولیدی و هم بازده انرژی ابتدا روندی صعودی را داشته و به مقدار بیشینه‌ای رسیده و سپس در فشارهای ورودی بالاتر توربین روندی ثابت و حتی با شیب بسیار کم در حال کاهش هستند. بیشینه مقدار مجموع توان و تبرید تولیدی نسبت به بیشینه مقدار بازده انرژی در فشار ورودی توربین کمتر رخ می‌دهد و مقدار بیشینه بازده انرژی سیکل ترکیبی مورد مطالعه به ۲۸/۸٪ می‌رسد.
- مقدار مجموع توان و تبرید تولیدی و بازده انرژی روندی کاملاً صعودی را با افزایش دمای سیال ورودی به توربین داشته و بیشینه مقادیر بازده انرژی و توان و تبرید تولیدی در بیشترین دمای ورود به توربین اتفاق می‌افتد.
- با افزایش فشار خروجی از توربین، مقادیر بازده انرژی و مجموع توان و تبرید تولیدی سیکل ابتدا تا فشار خروجی توربین حدود ۸۶۵۰ کیلوپاسکال روندی افزایشی را داشته و به مقدار بیشینه رسیده ولی سپس با افزایش بیشتر مقدار فشار خروجی از توربین، مقادیر پارامترهای مذکور نیز روندی معکوس را داشته و کاهش می‌یابند.
- با افزایش دمای اواپراتور مقادیر بازده انرژی و مجموع توان و تبرید تولیدی روندی صعودی را داشته ولی مقدار افزایش آن‌ها قابل توجه نیست و با شیب ملایمی افزایش می‌یابند.
- توربین و هیتر در سیکل تولید همزمان مورد مطالعه دارای بیشترین سهم از نرخ تخریب انرژی کل سیستم هستند. همچنین در اجزائی که انتقال حرارت دارند نرخ تخریب انرژی بالا بوده و همه‌ی این اجزا دارای سهم قابل توجه در نرخ تخریب انرژی کل سیستم هستند.

**تائیدیه اخلاقی:** محتویات علمی این مقاله حاصل پژوهش نویسنده است و در هیچ نشریه ایرانی و غیرایرانی چاپ نشده است.  
**تعارض منافع:** در این مقاله هیچ تعارض منافی برای اظهارنظر وجود ندارد.

**منابع مالی:** این پژوهش حامی مالی نداشته است.

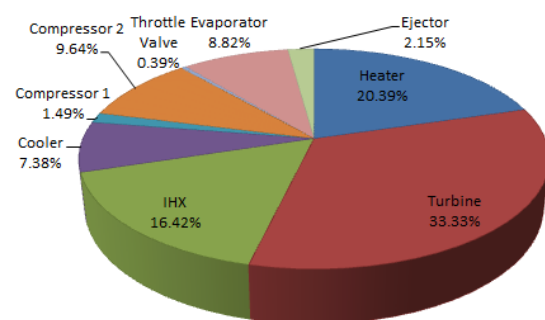
### مراجع

1- Tsimpoukis D, Syngounas E, Bellos E, Koukou M, Tzivanidis C, Anagnostatos S, Vrachopoulos MG. Optimization analysis of Organic Rankine Cycle powered by waste heat of a supermarket transcritical CO<sub>2</sub> multi-ejector refrigeration cycle. Journal of Cleaner Production. 2023; 418: 138106.



**شکل ۵)** تاثیر تغییرات دمای اواپراتور بر عملکرد ترمودینامیکی کلی سیکل ترکیبی تولید توان و تبرید تراکمی دارای اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن

همانطوریکه ملاحظه می‌گردد توربین و هیتر با توجه به ماهیت کارکردی آن‌ها دارای بیشترین سهم از نرخ تخریب انرژی کل سیستم هستند. همچنین از شکل ۶ نیز کاملاً نمایان است که در اجزائی که انتقال حرارت دارند نرخ تخریب انرژی بالا بوده و همه‌ی این اجزا دارای سهم قابل توجه در نرخ تخریب انرژی کل سیستم هستند.



**شکل ۶)** سهم اجزای مختلف سیکل ترکیبی تولید توان و تبرید تراکمی دارای اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن در نرخ تخریب انرژی کل

### ۵- نتیجه گیری

در این تحقیق، سیکل ترکیبی تولید توان و تبرید تراکمی دارای اجکتور با سیال عامل دی اکسید کربن برای تولید همزمان توان و سرمایه‌ش با محرک گرمایی سیکل انرژی زمین گرمایی با دمای

- 2- Yang X, Zheng N, Zhao L, Deng S, Li H, Yu Z. Analysis of a novel combined power and ejector-refrigeration cycle. *Energy Conversion and Management*. 2021; 108:266-274.
- 3- Kasaeian A, Shamaeizadeh A, Jamjoo B. Combinations of Rankine with ejector refrigeration cycles: Recent progresses and outlook. *Applied Thermal Engineering*. 2022; 211:118382.
- 4- Zhao Y, Wang J, Cao L, Wang Y. Comprehensive analysis and parametric optimization of a CCP (combined cooling and power) system driven by geothermal source. *Energy*. 2016; 97:470-487.
- 5- Tian M, Parikhani T, Jermittiparsert K, Ashraf A. Exergoeconomic optimization of a new double-flash geothermal-based combined cooling and power (CCP) system at two different cooling temperatures assisted by boosters. *Journal of Cleaner Production*. 2020; 261:120921.
- 6- Shi L, Shu G, Tian H, Huang G, Chen T, Li X, et al. Experimental comparison between four CO<sub>2</sub>-based transcritical Rankine cycle (CTRC) systems for engine waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*. 2017; 150:159-171.
- 7- Shu Y, Yan J. Thermodynamic modeling and performance optimization of transcritical CO<sub>2</sub> dual-evaporator refrigeration system enhanced with ejectors. *Applied Thermal Engineering*. 2024; 249:123433.
- 8- Yang D, Zhu J, Wang N, Xie J. Experimental study on the performance of trans-critical CO<sub>2</sub> two-stage compression refrigeration system with and without an ejector at low temperatures. *International Journal of Refrigeration*. 2023; 154:231-242.
- 9- Shi L, Tian H, Shu G. Multi-mode analysis of a CO<sub>2</sub>-based combined refrigeration and power cycle for engine waste heat recovery. *Applied Energy*. 2021; 364: 114670.
- 10- Bai T, Shi R, Yu J. Thermodynamic performance evaluation of an ejector-enhanced transcritical CO<sub>2</sub> parallel compression refrigeration cycle. *International Journal of Refrigeration*. 2023; 149:49-61.
- 11- You H, Xiao Y, Han J, Lysyakov A, Chen D. Thermodynamic, exergoeconomic and exergo-environmental analyses and optimization of a solid oxide fuel cell-based trigeneration system. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2023; 48: 25918-25938.
- 12- Liu Y, Liu J, Yu J. Theoretical analysis on a novel two-stage compression transcritical CO<sub>2</sub> dual-evaporator refrigeration cycle with an ejector. *International Journal of Refrigeration*. 2020; 119: 268-275.