J. Energy Conversion
Volume: 8, Issue: 3, 2021: 13−29

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۸، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص: ۱۳- ۲۹

DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0

ترکیب سیکل برایتون و یک سیستم کلکتور خورشیدی با دریافت کننده مرکزی برای تولید برق، آب شیرین و سرمایش

علی برومند[۱]، احسان‌اله عصاره [۲و*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران
*۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، assareh@iaud.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۲، بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۲۵، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۵

چکیده

در این پژوهش به تحلیل انرژی، اگزرژی یک سیستم تولید چندگانه انرژی بر مبنای استفاده از انرژی زمین خورشیدی با شرایط مناسب و نزدیک به منطقه‌ای با پتانسیل بالای خورشیدی و ترکیب سیکل برایتون و سیکل ارگانیک رانکین پرداخته شد. سیستم مورد بررسی متشکل از زیرسیستم‌های برج خورشیدی، منبع ذخیره کننده گرما، سیکل برایتون، سیکل رانکین بخار، آب شیرین کن RO و سیکل تبرید جذبی تک اثره است. خروجی‌های اصلی این سیستم شامل آب شیرین، برق تولیدی و سرمایش است. در این سیستم از یک برج خورشیدی استفاده شدکه گرما به آینه‌ها منتقل شده و هوای گرم به توربین داده می‌شود و سپس فرآیند تولید برق انجام می‌شود. آب‌شیرین از طریق آب-شیرین‌کن RO و چیلر جذبی سرمایش تولید می‌کند. در این سیستم یک سیکل برایتون وجود دارد که به جای محفظه‌ی احتراق از یک سیستم خورشیدی استفاده شدکه این ایده یک نوآوری محسوب می‌شود. جهت مدلسازی سیستم مورد بررسی و همچنین به‌دست آوردن نتایج ترمودینامیکی از نرم‌افزار EES به عنوان یک ابزار مهندسی بهره برده شده است. از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار و کاربردی در این بررسی‌ها، باید به شدت تابش خورشیدی (DNI)، تعداد هلیوستات (N_hel)، فشار ورودی توربین (P8) و نسبت فشار کمپرسور (r_p) اشاره کرد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** assareh@iaud.ac.ir

کلمات کلیدی: انرژی خورشیدی، سیستم تولید چندگانه انرژی، بهینه‌سازی چندهدفه، اگزرژی، نرخ هزینه.

۱- مقدمه

انرژی بخش مهمی از زندگی ما و یکی از عناصر اصلی جهت دست‌یابی به اهداف مشترک اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی برای رسیدن به توسعه پایدار در هر کشوری است. با توجه به محدود بودن منابع انرژی و اثرات زیست محیطی، امروزه نه تنها باید وابستگی به منابع نامناسب سوخت و انرژی کمتر شود، بلکه باید استفاده از منابع طبیعی کم هزینه، قابل اطمینان و کم خطر برای محیط زیست گسترش پیدا کند (نیوشا و همکاران، ۱۳۹۸، ۴). در کشور ما تکیه اصلی سیستم به استفاده از منابع رو به زوال نفت وگاز است و به‌دلیل نامحدود بودن منابع انرژی فسیلی باید به دنبال جایگاهی برای انرژی تجدیدپذیر نو در مصرف کلیه انرژی جهانی در طول دهه‌های آتی بود. روند مصرف انرژی در سال‌های گذشته بسیار سریع و نگران‌کننده بوده است. این روند در کشورهای در حال توسعه و علی‌الخصوص در ایران بسیار بالاتر از میانگین جهانی است. یک واقعیت پذیرفته

نحوه استناد به این مقاله: علی برومند، احسان‌اله عصاره. ترکیب سیکل برایتون و یک سیستم کلکتور خورشیدی با دریافت کننده مرکزی برای تولید برق، آب شیرین و سرمایش. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۰; ۸ (۳) :۱۳-۲۹.
DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

شده برای جوامع بشری این است که انرژی مورد نیاز دنیا، به سرعت رو به افزایش است و در حال حاضر منابع انرژی فسیلی ارزان قیمت نیز به آرامی، اما به‌طور یقین، در چندین دهه‌ی دیگر به اتمام خواهد رسید. برای حفظ این منابع فسیلی با ارزش برای نسل‌های آتی و جلوگیری از خسارت‌های زیست محیطی ناشی از سوختن آن‌ها و پاسخ‌گویی به افزایش تقاضای روزافزون انرژی، راهی جز روی آوردن بشر به استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدشونده باقی نمانده است [۱].

امروزه بشر با دو بحران بزرگ روبرو است که بیش از آنچه ما ظاهرا تشخیص می‌دهیم با یکدیگر ارتباط دارند. از یک طرف جوامع صنعتی و همچنین شهرهای بزرگ با مشکل آلودگی محیط زیست مواجهند و از طرف دیگر مشاهده می شود که مواد اولیه و سوخت مورد نیاز همین ماشین ها با شتاب روز افزون در حال اتمام است.

از انرژی خورشیدی می‌توان استفاده‌های مهم و کاملا مفید، به عنوان یک انرژی پاک و در دسترس در همه‌جا استفاده کرد. امروزه از انرژی خورشیدی توسط سیستم‌های مختلف استفاده می‌شود که عبارتند از:

۱- استفاده از انرژی حرارتی خورشید برای مصارف خانگی، صنعتی و نیروگاهی.

۲- تبدیل مستقیم پرتوهای خورشید به الکتریسیته به‌وسیله تجهیزاتی به نام فتوولتائیک.

به‌طور کلی دلایل فنی، اقتصادی، فرهنگی، اجتماعی و آموزشی بی‌شماری وجود دارند که سهم انرژی خورشیدی در ربع قرن پیش رو را محدود می‌سازند. از مهم‌ترین موانع، یارانه‌ای است که به‌خصوص در کشورهای غنی از منابع فسیلی به سوخت های فسیلی تعلق می‌گیرد و سرمایه‌گذاری در بخش خورشیدی را با تردید مواجه می‌کند. به این ترتیب کاهش قیمت تجهیزات استحصال انرژی خورشیدی تنها راه عمومی شدن آن‌ها خواهد بود.

محرمیان و همکاران [۲] در سال ۲۰۱۹، بر روی تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی و اقتصادی یک سیکل ترکیبی فتوولتائیک و زیست توده برای تولید هیدروژن کار کردند. اهداف این پژوهش اگزرژی و هزینه کلی سیستم تعیین شد. نتایج نشان داد که افزایش فشار کمپرسور موجب افزایش نرخ تخلیه گاز کربن دی اکسید، نرخ تخریب اگزرژی سیستم، کاهش راندمان اگزرژی و نرخ هزینه‌های تخریب اگزرژی می‌شود. افزایش سطح سیستم فتوولتائیک موجب کاهش راندمان‌های انرژی و اگزرژی و افزایش هزینه تولید سیستم می‌شود. تزریق هیدروژن به محفظه احتراق جایگزینی برای استفاده از هیدروژن محصول است. این عمل باعث کاهش میزان دی اکسید کربن، میزان تخریب اگزرژی در محفظه احتراق، هزینه محصول سیستم و راندمان انرژی می-شود.

کهرامن و همکاران [۳] در سال ۲۰۱۹، به تجزیه و تحلیل حرارتی و ترمودینامیکی یک نیروگاه زمین گرمایی ۲۱ مگاواتی با استفاده از تهویه مطبوع پرداختند. همچنین آن‌ها تاثیر تغییر دمای هوای محیط بر روی عملکرد نیروگاه را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها سیکل رانکین ارگانیک را بر اساس داده‌های عملیاتی و داده‌های طراحی به‌صورت عددی مورد بررسی قرار دادند. راندمان‌های قانون اول و دوم ترمودینامیک به خوبی تلفات اگزرژی و پتانسیل های اجزای مختلف سیکل را به‌دست آورد. با توجه به اینکه در نیروگاه‌های زمین گرمایی دمای محیط یک پارامتر بحرانی است، به‌همین خاطر آنالیز گرمایی و اقتصادی بر اساس دماهای مختلف محیط به‌دست آورده شد. تاثیر دمای محیط بر روی مجموع هزینه‌های تولید، راندمان‌های انرژی و اگزرژی در این پژوهش بررسی شد. نتایج حاکی از افزایش راندمان نیروگاه بود.

صدیقی و همکاران [۴] در سال ۲۰۱۹، برروی تجزیه و تحلیل یک سیستم انرژی یکپارچه مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر باد-خورشیدی و با استفاده از سیال آمونیاک برای ذخیره انرژی کار کردند. در این مطالعه، یک سیستم یکپارچه مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر جدید باد-خورشیدی ایجاد می‌شود که در آن انرژی اضافی تولید شده به شکل آمونیاک را ذخیره می‌کند. سیستم توسعه یافته هم منابع انرژی خورشیدی و هم انرژی باد را ادغام می‌کند. شبیه‌سازی پویا با توجه به تغییرات شدت تابش خورشیدی و همچنین سرعت باد در طول سال انجام می‌شود. پتانسیل خروجی انرژی آمونیاک و سیستم ذخیره انرژی بر پایه سلول سوختی اکسید جامد پیشنهادی در ارزش اوج ۲۸۴۶۳ کیلووات ساعت است.

هاشمیان و همکاران [۵] در سال ۲۰۱۹، یک ارزیابی به همراه بهینه‌سازی چند هدفه بر روی یک سیستم تجدیدپذیر ترکیبی مبتنی بر انرژی خورشیدی و زیست توده انجام دادند. اهداف طراحی این سیستم تولید برق، گرمایشی، خنک کننده، تولید هیدروژن و آب آشامیدنی بود. این سیستم متشکل از یک سیکل رانکین آلی، سیستم خنک کننده جذبی، الکترولیزگر

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

(سیستم تولید هیدروژن) و کلکتور خورشیدی بود. در این کار، طرحی جدید از یک سیستم هیبریدی با هدف تولید برق، گرمایش، خنک کننده، هیدروژن و آب آشامیدنی معرفی شد. این سیستم شامل یک سیکل رانکین بخار، چیلر جذب دواثره، الکترولیزگر غشای تبادل پروتون (PEM)، نمک زدای چند اثر و جمع کننده خورشیدی است. تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی برای ارائه امکان‌سنجی ترمودینامیکی و نواقص با محاسبه برگشت‌ناپذیری‌های رخ داده در اجزا انجام شد.

اتیز و همکاران [۶] در سال ۲۰۱۸، بر روی ارزیابی عملکرد برق و تولید هیدروژن توسط کلکتورهای خورشیدی لوله تخلیه شده کار کردند. این سیستم شامل مجموعه های خورشیدی لوله تخلیه شده است که مساحت آن ۳۰۰ متر مربع است، یک حوض خورشیدی (SGSP) که مساحت آن ۲۱۷ متر مربع است، یک سیکل ارگانیک رانکین (ORC) و یک سیستم الکترولیزگر برای تولید هیدروژن است. کشاورززاده و همکاران [۷] در سال ۲۰۱۹، ارزیابی و بهینه‌سازی سیستم انرژیی یکپارچه با الکترولیزگر و سلول‌های سوختی برای تولید برق، سرمایش و تولید هیدروژن با استفاده از روش‌های مختلف بهینه-سازی را انجام دادند. در این کار، یک ترکیب جدید، مبتنی بر انرژی خورشیدی، خنک کننده، گرمایشی و قدرت جدید مبتنی بر خورشیدی ارائه شد که شامل میدان‌های جمع کننده خورشیدی از طریق پارابولیک، یک مخزن ذخیره‌سازی نمک مذاب دو مخزن، یک سیکل ارگانیک رانکین است. یک سلول سوختی غشای تبادل پروتون، یک الکترولیزگر غشای تبادل پروتون - (PEM) و یک چیلر جذب آب برلیوم-لیتیم سیستم را تشکیل می‌دهد.

رزمی و همکاران [۸] در سال ۲۰۱۹، به بررسی یک سیستم تولید هم‌زمان گرمایش، سرمایش و برق براساس سیکل ارگانیک رانکین و چرخه تبرید و سازگار با محیط زیست پرداختند. گرمایش و توان خنک کننده ترکیبی یک فناوری تأمین کننده انرژی است که به دلیل امکان پذیری بودن از دیدگاه فنی و اقتصادی، عملکرد و محیط زیست به طور گسترده در ساختمان ها نصب می شود. در این پژوهش، یک سیستم تولید نوین مبتنی بر ذخیره انرژی هوای فشرده شده و سیکل برودتی جذب فشرده سازی ترکیبی ارائه شده است. غلامینیان و حبیب‌اله‌زاده [۹] در سال ۲۰۱۸، بر روی توسعه و بهینه‌سازی چند-هدفه از سیکل رانکین ارگانیک ژئوترمال با ژنراتور ترموالکتریک که برای تولید انرژی برق و هیدروژن استفاده می‌شد، کار کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که سیستم چگونه با کارکرد سیالا مختلف بهینه شده است.

چن و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۱۸، بهینه‌سازی از یک سیستم انرژی خورشیدی ترکیب شده با یک ذخیره کننده آمونیاک را طراحی و نمایش داده‌اند. آن‌ها حرارت بخار نقطه بحرانی را با یک حرارت سیستم ریکاوری شده ترکیب کردند. تحقیق آن‌ها بر روی سایز راکتور و همچنین توانایی ها و مواد مورد استفاده شده متمرکز شده بود. یلماز [۱۱] در سال ۲۰۱۹، آنالیز ترمودینامیکی از دستگاه تولید هیدروژن توسط یک سیستم تبدیل انرژی حرارتی اقیانوس را بررسی کردند. پژوهش آن‌ها نشان داد که ترکیب از یک سیستم OTEC، تولید هیدروژن و سیستم تبدیل به مایع را با یک الکترولیزگر و یک مجموعه خورشیدی، چونه با هم کار می‌کنند و مجموع تاثیر اگزرژی و انرژی از دستگاه به‌ترتیب ۴۳,۴۹ درصد و ۳۶,۴۹ درصد گزارش شد. بنابراین انالیز اقتصادی و اگزرژی و انرژی یک روش پیشرفته برای فهمیدن و رشد سیستم انرژی می‌باشد و این ها به مقدار زیادی برای این موضوع ها کار انجام می‌دهند. بهزادی [۱۲] در سال ۲۰۱۹، یک بهینه‌سازی چند هدفه بر روی یک سیستم خورشیدی جهت تولید انرژی الکتریسیته و تولید هیدروژن انجام داد. بهینه‌سازی این پژوهش با الگوریتم ژنتیک انجام شد. در این پژوهش از ژنراتور ترموالکتریک به جای کندانسور برای افزایش راندمان اگزرژی، تولید برق، افزایش میزان تولید هیدروژن و کاهش نرخ هزینه استفاده شد. نتایج حاصل از مطالعه نشان دادکه سیستم پیشنهادی با ترموالکتریک راندمان اگزرژی بالاتر، میزان تولید هیدروژن بالاتر، نرخ کل هزینه پایین‌تری دارد.

در این پژوهش یک سیستم تولید چندگانه انرژی طراحی و مورد بررسی قرار می‌گیرد. به سیستم‌هایی که برای چند منظور (شامل برق، گرمایش (هوای گرم-آب گرم)، هیدروژن و ...) طراحی و مورد استفاده قرار گیرند، سیستم تولید چندگانه انرژی می‌گویند. از مزایای این سیستم‌ها می‌توان بهره‌برداری بالای انرژی، کاهش تلفات انرژی و اگزرژی، بازده بالا اگزرژی و کاهش اثرات گلخانه‌ای اشاره کرد. در سیستم‌های تولید چندگانه انرژی، انتخاب مناسب منابع تامین کننده انرژی یکی از مهم‌ترین موارد است. انرژی خورشیدی با توجه به پتانسیل محل اجرای پروژه منبع مناسب جهت تامین انرژی برای سیستم مورد مطالعه این پژوهش می‌باشد.

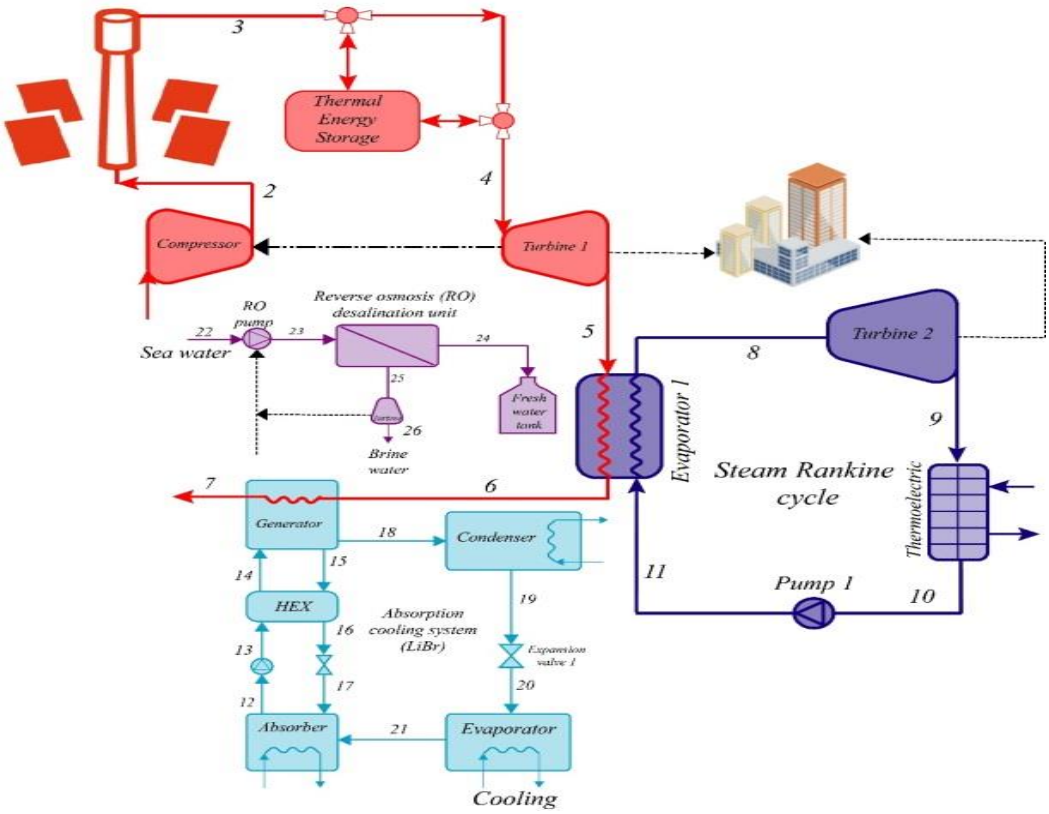
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

اهدافی که در پژوهش حاضر دنبال می‌شود و خواهان رسیدن به آن‌ها هستیم، شامل ارزیابی اقتصادی سیستم هیبریدی مورد نظر، تحلیل انرژی و اگزرژی و همچنین میزان تخریب کل اگزرژی، تولید برق پایدار و تمیز از انرژی زمین گرمایی، افزایش راندمان اگزرژی و راندمان حرارتی سیستم و استفاده از ژنراتور ترموالکتریکی به جای کندانسور می‌باشد.

۲- سیستم مورد بررسی

سیستم پیشنهادی از هفت زیر سیستم برج خورشیدی، منبع ذخیره کننده گرما، سیکل برایتون، سیکل رانکین بخار، آب شیرین کن RO و سیکل تبرید جذبی تک اثره تشکیل شده است که این سیستم بر مبنای سیستم‌های خورشیدی متمرکز کننده کار می‌کند. خروجی‌های اصلی این سیستم شامل آب شیرین، برق تولیدی و سرمایش است. این سیستم‌ها یک سیستم رسیور است که گرما به آینه‌ها منتقل شده و هوای گرم به توربین داده می شود و سپس فرآیند تولید برق انجام می شود. خروجی این سیستم، برق، آب شیرین و سرمایش است. انرژی برق از طریق توربین نشان داده شده در سیستم، تولید می‌شود. آب‌شیرین از طریق آب‌شیرین‌کن RO و چیلر جذبی سرمایش تولید می‌کند. در این سیستم یک سیکل برایتون وجود دارد که به جای محفظه ی احتراق (روش عامیانه‌ای در این نوع سیستم‌ها، که سوخت آن از گاز طبیعی یا زغال سنگ تهیه می‌شود) از یک سیستم خورشیدی یا همان کلکتور حرارتی خورشیدی یا هلیوستات) استفاده شده است که این ایده یک نوآوری محسوب می‌شود.



شکل ۱: سیستم مورد بررسی کار حاضر

۳- مدلسازی معادلات حاکم در نرم‌افزار EES

مقدار گرمای حاصل از سیال کاری را می‌توان به‌صورت رابطه زیر بیان نمود:

$$\dot{Q}_h = \eta_h \times A_{\text{hel}} \times N_{\text{hel}} \times \text{DNI} \quad (۱)$$

که در آن A_{hel} مساحت هلیوستات، N_{hel} تعداد هلیوستات DNI تابش خورشیدی است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

مقدار گرمای از دست رفته کل را طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{Q}_{loss} = h_a A_r (T_r - T_0) + sigma \times \text{epsilon} \times (T_r^4 - T_0^4) \quad (۲)$$

که در این رابطه ضریب h_a به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$h_a = 10.45 - v + 10 \times \sqrt{v} \quad (۳)$$

اختلاف گرمای تولیدی و از دست رفته طبق رابطه زیر برای هلیوستات محاسبه می‌شود:

$$\dot{Q}_r = \dot{Q}_h - \dot{Q}_{loss} \quad (۴)$$

$$\dot{Q}_r = \dot{m}_1 \times 1000 \times (h_4 - \mathrm{h}_2) \quad (۵)$$

سرمایش تولیدی در چیلر جذبی (ظرفیت سرمایشی تولیدی) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_{cooling} = 0.745 \times \dot{Q}_{gen} \quad (۶)$$

$$cp_6 = \mathrm{cp}(Water, \mathrm{T} = \mathrm{T}_6, \mathrm{P} = \mathrm{P}_6) \quad (۷)$$

گرمای ورودی به ژنراتور از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{Q}_{gen} = \dot{m}_6 \times cp_6 \times (\mathrm{T}_6 - \mathrm{T}_7) \quad (۸)$$

برای آنالیز ترموالکتریک، محاسبه بازده ترموالکتریک در این سیستم، از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\eta_{TEG} = \eta_{carnot} \times ((\sqrt{(1+ZT_M)} - 1) / (\sqrt{(1+ZT_M)} + (T_L / T_H))) \quad (۹)$$

که ZT_M معیار شایستگی است، و مقدار آن برابر با ۰٫۸ است.

توانایی یک ماده برای تولید برق ترموالکتریکی با معیار شایستگی که بی‌بعد می‌باشد، ارتباط دارد.

روابط بالانس انرژی به شرح زیر است:

مقدار کار کمپرسور:

$$\dot{\mathrm{W}}_{comp} = \dot{\mathrm{m}}_1 \times (\mathrm{h}_2 - \mathrm{h}_1) \quad (۱۰)$$

مقدار کار پمپ شماره ۱:

$$\dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{pump1}} = \dot{\mathrm{m}}_{10} \times (\mathrm{h}_{11} - \mathrm{h}_{10}) \quad (۱۱)$$

مقدار کار توربین بخار:

$$\dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{turbine,\ steam}} = \dot{\mathrm{m}}_8 \times (\mathrm{h}_8 - \mathrm{h}_9) \quad (۱۲)$$

مقدار کار توربین گاز:

$$\dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{turbine,\ gas}} = \dot{\mathrm{m}}_4 \times (\mathrm{h}_4 - \mathrm{h}_5) \quad (۱۳)$$

انتقال حرارت اواپراتور:

$$\mathrm{Q}_{\mathrm{Evva}} = \dot{\mathrm{m}}_{11} \times (\mathrm{h}_8 - \mathrm{h}_{11}) \quad (۱۴)$$

مقدار کار خالص کل (مجموع کار خالص توربین بخار، کار خالص توربین گاز منهای کار پمپ شماره ۱ و کپرسور):

$$\dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{net}} = \dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{turbine,\ gas}} + \dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{turbine,\ steam}} - \dot{\mathrm{W}}_{comp} - \dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{pump1}} \quad (۱۵)$$

مقدار کار سیکل SRC (سیکل بخار):

$$\dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{SRC}} = \dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{turbine,\ gas}} - \dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{pump1}} \quad (۱۶)$$

مقدار کار توربین گاز:

$$\dot{\mathrm{W}}_{gas} = \dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{turbine,\ gas}} - \dot{\mathrm{W}}_{comp} \quad (۱۷)$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

قدرت خروجی پمپ سیکل بخار از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{PumpPower} = \dot{W}_{\text{turbine, steam}} \times 1.79 \quad (۱۸)$$

نرخ آب شیرین از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\text{Fresh Water Rate} = p1 \times PumpPower^2 + p2 \times PumpPower + p3) / (PumpPower + q1) \quad (۱۹)$$

مقدار هزینه کل سیستم از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_{total} = Z_{Solarcollector} + Z_{Turbine} - + Z_{\text{TEG}} + Z_{\text{Pump1}} + Z_{\text{Pump2}} + Z_{\text{Pump3}} + Z_{Evap} + Z_{\text{Wind,Turbine}} \quad (۲۰)$$

ضریب بازگشت سرمایه را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$CFR = \frac{ix(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (۲۱)$$

در اینجا i و n میزان سود و دوره عملکرد نیروگاه (سال) را نشان می‌دهند که به ترتیب برابر ۰,۱ و ۲۰ هستند.

از آنجایی که انتظار می‌رود هر دستگاه از یک سیستم ترکیبی در شکل زمانی خاص کار کند، نرخ هزینه‌ی هر دستگاه معیار خوبی از نرخ هزینه‌ای است که با $\dot{Z}$ نشان داده می‌شود.

نرخ هزینه هر دستگاه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{Z} = \frac{Z_{total} CRF \varnothing}{T} \quad (۲۲)$$

که $\dot{Z}$ دلالت بر میزان هزینه مولفه‌های چرخه دارد، Z_{toal} هزینه کل است. علاوه بر این، T ساعات عملیات سالانه (تعداد ساعات کاری) است، Ø ضریب نگهداری و تعمیر است.

برای آنالیز اگزرژی در این پژوهش از روابط زیر برای نقاط ۱ تا ۱۱ استفاده شده است:

$$\dot{E}x_1 = \dot{m}_1 \times ((h_1 - h_{0Air}) - (T_{0K} \times (s_1 - s_{0Air}))) \quad (۲۳)$$

$$\dot{E}x_2 = \dot{m}_2 \times ((h_2 - h_{0Air}) - (T_{0K} \times (s_2 - s_{0Air}))) \quad (۲۴)$$

$$\dot{E}x_4 = \dot{m}_4 \times ((h_4 - h_{0Air}) - (T_{0K} \times (s_4 - s_{0Air}))) \quad (۲۵)$$

$$\dot{E}x_5 = \dot{m}_5 \times ((h_5 - h_{0Air}) - (T_{0K} \times (s_5 - s_{0Air}))) \quad (۲۶)$$

$$\dot{E}x_6 = \dot{m}_6 \times ((h_6 - h_{0Air}) - (T_{0K} \times (s_6 - s_{0Air}))) \quad (۲۷)$$

$$\dot{E}x_7 = \dot{m}_7 \times ((h_7 - h_{0Air}) - (T_{0K} \times (s_7 - s_{0Air}))) \quad (۲۸)$$

$$\dot{E}x_8 = \dot{m}_8 \times ((h_8 - h_{0R}) - (T_{0K} \times (s_8 - s_{0R}))) \quad (۲۹)$$

$$\dot{E}x_9 = \dot{m}_9 \times ((h_9 - h_{0R}) - (T_{0K} \times (s_9 - s_{0R}))) \quad (۳۰)$$

$$\dot{E}x_{10} = \dot{m}_8 \times ((h_{10} - h_{0R}) - (T_{0K} \times (s_{10} - s_{0R}))) \quad (۳۱)$$

$$\dot{E}x_{11} = \dot{m}_{11} \times ((h_8 - h_{0R}) - (T_{0K} \times (s_{11} - s_{0R}))) \quad (۳۲)$$

T_{0K} یعنی دمای محیط بر حسب کلوین است.

و بازده کل سیستم (η) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

بازده اگزرژی کل:

$$\eta_{\text{exe_tot}} = \dot{W}_{net} \times 100 / Ex_{Sun} \quad (۳۳)$$

بازده انرژی کل:

$$\eta_{\text{ene_tot}} = \dot{W}_{net} \times 100 / Q_{Sun} \quad (۳۴)$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

در جدول ۱ مقادیر داده‌های ورودی جهت مدلسازی آمده است.

جدول ۱: داده‌های ورودی.

ردیف	داده	تعرف پارامتر	مقدار
۱	η_h	بازده هلیوستات	0.71
۲	A_{hel}	مساحت هلیوستات	$11 \times 11\ m^2$
۳	N_{hel}	تعداد کل هلیوستات‌ها	350
۴	DNI	نور مستقیم خورشید	650[W/m^2]
۵	A_r	مساحت هر هلیوستات	60[m^2]
۶	T_r	دمای محلی دریافت کننده	1000°C
۷	T_r	دمای محلی دریافت کننده	$T_r = T_4$
۸	sigma	سیگما	sigma#
۹	epsilon	اپسیلون	0.88
۱۰	v	حجم مخصوص	5[m/s]
۱۱	T_0	دمای محیط	25°C
۱۲	P_0	فشار محیط	101.3[kpa]
۱۳	T_0	تبدیل دمای محیط بر حسب درجه کلوین	$T_0°K = T_0 + 273.15$
۱۴	T_4	دمای ورودی به توربین ۱ (توربین گاز)	850°C
۱۵	r_p	نسبت فشار کمپرسور	10
۱۶	η_{comp}	بازده کمپرسور	0.85
۱۷	$\eta_{turbin,gas}$	گاز بازده توربین	0.85

جدول ۲: اعتبارسنجی کار حاضر با کار نافی و همکاران [۱۳].

Variable	Unit	Present Study	Nafey	Difference (%)
$\dot{W}_{pump,RO}$	kW	1122	1131	0.796
M_f	m^3/h	485.9	485.9	0
SR	-	0.9944	0.9944	0
X_b	ppm	64180	64180	0
X_d	ppm	252	250	0.8
ΔP	kPa	6856	6850	0.088

۴- اعتبارسنجی

به‌منظور اعتبارسنجی نتایج و اعتبار بخشیدن به کار انجام شده، با توجه به اینکه سیستم معرفی شده یک سیستم جدید می‌شد برای اعتبارسنجی پژوهش حاضر زیرسیستم آب شیرین کن معتبر خواهد شد به همین دلیل نتیجه کار حاضر با نتیجه کار آقای نافی[1] و همکاران [۱۳] مقایسه و اعتبارسنجی خواهد شد. در جدول ۲ نتایج مورد نظر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

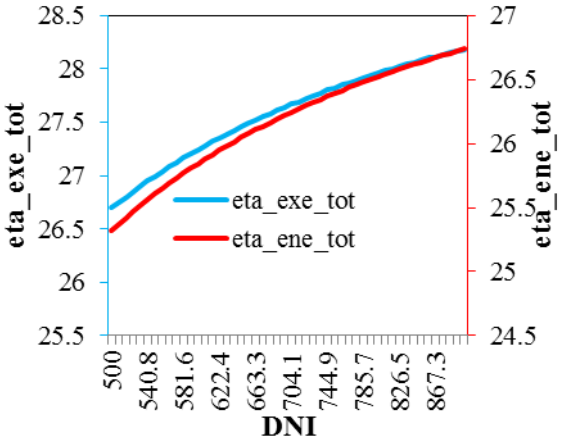
[1] Nafey

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

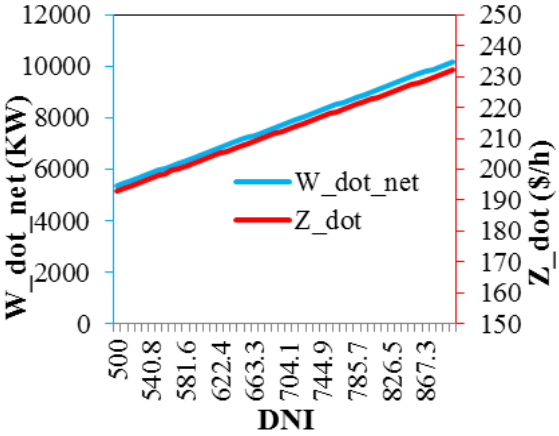
۵- نتایج و بحث

در ابتدا به بررسی تاثیر تابش خورشیدی (DNI)، در محدود ۵۰۰ تا ۹۰۰ وات بر متر مربع (W/m^2)، بر روی میزان بازده انرژی، بازده اگزرژی، کار کل، نرخ آب شیرین تولیدی، سرمایش تولیدی و نرخ هزینه نمایش داده شده است. باید به این نکته نیز اشار کرد که مقدار شدت تابش خورشید بر روی صفحه جذب کننده این انرژی در سیستم‌های تجدیدپذیراز عواملی است که در عملکرد سیستم‌های که از هلیوستات‌ها (آینه‌ها) یا همان سیستم خورشیدی بهره می‌برند، تاثیر بسیار قابل توجه‌ای دارد. یعنی به‌عبارتی با افزایش تابش خورشیدی، دبی سیال ورودی به سیستم خورشیدی و توربین بادی افزایش یافته و در نتیجه با افزایش دبی، کار خروجی زیرسیستم‌ها نیز افزایش می‌یابد (طبق روابط بالانس انرژی)، که باعث افزایش کار خروجی کل خواهد شد و بالعکس.

در شکل ۲، مشاهده می‌شود، با توجه به افزایش مقدار تابش خورشیدی از ۵۰۰ به ۹۰۰ وات بر مترمربع، میزان بازده انرژی ۵,۶ درصد و بازده اگزرژی ۵,۵۴ درصد افزایش می‌یابد، پس می‌توان گفت که تابش خورشیدی باعث افزایش کار خروجی سیستم نیز می‌شود چرا که اگزرژی و کار با هم رابطه مستقیم دارند.

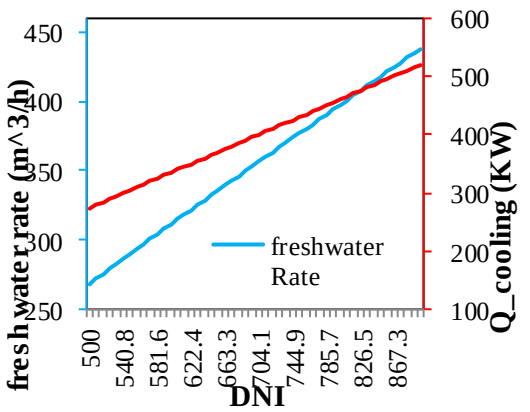


شکل ۲: تاثیر تابش خورشید بر بازده اگزرژی و بازده انرژی.

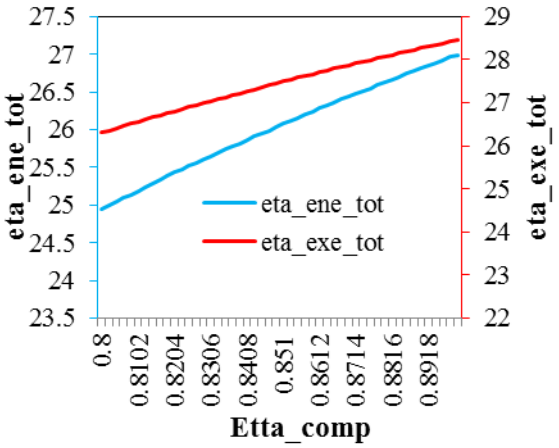


شکل ۳: تاثیر تابش خورشید بر کار کل و نرخ هزینه سیستم.

همانطور که در شکل ۳، مشاهده می‌شود، با توجه به افزایش مقدار تابش خورشیدی از ۵۰۰ به ۹۰۰ وات بر مترمربع، میزان کار کل سیستم ۹۰,۰۴ درصد افزایش یافته است، که این امر باعث افزایش اگزرژی کل سیستم خواهد شد. همانطور که در شکل ۴-۱ ب، مشاهده می‌شود، با توجه به افزایش مقدار تابش خورشیدی، نرخ هزینه نیز ۲۰,۳۱ درصد افزایش داشته است.



شکل ۴: تاثیر تابش خورشید بر دبی آب شیرین و سرمایش تولیدی سیستم.



شکل ۵: تاثیر بازده کمپرسور بر بازده اگزرژی و بازده انرژی.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]

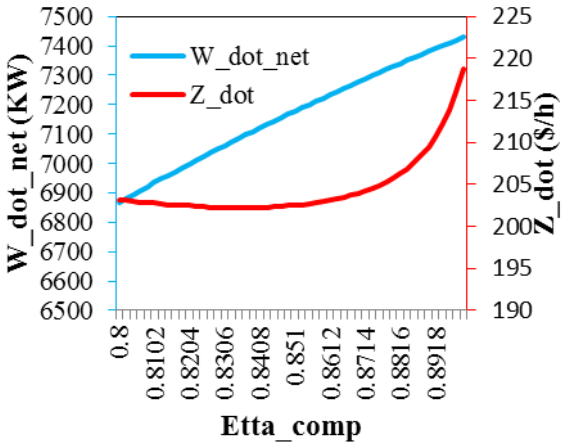
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

همانطور که در شکل ۴، مشاهده می‌شود، با توجه به افزایش مقدار تابش خورشیدی از ۵۰۰ به ۹۰۰ وات بر مترمربع، میزان نرخ تولید آب شیرین ۶۳,۵۴ درصد و سرمایش تولیدی سیستم ۹۰,۰۴ درصد افزایش یافته است، که این امر بر روی افزایش اگزرژی کل سیستم تاثیر خواهد داشت. علت افزایش سرمایش تولیدی را می‌توان مربوط به این دانست که با افزایش شدت تابش، دبی جرمی نیز افزایش می‌یابد که این امر بر روی سرمایش تولیدی تاثیر مستقیم دارد. در نهایت می‌توان گفت تابش خورشیدی تاثیرگذارترین پارامتر بر روی سیستم کار حاضر است.

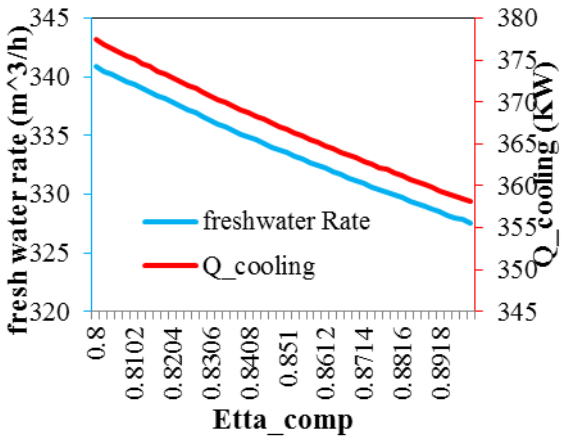
در ادامه به بررسی تاثیر بازده کمپرسور در محدود ۰,۸ تا ۰,۹، بر روی میزان بازده انرژی، بازده اگزرژی، کار کل، نرخ آب شیرین تولیدی، سرمایش تولیدی و نرخ هزینه نمایش داده شده است. یکی از پارامترهای بسیار تاثیرگذار در این سیستم، بازده کمپرسور می‌باشد.

همانطور که در شکل ۵، مشاهده می‌شود افزایش بازده کمپرسور باعث افزایش ۸,۱۷ درصدی بازده اگزرژی و ۸,۱۷ درصدی بازده انرژی کل سیستم شده است. علت افزایش میزان اگزرژی و بازده انرژی در این نمودار را می‌توان به این امر مربوط دانست که اگزرژی و کار خروجی سیستم، رابطه مستقیم دارند، یعنی با افزایش کار سیستم، میزان راندمان سیستم نیز افزایش یافته است.

همان‌طور که در شکل ۶، نمایش داده شده است، در می‌یابیم که افزایش بازده کمپرسور از ۰,۸ به ۰,۹، باعث افزایش ۸,۱۸ درصدی کار سیستم می‌شود. با افزایش بازده کمپرسور از ۰,۸ تا ۰,۹، میزان کار کل آن از ۶۸۸۰ کیلووات به ۷۴۰ کیلووات افزایش یافته است. همچنین در شکل ۶، مشاهده می‌شود که افزایش بازده پمپ باعث افزایش ۱۵۰,۳ درصدی نرخ هزینه شده است که این افزایش هزینه سنگین است و برای سیستم به‌صرفه نیست. هرچه نیاز سیستم به نگهداری و تعمیر سیستم، افزایش یابد، مقدار نرخ هزینه هر دستگاه نیز افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۶: تاثیر بازده کمپرسور بر کار کل و نرخ هزینه سیستم.



شکل ۷: تاثیر بازده کمپرسور بر دبی آب شیرین و سرمایش تولیدی سیستم.

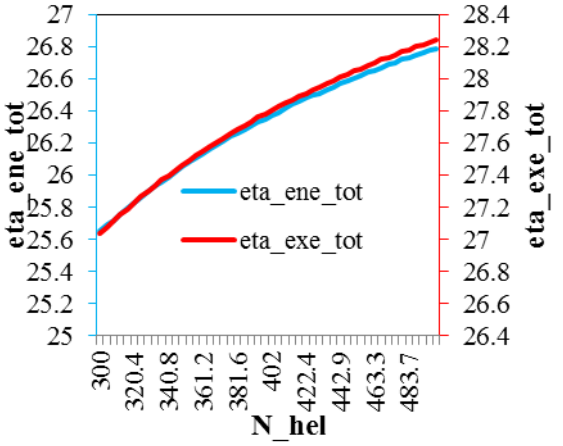
همان‌طور که در شکل ۷، نمایش داده شده است، در می‌یابیم که افزایش بازده کمپرسور از ۰,۸ به ۰,۹، باعث کاهش ۴,۰۹ درصدی نرخ تولید آب شیرین و ۵,۳۸ درصدی سرمایش تولیدی سیستم می‌شود.

در ادامه به بررسی تاثیر تعداد آینه‌ها (هلیوستات‌ها) بر روی میزان بازده انرژی، بازده اگزرژی، کار کل، نرخ آب شیرین تولیدی، سرمایش تولیدی و نرخ هزینه نمایش داده شده است. از پارامترهای تاثیرگذار دیگر بر روی بازده و هزینه‌های این سیستم، باید به تعداد آینه اشاره کرد.

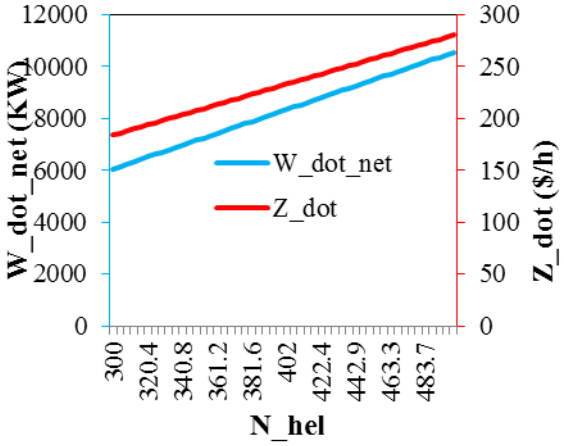
همان‌طور که از شکل ۸ الف، طبق بررسی بازده انرژی و بازده اگزرژی، مشاهده می‌شود افزایش تعداد آینه‌ها از ۳۰۰ به ۵۰۰ تا، باعث افزایش ۴,۴۴ درصدی بازده انرژی و۴,۴۳ درصدی بازده اگزرژی کلی سیستم شده است. علت افزایش میزان انرژی و اگزرژی در این نمودار را می‌توان به این امر مربوط دانست که انرژی و اگزرژی و کار خروجی سیستم با هم رابطه

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

مستقیم دارند، یعنی با افزایش کار سیستم میزان بازده اگزرژی و انرژی سیستم نیز افزایش یافته است.



شکل ۸: تاثیر تعداد آینه‌ها بر بازده اگزرژی و بازده انرژی.



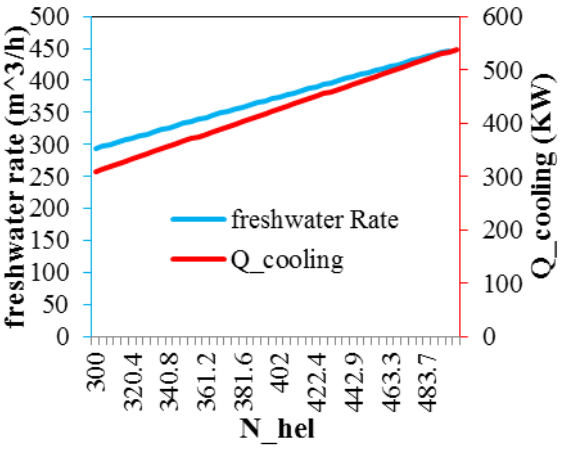
شکل ۹: تاثیر تعداد آینه‌ها بر کار کل و نرخ هزینه سیستم.

در شکل ۹ ب، با افزایش تعداد آینه‌ها از ۳۰۰ به ۵۰۰ تا، باعث افزایش ۲۵,۹۲ درصدی کار کل سیستم می‌شود. علت این افزایش تاثیر مثبت تعداد آینه‌ها و جذب بیشتر تابش خورشیدی و متقابلا تاثیری مثبتی که بر روی کار خروجی سیستم دارد، می‌باشد، چرا که توربین در این سیستم‌ها سهم عمده‌ای در کار تولیدی که همان برق است، دارد.

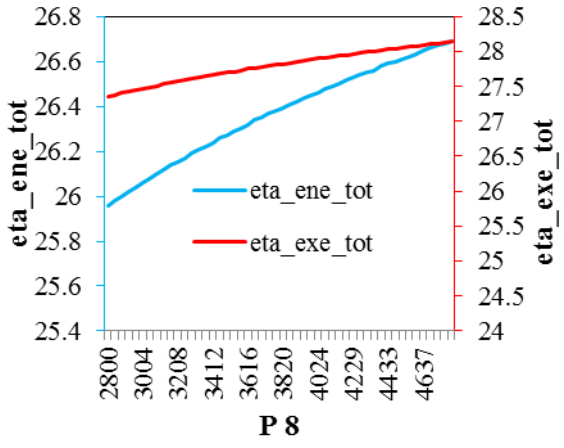
همچنین در شکل ۹، مشاهده می‌شود افزایش تعداد آینه‌ها از ۳۰۰ به ۵۰۰ تا، باعث افزایش ۵۲,۴۲ درصدی نرخ هزینه سیستم شده است. علت افزایش نرخ هزینه را می‌توان به این امر مربوط دانست که هزینه‌های سیستم نیز با افزایش کار کل سیستم و نیاز به تجهیزات بزرگ‌تر افزایش خواهد یافت. می‌توان گفت که این افزایش هزینه می‌تواند مربوط به هزینه‌های انرژی و هزینه‌های ناشی از عدم تولید در ساعات توقف سیستم اشاره کرد.

همان‌طور که در شکل ۱۰، نمایش داده شده است، در می‌یابیم که افزایش تعداد آینه‌ها از ۳۰۰ به ۵۰۰ تا، باعث افزایش ۵۳,۲۳ درصدی نرخ تولید آب شیرین و ۷۴,۰۶ درصدی سرمایش تولیدی سیستم شده است.در نهایت می‌توان گفت که تعداد آینه‌ها یا همان هلیوستات یا سیستم خورشیدی دومین پارمتر تاثیرگذار بر روی سیستم کار حاضر است.

در ادامه به بررسی تاثیر فشار ورودی به توربین سیکل ارگانیک رانکین از ۲۸۰۰ به ۴۸۰۰ کیلوپاسکال بر روی میزان بازده انرژی، بازده اگزرژی، کار کل، نرخ آب شیرین تولیدی، سرمایش تولیدی و نرخ هزینه نمایش داده شده است.



شکل ۱۰: تاثیر تعداد آینه‌ها بر دبی آب شیرین و سرمایش تولیدی سیستم.



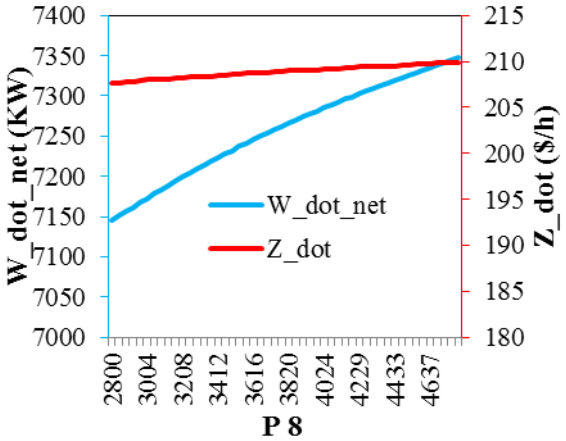
شکل۱۱: تاثیر فشار ورودی به توربین بر بازده اگزرژی و بازده انرژی.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]

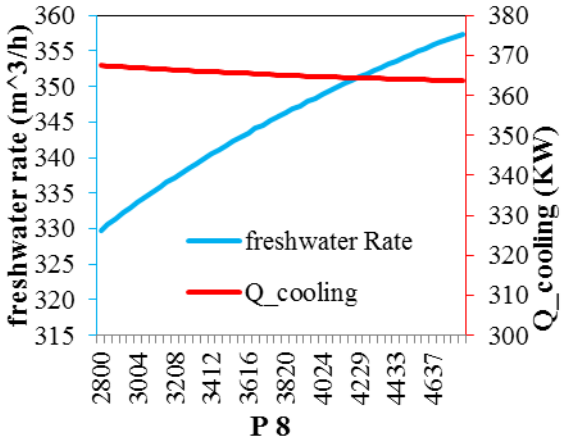
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

همان‌طور که از شکل ۱۱، مشاهده می‌شود افزایش فشار ورودی به توربین سیکل ارگانیک رانکین، باعث افزایش ۲,۷۳ درصدی بازده انرژی و ۲,۸۵ درصدی بازده اگزرژی کلی سیستم شده است. علت افزایش میزان انرژی و اگزرژی در این نمودار را می‌توان به این امر مربوط دانست که انرژی و اگزرژی و کار خروجی سیستم با هم رابطه مستقیم دارند، یعنی با افزایش کار سیستم میزان بازده اگزرژی و انرژی سیستم نیز افزایش یافته است.

در شکل ۱۲، با افزایش فشار ورودی به توربین سیکل ارگانیک رانکین باعث افزایش ۲,۸۲ درصدی کار کل سیستم می‌شود. همچنین در شکل ۱۲، مشاهده می‌شود افزایش فشار ورودی به توربین سیکل ارگانیک رانکین باعث افزایش ۱,۱۰ درصدی نرخ هزینه سیستم شده است. علت افزایش نرخ هزینه را می‌توان به این امر مربوط دانست که هزینه‌های سیستم نیز با افزایش کار کل سیستم و نیاز به تجهیزات بزرگ‌تر افزایش خواهد یافت. می‌توان گفت که این افزایش هزینه می‌تواند مربوط به هزینه‌های انرژی و هزینه‌های ناشی از عدم تولید در ساعات توقف سیستم اشاره کرد.



شکل ۱۲: تاثیر فشار ورودی به توربین بر کار کل و نرخ هزینه سیستم.



شکل ۱۳: تاثیر فشار ورودی به توربین بر دبی آب شیرین و سرمایش تولیدی سیستم.

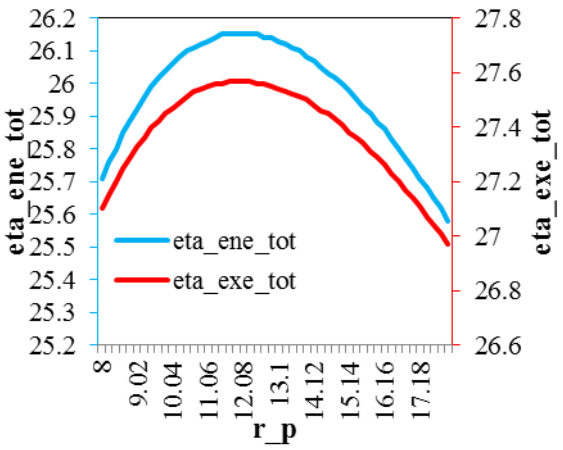
همان‌طور که در شکل ۱۳، نمایش داده شده است، در می‌یابیم که افزایش فشار ورودی به توربین سیکل ارگانیک رانکین، باعث افزایش ۸,۳۶ درصدی نرخ تولید آب شیرین و کاهش ۱,۰۷ درصدی سرمایش تولیدی سیستم شده است.

در ادامه به بررسی تاثیر نسبت فشار کمپرسور از ۸ به ۲۰ کیلوپاسکال، بر روی میزان بازده انرژی، بازده اگزرژی، کار کل، نرخ آب شیرین تولیدی، سرمایش تولیدی و نرخ هزینه نمایش داده شده است.

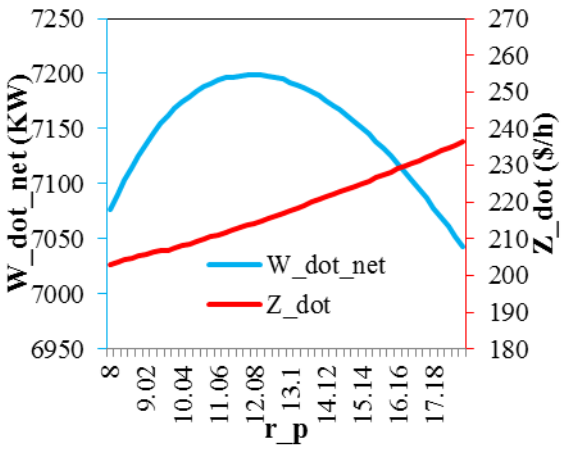
همان‌طور که از شکل ۱۴، مشاهده می‌شود افزایش نسبت فشار کمپرسور تا ۱۲ کیلوپاسکال، باعث افزایش بازده انرژی و اگزرژی کلی سیستم شده است ولی بعد از آن نمودار شیب نزولی به خود گرفته است. تغییرات میزان انرژی و اگزرژی در این نمودار را می‌توان به این امر مربوط دانست که انرژی و اگزرژی و کار خروجی سیستم با هم رابطه مستقیم دارند، یعنی با افزایش کار سیستم میزان بازده اگزرژی و انرژی سیستم نیز افزایش یافته است و متعاقبا با کاهش کار سیستم میزان بازده اگزرژی و انرژی سیستم نیز کاهش یافته است. به‌طور کلی افزایش نسبت فشار باعث کاهش ۰,۵۰ درصدی بازده انرژی و افزایش ۰,۴۸ درصدی بازده اگزرژی شده است.

در شکل ۱۵، با افزایش نسبت فشار کمپرسور تا ۱۲ کیلوپاسکال، باعث افزایش کار کلی سیستم شده است ولی بعد از آن نمودار شیب نزولی به خود گرفته است در نهایت افزایش نسبت فشار باعث کاهش ۰,۴۶ درصدی میزان کار کل سیستم شده است. همچنین در شکل ۱۵، مشاهده می‌شود افزایش نسبت فشار کمپرسور باعث افزایش ۱۶,۴۴ درصدی نرخ هزینه سیستم شده است. علت افزایش نرخ هزینه را می‌توان به این امر مربوط دانست که هزینه‌های سیستم مربوط به تعمیر و نگهداری و همچنین شرایط نامناسب و عدم دریافت خروجی‌های مناسب از سیستم است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

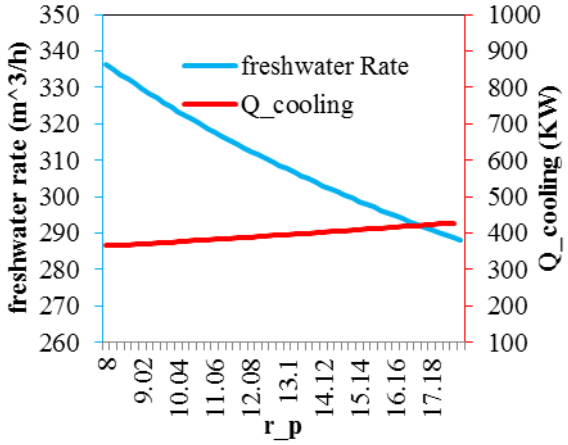


شکل۱۴: تاثیر نسبت فشار کمپرسور بر بازده اگزرژی و بازده انرژی.

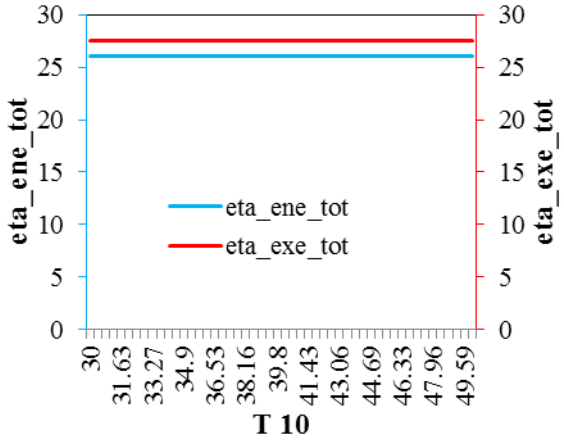


شکل ۱۵: تاثیر نسبت فشار کمپرسور بر کار کل و نرخ هزینه.

همان‌طور که در شکل ۱۶، نمایش داده شده است، در می‌یابیم که افزایش نسبت فشار کمپرسور، باعث کاهش ۲۲,۲۲ درصدی نرخ تولید آب شیرین می‌شود ولی تاثیر مثبتی بر روی سرمایش تولیدی سیستم گذاشته و باعث افزایش ۶۷,۱۷ درصدی سرمایش تولیدی سیستم شده است.



شکل ۱۶: تاثیر نسبت فشار کمپرسور بر دبی آب شیرین و سرمایش تولیدی.



شکل ۱۷: تاثیر دمای ورودی به پمپ بر بازده اگزرژی و بازده انرژی.

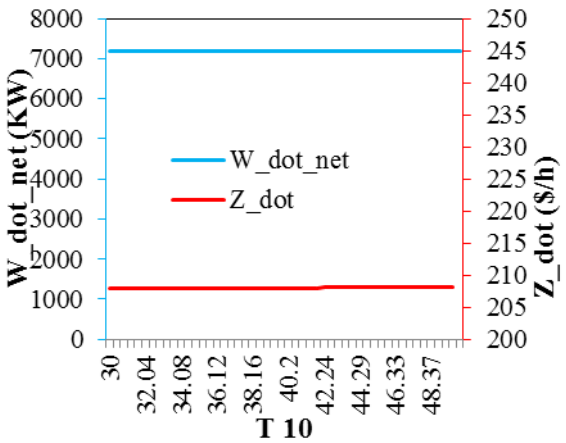
در ادامه به بررسی تاثیر دمای ورودی به پمپ سیکل رانکین ارگانیک، بر روی میزان بازده انرژی، بازده اگزرژی، کار کل، نرخ آب شیرین تولیدی، سرمایش تولیدی و نرخ هزینه نمایش داده شده است.

همان‌طور که از شکل ۱۷، طبق بررسی بازده انرژی و بازده اگزرژی، مشاهده می‌شود افزایش دمای ورودی به پمپ سیکل ارگانیک رانکین از ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ۵۰ درجه سانتی‌گراد، بر روی بازده انرژی و اگزرژی کلی سیستم تاثیر قابل توجهی نگذاشته است و مقدار آن‌ها ثابت مانده است.

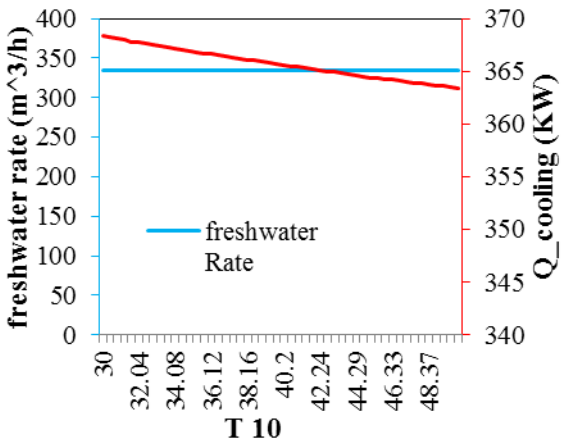
از طرفی به‌علت اینکه بازده انرژی و اگزرژی و کار خروجی سیستم با هم رابطه مستقیم دارند، یعنی با ثابت ماندن میزان بازده اگزرژی و انرژی سیستم طبق شکل ۱۸، کار کل سیستم نیز تغییر نکرده است و ثابت مانده است تغییرات بازده انرژی، اگزرژی و کار کل نسب به افزایش دمای ورودی پمپ ۰ درصد بوده است. همچنین در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود افزایش دمای ورودی به پمپ سیکل ارگانیک رانکین از ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ۵۰ درجه سانتی‌گراد، باعث کاهش ۰,۱۴ درصدی نرخ هزینه سیستم شده است که بسیار ناچیز است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]



شکل ۱۸: تاثیر دمای ورودی به پمپ بر کار کل و نرخ هزینه سیستم.



شکل ۱۹: تاثیر دمای ورودی به پمپ بر دبی آب شیرین و سرمایش تولیدی سیستم.

همان‌طور که در شکل ۱۹، نمایش داده شده است، در می‌یابیم که افزایش افزایش دمای ورودی به پمپ سیکل ارگانیک رانکین از ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ۵۰ درجه سانتی‌گراد، تنها بر روی سرمایش تولیدی سیستم تاثیر منفی گذاشته است و باعث کاهش ۱,۳۴ درصدی نرخ اب شیرین تولیدی شده است و تاثیر آن بر روی نرخ آب شیرین تولیدی ۰ درصد بوده است. پس می‌توان گفت که دمای ورودی پمپ پارامتر تاثیرگذار بر روی اهداف نبوده است.

جدول ۳- آنالیز حساسیت.

ردیف	پارامتر / خروجی	کار کل	بازده انرژی	بازده اگزرژی	نرخ آب شیرین	نرخ هزینه	سرمایش تولیدی
۱	تابش خورشیدی	Max:10190 Min: 5362 درصد تغییر: ۹۰,۰۴	Max: 26.74 Min: 25.32 درصد تغییر: ۵,۶۰	Max: 28.18 Min: 26.7 درصد تغییر: ۵,۵۴	Max: 438.8 Min: 268.3 درصد تغییر: ۶۳,۵۴	Max: 232.2 Min: 193 درصد تغییر: ۲۰,۳۱	Max: 521.3 Min: 274.3 درصد تغییر: ۹۰,۰۴
۲	بازده کمپرسور	Max: 7430 Min: 6868 درصد تغییر: ۸,۱۸	Max: 26.99 Min: 24.95 درصد تغییر: ۸,۱۷	Max: 28.45 Min: 26.3 درصد تغییر: ۸,۱۷	Max: 340.9 Min: 327.5 درصد تغییر: ۴,۰۹	Max: 508 Min: 202.9 درصد تغییر: ۱۵۰,۳	Max: 377.4 Min: 358.1 درصد تغییر: ۵,۳۸
۳	تعداد آینه‌ها (هلیوستات)	Max: 10535 Min: 6052 درصد تغییر: ۲۵,۹۲	Max: 26.79 Min: 25.65 درصد تغییر: ۴,۴۴	Max: 28.24 Min: 27.04 درصد تغییر: ۴,۴۳	Max: 450 Min: 293.5 درصد تغییر: ۵۳,۲۳	Max: 280 Min: 183.7 درصد تغییر: ۵۲,۴۲	Max: 538.9 Min: 309.6 درصد تغییر: ۷۴,۰۶
۴	فشار ورودی توربین	Max: 7347 Min: 7145 درصد تغییر: ۲,۸۲	Max: 26.69 Min: 25.96 درصد تغییر: ۲,۷۳	Max: 28.14 Min: 27.36 درصد تغییر: ۲,۸۵	Max: 357.4 Min: 329.8 درصد تغییر: ۸,۳۶	Max: 209.9 Min: 207.6 درصد تغییر: ۱,۱۰	Max: 367.5 Min: 363.6 درصد تغییر: ۱,۰۷
۵	نسبت فشار کمپرسور	Max: 7076 Min: 7043 درصد تغییر: ۰,۴۶	Max: 25.71 Min: 25.58 درصد تغییر: ۰,۵۰	Max: 27.1 Min: 26.97 درصد تغییر: ۰,۴۸	Max: 351.9 Min: 287.9 درصد تغییر: ۲۲,۲۲	Max: 236.5 Min: 203.1 درصد تغییر: ۱۶,۴۴	Max: 716.5 Min: 428.7 درصد تغییر: ۶۷,۱۷
۶	دمای ورودی پمپ	Max: 7173 Min: 7173 درصد تغییر: ۰	Max: 26.06 Min: 26.06 درصد تغییر: ۰	Max: 27.47 Min: 27.47 درصد تغییر: ۰	Max: 33.6 Min: 333.6 درصد تغییر: ۰	Max: 208.2 Min: 207.9 درصد تغییر: ۰,۱۴	Max: 368.3 Min: 363.4 درصد تغییر: ۱,۳۴

۵-۱- آنالیز حساسیت

در جدول ۳ میزان درصد تغییر نتایج تحلیل پارامتریک که بازده انرژی، بازده اگزرژی، کار کل، نرخ آب شیرین تولیدی، سرمایش تولیدی و نرخ هزینه، برای بیشترین و کمترین مقدار حاصل شده، آمده است. در نهایت می‌توان گفت که طبق بررسی‌ها به ترتیب تاثیرگذارترین پارامترها بر روی سیستم کار حاضر، شدت تابش خورشیدی (DNI)، تعداد آینه‌ها (N_hel)، فشار ورودی توربین (P8) و نسبت فشار کمپرسور (r_p) است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

۶- نتیجه‌گیری

بخش عمده‌ای از انرژی‌های تجدیدناپذیر مورد استفاده انسان‌ها را در سوخت‌های فسیلی نظیر گاز، ذغال سنگ و نفت تشکیل می‌دهند. این مواد به صورت فراگیر در کل جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند اما محدود بودن منابع تامین کننده این سوخت ها و رشد روز افزون مصرف آن‌ها، اتمام این منابع را در طی چندین سال آینده خبر می‌دهند و چالشی را برای بشر فراهم می‌کنند تا به فکر جایگزینی برای تامین نیازهای خود باشد. از دیگر مشکلات استفاده از سوخت‌های فسیلی آلودگی‌های محیط زیستی ناشی از استفاده آن‌ها است. انتشار گاز دی اکسید کربن در جو کره زمین، صدماتی نظیر افزایش دمای کره زمین و اثر گلخانه ای را در پی دارد. این پدیده در آب و هوا تاثیرگذار است و تغییرات نامطلوبی در شرایط جوی و زیستی روی زمین ایجاد می‌کند. همچنین گازهای حاصل از سوختن برخی از این سوخت ها با ورود به ابرها موجب اسیدی شدن باران می شوند و آلودگی خاک و آب زمین را در پی دارند. که این امر مستقیما بر حیات دیگر جانداران تاثیر گذار است. مسائل و مشکلات مرتبط با آلودگی و محدود بودن منابع تامین آن‌ها، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را لازم می‌سازد.

انرژی‌های تجدیدپذیر به گونه‌ای از انرژی‌ها اطلاق می‌شود که منبع تولید آن‌ها بر خلاف انرژی‌های تجدیدناپذیر، این قابلیت را دارد که در بازه زمانی کوتاه مجددا به وجود آید. انرژی‌های تجدیدپذیر آلودگی های مشابه سوخت‌های فسیلی را ندارد و سوخت پاک تلقی می‌شوند. در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ماده زایدی اعم از گازهای گلخانه ای به وجود نمی‌آید و اثرات نامطلوبی بر جای نمی‌گذارد. همچنان که گفته شد منابع تامین آن‌ها به‌صورت مداوم قابل استفاده می‌باشند و همانند سوخت‌های فسیلی به اتمام نمی‌رسند.

از جمله منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توان به زیست توده، انرژی باد و منابع زمین گرمایی دما پایین و ... نام برد. از مهم‌ترین منابع گرمایی دما پایین می‌توان به انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی اشاره کرد. با روی‌آوری و دست‌یابی به تکنولوژی-های پیشرفته، به‌کارگیری و استفاده از انرژی‌های پاک و سیستم‌های تجدیدپذیر در تامین انرژی مورد نیاز بشر در چند ساله اخیر رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است. در این میان استفاده از انرژی خورشیدی، با توجه به سهولت در دسترسی و کاربرد در موقعیت مناسبی قرار دارد. خورشید بزرگترین منبع تامین کننده انرژی کره زمین می‌باشد که انرژی صادره از آن به‌صورت‌های مختلف در جهت تأمین انرژی مورد نیاز اعم از سوخت‌های فسیلی و غیرفسیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

انرژی خورشیدی که با توجه به پتانسیل محل اجرای که محل اجرای این نیروگاه، منبع مناسبی جهت تامین انرژی لازم برای سیستم مورد مطالعه در این پژوهش تعیین شد. در پژوهش حاضر به بررسی یک سیستم تجدیدپذیر و استفاده از انرژی‌های خورشیدی با شرایط مناسب و نزدیک به منطقی با پتانسیل بالای خورشیدی، اقدام کردیم.

اجزا اصلی سیستم متشکل از سیستم برج خورشیدی، منبع ذخیره کننده گرما، سیکل برایتون، سیکل رانکین بخار، آب شیرین‌کن RO و سیکل تبرید جذبی تک اثره تشکیل شده است. خروجی‌های اصلی این سیستم شامل آب شیرین، برق تولیدی و سرمایش است. این سیستم‌ها یک سیستم رسیور است که گرما به آینه‌ها منتقل شده و هوای گرم به توربین داده می شود و سپس فرآیند تولید برق انجام می شود. آب‌شیرین از طریق آب‌شیرین‌کن RO و چیلر جذبی سرمایش تولید می-کند.

در این سیستم یک سیکل برایتون وجود دارد که به جای محفظه ی احتراق از یک سیستم خورشیدی استفاده شده است که این ایده یک نوآوری محسوب می‌شود. برای مدلسازی سیستم و به‌دست آوردن نتایج ترمودینامیکی از نرم‌افزار EES به عنوان یک ابزار مهندسی بهره برده شده است.

شهر اهواز با بررسی پتانسیل تابش خورشیدی به عنوان مطالعه موردی تحلیل و بررسی شد. از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار و کاربردی در این بررسی‌ها، باید به شدت تابش خورشیدی (DNI)، تعداد آینه‌ها (N_hel)، فشار ورودی توربین (P8) و نسبت فشار کمپرسور (r_p) اشاره کرد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

فهرست علائم

دمای محیط (°C)	T_0	پینچ پوینت اواپراتور (°C)	pp_{evva}
فشار محیط (P)	P_0	مساحت کلکتور(m^2)	A_P
بازده هلیوستات	η_h	شدت تابش خورشیدی (W/m^2)	DNI
مساحت هلیوستات	A_{hel}	نرخ هزینه ($/hr)	$\dot{Z}$
تعداد کل هلیوستات‌ها	N_{hel}	گرمای ویژه در فشار ثابت	C_p
مساحت هر هلیوستات	A_r	بازده کمپرسور	η_{comp}
دمای محلی دریافت کننده	T_r	بازده توربین گاز	$\eta_{turbin,gas}$
نسبت فشار کمپرسور	r_p	سیکل ارگانیک رانکین	ORC
بازده پمپ	η_{pump}	اواپراتور	Eva
بازده توربین	η_{turbin}	اگزرژی	ex

مراجع

[۱] نیوشا، ا.، آذر، ع.، معزز، ه.، حیدری، ک.، ۱۳۹۸، طراحی مدل بهینه‌سازی چندهدفه سبد تولید برق پاک ایران، دوره بیست و سوم - شماره ۱ علمی-پژوهشی.

[2] Moharramiana, A., Soltania, S., Rosenb, M. A., Mahmoudia, S. M. S., JafariaM., Conventional and enhanced thermodynamic and exergoeconomic analysesof a photovoltaic combined cycle with biomass post firing and hydrogenproduction, Applied Thermal Engineering 160 (2019) 113996.

[3] Kahraman, M., BahadırOlcay, A., Sorguven, E., 2019, Thermodynamic and thermoeconomic analysis of a 21MW binary type aircooledgeothermal power plant and determination of the effect of ambienttemperature variation on the plant performance, Energy Conversion and Management 192, 308–320

[4] Siddiqui O., Dincer I., 2019, Design and analysis of a novel solar-wind based integrated energy system utilizing ammonia for energy storage. Energy Conversion and Management 195, 866–884.

[5] Hashemian, N., Noorpoor, A., 2019, Assessment and multi-criteria optimization of a solar and biomass-basedmulti-generation system: Thermodynamic, exergoeconomic and exergoenvironmental aspects, Energy Conversion and Management 195, 788–797.

[6] Atiz, A., Karakilcik, H., Erden, M., Karakilcik, M., 2018, Assessment of electricity and hydrogen production performance of evacuated tube solar collectors, international journal of hydrogen energy , 1-8.

[7] Keshavarzzadeh, A. H., Ahmadi, P., Safaei, M. R., 2018, Assessment and optimization of an integrated energy system with electrolysis and fuel cells for electricity, cooling and hydrogen production using various optimization techniques, international journal of hydrogen energy.

[8] Razmi, A., Soltani, M., Torabi, M., 2019, Investigation of an efficient and environmentally-friendly CCHP system based on CAES, ORC and compression-absorption refrigeration cycle: Energy and exergy analysis, Energy Conversion and Management, 195, 1199–1211.

[9] Gholamian, E., Habibollahzade, A., Zare, V., 2018, Development and multi-objective optimization of geothermal-based organic Rankine cycle integrated with thermoelectric generator and proton exchange membrane electrolyzer for power and hydrogen production, Energy Conversion and Management 174, 112–125.

[10] Chen, C., Lovegrove, K. M., Sepulveda, A., Lavine, A. S., 2018, Design and optimization of an ammonia synthesis system for ammoniabased solar thermochemical energy storage, Solar Energy 159, 992–1002.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

[11] Yilma, F., 2019, Energy, exergy and economic analyses of a novel hybrid ocean thermal energy conversion system for clean power production. Energy Conversion and Management 196, 557–566.
[12] Behzadi, A., Habibollahzade, A., Ahmadi, P., Gholamian, E., Houshfar, E., 2019, Multi-objective design optimization of a solar based system for electricity, cooling, and hydrogen production. Energy 169, 696e709.
[13] Nafey, A. S., Sharaf, M. A, 2010, Combined solar organic Rankine cycle with reverse osmosis desalination process: Energy, exergy, and cost evaluations, Renew. Energy. 35: 2571–2580. doi:10.1016/j.renene. 03.034.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]

چکیده انگلیسی:

Hybrid of Brayton cycle and a Heliostat field collector (HFC) for Electricity, freshwater and cooling bar production

Ali Boromand, Ehsanolah Assaerh*

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

Received: May 2021, Accepted: June 2021

Abstract

Replacing clean and renewable energy with energy from fossil fuels is critical today, and more efficient energy systems and more efficient use of renewable resources are needed to sustain energy systems in the future. In multiple power generation systems, proper selection of energy supply sources is one of the most important issues. Solar energy, which according to the potential of the implementation site, which is the implementation site of this project in Khuzestan province, was determined as a suitable source to provide the necessary energy for the system studied in this dissertation. In the present study, we investigated a renewable system and the use of solar energy with suitable and close to reasonable conditions with high solar potential. The main components of the system consist of a solar tower system, a heat storage source, a Brighton cycle, a steam Rankin cycle, Reverse Osmosis and a single-effect absorption refrigeration cycle. The main outputs of this system include fresh water, generated electricity and cooling. These systems are a receiver system where heat is transferred to the mirrors and hot air is given to the turbine and then the power generation process is performed. Fresh water produces cooling absorption through RO desalination and chiller. In this system, there is a Brighton cycle that uses a solar system instead of a combustion chamber, which is an innovation. EES software has been used as an engineering tool to model the system and obtain thermodynamic results.The city of Ahvaz was analyzed by examining the potential of solar radiation as a case study. The most important effective and practical parameters in these studies are solar intensity (DNI), number of heliostat (N_hel), turbine inlet pressure (P8) and compressor pressure ratio (r_p).

Key words: Solar energy, Multiple energy production system, Multi-objective optimization, Exergy, Cost rate.

*corresponding author: **assareh@iaud.ac.ir**

Cite this article as: Ali Boromand, Ehsanolah Assaerh, Hybrid of Brayton cycle and a Heliostat field collector (HFC) for Electricity, freshwater and cooling bar production. Journal of Energy Conversion, 2021, 8 (3), 13-29. DOR: **20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0**

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-08-28]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.2.0]