J. Energy Conversion
Volume: 11, Issue: 2, 2024: 37-60

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)

دوره ۱۱، شماره ۲، تابستان۱۴۰۳، ص: ۳۷-۶۰

آنالیز منطقه‌ای یک سیستم تولید چندگانه انرژی مبتنی بر انرژی زمین‌گرمایی برای تولید برق، هیدروژن و سرمایش

محمد صحراکار[۱]، علی ارشادی[۲*]، احسان اله عصاره[۳]

۱- گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، m.sahrakar330@gmail.com

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، aliershadi110@gmail.com

*۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، assareh@iaud.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۱، پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۲۴

چکیده

در پژوهش حاضر به آنالیز ترمودینامیکی، آنالیز اقتصادی سیستم تولید چندگانه انرژی مبتنی بر استفاده از انرژی تجدید پذیر زمین‌گرمایی با استفاده از سیکل ارگانیک رانکین، چیلر جذبی و الکترولایزر غشای تبادل پروتون پرداخته شد و یک تحلیل منطقه‌ای برای راه‌اندازی سیستم در شهرهای مختلف انجام شد. در این مطالعه یک آنالیز حساسیت نسبت به تغییرات چهار پارامتر تأثیرگذار بر روی عملکرد سیستم شامل دمای ورودی به توربین ۱، دمای ورودی به اواپراتور، نرخ دبی جرمی ورودی به اواپراتور و بازده توربین انجام شد و نتایج نشان داد که دمای ورودی به اواپراتور، دمای ورودی به توربین و نرخ دبی جرمی از تأثیرگذارترین پارامترها هستند. یک مطالعه موردی برای بررسی و امکان‌سنجی راه‌اندازی سیستم پیشنهادی در سه شهر مختلف کشور ایران شامل تبریز، اصفهان و دزفول انجام شد. شهرهای انتخابی از پتانسیل بالای انرژی زمین‌گرمایی برخوردار هستند. در نهایت شهر تبریز به‌عنوان بهترین منطقه برای راه‌اندازی سیستم به دلیل پتانسیل بالای تولید انرژی انتخاب شد. نتایج بررسی عملکرد سیستم در شهر تبریز نشان داد که بازده اگزرژی میانگین سالیانه سیستم ۸۳,۸ درصد، نرخ هزینه میانگین سالیانه سیستم ۲۲,۵ دلار بر ساعت، میزان سرمایش تولیدی سالیانه ۱۹۵۰۸۲۸ کیلووات ساعت، میزان هیدروژن تولیدی سالیانه ۱۸۲۴۳,۰۶ کیلوگرم بر ساعت و میزان توان تولیدی سالیانه ۷۷۲۱۹۳۴ کیلووات ساعت است. نتایج زیست‌محیطی نشان داد که با تولید برق به میزان ۷۲۱۷,۷ مگاوات سالیانه در شهر تبریز می‌توان به گسترش ۷ هکتاری فضای سبز در سال کمک کرد.

***عهده‌دار مکاتبات :** ali.ershadi@iau.ac.ir

کلمات کلیدی: انرژی زمین‌گرمایی، سی ستم تولید چندگانه انرژی، الکترولایزر غ شای تبادل پروتون، سیکل ارگانیک رانکین، چیلر جذبی.

نحوه استناد به این مقاله محمد صحراکار، علی ارشادی، احسان اله عصاره. آنالیز منطقه‌ای یک سیستم تولید چندگانه انرژی مبتنی بر انرژی زمین‌گرمایی برای تولید برق، هیدروژن و سرمایش. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۳; ۱۱ (۲) : ۳۷-۶۰.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۱-مقدمه

انرژی زمین‌گرمایی از انواع انرژی‌های تجدید پذیر است که از انرژی حرارتی ذخیره‌شده در پوسته جامد زمین است. در سال‌های گذشته، استفاده از انرژی زمین‌گرمایی در سیستم‌های تولید انرژی پایدار مورد توجه قرار گرفته است. سیستم‌های تجدید پذیر که جهت تولید انرژی استفاده می‌شوند، به‌خصوص برای محل‌های مسکونی در مناطقی که دارای پتانسیل بالای انرژی زمین‌گرمایی هستند از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است [۱، ۲]. طبق بررسی‌ها انجام شده، استفاده از سیستم‌های زمین‌گرمایی کمتر مورد توجه قرار گرفته است، بنابراین در این پژوهش با استفاده از انرژی زمین‌گرمایی، یک سیستم تجدید پذیر جدید در مناطقی با پتانسیل بالا، جهت تولید انرژی برق، هیدروژن و سرمایش طراحی شده است.

کائو و همکاران در سال ۲۰۱۸، بر روی آنالیز اگزرژی و بهینه‌سازی سیستم خنک‌کننده و سیستم تولید قدرت با استفاده از انرژی زمین‌گرمایی برای یخ‌سازی و تولید هیدروژن کار کردند. سیستم مورد بررسی در این پژوهش متشکل از سیکل زمین‌گرمایی، سیکل کالینا[1]، سیکل تبرید جذبی آب آمونیاک و الکترولایزر غشای تبادل پروتون است [۳]. علی رحمی و عصاره در سال ۲۰۲۰، آنالیز انرژی، اگزرژی و بهینه‌سازی چندهدفه و آنالیز اقتصادی برای یک سیستم تولید چندگانه انرژی بر مبنای استفاده از انرژی زمین‌گرمایی کار کردند. محصولات این سیستم شامل تولید برق، هیدروژن، آب شیرین، سرمایش و گرمایش بودند. این سیستم از زیرسیستم‌های سیکل رانکین بخار[2]، سیکل ارگانیک رانکین، چیلر جذبی، کلکتور خورشیدی سهموی، چاه زمین‌گرمایی، الکترولایزر غشای تبادل پروتون و اسمز معکوس تشکیل شد [۴]. کیان‌فرد و همکاران در سال ۲۰۱۸، بر روی ارزیابی اگزرژی و اقتصادی یک سیستم تجدید پذیر برای تولید آب شیرین و هیدروژن بر مبنای انرژی زمین‌گرمایی و استفاده از دو سیکل رانکین ارگانیک، اسمز معکوس و الکترولایزر غشای تبادل پروتون کار کردند. کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری به واحد آب‌شیرین‌کن اسمز معکوس با تحلیل اقتصادی صورت گرفته ۵۶ درصد به دست آمد. نرخ هزینه تولید آب شیرین ۳۲/۷۳ سنت بر مترمکعب برآورد شد [۵]. پریخانی و همکاران ۲۰۲۰، به آنالیز ترمودینامیکی و اقتصادی از یک سیکل ترکیبی برای تولید سرمایش، گرمایش و قدرت پرداختند. سیستم مورد بررسی متشکل از دو توربین، یک ژنراتور بخار، سه جداکننده، یک سوپاپ انبساط، سه میکسر، دو کندانسور، یک اواپراتور، یک سیستم واحد گرمایش، یک کمپرسور و سه پمپ بود. نتایج نشان داد در میان تمام اجزای سیستم، کندانسور بیشترین سهم را در اتلاف اگزرژی سیستم دارد که نزدیک به ۳۲،۰۳ درصد از کل اتلاف سیستم را تشکیل داد [۶].

پریتو و همکاران در سال ۲۰۲۳، به بررسی ادغام یک سیستم گرمایش و سرمایش با انرژی حرارتی خورشیدی و زیست‌توده برای یک گلخانه در آب‌وهوای مدیترانه‌ای پرداختند. در این مطالعه، سیستمی مبتنی بر انرژی حرارتی خورشیدی، زیست‌توده و یک چیلر جذبی با هوا خنک ارائه شد که برای کنترل دمای گلخانه برای تولید گوجه‌فرنگی در آب‌وهوای مدیترانه‌ای یکپارچه شد [۷]. بامیسلیه و همکاران در سال ۲۰۲۳، بر روی آنالیز اگزرژی، اقتصادی و بهینه‌سازی چندهدفه یک سیستم جدید زمین‌گرمایی-خورشیدی-بادی میکرو چند انرژی برای تولید انرژی پاک‌تر پرداختند [۸]. عباسی و همکاران در سال ۲۰۲۲، بر روی ذخیره انرژی گذرا توسط مواد تغییر فاز کار کردند و به تحلیل توسعه و شبیه‌سازی یک سیستم جدید پرداختند. در این مقاله، یک مدل ریاضی برای شبیه‌سازی مواد تغییر فاز محصور شده به‌عنوان مخزن ذخیره انرژی حرارتی بررسی شد [۹]. دزفولی و همکاران در سال ۲۰۲۲، به تجزیه - تحلیل انرژی و عملکرد سیستم‌های خنک‌کننده -خشک‌کن خورشیدی برای ساختمان‌هایی در مناطق گرمسیری پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که سیستم خنک‌کننده خشک‌کننده خورشیدی با ۱۷،۳ درصد توانایی صرفه‌جویی در انرژی را برای ساختمان‌هایی با بار بالا دارد [۱۰]. کاویان و همکاران در سال ۲۰۲۰ به ارزیابی اگزرژی، اقتصادی و زیست‌محیطی و بهینه‌سازی یک سیستم پمپ حرارتی هیبریدی فتوولتائیک- زمین‌گرمایی پرداختند. در

[1] Kalina cycle
[2] SRC

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

این تحقیق طرح‌های مختلفی از سیستم پمپ حرارتی هیبریدی فتوولتائیک – زمین‌گرمایی مورد مطالعه قرار گرفت تا بتواند نیازهای بار گرمایشی و سرمایشی یک ساختمان مسکونی را در طول سال تأمین کند [۱۱]. کائو و همکاران در سال ۲۰۲۲، بر روی آنالیز عملکرد گذرا یک سیستم انرژی هوشمند متصل به شبکه مبتنی بر منابع زمین‌گرمایی- خورشیدی کار کردند. اجزا این سیستم پنل های خورشیدی، مخازن ذخیره انرژی حرارتی، یک توربین، یک چیلر جذبی و یک پمپ حرارتی بود. در این سیستم از انرژی‌های خورشیدی و زمین‌گرمایی استفاده شد [۱۲]. سالیم و همکاران در سال ۲۰۲۰، بر روی طراحی و بهینه‌سازی یک سیستم هیبریدی برای تولید هیدروژن خورشیدی که شامل پنل فتوولتائیک، الکترولایزر، سلول سوختی، باتری. واحد ذخیره‌سازی هیدروژن کار کردند و شبیه‌سازی یک آبگرمکن خورشیدی با یک جمع کننده لوله شیشه‌ای تخلیه شده انجام شد [۱۳]. کاراکاووس و آیدین در سال ۲۰۲۰، بر روی آنالیز تولید و ذخیره هیدروژن یک سیستم با استفاده از نرم‌افزار ترنسیس کار کردند. در این سیستم هیدروژن از جداسازی آب تولید شد و هیدروژن تولید شده در مخزن گاز فشرده ذخیره شد [۱۴]. علی بابا و همکاران در سال ۲۰۲۰، به تحلیل یک نیروگاه هیبریدی زمین‌گرمایی-خورشیدی و ترکیبی با سیکل ارگانیک رانکین پرداختند. نیروگاه زمین‌گرمایی به‌عنوان مکملی برای انرژی خورشیدی متمرکز مورد استفاده قرار گرفت [۱۵]. پراوین و همکاران در سال ۲۰۲۲، بر روی افزایش عملکرد نیروگاه های حرارتی خورشیدی با استفاده از واحد کلکتور خورشیدی سهموی با قابلیت ذخیره انرژی حرارتی کار کردند و یک بهینه‌سازی چندهدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای افزایش عملکرد نیروگاه پیشنهادی انجام دادند و تاثیر پارامترهای تصمیم‌گیری را بر روی توابع هدف تأثیرگذار بر روی سیستم بررسی کردند [۱۶]. عصاره و همکاران در سال ۲۰۲۳، یک شبیه سازی و بهینه سازی سیکل برودتی، تنظیم نقطه شبنم یک کدل واقعی را انجام دادند.. فرآیند بهینه منجر به کاهش ۳۹ درصدی ردپای دی اکسید کربن شد و از نظر اقتصادی، با صرفه جویی سالانه ۳۱۰۷۵۴۹,۴۵ دلار در هزینه های تامین انرژی، منجر به کاهش ۱۱,۵۴ تنی در هزینه های تولید ارزش NGL شد [۱۷]. رستمی و همکاران در سال ۲۰۲۲، بر روی تولید و ذخیره انرژی از یک سیستم تجدید پذیر تولید چندگانه انرژی پرداختند که سیستم پیشنهادی آن‌ها ترکیبی از انرژی خورشیدی با سلول سوختی غشای تبادل پروتون، سیکل ارگانیک رانکین، ژنراتور ترموالکتریک و الکترولیز قلیایی برای ابداع یک نیروگاه کاربردی بود [۱۸]. ایزدی و همکاران در سال ۲۰۲۳، به طراحی و بهینه‌سازی بخش‌های بیمارستان برای تولید اکسیژن و برق از طریق پنل‌های فتوولتائیک خورشیدی با سیستم‌های ذخیره‌سازی هیدروژن با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداختند [۱۹]. اوزترک و دینسر در سال ۲۰۲۲، به توسعه سیستم و ارزیابی یک سیستم ترکیبی تولید هیدروژن سبز پرداختند. در این مطالعه، یک سیستم یکپارچه مبتنی بر انرژی خورشیدی، امواج دریا و بادی برای تولید هیدروژن تجدید پذیر (سبز) و ترکیب آن با گاز طبیعی به‌طور بالقوه موجود در دریای سیاه برای استفاده طراحی و مطالعه شد و یک مطالعه موردی در این راستا برای شهر زونگلدک در کشور ترکیه در نظر گرفته شد [۲۰]. دژدار و همکاران در سال ۲۰۲۳، به بهینه سازی و مدلسازی گذرا یک سیستم جدید خورشیدی-بادی برای تولید هیدروژن، نمک زدایی، برق پاک، گرمایش، سرمایش و ذخیره انرژی پرداختند. سیستم پیشنهادی دارای هزینه چرخه عمر ۶۷۴۲۷۸,۴ دلار در ساعت و ظرفیت تولید ۲۲۵۶۹۴,۸ کیلووات ساعت برق مازاد برای واحدهای مسکونی با شاخص آسایش حرارتی بود [۲۱]. دژدار و همکاران در سال ۲۰۲۳، به بهبود عملکرد یک سیستم قدرت زمین گرمایی باینری فلش با استفاده از سیال کاری زئوتروپیک پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش حدود ۲۲ درصدی قیمت برق با همان قیمت ژئوسیال، دوره بازگشت سرمایه را تا حدود ۲۳ درصد کاهش می دهد و سود سیستم را تا حدود ۵۴,۷ درصد بهبود می بخشد [۲۲]. کیخواه و همکاران در سال ۲۰۲۳، به آنالیز یک سیستم زمین گرمایی بر اساس سیکل ارگانیک رانکین تبخیر باینری فلاش و دو فشاری با استفاده از مخلوط‌های زئوتروپیک پرداختند. نتایج نشان داد که توربین بخار دارای بیشترین تخریب اگزرژی و دارای مقدار ۹۹۶ کیلووات است و شیر انبساط با ۷۱۴ کیلووات تخریب اگزرژی شیر در مرحله بعدی است [۲۳].

نیروگاه‌های فسیلی که دارای آلودگی‌های زیست‌محیطی فراوانی هستند، بخش اصلی انرژی جهان را تأمین می‌کند و امروزه به علت استفاده زیاد، منابع فسیلی در حال کاهش هستند و باید جایگزین مناسبی برای منابع فسیلی پیدا کرد. با توجه به

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

پتانسیل بالای انرژی‌های تجدید پذیر از جمله انرژی زمین‌گرمایی در جهان، باید توجه بیشتری بر روی به‌کارگیری و جایگزین کردن این منبع پاک به‌جای منابع فسیلی شود. با بررسی و مراجعه به منابع و سوابق قبلی پیرامون این پژوهش مشاهده شد که به ترکیب واحدهای تولید انرژی و ترکیب آن‌ها با انرژی زمین‌گرمایی کمتر مورد توجه قرار گرفته است و نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

در این پژوهش به‌صورت هم‌زمان ترکیب واحدهای الکترولایزر غشای تبادل پروتون، سیکل تبرید جذبی و ترکیب هم‌زمان دو سیکل ارگانیک رانکین با هدف افزایش توان تولیدی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی انجام شده است. همچنین سیستم معرفی شده برای شهرهای مطالعاتی مختلف در شرایط متفاوت جغرافیایی یک کشور بررسی شد که چنین ترکیبی برای اولین بار مورد بررسی و مطالعه صورت گرفت.

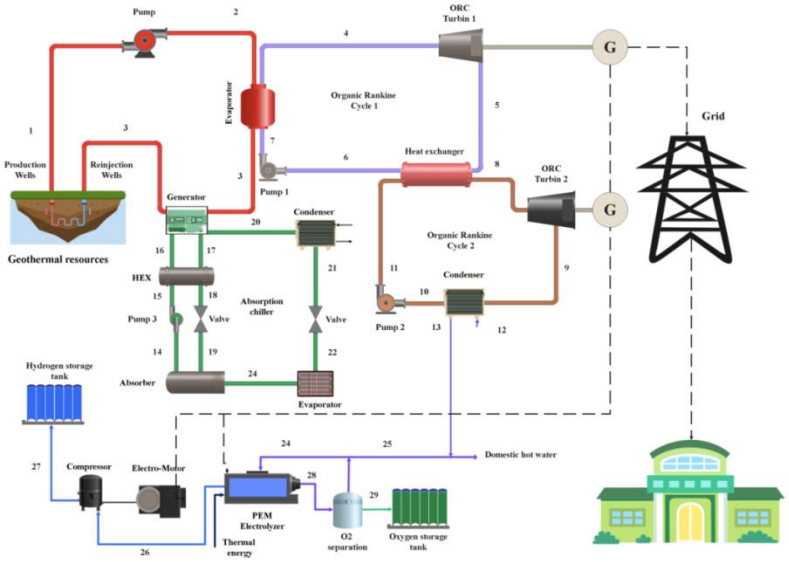
اهداف مرحله‌ای این پژوهش را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

- معرفی یک سیستم زمین‌گرمایی جدید
- آنالیز ترمودینامیکی سیستم پیشنهادی تولید چندگانه انرژی.
- ارزیابی اقتصادی سیستم موردنظر.
- بررسی میزان تولید برق، سرمایش و هیدروژن تولیدی سیستم.
- تحلیل انرژی، اگزرژی و همچنین میزان تخریب کل اگزرژی
- بررسی عملکرد سیستم در شرایط آب‌وهوایی مختلف یک کشور.
- آنالیز زیست‌محیطی سیستم

۲-شرح سیستم

در شکل ۱، شماتیک سیستم تجدید پذیر مورد بررسی در این پژوهش معرفی شده است. این سیستم که بر پایه انرژی زمین‌گرمایی است، متشکل از زیرسیستم‌های چاه زمین‌گرمایی، سیکل ارگانیک رانکین ۱ و ۲ که سیال ارگانیک این دو سیکل مبرد R123 و آمونیاک است، سیکل تبرید جذبی لیتیم برماید و یک واحد الکترولایزر غشای تبادل پروتون است. محصول این سیستم تولید برق پاک، سرمایش، گرمایش و هیدروژن پاک است. در این سیستم توربین توسط یک منبع حرارتی زمین‌گرمایی با دمای پایین فعال می‌شود. سیال استخراج شده از چاه زمین‌گرمایی از طریق پمپ وارد اواپراتور با دمای بالا سیکل رانکین می‌شود و در نتیجه انرژی حرارتی را به چرخه منتقل می‌کند و در نهایت پس از تبادل گرما به چاه دوباره تزریق می‌شود. مبرد در سیکل ارگانیک رانکین شماره ۱ وارد می‌شود. اواپراتور (جریان ۷)، گرمای سیال زمین‌گرمایی را تا نقطه‌جوش آن جذب کرده و تبخیر می‌شود. عملکرد اواپراتور به نوع سیال، سطح و جنس لوله‌ها، اختلاف دما و غیره بستگی دارد. بخار اشباع از اواپراتور خارج می‌شود و برای تولید برق متصل به شبکه برق منطقه‌ای به توربین می‌رود. همچنین انرژی الکتریسیته برای راه‌اندازی الکترولایزر از توربین دریافت می‌شود. توابع هدف مورد بررسی برای سیستم طراحی شده، بازده اگزرژی و نرخ هزینه است. در این سیستم هدف اصلی افزایش کردن میزان بازده اگزرژی سیستم و کاهش نرخ هزینه سیستم است. برای حل معادلات حاکم بر مسئله و مدل‌سازی سیستم و به دست آوردن نتایج از نرم‌افزار ترمودینامیکی حل معادلات مهندسی استفاده می‌شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل ۱- شماتیک سیستم مورد مطالعه.

۳-معادلات ترمودینامیکی و اقتصادی سیستم

در جدول ۱ داده‌های ورودی جهت آنالیز سیستم زمین‌گرمایی آورده شده است.

جدول ۱- مقدار داده‌های ورودی [۲۴-۲۶].

داده	معرفی پارامتر	مقدار
T_0	دمای محیط	25°C
P_0	فشار محیط	101.3kPa
$\dot{m}_1$	دبی جرمی ورودی به اواپراتور	1.5kg/s
T_2	دمای ورودی به اواپراتور	210°C
T_4	دمای ورودی به توربین سیکل ارگانیک رانکین ۱	150°C
T_6	دمای ورودی به پمپ سیکل ارگانیک رانکین ۱	70°C
η_{turbin}	بازده توربین	0.85
η_{pump}	بازده پمپ	0.8
pp_{Eva}	اواپراتور پینچ پوینت	5°C
pp_{Cond}	پینچ پوینت کندانسور	5°C
T_8	دمای ورودی به توربین سیکل ارگانیک رانکین ۲	60°C

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۳-۱- آنالیز چیلر جذبی[3]

مقدار سرمایش تولیدی سیستم توسط چیلر جذبی طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$Q_{cooling} = 0.745 \times \dot{Q}_{gen} \quad (۱)$$

و مقدار $\dot{Q}_{gen}$ طبق رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$\dot{Q}_{gen} = \dot{m}_2 \times Cp_2 \times (T_2 - T_3) \quad (۲)$$

۳-۲- آنالیز الکترولایزر غشای تبادل پروتون

در این قسمت به آنالیز الکترولایزر غشای تبادل پروتون که جهت تولید هیدروژن مورد استفاده قرار گرفته است، پرداخته می‌شود [۲۷-۳۰].

میزان کار الکترولایزر غشای تبادل پروتون طبق رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$\dot{W}_{PEM} = \dot{W}_{net_{ORC2}} \quad (۳)$$

مقدار هیدروژن تولیدی سیستم:

$$\dot{N}_{H2_{Out}} = 3600 \times \dot{M}_{H2_{Out}} \quad (۴)$$

$$\dot{M}_{H2_{Out}} = a_{H2} \times \dot{W}_{PEM}^{\ b_{H2}} + c_{H2} \quad (۵)$$

در این رابطه:

$$a_{H2} = 3.382e-06 \quad (۶)$$

$$b_{H2} = 0.9727 \quad (۷)$$

$$c_{H2} = 5.928e-06 \quad (۸)$$

۳-۳- بالانس سیستم

جهت بالانس انرژی سیستم مورد بررسی در پژوهش حاضر از روابط جدول ۲ استفاده می‌شود.

جدول ۲- بالانس انرژی سیستم.

اجزاء سیستم	رابطه
توربین سیکل ارگانیک رانکین ۱	$\dot{W}_{turbine\,1} = \dot{m}_4 \times (h_4 - h_5)$
پمپ سیکل ارگانیک رانکین ۱	$\dot{W}_{pump1} = \dot{m}_6 \times (h_7 - h_6)$
اواپراتور	$Q_{Evaporator} = \dot{m}_2 \times (h_2 - h_3)$
توربین سیکل ارگانیک رانکین ۲	$\dot{W}_{turbine\,2} = \dot{m}_8 \times (h_8 - h_9)$
پمپ سیکل ارگانیک رانکین ۲	$\dot{W}_{pump2} = \dot{m}_{10} \times (h_{11} - h_{10})$
کندانسور	$Q_{condenser} = \dot{m}_9 \times (h_9 - h_{10})$
مبدل حرارتی	$Q_{HEX} = \dot{m}_5 \times (h_5 - h_6)$

[3] Chiller absorption Analysis

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

توان تولیدی سیکل ارگانیک رانکین ۱:

$$\dot{W}_{\text{net, ORC 1}} = \dot{W}_{turbin1} - \dot{W}_{\text{pump 1}} \quad (۹)$$

توان تولیدی سیکل ارگانیک رانکین ۲:

$$\dot{W}_{\text{net, ORC 2}} = \dot{W}_{turbin2} - \dot{W}_{\text{pump 2}} \quad (۱۰)$$

در نهایت باید گفت که مقدار توان تولیدی کل سیستم از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$\dot{W}_{\text{net}} = \dot{W}_{net,steam} + \dot{W}_{\text{net, ORC}} \quad (۱۱)$$

در جدول ۳ روابط مربوط به هزینه هر جزء از سیستم مورد بررسی آورده شده است.

جدول ۳- بالانس هزینه سیستم.

اجزاء سیستم	رابطه
توربین ۱	$Z_{\text{Turbine 1}} = 4750 \times ((\dot{W}_{\text{turbine}}^{0.75}) + 60 \times (\dot{W}_{\text{turbine}}^{0.95}))$
پمپ ۱	$Z_{\text{Pump1}} = 3500 \times (\dot{W}_{\text{Pump1}}^{0.41})$
توربین ۲	$Z_{\text{Turbine 2}} = 4750 \times ((\dot{W}_{\text{turbine}}^{0.75}) + 60 \times (\dot{W}_{\text{turbine}}^{0.95}))$
پمپ ۲	$Z_{\text{Pump2}} = 3500 \times (\dot{W}_{\text{Pump2}}^{0.41})$
کندانسور	$Z_{Cond} = 1773 \times \dot{m}_9$
اواپراتور	$Z_{\text{Evap}} = 276 \times (A_{\text{Evap 1}}^{0.88})$
مبدل حرارتی	$Z_{HEX} = 12000 \times (A_{\text{HX}} / 100)^{0.88}$
الکترولایزر	$Z_{\text{electrolyzer}} = 1000 \times W_{PEM} \times Z_e$
چیلر جذبی	$Z_{Chiller} = 1144.3 \times (Q_{COOLING}^{0.67})$

میزان نرخ هزینه کل سیستم از مجموع هزینه اجزا سیستم به دست آورده می‌شود و طبق رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$Z_{total} = Z_{Turbine1} + Z_{Turbine2} + Z_{cond} + Z_{evap} + Z_{\text{Pump1}} + Z_{\text{Pump2}} + Z_{Chiller} + Z_{\text{HEX}} + Z_{PEM} \quad (۱۲)$$

میزان بازده اگزرژی سیستم از رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$\eta_{ex} = (\dot{W}_{net} + Q_{cooling}) \times 100 / (\text{Ex}_1) \quad (۱۳)$$

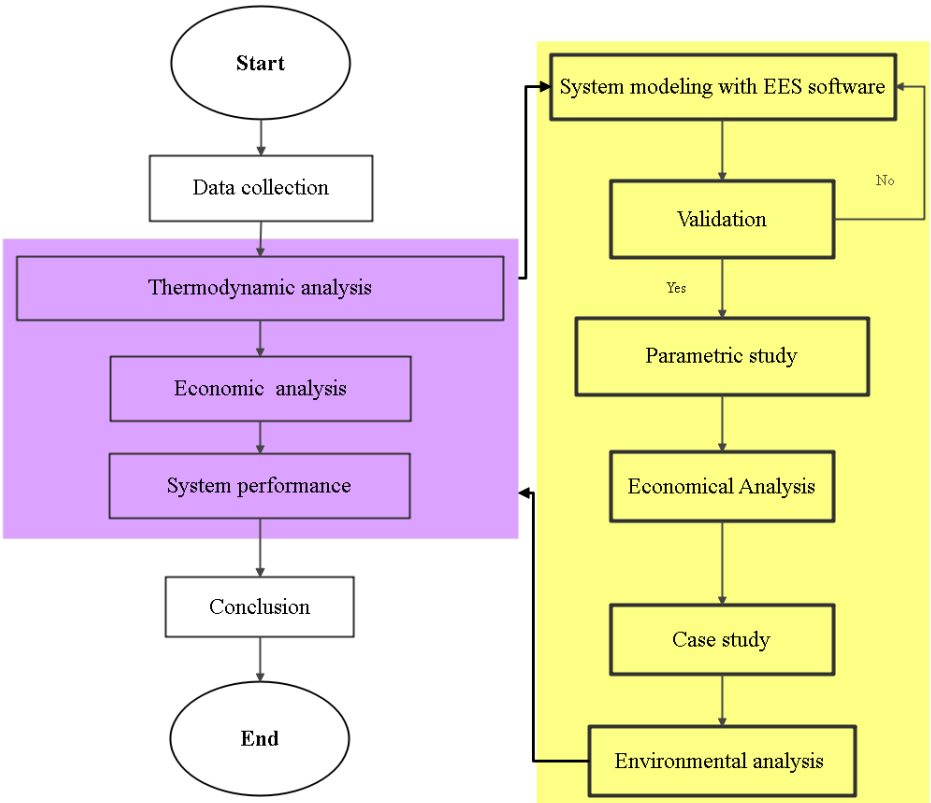
۴-روش‌شناسی پژوهش

یک نمای کلی از فلوچارت روش‌شناسی در شکل ۲ ارائه شده است که به‌صورت خلاصه فرآیند انجام پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

- مدل‌سازی سیستم زمین‌گرمایی با نرم‌افزار حل معادلات مهندسی انجام شده است.
- سه شهر مختلف از کشور ایران با پتانسیل بالای زمین‌گرمایی جهت بررسی عملکرد سیستم انتخاب شد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

- اطلاعات آب و هوایی شهرهای مطالعاتی با استفاده از نرم‌افزار متانورم استخراج شده است.
- مقایسه عملکرد سیستم در شهرهای آب و هوایی با استفاده از رسم داده‌های آماری با نرم‌افزار ارجین انجام شد.



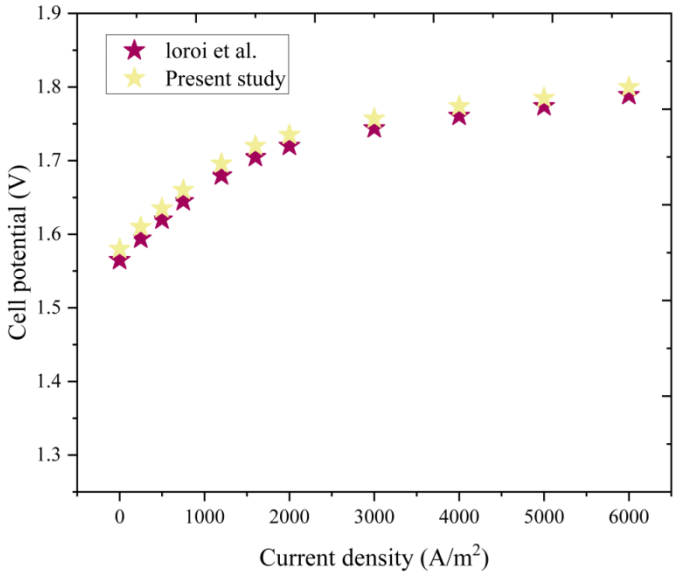
شکل ۲- روش‌شناسی پژوهش.

۵-نتایج

۵-۱- اعتبارسنجی

با توجه به اینکه سیستم معرفی شده یک سیستم جدید است، اعتبارسنجی زیرسیستم الکترولایزر غشای تبادل پروتون با نتایج پژوهش لوروی و همکاران (۲۰۰۲) [۳۱] ارزیابی شده است و دقت نتایج شبیه‌سازی در شکل ۳ بررسی شده است. همان‌گونه از نتایج م شخص ا ست، این پژوهش از اعتبار خوبی برخوردار ا ست و به این معنی ا ست که فرآیند شبیه سازی قابل اعتماد و نتایج واقعی هستند.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



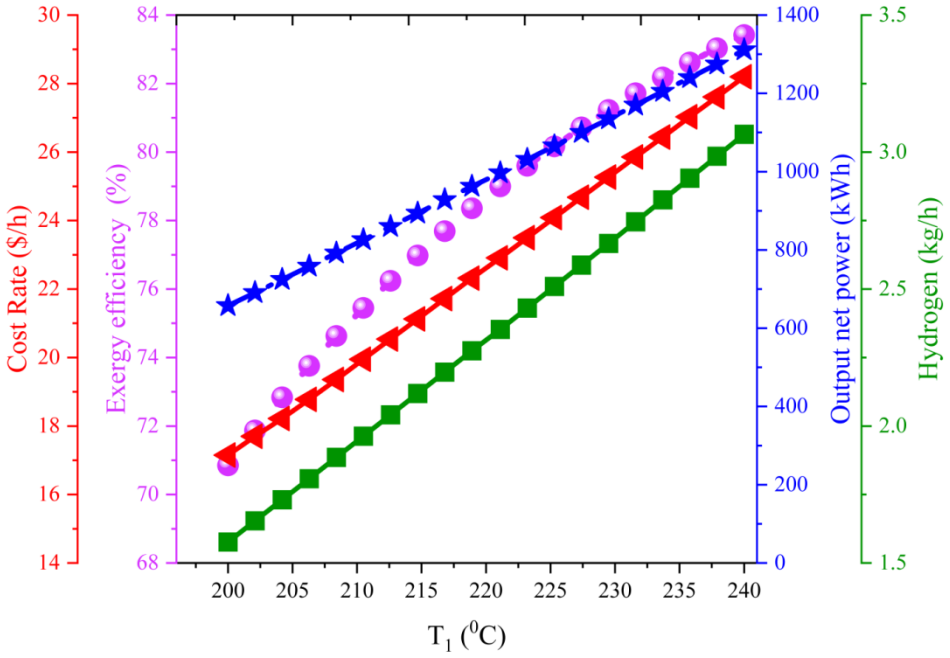
شکل ۳- اعتبارسنجی.

۲-۵- مطالعه پارامتریک

در ادامه به مطالعه پارامتریک تاثیر مهم‌ترین و تأثیرگذارترین پارامترهای طراحی شامل دمای ورودی به اوپراتور، دمای ورودی به توربین، نرخ دبی جرمی ورودی به اواپراتور و بازده توربین بر روی دو تابع هدف بازده اگزرژی و نرخ هزینه و همچنین توان تولیدی و هیدروژن تولیدی پرداخته می‌شود.

باید گفت که با افزایش دمای ورودی به اواپراتور میزان انتقال حرارت در آن افزایش می‌یابد. با افزایش انتقال حرارت از اواپراتور به سیکل رانکین ارگانیک، میزان توان خروجی نیز افزایش می‌یابد. پس نتیجه گرفته می‌شود که افزایش یا کاهش میزان انتقال حرارت با کار کل سیستم، رابطه مستقیم دارد. یکی از مهم‌ترین عواملی که در طراحی سیکل‌های رانکین باید در نظر گرفت، دمای ورودی به اواپراتور است. همان‌طور که در شکل ۴، نشان داده شده است، افزایش دمای ورودی به اواپراتور از ۲۰۰ به ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد، باعث افزایش توان کل سیستم و افزایش میزان تولید هیدروژن سیستم می‌شود. علت این است که با افزایش دمای اواپراتور، آنتالپی ورودی به توربین سیکل ارگانیک رانکین افزایش یافته است. افزایش دمای ورودی به اواپراتور، باعث افزایش بازده اگزرژی سیستم و نرخ هزینه سیستم شده است که افزایش نرخ هزینه مربوط به هزینه نیاز به تجهیزات بزرگ‌تر و همچنین افزایش تعمیرات و نگهداری تجهیزات است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

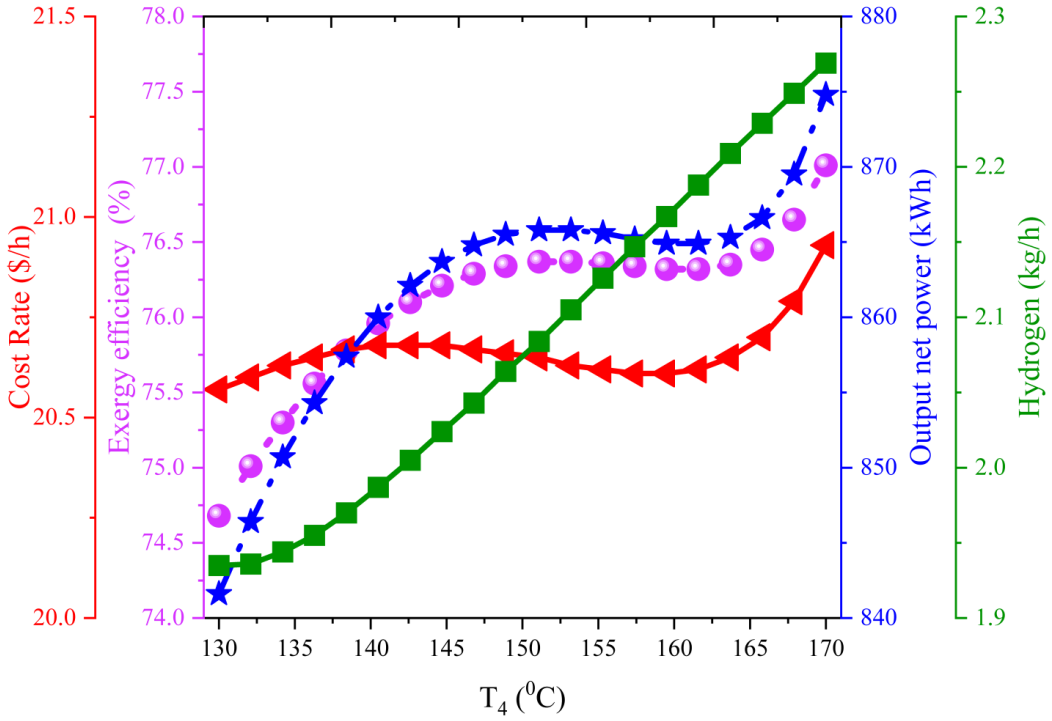


شکل ۴- تاثیر دمای ورودی به اواپراتور بر روی عملکرد سیستم.

دمای ورودی توربین نقش مهم و اساسی در طول عمر و توان خروجی ایفاء می‌کند. با توجه به بالارفتن دمای سیال ورودی به توربین سیکل رانکین ارگانیک آنتالپی سیال نیز در این نقطه بالا رفته و در نتیجه باعث افزایش کار کل توربین و سیکل رانکین ارگانیک می‌شود که این مقدار باعث افزایش کار کل برای این سیکل است. با توجه به رابطه اگزرژی کل و وجود عبارت کار کل خروجی در صورت آن، با افزایش دمای ورودی به توربین و کار کل، این عبارت افزایش یافته است. هزینه‌های سیستم نیز با افزایش کار کل و نیاز به تجهیزات بزرگ‌تر افزایش خواهد یافت. در شکل ۵ مشاهده می‌شود، افزایش دمای ورودی توربین دمای ورودی توربین از ۱۳۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، باعث افزایش توان کل سیستم و نرخ تولید هیدروژن می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود، با افزایش دمای ورودی به توربین، بازده اگزرژی و میزان نرخ هزینه سیستم نیز روندی مشابه با توان تولیدی سیستم داشته‌اند و افزایش یافته است. اگزرژی به معنای بیشترین کار خالص قابل استخراج از سیستم است یعنی به‌عبارتی اگزرژی همان کار مفید تولید شده در این سیستم توسط توربین است که با افزایش کار کل باید گفت بازده اگزرژی نیز افزایش می‌یابد. علت افزایش هزینه سیستم، افزایش کار کل و در نتیجه نیاز به تجهیزات و سیستم‌های بزرگ‌تر بیان می‌شود. با توجه به نتایج قبل می‌توان نتیجه گرفت که دمای ورودی توربین، یکی از موارد تاثیر گذار در طراحی سیستم است. با افزایش دمای ورودی توربین، با فرض ثابت بودن بقیه پارامترها، دمای خروجی توربین نیز افزایش می‌یابد. دمای خروجی توربین منجر به افزایش انرژی ورودی برای تولید توان سیستم می‌شود، بنابراین با افزایش دمای ورودی توربین، منجر به افزایش توان تولیدی سیستم خواهد شد. در نتیجه بازده اگزرژی سیستم نیز به‌علت افزایش توان خالص کل خروجی افزایش می‌یابد و بالطبع هزینه سیستم نیز با افزایش توان تولیدی افزایش می‌یابد. طبق استانداردهای سازنده توربین، نمی‌توان دمای ورودی به توربین را به مقدار زیادی افزایش داد و میزان افزایش دما، با توجه به جنس و ساختمان توربین، تعیین شده است. اگر دما از حد معینی عبور کند، باعث کاهش کار کل، افزایش هزینه و خرابی در روند سیستم می‌شود. افزایش دمای ورودی سیال کاری به توربین، باعث کاهش درصد رطوبت ترکیب اشباع خروجی توربین می‌شود که این مورد یکی از عیب‌های افزایش دمای ورودی به توربین است که برای رفع

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

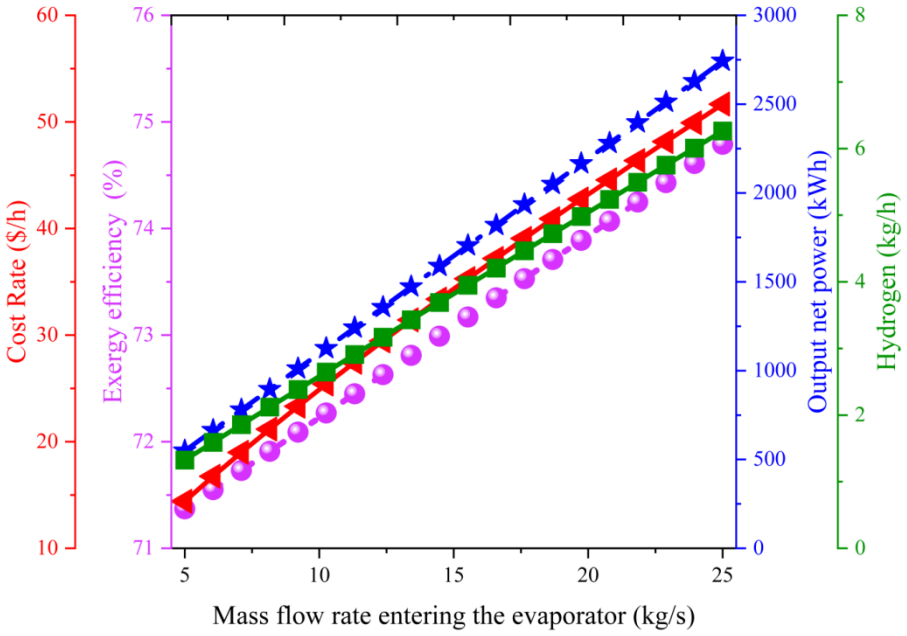
آن در نیروگاه‌ها از روش گرمایش مجدد استفاده می‌شود.



شکل ۵- تاثیر دمای ورودی به توربین بر روی عملکرد سیستم.

در شکل ۶ به بررسی تاثیر دبی جرمی ورودی به اواپراتور بر روی توان خالص سیستم، هیدروژن تولیدی، نرخ هزینه و بازده اگزرژی بررسی شده است. افزایش دبی جرمی ورودی اواپراتور از ۵ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد، باعث افزایش توان کل سیستم و افزایش میزان تولید هیدروژن سیستم می‌شود. الکترولایزر بر اساس عبور جریان الکتریکی مستقیم از آب خالص و تجزیه آن به اجزای تشکیل دهنده یعنی هیدروژن و اکسیژن و همچنین با استفاده از روش الکترولیز هیدروژن تولید می شود. افزایش دبی جرمی ورودی اواپراتور از ۵ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد، باعث افزایش بازده اگزرژی و نرخ هزینه شده است چرا که توان تولیدی و بازده و هزینه با هم رابطه مستقیم دارد.

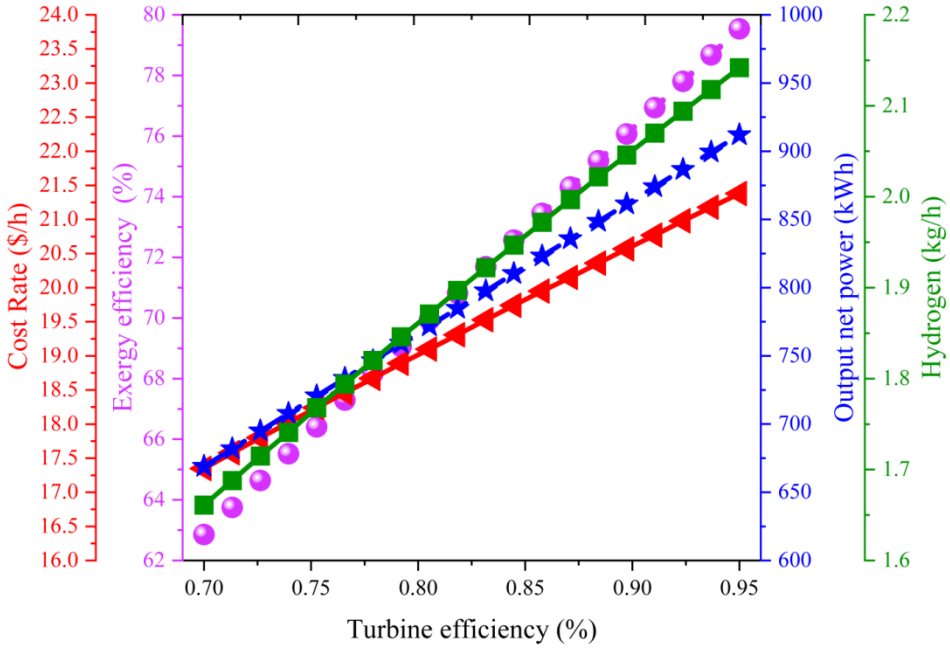
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل ۶- تاثیر نرخ دبی جرمی ورودی به اواپراتور بر روی عملکرد سیستم.

در شکل ۷ مشاهده می شود، با افزایش بازده توربین از ۰,۷ تا ۰,۹۵، توان تولیدی کل سیستم و هیدروژن تولیدی سیستم افزایش یافته است. علت افزایش توان تولیدی و هیدروژن تولیدی را می‌توان مربوط به تاثیر مثبت بازده توربین بر روی کار دانست، چرا که توربین در این سیستم‌ها سهم عمده‌ای در توان تولیدی که همان برق است، دارد و ازآنجایی‌که الکترولایزر با برق تولیدی از توربین کار می‌کند، پس با افزایش توان تولیدی، الکترولایزر بهتر عمل کرده و در نتیجه هیدروژن تولیدی سیستم افزایش پیدا می‌کند. همچنین مشاهده می شود افزایش بازده توربین باعث افزایش بازده اگزرژی سیستم و همچنین نرخ هزینه سیستم شده است. علت افزایش میزان اگزرژی در این نمودار را می‌توان به این امر مربوط دانست که بازده اگزرژی و توان تولیدی سیستم با هم رابطه مستقیم دارند، یعنی با افزایش توان تولیدی سیستم میزان اگزرژی سیستم نیز افزایش یافته است. هزینه‌های سیستم نیز با افزایش توان تولیدی سیستم و نیاز به تجهیزات کامل‌تر و بزرگ‌تر افزایش خواهد یافت. همچنین از دلایل دیگر افزایش نرخ هزینه می‌توان به افزایش هزینه تمام‌شده میزان تولیدات خروجی، هزینه‌های انرژی و هزینه‌های ناشی از عدم تولید در ساعات توقف سیستم اشاره کرد. همچنین باید گفت که با توجه به این مسئله که برای زیر هر سیستم استفاده شده در سیستم اصلی، هزینه شده است، به ازای هزینه صرف شده، توان تولیدی به‌صرفه نبوده است و در نتیجه هزینه سیستم افزایش پیدا کرده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل ۷- تاثیر بازده توربین بر روی عملکرد سیستم.

۳-۵- آنالیز اقتصادی

در جدول ۴ توزیع نرخ کل هزینه سیستم کار حاضر و همچنین نرخ هزینه اجزای اصلی سیستم بررسی شده است. اجزاء سیستم به یک قسمت اصلی، شامل واحد سیکل ارگانیک رانکین ۱ و سیکل ارگانیک رانکین ۲ تقسیم‌بندی شده است. نرخ هزینه کل سیستم برابر با ۲۰،۵۴ دلار بر ساعت محاسبه شده است. بالاترین هزینه سیستم در بین واحدها متعلق به واحد سیکل ارگانیک رانکین ۱ است که مقدار آن برابر با ۱۲،۰۷ دلار بر ساعت است. همچنین بعد از سیکل ارگانیک رانکین ۱، واحد سیکل ارگانیک رانکین ۲ با هزینه ۴،۵۸ دلار بر ساعت دارای بیشترین مقدار است و واحد چیلر جذبی با نرخ هزینه ۰،۶۷ دلار بر ساعت دارای کمترین نرخ هزینه در بین واحدها است. همچنین واحد الکترولایزر غشای تبادل پروتون با مقدار ۳،۲۲ دلار بر ساعت در رده سوم هزینه‌ها قرار دارد.

جدول ۴- نرخ هزینه واحدها و اجزای مختلف سیستم پیشنهادی.

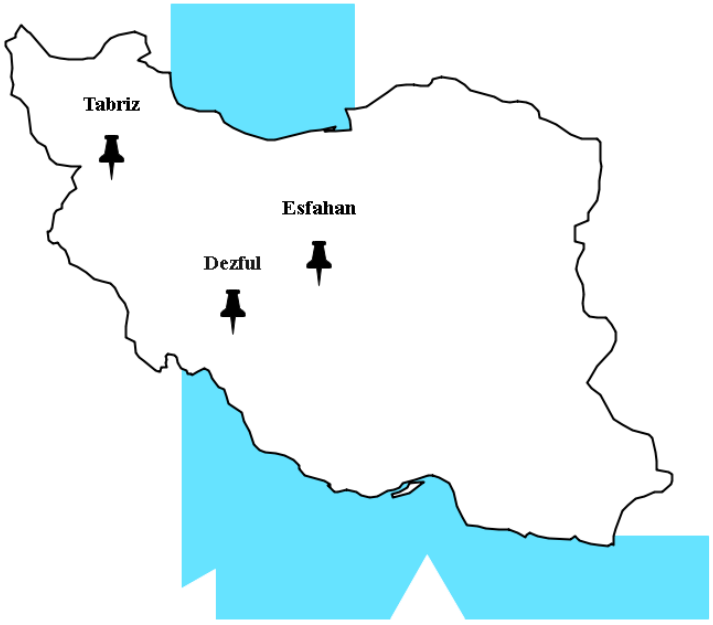
واحد	مقدار ($/h)
سیکل ارگانیک رانکین ۱	۱۲،۰۷
سیکل ارگانیک رانکین ۲	۴،۵۸
الکترولایزر غشای تبادل پروتون	۳،۲۲
چیلر جذبی	۰،۶۷
جمع کل	۲۰،۵۴

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۴-۵- مطالعه موردی

در این پژوهش با انتخاب سه شهر در نقاط مختلف کشور ایران که هر کدام از این شهرها مثالی از اقلیم‌های متفاوت کشور با شرایط آب و هوایی مختلف هستند، به بررسی سیستم طراحی شده پرداخته می‌شود و نتایج جهت تحلیل و بررسی ارائه می‌شود. سه شهر انتخابی شامل شهرهای دزفول، تبریز و اصفهان است. در این پژوهش تاثیر تغییرات دمای محیط شهرهای مطالعاتی بر روی عملکرد سیستم کار حاضر بررسی شد چرا که دمای محیط مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر روی انرژی زمین‌گرمایی است.

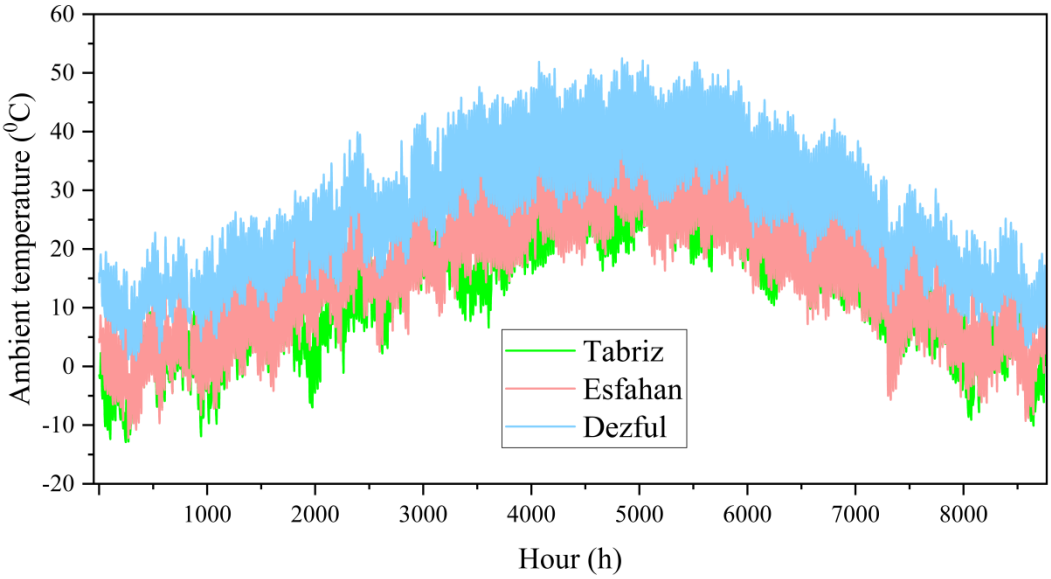
در شکل ۸ موقعیت شهرهای مطالعاتی بر روی نقشه ایران نشان داده شده است.



شکل ۸- موقعیت شهرهای مطالعاتی

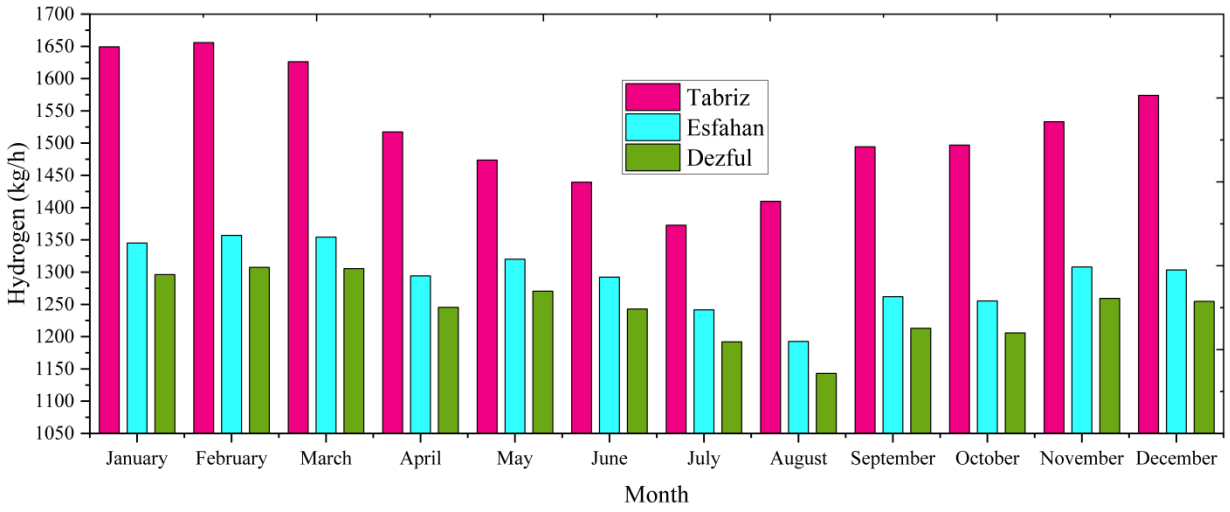
در شکل ۹ تغییرات میانگین دمای محیط در طول سال به‌صورت ساعتی برای شهرهای مطالعاتی رسم شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد تغییرات میانگین دمای محیط روزانه شهرهای مطالعاتی بین دمای ۱۵- درجه سانتی گراد و دمای ۵۵ درجه سانتی گراد است و بیشترین دمای محیط مربوط به ماه‌های ژوئن و جولای و اوت است که این ماه‌ها در فصل تابستان است. همچنین سه شهر مطالعاتی دارای میانگین دمای محیط مختلفی هستند. جهت مقایسه میانگین دمای روزانه شهرها باید گفت که بیشترین دمای محیط مربوط به شهر دزفول و اصفهان است و کمترین دمای محیط مربوط به شهر تبریز است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل ۹- تغییرات روزانه دمای محیط شهرهای مطالعاتی در طول یک سال.

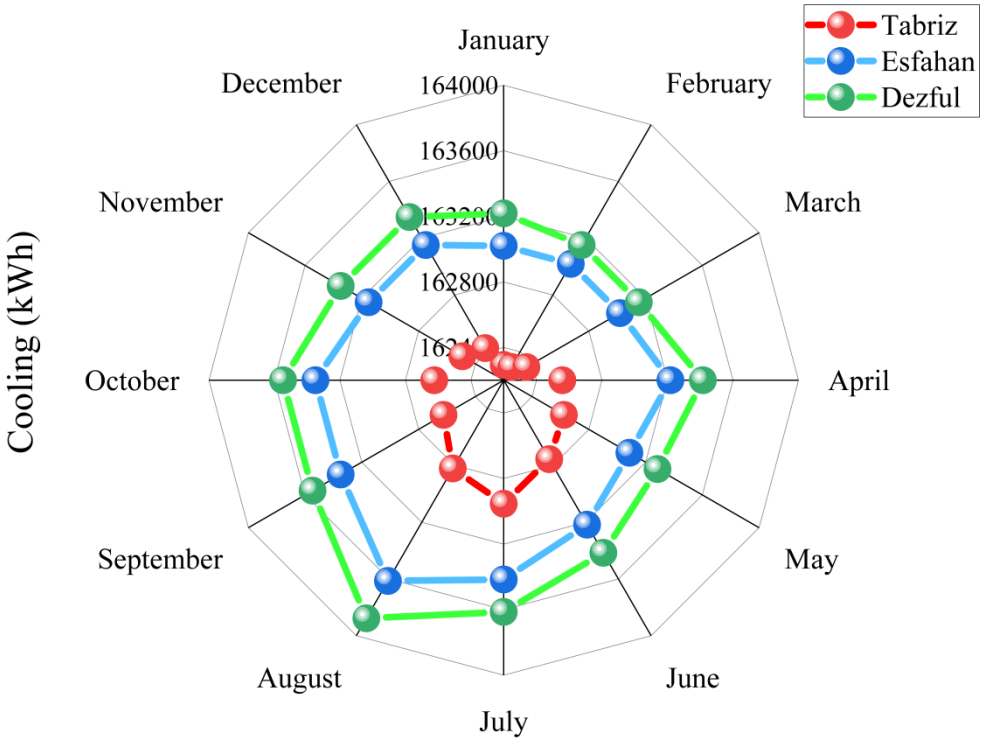
در شکل ۱۰ تغییرات روزانه مقدار هیدروژن تولیدی سیستم توسط الکترولایزر غشای تبادل پروتون نسبت به تغییرات دمای محیط به‌صورت ماهیانه برای سه شهر مطالعاتی نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد با افزایش دمای محیط در ماه‌های جولای و ژوئن (فصل تابستان) میزان هیدروژن تولیدی سیستم کاهش می‌یابد و روندی شبیه به تغییرات توان تولیدی کل سیستم دارد، چرا که انرژی الکتریکی مورد نیاز الکترولایزر از توان تولیدی توربین سیکل ارگانیک رانکین تأمین می‌شود و با افزایش و یا کاهش توان تولید توربین مقدار هیدروژن تولیدی سیستم نیز افزایش و یا کاهش می‌یابد. نتایج عملکرد سیستم جهت تولید هیدروژن نشان داد که حداکثر هیدروژن تولیدی شهرهای مطالعاتی در ماه حدود ۱۶۵۰ کیلوگرم بر ساعت و حداقل هیدروژن تولیدی شهرهای مطالعاتی در یک ماه حدود ۱۱۵۰ کیلوگرم بر ساعت است.



شکل ۱۰- تغییرات ماهیانه هیدروژن تولیدی شهرهای مطالعاتی.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

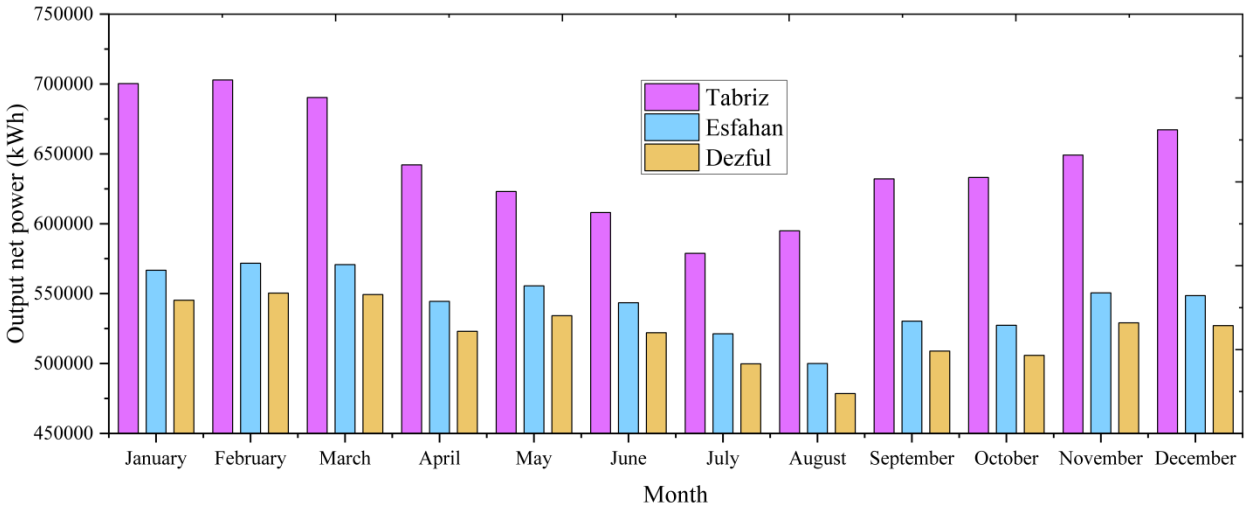
در شکل ۱۱ تغییرات دمای محیط شهرهای مطالعاتی بر روی سرمایش تولیدی سیستم بررسی شده است. سرمایش توسط چیلر جذبی تولید می‌شود و چیلر جذبی انرژی مورد نیاز خود را از انرژی زمین‌گرمایی تأمین می‌کند. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد با افزایش دمای محیط سرمایش تولیدی سیستم افزایش پیدا می‌کند و با کاهش دمای محیط سرمایش کاهش پیدا می‌کند، پس باید گفت تغییرات تولید سرمایش سیستم دقیقه موافق تغییرات دمای محیط است. هرچه انرژی حرارتی ورودی به چیلر جذبی افزایش یابد، تاثیر مثبتی بر روی عملکرد چیلر جذبی دارد. همچنین شهر دزفول که دارای بیشترین دمای محیط است و از گرم‌ترین روزهای سال برخوردار است، انرژی سرمایشی بیشتری نیز تولید می‌کنند.



شکل ۱۱- تغییرات ماهیانه سرمایش تولیدی شهرهای مطالعاتی.

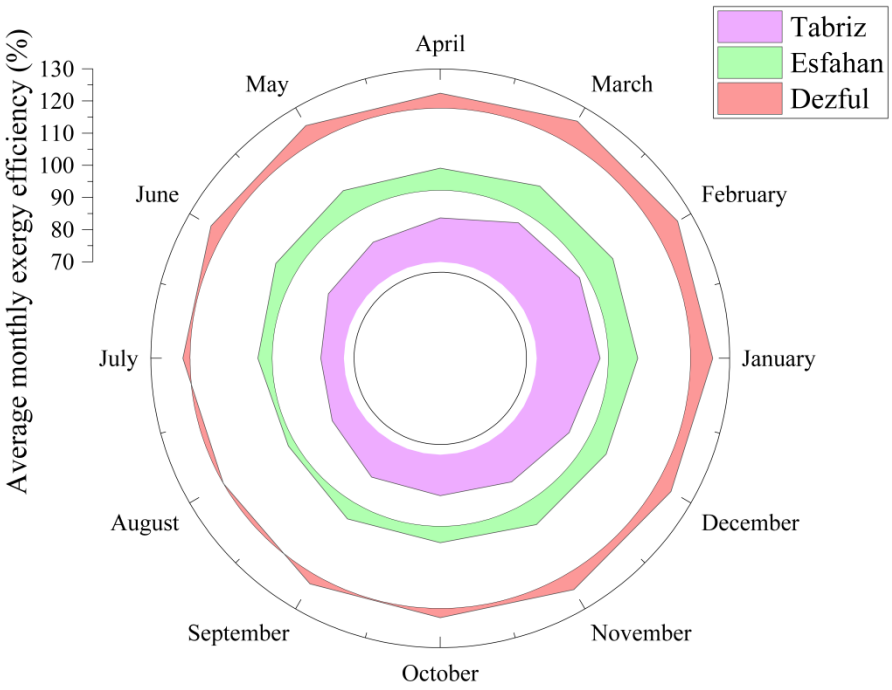
در شکل ۱۲ تغییرات توان تولیدی کل سیستم نسبت به تغییرات پارامترهای آب و هوایی نشان داده شده است. توان تولیدی کل سیستم مجموع توان تولیدی توربین ۱ و توربین ۲ است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد توان تولیدی سیستم با افزایش دمای محیط در ماه‌های گرم سال نسبت به ماه‌های فصل سرد سال توان تولیدی کاهش می‌یابد. چرا که با افزایش دمای محیط دبی جرمی ورودی به سیستم کاهش می‌یابد و باعث کاهش توان تولیدی سیستم می‌شود و برعکس. توربین‌ها وظیفه تولید توان را بر عهده دارند. لازم به ذکر است حداکثر توان تولیدی شهرهای مطالعاتی در یک ماه حدود ۷۰۰۰۰۰ کیلووات بر ساعت و حداقل توان تولیدی شهرهای مطالعاتی حدود ۴۵۰۰۰۰ کیلووات بر ساعت است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل ۱۲- تغییرات ماهیانه توان تولیدی کل سیستم شهرهای مطالعاتی.

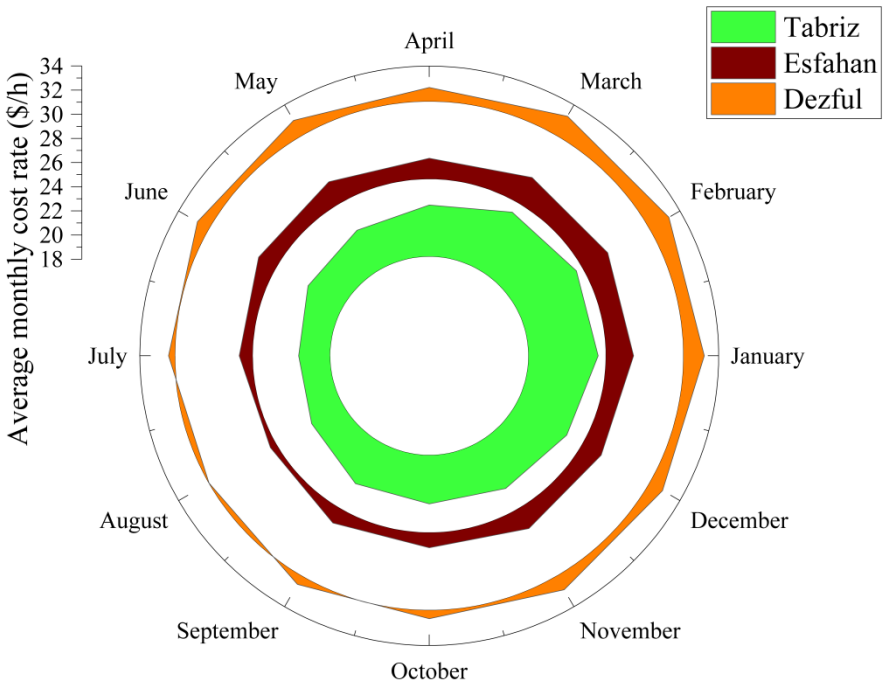
در شکل ۱۳ میانگین تغییرات ماهیانه بازده اگزرژی سیستم نسبت به تغییرات پارامترهای آب و هوایی نشان داده شده است. بازده اگزرژی و توان تولیدی با یکدیگر رابطه مستقیم دارند. به عبارتی اگزرژی بیانگر کار مفید است. پس روند تغییرات بازده اگزرژی و توان تولیدی سیستم مشابه است. لازم به ذکر است حداکثر میانگین ماهیانه بازده اگزرژی شهرهای مطالعاتی در یک ماه حدود ۸۵ درصد و حداقل میانگین ماهیانه بازده اگزرژی شهرهای مطالعاتی حدود ۶۰ درصد است.



شکل ۱۳- تغییرات ماهیانه میانگین بازده اگزرژی سیستم شهرهای مطالعاتی.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

در شکل ۱۴- میانگین تغییرات ماهیانه نرخ هزینه سیستم نسبت به تغییرات پارامترهای آب و هوایی نشان داده شده است. نرخ هزینه و توان تولیدی با یکدیگر رابطه مستقیم دارند. پس با افزایش یا کاهش توان تولیدی سیستم میزان نیاز به هزینه کردن جهت نگهداری و تعمیرات اجزاء سیستم افزایش یا کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش توان تولیدی سیستم نیاز به تجهیزات و واحدهای بزرگ‌تر بیشتر می‌شود. پس روند تغییرات نرخ هزینه و توان تولیدی سیستم مشابه است.



شکل ۱۴- تغییرات ماهیانه میانگین نرخ هزینه سیستم شهرهای مطالعاتی.

۱-۴-۵- بهترین شهر

برای معرفی بهترین شهر جهت راه‌اندازی سیستم پیشنهادی مجموع توان تولیدی کل سیستم، هیدروژن تولیدی و سرمایش تولیدی و همچنین میانگین بازده اگزرژی و نرخ هزینه در طول یک سال محاسبه شده است و نتایج در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد به ترتیب بهترین شهرها با بیشترین توان تولیدی در شهر تبریز و اصفهان است و عملکرد سیستم در شهر دزفول دارای کمترین مقدار است. به همین دلیل تبریز به‌عنوان بهترین شهر جهت راه‌اندازی سیستم پیشنهادی معرفی می‌شود.

جدول ۵- مجموع توان تولیدی شهرهای مطالعاتی.

City	Tabriz	Esfahan	Dezful
Output net power (kWh)	7721934	6531030	6273696
Cooling (kWh)	1950828	1958616	1960926

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

Hydrogen (kg/h)	18243.06	15525.84	14935.8
Average annual exergy efficiency (%)	83.81833	73.56833	71.36
Average annual cost rate ($/h)	22.52667	19.9275	19.37

۵-۵- آنالیز زیست‌محیطی

در جدول ۶ مزیت‌های زیست‌محیطی سیستم طراحی شده توضیح داده می‌شود. به‌طور کلی ۰,۲۰۴ تن کربن دی‌اکسید در نیروگاه‌های معمولی برای تولید یک مگاوات ساعت برق وارد محیط می‌شود. بنابراین، با در نظر گرفتن مجموع تولید برق سالانه سیستم در شهرهای مختلف، می‌تواند باعث کاهش انتشار کربن دی‌اکسید شود. انتشار یک‌تن کربن دی‌اکسید باعث هزینه زیست‌محیطی ۲۴ دلار می‌شود. در نتیجه با نصب سیستم پیشنهادی در شهر تبریز می‌توان از هزینه‌های زیست‌محیطی در سال نیز جلوگیری می‌کند و باعث گسترش فضای سبز و گیاهان شد. در ضمن باید گفت شود که برآوردی معادل ۴۹۴۰ دلار در هکتار برای میانگین قیمت رویشگاه غیرآب ته‌نشینی (محلی مناسب برای خدمات اکوسیستم جهت فراهم کردن شرایط مناسب زندگی جانداران) در نظر گرفته شد [۳۲-۳۴].

جدول ۶- آنالیز زیست‌محیطی ماهیانه سیستم پیشنهادی.

توان خالص تولیدی (MWh)	مقدار انتشار کربن دی اکسید (tonCO2/MWh)	هزینه زیست محیطی ($/tonCO2)	هکتار
7221.9	1575.26	37806.42	7

۶-نتیجه‌گیری

استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر مانند انرژی زمین‌گرمایی، به دلیل فراوانی و رایگان بودن آن‌ها، برای تولید انرژی‌ها پاک همواره مورد توجه بشر بوده است و طراحی بهینه روشی مناسب برای افزایش عملکرد این سیستم‌ها است که در این پژوهش از یک رویکردی جدید برای یافتن بهترین عملکرد سیستم انجام شده است. در پژوهش حاضر به آنالیز ترمودینامیکی شامل بررسی انرژی و اگزرژی، همچنین آنالیز اقتصادی سیستم تولید چندگانه انرژی مبتنی بر استفاده از انرژی تجدید پذیر زمین‌گرمایی با استفاده از سیکل ارگانیک رانکین، چیلر جذبی و الکترولایزر غشای تبادل پروتون پرداخته شد و یک تحلیل منطقه‌ای برای راه‌اندازی سیستم در شهرهای مختلف انجام شد. سیستم مورد بررسی متشکل از زیرسیستم‌های چاه زمین‌گرمایی، سیکل ارگانیک رانکین، چیلر جذبی و الکترولایزر غشای تبادل پروتون است. محصولات سیستم شامل برق، سرمایش، گرمایش و هیدروژن است. سیال مورد استفاده در سیکل ارگانیک رانکین شامل مبرد R123 و سیال ارگانیک آمونیاک است. جهت مدل‌سازی سیستم از نرم‌افزار ترمودینامیکی حل معادلات مهندسی استفاده شد. در این مطالعه یک آنالیز حساسیت نسبت به تغییرات چهار پارامتر تأثیرگذار بر روی عملکرد سیستم شامل دمای ورودی به توربین ۱، دمای ورودی به اواپراتور، نرخ دبی جرمی ورودی به اواپراتور و بازده توربین انجام شد و نتایج نشان داد که دمای ورودی به اواپراتور، دمای ورودی به توربین و نرخ دبی جرمی از تأثیرگذارترین پارامترها هستند. یک مطالعه موردی برای بررسی و امکان‌سنجی راه‌اندازی سیستم پیشنهادی در سه شهر مختلف کشور ایران شامل تبریز، اصفهان و دزفول بندرعباس انجام شد. شهرهای انتخابی از پتانسیل بالای انرژی زمین‌گرمایی برخوردار هستند. در نهایت شهر تبریز به‌عنوان بهترین منطقه برای راه‌اندازی سیستم به

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

دلیل پتانسیل بالای تولید انرژی انتخاب شد. نتایج بررسی عملکرد سیستم در شهر تبریز نشان داد که بازده اگزرژی میانگین سالیانه سیستم ۸۳,۸ در صد، نرخ هزینه میانگین سالیانه سیستم ۲۲,۵ دلار بر ساعت، میزان سرمایش تولیدی سالیانه ۱۹۵۰۸۲۸ کیلووات ساعت، میزان هیدروژن تولیدی سالیانه ۱۸۲۴۳,۰۶ کیلوگرم بر ساعت و میزان توان تولیدی سالیانه ۷۷۲۱۹۳۴ کیلووات ساعت است. نتایج زیست‌محیطی نشان داد که با تولید برق به میزان ۷۲۱۷,۷ مگاوات سالیانه در شهر تبریز می‌توان به گسترش ۷ هکتاری فضای سبز در سال کمک کرد.

۷-علائم اختصاری

T	دما $[°C]$	ORC	سیکل ارگانیک رانکین
p	فشار $[kPa]$	$H2$	هیدروژن
$\dot{Q}$	انتقال حرارت $[kW]$	O_2	اکسیژن
C_P	ظرفیت گرمایی ویژه $[kJ/kg.K]$	H_2	هیدروژن
$\dot{E}x$	اگزرژی $[kW]$	PEM	غشای تبادل پروتون
F	نرخ جریان جرمی آب $[kg/s]$	Net	خالص خروجی
W	توان $[kW]$	pp	پینچ پوینت
$\dot{m}$	نرخ دبی جرمی $[kg/s]$	tur	توربین
s	آنتروپی $[kJ/kg.K]$	eva	اواپراتور
U	ضریب انتقال حرارت کلی $[kW/m^2K]$	HEX	مبدل حرارتی
h	آنتالپی $[kJ/kg]$	i	ورودی
x	کیفیت $[ppm]$	e	خروجی
Z	هزینه سرمایه گذاری $[\$]$	ch	شیمیایی
$\dot{Z}$	نرخ هزینه $[\$/h]$	cv	حجم کنترل
مخفف ها		حروف یونانی	
ph	فیزیکی	η	بازده

۸-مراجع

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

1- Liu, G., et al. (2023). "Geothermal-solar energy system integrated with hydrogen production and utilization modules for power supply-demand balancing." Energy 283: 128736.
2- McClean, A. and O. W. Pedersen (2023). "The role of regulation in geothermal energy in the UK." Energy Policy 173: 113378.
3- Cao, L., Lou, J., Wang, J., Dai, Y., 2018, Exergy analysis and optimization of a combined cooling and power system driven by geothermal energy for ice-making and hydrogen production, Energy Conversion and Management, Volume 174, Pages 886-896.
4- Alirahmi, S. M., Assareh, E., 2020, Energy exergy and exergoeconomics (3E) analysis and multi-objective optimization of a multi-generation energy system for day and night time power generation - Case study: Dezful city, International Journal of Hydrogen Energy.
5- Kianfard, H., KhalilaryaM S., Jafarmadar, S., 2018, Exergy and exergoeconomic evaluation of hydrogen and distilled water production via combination of PEM electrolyzer, RO desalination unit and geothermal driven dual fluid ORC, Energy Conversion and Management, Volume 177, Pages 339-349.
6- Parikhani, T., Azariyan, H., Behrad, R., Ghaebi, H., Jannatkhah, J., 2020, Thermodynamic and thermoeconomic analysis of a novel ammoniawater mixture combined cooling, heating, and power (CCHP) cycle, Renewable Energy 145, 1158e1175.
7- Prieto, J., et al. (2023). "Integration of a heating and cooling system driven by solar thermal energy and biomass for a greenhouse in Mediterranean climates." Applied Thermal Engineering 221: 119928.
8- Bamisile, O., et al. (2023). "Thermo-enviro-exergoeconomic analysis and multi-objective optimization of a novel geothermal-solar-wind micro-multi-energy system for cleaner energy production." Process Safety and Environmental Protection 170: 157-175.
9- Abbassi, Y., et al. (2022). "Transient energy storage in phase change materials, development and simulation of a new TRNSYS component." Journal of Building Engineering 50: 104188.
10- Dezfouli, M. M. S., et al. (2022). "Energy and performance analysis of solar solid desiccant cooling systems for energy efficient buildings in tropical regions." Energy Conversion and Management: X 14: 100186.
11- Soheil Kavian, Cyrus Aghanajafi, Hassan Jafari Mosleh, Arash Nazari, Ashkan Nazari,Exergy, economic and environmental evaluation of an optimized hybrid photovoltaic-geothermal heat pump system,Applied Energy,Volume 276,2020 .https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115469
12- Cao, Y., et al. (2022). "Development and transient performance analysis of a decentralized grid-connected smart energy system based on hybrid solar-geothermal resources; Techno-economic evaluation." Sustainable Cities and Society 76: 103425.
13- Saleem, M. S., et al. (2020). "Design and optimization of hybrid solar-hydrogen generation system using TRNSYS." International Journal of Hydrogen Energy 45(32): 15814-15830.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

14- Karacavus, B. and K. Aydın (2020). "Hydrogen production and storage analysis of a system by using TRNSYS." International Journal of Hydrogen Energy 45(60): 34608-34619.
15- Alibaba, M., et al. (2020). "Thermodynamic, exergo-economic and exergo-environmental analysis of hybrid geothermal-solar power plant based on ORC cycle using emergy concept." Heliyon 6(4): e03758.
16- Praveen, R. P. and K. V. V. Chandra Mouli (2022). "Performance enhancement of parabolic trough collector solar thermal power plants with thermal energy storage capability." Ain Shams Engineering Journal 13(5): 101716.
17- Assareh, E., et al. (2023). "Simulation, optimization and thermodynamic, economic and environmental analysis of cryogenic cycle, dew point regulation in an existing refinery." Advances in Engineering and Intelligence Systems 002(02).
18- Rostami, M., et al. (2022). "Energy production and storage from a polygeneration system based on parabolic trough solar collector, proton exchange membrane fuel cell, organic Rankine cycle, and alkaline electrolyzer." Journal of Energy Storage 47: 103635.
19- Izadi, A., et al. (2023). "Design, and optimization of COVID-19 hospital wards to produce Oxygen and electricity through solar PV panels with hydrogen storage systems by neural network-genetic algorithm." Energy 263: 125578.
20- Ozturk, M. and I. Dincer (2022). "System development and assessment for green hydrogen generation and blending with natural gas." Energy 261: 125233.
21- Dezhdar, A., et al. (2023). "Transient optimization of a new solar-wind multi-generation system for hydrogen production, desalination, clean electricity, heating, cooling, and energy storage using TRNSYS." Renewable Energy 208: 512-537.
22- Dezhdar, A., et al. (2023). "Performance improvement of a flash-binary geothermal power system using zeotropic working fluid; A comprehensive exergoeconomic analysis and optimization." Advances in Engineering and Intelligence Systems 002(01).
23- Keykhah, A., et al. (2023). "Optimization and performance analysis of a geothermal-based power generation system based on flash-binary and dual-pressure evaporation organic Rankine cycles using zeotropic mixtures." Advances in Engineering and Intelligence Systems 002(03.(
24- Dezhdar, A. and E. Assareh (2020). "Modeling, Optimization and exergoeconomic analysis a multiple energy production system based on solar Energy, Wind Energy and Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) in the onshore region." iaud-jeed 7(3): 81-94.
25- Assareh, E., et al. (2019). "Exergoeconomic and multi-objective optimization of a solar system for Hydrogen production by the Particle Swarm Algorithm." Journal of Energy Conversion 6(1): 43-59.
26- Assareh, E., et al. (2023). "A transient simulation for a novel solar-geothermal cogeneration system with a selection of heat transfer fluids using thermodynamics analysis and ANN intelligent (AI) modeling." Applied Thermal Engineering 231: 120698.
27- Alirahmi, S. M., Rahmani Dabbagh, S., Ahmadi, P., Wongwises, S., 2020, Multi-objective design optimization of a multi-generation energy system based on geothermal and solar energy, Energy Convers. Manag., vol. 205, p. 112426.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

28- Alirahmi, S. M., Rostami, M., Farajollahi, A. H., 2020, Multi-criteria design optimization and thermodynamic analysis of a novel multi-generation energy system for hydrogen, cooling, heating, power, and freshwater, Int. J. Hydrogen Energy, vol. 45, no. 30, pp. 15047–15062.
29- Boyaghchi, F. A., Chavoshi ,M., Sabeti, V., 2018, Multi-generation system incorporated with PEM electrolyzer and dual ORC based on biomass gasification waste heat recovery: Exergetic, economic and environmental impact optimizations, Energy, vol. 145, pp. 38–51.
30- Zhang, X., et al., 2019, Conventional and energy level based exergoeconomic analysis of biomass and natural gas fired polygeneration system integrated with ground source heat pump and PEM electrolyzer, Energy Convers. Manag., vol. 195, pp. 313–327.
31- Ioroi, T., Yasuda, K., Siroma, Z., Fujiwara, N., Miyazaki, Y., 2002, Thin film electrocatalyst layer for unitized regenerative polymer electrolyte fuel cells, J Power Sources;112:583–7.
32- Kroegera,T., Escobedob, F.J., Hernandezc, J. H., Varelab, S., Delphinb, S., Fishera, J. R. B., Waldrond, J., 2014, Reforestation as a novel abatement and compliance measure for ground-level ozone, 111 (40), https://doi.org/10.1073/pnas.1409785111.
33- Alirahmi, S. M., Razmi, A. R., Arabkoohsar, A., 2021, Comprehensive assessment and multi-objective optimization of a green concept based on a combination of hydrogen and compressed air energy storage (CAES) systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 142, 110850.
34- Assareh, E., et al. (2023). "An integrated system for producing electricity and fresh water from a new gas-fired power plant and a concentrated solar power plant – Case study – (Australia, Spain, South Korea, Iran)." Renewable Energy Focus 44: 19-39.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

چکیده انگلیسی:

Regional analysis of a multiple energy production system based on geothermal energy for the production of electricity, hydrogen and cooling

Mohammad Sahrakar, Ali Ershadi*, Ehsanolah Assaerh

*1 Department of Mechanical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

Received :February 2024 Accepted: May 2024

Abstract

In the current research, the thermodynamic analysis, and the economic analysis of the multiple energy production system based on the use of geothermal renewable energy using the organic Rankine cycle, absorption chiller, and proton exchange membrane electrolyzer were discussed, and a regional analysis was carried out to set up the system in different cities. In this study, a sensitivity analysis was performed on the changes of four parameters affecting the system performance, including the inlet temperature to turbine 1, inlet temperature to the evaporator, mass flow rate of the inlet to the evaporator, and turbine efficiency. The results showed that the inlet temperature to the evaporator, the inlet temperature to the turbine, and the mass flow rate are the most influential parameters. A case study was conducted to investigate the feasibility of launching the proposed system in three different cities of Iran including Tabriz, Isfahan, and Dezful. Selected cities have high geothermal energy potential. Finally, the city of Tabriz was chosen as the best region for setting up the system due to its high energy production potential. The results of the system performance review in Tabriz city showed that the annual average exergy efficiency of the system is 83.8% and the average annual cost rate of the system is 22.5 dollars per hour. Also, the total annual production of cooling is 1950828 kWh, the annual production of hydrogen is 18243.06 kg/h and the annual production power is 7721934 kWh. The environmental results showed that by producing 7217.7 MW of electricity annually in Tabriz city, it is possible to help expand 7 hectares of green space per year.

Keywords: Geothermal energy, multiple energy production system, proton exchange membrane electrolyzer, organic Rankine cycle, absorption chiller.

.

*corresponding author: ali.ershadi@iau.ac.ir

Cite this article as: Mohammad Sahrakar, Ali Ershadi, Ehsanolah Assaerh. Regional analysis of a multiple energy production system based on geothermal energy for the production of electricity, hydrogen and cooling. Journal of Energy Conversion, 2024, 11(2), 37-60.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]