نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹

Journal Of Energy Conversion
Volume: 7, Issue: 4, 2021

تحلیل اگزرژی و انرژی یک سیستم تولید چند گانه انرژی بر مبنای انرژی خورشیدی و بادی برای تولید برق پاک و آب شیرین

مسعود گلشن‌زاده [۱]، احسان‌اله عصاره[۲]*

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه ازاد اسلامی، دزفول، ایران، m.golshanzadeh17@yahoo.com
۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه ازاد اسلامی، دزفول، ایران، assareh@iaud.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۹/۱۵، بازنگری: ۹۹/۱۲/۱۰، پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۲

چکیده

در پژوهش حاضر به بررسی یک سیستم تولید انرژی با استفاده از دو نوع انرژی تجدپذیر خورشیدی و بادی با شرایط اقلیمی و نزدیک به مناطقی با پتانسیل بالا برای سیستم مورد بررسی، دارای شرایط مناسب از نظر سرعت باد و تابش خورشیدی به عنوان منابع تامین انرژی، اقدام کردیم. برای استفاده از حرارت حاصل از سیستم خورشیدی با کلکتور سهموی- خطی یک سیکل بخار طراحی شده که حرارت از طریق اواپراتور به آن منتقل شده و توسط توربین بخار انرژی الکتریکی تولید می‌کند. از حرارت باقی‌مانده بعد از اواپراتور برای ژنراتور یک سیستم تبرید جذبی تک اثره برای تولید بار سرمایی استفاده شد. اجزا اصلی سیستم متشکل از یک سیکل ارگانیک رانکین، سیکل رانکین بخار، ترموالکتریک، سیستم تبرید جذبی، اسمز معکوس، توربین بادی و یک کلکتور خورشیدی سهموی- خطی است. برای مدل سازی سیستم و به‌دست آوردن نتایج ترمودینامیکی از نرم‌افزار EES به عنوان یک ابزار مهندسی بهره برده شده است. نتایج پژوهش نشان داد که با توجه به افزایش شدت تابش خورشیدی و انرژی بادی بر روی میزان اگزرژی کل، کار خروجی تولید آب شیرین سیستم تولید چندگانه موثر بوده و باعث افزایش خروجی‌های سیستم می‌گردد. طبق نتایج انرژی خورشیدی با دریافت کننده مرکزی بیشترین میزان تلفات اگزرژی دارد. همچنین نتایج تلفات اگزرژی نشان داد سیستم خورشیدی با ۶۰ درصد و توربین بادی با ۱۷ درصد بیشترین میزان تلفات اگزرژی را در اجزا سیستم دارا می باشند.

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

کلمات کلیدی: سیستم خورشیدی، سیکل بخار، سیکل تبرید جذبی، آب شیرین کن اسمز معکوس، توربین بادی

۱- مقدمه

با توجه به صنعتی شدن اکثر شهرها تقاضای انرژی با رشد قابل توجهی مواجه شد. افزایش مداوم تقاضای انرژی در گذشته منجر به استفاده گسترده از سوخت‌های فسیلی حاوی کربن شد، که این امر باعث ایجاد مضرات قابل توجهی برای محیط زیست و همچنین سلامتی انسان‌ها شد. در سال‌های اخیر، تلاش‌ها و برنامه‌های بسیاری در جهت کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی صورت گرفته است. انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی به‌عنوان منابع مطمئنی جهت تولید انرژی پاک برای استفاده قرار معرفی شده‌اند. در حال حاضر تکنولوژی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از متمرکز کننده‌ی سهموی- خطی، قابل توجه‌ترین روش در بین روش‌های حرارتی-برقی برای تولید انرژی تجدیدپذیر می‌باشد..

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

کومار گاپتا و همکاران[1] [۱] در سال ۲۰۲۰، یک سیستم پیشنهادی شامل سیکل رانکین ارگانیک همراه با یک سیستم جذب سطح فشار سه گانه[2] و سیستم خورشیدی از نوع کلکتور خورشیدی سهموی- خطی طراحی کردند. این سیستم در دو دما مختلف به طور همزمان انرژی الکتریکی و برودت تولید می کند. در این پژوهش تاثیر پارامترهای مختلف ورودی مانند تابش خورشیدی، فشار ورودی توربین، فشار خروجی توربین و دمای تبخیر کننده اجکتور به زیرسیستم های شماتیک طراحی شده بررسی شد. دوبکرم و همکاران[3] [۲] در سال ۲۰۲۰، به تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی یک سیستم تولید چندگانه انرژی توسط انرژی حرارتی حاصل از سیستم خورشیدی از نوع کلکتور خورشیدی سهموی-خطی پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش دمای ورودی توربین باعث افزایش کارایی و کاهش کل تلفات اگزرژی سیستم شده است. همچنین نتایج نشان داد که دو منبع اصلی تلفات اگزرژی، سیستم خورشیدی و واحد آب شیرین‌کن هستند.

علی‌رحمی و همکاران[4] [۳] در سال ۲۰۲۰، یک سیستم تولید چندگانه مبتنی بر انرژی زمین گرمایی و سیستم خورشیدی از نوع کلکتور خورشیدی سهموی- خطی برای تولید همزمان برق، بار خنک‌کنندگی، آب شیرین، هیدروژن و گرما پیشنهاد دادند. به‌منظور بهینه‌سازی چندهدفه این پژوهش، نرم‌افزار EES و MATLAB با استفاده از روش Dynamic Exchange Data به یکدیگر مرتبط شدند. در نهایت بازده اگزرژی سیستم و کل هزینه واحد به ترتیب ۲۹/۹۵ درصد و ۱۲۹,۷ $/GJ گزارش شد. الاوطیبی و همکاران[5] [۴] در سال ۲۰۲۰، به بررسی عملکرد یک نیروگاه بخار معمولی با یک سیستم احیا کننده تجهیز شده با سیستم خورشیدی از نوع کلکتور خورشیدی سهموی–خطی پرداختند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل سیستم نشان داد که حذف توربین LP عملکرد نیروگاه بخار تا ۹,۸ مگاوات بر ساعت افزایش می‌دهد. مقدار مساحت بهینه برای سیستم خورشیدی در این شرایط برابر ۲۵۸۵۰ متر مربع تخمین زده شد.

احیایی و همکاران[6] [۵] در سال ۲۰۱۹، به تحلیل ترمودینامیکی، انرژی و اگزرژی و تحلیل اقتصادی با استفاده از یک کلکتور خورشیدی سهموی- خطی پرداختند. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که راندمان اگزرژی، راندمان انرژی و هزینه‌ها به ترتیب ۲۹/۲۹ درصد، ۳۵,۵۵ درصد و ۰,۰۱۴۲ دلار/کیلووات‌ساعت است. توقیانی و همکاران[7] [۶] در سال ۲۰۱۹، از یک نانوسیال به‌عنوان سیال در یک کلکتور خورشیدی سهموی- خطی برای خنک‌کاری سیستم خورشیدی و تولید هیدروژن استفاده کردند. نتایج نشان داد که میزان تولید هیدروژن در شرایط شدت تابش خورشیدی بالاتر افزایش می‌یابد زیرا سیکل رانکین انرژی بیشتری را به PEM منتقل می‌کند.

الزهرانی و دینسر[8] [۷] در سال ۲۰۱۸، به بررسی انرژی و اگزرژی کلکتورهای خورشیدی سهموی- خطی به‌عنوان بخشی از نیروگاه خورشیدی، تحت شرایط مختلف طراحی و عملکرد پرداختند. در نهایت میزان بازده انرژی و اگزرژی به ترتیب ۳۵/۶۶ درصد و ۳۸/۵۵ درصد گزارش شد. یلماز[9] [۸] در سال ۲۰۱۹، به بررسی عملکرد جامع ترمودینامیکی و ارزیابی اقتصادی یک سیستم ترکیبی انرژی حرارتی اقیانوسی و یک نیروگاه بادی پرداختند. نتایج نشان داد که بازده کلی انرژی و اگزرژی سیستم هیبریدی به ترتیب ۱۲,۲۷ درصد و ۳۴/۳۴ درصد است. میزان هزینه سیستم پیشنهادی ۳,۰۳ دلار بر ساعت گزارش شد

اسحق و دینسر[10] [۹] در سال ۲۰۲۰، یک ایده جدید برای تولید هیدروژن با استفاده از انرژی بادی و کاربرد متانول ارائه داده اند. در سیستم پیشنهادی از انتشار کربن صنعتی برای تولید متانول استفاده می‌شد. از نرم‌افزارEES و Aspen Plus برای

1 - Kumar Gupta et. al
2 - Triple pressure level vapor absorption system
3 - Dubekerme et. al
4 - Alirahmi et. al
5 - Alojaibi et. al
6 - Ehyaei et. al
7 - Toghyani et. al
8 - Al- Zahrani & Dincer
9 - Yilmaz
10 - Ishaq & Dincer

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

مدل‌سازی سیستم و تجزیه و تحلیل جامع آن استفاده شد. بامیسیله و همکاران[11] [۱۰] در سال ۲۰۲۰، یک سیستم تولید انرژی بابهره‌گیری از انرژی باد، انرژی خورشیدی و بیوگاز مدل کردند و به تحلیل انرژی و اگزرژی سیستم پرداختند. نتایج نشان داد، راندمان انرژی کلی سیستم از مقدار ۶۴,۹۱ درصد تا ۷۱,۰۶ درصد متغییر است، در حالی که راندمان اگزرژکونومیکی از ۳۱/۸۰ درصد به ۵۳/۸۱ درصد می‌رسد. کیان فرد و همکاران[12] [۱۱] در سال ۲۰۱۸، یک سیستم تجدیدپذیر را برای تولید آب شیرین و هیدروژن بر مبنای انرژی گرمایی بررسی کردند. نتایج نشان داد میزان هزینه‌های سرمایه‌گذاری به واحد آب شیرین‌کن اسمز معکوس با تحلیل اقتصادی صورت گرفته ۵۶ درصد به‌دست آمد. نرخ هزینه تولید آب شیرین ۳۲/۷۳ سنت بر متر مکعب برآورد شد.

علی رحمی و عصاره[13] [۱۲] در سال ۲۰۲۰، به تحلیل انرژی، اگزرژی و اقتصادی و بهینه‌سازی چندهدفه یک سیستم انرژی چندگانه شامل تولید هیدروژن، آب شیرین، سرمایش، گرمایش و آب گرم و همچنین تولید انرژی برق برای شهرستان دزفول پرداختند. دو تابع هدف این پژوهش اگزرژی و هزینه کل معرفی شد که بهینه‌سازی آن با الگوریتم ژنتیک انجام شد. در نهایت بهترین مقدار برای بازده اگزرژی ۳۱,۶۶ درصد و نرخ کل واحد ۲۱,۹ $/GJ گزارش شد. محمدی و همکاران[14] [۱۳] در سال ۲۰۲۰، یک سیکل ترکیبی توربین گازی برای تولید برق، آب شیرین و سرمایش را طراحی کردند. نتایج نشان داد که که به‌کارگیری اسمز معکوس اقتصادی‌تر از یک سیستم ترکیبی MED-RO است. همچنین هزینه‌های سیستم برای تولید برق، آب و سرمایش به ترتیب ۰,۰۶۴۸ دلار بر کیلووات ساعت، ۰,۷۲۱۹ دلار در متر مکعب و ۰,۰۴۰۲ دلار در هر ساعت گزارش شد.

در این پژوهش یک سیستم تجدیدپذیر با استفاده از انرژی خورشیدی و انرژی بادی بررسی شد. در این سیستم از کلکتور سهموی- خطی به عنوان منبع تامین انرژی حرارتی و یک توربین بادی به عنوان یک منبع تولید کننده مستقیم انرژی الکتریکی استفاده شد، که از نواوری‌های کار حاضر ترکیب سیستم خورشیدی و بادی برای افزایش راندمان و تولید سیستم است، چرا که با توجه به در دسترس نبودن انرژی خورشیدی در تمام ساعات روز، استفاده از انرژی بادی کمک به تامین انرژی مورد نیاز سیستم مورد توجه قرار گرفت. همچنین از نوآوری‌های دیگر این سیستم استفاده از کلکتور خورشیدی سهموی است، زیرا طبق بررسی‌های انجام شده در پژوهش‌های معتبر پیشین، بیشتر استفاده از کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت استفاده شده و استفاده از کلکتورهای دیگر مانند کلکتور سهموی کمتر توجه شده است. همچنین از نواوری‌های دیگر این پژوهش استفاده از ترموالکتریک به‌جای کندانسور در سیکل ارگانیک رانکین است که هم به افزایش توان تولیدی سیستم کمک می‌کند و هم وظیفه کندانسور را انجام می‌دهد. این سیستم از ترکیب زیر سیستم‌هایی شامل کلکتور خورشیدی صفحه تخت، توربین بادی، سیکل رانکین و استفاده از ترموالکتریک تشکیل شد. برای مدلسازی سیستم و به‌دست آوردن نتایج ترمودینامیکی از نرم‌افزار EES به عنوان یک ابزار مهندسی بهره برده می‌شود.

۲- سیستم مورد بررسی

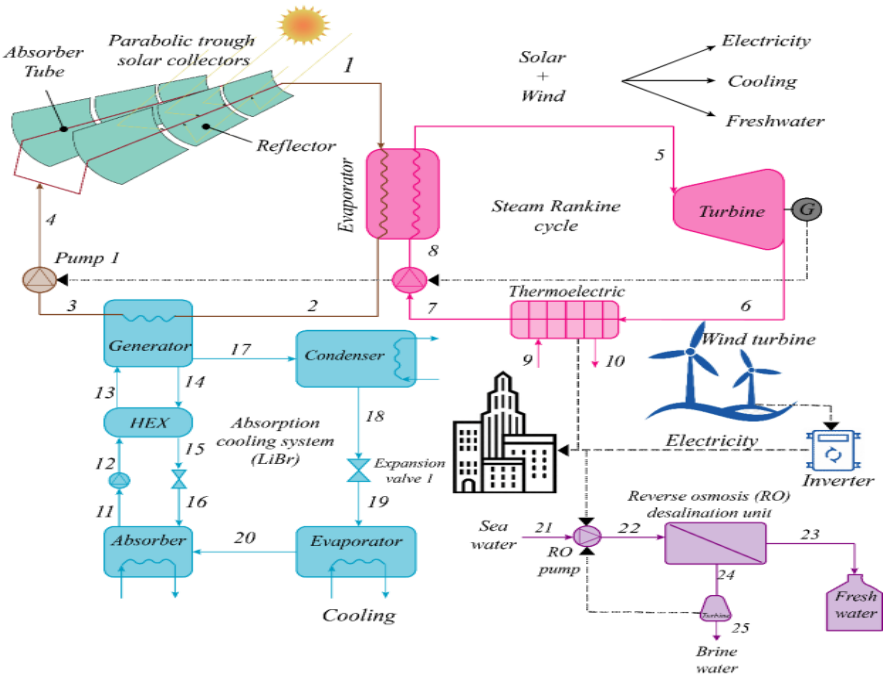
در شکل ۱ شماتیک سیستم تولید چندگانه انرژی مورد بررسی آورده شده است. برای استفاده از حرارت حاصل از سیستم خورشیدی با کلکتور سهموی- خطی یک سیکل بخار طراحی شده که حرارت از طریق اواپراتور به آن منتقل شده و توسط توربین بخار انرژی الکتریکی تولید می‌کند. از حرارت باقی‌مانده بعد از اواپراتور سیکل بخار برای ژنراتور یک سیستم تبرید جذبی برای تولید بار سرمایی استفاده شده است. در این سیستم از اسمز معکوس برای تولید آب شیرین استفاده شده است. برق مورد نیاز آب شیرین‌کن اسمز معکوس از طریق توربین بخار تامین می‌گردد.

اجزای اصلی سیستم انرژی خورشیدی با کلکتور سهموی- خطی، سیکل بخار، سیستم تبرید جذبی، توربین بادی، آب شیرین‌کن اسمز معکوس و یک ژنراتور ترموالکتریک می‌باشد. در سیستم روغن گرم شده (نقطه ۱) ابتدا وارد اواپراتور می‌شود و

11 - Bamisile et . al
12 - Kianfard et . al
13 - Alirahmi & Assareh
14 - Mohammadi et . al

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

سپس حرارت خود را به سیکل بخار منتقل می‌کند. سپس حرارت باقی‌مانده از توربین گازی وارد یک ترموالکتریک شده و این سیستم گرمای دریافتی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. آب شیرین‌کن اسمز معکوس برای تامین آب شیرین فراهم شده که برق مورد نیاز خود را از توربین گاز دریافت می‌کند. همچنین حرارت باقی‌مانده از اواپراتور سیکل بخار وارد ژنراتور سیکل تبرید جذبی شده و حرارت مورد نیاز جهت تولید بار سرمایی را تامین می‌کند.



شکل ۱: سیستم مورد بررسی کار حاضر.

ورودی‌های مورد نیاز برای مدلسازی سیستم، در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: پارامترهای ورودی.

ردیف	داده	مقدار	واحد
۱	T_{sun}	5800	[k]
۲	T_1	320	[c]
۳	G_b	900	[W/m^2]
۴	U_l	3.82	[w/m^2 C]
۵	P_5	1500	[kpa]
۶	P_7	100	[kpa]
۸	η_{pump}	0.9	-
۹	$\eta_{turbine}$	0.85	-
۱۰	pp_{eva}	5	[c]
۱۱	T_{20}	6	[c]
۱۲	T_{14}	90	[c]
۱۳	T_{13}	65	[c]
۱۴	T_{17}	85	[c]
۱۵	Ave_Wind_speed	5.5	[m/s]
۱۶	$Wind_{efficiency}$	0.9	-
۱۷	$Power_{ecoefficiency}$	0.59	-
۱۸	Diameter	34	[m]

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

۳- مدلسازی معادلات حاکم در نرم‌افزار EES

با استفاده از رابطه زیر میزان انرژی مفید تولیده شده در PTCs به‌دست می‌آید:

$$\dot{Q}_u = n_{cp} n_{cs} F_R [S A_a - A_r U_L (T_{fi} - T_0)] \quad (۱)$$

مقدار S از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$S = G_b \eta_r \quad (۲)$$

$$\eta_r = \gamma \tau_C \tau_P \alpha$$

پارامترهای f1 و fr توسط روابط زیر مشخص شده است:

$$F_R = \frac{\dot{m}_c C_{p,c}}{A_r U_L}\left[1 - \exp\left(-\frac{A_r U_L F_1}{\dot{m}_c C_{p,c}}\right)\right] \quad (۳)$$

$$F_1 = \frac{1/U_L}{\frac{1}{U_L} + \frac{D_{o,r}}{h_{fi}} + \left(\frac{D_{o,r}}{2k}\ln\frac{D_{o,r}}{D_{i,r}}\right)} \quad (۴)$$

با استفاده از رابطه زیر مساحت کلکتورهای سهموی-خطی مشخص شده است:

$$A_a = (w - D_{o,r}) L \quad (۵)$$

توان تولید شده توسط توربین بادی با در نظر گرفتن مقادیر سرعت باد میانگین سالانه به‌صورت زیر نوشته می شود:

$$\dot{w}_{wind_Turbine} = 1/2 \eta_{wt} \rho_{air} A_{wt} C_{p,wt} V^3 \quad (۶)$$

جایی که $\dot{w}_{wind_Turbine}$ کار خروجی توربین بادی و η_{wt} بازده توربین بادی، ρ_{air} چگالی هوا و V سرعت باد می‌باشند.
کل کار خالص خروجی سیستم از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{Turbine} + W_{Wind,Turbine} + \dot{W}_{TEG} - \dot{W}_{pump,2} - \dot{W}_{pump,1} \quad (۷)$$

ضریب بازگشت سرمایه را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد [۱۴]:

$$CFR = \frac{ix(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (۸)$$

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.

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

نرخ هزینه هر دستگاه از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۴]:

$$\dot{Z} = \frac{Z_{total} CRF \varnothing}{T} \quad (۹)$$

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، $\emptyset$ ضریب نگهداری و تعمیر است.

هزینه کل سیستم از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_{total} = Z_{Turbine} + Z_{TEG} + Z_{Pump,2} + Z_{Pump,1} + Z_{Evap,1} + Z_{solar} + Z_{RO} + Z_{chiller} + Z_{Wind,Turbine} \quad (۱۰)$$

اسمز معکوس فن آوری نمک‌زدایی برپایه استفاده از غشاهاست. فرآیند آب شیرین کن امکان فیلتراسیون کوچیکترین اجزاء محلول را نیز فراهم می‌سازد. بنابراین از فرآیند اسمز معکوس می‌توان به منظور خالص سازی آب استفاده نمود. با توجه به چگونگی عملکرد آب شیرین کن های اسمز معکوس مقدار دبی جریان آب با استفاده از دبی آب شیرین در نقطه ۳۸ و RR ضریب برگشت‌پذیری، از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۵]، [۱۶]، [۱۷].

$$\dot{m}_{43} = \frac{\dot{m}_{45}}{RR} \quad (۱۱)$$

دبی جرمی نقطه ۳۹ نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{m}_{46} = \dot{m}_{43} - \dot{m}_{45} \quad (۱۲)$$

غلظت نمک در آب‌های خروجی از آب شیرین کن به‌صورت آب شیرین در نقطه ۳۸ و آب رد شده در نقطه ۳۹ بصورت روابط زیر معرفی شده است:

$$X_d = X_f \times (1 - SR) \quad (۱۳)$$

$$X_b = \frac{\dot{m}_{43} \times X_f - \dot{m}_{45} \times X_d}{\dot{m}_{46}} \quad (۱۴)$$

همچنین میانگین غلظت نمک در زیر معرفی شده است:

$$X_{av} = \frac{\dot{m}_{43} \times X_f - \dot{m}_{45} \times X_b}{\dot{m}_{45}} \quad (۱۵)$$

در ادامه رابطه تصحیح دما بصورت زیر آورده شده است:

$$TCF = \exp\left[2700 \times \left(\frac{1}{T_k} + \frac{1}{298}\right)\right] \quad (۱۶)$$

رابطه نفوذپذیری آب در غشا در زیر معرفی شده است:

$$k_w = \frac{6.84 \times 10^{-8} \times (18.6865 - (0.177 \times X_d))}{T_k} \quad (۱۷)$$

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

در اینجا نیز سه رابطه برای فشار متوسط اسمز، بیشترین فشار اسمز در غشا و اختلاف فشار غشا معرفی شده‌اند:

$$P_{av} = 37.92 \times \left(X_f + X_b \right) \quad (۱۸)$$

$$P_{net} = P_{av} - 75.84 \times X_d \quad (۱۹)$$

$$\Delta P = \left(\frac{\dot{m}_{45}}{3600 \times TCF \times FF \times A_e \times n_e \times n_v \times k_w} \right) + P_{net} \quad (۲۰)$$

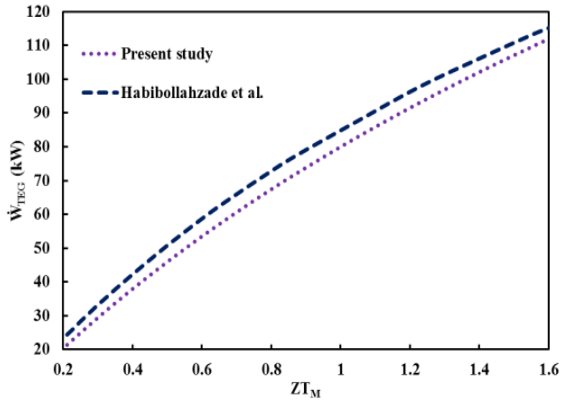
در نهایت رابطه کار مورد نیاز برای پمپ پرفشار بصورت زیر معرفی می‌گردد:

$$\dot{W}_{HP} = \frac{1000 \times \dot{m}_{43} \times \Delta P}{3600 \times \rho_f \times \eta_p} \quad (۲۱)$$

۴- اعتبارسنجی

ترموالکتریک‌ها را می‌توان به دو دسته کلی ترموالکتریک‌های گرمایشی-سرمایشی و ترموالکتریک‌های ژنراتور تقسیم‌بندی کرد. در ترموالکتریک‌های گرمایشی-سرمایشی بنا به اثر پلتیر ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو سر یک سیم نیمه‌هادی باعث ایجاد اختلاف دما در دو سر آن خواهد شد [۱۸] که این اختلاف دما ممکن است برای هدف گرمایش یا سرمایش مورد استفاده قرار گیرد. از طرف دیگر در ترموالکتریک‌های ژنراتور بر اساس اثر سیبک[15]، وجود اختلاف دما در دو سر نیمه‌هادی باعث ایجاد اختلاف پتانسیل در آن می‌شود [۱۹].

به‌منظور اعتبارسنجی نتایج و اعتبار بخشیدن به کار انجام شده، برای اعتبارسنجی پژوهش حاضر زیرسیستم ترموالکتریک معتبر خواهد شد، به همین دلیل نتیجه کار حا ضر با نتیجه کار آقای حبیب‌الله زاده و همکاران [۲۰] مقایسه و اعتبار سنجی شد. در شکل ۲ نتایج مورد نظر مورد ارزیابی قرار گرفته است.



شکل ۲- اعتبارسنجی کار حاضر با کار حبیب‌الله‌زاده و همکاران [۲۰]

۵- نتایج و بحث

میزان تابش خورشید یکی از عواملی است در عملکرد سیستم تاثیر بسیار قابل توجه ای دارد. در شکل ۳ (الف و ب) تاثیر تابش خورشیدی بر روی هزینه‌های جاری، کار خروجی، بار خنک کنندگی، تولید آب شیرین و بازده اگزرژی را نشان داد. به‌طورکلی میزان تابش خورشید باعث افزایش راندمان و افزایش میزان کار خروجی می‌شود. البته در اینجا به‌دلیل وجود توربین

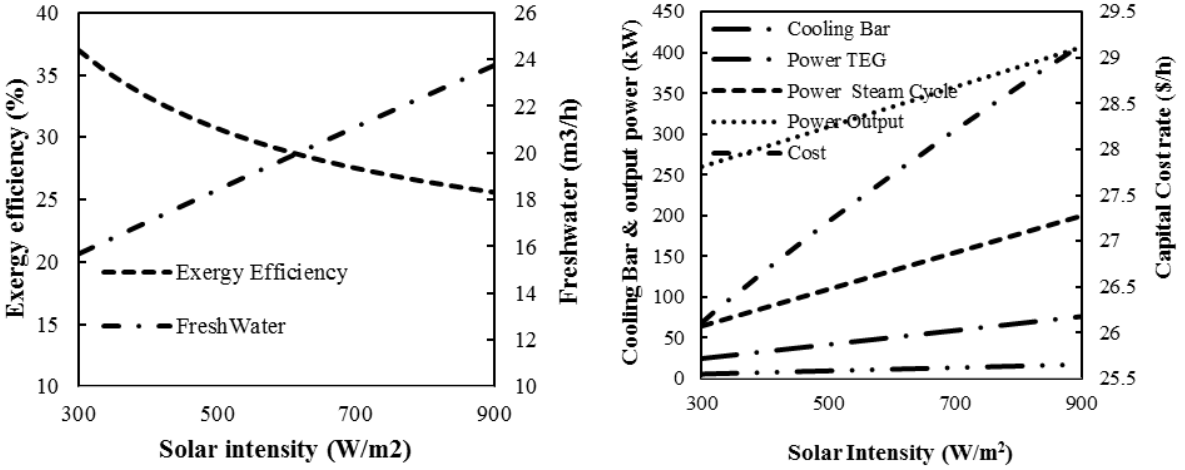
[15] Seebeck

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

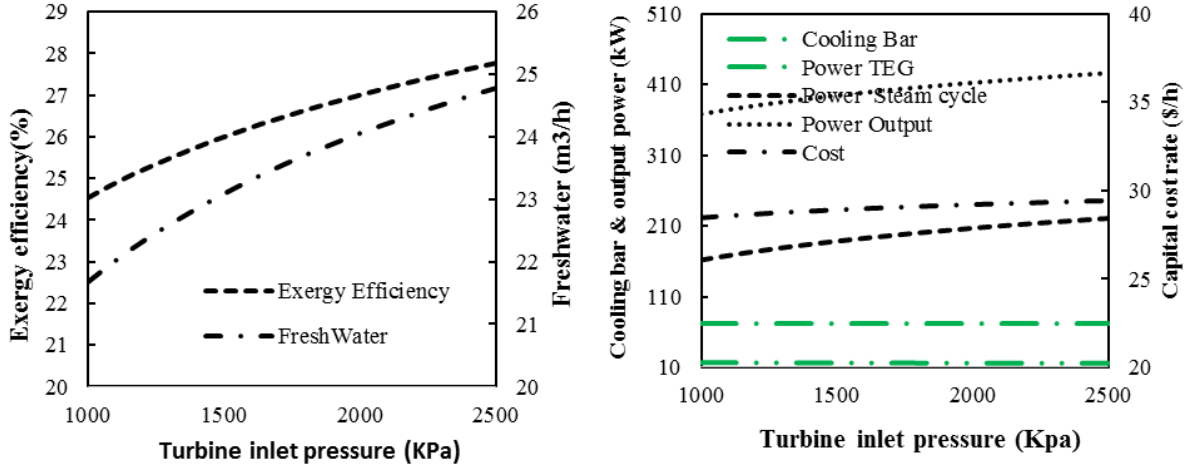
بادی و تاثیر بیشتر آن روی سیستم طراحی شده و وجود برگشت‌ناپذیری در سیستم خورشیدی با کلکتور سهموی- خطی رخ داده و باعث کاهش اگزرژی کل خروجی می‌شود. بازده کل اگزرژی از مقدار ۳۶/۹۷ به ۲۵/۵۹ درصد کاهش می‌یابد که این به میزان ۱۰ درصد کاهش را نشان می‌دهد. با افزایش تابش خورشیدی دبی سیال ورودی به سیستم خورشیدی و توربین بخار افزایش یافته و در نتیجه با افزایش دبی کار خروجی سیکل بخار نیز افزایش می‌یابد، که باعث افزایش کار خروجی کل خواهد شد. کار کل خروجی در حدود ۱۴۷ کیلووات و به مقدار ۵۶ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش کار کل خروجی هزینه تامین تجهیزات برای تامین آن نیز افزایش می یابد.

در شکل ۳ الف نشان داده شده است، که هزینه‌های سیستم با افزایش شدت تابش خورشیدی افزایش یافت. همچنین با توجه به اینکه برق تولید شده در سیستم افزایش می‌یابد دبی تولیدی آب شیرین نیز افزایش یافت. به‌دلیل افزایش دبی میزان بار خنک‌کنندگی نیز در سیکل تبرید جذبی تک اثره افزایش می‌یابد.



ب الف

شکل ۳: تاثیر تابش خورشیدی بر روی هزینه های جاری ، کار خروجی و بار خنک کنندگی ، تولید آب شیرین و اگزرژی کل خروجی.



ب الف

شکل ۴: تاثیر فشار ورودی به توربین بر روی هزینه های جاری ، کار خروجی و بار خنک کنندگی ، تولید آب شیرین و اگزرژی کل خروجی.

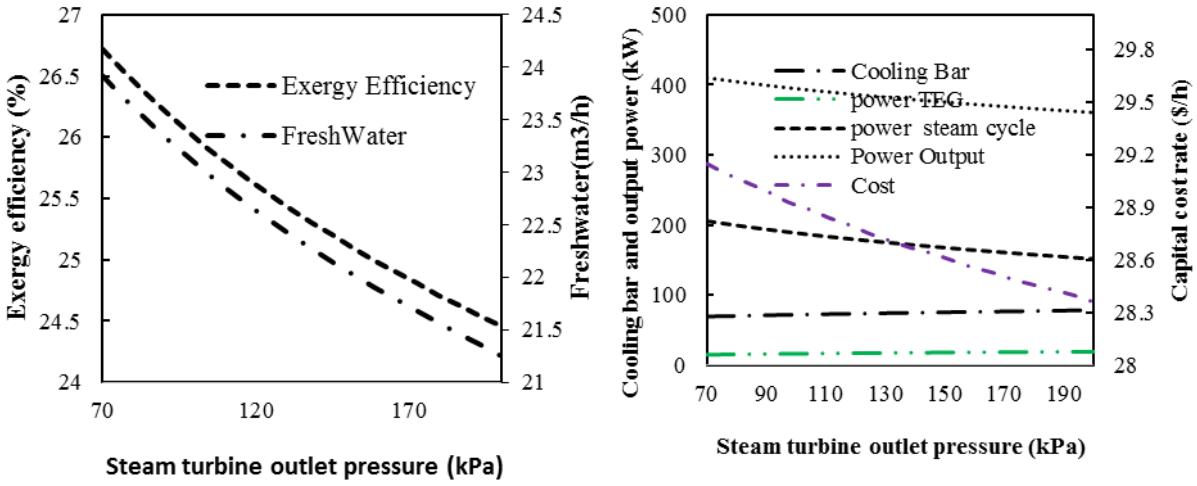
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

شکل ۴ (الف و ب) تاثیر فشار ورودی به توربین بر روی هزینه‌های جاری، کار خروجی و بار خنک کنندگی، تولید آب شیرین و اگزرژی کل خروجی را نمایش می‌دهد. همانطور که در شکل ۴ مشخص است با افزایش فشار توربین از ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰، میزان آنتالپی سیال ورودی به توربین افزایش می‌یابد و در نتیجه کار توربین و سیکل بخار و در نتیجه کار کل خروجی افزایش یافت. مقدار کار کل خروجی از ۳۶۸/۵ به ۴۲۶/۳ افزایش یافته که در حدود ۱۴ درصد است.

با افزایش کار خروجی هزینه های سیستم، آب شیرین تولیدی و اگزرژی کل خروجی نیز افزایش یافت. میزان افزایش هزینه‌های سیستم از ۲۸/۵ به ۲۹/۵ افزایش یافت، که مقدار قابل توجهی نمی‌باشد.

یکی دیگر از پارامترهای مهم سیستم فشار خروجی از توربین بخار است، که در شکل ۵ (الف و ب) تاثیر آن بر روی هزینه‌های جاری، کار خروجی و بار خنک کنندگی، تولید آب شیرین و اگزرژی کل خروجی مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش فشار خروجی از توربین میزان کار تولید شده از سیکل بخارکاهش یافت و باعث افت بازده اگزرژی شد. البته با افزایش فشار خروجی، میزان آنتالپی سیال ورودی به ترموالکتریک بیشتر می‌شود و باعث افزایش کار تولید شده توسط ترموالکتریک می‌شود. کار ترموالکتریک در حدود ۹۱ درصد افزایش می‌یابد که بسیار قابل توجه است. از آنجایی که کاهش کار خروجی از توربین بسیار تاثیر بیشتری روی کار خروجی کل و اگزرژی سیستم دارد، در نتیجه میزان کار خروجی کل و اگزرژی کل کاهش می‌یابد. با کاهش کار کل خروجی میزان هزینه‌های سیستم نیز از ۲۹/۲ به ۲۸/۴ و مقدار آب شیرین تولیدی از ۲۳/۹ به ۲۱/۳ کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش فشار خروجی توربین و افزایش آنتالپی میزان حرارت بیشتری به ژنراتور سیکل تبرید جذبی منتقل شده و بار خنک کنندگی از ۶۹/۴ به ۷۸/۴ افزایش می‌یابد.



ب الف

شکل ۵: تاثیر فشار خروجی از توربین بر روی هزینه های جاری ، کار خروجی و بار خنک کنندگی ، تولید آب شیرین و اگزرژی کل خروجی

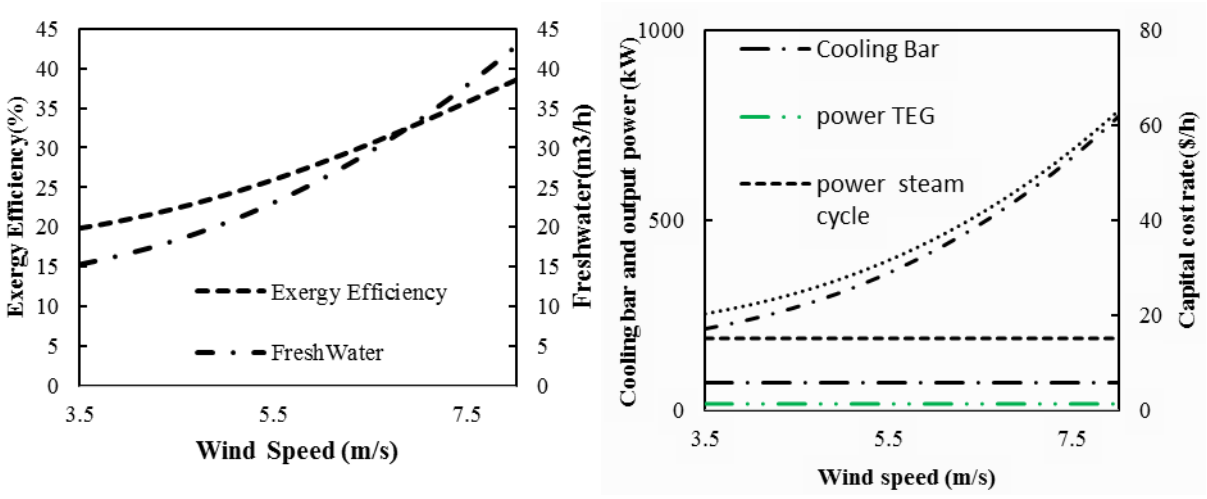
شکل ۶ (الف و ب) تاثیر سرعت باد میانگین بر روی هزینه های جاری، کار خروجی و بار خنک کنندگی، تولید آب شیرین و اگزرژی کل خروجی را نمایش می‌دهد. با افزایش سرعت باد میزان کار خروجی از توربین بادی افزایش یافته و باعث افزایش کار کل خروجی و اگزرژی کل سیستم خواهد شد. در نتیجه میزان آب شیرین تولیدی و هزینه‌های سیستم نیز افرایش می‌یابد. میزان کل کار خروجی در سرعت میانگین ۳/۵ متر بر ثانیه برابر ۲۵۴ کیلو وات و در سرعت ۸ متر بر ثانیه برابر ۷۸۹ کیلووات است.

در شکل ۷ به بررسی تاثیر پارامتر دمای محیط بر میزان تلفات اگزرژی اجزای سیستم پرداخته شد. همانطور که در شکل ۷ مشخص است تلفات اگزرژی سیستم خورشیدی از بقیه اجزا بیشتر است و با افزایش میزان تابش خورشیدی از ۳۹۸ به

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

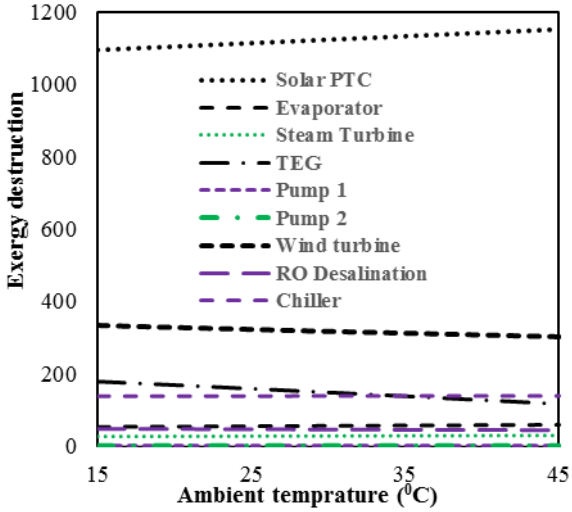
[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

۱۱۷۹ افزایش می‌یابد. میزان تلفات اگزرژی با افزایش تابش خورشیدی در حدود ۱۹۶ درصد افزایش داشته است. همچنین با افزایش تابش خورشیدی تلفات اگزرژی اجزا سیکل بخار شامل اواپراتور، توربین بخار و ترموالکتریک و پمپ ۲ افزایش یافته و باعث افزایش میزان تلفات اگزرژی سیکل بخار می‌شود. نتایج نشان داد، تلفات اگزرژی برای سیکل تبرید جذبی و آب شیرین کن اسمز معکوس هم افزایش یافته است.



ب الف

شکل ۶: تاثیر سرعت باد میانگین بر روی هزینه های جاری، کار خروجی و بار خنک کنندگی ، تولید آب شیرین و اگزرژی کل خروجی

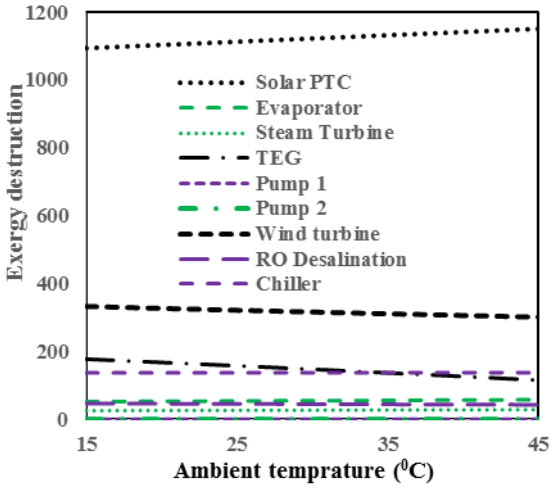


شکل ۷: تاثیر پارامتر مهم تابش خورشیدی بر میزان تلفات اگزرژی اجزا سیستم.

در شکل ۸ به بررسی تاثیر پارامتر مهم دمای محیط برای میزان تلفات اگزرژی اجزا سیستم پرداخته شد. همانطور که از شکل ۸ مشخص است با افزایش دمای محیط تلفات اگزرژی سیستم خورشیدی، اواپراتور، توربین بخار، پمپ ۱ و ۲ و سیکل تبرید جذبی تک اثره افزایش می‌یابد که بیشترین درصد افزایش برای اواپراتور و مقدار ۱۱ درصد به‌دست آمده است. مقدار تلفات اگزرژی اواپراتور از ۵۲ به ۵۸ افزایش یافته است که این به‌دلیل تاثیر دمای محیط بر روی اواپراتور بوده است. همچنین با افزایش دمای محیط تلفات اگزرژی توربین بادی، آب شیرین‌کن اسمز معکوس و ترموالکتریک کاهش یافته است. بیشترین درصد کاهش برای ترموالکتریک و مقدار ۵۴ درصد به‌دست آمده است. مقدار تلفات اگزرژی ترموالکتریک از ۱۷۷/۵ به ۱۱۵/۵ کاهش یافته

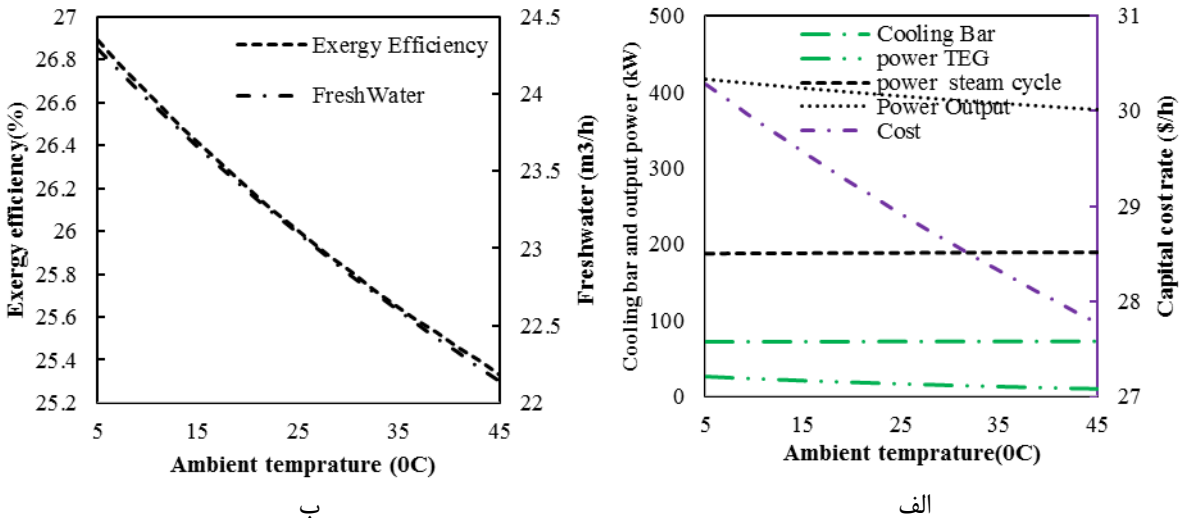
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

است که این به‌دلیل تاثیر دمای محیط بر روی ترموالکتریک به جهت نقاط ۹ و ۱۰ نشان داده شده در شماتیک سیکل طراحی شده می‌باشد.



شکل ۸- بررسی تاثیر دمای محیط تلفات اگزرژی بر میزان تلفات اگزرژی اجزا سیستم.

نمودار ۹ (الف و ب) تاثیر دمای محیط بر روی هزینه‌های جاری، کار خروجی و بار خنک کنندگی، تولید آب شیرین و اگزرژی کل خروجی را نشان داده است. با افزایش دمای محیط چگالی هوا کاهش می‌یابد. با کاهش چگالی هوا میزان کار خروجی توربین بادی کاهش یافته که در نتیجه باعث کاهش میزان کار کل خروجی از ۴۱۷ به ۳۷۷ کیلووات خواهد شد. با کاهش کار خروجی کل میزان آب شیرین تولیدی و اگزرژی کل نیز کاهش یافته است. ولی از طرفی با افزایش دمای محیط و تاثیر مستقیم آن روی سیکل بخار و سیکل تبرید جذبی کار سیکل بخار و بار خنک کنندگی سیکل تبرید افزایش می‌یابد. البته کاهش کار خروجی توربین بادی تاثیر بیشتری روی کل کار خروجی گذاشته و نهایتا آن را نزولی می‌کند. البته تاثیر افزایش دمای محیط برای روی ژنراتور ترموالکتریک در نقاط ۹ و۱۰ شماتیک طراحی شده باعث کاهش کار ترموالکتریک از ۲۶ به ۹/۸ شده است. این کاهش در کار ترموالکتریک نیز بر روی کاهش کل کار خروجی تاثیر داشته است.



ب الف

نمودار ۹- تاثیر دمای محیط بر روی هزینه، کار خروجی و بار خنک کنندگی، تولید آب شیرین و اگزرژی کل خروجی

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

۵-۱- آنالیز حساسیت

در جدول ۲ آنالیز حساسیت تاثیر پارامترهای بررسی شده بر روی خروجی‌های سیستم بررسی شده بر مبنای انرژی خورشیدی و انرژی باد، است و درصد رشد و یا کاهش نمودارها محاسبه شد.

جدول ۲: آنالیز حساسیت.

پارامتر / خروجی	کار کل KW	کار ترموالکتریک KW	اگزرژی (٪)	نرخ هزینه $/h	آب شیرین kg/h
تابش خورشیدی	Max: 406.8 Min: 260 ۵۶,۴۶ درصد تغییر:	Max: 17.35 Min: 5.604 درصد تغییر: ۲۰۹,۶۰	Max: 36.97 Min: 25.59 درصد تغییر: ۴۴,۶۴	Max: 29.14 Min: 26.11 درصد تغییر: ۱۱,۶	Max: 23.75 Min: 15.69 درصد تغییر: ۵۱,۳۷
سرعت باد	Max: 789.1 Min: 253.6 درصد تغییر: ۲۱۱,۱۵	Max: 16.37 Min: 16.37 درصد تغییر: ۰	Max: 38.56 Min: 19.88 درصد تغییر: ۹۳,۹۶	Max: 61.9 Min: 17.13 درصد تغییر: ۲۶۱,۳۵	Max: 42.82 Min: 15.33 درصد تغییر: ۱۷۹,۳۲
دمای محیط	Max: 417 Min: 377 درصد تغییر: ۱۰,۶۱	Max: 25.96 Min: 9.834 درصد تغییر: ۱۶۳,۹۸	Max: 26.89 Min: 25.33 درصد تغییر: ۶,۱۵	Max: 30.28 Min: 27.77 درصد تغییر: ۹,۰۳	Max: 24.29 Min: 22.14 درصد تغییر: ۹,۷۱
فشار ورودی به توربین	Max: 426.3 Min: 368.5 درصد تغییر: ۱۵,۶۸	Max: 16.82 Min: 15.82 درصد تغییر: ۶,۳۲	Max: 27.77 Min: 24.54 درصد تغییر: ۱۳,۱۶	Max: 29.44 Min: 28.47 درصد تغییر: ۳,۴۰	Max: 24.78 Min: 21.68 درصد تغییر: ۱۴,۲۹
فشار خروجی از توربین	Max: 410.1 Min: 360.5 درصد تغییر: ۱۳,۷۵	Max: 19.23 Min: 14.86 درصد تغییر: ۲۹,۴۰	Max: 26.72 Min: 24.46 درصد تغییر: ۹,۲۳	Max: 29.15 Min: 28.36 درصد تغییر: ۲,۷۸	Max: 23.92 Min: 21.25 درصد تغییر: ۱۲,۵۶

از جدول ۲ نتیجه می‌شود، سرعت باد بیشترین تغییر را بر روی کار کل و نرخ هزینه داشته است که باعث افزایش بالای راندمان و کار سیستم شده است که به‌عنوان تاثیرگذارترین پارامتر در این بررسی‌ها معرفی می‌شود، ولی طبق نتایج تغییرات سرعت باد بر روی کار ترموالکتریک هیچ تاثیر نگذاشته است. بعد از سرعت باد بیشترین تاثیر بر روی خروجی‌های سیستم را، به ترتیب ، شدت تابش خورشیدی، فشار ورودی به توربین و داشته است. همچنین دمای محیط باعث کاهش بازده اگزرژی و آب شیرین تولیدی سیستم شده است.

۶- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، از سیستم خورشیدی با کلکتور سهموی- خطی و انرژی بادی به عنوان منبع تامین انرژی استفاده شده است. سیستم تولید چند گانه انرژی جهت تامین نیازهای موجود طراحی شده است. در نهایت نتایج نشان داد که با توجه به تاثیر تابش خورشیدی، انرژی بادی و میزان کار خروجی و تولید آب شیرین برای سیستم تولید چندگانه معرفی شده برای کاربرد های مورد نیاز مناسب می باشند.

سایر نتایج اصلی تحقیق عبارتند از:

- ✓ با افزایش تابش خورشیدی مقدار آب شرین تولیدی برای سیستم از مقدار ۱۵/۶۹ به ۲۳/۷۵ افزایش یافت.
- ✓ با افزایش فشار ورودی به توربین بخار مقدار بازده اگزرژی کلی برای سیستم از ۲۴/۵۴ تا ۲۷/۷۷ درصد افزایش یافت.
- ✓ با افزایش دمای محیط هزینه‌های کل برای سیستم از ۳۰/۲۸ به ۲۷/۷۷ کاهش یافت.
- ✓ طبق نتایج انرژی خورشیدی با دریافت کننده مرکزی بیشترین میزان تلفات اگزرژی دارد.

نتایج تلفات اگزرژی نشان داد سیستم خورشیدی با ۶۰ درصد و توربین بادی با ۱۷ درصد بیشترین میزان تلفات اگزرژی را در اجزا سیستم دارا می باشند.

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

فهرست علائم

دمای محیط (°C)	T_0
فشار محیط (P)	P_0
بازده پمپ	η_{pump}
بازده توربین	η_{turbin}
پینچ پوینت اواپراتور (°C)	pp_{evva}
مساحت کلکتور(m^2)	A_P
شدت تابش خورشیدی (W/m^2)	Gb
نرخ هزینه ($/hr)	$\dot{Z}$
دمای خورشید	T_{sun}
راندمان بصری	τ_l
ضریب افت کلی کلکتور	U_l
عامل دفع حرارت	F_R
عامل راندمان کلکتور	F_1
گرمای ویژه در فشار ثابت	C_p
عرض کلکتور، m	w
دمای خورشید، °C; K	T_{sun}
نسبت بهبودی	RR
کیفیت	x
عرض،m	width
طول،m	Length
قطر،m	D
نرخ دبی جرمی، kg/h	m_{Mass}
آب شیرین کن اسمز معکوس	RO
سرعت متوسط باد	Ave_Wind_speed
ژنراتور	Gen
اتلاف اگزرژی	ED
کندانسور	Cond
شرایط ورودی	In
شرایط خروجی	out
خورشید	Solar

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

مراجع

[1] KumarGupta, D., Kumar, R., Kumar, N., 2020, Performance analysis of PTC field based ejector organic Rankine cycle integrated with a triple pressure level vapor absorption system (EORTPAS) Engineering Science and Technology, an International Journal Volume 23, Issue 1, Pages 82-91.

[2] DubeKerme, E., JamelOrfi, A., Fung, S., Salilih, M., Ud-DinKhan, S., Alshehri, H., MohammedAlrasheed, A., 2020, Energetic and exergetic performance analysis of a solar driven power, desalination and cooling poly-generation system Energy Volume 196, 117150.

[3] Alirahmi, S. M., Rahmani, S., PouriaAhmadi, D., Wongwises, S., 2020, Multi-objective design optimization of a multi-generation energy system based on geothermal and solar energy Energy Conversion and Management Volume 205, 112426.

[4] Alotaibi, S., Alotaibi, F., M.Ibrahim, O., 2020, Solar-assisted steam power plant retrofitted with regenerative system using Parabolic Trough Solar Collectors Energy Reports Volume 6, Pages 124-133.

[5] Ehyaei, M. A., Ahmadi, A., El Haj Assad, M., 2019, TariqSalameh Optimization of parabolic through collector (PTC) with multi objective swarm optimization (MOPSO) and energy, exergy and economic analyses Journal of Cleaner Production Volume 234, Pages 285-296.

[6] Toghyani, S., Afshari, E., Baniasadi, E., Shadloo, M. S., 2019, Energy and exergy analyses of a nanofluid based solar cooling and hydrogen production combined system Renewable Energy Volume 141, October, Pages 1013-1025.

[7] AlZahrani, A., Dincer, I., 2018, Energy and exergy analyses of a parabolic trough solar power plant using carbon dioxide power cycle Energy Conversion and Management Volume 158, Pages 476-488.

[8] Yilmaz, F., 2019, Energy, exergy and economic analyses of a novel hybrid ocean thermal energy conversion system for clean power production Energy Conversion and Management Volume 196, Pages 557-566.

[9] Ishaq, H., Dincer, I., 2020, Evaluation of a wind energy based system for co-generation of hydrogen and methanol production International Journal of Hydrogen Energy Volume 45, Issue 32, Pages 15869-15877.

[10] Bamisile, O., Huang, Q., Li, J., Dagbasi, M., Desire Kemena, A., Abid, M., Hu, W., 2020, Modelling and performance analysis of an innovative CPVT, wind and biogas integrated comprehensive energy system: An energy and exergy approach Energy Conversion and Management Volume 209, 112611.

[11] 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 dual fluid ORC Energy Conversion and Management Volume 177, Pages 339-349.

[12] Alirahmi, S. M., Assareh, E., 2020, Energy, exergy, and exergoeconomics (3E) analysis and multi-objective optimization of a multi-generation energy system for day and night time power generation - Case study: Dezful city, International Journal of Hydrogen Energy.

[13] Mohammadi, K., Efati Khaledi, M. S., Saghafifar, M., Powell, K., 2020, Hybrid systems based on gas turbine combined cycle for trigeneration of power, cooling, and freshwater: A comparative techno-economic assessment Sustainable Energy Technologies and Assessments Volume 37, 100632.

[14] Razmi, A. R., Janbaz M., (2020), Exergoeconomic assessment with reliability consideration of a green cogeneration system based on compressed air energy storage (CAES), Energy Convers. Manag, vol. 204, no. October, p. 112320, Jan. 2020.

[15] Rashidi, H., Khorshidi J., 2018, Exergoeconomic analysis and optimization of a solar based multigeneration system using multiobjective differential evolution algorithm, J. Clean. Prod., vol. 170, pp. 978–990.

[16] Nemati A., Sadeghi M., Yari M., (2017), Exergoeconomic analysis and multi-objective optimization of a marine engine waste heat driven RO desalination system integrated with an organic Rankine cycle using zeotropic working fluid," Desalination, vol. 422, pp. 113–123, 2017.

[17] Naseri A., Bidi M., Ahmadi M. H., Saidur R., 2017, Exergy analysis of a hydrogen and water production process by a solar-driven transcritical CO2 power cycle with Stirling engine, J. Clean. Prod., vol. 158, pp. 165–181.

[18] Peltier, J., 1834, New experiments on caloricity of electric currents, Ann. Chem. Phys., 371-386.

[19] Seebeck T., 1821, About the magnetism of the galvanic chain, Abh. Akad. Wiss., Berlin, Germany.

[20] 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.

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]

چکیده انگلیسی:

Exergy and Energy Analysis of a Multiple Energy Production System Based on Solar and Wind Energy to Produce Clean Electricity and Fresh Water

Masoud Golshanzadeh[1], Ehsanolah Assaerh[2*]

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

Received: December 2020, Accepted: March 2021

Abstract

In the present study, an energy production system using two types of renewable solar and wind energy with climatic conditions and close to areas with high potential for the system under study, with suitable conditions in terms of wind speed and solar radiation as energy sources, We act. To use the heat from the solar system with a parabolic-linear collector, a steam cycle is designed to which heat is transferred through an evaporator and generated electrical energy by a steam turbine. The heat remaining after the evaporator was used to generate a single-effect absorption refrigeration system to generate a cooling load. The main components of the system consist of an organic Rankine cycle, steam Rankine cycle, thermoelectric, absorption refrigeration system, reverse osmosis, wind turbine and a parabolic-linear solar collector. EES software has been used as an engineering tool to model the system and obtain thermodynamic results. The results showed that due to the increase in solar radiation intensity and wind energy on the total exergy, the freshwater production output of the multiple production system is effective and increases the system output. According to the results, solar energy with the central receiver has the highest amount of exergy destruction. Also, the results of exergy degradation showed that the solar system with 60% and wind turbine with 17% have the highest amount of exergy degradation in the system components.

Key words: solar system, parabolic trough collector, steam cycle, absorption refrigeration cycle, desalination cycle, desalination, wind turbine.
*corresponding author: assareh@iaud.ac.ir

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.4.2.5]