

Amirkabir Journal of Mechanical Engineering

Amirkabir J. Mech. Eng., 53(1) (2021) 39-42 DOI: 10.22060/mej.2019.15500.6138

Thermodynamic Analysis of a Novel Power, Cooling, Hydrogen and Oxygen Multi-Generation Combined Cycle Based on the Sabalan Geothermal Wells

M. Abdolalipouradl, S. Khalilarya , F. Mohammadkhani

¹ Department of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

² Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ABSTRACT: The use of multi-generation systems is rapidly developing in the world. Although

Sabalan geothermal field is one of the important geothermal fields of Iran, the possibility of using the

multi-generation systems has not yet been performed. As an attempt to fulfill the gap in the field, a

new cooling, hydrogen, oxygen, and power multi-generation cycle for using Sabalan geothermal wells

is proposed and analyzed. In the proposed system, the double flash configuration from the Sabalan geothermal wells as the heat source is used. An organic Rankine cycle is used to generate power for the proton exchange membrane for hydrogen production and a LiBr-H₂O absorption refrigeration system is

used for cooling production. First, a simulation was done by Engineering Equation Solver software and

then the effects of some design parameters, such as separators pressures, evaporator temperature, pinch

point temperature difference in the Rankine evaporator, generator temperature and ambient temperature

on the integrated system performance are studied. A parametric study shows that the value of the thermal

efficiency and cooling continuously increases with separators' pressures. According to the results, the

value of the net output power, hydrogen production, cooling and thermal and exergy efficiencies of the

cogeneration system are obtained as 14739 kW, 13.25 kg/hr, 10925 kW, 22.34% and 50.62% respectively.

Review History:

Received: 2018-12-22 Revised: 2019-03-04 Accepted: 2019-04-14 Available Online: 2019-04-17

Keywords:

Thermodynamic analysis Sabalan geothermal power plant Proton exchange membrane electrolysis Absorption refrigeration Organic Rankine cycle

1. INTRODUCTION

In the Sabalan region that is located in northwestern Iran, two wells with different thermodynamic conditions have been exploited [1]. According to the thermodynamic properties of the wells, the new configuration of a double flash with ORC that uses actual data for the Sabalan Geothermal Power plant (GPP) is studied by Aali et al. [2]. They showed that the specific cost of output power is calculated 4.766 \$/ GJ in optimum conditions for R141b as working fluid. Abdolalipouradl et al. [3] studied the new combined cycle that includes two single-flash, transcritical carbon dioxide and organic Rankine cycles. Results show that for the optimal condition, the net power, thermal and exergy efficiencies are 19934 kW, 17.05% and 65.38%, respectively. So far, all studies have been conducted to power generation for the Sabalan GPP; in this work, a new multi-generation cycle is proposed that can produce power, heating, cooling, oxygen and hydrogen. Some main objectives of the current study are as follows:

- Using two wells from Sabalan fields as the energy resource for multi-generation cycles to produce power, heating, cooling, oxygen and hydrogen.
- Simulation of the proposed cycle from the energy and exergy viewpoints.
- A comprehensive parametric study is accomplished.

2. SYSTEM DESCRIPTION

Schematics of the new proposed cycle for power, cooling, hydrogen, oxygen and power multi-generation from Sabalan GPP are shown in Fig. 1. In this study an Organic Rankine Cycle (ORC) and double flash are used to produce power, Proton Exchange Membrane (PEM) is utilized for hydrogen and oxygen production, and a LiBr-H₂O absorption refrigeration system is used for cooling production.



Fig. 1. The new multi-generation cycle from Sabalan geothermal wells

*Corresponding author's email: sh.khalilarya@urmia.ac.ir

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the multi-generation cycle and R123 as working fluid in ORC and initial thermodynamic conditions ($P_2 = 10$ bar, $P_6 = 2$ bar, $\Delta T_{PP,evap} = 10^{\circ}$ C, a = 0.5 and $T_{PEM} = 80^{\circ}$ C), the hydrogen production, net output power, cooling, thermal and exergy efficiencies are calculated as, 13.25 kg/hr, 14749 kW, 10925 kW, 22.34% and 50.62% respectively.

The effects of the first and second separator pressures on the hydrogen production, net output power, cooling, thermal and exergy efficiencies are shown in Fig. 2 and Fig. 3, respectively. When P_2 increases, the High Pressure Turbine



Fig. 2. Effects of the first separator pressure on hydrogen production, net output power, thermal efficiency, exergy efficiency, and cooling



Fig. 3. Effects of the second separator pressure on hydrogen production, net output power, thermal efficiency, exergy efficiency, and cooling



Fig. 4. Effects of the evaporator temperature on the hydrogen production, net output power, thermal efficiency, exergy efficiency, and cooling



Fig. 5. Effects of the proton exchange membrane temperature on the hydrogen production, net output power, thermal efficiency, exergy efficiency, and cooling



Fig. 6. Effects of the generator temperature on the hydrogen production, net output power, thermal efficiency, exergy efficiency, and cooling

(HPT) power production increases, while Organic Rankine Cycle Turbine (ORCT) power production decreases, but the increase of HPT Power production of HPT dominates and makes net output power, thermal efficiency, exergy efficiency increase. Hydrogen production decreases because of the decrement of ORCT power production.

The Low Pressure Turbine (LPT) and ORCT power production increase while HPT power production decreases with P_6 , these trends lead the net output power and exergy efficiency to have optimum value but hydrogen production, cooling and thermal efficiency increase with second separator pressure. Fig. 4 demonstrates the variation of performance of the multi-generation cycle with ORC evaporator temperature, T_{Evap} , which indicates that the values of the net output power, hydrogen production, thermal and exergy efficiencies increase but cooling is constant with T_{Evap} .

Variations of the performance of the proposed multigeneration cycle with T_{PEM} are shown in Fig. 5. With increasing T_{PEM} , the current density in the PEM system and consequently hydrogen production increase while net output power remains constant and the cooling decreases. Thus these trends lead the thermal efficiency to decrease while exergy efficiency almost remains stable.

The influences of the five performances of the proposed cycle with regard to the generator temperature, T_G , are displayed in Fig. 6. Due to the independent production of

hydrogen and the net power of the cycle from the T_G , the trend of changes in thermal and exergy efficiency with regard to the generator temperature is shown in Fig. 6.

4. CONCLUSIONS

The main achieved results are as follows:

- The hydrogen production, net output power, cooling, thermal and exergy efficiencies are calculated as, 13.25 kg/hr, 14749 kW, 10925 kW, 22.34% and 50.62% respectively.
- By increasing the first separator pressure, the value of cooling, net output power, thermal and exergy efficiencies increase while hydrogen production decreases.
- The net output power and exergy efficiency have optimum values Relative to second separator pressure.

• With increasing evaporator temperature the hydrogen production, net output power, thermal and exergy efficiencies increase for a proposed multi-generation.

REFERENCES

- M. Abdolalipouradl, S. Khalilarya, S. Jafarmadar, The thermodynamic analysis of a novel integrated transcritical CO2 with Kalina 11 cycles from Sabalan geothermal wells, *Modares Mechanical Engineering*, 19(2) (2018) 335-346. (In Persian).
- [2] A. Aali, N. Pourmahmoud, V. Zare, Exergoeconomic analysis and multi-objective optimization of a novel combined flash-binary cycle for Sabalan geothermal power plant in Iran, *Energy Conversion and Management*, 143 (2017) 377-390.
- [3] M. Abdolalipouradl, S. Khalilarya, s. Jafarmadar, Exergy analysis of a new proposal combined cycle from Sabalan geothermal source, *Modares Mechanical Engineering*, 18(4) (2018) 11-22. (in Persian)

HOW TO CITE THIS ARTICLE

M. Abdolalipouradl, S. Khalilarya, F. Mohammadkhani, Thermodynamic Analysis of a Novel Power, Cooling, Hydrogen and Oxygen Multi-Generation Combined Cycle Based on the Sabalan Geothermal Wells, Amirkabir J. Mech Eng., 53(1) (2021) 39-42.

DOI: 10.22060/mej.2019.15500.6138



This page intentionally left blank

نشريه مهندسي مكانيك اميركبير



نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، دوره ۵۳ شماره ۱، سال ۱۴۰۰، صفحات ۱۳۵ تا ۱۵۴ DOI: 10.22060/mej.2019.15500.6138

تحلیل ترمودینامیکی یک آرایش جدید تولید همزمان توان، برودت، هیدروژن و اکسیژن با استفاده از چاههای زمینگرمایی سبلان

مهران عبدالعلی پورعدل'، شهرام خلیل آریا'*، فرزاد محمدخانی^۲

^۱ دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران ۲ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخچه داوری: دریافت: ۰۱–۱۰–۱۳۹۷ بازنگری: ۲۳–۱۲–۱۳۹۷ پذیرش: ۲۵–۱۰–۱۳۹۷ ارائه آنلاین: ۲۸–۱۰–۱۳۹۷

کلمات کلیدی: تحلیل ترمودینامیکی نیروگاه زمینگرمایی سبلان الکترولایزر غشاء پروتونی تبرید جذبی چرخهی رانکین آلی خلاصه: استفاده از سیستمهای تولید همزمان به سرعت در جهان در حال گسترش میباشد. با وجود این که منطقه زمین گرمایی سبلان یکی از مهمترین مناطق زمین گرمایی ایران میباشد، مطالعهای در خصوص امکان سنجی سیستمهای تولید همزمان در این منطقه انجام نگرفته است. با هدف پر کردن خلاً موجود در این زمینه، در این مقاله امکان استفاده از یک چرخه ترکیبی جدید برای تولید همزمان توان، هیدروژن، اکسیژن و برودت از چامهای زمین گرمایی سبلان پیشنهاد و مورد مطالعه قرار گرفته است. چرخه پیشنهادی، ترکیبی از تبخیر آنی دو مرحلهای از چامهای زمین گرمایی سبلان بهعنوان منبع حرارتی، چرخهی رانکین آلی به عنوان مولد انرژی برای تولید هیدروژن از الکترولایزر غشاء پروتونی و سیستم استفاده از نرمافزار حل معادلات مهندسی آلی به عنوان مولد انرژی برای تولید هیدروژن از الکترولایزر غشاء پروتونی و سیستم استفاده از نرمافزار حل معادلات مهندسی انجام شده و سپس تأثیر پارامترهای مؤثر همانند فشار جداساز اول و دوم، دمای اواپراتور رانکین، اختلاف دمای نقطه ی تنگش، دمای ژنراتور، نسبت کار ورودی به سیستم غشایی و دمای محیط بر عملکرد سیستم بررسی شده است. طبق بررسی پارامتریک با افزایش فشار جداساز اول و دوم مقدار بازده حرارتی و برودت افزایش می یابند. طبق نتایج حاصله، توان خالص تولیدی، تولید هیدروژن، سرمایش، بازده حرارتی و بازده آفزایش می یابند. طبق نتایج حاصله، توان خالص تولیدی، تولید هیدروژن، سرمایش، بازده حرارتی و بازده اگزرژی به ترتیب ۱۹۷۹

۱– مقدمه

افزایش مصرف انرژی و اثرات زیستمحیطی سوختهای فسیلی باعث شده تا کشورها به استفاده از منابع انرژیهای تجدیدپذیر، بیشتر روی بیاورند [۱ و ۲]. ازجمله انرژیهای تجدیدپذیر، انرژی زمینگرمایی است که بهعنوان یک منبع قابل اطمینان، بهطور عمده برای تولید برق، گرمایش، سرمایش، خشک کردن صنعتی، تقطیر و ... مورد استفاده قرار میگیرد. امروزه با آلودگی سوختهای فسیلی، تولید و استفاده از سوختهای جدید و پاک همانند هیدروژن، بیشتر مورد توجه میباشد [۳ و ۴]. استفاده از غشاء مبدل پروتونی به دلیل سازگاری بیشتر با منابع زمینگرمایی و تولید هیدروژن خالص تر یکی *نویسنده عهدهدار مکاتبات: sh.khalilarya@urmia.ac.ir

از روشهای مناسب برای تولید هیدروژن میباشد [۵]. والورده و همکاران [۶] تولید هیدروژن را بر اساس دادههای آزمایشگاهی در سیستم الکترولایزر غشاء پروتونی مورد مطالعه قرار دادند. در مطالعه دیگری نی و همکاران [۷] یک بررسی جامع پارامتریک را برای تولید هیدروژن در سیستم الکترولایزر غشاء پروتونی مورد بررسی تراکمی، مورد استفاده قرار می گیرد. گمری در یک بررسی، سیستمهای تبرید جذبی تک اثره و دو اثره را با استفاده از سیال آب–لیتیم برماید مورد تحلیل اگزرژی قرار داد، طبق نتایج، بازده اگزرژی سیستمهای تک اثره در محدوده ۲۵/۵–۲۲/۲٪ و سیستمهای دواثره در محدوده امروزه تولید همزمان با استفاده از منبع انرژی زمین گرمایی

کی با محقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیر کبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) ه این محقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیر کبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) و در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید. و آب شیرین پرداختند.

اولین چاههای زمین گرمایی در ایران، در منطقه مشگین شهر و روستای موییل احداثشده و در حال توسعه می باشد [۱۷]. نصر آبادی و همکاران [۱۸] برای دادههای فرضی چاههای سبلان، دو آرایش چرخه تبخیر آنی تک و دومرحلهای را مورد مطالعه و بهینهسازی قرار دادند. طبق نتایج در حالت بهینه برای چرخه تبخیر آنی تکمرحلهای توان خالص خروجی ۳۱ مگاوات و چرخه دومرحلهای توان خالص ۴۹/۷ مگاوات را تولید می کند. با در نظر گرفتن همان مشخصات چاهها در مطالعه قبلي، بينا و همكاران [١٩]، چهار آرايش مختلف رانكين آلي را مورد مطالعه قرار داده و در حالت بهینه، بازده انرژی و اگزرژی به ترتیب ۲۰/۵۷ درصد و ۶۳/۷۲ درصد برای چرخه رانکین آلی با مبدل حرارتی را گزارش کردهاند. عالی و همکاران [۲۰ و ۲۱] به تحلیل انرژی و اگزرژی زمین گرمایی سبلان بر اساس دادههای واقعی برای دو دسته چاه بر اساس آرایش جدید ترکیبی تبخیر آنی دومرحلهای با رانکین آلی پرداختند. در حالت بهینه، توان خالص تولیدی ۱۷/۱۱ مگاوات، راندمان انرژی ۱۴/۳۵درصد و راندمان اگزرژی ۵۳/۳۸ بدست آمد. این نویسندگان در یک مطالعه دیگر، همان چرخه پیشنهادی را مورد تحلیل اگزرژواکونومیکی قرار داده و نشان دادند که هزینه تولید توان در حالت بهینه ۵/۰۶۸ دلار برگیگاژول میباشد [۲۲]. عبدالعلی پور و همکاران [۲۳] با در نظر گرفتن دو دسته چاه زمین گرمایی سبلان، یک چرخهی ترکیبی تولید توان جدید (شامل یک چرخه ترکیبی از دو چرخه تبخیر تکمرحلهای، چرخه دیاکسید کربن گذر بحرانی و رانکین آلی) پیشنهاد و بهینهسازی کرده و گزارش کردهاند که در حالت بهینه توان خالص و بازدههای انرژی و اگزرژی به ترتیب ۱۹۹۳۴ کیلووات، ۱۷/۰۵ درصد و ۶۵/۳۸ درصد حاصل میگردد. در مطالعه دیگری عبدالعلی پور و همکاران [۲۴] یک چرخهی ترکیبی جدید (بر اساس ترکیبی از دو چرخه تبخیر تکمرحلهای، چرخه دیاکسید کربن گذر بحرانی و کالینا ۱۱) برای زمین گرمایی سبلان ییشنهاد دادند. بر اساس شرایط عملکرد چرخهی پیشنهادی در حالت بهینه، توان خالص چرخه ترکیبی ۲۰۰۴۶ کیلووات، بازده حرارتی ۱۷/۱۵ درصد، تخریب اگزرژی ۸۲۵۹ کیلووات و بازده اگزرژی ۶۵/۷۴ درصد محاسبه شده است.

امروزه تولید همزمان با توجه به کاربردهای مختلف از یک منبع انرژی بسیار مورد اهمیت میباشد. اخیراً استفاده از چرخههای تولید

کاربرد زیادی دارد به طوری که تولید همزمان یکی از فنآوریهای امیدوار کننده با مزایای فنی، اقتصادی و زیست محیطی میباشد [۹]. زارع [۱۰] یک چرخه تولید سه گانه سرمایش، گرمایش و توان برای چرخهی زمین گرمایی را با زیر چرخههای کالینا و رانکین آلی مورد مقایسه قرار داد. طبق نتایج، چرخهی کالینا بازده قانون دوم بهتری را نشان داد. غایبی و همکاران [۱۱] نیز یک چرخه تولید سهگانه گرمایش، سرمایش را بر اساس تبرید جذبی و توان بر پایه انرژی زمین گرمایی بررسی کردند. طبق این مطالعه در حالت بهینه، بازده حرارتی، بازده اگزرژی و مجموع هزینه واحد تولید محصول به ترتیب ۹۴/۸۴ درصد، ۴۷/۸۹ درصد و ۸۹/۹۵ دلار برگیگاژول حاصل شد. غایبی و همکاران [۱۲] در یک مطالعه دیگر یک چرخهی ترکیبی زمین گرمایی تولید همزمان گرمایش و سرمایش را بر اساس تبرید اجکتوری و کالینا مورد تحلیل انرژی و اگزرژی قرار دادند. طبق نتایج حاصله توان خالص، برودت، بازدههای حرارتی و اگزرژی به ترتیب ۲۳۱۹ کیلووات، ۱۱۳۳ کیلووات، ۱۵ درصد و ۴۷/۸ درصد محاسبه شدند. یوکسل و همکاران [۱۳] به مطالعه ترمودینامیکی چرخه تولید همزمان هیدروژن مایع و توان بر پایه انرژی زمین گرمایی پرداختند و گزارش کردند که وقتی دمای سیال زمین گرمایی از ۱۳۰ تا ۲۰۰ درجه سلسیوس افزایش می یابد، بازده اگزرژی از ۳۸ درصد به ۶۴ درصد افزایش می یابد. همچنین با افزایش دمای الکترولیز غشاء پروتونی از ۶۰ تا ۸۵ سلسیوس ، بازده تولید هیدروژن از تقریباً ۳۹ به ۴۴ درصد میرسد. احمدی و همکاران [۱۴] به مدلسازی جامع ترمودینامیکی و بهینهسازی چندهدفه از یک سیستم چندمنظوره انرژی بر اساس یک توربین میکرو گاز، یک مولد بخار بازیافت گرمای دوگانه، یک چیلر جذبی، یک چرخه تبرید اجکتوری، یک گرمکن خانگی و یک مبدل غشایی پروتون الکترولایزر برای تولید برق، حرارت، سرمایش، آب گرم و هیدروژن پرداخته و تحلیل انرژی، اگزرژی و ارزیابی اثرات زیست محیطی را انجام دادند. احمدی و همکاران [۱۵] به بررسی تولید همزمان توان، سرمایش، هیدروژن و آب گرم مصرفی بر اساس سوختن زیستتوده پرداخته و یک بررسی جامع پارامتری را انجام دادند. در مطالعه دیگری دینسر و زامفیرسکو [۱۶] به تجزیه و تحلیل انرژی و اگزرژی انرژیهای تجدیدپذیر مبتنی بر انرژی زمین گرمایی با توجه به توليد همزمان مانند برق، گرما، آب گرم، سرمایش، هيدروژن



شکل ۱. چرخه جدید پیشنهادی برای تولید همزمان از چاههای زمینگرمایی سبلان Fig. 1. The new multi-generation cycle from Sabalan geothermal wells

همزمان به دلیل بازدههای حرارتی و اگزرژی بالاتر، بیشتر مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرد. همچنین با توجه به مشکلات مربوط به سوختهای فسیلی و آلودگی زیست محیطی این نوع سوختها استفاده از سوختهایی پاک همانند هیدروژن در حال افزایش میباشد. از طرف دیگر توزیع انرژی الکتریسیته در منطقه سبلان به دلیل کوهستانی بودن آن ناحیه با مشکلاتی همراه میباشد. با توجه به مطالب بالا استفاده از منبع انرژی زمین گرمایی سبلان برای تولید همزمان که علاوه بر تأمین انرژی آن منطقه قادر به تأمین سرمایش و سوخت هیدروژن نیز میباشد اهمیت مضاعف پیدا می کند. با مرور مطالعات قبلی مشخص میشود که علیرغم اینکه منطقه زمین گرمایی سبلان یکی از مهمترین مناطق زمین گرمایی ایران میباشد، مطالعهای در خصوص امکانسنجی سیستمهای تولید همزمان در این منطقه انجام نگرفته است. باهدف پر کردن خلأ موجود در این زمینه، در

قرار گرفته است. همچنین در بررسیهای گذشته برای تولید همزمان هیچ مطالعهای بر اساس چاههایی با دما و فشار متفاوت انجام نگرفته است. بر اساس دادههای واقعی چاههای سبلان از چرخهی تبخیر آنی دومرحلهای برای تولید توان، چرخهی رانکین آلی بهعنوان چرخه تحتانی و تأمین کننده انرژی مورد نیاز برای فرایند تولید هیدروژن از الکترولایزر غشاء پروتونی و همچنین سیستم تبرید جذبی تک اثره با مبرد آب–لیتیم برماید بهمنظور تولید سرمایش استفاده شده است. درواقع اهداف عمده این تحقیق به صورت زیر می باشند:

استفاده از دو دسته از چاههای زمین گرمایی سبلان بهعنوان
 منبع حرارتی برای تولید همزمان توان، سرمایش، هیدروژن و اکسیژن
 سرمایش مجموعه توسط تبرید جذبی تک اثره و تولید هیدروژن
 و اکسیژن به وسیلهی الکترولایزر غشاء

- شبیهسازی چرخهی پیشنهادی از دیدگاه انرژی و اگزرژی
 - بررسی پارامترهای تأثیرگذار روی تولید توان، سرمایش و

هیدروژن چرخهی پیشنهادی

۲- توصیف چرخه تولید همزمان جدید و فرضیات ۱-۲- بررسی چرخه تولید همزمان

دیاگرام شماتیک چرخهی تولید همزمان توان، هیدروژن و سرمایش که از دو دسته چاه زمین گرمایی سبلان بهعنوان منبع حرارتی استفاده میکند، در شکل ۱ آمده است. در این چرخهی پیشنهادی از فرایند الکترولایزر غشاء پروتونی برای تولید هیدروژن و سیستم تبرید جذبی تک اثره برای سرمایش استفاده شده است. آب زمینگرمایی خروجی از چاههای فشار بالا پس از اختناق در شير انبساط اول (مرحلهی ۱-۲) وارد جداساز اول می شود. مايع و بخار توسط جداساز اول از هم جدا شده و از بخار در توربین فشار بالا استفاده می شود (مرحلهی ۳-۴). مایع خروجی از جداساز اول، پس از کاهش فشار در شیر انبساط دوم وارد جداساز دوم شده و مایع و بخار برای استفاده در زیر چرخهها از هم جدا می شوند. آب زمین گرمایی خروجی از چاههای فشار پایین سبلان، با مافوق گرم کردن سیال خروجی از جداساز دوم (مرحلهی ۱۳-۱۴) وارد اواپراتور چرخه رانکین می شود تا با از دست دادن انرژی خود در چرخه رانکین (مرحلهی ۱۳-۱۵) و عبور از شیر انبساط سوم به فشار جداساز دوم برسد. سیال مافوق گرم خارج شده (مرحلهی ۷-۸) از فوق گرم کن با سیال خروجی از توربین فشار بالا مخلوط شده و این سیال با انجام کار در توربین فشار پایین (مرحلهی ۹-۱۰) در کندانسور به مایع اشباع تبدیل می شود (مرحلهی ۱۰-۱۱) و سپس توسط پمپ با فشار بالاتر از فشار محیط به چاه تزریق می گردد. سیال عامل آلی ضمن گرفتن انرژی در اواپراتور (مرحلهی ۲۱-۲۲) و انجام کار در توربین چرخه رانکین آلی، انرژی مورد نیاز را برای راهاندازی سیستم تولید هيدروژن فراهم مىكند. بهطور خلاصه سيستم الكترولايزر غشاء پروتونی توانایی تولید هیدروژن و اکسیژن از آب را ضمن مصرف توان و حرارت دارد. آب با دمای محیط ضمن عبور سیال زمین گرمایی از مبدل غشایی (مرحلهی ۱۷-۱۸) به دمای الکترولایزر رسیده و سیس در پیل سوختی غشاء پروتونی، هیدروژن از کاتد و جریان مخلوط آب و اکسیژن از آند خارج میشود. هیدروژن خروجی که به دمای محیط رسیده در مخازن ذخیره شده تا به مکان مصرف انتقال داده شود. همچنین اکسیژن از جریان خروجی از آند توسط جداساز اکسیژن

جدا شده و آب باقیمانده چون دمای بالایی دارد برای استفاده دوباره در پیل سوختی غشاء پروتونی با جریان ۲۵ مخلوط می شود. به دلیل بالا بودن دمای خروجی در نقطه ۱۸ از سیستم تبرید جذبی برای سرمایش استفاده می شود، که در آن لیتیم برماید به عنوان جاذب و آب بهعنوان مبرد استفاده می شود. آب در قسمت اواپراتور تبرید جذبی ضمن تأمین سرمایش (مرحلهی ۴۴-۴۵)، گرمای خود را به مبرد موجود در اواپراتور میدهد تا مبرد تبدیل به بخار اشباع شود (مرحلهی ۳۰-۳۱). سپس آب توسط محلول لیتیم برماید در جاذب، جذب می شود (مرحلهی ۳۱-۳۲). ضمن جذب آب، محلول لیتیم برماید کارایی خود را از دست میدهد و بنابراین فشار آن توسط یمپ به فشار بالا رسیده (مرحلهی ۳۲-۳۳) و ضمن پیش گرم شدن برای غلیظسازی (مرحلهی ۳۴–۳۵) به ژنراتور انتقال داده می شود. در ژنراتور گرمای لازم برای بخارسازی آب و درنتیجه افزایش غلظت لیتیم برماید موجود در محلول از آب زمین گرمایی گرفته می شود. محلول غلیظ شده ضمن انتقال گرمای خود در بازیاب (مرحلهی ۳۵-۳۵)، توسط شیر فشارشکن به فشار جاذب میرسد. مبرد خارج شده از ژنراتور توسط کندانسور به مایع اشباع (مرحلهی ۲۸-۲۹) تبدیل شده و ضمن عبور از شیر فشارشکن ۵ به فشار پایین چرخه مىرىىد.

۲-۲- فرضيات

بهمنظور مدلسازی چرخه تولید همزمان فرضیات زیر برای سادهسازی مسئله در نظر گرفته شده است:

-عملکرد اجزای سیستم در حالت پایا بوده و از تلفات حرارتی و افت فشار در لولهها و مبدلهای حرارتی و همچنین از تغییرات انرژی پتانسیل و جنبشی صرف نظر شده است [۲۲].

-راندمان آیزنتروپیک برای توربینها و پمپهای قسمت زمین گرمایی و چرخه رانکین آلی و حداقل اختلاف دمای نقطه تنگش^۱ به ترتیب ٪۸۵ و ۹۰٪ و ۱۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است [۲۲ و ۲۳].

-دمای محیط ۱۵ درجه سلسیوس و فشار محیط ۱ بار در نظر گرفته شده است [۲۲ و ۲۳].

- برای قسمت زمین گرمایی از اطلاعات واقعی چاههای سبلان که

¹ Pinch point temperature difference

جدول ۱. مشخصات ترمودینامیکی برای چاههای زمین گرمایی سبلان [۲۴–۲۴] Table 1. The thermodynamic properties for fluids in the Sabalan geothermal wellheads [20-24]

دبی (kg/s)		آنتالپی (kJ/kg)		فشار (kPa)		فشار (kPa) آنتالپی		ما (°C)	5	
چاہ دوم	چاہ اول	چاہ دوم	چاہ اول	چاہ دوم	چاہ اول	چاه دوم	چاہ اول			
۵۳	۵۷	11	110.	٧	1.42	180	١٨٣	مقادير		

جدول ۲. پارامترهای مؤثر ورودی برای شبیهسازی الکترولایزر غشاء پروتونی و سیستم تبرید جذبی تک اثره [۷ و ۹ و ۱۱] Table 2. Some required input parameters for the simulation of the proton exchange membrane electrolysis and single effect absorption refrigeration system [7, 9, 11]

مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
۳۵	دمای کندانسور (^{C°})	۲۶	انرژی فعالسازی آند (kJ⁄) mol	١	فشار هيدروژن و اکسيژن (atm)
۳۵	دمای ابزوربر (^C °)	١٨	انرژی فعالسازی کاتد (kJ⁄mol)	۵۰	ضخامت غشاء (µm)
۵	دمای اواپراتور (^C °)	۱۴	مقدار آب موجود در سطح آند	95485	ثابت فارادی ($\binom{\mathrm{C}}{\mathrm{mol}}$)
٨٠	دمای ژنراتور (℃)	١٠	مقدار آب موجود در سطح کاتد	۱۷۰۰۰۰	فاکتور پتانسیل اولیه آند (A/) m ^۲
١٣	دمای نقطه ۴۴ (^C °)	٧٠	راندمان مبدل حرارتی (%)	48	فاكتور پتانسيل اوليه كاتد (A/) m
٨	دمای نقطه ۴۵ (^C °)	٩۵	راندمان پمپ تبريد (%)	٨٠	دمای غشاء (⁰ °)

۳- تحلیل ترمودینامیکی

بهمنظور بررسی عملکرد چرخه و با در نظر گرفتن حجم کنترل برای هر یک از اجزای چرخه، بالانس جرم و انرژی بهصورت زیر نوشته میشوند [۲۲ و ۲۵]:

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_o \tag{1}$$

$$\dot{Q} + \sum \dot{m_i} h_i = \dot{W} + \sum \dot{m_o} h_o \tag{Y}$$

که در آن \dot{Q} و \ddot{W} گرما و کار تبادلی در حجم کنترل میباشند.

۳-۱- تحلیل الکترولایزر غشاء پروتونی

در این بررسی جهت تولید هیدروژن در واکنش الکتروشیمیایی از توان تولیدی توربین چرخه رانکین آلی استفاده شده است. به عبارت دیگر a قسمت از توان توربین چرخهی رانکین آلی صرف الکترولایزر در قسمت تولید هیدروژن مطابق رابطهی زیر میشود [۷]:

$$a = \frac{E_{electric}}{\dot{W}_{OPCT}}$$

(٣)

کل انرژی لازم برای تولید هیدروژن در چرخهی پیشنهادی از رابطهی زیر حاصل میشود:

$$\Delta H = \Delta G + T \Delta S \tag{(f)}$$

که در آن ۲۵۶، انرژی گرمایی مورد نیاز در واحد ژول بر مول هیدروژن و ۵G انرژی آزاد گیبس میباشند. از جداول ترمودینامیکی مقادیر آنتالپی، آنتروپی و مقادیر گیبس برای آب، هیدروژن و اکسیژن حاصل می گردد.

در فرایند الکترولایزر غشاء پروتونی، نرخ جریانهای مولی هیدروژن، اکسیژن تولیدی و آب باقی مانده به ترتیب از رابطههای زیر محاسبه می شوند:

$$\dot{N}_{\rm H_2,out} = \frac{J}{2F} = \dot{N}_{\rm H_2O,reacted} \tag{\Delta}$$

$$\dot{N}_{O_2,\text{out}} = \frac{J}{4F} \tag{(7)}$$

$$\dot{N}_{\rm H_2O,out} = \dot{N}_{\rm H_2O,in} - \frac{J}{2F}$$
 (Y)

$$V_{\text{act},i} = \frac{RT}{F} \sinh^{-1} \left(\frac{J}{2J_{0,i}} \right) i = a, c$$
 (1Δ)

که در رابطهی بالا
$$J_i$$
، تبادل چگالی جریان مبدل بوده و بهصورت
زیر تعریف میشود:
 $J_{0,i} = J_i^{\text{ref}} \exp\left(\frac{-E_{\text{act},i}}{RT}\right), \quad i = a,c$ (۱۶)

که در رابطه (۱۶)، $J^{ ext{ref}}$ فاکتور پتانسیل اولیه و $E_{ ext{act}}$ انرژی فعالسازی میباشند [۷].

۳-۲- تحلیل چرخهی رانکین آلی

در این بررسی از چرخهی رانکین آلی که عموماً در چرخههای تحتانی برای منابع دما پایین و متوسط مناسب بوده، استفاده شده است، در اواپراتور چرخهی رانکین آلی با توجه به در نظر گرفتن اختلاف نقطهی تنگش، دبی چرخه رانکین از روابط زیر به دست میآید [۲۳]:

$$T_{PP,EV} = T_{EV} + \Delta T_{PP,EV} \tag{1Y}$$

$$\dot{m}_{14}(h_{14} - h(T_{PP,EV})) = \dot{m}_{22}(h_{22} - h(T_{EV}, x = 0))$$
 (1A)

شایانذکر است روابط انرژی برای سایر اعضای چرخهی رانکین آلی طبق جدول ۳ میباشد. همچنین در این بررسی از سیال ۳ به علت سازگاری با لایه اوزون، آیزنتروپیک بودن سیال و عدم نیاز به مافوق گرم کردن، دما و فشار بحرانی متوسط، عدم اسیدی بودن و دمای جوش نرمال مناسب استفاده شده است [۲۲].

۳-۳- تحلیل سیستم تبرید جذبی

برای سیستم تبرید جذبی بالانس جرم و غلظت بهصورت زیر نوشته می شود [۱۰]:

$$\sum \dot{m}_i x_i = \sum \dot{m}_o x_o \tag{19}$$

که در رابطهی بالا x غلظت لیتیم برماید در محلول میباشد. غلظت بالا و پایین مبرد در محلول طبق روابط زیر حاصل می شوند:

$$x_{high} = x_{LIBRH,0}(T_{35}, P_{35})$$
 (Y •)

$$x_{low} = x_{LIBRH-Q}(T_{31}, P_{31})$$
(11)

در معادلهی بالا، J و F به ترتیب بیانگر چگالی جریان و ثابت فارادی میباشند و همچنین انرژی الکتریکی مورد نیاز در واکنش الکتروشیمیایی از رابطه زیر حاصل می گردد:

$$E_{\text{electric}} = JV$$
 (A)

به عنوان انرژی ورودی و پارامتر V که از مجموع چهار $E_{
m electric}$

$$V = V_0 + V_{\text{act,c}} + V_{\text{act,a}} + V_{\text{ohm}}$$
(9)

که در رابطهی بالا، .*، V_{act,a}, V_{act,c}* و *V_{ohm}* به ترتیب بیانگر پتانسیل برگشتپذیر، پتانسیل فعالکننده کاتد و پتانسیل فعالکننده آند و پتانسیل اهمیک میباشند. پتانسیل برگشتپذیر طبق رابطهی (۱۰) به دست میآید:

$$V_0 = 1.229 - 0.00085 (T_{\rm PEM} - 298)$$
 (1.)

رسانایی یونی محلی الکترولایزر غشاء پروتونی از رابطهی زیر ارائه میگردد:

$$\sigma_{\text{PEM}}[\lambda(x)] = [0.5139\lambda(x) - (11)]$$

$$0.326 \exp[1268\left(\frac{1}{303} - \frac{1}{T}\right)]$$

که x و $\lambda(x)$ به ترتیب عمق غشای اندازه گیری شده و مقدار آب موجود در موقعیت x از سطح کاتد بوده که از رابطهی (۱۲) به دست میآید:

$$\lambda(x) = \frac{\lambda_a - \lambda_c}{D} x + \lambda_c \tag{11}$$

که در رابطه بالا λ_a ، λ_c و D به ترتیب، مقدار آب موجود در سطح غشاء در کاتد و آند و ضخامت غشاء میباشند. همچنین مقاومت اهمی از رابطهی زیر حاصل میشود:

$$R_{\rm PEM} = \int_{0}^{D} \frac{dx}{\sigma_{\rm PEM} \left[\lambda(x)\right]} \tag{17}$$

پتانسیل اهمیک بر اساس قانون اهم، از رابطهی زیر به دست میآید:

$$V_{\rm ohm} = J R_{\rm PEM} \tag{14}$$

پتانسیل فعالسازی در کاتد و آند برای واکنش الکتروشیمیایی طبق رابطه (۱۵) محاسبه می گردند:

روابط جرم	روابط انرژی	جزء
$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$	$h_1 = h_2$	شیر انبساط ۱
$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_5$	$h_3 = h_{2g}, h_5 = h_{2f}$	مخزن فلش ۱
$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$	$\eta_{HPT} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4,s}} \mathcal{W}_{HPT} = \dot{m}_3 (h_3 - h_4)$	توربين فشار بالا
$\dot{m}_5 = \dot{m}_6$	$h_{5} = h_{6}$	شیر انبساط ۲
$\dot{m}_8 + \dot{m}_4 = \dot{m}_9$	$\dot{m}_9 h_9 = \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_8 h_8$	اختلاط
$\dot{m}_6 + \dot{m}_{18} = \dot{m}_7 + \dot{m}_{17}$	$h_7 = h_{6g}, h_{17} = h_{6f}$	مخزن فلش۲
$\dot{m}_{10} = \dot{m}_9$	$\eta_{LPT} = \frac{h_9 - h_{10}}{h_9 - h_{10,s}} \mathcal{W}_{LPT} = \dot{m}_9 (h_9 - h_{10})$	توربين فشار پايين
$\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11}, \dot{m}_{38} = \dot{m}_{39}$	$\dot{m}_{10}h_{10} + \dot{m}_{38}h_{38} = \dot{m}_{11}h_{11} + \dot{m}_{39}h_{39}$	کندانسور ۱
$\dot{m}_{12} = \dot{m}_{11}$	$\eta_{FCP} = \frac{\nu_{11}(P_{12} - P_{11})}{h_{12} - h_{11}} \mathcal{W}_{FCP} = \dot{m}_{11}(h_{12} - h_{11})$	پمپ فلش
$\dot{m}_{14} = \dot{m}_{15}, \dot{m}_{21} = \dot{m}_{22}$	$\dot{m}_{21}h_{21} + \dot{m}_{14}h_{14} = \dot{m}_{15}h_{15} + \dot{m}_{22}h_{22}$	اواپراتور
$\dot{m}_{23} = \dot{m}_{20}, \dot{m}_{40} = \dot{m}_{41}$	$\dot{m}_{23}h_{23} + \dot{m}_{40}h_{40} = \dot{m}_{20}h_{20} + \dot{m}_{41}h_{41}$	كندانسور رانكين
$\dot{m}_{21} = \dot{m}_{20}$	$\eta_{ORCP} = \frac{\nu_{20} \left(P_{21} - P_{20} \right)}{h_{21} - h_{20}} \mathcal{W}_{ORCP} = \dot{m}_{21} \left(h_{21} - h_{20} \right)$	پمپ رانکین
$\dot{m}_{23} = \dot{m}_{22}$	$\eta_{ORCT} = \frac{h_{22} - h_{23}}{h_{22} - h_{23,s}} \dot{W}_{ORCT} = \dot{m}_{22} (h_{22} - h_{23})$	توربين رانكين
$\dot{m}_{13} = \dot{m}_{14}, \dot{m}_7 = \dot{m}_8$	$\dot{m}_{13}h_{13} + \dot{m}_7h_7 = \dot{m}_{14}h_{14} + \dot{m}_8h_8$	فوق گرمكن
$\dot{m}_{15} = \dot{m}_{16}$	$h_{15} = h_{16}$	شیر انبساط ۳
$\dot{m}_{18} = \dot{m}_{19}, \\ \dot{m}_{34} = \dot{m}_{35} + \dot{m}_{28}$	$\dot{m}_{34}h_{34} + \dot{m}_{18}h_{18} = \dot{m}_{35}h_{35} + \dot{m}_{28}h_{28} + \dot{m}_{19}h_{19}$	ژنراتور
$\dot{m}_{28} = \dot{m}_{29}, \dot{m}_{42} = \dot{m}_{43}$	$\dot{m}_{42}h_{42} + \dot{m}_{28}h_{28} = \dot{m}_{29}h_{29} + \dot{m}_{43}h_{43}$	كندانسور تبريد
$\dot{m}_{29} = \dot{m}_{30}$	$h_{29} = h_{30}$	شیر انبساط ۵
$\dot{m}_{30} = \dot{m}_{31}, \dot{m}_{44} = \dot{m}_{45}$	$\dot{m}_{44}h_{44} + \dot{m}_{30}h_{30} = \dot{m}_{31}h_{31} + \dot{m}_{45}h_{45}$	اواپراتور تبريد
$\dot{m}_{46} = \dot{m}_{47}, \dot{m}_{37} = \dot{m}_{31} + \dot{m}_{32}$	$\dot{m}_{46}h_{46} + \dot{m}_{37}h_{37} + \dot{m}_{31}h_{31} = \dot{m}_{47}h_{47} + \dot{m}_{32}h_{32}$	جاذب
$\dot{m}_{32} = \dot{m}_{33}$	$\eta_{ACP} = \frac{v_{32} (P_{33} - P_{32})}{h_{33} - h_{32}} \mathcal{W}_{ACP} = \dot{m}_{33} (h_{33} - h_{32})$	پمپ تبريد
$\dot{m}_{33} = \dot{m}_{34}, \dot{m}_{35} = \dot{m}_{36}$	$\dot{m}_{35}h_{35} + \dot{m}_{33}h_{33} = \dot{m}_{34}h_{34} + \dot{m}_{36}h_{36}$	مبدل حرارتی
$\dot{m}_{37} = \dot{m}_{36}$	$h_{36} = h_{37}$	شیر انبساط ۴
$\dot{m}_{17} = \dot{m}_{18}, \dot{m}_{24} = \dot{m}_{25}$	$\dot{m}_{24}h_{24} + \dot{m}_{17}h_{17} = \dot{m}_{18}h_{18} + \dot{m}_{25}h_{25}$	مبدل حرارتی الکترولایزر
$\dot{m}_{25} = \dot{m}_{26} + \dot{m}_{27}$	$\dot{E}_{electric} + \dot{m}_{25}h_{25} = \dot{m}_{27}h_{27} + \dot{m}_{26}h_{26}$	الکترولایزر غشای پروتونی

جدول ۳. روابط انرژی و روابط جرم برای چرخهی تولید همزمان Table 3. Mass and energy equations for the multi-generation cycle

سایر روابط انرژی برای اعضای سیستم تبرید جذبی لیتیم برماید ۳–۴- تحلیل اگزرژی در جدول ۳ آمده است.

اگزرژی یک جریان از مجموع اگزرژیهای فیزیکی، شیمیایی،



شکل ۲. فلوچارت خلاصه تحلیل Fig. 2. Flow chart of the summary analysis

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{HPT} + \dot{W}_{LPT} + \dot{W}_{ORCT} - \left(\dot{W}_{FP} + \dot{W}_{ACP} + \dot{W}_{ORCP} + \dot{E}_{electric} \right)$$

$$(\Upsilon \Delta)$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_{net} + \dot{m}_{H_2} LHV + \dot{Q}_{cooling}}{\dot{m}_1 (h_1 - h_0) + \dot{m}_{13} (h_{13} - h_0)}$$
(YF)

$$\dot{Q}_{cooling}$$
 که LHV ارزش حرارتی پایین سوخت هیدروژن بوده و $\dot{Q}_{cooling}$ ، مقدار سرمایش چرخه بوده که طبق رابطهی زیر حاصل میگردد: $\dot{Q}_{cooling} = \dot{m}_{44} \left(h_{44} - h_{45}
ight)$ (۲۷)

بازده اگزرژی چرخه و نرخ اگزرژی سرمایش چرخهی پیشنهادی طبق روابط زیر ارائه میشوند [۱۴ و ۲۲]:

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{W}_{net} + \dot{E}x_{26} + \dot{E}x_{cooling}}{\dot{E}x_1 + \dot{E}x_{13}}$$
(YA)

$$\dot{Ex}_{cooling} = \dot{Ex}_{45} - \dot{Ex}_{44} \tag{(Y9)}$$

با در نظر گرفتن روابط گفته شده برای قسمتهای مختلف چرخهی تولید همزمان و روابط موجود در جدول ۳ و فرضیات در نظر گرفته شده، تحلیل انرژی و اگزرژی همانند فلوچارت شکل ۲ با استفاده از نرمافزار حل معادلات مهندسی^۱ انجام میشود [۲۸]. پس از به دست آمدن مشخصات ترمودینامیکی برای جریانهای مختلف، برای تأثیرگذاری پارامترهای مختلف روی عملکرد چرخهی تولید همزمان یک بررسی پارامتریک جامع انجام میگیرد. پتانسیل و جنبشی تشکیل شده است. مقدار اگزرژی فیزیکی برای هر جریان طبق رابطه زیر حاصل میگردد [۲۶]:

$$\dot{Ex}_{ph} = \dot{m} \left(h - h_0 - T_0 \left(s - s_0 \right) \right)$$
(YY)

با توجه به صرفنظر کردن از اگزرژی جنبشی و پتانسیل، مقدار اگزرژی کل برای هر جریان طبق معادله (۲۳) حاصل می شود [۲۷]:

$$\dot{Ex}_{total,i} = \dot{Ex}_{ph,i} + \dot{Ex}_{ch,i}$$
(TT)

که در رابطهی بالا *Ex*_{ch}، مقدار اگزرژی شیمیایی میباشد. همچنین در این مطالعه ex_{ch,H}, و ex_{ch,Q} به ترتیب برابر ۲۳۸ و ۳/۹۷۳ کیلوژول بر مول در نظر گرفته شده و برای سایر جریانها صفر در نظر گرفته شده است [۲۷].

مقدار تخریب اگزرژی با در نظر گرفتن حجم کنترل برای هر عضو طبق رابطهی زیر حاصل می گردد [۲۶]:

$$\dot{Ex}_{D} = \dot{Ex}_{F} - \dot{Ex}_{P} \tag{(14)}$$

که در رابطهی بالا _F یا گزرژی سوخت و Ex اگزرژی محصول بیان می گردند.

توان خالص و بازده حرارتی چرخه تولید همزمان طبق روابط زیر حاصل می گردد [۱۴ و ۲۲]:

¹ Engineering Equation Solver (E.E.S)

					e	U			
دبی (kJ/kgK)		آنتالپی (kJ/kg)		فشار (kPa)		دما (C°)			
[۲۰ و ۲۱]	کار حاضر	[۲۰ و ۲۱]	کار حاضر	[۲۰ و ۲۱]	کار حاضر	[۲۰ و ۲۱]	کار حاضر	حالت	
۵۷	۵۷	110.	110.	۱۰۷۲	١٠٧٢	۱۸۳	182/980	١	
۵۷	۵۷	110.	110.	٨٠٠	٨٠٠	۱۷۰/۴	180/666	٢	
11/94	11/988	2789	222/142	٨٠٠	٨٠٠	۱۷۰/۴	180/666	٣	
11/94	11/988	2402	7401/91.	٩٢	٩٢	۹٧/٣٢	97/312	۴	
40/08	40/084	۲/۱۲۷	VT1/TT5	٨٠٠	٨٠٠	۱۷۰/۴	180/666	۵	
40/08	40/084	۲/۱۲۷	VT1/TT5	٩٢	٩٢	۹٧/٣٢	97/312	۶	
۶/۲۵	8/201	7871	7881/480	٩٢	٩٢	٩٧/٣٢	97/312	۷	
۶/۲۵	8/201	۲۷۸۶	27786/21	٩٢	٩٢	۱۵۵	154/922	٨	
۱۸/۱۹	۱۸/۱۸۷	2021	2010/176	٩٢	٩٢	۹٧/٣٢	97/312	٩	
۱۸/۱۹	۱۸/۱۸۷	777.	7789/847	٧/٣٨	٧/٣٨ ١	۴.	۴.	١٠	
۱۸/۱۹	۱۸/۱۸۷	180/0	۱۶۷/۵۰۳	٧/٣٨	٧/٣٨ ١	4.	۴.	11	

جدول ۴. اعتبار سنجی چرخه تبخیر آنی دومرحلهای چاههای سبلان Table 4. Verification of simulation the double flash cycle from Sabalan geothermal wells



شکل ۳. اعتبار سنجی الف) چرخهی رانکین آلی، ب) چرخهی تبرید جذبی ج) تولید هیدروژن Fig. 3. Verification of simulation for a) the organic Rankine cycle b) the absorption refrigeration c) the hydrogen production

۵–۳- اعتبارسنجی با توجه به این که آرایش پیشنهادی از چهار قسمت سیستم برای تولید هیدروژن و سیستم تبرید جذبی لیتیم برماید برای

اگزرژی (kW)	آنتروپی (kJ/kg)	آنتالپی (kJ/kgK)	غلظت ليتيم برمايد (%)	دبی (kg/s)	فشار (bar)	دما (K)	سيال	
18078	۲/۹۸۸	110.	_	۵۷	۱۰/۷۲	408/1	زمینگرمایی	١
18412	४/९९४	110.	_	۵۷	١.	402/1	زمینگرمایی	٢
٩۶۵۵	۶/۵۸۶	۲۷۷۸	_	۱۰/۹۵	١٠	492/1	زمینگرمایی	٣
999N	8/894	2026	-	۱۰/۹۵	٢	۳۹۳/۴	زمینگرمایی	۴
۶۸۲۳	۲/۱۳۹	V&L/9	-	۴۶/۰۵	١٠	422/1	زمینگرمایی	۵
8197	۲/۱۸۶	V&L/9	-	۴۶/۰۵	٢	۳۹۳/۴	زمین گرمایی	۶
8088	V/) Y V	۲۷۰۷	-	۱۰/۰۳	٢	۳۹۳/۴	زمین گرمایی	٧
8772	٧/٣٠٣	۲۷۷۹	-	۱۰/۰۳	٢	427/1	زمین گرمایی	٨
12628	<i>۶</i> /٩ ⋏ ٩	7807	_	۲۰/۹۸	٢	898/4	زمین گرمایی	٩
1498	V/TVV	5180	-	۲۰/۹۸	•/•٣١۶٩	T9X/T	زمین گرمایی	١٠
۱۲/۸۶	۰/۳۶۷	۱۰۴/۸	-	۲۰/۹۸	•/•٣١۶٩	T9X/T	زمین گرمایی	11
۱۵/۳۲	۰/۳۶۷	۱۰۴/۹	-	۲۰/۹۸	١/٢	T9X/T	زمین گرمایی	١٢
18920	T/91T	11	-	۵۳	Y	۴۳۸/۱	زمین گرمایی	۱۳
13872	۲/۸۸	۱۰۸۶	-	۵۳	۷	۴۳۸/۱	زمین گرمایی	14
8814	१/९९٣	897/4	-	۵۳	Y	۴۳۸/۱	زمین گرمایی	۱۵
۶۱۹۸	۲/•۲	897/4	-	۵۳	٢	۳۹۳/۴	زمین گرمایی	18
2726	١/۵٣	۵۰۴/۸	-	٨٩/•٢	٢	۳۹۳/۴	زمین گرمایی	١٧
2117	١/٢٩١	417/1	-	٨٩/•٢	٢	۳۷۱/۷	زمین گرمایی	١٨
۲۳۸۵	۱/•۷۵	۳۳۴/۸	-	٨٩/•٢	٢	۳۵۳/۱	زمین گرمایی	١٩
17/49	١/•٩٢	228/2	-	18/24	•/9180	T9X/T	RITT	۲.
۲۳/۰۹	۱/• ۹Y	KKN/9	-	18/24	۲۲/۹۳	۲۹۹/۱	RITT	٢١
۵۳۷۴	١/٧١١	488/9	-	18/24	۲۲/۹۳	427/1	RITT	77
۶۷۸/۹	1/784	419/9	-	18/24	۰/۹۱۶۵	۳۲۸/۴	Ritt	۲۳
٠	•/7747	۶۳/۰ ۱	-	٣٠	١	۲۸۸/۲	آب	74
٨٠١/٩	۱/•۷۵	۳۳۵	-	٣٠	١	۳۵۳/۲	آب	۲۵
424/1	۵۵/۸۶	4722	-	•/••٣۶٨١	١	307/5	هيدروژن	78
٣/٧٩٩	٠/١۵٩	۵٠/۵	-	•/•۲۹۲١	١	307/5	اكسيژن	۲۷
۳۸۰/۷	٨/۶٠٩	780.	-	۲/۲۳۴	•/•۵۶۲۷	۳۵۳/۲	آب	۲۸
۵/۹۹	•/ Δ •Δ	148/8	-	7/784	•/•۵۶۲۷	۳•λ/۲	آب	29
-8/842	•/37VV	148/8	-	7/784	•/•• ٨٧٢۶	۲۷۸/۲	آب	۳۰
-۱۹۸/۴	9/•74	2010	-	7/784	•/•• ٨٧٢۶	۲۷۸/۲	آب	۳۱
86/98	•/7117	٨۵/٢٩	•/۵۵۲۸	78/98	•/•• ٨٧٢۶	۳ • ۸/۲	ليتيم برمايد-آب	٣٢
84/94	•/7117	٨۵/٢٩	·/۵۵۲۸	78/98	•/•۵۶۲۷	۳• ٨/٢	ليتيم برمايد-آب	٣٣
۱۸۷/۳	•/٣٨٣٣	۱۴۰/۵	•/۵۵۲۸	78/98	•/•۵۶۲۷	٣٣۵/٣	ليتيم برمايد-آب	٣۴
۲۸۸/۱	۰/۴۵۰۸	۱۹۵/۸	۰ <i>/۶</i> ۰۲۸	741	•/•۵۶۲۷	۳۵۳/۲	ليتيم برمايد-آب	۳۵
۷۳/۰۴	• / Y Y Y	۱۳۵/۶	• /8 • TA	7 <i>4</i> /V	•/•0827	۳۲ ۱/۷	ليتيم برمايد-آب	۳۶

جدول ۵. مشخصات خواص نقاط مختلف چرخهی تولید همزمان پیشنهادی Table 5. Calculated thermodynamic properties of the streams

۱۴۰۰، صفحه ۱۳۵ تا ۱۵۴	۱، سال	۵۳، شماره	امیر کبیر، دورہ	مکانیک ا	شريه مهندسي	3
-----------------------	--------	-----------	-----------------	----------	-------------	---

<i>۶۶/۶۹</i>	•/۲۶۹۷	180/8	•/8•41	7 <i>۴</i> /V	•/••٨٧٢۶	۳۱۸/۵	ليتيم برمايد-آب	۳۷
•	•/7747	۶۳/۰۱	_	7.97	١	۲۸۸/۲	آب	۳۸
۳۷۰/۸	•/۲٩۶۲	٨٣/٩٣	_	7.97	١	T93/T	آب	۳۹
•	•/7747	۶۳/۰۱	_	۲۹۸/۴	١	۲۸۸/۲	آب	۴.
143/7	•/۲٩۶۲	٨٣/٩٣	_	۲۹۸/۴	١	T93/T	آب	41
•	•/7747	۶۳/۰۱	_	۲۶۷/۳	١	۲۸۸/۲	آب	47
۴۷/۹۶	•/۲٩۶۲	٨٣/٩٣	_	۲۶۷/۳	١	T93/T	آب	۴۳
٧/٣۵٧	٠/١٩۵١	54/84	_	202/2	١	278/2	آب	44
91/78	•/1717	۳۳/۷۱	_	202/2	١	۲۸۱/۲	آب	۴۵
•	•/7747	۶۳/۰۱	-	311/1	١	7/7/7	آب	49
۵۷/۱۱	•/۲٩۶۲	۸۳/۹۳	-	311/1	١	LAL /L	آب	۴۷

سرمایش استفاده شده، اعتبار سنجی برای هر چهار قسمت به صورت جداگانه با توجه به عدم وجود یک آرایش شبیه به چرخهی تولید همزمان پیشنهادی، انجام گرفته است. نتایج چرخه تبخیر آنی دومرحلهای (برای نیروگاه زمینگرمایی سبلان) با مطالعه عالی و همکاران [۲۰ و ۲۱]، چرخه رانکین آلی (برای شرایط دمای منبع زمین گرمایی ۱۲۰ درجهی سلسیوس و دبی جرمی ۱۰۰ کیلوگرم برثانیه) با بررسی یاری و همکاران [۲۹]، چرخه تبرید جذبی (برای شرایط دمای اواپراتور ۴ درجهی سلسیوس، دمای کندانسور ۳۳ درجهی سلسیوس، فشار محیط ۱ بار و دمای محیط ۲۵ درجهی سلسیوس) با مطالعه گمری [۸] و قسمت الکترولایزر غشا پروتونی (برای شرایط دمای محیط ۵۲ درجهی سلسیوس، دمای الکترولایزر نی و همکاران [۷] مقایسه شده است، نتایج ارائهشده در جدول ۴ و مچنین شکل ۳ نشان از صحت فرایند شبیه ازی در این مطالعه دارد.

۴- نتایج و بحث

برای حالت اولیه (برای شرایط فشار جداساز اول ۱۰ بار، فشار جداساز دوم ۲ بار، دمای الکترولایزر ۸۰ درجهی سلسیوس، دمای اختلاف نقطه تنگش ۱۰ درجهی سلسیوس و نصف استفاده از توان چرخهی رانکین برای تولید هیدروژن در سیستم الکترولایز) سیال عامل آلی R۱۲۳ یک بررسی کلی با توجه به روابط موجود در جدول ۳ و فرضیات گفته شده در قسمت قبلی برای چرخهی تولید همزمان پیشنهادی انجام شده است. برای این حالت، مشخصات ترمودینامیکی

سیالها (دما، دبی، فشار، آنتالپی، آنتروپی و …) در جدول ۵ آمده است. توان خالص تولیدی ۱۴۷۴۹ کیلووات، بازده حرارتی ۲۲/۳۴ درصد، تولید هیدروژن ۱۳/۲۵ کیلوگرم بر ساعت، سرمایش ۱۰۹۲۵ کیلووات، بازده اگزرژی ۲۰/۶۲ درصد و تخریب اگزرژی کل چرخهی تولید همزمان ۱۲۶۴۹ کیلووات حاصل شدهاند. درواقع برای این حالت ۷۷/۶۶ درصد از انرژی ورودی به چرخهی تولید همزمان توسط چاهها اتلاف شده است.

۱-۴- نتایج مطالعه پارامتری

برای چرخه یتولید همزمان، تأثیر پارامترهای مختلف (همانند فشار جداساز اول و دوم، دمای اواپراتور چرخه ی رانکین، اختلاف دمای نقطه یتنگش، دمای مبدل غشا پروتونی، نسبت کار ورودی، دمای ژنراتور و دمای محیط) بر پارامترهای عملکردی چرخه همچون توان خالص، تولید هیدروژن، سرمایش، بازده حرارتی و بازده اگزرژی انجام شده است. تأثیر تغییر فشار جداساز اول روی توان خالص، تولید همدروژن، سرمایش و بازدههای حرارتی و اگزرژی چرخه ی تولید همزمان در شکل ۴ به نمایش درآمده است. با افزایش فشار جداساز اول تا فشار سر چاه ۱۰/۷۲ بار، مقدار کیفیت و به تبع آن دبی عبوری فشار بالا افزایش پیدا می کند. افزایش آنتالپی ورودی توربین فشار بالا افزایش پیدا می کند. افزایش آنتالپی بر کاهش دبی غلبه کرده و باعث می شود تا توان توربین فشار بالا افزایش یابد. با کاهش دبی نقطه ۳، دبی مایع اشباع نقطه ۵ افزایش و به تبع آن دبی بخار



شكل ۴. تأثير فشار جداساز اول روى هيدروژن توليدى، توان خالص، بازده حرارتى، بازده اگزرژى و سرمايش Fig. 4. Effects of the first separator pressure on the hydrogen production, net output power, thermal efficiency, exergy efficiency and cooling



شکل ۵. تأثیر فشار جداساز دوم روی هیدروژن تولیدی، توان خالص، بازده حرارتی، بازده اگزرژی و سرمایش Fig. 5. Effects of the second separator pressure on the hydrogen production, net output power, thermal efficiency, exergy efficiency and cooling

اشاره شد با افزایش فشار، دبی نقطه ۵ و به تبع آن دبی مایع اشباع خروجی جداساز دوم افزایش پیدا کرده و باعث می شود دبی سیستم تبرید جذبی افزایش یابد و طبق رابطه (۲۷) مقدار سرمایش چرخه تولید همزمان افزایش یابد. در رابطه (۲۶) افزایش کار خالص و سرمایش بر کاهش تولید هیدروژن غلبه کرده و باعث می شود با افزایش فشار تا فشار سر چاه اول بازده حرارتی تا ۲۴/۱۸ درصد افزایش یابد. همچنین با افزایش اگزرژی مربوط به تولید توان و سرمایش مطابق رابطه (۲۸) با افزایش فشار جداساز اول، مقدار بازده اگزرژی نیز تا ۵/۵۵ درصد افزایش می یابد. بیشتری از سیال خروجی از چاه دوم در فوق گرم کن گرفته شده و انرژی نقطه ۱۴ یا انرژی ورودی به اواپراتور چرخه رانکین کمتر شود و این کاهش باعث کاهش توان چرخه رانکین آلی میشود. افزایش توان توربین فشار بالا بر کاهش توان چرخه رانکین آلی غلبه کرده و باعث میشود توان خالص چرخه مطابق شکل ۴ تا ۱۴۷۰۰ کیلووات افزایش یابد. همان طور که گفته شد توان چرخه رانکین آلی کاهش پیدا کرده و طبق روابط (۸) و (۳) انرژی الکتریکی مورد نیاز برای واکنش الکتروشیمیایی و به تبع آن چگالی جریان و تولید هیدروژن کمتر میشود. همان طور که



شکل ۶. تأثیر دمای اواپراتور چرخه رانکین روی هیدروژن تولیدی، توان خالص، بازده حرارتی، بازده اگزرژی و سرمایش Fig. 6. Effects of the evaporator temperature on the hydrogen production, net output power, thermal efficiency, exergy efficiency and cooling



شکل ۷. تأثیر اختلاف دمای نقطه تنگش اواپراتور روی هیدروژن تولیدی، توان خالص، بازده حرارتی، بازده اگزرژی و سرمایش Fig. 7. Effects of the evaporator pinch point temperature difference on the hydrogen production, net output power, thermal efficiency, exergy efficiency and cooling

افزایش مییابد. افزایش فشار جداساز دوم نیز همانند جداساز دوم باعث افزایش دبی نقطه ۱۷ میشود و مطابق مطالب گفته شده باعث افزایش سرمایش خواهد شد. از طرفی روند موجود برای سرمایش، توان و تولید هیدروژن باعث میشود که بازده حرارتی و بازده اگزرژی مطابق شکل ۵ روندی افزایشی داشته باشند.

تأثیر دمای اواپراتور چرخهی رانکین روی توان خالص، تولید هیدروژن، سرمایش و بازدههای حرارتی و بازده اگزرژی چرخهی تولید همزمان در شکل ۶ نشان داده شده است. با افزایش دمای اواپراتور، مقدار انرژی ورودی به چرخه رانکین افزایش پیدا کرده و تأثیر تغییر فشار جداساز دوم روی پارامترهای عملکردی چرخهی تولید همزمان در شکل ۵ به نمایش درآمده است. با افزایش فشار جداساز دوم، مقدار دبی عبوری نقطه ۷ کاهش پیدا کرده ولی از طرف دیگر فشار و آنتالپی نقطه ۷ افزایش پیدا میکند. این روند باعث افزایش توان توربین فشار پایین و کاهش توان توربین فشار بالا شده و باعث میشود توان خالص دارای یک نقطه بهینه در فشار ۱ بار مطابق شکل ۵ باشد. از طرفی افزایش فشار جداساز دوم باعث افزایش توان چرخه رانکین شده و به تبع آن انرژی الکتریکی مورد نیاز برای واکنش الکتروشیمیایی افزایش و درنتیجه تولید هیدروژن



شکل ۸. تأثیر دمای مبدل غشا پروتونی روی هیدروژن تولیدی، توان خالص، بازده حرارتی، بازده اگزرژی و سرمایش Fig. 8. Effects of the proton exchange membrane temperature on the hydrogen production, net output power, thermal efficiency, exergy efficiency and cooling





در شکل ۷ تأثیر اختلاف دمای نقطهی تنگش روی توان خالص، تولید هیدروژن، سرمایش و بازدههای حرارتی و اگزرژی چرخهی تولید همزمان نشان داده شده است و نشان میدهد که با افزایش اختلاف دمای نقطهی تنگش، مقدار دمای ورودی توربین چرخهی رانکین کاهش پیدا میکند. این روند باعث کاهش توان خالص و تولید هیدروژن شده و درنتیجه باعث کاهش بازدههای حرارتی و اگزرژی چرخهی تولید همزمان خواهد شد. ازاینرو انتخاب مبدلی با اختلاف دمای نقطهی تنگش کمتر که گرانتر بوده تأثیر بسیار باعث میشود تا توان توربین چرخه رانکین و به تبع آن کار خالص چرخه و انرژی الکتریکی مورد نیاز برای واکنش الکتروشیمیایی افزایش پیدا کند و در این حالت، همان طور که در بخش قبل گفته شد، تولید هیدروژن افزایش خواهد یافت. همچنین طبق رابطههای (۲۶) و (۲۸) بازدههای حرارتی و اگزرژی چرخه یتولید همزمان با افزایش مقدار تولید هیدروژن افزایش پیدا می کنند. افزایش دمای اواپراتور چرخه ی رانکین روی سیستم تبرید جذبی تأثیری ندارد و باعث می شود که تولید سرمایش مقدار ثابتی داشته باشد.

مناسبی روی عملکرد چرخهی تولید همزمان خواهد داشت.

تأثیر افزایش دمای مبدل غشایی روی توان خالص، تولید هیدروژن، سرمایش و بازدههای حرارتی و اگزرژی چرخهی تولید همزمان در شکل ۸ آمده است. با افزایش دمای مبدل غشایی مقدار چگالی جریان افزایش پیدا کرده و بهتبع آن مقدار هیدروژن تولیدی افزایش می یابد. همچنین با افزایش دمای مبدل غشایی، دمای نقطه ۱۸ کمتر شده و درنتیجه طبق بقای انرژی، دبی چرخه تبرید جذبی ۸۸ کمتر شده و درنتیجه طبق بقای انرژی، دبی چرخه تبرید جذبی به ثابت بودن توان خالص چرخه، کاهش سرمایش بر افزایش مؤلفه به ثابت بودن توان خالص چرخه، کاهش سرمایش بر افزایش مؤلفه کمتر شده و اولید سرمایش کاهش پیدا می کند. همچنین با توجه به ثابت بودن توان خالص چرخه، کاهش سرمایش بر افزایش مؤلفه کمتر شده و تولید سرمایش کاهش پیدا می کند. همچنین با توجه به ثابت بودن توان خالص چرخه، کاهش سرمایش بر افزایش مؤلفه کمتر شده و اولید مرایش کاهش می داده حرارتی چرخه حرارتی و اگزرژی در دمای مبدل غشایی ۱۰۰ سلسیوس، به ترتیب به درارتی و اگزرژی در دمای مبدل غشایی ۱۰۰ سلسیوس، به ترتیب به

اثر نسبت کار ورودی مبدل غشایی به کار تولیدی چرخهی رانکین آلی روی پارامترهای عملکردی چرخهی تولید همزمان در شکل ۹ ارائه شده است. با افزایش این نسبت، مقدار انرژی ورودی الکترولایزر غشاء پروتونی و بهتبع آن چگالی جریان و درنتیجه مقدار دبی هیدروژن تولیدی افزایش مییابد، ولی از سوی دیگر صرف انرژی کامل برای فرایند انرژی واکنش شیمیایی الکترولایزر، توان خالص چرخه را کاهش میدهد. کاهش توان خالص چرخه بر افزایش

 $\dot{m}_{H_{\gamma}}LHV$ غلبه کرده و باعث میشود تا بازده حرارتی چرخه نیز کاهش یابد. همین طور کاهش اگزرژی مربوط به کار خالص چرخه نیز بر افزایش $c_{x\gamma}$ غلبه کرده و درنتیجه بازده اگزرژی چرخهی تولید همزمان نیز کاهش مییابد. به ازای مقدار استفاده کامل از کار توربین چرخهی رانکین برای انرژی الکترولایزر در سیستم غشاء پروتونی توان خالص، تولید هیدروژن، سرمایش، بازده حرارتی و بازده اگزرژی چرخهی تولید همزمان به ترتیب به مقادیر ۱۲۶۰۰ کیلووات، ۱۰۹۰۰ کیلوگرم بر ساعت، ۱۰۹۰۰ کیلووات، ۲۰/۸ درصد و ۴۴/۵ درصد میرسند.

در شکل ۱۰ تأثیر دمای ژنراتور روی توان خالص، تولید هیدروژن، سرمایش و بازدههای حرارتی و اگزرژی چرخهی پیشنهادی بررسی شده است. با افزایش دمای ژنراتور تا ۸۰ درجهی سلسیوس، مقدار سرمایش تولیدی توسط چرخهی تبرید جذبی روندی شبیه شکل

۳ب دارد. با توجه به مستقل بودن هیدروژن تولیدی و توان خالص چرخه از دمای ژنراتور، روند تغییرات بازده حرارتی و اگزرژی با دمای ژنراتور بر اساس رابطه (۲۶) و (۲۸) روندی مطابق با روند سرمایش تولیدی خواهد بود.

تأثیر افزایش دمای محیط روی توان خالص، تولید هیدروژن، سرمایش و بازدههای حرارتی و اگزرژی چرخهی پیشنهادی در شکل ۱۱ به نمایش درآمده است. توان خالص چرخه و هیدروژن تولیدی با افزایش دمای محیط مقدار ثابتی دارند ولی با افزایش دمای محیط مقدار سرمایش تولیدی افزایش مییابد و درنتیجه به علت افزایش تولید سرمایش و کاهش مخرج روابط (۲۶) و (۲۸) بر اثر افزایش دمای محیط، بازدههای حرارتی و اگزرژی نیز افزایش پیدا کرده و به مقادیر ۲۳ و ۵۱ درصد میرسند.

۴– نتیجهگیری

در این مقاله یک چرخهی تولید همزمان جدید با منبع گرمایی چاههای زمینگرمایی سبلان و بهصورت ترکیب تبخیر آنی دومرحلهای، چرخهی رانکین آلی، تبرید جذبی و سیستم الکترولایزر غشاء پروتونی برای تولید همزمان توان، هیدروژن و سرمایش معرفی شد. پس از انجام مدلسازی، جمعبندی نتایج حاصل شده در زیر آمده است:

-برای حالت اولیه مورد بررسی برای چرخهی تولید همزمان، توان خالص تولیدی ۱۴۷۴۹ کیلووات، بازده حرارتی ۲۲/۳۴ درصد، تولید هیدروژن ۱۳/۲۵ کیلوگرم بر ساعت، سرمایش ۱۰۹۲۵ کیلووات و بازده اگزرژی ۵۰/۶۲ درصد به دست آمدند.

-افزایش فشار جداساز اول باعث کاهش هیدروژن تولیدی شده درحالی که توان خالص، سرمایش و بازده حرارتی چرخهی تولید همزمان افزایش مییابند. برای فشار جداساز ۱۰/۷۲ بار، توان خالص تولیدی، تولید هیدروژن، سرمایش، بازده حرارتی و بازده اگزرژی به ترتیب ۱۴۷۰۰ کیلووات، ۱۳/۲۵ کیلوگرم بر ساعت، ۱۲۹۸۵ کیلووات، ۲۴/۱۸ درصد و ۵۰/۵ درصد حاصل شده است.

-توان خالص و بازده اگزرژی برای فشار جداساز دوم دارای مقادیر بهینه در فشار تقریباً ۱ بار میباشند، درحالی که با افزایش فشار جداساز دوم مقدار هیدروژن، سرمایش و بازده حرارتی افزایش مییابند.



شکل ۱۰. اثر دمای ژنراتور روی هیدروژن تولیدی، توان خالص، بازده حرارتی، بازده اگزرژی و سرمایش Fig. 10. Effects of the generator temperature on the hydrogen production, net output power, thermal efficiency, exergy efficiency and cooling



شکل ۱۱. اثر دمای محیط روی هیدروژن تولیدی، توان خالص، بازده حرارتی، بازده اگزرژی و سرمایش Fig. 11. Effects of the ambient temperature on the hydrogen production, net output power, thermal efficiency, exergy efficiency and cooling

-در این بررسی مقادیر بیشینه برای دمای اواپراتور چرخه رانکین آلی و کمینه برای اختلاف نقطه تنگش برای عملکردهای چرخهی تولید همزمان مطلوب ارزیابی گردید.

-به ازای استفاده کامل از کار توربین چرخه یرانکین برای انرژی الکترولایزر در سیستم غشاء پروتونی، توان خالص، تولید هیدروژن، سرمایش، بازده حرارتی و بازده اگزرژی چرخه ی تولید همزمان به ترتیب ۱۲۶۰۰ کیلووات، ۲۰ کیلوگرم بر ساعت، ۱۰۹۰۰ کیلووات، ۲۰/۸ درصد و ۴۴/۵ درصد حاصل می شوند.

-تولید هیدروژن و توان تولیدی چرخه تولید همزمان با افزایش دمای ژنراتور ثابت مانده درحالی که سرمایش تولیدی، بازدههای حرارتی و اگزرژی تا دمای ۸۰ درجهی سلسیوس ابتدا افزایش یافته و سپس تقریباً ثابت باقی میمانند.

-تولید هیدروژن و توان خالص مستقل از دمای محیط بوده درحالی که تولید سرمایش و بازده حرارتی و بازده اگزرژی چرخهی تولید همزمان با افزایش دمای محیط تا ۲۰ درجه سلسیوس، افزایش مییابند. در این حالت بازده حرارتی به ۲۳ درصد و بازده اگزرژی به

۵۱ درصد میرسد.

فهرست علائم

علائم انگلیسی

AB	جاذب
AC	سیستم تبرید
D	ضخامت، µm
$E_{\rm electrolic}$	توان داده شده به الکترولایزر، kW
E_{product}	توان داده شده به مصرف مستقیم، kW
$E_{\text{act,i}}$ $i = a, c$	انرژی فعالسازی کاتد و آند. kJ/mol
F	ثابت فارادی، C/mol
G	انرژی آزاد گیبس، J/mol
GEN	ژنراتور
h	آنتالپی مخصوص، kJ/kg
H.E.	مبدل
H.P.W.	چاہ فشار بالا
$J_{i,.}$ $i = a, c$	$\mathrm{A/m}^{^{Y}}$ چگالی جریان مبدل،
J_i^{ref} $i = a, c$	$\mathrm{A/m^7}$ فاكتور پتانسيل اوليه اند و كاتد،
J	چگالی جریان، ^۲
L.P.W.	چاہ فشار پایین
m	دبی جرمی، kg/s
\dot{N}	دبی مولی، mol/s
Р	فشار، bar
Ų	آهنگ گرما، kW
R	ثابت جهانی گازها، kJ/kgK
$R_{\rm PEM}$	Ω مقاومت اهمیک، Ω
S	آنتروپی مخصوص، kJ/kgK
Т	دما، K
$T_{\rm PEM}$	دماي الكترولايزر، K
$V_{.}$	پتانسیل برگشتپذیر، V
$V_{\text{act},i} i = a, c$	پتانسیل فعالکننده آند و کاتد، V
x	غلظت لیتیم برماید در مخلوط
علائم يونانى	
η_{th}	بازده حرارتی، ٪

راندمان آيزنتروپيک پمپ، ٪	η_P
راندمان آيزنتروپيک توربين، ٪	η_T
رسانایی محلی غشای مبدل پروتونی، s/m	σ
Ω^{-1} آب موجود در سطح غشای آند و کاتد،	λ

زيرنويس

آند	a
کاتد، جریان سرد	С
جریان گرم	С
اواپراتور	EV
ورودى	i
آند	a
کاتد، جریان سرد	С
چرخه کالینا	KC
خروجى	0
اهمیک	ohm
پمپ	Р
نقطه تنگش	pp
الكترولايزر غشا پروتونى	PEM
توربين	Т

منابع

- A. Coskun, A. Bolatturk, M. Kanoglu, Thermodynamic and economic analysis and optimization of power cycles for a medium temperature geothermal resource, *Energy conversion and management*, 78 (2014) 39-49.
- [2] A.D. Pasek, T.F. Soelaiman, C. Gunawan, Thermodynamics study of flash-binary cycle in geothermal power plant, *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(9) (2011) 5218-5223.
- [3] M.F. Orhan, B.S. Babu, Investigation of an integrated hydrogen production system based on nuclear and renewable energy sources: Comparative evaluation of hydrogen production options with a regenerative fuel cell system, *Energy*, 88 (2015) 801-820.
- [4] T. Özgür, A.C. Yakaryılmaz, A review: Exergy analysis of PEM and PEM fuel cell based CHP systems, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(38) (2018) 17993-18000.
- [5] A.T. Pham, T. Baba, T. Shudo, Efficient hydrogen

- [14] P. Ahmadi, I. Dincer, M.A. Rosen, Thermodynamic modeling and multi-objective evolutionary-based optimization of a new multigeneration energy system, *Energy Conversion and Management*, 76 (2013) 282-300.
- [15] P. Ahmadi, I. Dincer, M.A. Rosen, Development and assessment of an integrated biomass-based multigeneration energy system, *Energy*, 56 (2013) 155-166.
- [16] I. Dincer, C. Zamfirescu, Renewable-energy-based multigeneration systems, *International Journal of Energy Research*, 36(15) (2012) 1403-1415.
- [17] M. Ameri, S. Amanpour, S. Amanpour, Energy and exergy analysis and optimization of a double flash power plant for Meshkin Shahr region, in: World Renewable Energy Congress-Sweden; 8-13 May; 2011; Linköping; Sweden, Linköping University Electronic Press, 2011, pp. 1297-1304.
- [18] S. Jalilinasrabady, R. Itoi, P. Valdimarsson, G. Saevarsdottir, H. Fujii, Flash cycle optimization of Sabalan geothermal power plant employing exergy concept, *Geothermics*, 43 (2012) 75-82.
- [19] S.M. Bina, S. Jalilinasrabady, H. Fujii, Thermo-economic evaluation of various bottoming ORCs for geothermal power plant, determination of optimum cycle for Sabalan power plant exhaust, *Geothermics*, 70 (2017) 181-191.
- [20] A. Aali, N. Pourmahmoud, V. Zare, Proposal and Analysis of a New Cycle for Power Generation from Sabalan Geothermal Wells, *Journal of Mechanical Engineering University of Tabriz*, 47(3) (2017) 139-147. (in Persian).
- [21] A. Aali, N. Pourmahmoud, V. Zare, Exergy Analysis of a New Proposed Cycle for Power Generation from Sabalan Geothermal Wells, *Journal of Mechanical Engineering University of Tabriz*, 48(1) (2018) 251-260. (in Persian).
- [22] A. Aali, N. Pourmahmoud, V. Zare, Exergoeconomic analysis and multi-objective optimization of a novel combined flash-binary cycle for Sabalan geothermal power plant in Iran, *Energy Conversion and Management*, 143 (2017) 377-390.
- [23] m. abdolalipouradl, S. Khalilarya, s. jafarmadar, Exergy analysis of a new proposal combined cycle from Sabalan geothermal source, *Modares Mechanical Engineering*,

production from aqueous methanol in a PEM electrolyzer with porous metal flow field: influence of change in grain diameter and material of porous metal flow field, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(24) (2013) 9945-9953.

- [6] R. García-Valverde, N. Espinosa, A. Urbina, Simple PEM water electrolyser model and experimental validation, *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(2) (2012) 1927-1938.
- [7] M. Ni, M.K. Leung, D.Y. Leung, Energy and exergy analysis of hydrogen production by a proton exchange membrane (PEM) electrolyzer plant, *Energy conversion* and management, 49(10) (2008) 2748-2756.
- [8] R. Gomri, Second law comparison of single effect and double effect vapour absorption refrigeration systems, *Energy Conversion and Management*, 50(5) (2009) 1279-1287.
- [9] M. Jradi, S. Riffat, Tri-generation systems: Energy policies, prime movers, cooling technologies, configurations and operation strategies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32 (2014) 396-415.
- [10] V. Zare, A comparative thermodynamic analysis of two tri-generation systems utilizing low-grade geothermal energy, *Energy Conversion and Management*, 118 (2016) 264-274.
- [11] H. Ghaebi, A.S. Namin, H. Rostamzadeh, Performance assessment and optimization of a novel multi-generation system from thermodynamic and thermoeconomic viewpoints, *Energy Conversion and Management*, 165 (2018) 419-439.
- [12] H. Ghaebi, T. Parikhani, H. Rostamzadeh, B. Farhang, Proposal and assessment of a novel geothermal combined cooling and power cycle based on Kalina and ejector refrigeration cycles, *Applied Thermal Engineering*, 130 (2018) 767-781.
- [13] Y.E. Yuksel, M. Ozturk, I. Dincer, Analysis and performance assessment of a combined geothermal power-based hydrogen production and liquefaction system, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(22) (2018) 10268-10280.

- [26] A. Bejan, G. Tsatsaronis, M. Moran, Thermal design and optimization, *John Wiley & Sons*, 1996.
- [27] J. Ahrendts, Reference states, *Energy*, 5(8-9) (1980) 666-677.
- [28] S. Klein, F. Alvarado, EES—Engineering Equation Solver. F-Chart Software. 2002.
- [29] M. Yari, A. Mehr, V. Zare, S. Mahmoudi, M. Rosen, Exergoeconomic comparison of TLC (trilateral Rankine cycle), ORC (organic Rankine cycle) and Kalina cycle using a low grade heat source, *Energy*, 83 (2015) 712-722.

18(4) (2018) 11-22. (in Persian).

- [24] M. Abdolalipouradl, S. Khalilarya, S. Jafarmadar, The thermodynamic analysis of a novel integrated transcritical CO2 with Kalina 11 cycles from Sabalan geothermal wells, *Modares Mechanical Engineering*, 19(2) (2018) 335-346. (in Persian).
- [25] F. Mohammadkhani, F. Ranjbar, M. Yari, A comparative study on the ammonia–water based bottoming power cycles: The exergoeconomic viewpoint, *Energy*, 87 (2015) 425-434.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم M. Abdolalipouradl, S. Khalilarya, F. Mohammadkhani, Thermodynamic Analysis of a Novel Power, Cooling, Hydrogen and Oxygen Multi-Generation Combined Cycle Based on the Sabalan Geothermal Wells, Amirkabir J. Mech Eng., 53(1) (2021) 135-154.



DOI: 10.22060/mej.2019.15500.6138

بی موجعہ محمد ا