نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۹، شماره ۲، تابستان۱۴۰۱، ص: ۱- ۲۰

J. Energy Conversion
Volume: 9, Issue: 2, 2022: 1-20

DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6

تحلیل اگزرژی، انرژی و مدلسازی، بهینه‌سازی و بررسی پارامترهای اقتصادی و زیست محیطی یک سیستم تولید چندگانه انرژی با بررسی تاثیر ترموالکتریک برای تولید برق پاک، سرمایش، گرمایش و هیدروژن

علیرضا امیرشکاری‌زاده[۱]، احسان‌اله عصاره[۲*]

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

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۸، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

چکیده

در این پژوهش به مدلسازی، بهینه‌سازی و آنالیز اقتصادی یک سیستم تولید چندگانه بر مبنای استفاده از انرژی خورشیدی با استفاده از ترموالکتریک در سیکل ارگانیک رانکین، پرداخته شد. سیستم مورد بررسی متشکل از زیرسیستم های پنل خورشیدی، سیکل ارگانیک رانکین، چیلر جذبی و الکترولایزر PEM است. سیال مورد استفاده در سیکل ارگانیک رانکین شامل مبرد R123 است. جهت مدلسازی سیستم مورد بررسی و همچنین به‌دست آوردن نتایج حاصل از تحلیل سیستم از نرم‌افزار ترمودینامیکی حل معادلات مهندسی EES استفاده شده است. در این پژوهش مقایسه‌ای بین دو سیستم با حضور ترموالکتریک و سیستم بدون حضور ترموالکتریک و استفاده از کندانسور در سیکل ارگانیک رانکین انجام شد و طبق نتایج سیستم با حضور ترموالکتریک دارای عملکرد بهتری است. طبق بررسی‌های به عمل آمده از پارامترهای تاثیرگذار بر روی خروجی‌های سیستم می‌توان از دمای ورودی به توربین و مساحت پنل خورشیدی نام برد. طبق بررسی تخریب اگزرژی سیستم، پنل خورشیدی دارای بیشترین تخریب اگزرژی است و کمترین تخریب اگزرژی مربوط به پمپ است. برای بهینه‌سازی توابع هدف سیستم طراحی شده از الگوریتم چندهدفه ژنتیک NSGA-II استفاده شده است. دو تابع هدف متضاد مورد بررسی در این پژوهش افزایش بازده اگزرژی و کاهش نرخ هزینه عنوان شد. نمودار پارتو به‌منظور تعیین بهترین مقادیر برای توابع هدف مسئله که بازده اگزرژی سیستم و نرخ هزینه سیستم است، به‌دست آورده شد. در نهایت بهینه‌ترین ارزش بازده اگزرژی ۱۸/۲۵ در صد و نرخ هزینه ۱/۸۷ دلار بر ساعت به‌دست آمد.

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

کلمات کلیدی: انرژی خورشیدی، سیستم تولید چندگانه انرژی، پنل خورشیدی، بازده اگزرژی، نرخ هزینه.

۱- مقدمه

امروزه، بحران‌های سیاسی، اقتصادی و مسائلی نظیر محدودیت دوام ذخایر فسیلی، نگرانی‌های زیست محیطی، باران‌های اسیدی، گرمایش جهانی، ازدحام جمعیت، رشد اقتصادی و ضریب مصرف، همگی مباحث جهان شمولی هستند که با گستردگی تمام، فکر اندیشمندان را در یافتن راهکارهای مناسب در حل مناسب معضلات انرژی در جهان، به‌خصوص بحران-

نحوه استناد به این مقاله: علیرضا امیرشکاری‌زاده، احسان‌اله عصاره. تحلیل اگزرژی، انرژی و مدلسازی، بهینه‌سازی و بررسی پارامترهای اقتصادی و زیست محیطی یک سیستم تولید چندگانه انرژی با بررسی تاثیر ترموالکتریک برای تولید برق پاک، سرمایش، گرمایش و هیدروژن. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۱; ۹ (۲) : ۲۰-۱.
DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

های زیست محیطی، به خود مشغول داشته است. ایشاق و همکاران[1] (۲۰۲۱)، بر روی یک سیستم تولید انرژی بر مبنای استفاده از انرژی خورشیدی و بادی برای تولید هیدروژن و جذب دی اکسید کربن[2] کار کردند. این سیستم به شکلی طراحی شد که انرژی مرود نیاز برای الکترولایزر غشای تبادل پروتونی[3] برای تولید هیدروزن توسط توربین بادی تأمین شود، و انرژی اضافی به آمونیاک تبدیل و ذخیره شود [۱]. ایشاق و دینسر[4] (۲۰۲۱)، بر روی مدلسازی دینامیکی سیستم خورشیدی برای تولید هیدروژن، توان و آمونیاک[5] کار کردند. نتایج نشان داد که، حداکثر مقدار تولید هیدروژن و آمونیاک در ماه ژوئن و در ساعت ۱۷ بعدازظهر به‌ترتیب مقدار ۵.۸۵ mol/s و ۱.۳۸ mol/s است و همپنین حداکثر بازده انرژی و اگزرژی سیستم به ترتیب در ماه نوامبر ۲۵.۴ درصد و ۲۸.۶ درصد گزارش شد [۲]. چن و همکاران[6] (۲۰۲۱)، بر روی یک سیستم تولید هیدروژن بر مبنای انرژی خورشیدی و ذخیره انرژی شیمیایی مبتنی بر آمونیاک، کار کردند. در این پژوهش یک روش جدید که برای اولین بار توسط الکترولیز آب با دمای بالا و ذخیره انرژی حرارتی شیمیایی مبتنی بر آمونیاک، ارائه شد [۳]. سایکیا و همکاران[7] (۲۰۲۱)، بر روی بهینه‌سازی سیستم الکترولایزر یکپارچه خورشیدی برای تولید هیدروژن کار کردند. در این کار ده پارامتر عملیاتی با استفاده از یک آرایه متعامد برای بهینه سازی انتخاب شد و مشخص شد که حداکثر تولید هیدروژن ۳۱۹.۳۵ Ncm3/hr است. سپس با استفاده از تکنیک تاگوچی، نتیجه شد که حداکثر تولید هیدروژن ۶۴۵.۸۹ Ncm3/hr است [۴]. بهزادی و همکاران[8] (۲۰۲۱)، بر روی بهینه‌سازی چندهدفه یک سیستم تولید چندگانه انرژی مبتنی بر انرژی خورشیدی و استفاده از یک ژنراتور ترموالکتریک کار کردند. سیستم پیشنهادی از نظر انرژی، اگزرژی و اقتصادی بررسی شد. نتایج تجزیه و تحلیل اقتصادی و اگزرژو اقتصادی نشان داد که سیستم خورشیدی دارای بالاترین میزان تخریب اگزرژی است. نتایج مطالعه پارامتریک نشان داد که سیستم پیشنهادی با TEG دارای راندمان اگزرژی بالاتر، میزان تولید هیدروژن بالاتر، نرخ هزینه پایین‌تر و دوره بازگشت سرمایه کمتری است [۵]. عصاره و همکاران[9] (۲۰۲۱)، بر روی ارزیابی اگزرژی و اقتصادی و همچنین بهینه‌سازی یک سیستم تولید برق با استفاده از انرژی خورشیدی، بادی و اقیانوسی برای تولید برق و یک مطالعه موردی برای شهر بندرعباس کار کردنداین سیستم می‌تواند در بهترین و بهینه‌ترین حالت خود ۴۴۸ کیلووات توان تولید کند. همچنین بازده اگزرژی سیستم ۱۳.۸۸ درصد است [۶]. عصاره و همکاران (۲۰۲۱)، بر روی شبیه‌سازی و بهینه‌سازی یک سیستم تولید چندگانه انرژی بر مبنای استفاده از انرژی خورشیدی و استفاده از الکترولایزر PEM و سلول سوختی جهت تولید هیدروژن و توان کار کردند. در این سیستم توان تولید شده در سیکل رانکین توسط الکترولایزر به هیدروژن تبدیل می‌شود چراکه تقاضا برای انرژی الکتریکی کم است و در صورت نیاز در این سیستم انرژی الکتریکی توسط سلول سوختی تولید می‌شود [۷]. عصاره و همکاران (۲۰۲۱)، بر روی یک سیستم تجدیدپذیر بر مبنای استفاده از انرژی خورشیدی و زمین گرمایی تقویت شده با ژنراتورهای ترموالکتریک برای تولید برق، سرمایش و تولید آب شیرین کار کردند. نتایج نشان داد که استفاده از ترموالکتریک به‌جای کندانسور، منجر به کاهش نرخ کل هزینه و افزایش کارایی اگزرژی سیستم شد [۸]. علی‌رحمی و عصاره (۲۰۲۰)، به تجزیه و تحلیل انرژی، اگزرژی و بهینه‌سازی چندهدفه و آنالیز اقتصادی برای یک سیستم تولید چندگانه انرژی برای تولید برق پاک، هیدروژن، آب شیرین، سرمایش و گرمایش برای شهر دزفول پرداختند. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که بازده اگزرژی سیستم در بهترین حالت ۳۱.۶۶ درصد و نرخ کل واحد ۲۱.۹ $/GJ بدست می آید [۹]. علی‌رحمی و همکاران

[1] Ishaq et al
[2] CO_2
[3] PEM
[4] Ishaq and Dincer
[5] ammonia
[6] Chen et al
[7] Saikia et al
[8] Behzadi et al
[9] Assareh et al

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

(۲۰۲۱)، بر روی ترکیب پیل سوختی- الکترولایزر برای مدیریت بار پیک شبکه در یک نیروگاه زمین گرمایی برای تبدیل نیرو به هیدروژن و هیدروژن به نیرو کار کردند. این سیستم انرژی مورد نیاز خود جهت شروع فعالیت را از انرژی زمین گرمایی تامین می‌کند و توان تولیدی سیستم توسط یک سیکل ارگانیک رانکین دوگانه تولید می‌شود. نتایج بهینه سازی نشان داد که مقادیر بهینه بازده اگزرژی و نرخ هزینه به ترتیب ۶۲/۱۹ درصد و ۱۸/۵۵ دلار در ساعت است. [۱۰]. عزیزی‌مهر و همکاران[1] (۲۰۲۰)، بر روی تحلیل ترمودینامیکی، اقتصادی و بهینه‌سازی میکرو CCHP خورشیدی با استفاده از الگوریتم TLBO برای کاربردهای داخلی کار کردند. انجام بهینه‌سازی چند هدفه با استفاده از الگوریتم TLBO برای سیال کاری R123، باعث بهبود ۲۷.۸۵ درصد راندمان حرارتی، ۲۷.۶۶ درصد راندمان اگزرژی و ۹.۹۰ درصد نرخ هزینه سیستم می شود. [۱۰]. علی‌رحمی و همکاران[2] (۲۰۲۱)، بر روی تحلیل ترمودینامیک، اقتصادی و بهینه‌سازی چندهدفه سیستم ذخیره انرژی هوای فشرده ترکیبی با واحدهای خورشیدی و نمک‌زدایی با هدف تولید برق و آب آشامیدنی کار کردند. این سیستم نه تنها برق را با هزینه کم تولید می‌کند، بلکه با بازیابی گرمای اضافی از سیستم اقدام به تولید آب شیرین نیز می‌کند [۱۱]. علی‌رحمی و همکاران (۲۰۲۰)، بر روی تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی و بهینه‌سازی چندهدفه یک سیستم تولید چندگانه انرژی بر مبنای استفاده از انرژی خورشیدی و زمین گرمایی کار کردند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان تخریب اگزرژی مربوط به کلکتور خورشیدی سهموی[3] و چیلرهای جذبی بود. بهترین مقدار بهینه نهایی با بازده اگزرژی و میزان نرخ هزینه به ترتیب به ترتیب ۲۱.۶۳ درصد و ۶۳.۸۹ دلار بر ساعت محاسبه شد. [۱۲]. علی‌رحمی و همکاران (۲۰۲۰)، بر روی بهینه‌سازی چند هدفه یک سیستم تولید چندگانه انرژی بر مبنای استفاده از انرژی زمین گرمایی و خورشیدی کار کردند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از بهینه‌سازی، نتایج نشان داد که بازده اگزرژی سیستم و نرخ هزینه کل به ترتیب به ۲۹.۹۵ درصد و ۱۲۹.۷ گیگاژول بر ساعت گزارش شد. [۱۳].

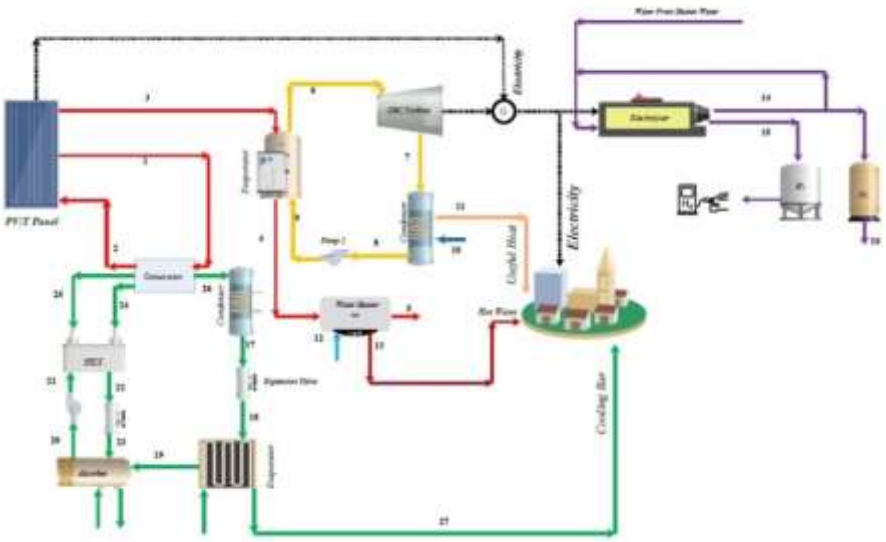
۲- مواد و روش

۲-۱- سیستم انرژی

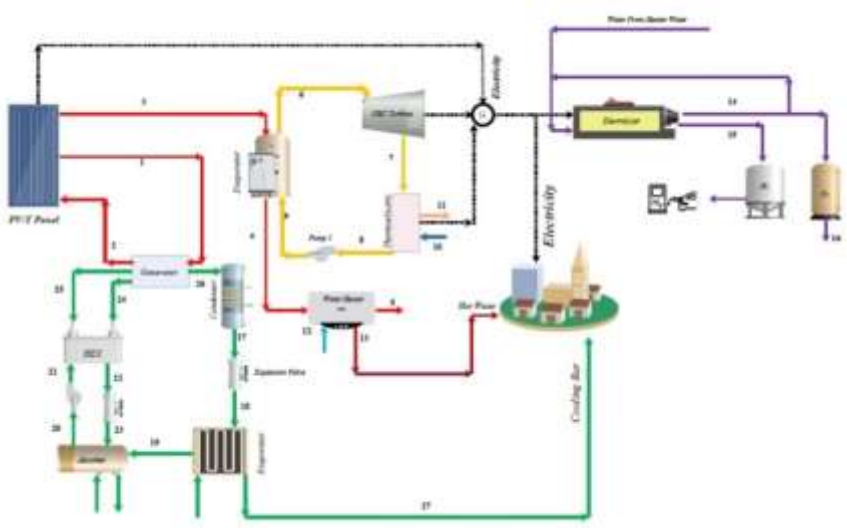
در شکل ۱، شماتیک سیستم اول (پلن a) برای تولید برق پاک در مجتمع مسکونی مدنظر با منبع انرژی خور شیدی ا ست. سیستم طراحی شده متشکل از یک پنل فتوولتائیک حرارتی، سیکل تبرید جذبی، سیکل ارگان یک رانکین و یک الکترولا یزر است که سیال ارگانیک مورد استفاده در سیکل رانکین از پنل حرارتی فتوولتائیک وارد سیستم می‌شود و پس از تولید حرارت از نقطه ۱ و ۳ وارد سیکل رانکین می‌شود. سیال پس از عبور از نقطه ۱ م قداری از حرارت خود را به سیکل تبر ید جذبی می‌دهد و باعث تولید سرمایش در سیکل می‌گردد. از طرف دیگر مقدار دیگری از حرارت وارد اواپراتور می‌شود که ا ین حرارت از طریق اواپراتور به سیکل ارگانیک رانکین منتقل می‌گردد و با استفاده از توربین، کندانسور و پمپ موجود، برق و هوای گرم تولید می‌شود. پس از آن، بخشی از برق تولیدی توربین و برق تولیدی از سلول‌های فتوولتائیک وارد شبکه برق شهری و مابقی آن وارد الکترولایزر می‌گردد تا به‌وسیله الکترولایزر و عمل الکترولیز آب که همان جداسازی مولکول‌های ه یدروژن و اک سیژن موجود در آب است، آب تولید شده در آب‌گرم‌کن در نقطه ۴ و ۵ تبدیل به هیدروژن و اک سیژن ت بدیل و وارد چر خه صنعت شود. در پ لن b، یک ژنراتور ترموالکتریک جایگزین کندانسور سیکل ارگانیک رانکین شده است که علاوه بر تول ید توان تو سط توربین، ژنراتور ترموالکتریک نیز انرژی حرارتی را مستقیما به برق تبدیل می‌کند و در نتیجه توان بی شتری تول ید می شود و همچنین برق بیشتری توسط سیستم به شبکه داده می‌شود.

[1] Azizimehr et al
[2] Alirahmi et al
[3] PTC

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]



پلن a.



پلن b.

شکل ۱: سیستم های پشینهادی

۲-۲- آنالیز ترمودینامیکی سیستم

برای تحلیل ترمودینامیکی سیستم انرژی، موازنه جرم و انرژی برای هر حجم کنترل ایجاد می شود. مفروضات زیر جهت ساده سازی حل مسئله می شود:

۱- شرایط حالت پایدار. ۲- توربین ها و پمپ ها ایزنتروپ هستند. ۳- افت فشار در خطوط لوله ناچیز است [۱۵]. ۳- خروجی کندانسور مایع اشباع شده و خروجی اواپراتور بخار اشباع شده است [۱۵]. ۴- تغییرات در انرژی های بالقوه و جنبشی ناچیز است [۱۶].

در جدول ۱ داده‌های ورودی جهت آنالیز سیستم خورشیدی مورد بررسی، آورده شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

جدول ۱: مقدار داده‌های ورودی

ردیف	داده	معرفی پارامتر	مقدار
۱	Gb	شدت تابش خورشیدی	900 [W/m^2]
۲	T_{sun}	دمای خورشید	6000°C
۳	pp_{Eva}	اواپراتور پینچ پوینت	5°C
۴	pp_{Cond}	پینچ پوینت کندانسور	5°C
۵	T_6	دمای ورودی به توربین سیکل ارگانیک رانکین	90°C
۶	T_8	دمای ورودی به پمپ سیکل ارگانیک رانکین	35°C
۷	$\dot{m}_{air}$	دبی جرمی هوا	1.9 [kg/s]
۸	η_{turbin}	بازده توربین	0.85
۹	η_{pump}	بازده پمپ	0.9
۱۰	ZTM	معیار شایستگی ترموالکتریک	0.8
۱۱	U_1	ضریب افت گرمای پنل فتوولتائیک خورشیدی	4.71 W/m^2K

قانون اول ترمودینامیک که معروف به قانون بقای انرژی است، به‌صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$\dot{Q}-\dot{W}+\sum_i \dot{m}_i\left(h_i+\frac{v_i^2}{2}+gZ_i\right)-\sum_e \dot{m}_e\left(h_e+\frac{v_e^2}{2}+gZ_e\right)=\frac{dE_{cv}}{dt} \quad (۱)$$

در رابطه ۱، E ،$\dot{Q}$ ،$\dot{W}$ و t بیانگر نرخ کار، نرخ انتقال حرات، انرژی و زمان و h، v، g و Z به ترتیب بیانگر آنتالپی، سرعت، شتاب گرانشی و ارتفاع است. استفاده از اولین قانون ترمودینامیک، برای هر حجم کنترل، در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: بالانس انرژی سیستم

اجزاء سیستم	انرژی بالانس	اگزرژی بالانس
توربین سیکل ارگانیک رانکین	$\dot{W}_{turbine}=\dot{m}_6\times(h_6-h_7)$	$\dot{E}_{Turbine}=Ex_6-Ex_7-W_{turbine}$
پمپ سیکل ارگانیک رانکین	$\dot{W}_{pump}=\dot{m}_8\times(h_9-h_8)$	$\dot{E}_{pump2}=Ex_8+\dot{W}_{pump}-Ex_9$
اواپراتور	$Q_{Evaporator}=\dot{m}_9\times(h_6-h_9)$	$\dot{E}_{Eva}=Ex_3+Ex_9-Ex_6-Ex_4$
آبگرم‌کن	$Q_{Water\ Heater}=\dot{m}_{12}\times(h_{13}-h_{12})$	$\dot{E}_{Water\ Heater}=Ex_4+Ex_{12}-Ex_{13}-Ex_5$
الکترولایزر PEM	$\dot{W}_{pump}=0.3\times\dot{W}_{Net}$	$\dot{E}_{PEM}=\dot{W}_{PEM}-Ex_{15}-Ex_6$
پنل فتوولتائیک	$W_{PV/T}=(eta_c\times GB\times beta_c\times tau_g\times A)/10$	$\dot{E}_{PVT}=Ex_{sun}+Ex_{electric}-Ex_1-Ex_3$

مقدار کار خالص کل سیستم از رابطه ۲ به‌دست می‌آید:

(۲) الف: پلن a $\quad \dot{W}_{net}=\dot{W}_{Turbin}+\dot{W}_{Solar}-\dot{W}_{Pump2}$

(۲) ب: پلن b $\quad \dot{W}_{net}=\dot{W}_{Turbin}+\dot{W}_{Solar}-\dot{W}_{Pump2}+\dot{W}_{TEG}$

۲-۳- پنل خورشیدی فتوولتائیک

با استفاده از رابطه ۳ میزان انرژی مفید تولیده شده در پنل فتوولتائیک خورشیدی به‌دست می‌آید:

$$\dot{Q}_{PV/T}=((\dot{m}_{air}\times C_{air})/U_l)\times(h_{p2g}\times Z\times GB)- \quad (۳)$$
$$(U_l\times(T_{air,in}-T_0))\times(1-\exp((-b\times U_l\times L)/\dot{m}_{air}\times C_{air})$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

که در رابطه ۳، $T_{air,in} = T_0$ است.

همچنین در این رابطه C بیانگر ظرفیت گرمایی ویژه و h بیانگر آنتالپی است.

در رابطه ۳، مقدار Z از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = alpha_{\mathrm{b}} \times tau_{\mathrm{g}} \wedge 2 \times (1 - beta_{\mathrm{c}}) + (h_{p1g} \times tau_{\mathrm{g}} \times beta_{\mathrm{c}}) \times (alpha_{\mathrm{c}} \times eta_{\mathrm{c}}) \quad (۴)$$

در رابطه ۳، C_{air} ظرفیت گرمایی است که از رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$C_{air} = CP \times (Air_{ha}, T = 25, p = 101.325) \quad (۵)$$

راندمان حرارتی پنل خورشیدی از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$eta_{th} = \dot{Q}_{PV/T} / GB \times b \times L \quad (۶)$$

۲-۴- آنالیز ترموالکتریک[1] پلن b

محاسبه کار و مقدار برق تولیدی توسط ترموالکتریک در این سیستم، از روابط زیر استفاده می‌شود [۱۷، ۱۸، ۱۹]:

$$\eta_{TEG} = \dot{W}_{\mathrm{TEG}} / Q_{\mathrm{Elegant}} \quad (۷)$$

$$\eta_{carnot} = 1 - (T_L / T_H) \quad (۸)$$

$$Q_{\mathrm{Elegant}} = \dot{\mathrm{m}}_{10} \times (\mathrm{h}_{11} - \mathrm{h}_{10}) \quad (۹)$$

۲-۵- آنالیز الکترولایز PEM[2]

میزان کار الکترولایزر PEM طبق رابطه ۱۳ محاسبه می‌شود [۱۳، ۲۰، ۲۱، ۲۲]:

$$\dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{PEM}} = 0.3 \times \dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{net}} \quad (۱۰)$$

محاسبه مقدار هیدروژن تولیدی سیستم:

$$\dot{M}_{\mathrm{H2_{Out}}} = \mathrm{a_{H2}} \times \dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{PEM}}{}^{\mathrm{b_{H2}}} + \mathrm{c_{H2}} \quad \text{"kg/s"} \quad (۱۱)$$

۲-۶- آنالیز اگزرژی[3]

اگزرژی به معنای مقدار کار مفید قابل حصول از سیستم است. بازده اگزرژی از طریق روابط زیر محاسبه می شود:

$$\dot{E}x_{\mathrm{sun}} = \dot{Q}_{sun} \times (1 - (T_{0K}/T_{\mathrm{sun}})) \quad (۱۲)$$

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

۲-۷- آنالیز اقتصادی

در جدول ۳ روابط مربوط به محاسبه هزینه اجزاء سیستم مورد نظر معرفی شده است.

[1] Thermoelectric Analysis
[2] PEM Electrolyzer Analysis
[3] exergy

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

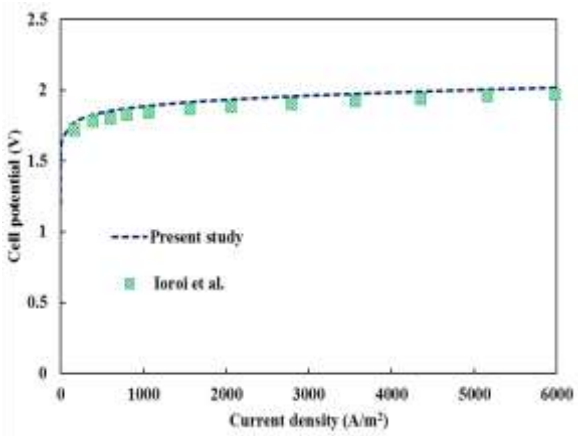
جدول ۳: بالانس هزینه و روابط کمکی برای تمام اجزا سیستم

ردیف	اجزاء سیستم	رابطه
۱	پنل خورشیدی	$Z_{Solar} = 310 \times L \times b$
۲	توربین	$Z_{\text{Turbine}} = 4750 \times ((\dot{W}_{\text{turbine}}^{0.75}) + 60 \times (\dot{W}_{\text{turbine}}^{0.95}))$
۳	پمپ سیکل ارگانیک رانکین	$Z_{\text{Pump2}} = 3500 \times (\dot{W}_{\text{Pump1}}^{0.41})$
۵	ترموالکتریک (پلن B)	$Z_{TEG} = 1500 \times \dot{W}_{TEG}$
۶	کندانسور	$Z_{Cond} = 150 \times (A_{\text{Cond}} \wedge 0.8)$
۸	اواپراتور	$Z_{\text{Evap}} = 276 \times (A_{\text{Evap 1}}^{0.88})$
۱۰	ابگرم‌کن	$Z_{\text{Water Heater}} = 0.3 \times \dot{m}_{13}$
۱۲	الکترولایزر	$Z_{\text{electrolyzer}} = 1000 \times W_{\text{PEM}}$
۱۳	چیلر جذبی	$Z_{Chiller} = Q_{COOLING}^{0.67}$

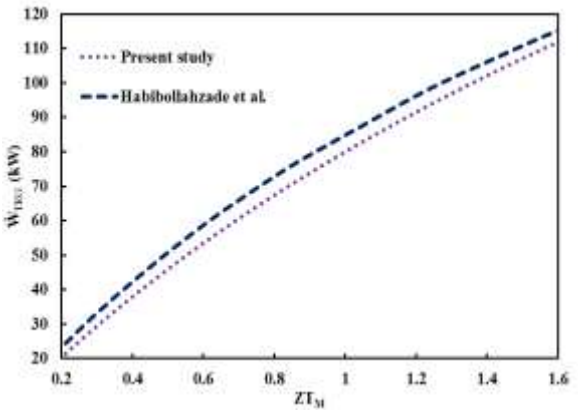
۳- نتایج و بحث

۳-۱- اعتبارسنجی

با توجه به اینکه سیستم معرفی شده یک سیستم جدید است، جهت اعتبارسنجی نتایج و اعتبار بخشیدن به کار انجام شده، زیر سیستم‌های الکترولایزر PEM و ترموالکتریک جهت مقایسه و اعتبارسنجی بررسی می‌شوند. به‌همین دلیل نتایج بررسی الکترولایزر PEM با پژوهش لوروی و همکاران[1] [۲۴] و نتایج بررسی ترموالکتریک با پژوهش حبیب‌اله زاده و همکاران [۱۹] اعتبارسنجی شده است. در شکل ۲ و ۳ نتایج، اعتبارسنجی کار حاضر بررسی شده است.



شکل ۲: اعتبارسنجی الکترولایزر PEM پژوهش حاضر



شکل ۳: اعتبارسنجی ترموالکتریک پژوهش حاضر

۳-۲- نتایج پارامتریک سیستم اول (پلن a)

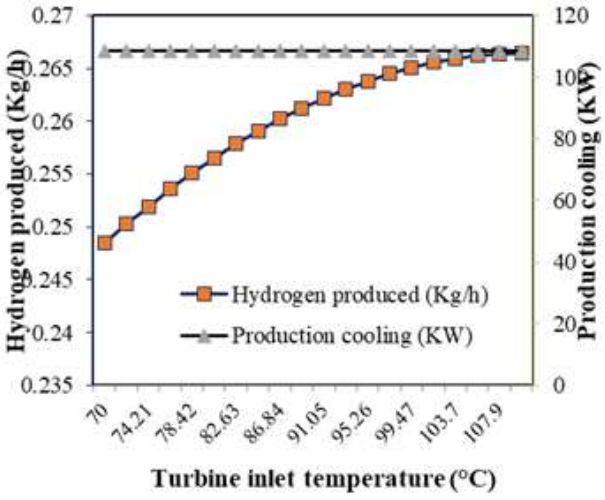
در شکل ۴ الف مشاهده می‌شود، با افزایش دمای ورودی به توربین، توان تولیدی سیستم نیز از، ۶۷ کیلووات بر ساعت به ۷۳ کیلووات بر ساعت افزایش یافته و میزان تولید آب‌گرم نیز از ۰.۵ کیلوگرم بر ساعت به ۱ کیلوگرم بر ساعت افزایش یافته است. با افزایش دمای سیال ورودی به توربین، اختلاف آنتالپی در توربین افزایش می‌یابد که اثر این افزایش اختلاف آنتالپی

[1] Ioroi et al

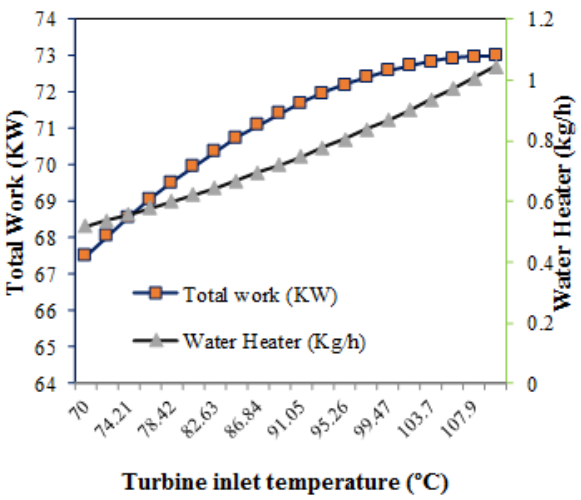
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

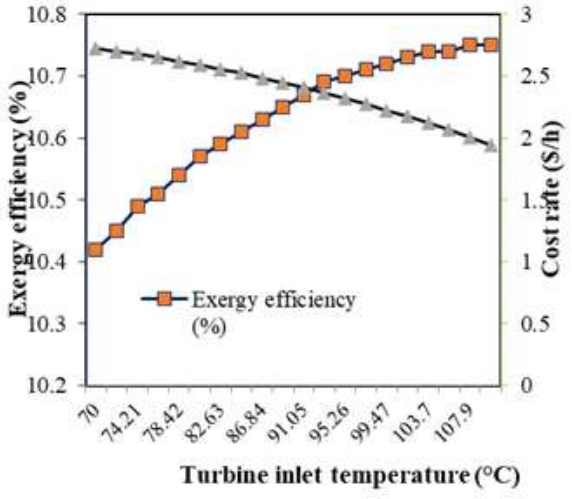
بیشتر از اثر کاهش دبی سیال است و در نهایت کار خروجی افزایش می‌یابد. در شکل ۴ ب، مشاهده می‌شود با افزایش دمای ورودی به توربین، میزان هیدروژن تولیدی سیستم از ۰.۲۴ کیلوگرم بر ساعت به ۰.۲۶ کیلوگرم بر ساعت افزایش یافته و سرمایش تولیدی سیستم با مقدار تولید ۱۰۸.۷ کیلووات بر ساعت ثابت مانده و تولید آن تغییری نکرده است. الکترولایزر PEM توان مورد نیاز خود را جهت تولید هیدروژن از توان تولیدی کل سیستم دریافت می‌کند، پس با افزایش توان تولیدی سیستم، توان ورودی به الکترولایزر بیشتر شده و در نتیجه هیدروژن بیشتری در ساعت تولید می‌شود. در شکل ۴ ج، تغییرات توابع هدف سیستم نسبت به افزایش دمای ورودی به توربین قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دمای ورودی به توربین، میزان بازده اگزرژی سیستم نیز از ۱۰.۴۲ درصد به ۱۰.۷۵ درصد افزایش یافته است چرا که بازده اگزرژی و توان تولیدی سیستم با یکدیگر رابطه مستقیم دارند. ولی همانطور که در شکل ۲ ج مشاهده می‌شود، نرخ هزینه سیستم از ۲.۷ دلار بر ساعت به ۱.۹ دلار بر ساعت کاهش یافته است.



ب. تاثیر دمای ورودی به توربین بر روی تولید هیدروژن و تولید سرمایش.



الف. تاثیر دمای ورودی به توربین بر روی تولید توان و تولید آب‌گرم.



ج. تاثیر دمای ورودی به توربین بر روی بازده اگزرژی و نرخ هزینه سیستم.

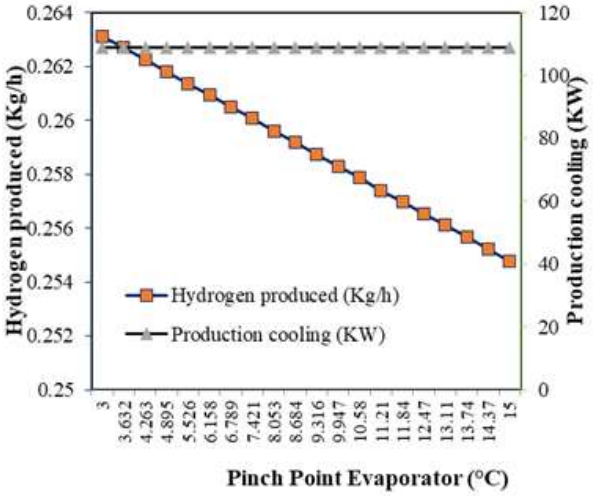
شکل ۴: بررسی تاثیر تغییرات دمای ورودی به توربین (T_6) بر روی خروجی‌های سیستم

در شکل ۵ الف مشاهده می‌شود، با افزایش دمای پینچ پوینت اواپراتور، توان تولیدی سیستم نیز از، ۷۱.۹ کیلووات بر ساعت

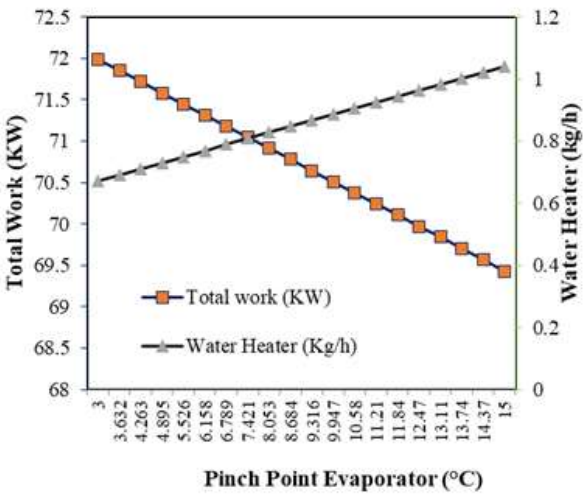
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

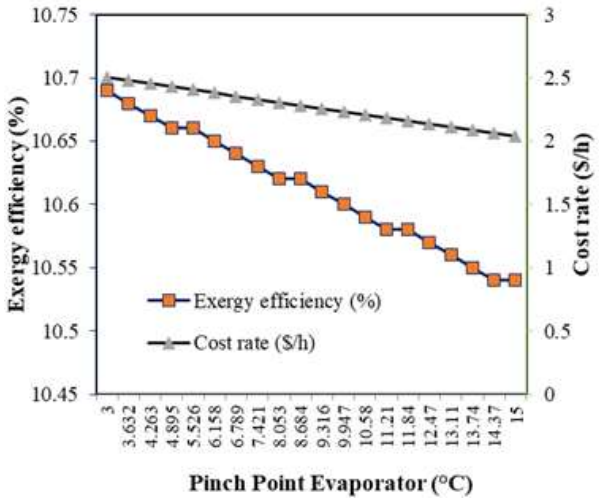
به ۶۹.۴ کیلووات بر ساعت کاهش یافته است ولی میزان تولید آب‌گرم از ۰.۶ کیلوگرم بر ساعت به ۱ کیلوگرم بر ساعت افزایش یافته است، چرا که آب‌گرم کن حرارت مورد نیاز خود را از اواپراتور سیکل ارگانیک رانکین دریافت می‌کند پس با افزایش دمای اواپراتور، نرخ آب گرم تولیدی توسط آب‌گرم‌کن نیز افزایش می‌یابد. در شکل ۵ ب، مشاهده می شود با افزایش دمای پینچ پوینت اواپراتور، میزان هیدروژن تولیدی سیستم از ۰.۲۶ کیلوگرم بر ساعت به ۰.۲۵ کیلوگرم بر ساعت کاهش یافته است ولی سرمایش تولیدی سیستم با مقدار تولید ۱۰۸.۷ کیلووات بر ساعت ثابت مانده و تولید آن تغییری نکرده است. در شکل ۳ ج، تغییرات توابع هدف سیستم نسبت به افزایش دمای پینچ پوینت اواپراتور قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش دمای پینچ پوینت اواپراتور، نرخ بازده اگزرژی سیستم از ۱۰.۶۹ درصد به ۱۰.۵۴ درصد کاهش یافته است. همچنین در شکل ۵ ج مشاهده می‌شود، که نرخ هزینه سیستم از ۲.۵ دلار بر ساعت به ۲.۰۴ دلار بر ساعت کاهش یافته است.



ب. تاثیر دمای پینچ پوینت اواپراتور بر روی تولید هیدروژن و تولید سرمایش



الف. تاثیر دمای پینچ پوینت اواپراتور بر روی تولید توان و تولید آب گرم



ج. تاثیر دمای پینچ پوینت اواپراتور بر روی بازده اگزرژی و نرخ هزینه سیستم

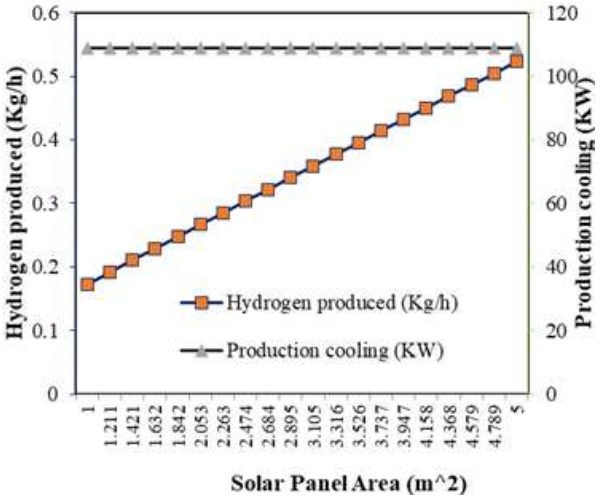
شکل ۵: بررسی تاثیر تغییرات دمای پینچ پوینت اواپراتور (PP_{Eva}) بر روی خروجی‌های سیستم

در شکل ۶ الف مشاهده می‌شود، با افزایش مساحت پنل خورشیدی، توان تولیدی سیستم نیز از، ۴۴.۵ کیلووات بر ساعت به

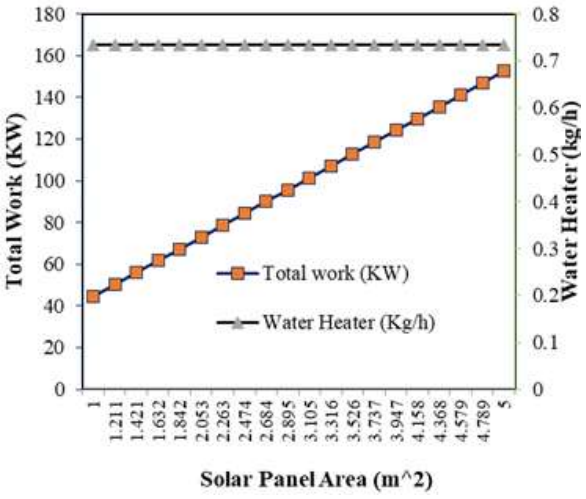
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

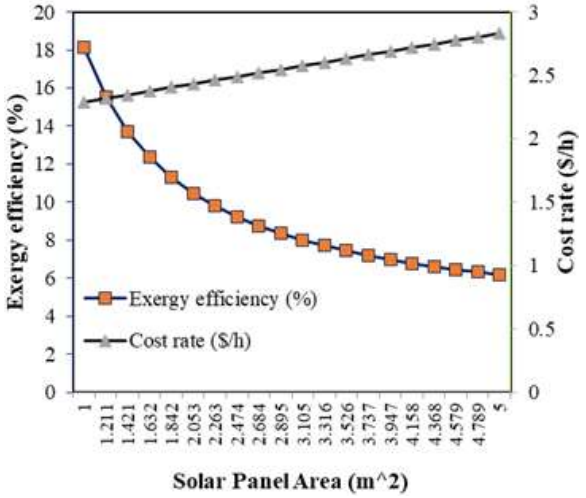
۱۵۲.۵ کیلووات بر ساعت افزایش یافته است ولی تاثیری بر روی میزان تولید آب‌گرم نداشته و مقدار تولید آن ۰.۷۳ کیلوگرم بر ساعت ثابت مانده است. در شکل ۶ ب، مشاهده می‌شود با افزایش مساحت پنل خورشیدی، میزان هیدروژن تولیدی سیستم از ۰.۱۷ کیلوگرم بر ساعت به ۰.۵۲ کیلوگرم بر ساعت افزایش یافته است ولی سرمایش تولیدی سیستم با مقدار تولید ۱۰۸.۷ کیلووات بر ساعت ثابت مانده و تولید آن تغییری نکرده است. در شکل ۶ ج، تغییرات توابع هدف سیستم نسبت به افزایش مساحت پنل خورشیدی قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش مساحت پنل خورشیدی از ۱ متر مربع به ۵ متر مربع، نرخ بازده اگزرژی سیستم از ۱۸.۱۴ درصد به ۶.۱۷ درصد کاهش یافته است. همچنین در شکل ۶ ج مشاهده می‌شود، که نرخ هزینه سیستم از ۲.۲ دلار بر ساعت به ۲.۸ دلار بر ساعت افزایش یافته است.



ب. تاثیر مساحت پنل خورشیدی بر روی تولید هیدروژن و تولید سرمایش



الف. تاثیر مساحت پنل خورشیدی بر روی تولید توان و تولید آب گرم



ج. تاثیر مساحت پنل خورشیدی بر روی بازده اگزرژی و نرخ هزینه سیستم

شکل ۶: بررسی تاثیر تغییرات مساحت پنل خورشیدی ($A_{Solar\ Panel}$) بر روی خروجی‌های سیستم

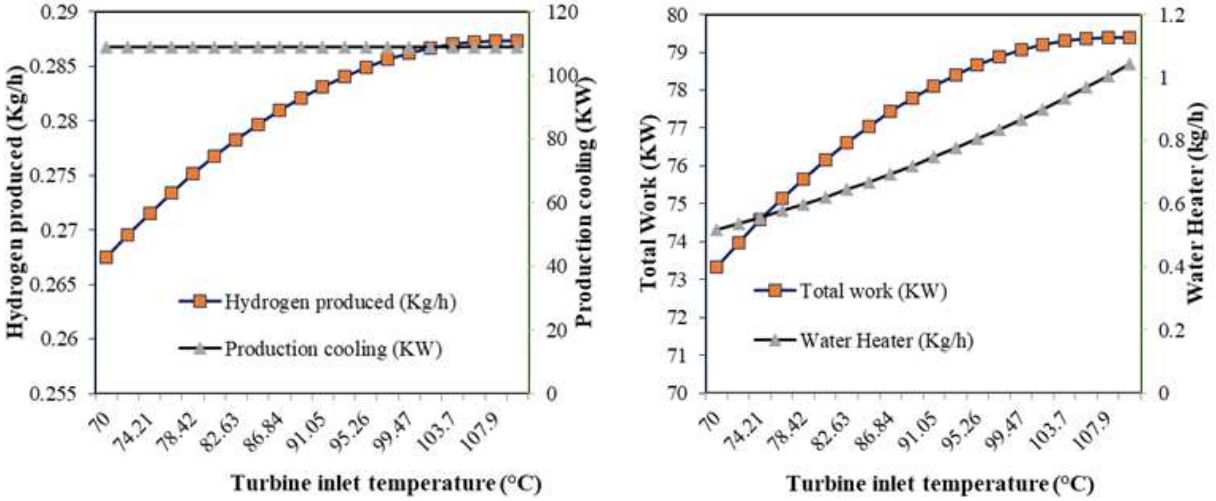
۳-۳- نتایج پارامتریک سیستم دوم (پلن b)

در شکل ۷ الف مشاهده می‌شود، با افزایش دمای ورودی به توربین، توان تولیدی سیستم نیز از، ۷۳.۳ کیلووات بر ساعت به ۷۹.۳ کیلووات بر ساعت افزایش یافته و میزان تولید آب‌گرم نیز از ۰.۵۱ کیلوگرم بر ساعت به ۱.۰۴ کیلوگرم بر ساعت افزایش

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

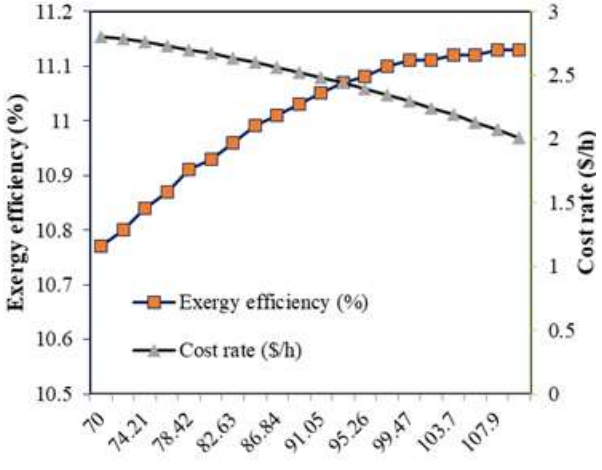
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

یافته است. در شکل ۷ ب، مشاهده می‌شود با افزایش دمای ورودی به توربین، میزان هیدروژن تولیدی سیستم از ۰.۲۶ کیلوگرم بر ساعت به ۰.۲۸ کیلوگرم بر ساعت افزایش یافته و سرمایش تولیدی سیستم با مقدار تولید ۱۰۸.۷ کیلووات بر ساعت ثابت مانده و تولید آن تغییری نکرده است. در شکل ۷ ج، تغییرات توابع هدف سیستم نسبت به افزایش دمای ورودی به توربین قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دمای ورودی به توربین، میزان بازده اگزرژی سیستم نیز از ۱۰.۷۷ درصد به ۱۱.۱۳ درصد افزایش یافته است. همانطور که در شکل ۵ ج مشاهده می‌شود، نرخ هزینه سیستم از ۲.۸ دلار بر ساعت به ۲.۰۱ دلار بر ساعت کاهش یافته است.



الف. تاثیر دمای ورودی به توربین بر روی تولید توان و تولید آب‌گرم

ب. تاثیر دمای ورودی به توربین بر روی تولید هیدروژن و تولید سرمایش



ج. تاثیر دمای ورودی به توربین بر روی بازده اگزرژی و نرخ هزینه سیستم.

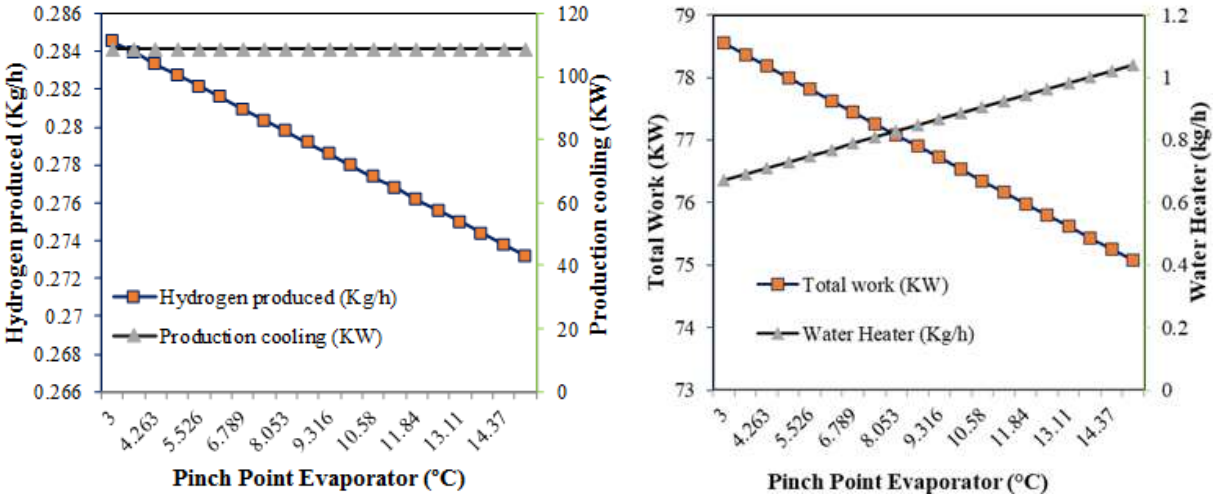
شکل ۷: بررسی تاثیر تغییرات دمای ورودی به توربین (T_6) بر روی خروجی‌های سیستم

همانطور که در شکل ۸ الف مشاهده می‌شود، با افزایش دمای پینچ پوینت اواپراتور، توان تولیدی سیستم نیز از، ۷۸.۵۵ کیلووات بر ساعت به ۷۵.۰۷ کیلووات بر ساعت کاهش یافته است ولی میزان تولید آب‌گرم از ۰.۶۷ کیلوگرم بر ساعت به ۱.۰۴ کیلوگرم بر ساعت افزایش یافته است، چرا که آب‌گرم کن حرارت مورد نیاز خود را از اواپراتور سیکل ارگانیک رانکین دریافت می‌کند پس با افزایش دمای اواپراتور، نرخ آب گرم تولیدی توسط آب‌گرم‌کن نیز افزایش می‌یابد. در شکل ۸ ب، مشاهده می‌شود با افزایش دمای پینچ پوینت اواپراتور، میزان هیدروژن تولیدی سیستم از ۰.۲۸ کیلوگرم بر ساعت به ۰.۲۷ کیلوگرم بر

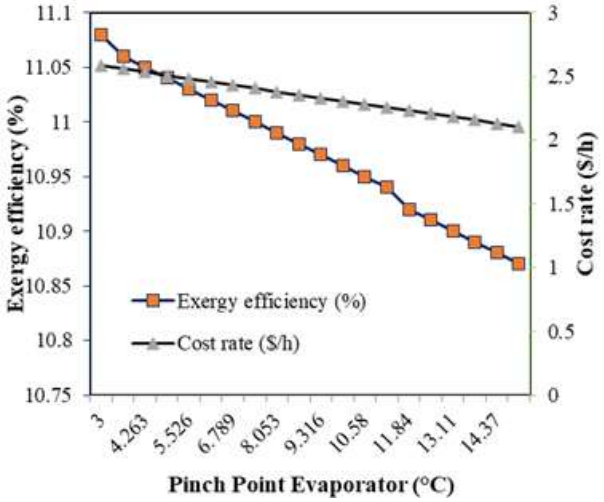
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

ساعت کاهش یافته است ولی سرمایش تولیدی سیستم با مقدار تولید ۱۰۸.۷ کیلووات بر ساعت ثابت مانده و تولید آن تغییری نکرده است. در شکل ۸ ج، تغییرات توابع هدف سیستم نسبت به افزایش د مای پ ینچ پوی نت اواپرا تور قا بل م شاهده ا ست. مشاهده می‌شود با افزایش دمای پینچ پوینت اواپراتور، نرخ بازده اگزرژی سیستم از ۱۱.۰۸ درصد به ۱۰.۸۷ درصد کاهش یافته است. همچنین در شکل ۸ ج مشاهده می‌شود، که نرخ هزینه سیستم از ۲.۵۸ دلار بر ساعت به ۲.۱۰ دلار بر ساعت کاهش یافته است.



الف. تاثیر دمای پینچ پوینت اواپراتور بر روی تولید توان و تولید آبگرم ب. تاثیر دمای پینچ پوینت اواپراتور بر روی تولید هیدروژن و تولید سرمایش



ج. تاثیر دمای پینچ پوینت اواپراتور بر روی بازده اگزرژی و نرخ هزینه سیستم

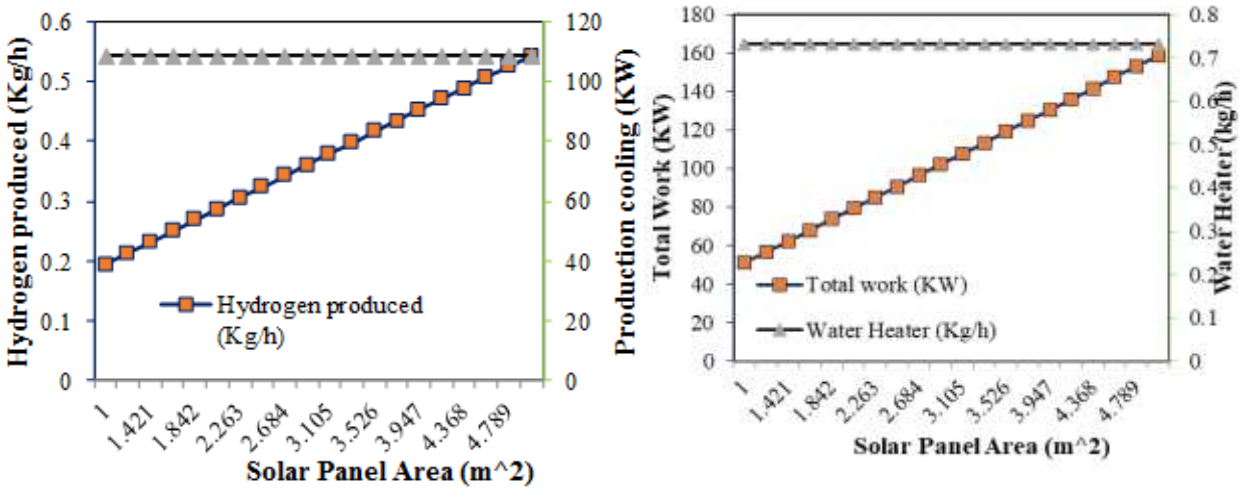
شکل ۸: بررسی تاثیر تغییرات دمای پینچ پوینت اواپراتور (PP_{Eva}) بر روی خروجی‌های سیستم

در شکل ۹ الف مشاهده می‌شود، با افزایش مساحت پنل خورشیدی، توان تولیدی سیستم نیز از، ۵۱ کیلووات بر ساعت به ۱۵۸.۹ کیلووات بر ساعت افزایش یافته است ولی تاثیری بر روی میزان تولید آب‌گرم نداشته و مقدار تولید آن ۰.۷۳ کیلوگرم بر ساعت ثابت مانده است، چرا که آب‌گرم کن حرارت مورد نیاز خود را از اواپراتور سیکل ارگانیک رانکین دریافت می‌کند. در شکل ۷ ب، مشاهده می‌شود با افزایش مساحت پنل خورشیدی، میزان هیدروژن تولیدی سیستم از ۰.۱۹ کیلوگرم بر ساعت به ۰.۵۴ کیلوگرم بر ساعت افزایش یافته است ولی سرمایش تولیدی سیستم با مقدار تولید ۱۰۸.۷ کیلووات بر ساعت ثابت مانده و تولید آن تغییری نکرده است. در شکل ۹ ج، تغییرات توابع هدف سیستم نسبت به افزایش مساحت پنل خورشیدی قابل

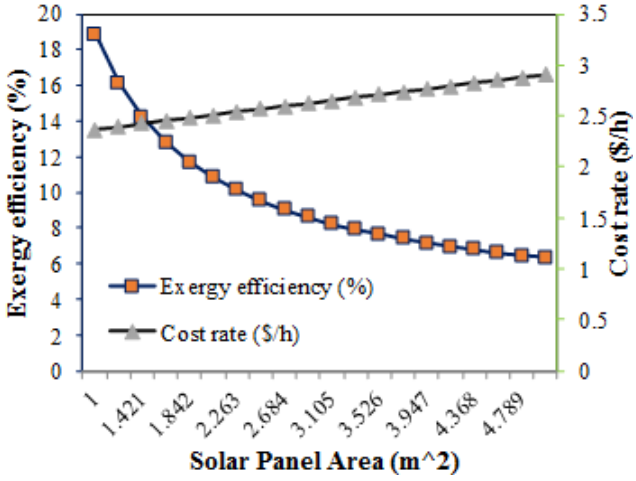
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

مشاهده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش مساحت پنل خورشیدی از ۱ متر مربع به ۵ متر مربع، نرخ بازده ا گزرژی سیستم از ۱۸.۸۹ درصد به ۶.۳۳ درصد کاهش یافته است. همچنین در شکل ۹ ج مشاهده می‌شود، که نرخ هزی نه سی ستم از ۲.۳۶ دلار بر ساعت به ۲.۹۰ دلار بر ساعت افزایش یافته است.



الف. تاثیر مساحت پنل خورشیدی بر روی تولید توان و تولید آبگرم ب. تاثیر مساحت پنل خورشیدی بر روی تولید هیدروژن و تولید سرمایش



ج. تاثیر مساحت پنل خورشیدی بر روی بازده اگزرژی و نرخ هزینه سیستم

شکل ۹: بررسی تاثیر تغییرات مساحت پنل خورشیدی ($A_{Solar\ Panel}$) بر روی خروجی‌های سیستم

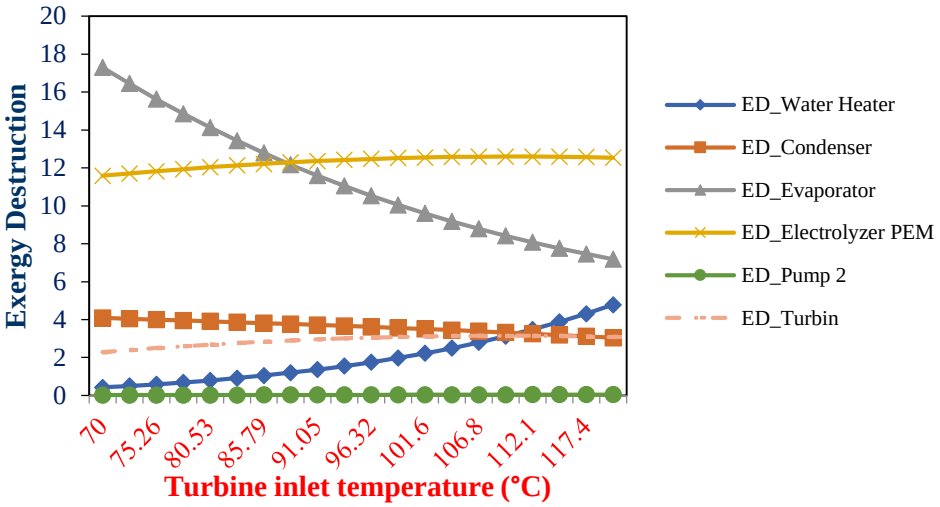
۳-۴- نتایج تخریب اگزرژی سیستم اول (پلن a)

در شکل ۱۰ به بررسی تاثیر تغییرات پارامتر دمای ورودی به توربین، بر میزان تخریب اگزرژی اجزا سیستم بررسی شده است. همانطور که مشخص است، میزان تخریب اگزرژی اواپراتور از سایر اجزای سیستم بیشتر است و با افزایش دمای ورودی به توربین، میزان تخریب اگزرژی اواپراتور از ۱۷.۳ کیلووات به ۷.۱۹ کیلووات کاهش یافته است. بعد از آن بیشترین تخریب اگزرژی سیستم مربوط به الکترولایزر PEM است که با افزایش دمای ورودی به توربین میزان تخریب اگزرژی آن از ۱۱.۵۸ کیلووات به ۱۲.۵۴ کیلووات افزایش یافته است. بعد از الکترولایزر بیشترین میزان تخریب اگزرژی مربوط به کندانسور است که مقدار آن با افزایش دمای ورودی به توربین از ۴.۰۸۹ کیلووات به ۳.۰۴۱ کیلووات کاهش یافته است. تخریب اگزرژی توربین سیکل رانکین و آب‌گرم‌کن در ردیف بعدی قرار دارند و کمترین میزان تخریب اگزرژی سیستم مربوط به پمپ سیکل رانکین

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

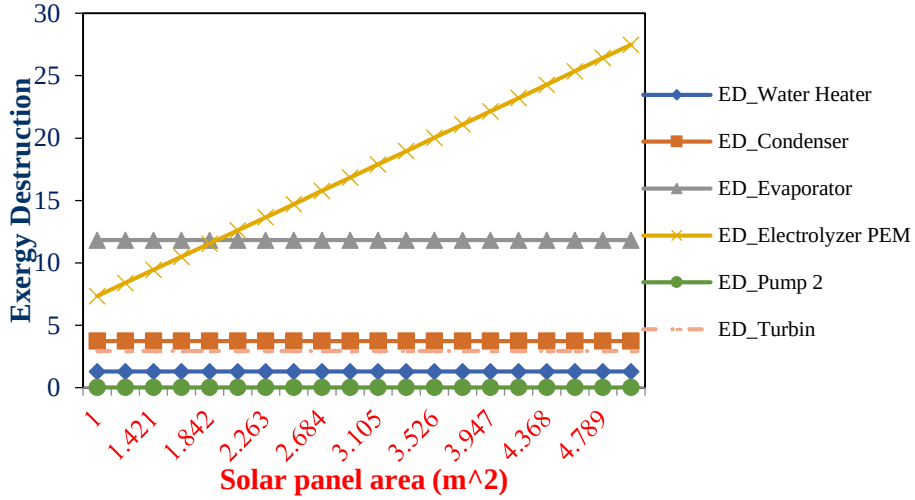
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

است. از دلایل بالای میزان تخریب اگزرژی در اواپراتور، این است که اواپراتور وظیفه تبخیر سیال را دارد و از آنجایی که عمل تبخیر سیال ارگانیک در سیکل رانکین یک فرآیندی بازگشت‌ناپذیر است و مقدار بازگشت‌ناپذیری در آن نسبت به سایر فرآیند اجزا بسیار زیادتر است، بنابراین تخریب اگزرژی در اواپراتور، زیادتر از سایر اجزاء است.



شکل ۱۰: بررسی تاثیر تغییرات دمای ورودی به توربین (T_6) بر میزان تخریب اگزرژی اجزا سیستم

در شکل ۱۱ به بررسی تاثیر تغییرات پارامتر مساحت پنل خورشیدی، بر میزان تخریب اگزرژی اجزا سیستم بررسی شده است. همانطور که از نتایج شکل ۱۱ مشخص است، میزان تخریب اگزرژی الکترولایزر PEM از سایر اجزای سیستم بیشتر است و با افزایش مساحت پنل خورشیدی، میزان تخریب اگزرژی الکترولایزر از ۷.۳ کیلووات به ۲۷.۴ کیلووات افزایش یافته است. بعد از آن بیشتر تخریب اگزرژی مربوط به اواپراتور است که میزان تخریب اگزرژی آن با افزایش مساحت پنل خورشیدی، ۱۱.۸۲ کیلووات ثابت مانده و تغییری نکرده است. بعد از آن بیشترین میزان تخریب اگزرژی مربوط به کندانسور است که مقدار آن با افزایش مساحت پنل خورشیدی ثابت مانده است و تغییری نکرده است. میزان تخریب اگزرژی توربین سیکل رانکین و میزان تخریب اگزرژی آب‌گرم‌کن نیز با افزایش مساحت پنل خورشیدی ثابت مانده است. کمترین میزان تخریب اگزرژی سیستم مربوط به پمپ است.



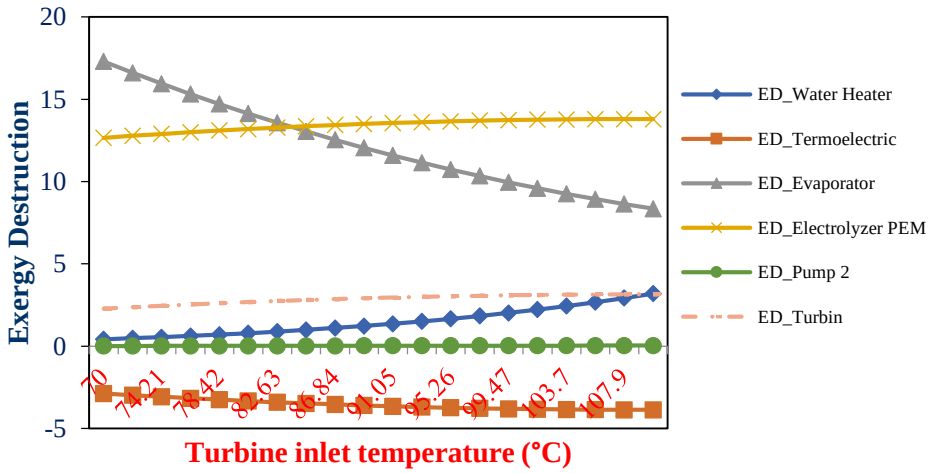
شکل ۱۱: بررسی تاثیر تغییرات مساحت پنل خورشیدی ($A_{Solar\ Panel}$) بر میزان تخریب اگزرژی اجزا سیستم

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

۳-۵- نتایج تخریب اگزرژی سیستم دوم (پلن b)

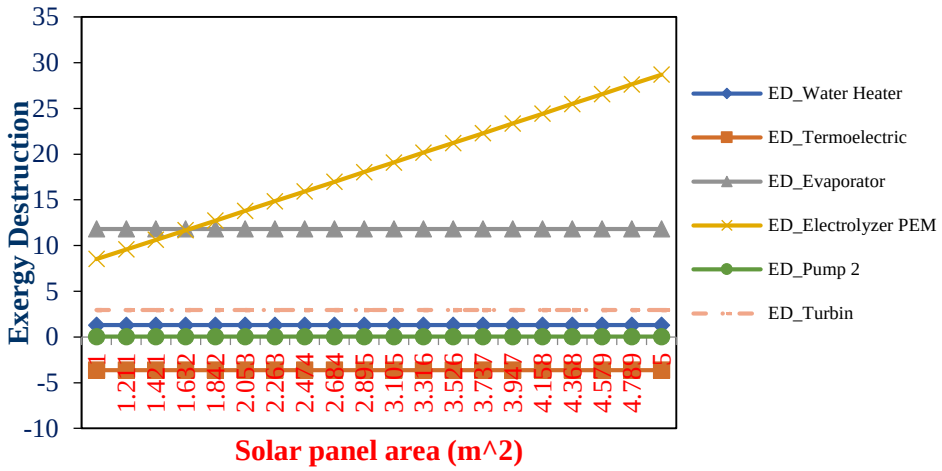
در تحلیل تخریب اگزرژی انجام شده، بیشترین مقدار تخریب اگزرژی برای پلن b در تمامی تحلیل‌ها، مربوط به پنل خورشیدی بوده است. در شکل ۱۲ به بررسی تاثیر تغییرات پارامتر دمای ورودی به توربین، بر میزان تخریب اگزرژی اجزا پلن b بررسی شده است. همانطور که از نتایج شکل ۱۲ مشخص است، میزان تخریب اگزرژی اواپراتور از سایر اجزای پلن b بیشتر است و با افزایش دمای ورودی به توربین، میزان تخریب اگزرژی اواپراتور از ۱۷.۳ کیلووات به ۸.۳ کیلووات کاهش یافته است. بعد از آن بیشترین تخریب اگزرژی سیستم مربوط به الکترولایزر PEM است که با افزایش دمای ورودی به توربین میزان تخریب اگزرژی آن از ۱۲.۶ کیلووات به ۱۳.۷ کیلووات افزایش یافته است. بعد از الکترولایزر بیشترین میزان تخریب اگزرژی مربوط به توربین است که مقدار آن با افزایش دمای ورودی به توربین از ۲.۲ کیلووات به ۳.۱ کیلووات کاهش یافته است. تخریب اگزرژی آب‌گرم‌کن در ردیف بعدی قرار دارد و کمترین میزان تخریب اگزرژی به ترتیب مربوط به پمپ و ترموالکتریک است.



شکل ۱۲: بررسی تاثیر تغییرات دمای ورودی به توربین (T_6) بر میزان تخریب اگزرژی اجزا سیستم

در شکل ۱۳ به بررسی تاثیر تغییرات پارامتر مساحت پنل خورشیدی، بر میزان تخریب اگزرژی اجزا پلن b، بررسی شده است. همانطور که از نتایج شکل ۱۳ مشخص است، میزان تخریب اگزرژی الکترولایزر PEM از سایر اجزای سیستم بیشتر است و با افزایش مساحت پنل خورشیدی، میزان تخریب اگزرژی الکترولایزر از ۸.۵ کیلووات به ۲۸.۶۹ کیلووات افزایش یافته است. بعد از آن بیشتر تخریب اگزرژی مربوط به اواپراتور است که میزان تخریب اگزرژی آن با افزایش مساحت پنل خورشیدی، ۱۱.۸۲ کیلووات ثابت مانده و تغییری نکرده است. بعد از آن بیشترین میزان تخریب اگزرژی مربوط به توربین سیکل رانکین است که مقدار آن با افزایش مساحت پنل خورشیدی ثابت مانده است و تغییری نکرده است. میزان تخریب اگزرژی آب‌گرم‌کن و میزان تخریب اگزرژی پمپ نیز در ردیف بعدی قرار دارند با افزایش مساحت پنل خورشیدی، مقدار آن‌ها ثابت مانده است. کمترین میزان تخریب اگزرژی سیستم مربوط به ترموالکتریک است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]



شکل ۱۳: بررسی تاثیر تغییرات مساحت پنل خورشیدی ($A_{Solar\ Panel}$) بر میزان تخریب اگزرژی اجزا سیستم

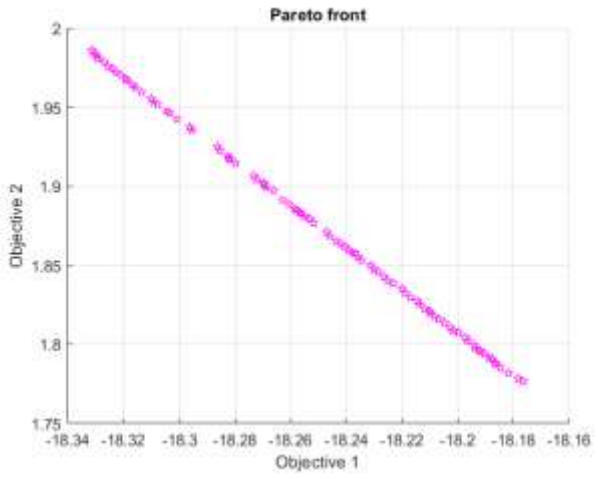
۳-۶- بهینه‌سازی

در جدول ۴ میزان محدوده مجاز برای متغییرهای طراحی آورده شده است.

جدول ۴: متغیرهای طراحی و رنج تغییرات آن‌ها

Parameter	Lower bound	Upper bound
$A_{Solar\ Panel}$	1	3
T[6]	85	100
pp_eva	3	10

در شکل ۱۴ مرز پارتو آورده شده است. همانطور که بیان شد تمام نقاط جواب بهینه هستند. اما برای انتخاب بهترین نقطه از یک روش ساده هندسی استفاده شده است.



شکل ۱۴: مرز پارتو از نقاط بهینه سیستم پیشنهادی

اطلاعات بیشتر در مورد نقطه بهینه و پارامترهای بهینه سازی در جداول ۵ و ۶ آورده شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

جدول ۵: توابع هدف بهینه

تابع هدف	ارزش
بازده اگزرژی (٪)	18.25
هزینه (**$/h**)	1.87

جدول۶: پارامترهای بهینه‌سازی

Parameter	amount
$A_{\text{Solar Panel}}$	1.001
T[6]	99.98
pp_eva	7.47

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مدلسازی و بهینه‌سازی یک سیستم تولید چندگانه انرژی بر مبنای استفاده از انرژی تجدیدپذیر خورشیدی و استفاده از پنل خورشیدی جهت جذب انرژی خورشیدی برای تامین انرژی مورد نیاز سیستم پرداخته شد. محصولات این سیستم تولیدچندگانه شامل تولید برق پاک، تولید سرمایش، تولید آب گرم و تولید هیدروژن که به عنوان یک سوخت با راندمان بالا مورد توجه قرار گرفته است، می‌باشد. سیستم مورد بررسی متشکل از زیرسیستم‌های پنل خورشیدی، سیکل ارگانیک رانکین، چیلر جذبی، الکترولایزر PEM و آب گرم کن است. همچنین در این پژوهش دو سیستم بررسی شد که در سیستم اول و در سیکل ارگانیک رانکین از یک کندانسور استفاده شد و در سیستم دوم به جای کندانسور از ترموالکتریک جهت بهبود عملکرد سیکل رانکین و همچنین افزایش توان تولیدی سیکل استفاده شد. سیال مورد استفاده در سیکل ارگانیک رانکین شامل مبرد R123 است. برای حل معادلات حاکم بر مسئله و مدلسازی سیستم و همچنین به‌دست آوردن نتایج حاصل از تحلیل پارامتریک سیستم از نرم‌افزار (EES) استفاده شد. سپس طبق نتایج حاصل شده از تحلیل سیستم، بهترین و تاثیرگذارترین پارامترهای طراحی بر روی عملکرد سیستم، دمای ورودی به توربین (T_6) و مساحت پنل خورشیدی معرفی شدند. همچنین طبق بررسی تخریب اگزرژی سیستم نتیجه شده که پنل خورشیدی دارای بیشترین مقدار بر روی تخریب اگزرژی سیستم است و همچنین پمپ‌ها دارای کمترین میزان تخریب اگزرژی در سیستم کار حاضر است. به‌منظور بهینه‌سازی سیستم طراحی شده از الگوریتم (NSGA-II)، جهت یافتن بهترین مقدار برای توابع هدف استفاده شد. در نهایت بهینه‌ترین و بهترین مقدار برای بازده اگزرژی ۱۸/۲۵ درصد و برای نرخ هزینه ۱/۸۷ دلار بر ساعت به‌دست آمد. در نتیجه می‌توان گفت که سیستم معرفی شده در این پژوهش با توجه به نتایج حاصل شده، برای کاربردهای مورد نیاز مناسب است.

مراجع

1- Ishaq, H., Siddiqui, O., Chehade, G., Dincer, I., 2021, A solar and wind driven energy system for hydrogen and urea production with CO2 capturing, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 46, Issue 6, Pages 4749-4760.

2- Ishaq, H., Dincer, I., 2021, Dynamic modelling of a solar hydrogen system for power and ammonia, production, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 46, Issue 27, Pages 13985-14004.

3- Chen, C., Xia, Q., Feng, S., Liu, Q.,,2021, A novel solar hydrogen production system integrating high temperature electrolysis with ammonia based thermochemical energy storage, Energy Conversion and Management, Volume 237, 114143.

4- Saikia, S., Verma, V., Kakati, B. K., Sivasakthivel, T., Tarodiya, R., 2021, Optimization of solar integrated electrolyser system for hydrogen production using Taguchi method, Materials Today Proceedings.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

5- Behzadi, A. M., 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, Volume 169, Pages 696-709.

6- Assareh, E., Assareh, M., Alirahmi, S. M., Jalilinasrabady, S., Dejdar, A., Izadi, M., 2021a, An extensive thermo-economic evaluation and optimization of an integrated system empowered by solar-wind-ocean energy converter for electricity generation – Case study: Bandar Abas, Iran, Thermal Science and Engineering Progress, Volume 25, 100965.

7- Assareh, E., Mohammadi Bouri, F., Azizimehr, B., Moltames, 2021b, Simulation and Optimization of a Solar Based Trigeneration System Incorporating PEM Electrolyzer and Fuel Cell, Journal of Solar Energy Research, Volume 6, Issue 1, Pages 664-677.

8- Assareh, E., Alirahmi, S. M., Ahmadi, P., 2021c, A Sustainable model for the integration of solar and geothermal energy boosted with thermoelectric generators (TEGs) for electricity, cooling and desalination purpose, Geothermics 92, 102042.

9- Alirahmi S. M., Assareh E., 2020, Energy, exergy, and exergoeconomics (3E) analysis and multi-objective optimization of a multigeneration energy system for day and night time power generation-Case study: Dezful city, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 45, Issue 56, Pages 31555-31573.

10- Alirahmi, S. M., Assareh, E., Chitsaz, A., Ghazanfari Holagh, S., Jalilinasrabady, S., 2021a, Electrolyzer-fuel cell combination for grid peak load management in a geothermal power plant: Power to hydrogen and hydrogen to power conversion, International Journal of Hydrogen Energy.

11- Azizimehr, B., Assareh, E., Moltames, R., 2020, Thermoeconomic analysis and optimization of a solar micro CCHP by using TLBO algorithm for domestic application, Energy Sources, Volume 42, Issue 14, Pages 1747-1761.

12- Alirahmi, S. M., Bashiri Mousavi, S., Razmi, A. R., Ahmadi, P., 2021b, A comprehensive techno-economic analysis and multi-criteria optimization of a compressed air energy storage (CAES) hybridized with solar and desalination units, Energy Conversion and Management, Volume 236, 114053.

13- Alirahmi, S. M., Rostami, M., Farajollahi, A. H., 2020a, Multi-criteria design optimization and thermodynamic analysis of a novel multi-generation energy system for hydrogen, cooling, heating, power, and freshwater, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 45, Issue 30, Pages 15047-15062.

14- Alirahmi, S. M., Rahmani Dabbagh, S., Ahmadi, P., Wongwises, S., 2020b, Multi-objective design optimization of a multi-generation energy system based on geothermal and solar energy, Energy Conversion and Management, Volume 205, 112426.

15- Mehrpooya M, Raeesi M, Pourfayaz F, Delpisheh M. Investigation of a hybrid solar thermochemical water-splitting hydrogen production cycle and coal-fueled molten carbonate fuel cell power plant. Sustain Energy Technol Assessments 2021;47:101458.

16- Delpisheh M, Haghghi MA, Athari H, Mehrpooya M. Desalinated water and hydrogen generation from seawater via a desalination unit and a low temperature electrolysis using a novel solar-based setup. Int J Hydrogen Energy 2021;46:7211–29.

17- Akrami, E., Khazaee, I., Gholami, A., 2018, Comprehensive analysis of a multi-generation energy system by using an energy-exergy methodology for hot water, cooling, power and hydrogen production, Appl. Therm. Eng., vol. 129, pp. 995–1001.

18- Houshfar, E., 2020, Thermodynamic analysis and multi-criteria optimization of a waste-to-energy plant integrated with thermoelectric generator, Energy Convers. Manag, vol, 205, no. October 2019, p. 112207.

19- Habibollahzade, A, Gholamian, E, Ahmadi, P, Behzadi, A, (2018), Multi-criteria optimization of an integrated energy system with thermoelectric generator, parabolic trough solar collector and electrolysis for hydrogen production, Int. J. Hydrogen Energy.

20- 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.

21- Kianfard, H., Khalilarya, 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

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

dual fluid ORC, Energy Convers. Manag., vol. 177, pp. 339–349.

22- Zhang, X., Zeng, R., Du, T., He, Y., Tian, H., Mu, K., Liu, X., Li, H., 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.

23- Lopez, J. C., Escobar, A., Cárdenas, D. A., 2021, Parabolic trough or linear fresnel solar collectors An exergy comparison of a solar-assisted sugarcane cogeneration power plant, Renewable Energy, Volume 165, Part 1, March 2021, Pages 139-150.

24- 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.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]

چکیده انگلیسی:

Exergy analysis, energy and modeling, optimization and study of economic and environmental parameters of a multiple energy production system by studying the thermoelectric effect for the production of clean electricity, cooling, heating and hydrogen

Alireza Amirshekarizadeh[1], Ehsanolah Assareh[1*]

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

Received: January 2022 Accepted: May 2022

Abstract

In this study, modeling, optimization and economic analysis of a multiple generation system based on the use of solar energy using thermoelectric in the Rankin organic cycle. The system under study consists of solar panel subsystems, Rankin organic cycle, absorption chiller and PEM electrolyzer. The fluid used in the Rankin organic cycle contains refrigerant R123. Thermodynamic software for solving EES engineering equations has been used to model the studied system and also to obtain the results of system analysis. In this study, a comparison was made between two systems with the presence of thermoelectric and the system without the presence of thermoelectric and the use of condenser in the Rankin organic cycle and according to the results, the system with thermoelectric presence has better performance. According to the studies performed on the parameters affecting the system outputs, we can name the inlet temperature to the turbine and the area of the solar panel. According to the system exergy degradation study, the solar panel has the most exergy degradation and the least exergy degradation is related to the pump. The NSGA-II genetic multi-objective algorithm is used to optimize the objective functions of the designed system. The two opposite objective functions studied in this study were to increase exergy efficiency and reduce cost rate. The Pareto diagram was obtained in order to determine the best values for the objective functions of the problem, which are the system exergy efficiency and the system cost rate. Finally, the optimum value of the exergy efficiency was 18.25% and the cost rate was $ 1.87 per hour. Also for case study in this study, Khuzestan province and Dezful, Ahvaz and Abadan cities were selected. The results of a case study showed that this system has a high performance in Khuzestan province and the best results were obtained in Abadan.

Key words: Solar energy, multiple energy generation system, solar panel, exergy efficiency, cost rate.

*corresponding author: assareh@iaud.ac.ir

Cite this article as: Alireza Amirshekarizadeh, Ehsanolah Assareh. Exergy analysis, energy and modeling, optimization and study of economic and environmental parameters of a multiple energy production system by studying the thermoelectric effect for the production of clean electricity, cooling, heating and hydrogen. Journal of Energy Conversion, 2022, 9(2), 1-20. **DOR:** 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.3.6]