نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۹، شماره ۳، پاییز۱۴۰۱، ص: ۲۳- ۴۸

J. Energy Conversion
Volume: 9, Issue: 3, 2022: 23-48

DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7

# ارزیابی ترمودینامیکی و تحلیل منطقه‌ای یک سیستم تولید همزمان جدید بر اساس ترکیبی از آب شیرین کن چند اثره و ذخیره ساز انرژی هوای فشرده

**مجید جعفری[۱]، احسان‌اله عصاره[۲،*]**

۱- 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: ۱۴۰۰/۱۲/۱۹، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۱

**چکیده**

در این پژوهش به ارزیابی ترمودینامیکی و تحلیل منطقه‌ای یک سیستم تولید همزمان جدید بر اساس ترکیبی از آب شیرین کن چند اثره (MED-TVC) و ذخیره ساز انرژی هوای فشرده پرداخته شد. سیستم مورد بررسی متشکل از زیرسیستم‌های هلیوستات، توربین گازی، آب شیرین کن چند اثره و سیستم ذخیره‌ساز انرژی با هوای فشرده (CAES) 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 مطالعه به بررسی ۸ سناریوی مختلف که مربوط به انتخاب بهترین مقدار برای زمان شارژ، زمان دشارژ، تعداد ساعات آفتابی و تعداد افکت‌های آب شیرین کن مختلف بود، پرداخته شد و در نهایت بهترین سناریو برای مطالعه انتخاب شد که در سناریوی انتخابی، بهترین عملکرد سیستم، یعنی مقدار بازده اگزرژی رفت و برگشت (ERTE)، بازده رفت و برگشت (RTE)، میزان توان تولیدی سیستم و نرخ آب شیرین تولیدی سیستم در بیشترین نرخ خود بودند. طبق بررسی‌های به عمل آمده از پارامترهای تاثیرگذار بر روی خروجی‌های سیستم می‌توان از تعداد هلیوستات، بازده توربین و بازده کمپرسور نام برد. همچنین آنالیز اگزرژی سیستم نشان داد که بیشترین تخریب اگزرژی به ترتیب مربوط به واحد CAES و واحد خورشیدی است.

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

**کلمات کلیدی:** انرژی خورشیدی، سیستم تولید چندگانه انرژی، ذخیره‌ساز انرژی با هوای فشرده، بازده اگزرژی، نرخ هزینه.

## ۱- مقدمه

در حال حاضر بحث انرژی تیتر اول موضوعات مهم جهان است و نیروی اصلی در جهان و زندگی را انرژی تامین می نماید. پس استفاده صحیح از انرژی‌های موجود و حفظ انرژی های فسیلی برای نسل‌های آینده و استفاده از انرژی‌های نو جهت کمک به محیط زیست و جلوگیری از آلودگی آن از وظایف اصلی نسل حاضر است [۱].

منابع فسیلی به ویژه بهره برداری و تولید آن‌ها، در نیمه اول قرن گذشته با پیشرفت تکنولوژی، بر روی تمام جنبه‌های زندگی بشر مانند تکنولوژی‌های علوم و فناوری، منابع مواد اولیه و انرژی، اقتصاد، روابط بین المللی، رفاه فردی و اجتماعی، ...

**نحوه استناد به این مقاله:** مجید جعفری، احسان‌اله عصاره. ارزیابی ترمودینامیکی و تحلیل منطقه‌ای یک سیستم تولید همزمان جدید بر اساس ترکیبی از آب شیرین کن چند اثره و ذخیره ساز انرژی هوای فشرده. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۱; ۹ (۳) : ۲۳-۴۸.
**DOR:** 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

سلامت و محیط زیست اثر گذاشتند. صنعت بیشتر متکی بر منافع اقتصادی کوتاه مدت بوده است، منابع طبیعی ماده و انرژی را بسیار دست کم گرفت و با تکیه بر منابع ارزان و در دسترس فسیلی، هم خود را صرف اکتشافات زمین شناختی، استخراج، پالایش و سپس فراورش و تولید انواع سوخت و محصولات پتروشیمیایی کرد و اینگونه ضربه بزرگی را به محیط زیست وارد کرده است [۲].

عصاره و همکاران در سال 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- ایران کار کردند. این سیستم از عصاره و همکاران در سال 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- ایران کار کردند. این سیستم از زیرسیستم های کلکتور خورشیدی، سیکل ارگانیک رانکین و توربین بادی تشکیل شده بود. در این سیستم توسط توربین سیکل ارگانیک رانکین توان تولید می شود و توان تولیدی توسط ژنراتور تبدیل به انرژی الکتریکی می شود و به شبکه سراسری توزیع برق انتقال داده می شود. این سیستم می‌تواند در بهترین و بهینه‌ترین حالت خود ۴۴۸ کیلووات توان تولید کند. همچنین بازده اگزرژی سیستم ۱۳،۸۸ درصد است. نتایج نشان داد که استفاده از ترموالکتریک در سیکل ارگانیک رانکین باعث بهبود توان تولیدی سیستم می شود [۳]. عصاره و همکاران[1] در سال ۲۰۲۱، بر روی شبیه‌سازی و بهینه‌سازی یک سیستم تولید چندگانه انرژی بر مبنای انرژی خورشیدی و استفاده از الکترولایزر غشای تبادل پروتون[2] و سلول سوختی کار کردند. این سیستم در مقایسه با سیستم‌های متداول تولید برق، سیستم‌های تولید همزمان از بازده انرژی بالاتر، تولید آلاینده زیست محیطی کم‌تر و قابلیت اطمینان بالاتری برخوردار هستند. از ترکیب الکترولیزر PEM و سلول سوختی به منظور تأمین گرما و برق پایدار استفاده شد. در این سیستم نیروی الکتریکی تولید شده در سیکل توسط الکترولایزر PEM به هیدروژن تبدیل می‌شود. نتایج بهینه‌سازی سیستم نشان داد که به ترتیب راندمان انرژی و بازده اگزرژی سیستم به ترتیب ۲۲/۳۲ درصد و ۸/۶۱ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که نرخ هزینه سیستم ۶/۶۵ درصد کاهش یافته است [۴]. عصاره و همکاران در سال 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. این سیستم متشکل از زیرسیستم‌هایی شامل یک چاه زمین گرمایی، یک چیلر جذبی، کلکتور خورشیدی سهموی (PTCs)، سیکل رانکین بخار و واحد نمک‌زدایی اسمز معکوس بود. در این سیستم به‌جای کندانسور، از ژنراتورهای ترموالکتریک برای افزایش برق تولید شده توسط سیکل رانکین بخار استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از ترموالکتریک به‌جای کندانسور، منجر به کاهش نرخ کل هزینه و افزایش کارایی اگزرژی سیستم شد. دو تابع هدف این پژوهش نرخ هزینه و بازده اگزرژی عنوان شد. برای تعیین مقادیر بهینه توابع هدف، از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه ژنتیک استفاده شد. نتایج نشان داد نرخ هزینه نهایی بعد از بهینه-سازی ۱۰،۴۱ دلار بر گیگاژول و بازده اگزرژی ۲۰،۵۲ درصد است [۵]. عصاره و همکاران در سال ۲۰۲۱، بر روی ارزیابی ترمودینامیکی یک سیستم تولید همزمان خورشیدی با چرخه‌های سیکل برایتون CSP و سیکل رانکین برای تولید برق و هیدروژن پاک کردند. سیکل رانکین برای تامین نیاز الکتریکی یک الکترولایزر برای تولید هیدروژن با استفاده از گرمای باقیمانده از توربین گازی استفاده شد. این سیستم شامل زیرسیستم های هلیوستات، سیکل ارگانیک رانکین، سیکل بخار، سیکل برایتون و الکترولایزر PEM بود. شش متغیر طراحی تاثیر گذار برای بهینه سازی سیستم انتخاب شد و با استفاده از الگوریتم NSGA-II سیستم بهینه‌سازی شد. در نهایت بازده اگزرژی و نرخ هزینه، به ترتیب ۲۲،۲ درصد و ۲۷۲،۶ دلار بر ساعت گزارش شد [۶]. علی رحمی و عصاره در سال ۲۰۲۰، به تحلیل اگزرژی- اقتصادی و بهینه سازی چند هدفه یک سیستم انرژی چندگانه شامل تولید هیدروژن، آب شیرین، سرمایش، گرمایش و آب گرم و همچنین تولید انرژی برق برای

[1] Assareh et al
[2] Proton Exchange Membrane



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

شهرستان دزفول پرداختند. این سیستم شامل زیرسیستم های سیکل ارگانیک رانکین، سیکل بخار، الکترولایزر PEM، سیکل تبرید جذبی، زمین گرمایی ونمک زدای اسمز معکوس بود. دو تابع هدف این پژوهش اگزرژی و هزینه کل معرفی شد که بهینه سازی آن با الگوریتم ژنتیک انجام شد. نتایج بهینه سازی نشان داد که بهترین مقدار برای بازده اگزرژی ۳۱,۶۶ درصد و نرخ کل واحد ۲۱,۹ دلار برگیگاژول است. همچنین در این پژوهش تاثیر مبردهای مختلف در سیکل ارگانیک رانکین بررسی شد که بهترین بازده اگزرژی مربوط به مبرد R123 و بهترین بازده انرژی برای مبرد R123 گزارش شد [۷]. دژدار و عصاره در سال ۱۳۹۹، بر روی مدلسازی، بهینه‌سازی و بررسی اگزرژواکونومیک یک سیستم تولید چندگانه انرژی برای تولید برق بر مبنای انرژی خورشیدی، باد و انرژی حرارتی اقیانوسی در مناطق ساحلی کار کردند. سیستم پیشنهادی بر اساس کل مصرف روزانه برق مورد نیاز یک مجتمع خدمات رفاهی ساحلی در شهر با توجه به وجود پتانسیل تابش خورشیدی و انرژی بادی و وجود انرژی حرارتی اقیانوسی، مورد مطالعه قرار گرفت. این سیستم متشکل از زیرسیستم‌های سیکل ارگانیک رانکین، ترموالکتریک، مبدل حرارتی، توربین بادی و یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت بود. پس از بهینه‌سازی سیستم در نهایت بهینه‌ترین مقدار بازده اگزرژی ۳۳,۳۹ درصد و نرخ هزینه (\$/h) ۹۸,۸۱ گزارش شد [۸]. گلشن‌زاده و عصاره در سال ۱۳۹۹، بر روی تحلیل اگزرژی، انرژی، مدلسازی و بررسی پارامترهای اقتصادی و زیست محیطی یک سیستم تولید چندگانه کار کردند که محصولات این سیستم تولید برق پاک و آب شیرین بود. در این پژوهش، از انرژی بادی و خورشیدی به عنوان منبع تامین انرژی استفاده شد. 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 موثر بوده و باعث افزایش خروجی‌های سیستم می‌گردد. طبق نتایج انرژی خورشیدی با دریافت کننده مرکزی بیشترین میزان تخریب اگزرژی دارد. همچنین نتایج تخریب اگزرژی نشان داد، سیستم خورشیدی با ۶۰ درصد و توربین بادی با ۱۷ درصد بیشترین میزان تخریب اگزرژی را در اجزا سیستم دارا می‌باشند [۹]. برومند و عصاره در سال ۱۳۹۹، بر روی ترکیب سیکل برایتون و یک سیستم کلکتور خورشیدی با دریافت کننده مرکزی برای تولید برق، آب شیرین و سرمایش برای شهر اهواز کار کردند. اجزا اصلی این سیستم متشکل از سیستم برج خورشیدی، منبع ذخیره کننده گرما، سیکل برایتون، سیکل رانکین بخار، آب شیرین کن RO و سیکل تبرید جذبی تک اثره بود. نتایج نشان داد، پس از بهینه‌سازی توابع هدف با الگوریتم ژنتیک، بهینه‌ترین مقدار بازده اگزرژی ۲۹,۴۰ درصد و نرخ هزینه (\$/h) ۲۸۹,۴ به‌دست آمد [۱۰]. فرهادی و عصاره در سال ۱۳۹۹، بر روی تحلیل و بررسی یک سیستم تولید چند گانه انرژی بر مبنای انرژی زمین گرمایی برای تولید برق پاک و هیدروژن کار کردند. سیستم مورد بررسی متشکل از زیرسیستم‌های زمین گرمایی، سیکل ارگانیک رانکین و الکترولایزر PEM بود. محصولات این سیستم شامل تولید برق و هیدروژن بود. جهت مدلسازی سیستم از نرم‌افزار ترمودینامیکی EES استفاده شد. شهر بندرعباس با بررسی پتانسیل مناسب انرژی زمین گرمایی به عنوان مورد مطالعاتی در این پژوهش انتخاب شد. از پارامترهای تاثیرگذار بر روی خروجی‌های سیستم از بازده توربین، دمای ورودی به اواپراتور، معیار شایستگی ترموالکتریک، بازده پمپ و دبی جرمی ورودی به اواپراتور نام برده شد. همچنین نتایج نشان داد بیشترین تخریب اگزرژی سیستم مربوط به اواپراتور و کمترین تخریب اگزرژی سیستم مربوط به پمپ بوده است [۱۱]. سیداحمدی و عصاره در سال ۱۴۰۰، به تجزیه و تحلیل پارامترهای طراحی بر روی یک سیستم زمین گرمایی و استفاده از ذخیره‌ساز انرژی با هوای فشرده برای تولید برق پاک پرداختند. در این پژوهش به مدلسازی و بهینه‌سازی یک سیستم تولید چندگانه بر مبنای انرژی زمین گرمایی با استفاده از سیکل‌های مختلف ارگانیک رانکین و ذخیره‌ساز انرژی با هوای فشرده پرداخته شد. سیستم مورد بررسی متشکل از زیرسیستم‌های زمین گرمایی، سیکل ارگانیک رانکین، چیلر جذبی و سیستم ذخیره‌ساز انرژی با هوای فشرده بود. نتایج نشان داد، پارامترهای تاثیرگذار بر روی خروجی‌های سیستم، دمای زمین گرمایی، نرخ دبی جرمی زمین گرمایی و دمای ورودی به توربین سیکل ارگانیک رانکین ۱ بودند. در نهایت بهینه‌ترین ارزش بازده اگزرژی ۶۳,۰۰۹ درصد و نرخ هزینه ۲ دلار بر ساعت گزارش شد [۱۲]. دوبکرمه و همکاران[1] در سال ۲۰۲۰، به تحلیل یک

[1] Dubekerme et al



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

سیستم تولید چند گانه انرژی بر مبنای استفاده از انرژی خورشیدی پرداختند. در این پژوهش انرژی مورد نیاز سیستم از جذب انرژی حرارتی حاصل از خورشید توسط کلکتور خورشیدی سهموی- خطی تامین شد. نتایج نشان داد که افزایش دمای ورودی توربین باعث افزایش کارایی می‌شود در حالی که باعث کاهش کل تخریب اگزرژی سیستم می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که دو منبع اصلی تخریب اگزرژی در این سیستم، کلکتور خورشیدی و آب شیرین‌کن اسمز معکوس است [۱۳].
حیدرنژاد و همکاران[1] در سال ۲۰۲۰، بر روی بهینه‌سازی نیروگاه یک زمین گرمایی با استفاده از زیست توده و برای تولید برق پاک و آب شیرین کار کردند. در این سیستم از احتراق پسماندهای جامد شهری به منظور افزایش عملکرد سیستم بهره برده شد و از گازهای خروجی احتراق زباله جامد شهری به عنوان منبع اصلی انرژی برای زیر سیستم آب شیرین‌کن چند منظوره استفاده شد. نتایج نشان داد بازده انرژی و اگزرژی سیستم به ترتیب می‌تواند به مقدار ۱۳,۹ درصد و ۱۹,۴ درصد برسد، در حالی که نرخ هزینه کل سیستم ۲۸۵,۳ دلار بر ساعت تخمین زده شد [۱۴]. کهرامن[2] و همکاران در سال ۲۰۱۹، بر روی تجزیه و تحلیل حرارتی و ترمودینامیکی یک نیروگاه زمین گرمایی با استفاده از تهویه مطبوع و بررسی تغییر دمای هوای محیط بر روی عملکرد نیروگاه کار کردند. نتایج نشان داد، زمانی که دمای محیط از ۵ به ۳۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، تولید برق به مقدار ۶,۸ مگاوات می‌رسد، همچنین میزان بازده انرژی از ۱۳,۷ درصد به ۹,۲ درصد و بازده اگزرژی سیستم از ۵۴,۹ درصد به ۳۶,۷ درصد کاهش می‌یابد، ولی میزان نرخ هزینه سیستم افزایش یافت [۱۵]. لی و همکاران[3] در سال ۲۰۲۰، بر روی تحلیل تاثیر مبدل حرارتی پوسته- لوله بر عملکرد حرارتی سیکل‌های ارگانیک رانکین و استفاده از هیدروکربن‌ها به عنوان سیال ارگانیک کار کردند. سیکل ارگانیک رانکین (ORC) شامل مبدل‌های حرارتی پوسته- لوله، یک توربین جریان محوری و پمپ تغذیه سانتریفوژ بود. نتایج نشان داد که فرم‌های مرتب شده با مبدل حرارتی به‌طور قابل توجهی بر هزینه سرمایه‌گذاری (SIC) سیستم ORC تأثیر می‌گذارند و بیشترین تفاوت در SIC بین ۱۴,۷ درصد در میان انواع مختلف به‌دست آمد [۱۶].

در پژوهش حاضر به ارزیابی ترمودینامیکی و تحلیل منطقه‌ای یک سیستم تولید همزمان جدید بر اساس ترکیبی از آب شیرین کن چند اثره و ذخیره ساز انرژی هوای فشرده پرداخته می‌شود. این سیستم متشکل از زیرسیستم‌های هلیوستات، توربین گازی، آب شیرین‌کن حرارتی چند اثره (MED-TVC) و سیستم ذخیره‌ساز انرژی با هوای فشرده است. محصولات این سیستم تولید برق پاک وآب شیرین است. هدف و نوآوری اصلی این پژوهش تولید برق پاک، توسط سیستم پیشنهادی در زمان پیک مصرفی است و این سیستم طراحی شده است تا تولید برق در فصولی که پیک مصرف برق افزایش پیدا می‌کند، نیاز به انرژی را تامین نماید. جهت مدلسازی سیستم و به‌دست آوردن نتایج از نرم‌افزار ترمودینامیکی حل معادلات مهندسی EES استفاده شده است.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- سیستم انرژی

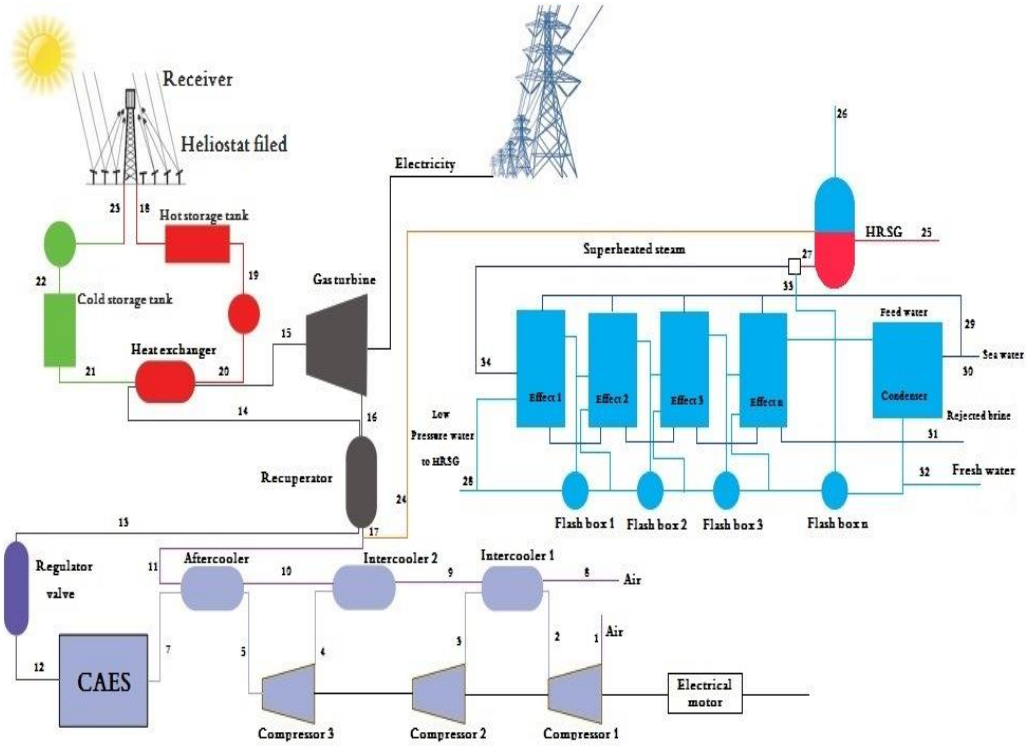
در شکل ۱، شماتیک سیستم تجدیدپذیر مورد بررسی در این پژوهش معرفی شده است. این سیستم که بر پایه انرژی خورشیدی است، متشکل از زیرسیستم‌های هلیوستات، توربین گازی، آب شیرین‌کن چند اثره (MED-TVC) و یک سیستم ذخیره انرژی با هوای فشرده (CAES) است. محصول این سیستم تولید برق پاک و آب شیرین است. منبع حرارت در این سیستم انرژی خورشیدی است که از نور تابیده شده از خورشید دریافت شده و وارد منبع ذخیره گرم شده و از این طریق حرارت را به مبدل حرارتی داده و سپس به توربین گازی جهت تولید توان می‌شود و در مرحله بعد وارد منبع ذخیره سرد می-

[1] Heidarnejad et al
[2] Kahraman et al
[3] Li et al



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

شود. در حین تخلیه، سرعت جریان جرمی و فشار هوای فشرده آزاد شده از مخزن ذخیره توسط شیر تنظیم می‌شود و برای بازیابی گرمای انبساط باقی‌مانده از توربین وارد بازگیرنده می‌شود.در طول فرآیند شارژ، برق اضافی و ارزان، کمپرسور را برای فشرده سازی هوای محیط به حرکت در می‌آورد. سپس هوای فشرده در منبع CAES برای استفاده بعدی در دوره‌های اوج نیاز و تقاضا ذخیره می‌شود. برای به حداقل رساندن مصرف برق در کمپرسورها و بازیابی گرمای اتلاف تولید شده در فرآیند تراکم برای واحد نمک زدایی، دو خنک کننده بین کمپرسورها اعمال می‌شود. بنابراین، هوای محیط، گرمای آزاد شده در اینترکولرها را جذب کرده و با کاهش دمای هوای خروجی از آخرین کمپرسور در افترکولر، حجم مخزن ذخیره را کاهش می دهد. در حین تخلیه، سرعت جریان جرمی و فشار هوای فشرده آزاد شده از مخزن ذخیره توسط شیر تنظیم می‌شود و برای بازیابی گرمای انبساط باقی‌مانده از توربین گازی وارد بازگیرنده می شود. انرژی حرارتی خورشیدی بر روی نمک مذاب اعمال می‌شود و به عنوان یک سیال عامل به سیستم داده می‌شود و دمای هوای فشرده در ورودی توربین را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد. هوای فشرده با دما و فشار بالا از طریق توربین منبسط می‌شود و در زمان اوج نیاز بدون هیچ گونه انتشار $CO_2$ و اثرات مخربی بر محیط زیست، برق تمیز تولید می‌کند. هوای منبسط شده که هنوز چگالی انرژی بالایی دارد از بازگیرنده عبور می-کند، سپس گرمای باقی‌مانده برای تولید آب در واحد MED-TVC در هنگام تخلیه استفاده می شود.




**شکل ۱- شماتیک سیستم مورد مطالعه.**

نمک زدایی به روش MED-TVC، از روش های نمک زدایی است که جهت مصارف صنعتی و آشامیدنی با عمر طولانی به کار گرفته می‌شود. همانطور که گفته شد، واحد MED-TVC از گرمای اتلاف فرآیندهای فشرده‌سازی و انبساط برای تولید آب شیرین در طول زمان شارژ و تخلیه استفاده می‌کند. به‌همین دلیل، مولد بخار بازیابی حرارت (HRSG)، به عنوان پیوندی بین واحدهای CAES و نمک‌زدایی، از گرمای آزاد شده با دمای بالا هوای فشرده و منبسط شده برای تبخیر آب استفاده می‌کند. اجزای اصلی واحد MED-TVC شامل اجکتور بخار، اواپراتورها، جعبه‌های فلاش و کندانسور هستند. بخار محرکه تولید شده به عنوان جریان اولیه با فشار و دمای بالا وارد سیستم فشرده سازی بخار حرارتی (TVC) می‌شود. اختلاط با بخار حاصل از آخرین اثر به عنوان جریان ثانویه، به عنوان یک منبع حرارتی با فشار متوسط وارد اثر اول می‌شود. پیکربندی جریان



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

متقاطع موازی، به دلیل کارایی بالا، برای واحد MED-TVC پیشنهادی انتخاب شده است. از طرف دیگر، بخشی از آب پیش گرم شده از کندانسور به طور مساوی بین اثرات به عنوان آب تغذیه تقسیم می‌شود و مقدار باقی‌مانده که برای تراکم بخار نمک‌زدایی شده از آخرین اثر مورد نیاز است به دریا دفع می‌شود. در اثر اول، آب تغذیه اسپری شده در سمت پوسته توسط بخار محرک تا نقطه جوش گرم می شود. سپس بخار تولید شده به عنوان منبع حرارتی برای فرآیند تبخیر وارد سمت لوله اثر دوم می‌شود. بخار تغلیظ شده در نهایت با فشار پایین وارد جعبه فلاش می شود. بنابراین، مقدار کمی تبخیر شده و با بخار تولید شده از سمت پوسته اثر مخلوط می‌شود. آب نمک باقیمانده که دارای فشار و دما نسبتاً بالایی است، برای افزایش عملکرد سیستم و تولید بخار بیشتر، به تأثیر بعدی می‌رود. این روند در سایر اثرات نیز به همین ترتیب ادامه یافت و در نهایت آب شیرین و آب نمک دفع شده از سیستم استخراج شد.

### ۲-۲- آنالیز ترمودینامیکی

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

- شرایط حالت پایدار
- توربین ها و پمپ ها ایزنتروپ هستند
- افت فشار در خطوط لوله ناچیز است [۱۷].
- خروجی کندانسور مایع اشباع شده و خروجی اواپراتور بخار اشباع شده است [۱۷].
- تغییرات در انرژی های بالقوه و جنبشی ناچیز است [۱۸].

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

**جدول ۱- مقدار داده‌های ورودی.**

| داده | معرفی پارامتر | مقدار |
|---|---|---|
| $T_0$ | دمای محیط | 25°C |
| $P_0$ | فشار محیط | 101.3 [kpa] |
| DNI | تابش خورشیدی | 850$W^2$/m |
| $\eta_{turbin}$ | بازده توربین | 0.88 |
| $\eta_{pump}$ | بازده پمپ | 0.9 |
| v | سرعت باد | 5m/s |
| $N_{hel}$ | تعداد هلیوستات | 300 |
| $T_{17}$ | دمای خروجی از ریکاپراتور | 162.75°C |
| $T_{18}$ | دمای ورودی به منبع ذخیره گرم | 1030.14°C |
| $p_7$ | فشار ورودی به CAES | 1314KPa |

استفاده از اولین قانون ترمودینامیک زیر، برای هر حجم کنترل ، در جدول ۲ نشان داده شده است.

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



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

جدول ۲- معادلات تعادل نرخ انرژی سیستم.

| اجزاء سیستم | رابطه |
|---|---|
| توربین گازی | $\dot{W}_{\text{GAS turbine}} = \dot{m}_{15} \times (h_{15} - h_{16})$ |
| | $\eta_{\text{GAS turbine}} = (h_{15} - h_{16}) / (h_{15} - h_{16s})$ |
| CAES | $\dot{W}_{\text{CAES}} = \text{Compressor1} + \text{Compressor2} + \text{Compressor3}$ |
| | $V_{\text{Storage}} = T_{charge} \times 3600 \times \dot{m}_7 / (\rho_7 - \rho_{12})$ |
| کمپرسور ۱ | $\eta_{\text{Compressor1}} = (h_{2s} - h_1) / (h_2 - h_1)$ |
| | $\dot{W}_{\text{Compressor1}} = \dot{m}_1 \times (h_2 - h_1)$ |
| کمپرسور ۲ | $\eta_{\text{Compressor2}} = (h_{4s} - h_3) / (h_4 - h_3)$ |
| | $\dot{W}_{\text{Compressor2}} = \dot{m}_3 \times (h_4 - h_3)$ |
| کمپرسور ۳ | $\eta_{\text{Compressor3}} = (h_{6s} - h_5) / (h_6 - h_5)$ |
| | $\dot{W}_{\text{Compressor3}} = \dot{m}_5 \times (h_6 - h_5)$ |
| ریکاپراتور | $Q_{\text{Rec}} = \dot{m}_{16} \times (h_{16} - h_{17})$ |
| کندانسور | $Q_{condenser} = \dot{m}_9 \times (h_9 - h_{10})$ |
| مبدل حرارتی | $Q_{HEX} = \dot{m}_{14} \times (h_{15} - h_{14})$ |
| اینترکولر ۱ | $Q_{\text{Intercooler}} = \dot{m}_2 \times (h_2 - h_3) = \dot{m}_8 \times (h_8 - h_9)$ |
| اینترکولر ۲ | $Q_{\text{Intercooler}} = \dot{m}_4 \times (h_4 - h_5) = \dot{m}_9 \times (h_9 - h_{10})$ |
| افترکولر | $Q_{\text{Aftercooler}} = \dot{m}_6 \times (h_6 - h_7) = \dot{m}_{10} \times (h_{10} - h_{11})$ |
| رسیور | $Q_{rec} = \dot{m}_{23} \times (h_{18} - h_{23})$ |
| هلیوستات | $Q_{Hel} = \eta_h \times A_h \times N \times I$ |

در نهایت باید گفت که مقدار توان خالص کل سیستم از رابطه ۲ به‌دست می‌آید:

$$\dot{W}_{\text{net}} = \dot{W}_{\text{GAS turbine}} - \dot{W}_{\text{CAES}} \quad (۲)$$

### ۱-۲-۲- آنالیز سیستم خورشیدی

از معادلات زیر برای تعیین میزان حرارت انتقال یافته از هلیوستات به گیرنده[1] استفاده می‌شود [۱۹]:

$$\dot{Q}_{Sun} = A_h \times N \times DNI \quad (۳)$$

$$\dot{Q}_h = \eta_h \times \dot{Q}_{Sun} \quad (۴)$$

در این روابط $A_h$، $\eta_h$ و $N$ به ترتیب بازده، مساحت یک آینه هلیوستات و تعداد آینه‌های هلیوستات را نشان می‌دهند. به دلیل اتلاف در انتقال حرارت جابجایی، هدایت و تشعشع تمام گرما توسط گیرنده منتقل نمی‌شود. میزان حرارت از دست رفته از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲۰]:

$$\dot{Q}_{loss} = h_a A_h \left(T_r - T_0\right) + \sigma\varepsilon\left(T_r^4 - T_0^4\right) \quad (۵)$$

[1] Receiver



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

در این رابطه $\sigma$ ثابت استفان-بولتزمن، $\varepsilon$ ضریب جاذب و $T_r$ دمای سطح گیرنده است. از رابطه تجربی زیر برای بدست آوردن ضریب انتقال حرارت جابجایی استفاده شده است [۲۱]:

$$h_a = 10.45 - v_a + 10\sqrt{v_a} \quad \left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2K}}\right) \tag{۶}$$

در این رابطه $v_a$ نشان دهنده سرعت باد است، و در نهایت میزان انتقال حرارت بین هوا و گیرنده عبارت است از:

$$\dot{Q}_r = \dot{Q}_h - \dot{Q}_{loss} = \dot{m}\left(h_{out} - h_{in}\right) \tag{۷}$$

### ۲-۲-۲- آنالیز واحد نمک زدایی فشرده سازی بخار چند اثره[1]

برای حل ریاضی واحد MED-TVC از اثرات N، دارای مجموعه‌ای از معادلات تعادل جرم، تعادل انرژی و معادلات انتقال حرارت است که برای هر اثر و جزء از واحد نمک‌زدایی باید حل شود.

مفروضات زیر برای حل واحد نمک زدایی از فرضیه های زیر استفاده می شود [۲۲]:

- بخاری که در هر جز تولید می شود کاملاً نمک زدایی می شود.
- حداکثر شوری مجاز حدود 70000ppm است.
- اختلاف دما برای همه اثرات برابر است.

همچنین برای محاسبه تفاوت دما در هر اثر، دمای بخار تولید شده در جعبه فلاش و دمای بخار تولید شده در هر اثر از روابط زیر استفاده می شود [۲۳]:

$$\Delta T = \frac{T_1 - T_N}{N} \tag{۸}$$

$$T'_i = T_i - NEA_i \tag{۹}$$

$$T_{v,n} = T_n - BPE \tag{۱۰}$$

که در این رابطه NEAi و BPE به ترتیب بیانگر، میزان غیرتعادل و ارتفاع نقطه جوش هستند که به عنوان پارامتری برای محاسبه افزایش دمای جوش ناشی از نمک های محلول تعریف می شود.

$$NEA_i = 0/33\frac{(T_{i-1} - T_i)^{0/55}}{T_{vi}} \tag{۱۱}$$

$$BPE = x[B + (CX)]10^{-3} \tag{۱۲}$$

پارامترهای این معادله را می توان در مرج [۲۴] بدست اورد.

### ۲-۲-۳- آنالیز اگزرژی[2]

تحلیل اگزرژی بر اساس قانون دوم ترمودینامیک در مقایسه با آنالیز انرژی، شاخص بهتری برای تعیین دقیق عملکرد سیستم است. اگزرژی را می توان به عنوان حداکثر کار قابل دریافت تعریف کرد. اگزرژی دارای چهار بخش اصلی است که شامل اگزرژی فیزیکی، شیمیایی، جنبشی و پتانسیل است. از بررسی و محاسبه اگزرژی جنبشی و پتانسیلی در این مطالعه، به دلیل تغییرات جزئی در ارتفاع و سرعت سیستم پیشنهادی، صرف نظر شده است [۲۵]. برای آنالیز اگزرژی در این پژوهش از روابط زیر استفاده شده است.

[1] Multi-effect vapor compression desalination unit
[2] exergy



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

$$\dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_Q + \sum_{in} \dot{\mathrm{m}}_{in}\mathrm{ex}_{in} = \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_W + \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_D \sum_{out} \dot{\mathrm{m}}_{out}\mathrm{ex}_{out} \quad (۱۳)$$

در اینجا:

$$\dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_W = \dot{W} \quad (۱۴)$$

$$\dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_Q = \dot{\mathrm{Q}}_j(1-\frac{T_0}{T_j}) \quad (۱۵)$$

$$ex = ex_{ph} + ex_{ch} \quad (۱۶)$$

### ۴-۲-۲- بررسی تخریب اگزرژی[1]

در این قسمت، اگزرژی هر جریان محاسبه می‌شود و رابطه تخریب اگزرژی هر جز در جدول ۳ نشان داده شده است.

**جدول ۳- تخریب اگزرژی اجزا سیستم.**

| اجزاء سیستم | رابطه تخریب اگزرژی |
|---|---|
| اواپراتور | $\dot{\mathrm{E}}_{\mathrm{Eva}} = \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_1 + \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_7 - \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_2 - \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_4$ |
| توربین گازی | $\dot{\mathrm{E}}_{\mathrm{GAS\ Turbine}} = \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{15} - \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{16} - \dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{GAS\ turbine}}$ |
| افترکولر | $\dot{E}_{afc} = Ex_{110} + Ex_6 - Ex_7 - Ex_{11}$ |
| اینترکولر ۱ | $\dot{E}_{inc1} = Ex_8 + Ex_2 - Ex_9 - Ex_3$ |
| اینترکولر ۲ | $\dot{E}_{inc2} = Ex_9 + Ex_4 - Ex_{10} - Ex_5$ |
| کمپرسور شماره ۱ | $\dot{E}_{\mathrm{Compressor1}} = \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_1 + \dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{Compressor1}} - \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_2$ |
| کمپرسور شماره ۲ | $\dot{E}_{\mathrm{Compressor2}} = \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_3 + \dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{Compressor2}} - \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_4$ |
| کمپرسور شماره ۳ | $\dot{E}_{\mathrm{Compressor3}} = \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_5 + \dot{\mathrm{W}}_{\mathrm{Compressor3}} - \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_6$ |
| مبدل حرارتی | $\dot{E}_{HEX} = \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{14} + \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{20} - \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{15} - \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{21}$ |
| هلیوستات | $\dot{E}_{HEL} = \dot{\mathrm{E}}_{Sun} - \dot{\mathrm{E}}_r$ |
| ریکاپراتور | $\dot{E}_{REC} = \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{23} + \dot{\mathrm{E}}_r - \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{18}$ |
| ریگلاتور | $\dot{E}_{\mathrm{Re}cg} = \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{13} + \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{16} - \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{14} - \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{17}$ |
| CAES | $\dot{E}_{CAES} = \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_7 - (\dot{\mathrm{T}}_{\mathrm{discharge}} / \dot{T}_{\mathrm{charge}}) \times \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{12}$ |

### ۵-۲-۲- بررسی اقتصادی

در جدول ۴ روابط مربوط به هزینه هر جزء و روابط کمکی مورد نظر آورده شده است:

[1] Exergy destruction



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

**جدول ۴- بالانس هزینه و روابط کمکی برای تمام اجزا سیستم.**

| اجزاء سیستم | رابطه |
|---|---|
| منبع ذخیره سرد | $Z_{Cold_Tank} = 5941.7 \times ((V_{Cold_Tank}^{-0.289}) \times Z_{discharge}$ |
| منبع ذخیره گرم | $Z_{Hot_Tank} = 5941.7 \times ((V_{Hot_Tank}^{-0.272}) \times Z_{discharge}$ |
| هلیوستات (آینه) | $Z_{solar,\ Heliostat} = 150 \times A_{hel} \times N_{hel} \times Z_{discharge}$ |
| رسیور | $Z_{solar,\ rec} = A_r \times (79 \times T_r - 42000) \times Z_{discharge}$ |
| ریگلاتور | $Z_{Reg} = 114.5 \times \dot{m}_{13} \times Z_{discharge}$ |
| ریکاپراتور | $Z_{Rec} = 12000 \times (A_{Rec} / 100)^{0.6} \times Z_{discharge}$ |
| مبدل حرارتی | $Z_{HEX} = 12000 \times (A_{HX} / 100)^{0.88} \times Z_{discharge}$ |
| اینترکولر ۱ | $Z_{Intc1} = 12000 \times (A_{Intc} / 100)^{0.6} \times Z_{charge}$ |
| اینترکولر ۲ | $Z_{Intc2} = 12000 \times (A_{Intc} / 100)^{0.6} \times Z_{charge}$ |
| افترکولر | $Z_{Aftc} = 12000 \times (A_{Aftc} / 100)^{0.6} \times Z_{charge}$ |
| کمپرسور ۱ | $Z_{Comp1} = ((71.1 \times \dot{m}_1) / (0.9 - \eta_{Compressor}) \times ((P_2 / P_1) \times \ln(P_2 / P_1))) \times Z_{charge}$ |
| کمپرسور ۲ | $Z_{Comp2} = ((71.1 \times \dot{m}_3) / (0.9 - \eta_{Compressor}) \times ((P_4 / P_3) \times \ln(P_4 / P_3))) \times Z_{charge}$ |
| کمپرسور ۳ | $Z_{Comp3} = ((71.1 \times \dot{m}_5) / (0.9 - \eta_{Compressor}) \times ((P_6 / P_5) \times \ln(P_6 / P_5))) \times Z_{charge}$ |
| توربین گازی | $Z_{Gas,Turbin} = ((1536 \times \dot{m}_{32}) / (0.92 - \eta_{Gas,Turbin}) \times \ln(P_{33} / P_{34}) \times (1 + \exp(0.036 \times T_{33} - 54.4)$ |
| سیستم ذخیره انرژی هوای فشرده | $Z_{CAES} = ((1.218 \times \exp(2.3631 + 1.3673 \times (\ln(V_{Storage})) - 0.06309 \times (\ln(V_{Storage}))^2)) \times Z_{charge}$ |

در نهایت باید گفت که میزان هزینه کل سیستم[1] از مجموع هزینه اجزا سیستم به‌دست آورده می‌شود، و طبق رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$Z_{total} = Z_{GASTurbine} + Z_{HEX} + Z_{Comp\ 1} + Z_{Comp\ 2} + Z_{Comp\ 3} + Z_{CAES} + Z_{Aftercooler} + Z_{Intercooler1} + Z_{Intercooler2} + Z_{Cold_Tank} + Z_{Hot_Tank} + Z_{solar,\ Heliostat} + Z_{solar,\ rec} + Z_{Rec} + Z_{Reg} \quad (۱۷)$$

### ۲-۲-۶- بالانس هزینه

محاسبه هزینه نهایی هر جز از سیستم در جدول ۵ بررسی شده است:

**جدول ۵- بالانس هزینه و روابط کمکی برای اجزا سیستم.**

| Component | Cost balance | Auxiliary equation |
|---|---|---|
| Compressor 1 | $\dot{C}_{W_AC1} + \dot{C}_1 + \dot{Z}_{Compressor1} = \dot{C}_2$ | - |

[1] Total Cost



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

| | | |
|---|---|---|
| Compressor 2 | $\dot{C}_{W_AC2}+\dot{C}_3+\dot{Z}_{\text{Compressor2}}=\dot{C}_4$ | - |
| Compressor 3 | $\dot{C}_{W_AC3}+\dot{C}_5+\dot{Z}_{\text{Compressor3}}=\dot{C}_6$ | - |
| Intercooler 1 | $\dot{C}_2+\dot{C}_8+\dot{Z}_{\text{Intercooler1}}=\dot{C}_3+\dot{C}_9$ | - |
| Intercooler 2 | $\dot{C}_4+\dot{C}_9+\dot{Z}_{\text{Intercooler1}}=\dot{C}_5+\dot{C}_{10}$ | - |
| Aftercooler | $\dot{C}_6+\dot{C}_{10}+\dot{Z}_{\text{Afercooler1}}=\dot{C}_7+\dot{C}_{11}$ | - |
| CAES | $\dot{C}_7+\dot{Z}_{CAES}=\dot{C}_{12}$ | - |
| Regulator | $\dot{C}_{12}+\dot{Z}_{\text{Regulator}}=\dot{C}_{13}$ | - |
| Recuperates | $\dot{C}_{13}+\dot{C}_{16}+\dot{Z}_{\text{Re}c}=\dot{C}_{14}+\dot{C}_{17}$ | - |
| Heat exchanger | $\dot{C}_{14}+\dot{C}_{20}+\dot{Z}_{\text{Heat exchanger}}=\dot{C}_{15}+\dot{C}_{21}$ | - |
| Gas Turbin | $\dot{C}_{15}+\dot{Z}_{\text{GT}}=C_{WGT}+\dot{C}_{16}$ | $c_{18}=c_{20}, c_{22}=c_{23}$ |
| solar system | $\dot{C}_{DNI}+\dot{Z}_{\text{Heliostat}}+\dot{C}_{\text{Re}x}=\dot{C}_{18}$ | - |
| Hot Tank | $\dot{C}_{18}+\dot{Z}_{\text{Hot Tank}}=\dot{C}_{19}$ | - |
| Cold Tank | $\dot{C}_{21}+\dot{Z}_{\text{Cold Tank}}=\dot{C}_{22}$ | - |
| MED-TVC | $\dot{C}_{11}+\dot{Z}_{\text{MED}}=\dot{C}_{Fre}$ | - |

مقدار هزینه $c_{p_{multi}}$ از رابطه ۱۳ محاسبه می‌شود:

$$c_{p_{multi}}=Cw_{GT}+Cw_{AC1}+Cw_{AC2}+Cw_{AC3}+\dot{C}_{Fre})/((\dot{W}_{GASTurbin}-(T_{\text{discharge}}/T_{\text{charge}})\times \dot{W}_{\text{CAES}}+\text{Ex}_{29_dch})/1000\times 3.6) \quad (۱۸)$$

### ۷-۲-۲- راندمان سیستم

برای ارزیابی عملکرد سیستم بازده انرژی و اگزرژی به عنوان شاخص های کلیدی انتخاب شدند و توسط معادلات ۱۹ و ۲۰ محاسبه می شوند. همچنین باید گفت که به دلیل تفاوت زمان دوره عملیاتی برای هر جزء از سیستم، این معادلات در مقایسه با مفهوم مرسوم، تغییراتی داشته‌اند [۲۶].

رابطه Exergy round trip efficiency (ERTE):

$$ERTE=(\dot{W}_{H_GASTurbin}+\dot{E}x_{29_dch}\times T_{\text{discharge}}+\dot{E}x_{29_ch}\times T_{\text{charge}})\times 100/(\dot{W}_{CAES}+\dot{E}_{H_Sun})\times 100/(\dot{W}_{\text{Input_CAES}}\times T_{\text{charge}}+Q_{\text{heater}}\times T_{\text{discharge}}) \quad (۱۹)$$

رابطه round trip efficiency (RTE):

$$RTE=(\dot{W}_{H_GASTurbin}+D_{tot_dch}\times h_{29}\times T_{\text{discharge}}+D_{tot_ch}\times h_{29}\times T_{\text{charge}})\times 100/(\dot{W}_{\text{H_Input_CAES}}+Q_{\text{Sun}}\times time_{\text{Sun}}/1000) \quad (۲۰)$$

## ۳- نتایج و بحث

### ۱-۳- اعتبارسنجی

به‌منظور اعتبارسنجی نتایج و اعتبار بخشیدن به کار انجام شده، نتایج کار اعتبارسنجی شده است. با توجه به اینکه سیستم معرفی شده یک سیستم جدید و تازه طراحی شده است، اعتبارسنجی زیرسیستم MED-TVC با نتایج آلاسفور و همکاران [۲۷] و الموتاز و همکاران [۲۸] ارزیابی شده است. همان‌گونه از نتایج مشخص است، این پژوهش از اعتبار خوبی برخوردار است و به این معنی است که فرآیند شبیه سازی قابل اعتماد و نتایج واقعی هستند.



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

**جدول ۵- نتایج اعتبارسنجی.**

| پارامتر | آلاسفور و همکاران (۲۰۰۵) | | | الموتاز و همکاران (۲۰۱۴) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | کار حاضر | آلاسفور و همکاران (۲۰۰۵) | ارور (٪) | کار حاضر | الموتاز و همکاران (۲۰۱۴) | ارور (٪) |
| **Number off effect** | 4 | 4 | 0 | 6 | 6 | 0 |
| **Motive pressure (kPa)** | 2300 | 2300 | 0 | 2500 | 2500 | 0 |
| **Maximum temperature (K)** | 333.2 | 333.2 | 0 | 334.9 | 334.9 | 0 |
| **Minimum temperature (K)** | 318.5 | 318.5 | 0 | 315.9 | 315.9 | 0 |
| **Feed seawater temperature (K)** | 314.6 | 314.6 | 0 | 313.1 | 313.1 | 0 |
| **Sea water temperature (K)** | 304.6 | 304.6 | 0 | 303.1 | 303.1 | 0 |
| **Motive steam mass flow rate (kg/s)** | 8.8 | 8.8 | 0 | 21.2 | 21.2 | 0 |
| **Entrainment ratio** | 1.14 | 1.14 | 0 | 1.36 | 1.36 | 0 |
| **Compression ratio** | 2.66 | 2.66 | 0 | 3.12 | 3.12 | 0 |
| **Freshwater mass flow rate (kg/s)** | 57.79 | 58.02 | 0.3 | 183.2 | 186.8 | 1.9 |
| **Gain output ratio** | 6.56 | 6.59 | 0.4 | 8.64 | 8.81 | 1.9 |

### ۲-۳- نتایج

در ابتدا برای مطالعه پارامتریک سیستم ۸ سناریوی مختلف انتخاب شده است و در انتها بهترین سناریو جهت ادامه مطالعه انتخاب می‌شود. سناریوهای مورد بررسی در جدول ۶ آورده شده است.

**جدول ۶- سناریوها.**

| Scenario | Number of effects Med | T_discharge | T_charge | Time_sun |
|---|---|---|---|---|
| **1** | 3 | 3 | 7 | 10 |
| **2** | 4 | 4 | 8 | 11 |
| **3** | 5 | 5 | 9 | 12 |
| **4** | 6 | 5 | 10 | 12 |
| **5** | 7 | 3 | 7 | 10 |
| **6** | 5 | 5 | 10 | 12 |
| **7** | 3 | 4 | 7 | 12 |
| **8** | 6 | 4 | 9 | 11 |

### ۱-۲-۳- مطالعه پارامتریک

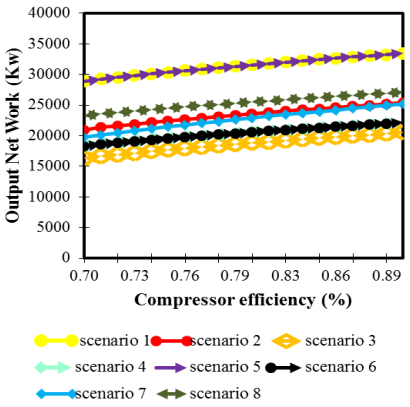
در شکل ۲ تاثیر بازده کمپرسور در محدود ۰,۷ تا ۰,۹، بر روی خروجی‌های سیستم نمایش داده شده است. یکی از پارامترهای بسیار تاثیرگذار در این سیستم، بازده کمپرسور می‌باشد. دو پارامتر عملکردی مهم در کمپرسور شامل نسبت فشار کمپرسور و بازده کمپرسور هستند کـه مقادیر این دو پارامتر در دورهای کاری مختلف کمپرسور متفاوت بوده و عملکرد موتور را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهند. همانطور که در شکل ۲ الف، مشاهده می‌شود افزایش بازده کمپرسور باعث افزایش توان تولیدی کل سیستم شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۱ و ۵ است که بیشترین توان تولیدی را دارند و بدترین سناریو، سناریوی شماره ۳ است. در شکل ۲ ب، مشاهده می‌شود افزایش بازده کمپرسور، باعث کاهش میزان



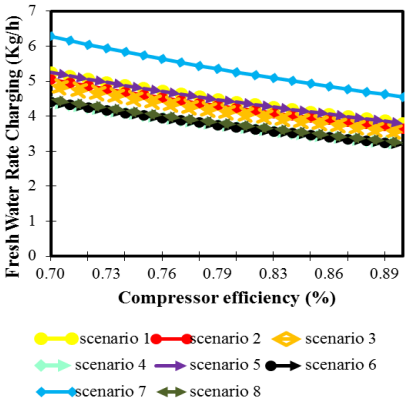
[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

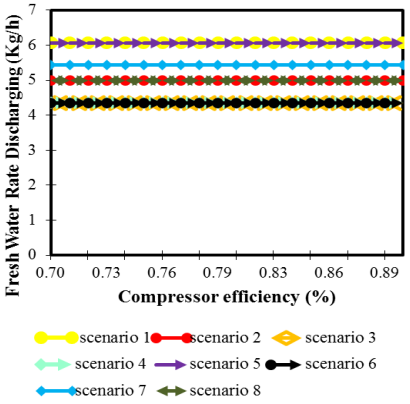
آب شیرین تولیدی سیستم در حالت شارژ شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۷ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است. در شکل ۴-۱ ج، مشاهده می‌شود افزایش بازده کمپرسور، باعث کاهش میزان آب شیرین تولیدی سیستم در حالت تخلیه شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۵ و ۱ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است. از آنجایی که بازده اگزرژی و توان تولیدی سیستم، رابطه مستقیم دارند، یعنی با افزایش توان سیستم، میزان راندمان سیستم نیز افزایش می‌یابد در شکل ۲ د و ۲ ر، مشاهده می‌شود که، میزان بازده اگزرژی رفت و برگشت (ERTE[1]) و بازده رفت و برگشت (RTE[2]) در حال افزایش است و بهترین سناریو، سناریوی شماره ۵ است. همچنین در شکل ۲ ز، مشاهده می‌شود که افزایش بازده کمپرسور، باعث افزایش میزان نرخ هزینه شده است. زیرا، هرچه توان تولیدی سیستم بیشتر شود، نیاز سیستم به نگهداری و تعمیر سیستم، افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار نرخ هزینه هر دستگاه و بالطبع نرخ هزینه کل سیستم نیز افزایش پیدا می‌کند. در شکل ۲ ژ، مشاهده می‌شود که با افزایش بازده کمپرسور، نرخ بهای تمام شده محصولات ($CP_{multi}$) در حال کاهش است و این امر نشان دهنده ایده آل بودن سیستم را دارد. با این حال باید گفت که، در نرخ جریان جرمی بالاتر، اندازه و ظرفیت قطعات افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش هزینه کل سرمایه‌گذاری سیستم می‌شود.



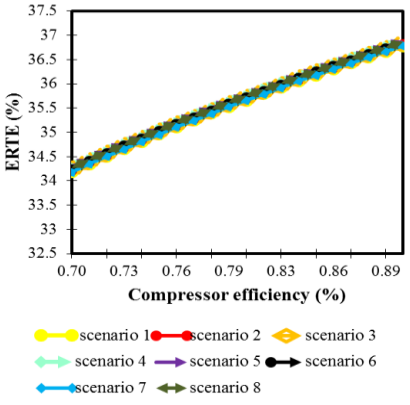

الف: توان کل




ب: آب شیرین تولیدی در حالت شارژ




ج: آب شیرین تولیدی در حالت تخلیه

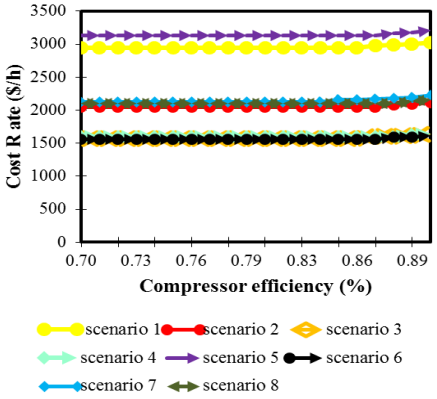



د: ERTE

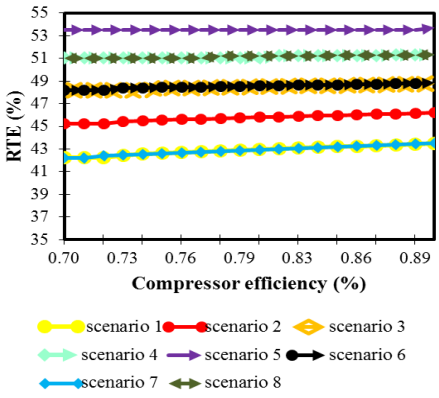
[1] Exergy round trip efficiency
[2] Round trip efficiency



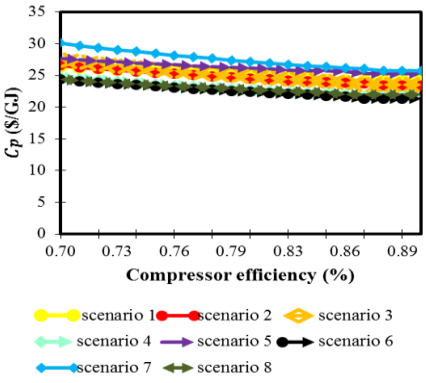
[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]




ز: نرخ هزینه




ر: RTE




ژ: $C_{p_{multi}}$

**شکل ۲- بررسی تاثیر بازده کمپرسور بر روی عملکرد سیستم.**

در شکل ۳ تاثیر تعداد هلیوستات در محدود ۳۰۰ تا ۶۰۰، بر روی خروجی‌های سیستم نمایش داده شده است. یکی از پارامترهای بسیار تاثیرگذار در این سیستم، تعداد هلیوستات می‌باشد. هلیوستات از اساسی ترین اجزا سیستم در دریافت انرژی خورشیدی و تامین انرژی سیستم است. در ابتدا باید گفت که هرچه تعداد هلیوستات‌ها بیشتر شود، انرژی ورودی به سیستم نیز بیشتر می‌شود و در نتیجه تولید توان نیز بیشتر خواهد شد چون انرژی حرارتی تولیدی توسط هلیوستات با تعداد آینه‌ها و تابش خورشیدی رابطه مستقیم دارد. همانطور که در شکل ۳ الف، مشاهده می‌شود افزایش تعداد هلیوستات باعث افزایش توان تولیدی کل سیستم شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۱ و ۵ است که بیشترین توان تولیدی را دارند و بدترین سناریو، سناریوی شماره ۳ است. در شکل ۳ ب، مشاهده می‌شود افزایش تعداد هلیوستات، باعث افزایش میزان آب شیرین تولیدی سیستم در حالت شارژ شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۷ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است. در شکل ۳ ج، مشاهده می‌شود افزایش تعداد هلیوستات، باعث افزایش میزان آب شیرین تولیدی سیستم در حالت تخلیه شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۵ و ۱ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است.

از آنجایی که بازده اگزرژی و توان تولیدی سیستم، رابطه مستقیم دارند، یعنی با افزایش توان سیستم، میزان راندمان سیستم نیز افزایش می‌یابد در شکل ۳ د و ۳ ر، مشاهده می‌شود که، میزان بازده اگزرژی رفت و برگشت (ERTE[1]) و بازده رفت و

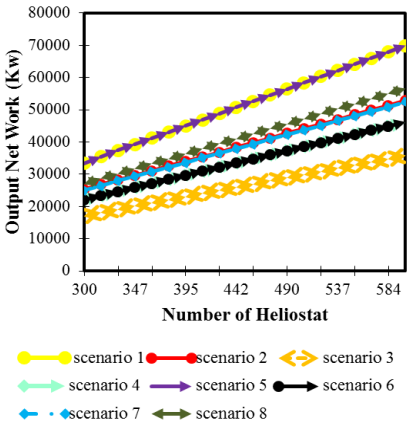
[1] Exergy round trip efficiency



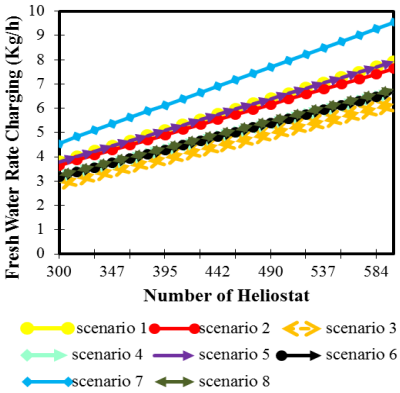
[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

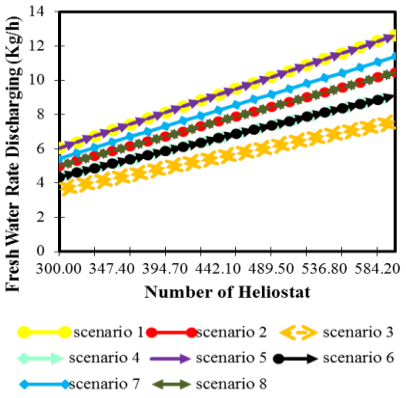
برگشت (RTE[1]) در حال افزایش است و بهترین سناریو، سناریوی شماره ۵ است. در شکل ۳ ز، مشاهده می‌شود که افزایش تعداد هلیوستات، باعث افزایش میزان نرخ هزینه شده است. زیرا، هرچه توان تولیدی سیستم بیشتر شود، نیاز سیستم به نگهداری و تعمیر سیستم و همچنین تجهیزات بزرگتر و پیشرفته‌تر افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار نرخ هزینه هر دستگاه و بالطبع نرخ هزینه کل سیستم نیز افزایش پیدا می‌کند. در شکل ۳ ژ، مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد هلیوستات، نرخ بهای تمام شده محصولات ($CP_{multi}$) در حال کاهش است و این امر نشان دهنده ایده آل بودن سیستم را دارد. با این حال باید گفت که، در نرخ جریان جرمی بالاتر، اندازه و ظرفیت قطعات افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش هزینه کل سرمایه‌گذاری سیستم می‌شود.



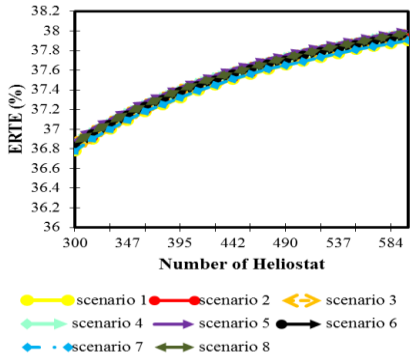

الف: توان کل




ب: آب شیرین تولیدی در حالت شارژ




ج: آب شیرین تولیدی در حالت تخلیه

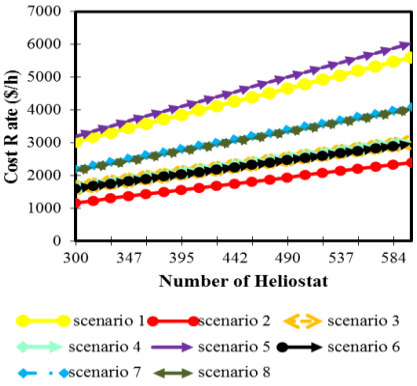



د: ERTE

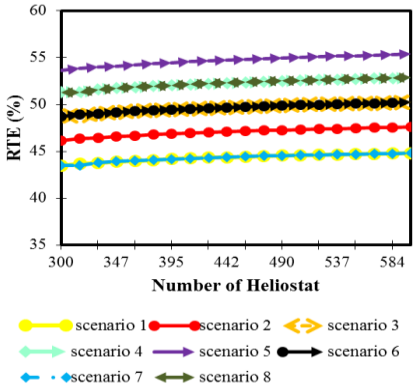
[1] Round trip efficiency



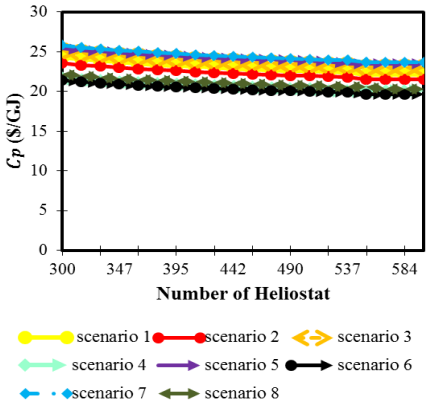
[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]




ز: نرخ هزینه




ر: RTE




ژ: $C_{p_{multi}}$

**شکل ۳- بررسی تاثیر تعداد هلیوستات بر روی عملکرد سیستم.**

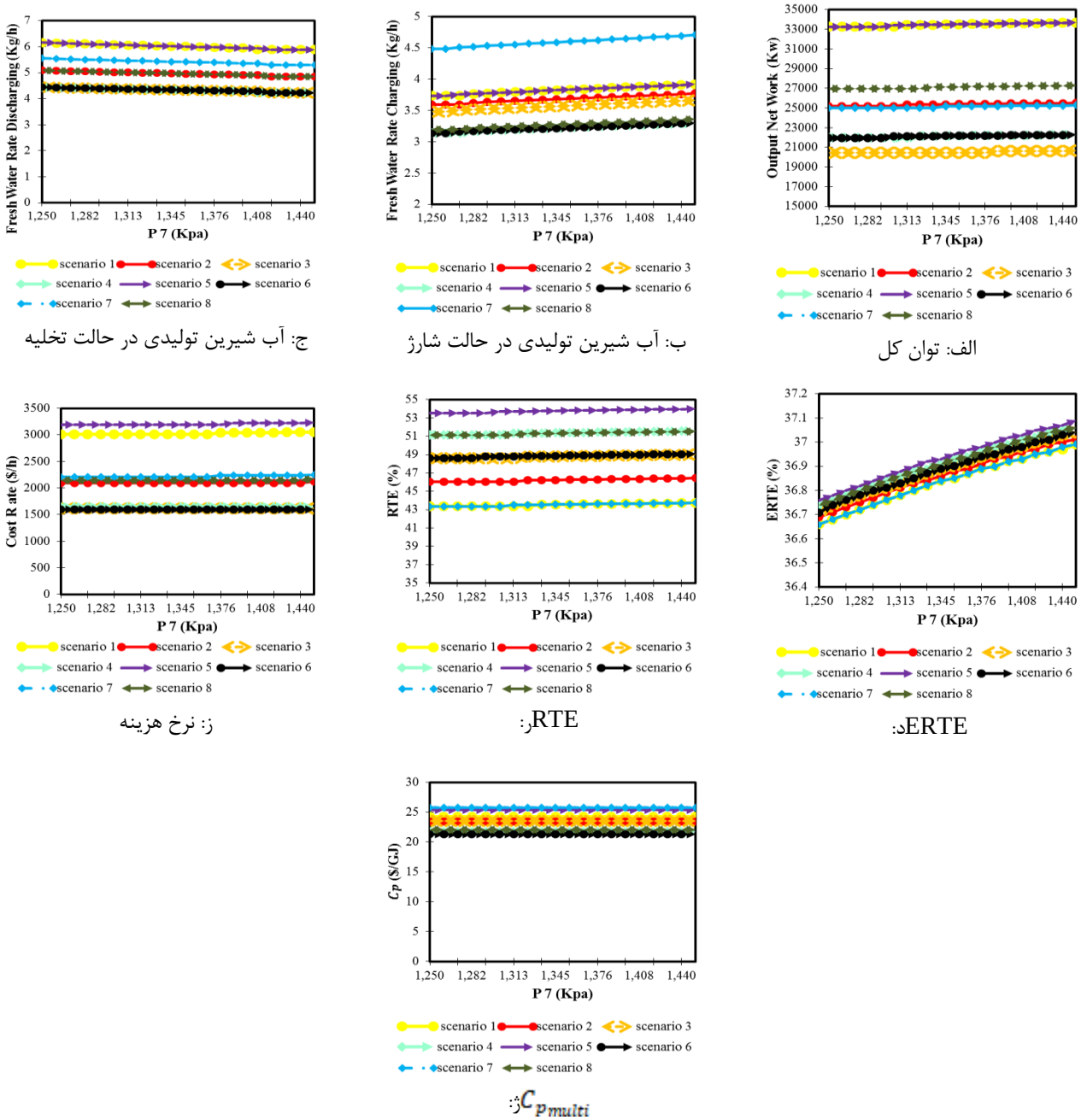
در شکل ۴ تاثیر فشار ورودی به CAES در محدود ۱۲۵۰ تا ۱۴۵۰ کیلوپاسکال، بر روی خروجی‌های سیستم نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۴ الف، مشاهده می‌شود افزایش فشار ورودی به CAES باعث افزایش توان تولیدی کل سیستم شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۱ و ۵ است که بیشترین توان تولیدی را دارند و بدترین سناریو، سناریوی شماره ۳ است. در شکل ۴ ب، مشاهده می‌شود افزایش فشار ورودی به CAES، باعث افزایش میزان آب شیرین تولیدی سیستم در حالت شارژ شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۷ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است. در شکل ۴ ج، مشاهده می‌شود افزایش فشار ورودی به CAES، باعث کاهش میزان آب شیرین تولیدی سیستم در حالت تخلیه شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۵ و ۱ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است. از آنجایی که بازده اگزرژی و توان تولیدی سیستم، رابطه مستقیم دارند، یعنی با افزایش توان سیستم، میزان راندمان سیستم نیز افزایش می‌یابد در شکل ۴ د و ۴ ر، مشاهده می‌شود که، میزان بازده اگزرژی رفت و برگشت (ERTE[1]) و بازده رفت و برگشت (RTE[2]) در حال افزایش است و بهترین سناریو، سناریوی شماره ۵ است. در شکل ۴ ز، مشاهده می‌شود که افزایش فشار ورودی به CAES، باعث افزایش میزان نرخ هزینه شده است. زیرا، هرچه توان تولیدی سیستم بیشتر شود، نیاز سیستم به نگهداری و تعمیر سیستم و همچنین تجهیزات بزرگتر و پیشرفته‌تر افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار نرخ هزینه هر دستگاه و بالطبع نرخ هزینه کل سیستم نیز افزایش پیدا می‌کند. در شکل ۴ ژ، مشاهده می-

[1] Exergy round trip efficiency
[2] Round trip efficiency



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

شود که با افزایش تعداد هلیوستات، نرخ بهای تمام شده محصولات ($CP_{multi}$) در حال کاهش است و این امر نشان دهنده ایده آل بودن سیستم را دارد. با این حال باید گفت که، در نرخ جریان جرمی بالاتر، اندازه و ظرفیت قطعات افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش هزینه کل سرمایه‌گذاری سیستم می‌شود.




الف: توان کل

ب: آب شیرین تولیدی در حالت شارژ

ج: آب شیرین تولیدی در حالت تخلیه

د: ERTE

ر: RTE

ز: نرخ هزینه

ژ: $C_{pmulti}$

**شکل ۴- بررسی تاثیر فشار ورودی به CAES بر روی عملکرد سیستم.**

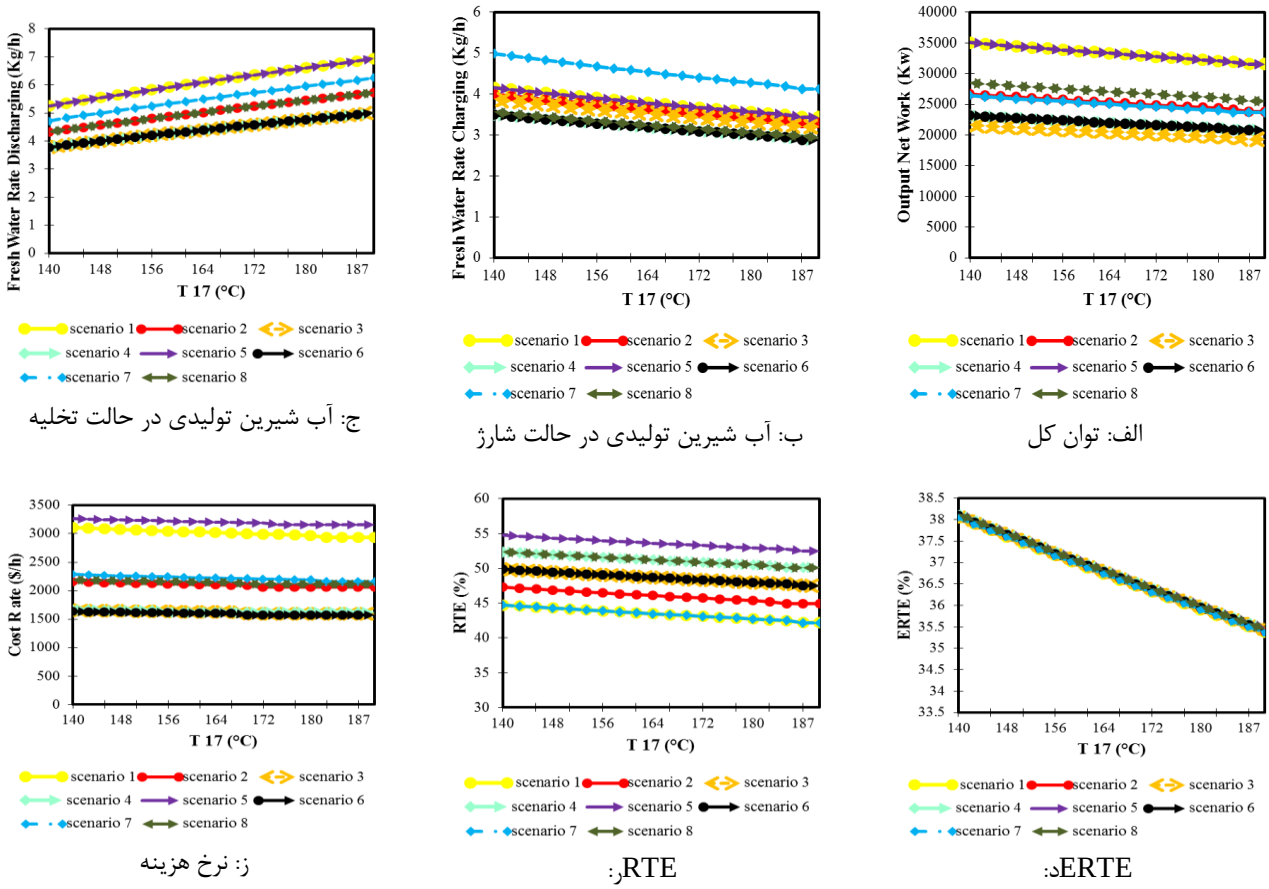
در شکل ۵ تاثیر دمای خروجی از ریکاپراتور ($T_{17}$) در محدود ۱۴۰ تا ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد، بر روی خروجی‌های سیستم نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۵ الف، مشاهده می‌شود افزایش دمای خروجی از ریکاپراتور ($T_{17}$)، باعث کاهش توان تولیدی کل سیستم شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۱ و ۵ است که بیشترین توان تولیدی



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

را دارند و بدترین سناریو، سناریوی شماره ۳ است. در شکل ۵ ب، مشاهده می‌شود افزایش دمای خروجی از ریکاپراتور ($T_{17}$)، باعث کاهش میزان آب شیرین تولیدی سیستم در حالت شارژ شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۷ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است. در شکل ۵ ج، مشاهده می‌شود افزایش دمای خروجی از ریکاپراتور ($T_{17}$)، باعث افزایش میزان آب شیرین تولیدی سیستم در حالت تخلیه شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۵ و ۱ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است. از آنجایی که بازده اگزرژی و توان تولیدی سیستم، رابطه مستقیم دارند، یعنی با کاهش توان تولیدی سیستم، میزان راندمان سیستم نیز کاهش می‌یابد در شکل ۵ د و ۵ ر، مشاهده می‌شود که، میزان بازده اگزرژی رفت و برگشت (ERTE[1]) و بازده رفت و برگشت (RTE[2]) با افزایش دمای خروجی از ریکاپراتور ($T_{17}$)، در حال کاهش است و بهترین سناریو، سناریوی شماره ۵ است. در شکل ۵ ز، مشاهده می‌شود که افزایش دمای خروجی از ریکاپراتور ($T_{17}$)، باعث کاهش میزان نرخ هزینه شده است. زیرا، هرچه توان تولیدی سیستم کمتر شود، نیاز سیستم به نگهداری و تعمیر سیستم و همچنین تجهیزات بزرگتر و پیشرفته‌تر کاهش می‌یابد و در نتیجه مقدار نرخ هزینه هر دستگاه و بالطبع نرخ هزینه کل سیستم نیز کاهش پیدا می‌کند.

در شکل ۵ ژ، مشاهده می‌شود که با افزایش دمای خروجی از ریکاپراتور ($T_{17}$)، نرخ بهای تمام شده محصولات ($CP_{multi}$) در حال افزایش است. پس می‌توان گفت که افزایش دمای خروجی از ریکاپراتور ($T_{17}$) تاثیر منفی بر روی سیستم می‌گذارد.




الف: توان کل

ب: آب شیرین تولیدی در حالت شارژ

ج: آب شیرین تولیدی در حالت تخلیه

د: ERTE

ر: RTE

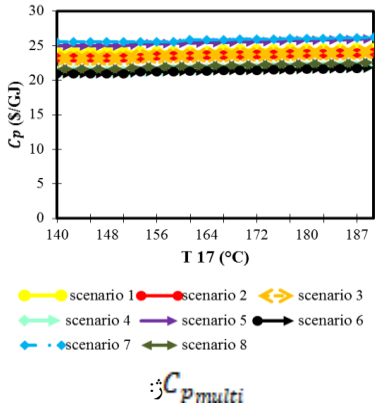
ز: نرخ هزینه

[1] Exergy round trip efficiency
[2] Round trip efficiency



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]




ژ: $C_{P\,multi}$

**شکل ۵- بررسی تاثیر دمای خروجی از ریکاپراتور ($T_{17}$) بر روی عملکرد سیستم.**

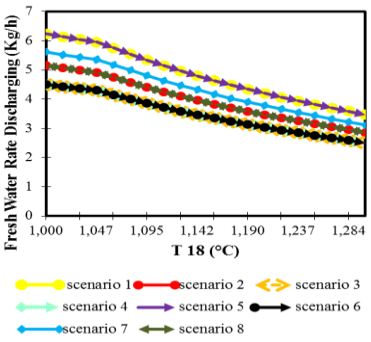
در شکل ۶ تاثیر دمای ورودی به منبع گرم ($T_{18}$) در محدود ۱۰۰۰ تا ۱۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، بر روی خروجی‌های سیستم نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۶ الف، مشاهده می‌شود افزایش دمای ورودی به منبع گرم ($T_{18}$)، باعث کاهش توان تولیدی کل سیستم شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۱ و ۵ است که بیشترین توان تولیدی را دارند و بدترین سناریو، سناریوی شماره ۳ است. در شکل ۴-۵ ب، مشاهده می‌شود افزایش دمای ورودی به منبع گرم ($T_{18}$)، باعث کاهش میزان آب شیرین تولیدی سیستم در حالت شارژ شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۷ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است. در شکل ۶ ج، مشاهده می‌شود افزایش دمای ورودی به منبع گرم ($T_{18}$)، باعث کاهش میزان آب شیرین تولیدی سیستم در حالت تخلیه شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۵ و ۱ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است. از آنجایی که بازده اگزرژی و توان تولیدی سیستم، رابطه مستقیم دارند، یعنی با کاهش توان تولیدی سیستم، میزان راندمان سیستم نیز کاهش می‌یابد در شکل ۶ د و ۶ ر، مشاهده می‌شود که، میزان بازده اگزرژی رفت و برگشت ($ERTE$[1]) و بازده رفت و برگشت ($RTE$[2]) با افزایش دمای ورودی به منبع گرم ($T_{18}$)، در حال کاهش است و بهترین سناریو، سناریوی شماره ۵ است. در شکل ۶ ز، مشاهده می‌شود که افزایش دمای ورودی به منبع گرم ($T_{18}$)، باعث کاهش میزان نرخ هزینه شده است. زیرا، هرچه توان تولیدی سیستم کمتر شود، نیاز سیستم به نگهداری و تعمیر سیستم و همچنین تجهیزات بزرگتر و پیشرفته‌تر کاهش می‌یابد و در نتیجه مقدار نرخ هزینه هر دستگاه و بالطبع نرخ هزینه کل سیستم نیز کاهش پیدا می‌کند.

در شکل ۶ ژ، مشاهده می‌شود که با افزایش دمای ورودی به منبع گرم ($T_{18}$)، نرخ بهای تمام شده محصولات ($CP_{multi}$) در حال افزایش است. پس می‌توان گفت که افزایش دمای ورودی به منبع گرم ($T_{18}$)، تاثیر منفی بر روی سیستم می‌گذارد.

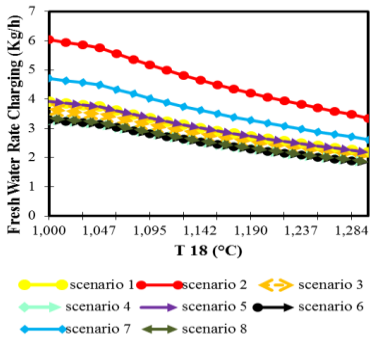
[1] Exergy round trip efficiency
[2] Round trip efficiency



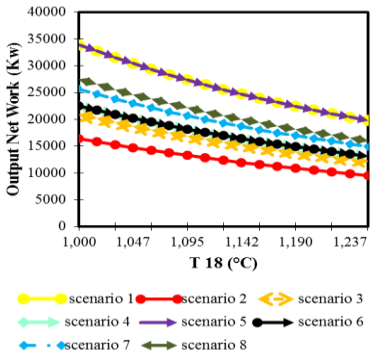
[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]



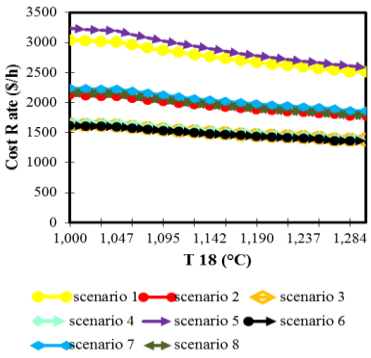

ج: آب شیرین تولیدی در حالت تخلیه



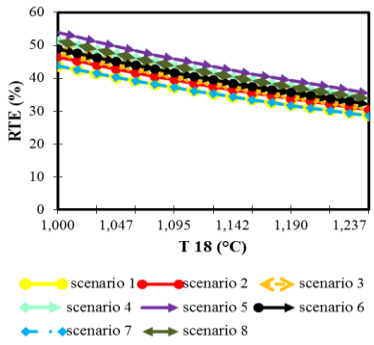

ب: آب شیرین تولیدی در حالت شارژ



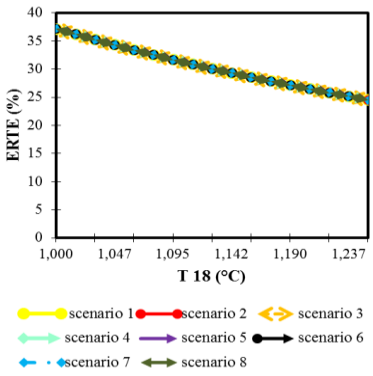

الف: توان کل



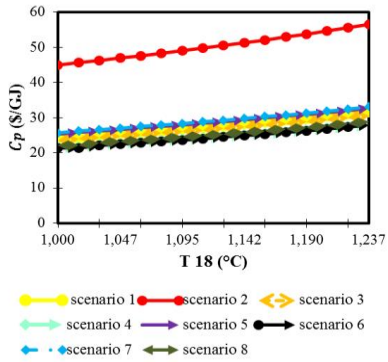

ز: نرخ هزینه




ر: RTE




د: ERTE




ژ: $C_{Pmulti}$

**شکل ۶- بررسی تاثیر دمای ورودی به منبع گرم ($T_{18}$) بر روی عملکرد سیستم.**

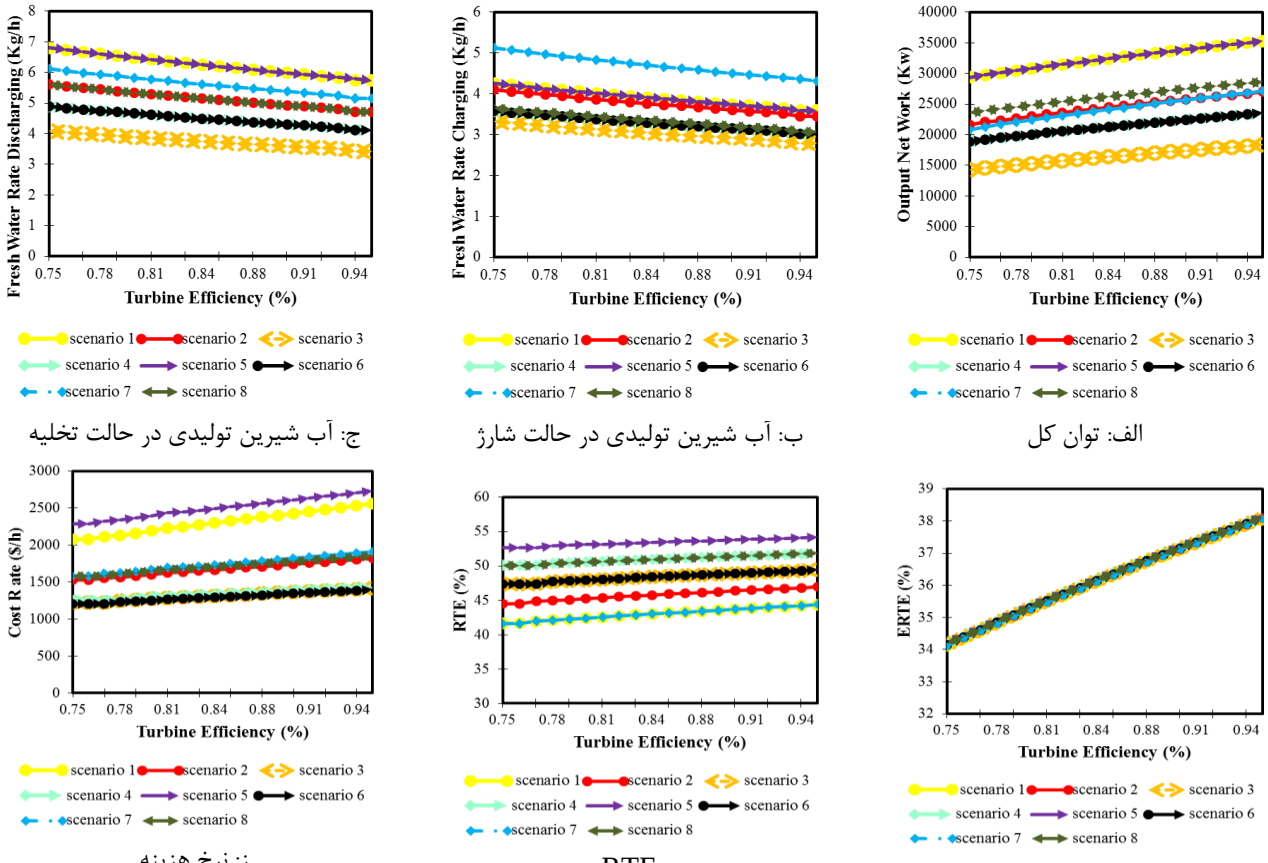
در شکل ۷ تاثیر بازده توربین در محدود ۰,۷۵ تا ۰,۹۵، بر روی خروجی‌های سیستم نمایش داده شده است. از پارامترهای عملکردی مهم توربین باید بازده توربین را نام برد که مقادیر این پارامتر در دورهای کاری مختلف توربین متفاوت بوده و عملکرد توربین را تحت تاثیر قرار می‌دهند. همانطور که در شکل ۷ الف، مشاهده می‌شود افزایش بازده توربین، باعث افزایش توان تولیدی کل سیستم شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۱ و ۵ است که بیشترین توان تولیدی را دارند و بدترین سناریو، سناریوی شماره ۳ است. در شکل ۷ ب، مشاهده می‌شود افزایش بازده توربین، باعث کاهش میزان



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

آب شیرین تولیدی سیستم در حالت شارژ شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۷ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است. در شکل ۷ ج، مشاهده می‌شود افزایش بازده توربین، باعث کاهش میزان آب شیرین تولیدی سیستم در حالت تخلیه شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۵ و ۱ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است. از آنجایی که بازده اگزرژی و توان تولیدی سیستم، رابطه مستقیم دارند، یعنی با افزایش توان سیستم، میزان راندمان سیستم نیز افزایش می‌یابد در شکل ۷ د و ۷ ر، مشاهده می‌شود که، میزان بازده اگزرژی رفت و برگشت (ERTE[1]) و بازده رفت و برگشت (RTE[2]) با افزایش بازده توربین، در حال افزایش است و بهترین سناریو، سناریوی شماره ۵ است. در شکل ۷ ز، مشاهده می‌شود که افزایش بازده توربین، باعث افزایش میزان نرخ هزینه شده است. زیرا، هرچه توان تولیدی سیستم بیشتر شود، نیاز سیستم به نگهداری و تعمیر سیستم و همچنین تجهیزات بزرگ‌تر و پیشرفته‌تر افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار نرخ هزینه هر دستگاه و بالطبع نرخ هزینه کل سیستم نیز افزایش پیدا می‌کند. در شکل ۷ ژ، مشاهده می‌شود که با افزایش بازده توربین، نرخ بهای تمام شده محصولات ($CP_{multi}$) در حال کاهش است و این امر نشان دهنده ایده آل بودن سیستم را دارد. با این حال باید گفت که، در نرخ جریان جرمی بالاتر، اندازه و ظرفیت قطعات افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش هزینه کل سرمایه‌گذاری سیستم می‌شود.




الف: توان کل

ب: آب شیرین تولیدی در حالت شارژ

ج: آب شیرین تولیدی در حالت تخلیه

د: ERTE

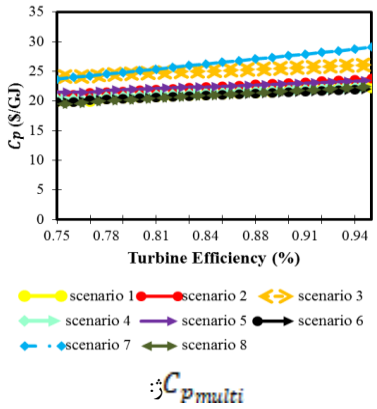
ر: RTE

ز: نرخ هزینه

[1] Exergy round trip efficiency
[2] Round trip efficiency



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]




**شکل ۷- بررسی تاثیر بازده توربین بر روی عملکرد سیستم.**

نتایج این بررسی‌ها نشان داد که، افزایش پارامترهای تعداد هلیوستات، بازده توربین، بازده کمپرسور و فشار ورودی به ذخیره‌ساز انرژی با هوای فشرده باعث افزایش عملکرد سیستم می‌شود و افزایش پارامتر دمای خروجی از ریکاپراتور (T17) و دمای ورودی به منبع گرم (T18) تاثیر منفی بر روی عملکرد سیستم داشته است. همچنین در انتهای مطالعه پارامتریک باید گفت که، بهترین سناریو، سناریوی شماره ۵ که در آن زمان شارژ ۷ ساعت، زمان دشارژ ۳ ساعت، تعداد ساعات آفتابی ۱۰ ساعت و تعداد افکت‌های آب شیرین کن ۷ تا بود، انتخاب شد. چرا که در این سناریو، بهترین عملکرد سیستم، یعنی مقدار بازده اگزرژی رفت و برگشت (ERTE[1])، بازده رفت و برگشت (RTE[2])، میزان توان تولیدی سیستم و نرخ آب شیرین تولیدی سیستم در بیشترین مقدار خود بودند. به‌همین دلیل، جهت ادامه مطالعه و اخذ نتایج سیستم، از سناریوی ۵ استفاده می‌شود و مرحله بعدی پژوهش بحث تخریب اگزرژی انجام می‌شود.

### ۲-۲-۳- تخریب اگزرژی

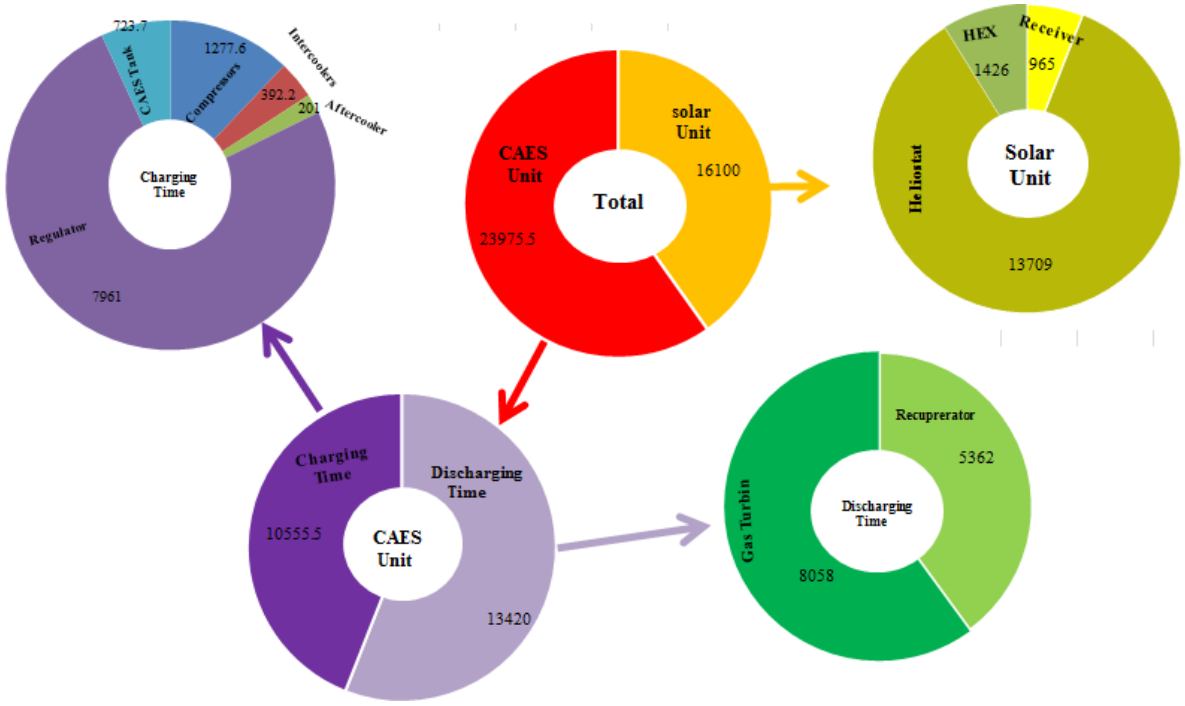
در شکل ۸ به بررسی میزان تخریب اگزرژی اجزا سیستم پرداخته شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد که بیشترین تخریب اگزرژی به ترتیب مربوط به واحد CAES و واحد خورشیدی است. در واحد خورشیدی بیشترین تخریب اگزرژی ربوط به هلیوستات است و در واحد CAES بیشترین تخریب اگزرژی مربوط به توربین گازی است.

[1] Exergy round trip efficiency
[2] Round trip efficiency



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]




**شکل 8- بررسی تخریب اگزرژی سیستم.**

## ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مطالعه مقایسه ای، انتخاب سیال کاری و طراحی بهینه پنج سیستم برای تولید برق و هیدروژن بر اساس یک سیکل خورشیدی با ذخیره سازی حرارتی پرداخته شد. سیستم مورد بررسی متشکل از زیرسیستم‌های هلیوستات یا همان متمرکز کننده‌های خورشیدی، توربین گازی، آب شیرین کن چند اثره و سیستم ذخیره‌ساز انرژی با هوای فشرده (CAES) 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 مطالعه به بررسی ۸ سناریوی مختلف، با در نظر گرفتن زمان شارژ، زمان دشارژ، تعداد ساعات آفتابی و تعداد افکت‌های آب شیرین کن مختلف، پرداخته شد و در نهایت بهترین سناریو، سناریوی شماره ۵ که در آن زمان شارژ ۷ ساعت، زمان دشارژ ۳ ساعت، تعداد ساعات آفتابی ۱۰ ساعت و تعداد افکت‌های آب شیرین کن ۷ تا بود، انتخاب شد. چرا که در این سناریو، بهترین عملکرد سیستم، یعنی مقدار بازده اگزرژی رفت و برگشت (ERTE)، بازده رفت و برگشت (RTE)، میزان توان تولیدی سیستم و نرخ آب شیرین تولیدی سیستم در بیشترین مقدار خود بودند. بهترین سناریو برای مطالعه انتخاب شد. طبق بررسی‌های به عمل آمده از پارامترهای تاثیرگذار بر روی خروجی‌های سیستم می‌توان از تعداد هلیوستات، بازده توربین و بازده کمپرسور نام برد. آنالیز اقتصادی سیستم نشان داد که بیشترین نرخ هزینه در بین اجزاء سیستم به ترتیب مربوط به واحد CAES، واحد خورشیدی و توربین گازی است. همچنین آنالیز اگزرژی سیستم نشان داد که بیشترین تخریب اگزرژی به ترتیب مربوط به واحد CAES و واحد خورشیدی است.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

## مراجع


1- Maczulak, A. (2010). Renewable Energy: Sources and Methods. New York: Facts On File.

۲- ظهوریان‌مهر، محمد جلال.، کبیری، کوروش.، ۱۳۹۰، جایگزینی اسلوبمند منابع فسیلی با زیست توده: یک ضرورت راهبردی، فصلنامه پژوهشی- آموزشی، سال اول، شماره ۱، صفحه ۳۶ -۲۱.

3- Assareh, E., Assareh, M., Alirahmi, S. M., Jalilinasrabady, S., Dejdar, A., Izadi, M., 2021, 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.

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

5- Assareh, E., Alirahmi, S. M., Ahmadi, P., 2021, 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.

6- Assareh, E., Assareh, M., Alirahmi, S. M., Shayegh, M., 2021, Thermodynamic assessment of a cogeneration system with CSP Driven-Brayton and Rankine cycles for electric power and hydrogen production in the framework of the energy and water nexus, Energy Nexus, 100031.

7- 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.

۸- دژدار، علی.، عصاره، احسان‌اله.، ۱۳۹۹، مدلسازی، بهینه‌سازی و بررسی اگزرژواکونومیک یک سیستم تولید چندگانه انرژی برای تولید برق بر مبنای انرژی خورشیدی، باد و انرژی حرارتی اقیانوسی در مناطق ساحلی ، مجله علمی- تخصصی مهندسی مکانیک تبدیل انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، جلد ۷ شماره ۳ صفحات ۸۱-۹۴.

۹- گلشن‌زاده، مسعود،، عصاره، احسان‌اله.، ۱۳۹۹، تحلیل اگزرژی، انرژی، مدلسازی و بررسی پارامترهای اقتصادی و زیست محیطی یک سیستم تولید چند گانه همراه با تولید برق پاک و آب شیرین، مجله علمی- تخصصی مهندسی مکانیک تبدیل انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، جلد ۷ شماره ۴ صفحات ۲۲-۳۶.

۱۰- برومند، علی، عصاره، احسان‌اله.، ۱۳۹۹، ترکیب سیکل برایتون و یک سیستم کلکتور خورشیدی با دریافت کننده مرکزی برای تولید برق، آب شیرین و سرمایش، مجله علمی- تخصصی مهندسی مکانیک تبدیل انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران.

۱۱- فرهادی، احسان.، عصاره، احسان‌اله، ۱۳۹۹، تحلیل و بررسی یک سیستم تولید چند گانه انرژی بر مبنای انرژی زمین گرمایی برای تولید برق پاک و هیدروژن پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران.

۱۲- سیداحمدی، سیداحسان، عصاره، احسان‌اله.، ۱۴۰۰، تجزیه و تحلیل پارامترهای طراحی بر روی یک سیستم زمین گرمایی و استفاده از ذخیره‌ساز انرژی با هوای فشرده برای تولید برق پاک، مجله علمی- تخصصی مهندسی مکانیک تبدیل انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران.

13- 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, 1 April, 117150.

14- Heidarnejad, P., Genceli, H., Asker, M., Khanmohammadi, S., 2020, A comprehensive approach for optimizing a biomass assisted geothermal power plant with freshwater production: Techno-economic and environmental evaluation, Energy Conversion and Management 226, 113514.

15- 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.

16- Li, J., Yang, Z., Hu, S., Yang, F., Duan, Y., 2020, Effects of shell-and-tube heat exchanger arranged forms on the thermoeconomic performance of organic Rankine cycle systems using hydrocarbons, Energy Conversion and Management, Volume 203, 112248.


[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

17- 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.
18- 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
19- Pourrahmani, H., Moghimi, M., 2019, Exergoeconomic analysis and multi-objective optimization of a novel continuous solar-driven hydrogen production system assisted by phase change material thermal storage system, *Energy*, vol. 189, p. 116170.
20- Abbasi H. R., Pourrahmani H., Yavarinasab A., Emadi M. A., Hoorfar M., 2019,"Exergoeconomic optimization of a solar driven system with reverse osmosis desalination unit and phase change material thermal energy storages," *Energy Convers. Manag.*, vol. 199, no. June, p. 112042.
21- Osczevski R. J., 1995, The Basis of Wind Chill," *ARCTIC*, vol. 48, no. 4, pp. 372–382.
22- Vojdani M, Fakhari I, Ahmadi P. A novel triple pressure HRSG integrated with MED/SOFC/GT for cogeneration of electricity and freshwater: Techno-economicenvironmental assessment, and multi-objective optimization. Energy Convers Manage 2021;233:113876.
23- Khoshgoftar Manesh MH, Ghalami H, Amidpour M, Hamedi MH. Optimal coupling of site utility steam network with MED-RO desalination through total site analysis and exergoeconomic optimization. Desalination 2013;316:42–52.
24- Al-Mutaz IS, Wazeer I. Development of a steady-state mathematical model for MEE-TVC desalination plants. Desalination 2014;351:9–18.
25- Roushenas R, Razmi AR, Soltani M, Torabi M, Dusseault MB, Nathwani J. Thermoenvironmental analysis of a novel cogeneration system based on solid oxide fuel cell (SOFC) and compressed air energy storage (CAES) coupled with turbocharger. Appl Therm Eng 2020;181:115978.
26- Soltani M, Nabat MH, Razmi AR, Dusseault MB, Nathwani J. A comparative study between ORC and Kalina based waste heat recovery cycles applied to a green compressed air energy storage (CAES) system. Energy Convers Manage 2020;222: 113203.
27- Alasfour FN, Darwish MA, Bin Amer AO. Thermal analysis of ME—TVC+MEE desalination systems. Desalination 2005;174(1):39–61.
28- Al-Mutaz IS, Wazeer I. Development of a steady-state mathematical model for MEE-TVC desalination plants. Desalination 2014;351:9–18.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

## چکیده انگلیسی

# Thermodynamic and economic evaluation of a new cogeneration system based on a combination of multi-effect desalination and compressed air energy storage

**Majid Jafari[1], Ehsanolah Assareh[1*]**

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

Received: 2022.03.10 Accepted: 2022.04.21

**Abstract**

In this study, thermodynamic evaluation and regional analysis of a new cogeneration system based on a combination of multi-effect desalination and compressed air energy storage were performed. The study system consists of heliostat subsystems, gas turbine, multi-effect desalination plant and compressed air energy storage system. 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, 8 different scenarios were studied, taking into account the charging time, discharge time, number of sunny hours and the number of different desalination effects, and finally the best scenario was selected for the study. Also, at the end of the parametric study, it should be said that the best scenario, scenario number 5, in which there were 7, was selected. Because in this scenario, the best performance of the system, ie the amount of reciprocal exergy efficiency (ERTE), reciprocal efficiency (RTE), the amount of system power and the rate of fresh water produced by the system were at their highest rate. According to the studies performed on the parameters affecting the system outputs, the number of heliostat, turbine efficiency and compressor efficiency can be mentioned. Also, the exergy analysis of the system showed that the most exergy degradation was related to the CAES unit and the solar unit, respectively.

**Key words:** Solar energy, multiple energy generation system, compressed air energy storage, exergy efficiency, cost rate.

*corresponding author: assareh@iaud.ac.ir

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7 ]

**Cite this article as:** Majid Jafari, Ehsanolah Assareh. Thermodynamic and economic evaluation of a new cogeneration system based on a combination of multi-effect desalination and compressed air energy storage. Journal of Energy Conversion, 2022, 9(3), 23-48. DOR**:** 20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7