



## 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<sup>۱</sup>، احسان‌اله عصاره<sup>۲\*</sup>

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](mailto: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 انرژی 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 انرژی سیستم نشان داد که بیشترین تخریب انرژی به ترتیب مربوط به واحد CAES و واحد خورشیدی است.

\* **عهده‌دار مکاتبات:** [assareh@iaud.ac.ir](mailto:assareh@iaud.ac.ir)

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

هزینه.

### ۱- مقدمه

در حال حاضر بحث انرژی تیتراول موضوعات مهم جهان است و نیروی اصلی در جهان و زندگی را انرژی تامین می نماید. پس استفاده صحیح از انرژی‌های موجود و حفظ انرژی‌های 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 بین‌المللی، 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.

DOR: [20.1001.1.20089813.1401.9.3.2.7](https://doi.org/10.20089813.1401.9.3.2.7)

۱۴۰۱؛ ۹ (۳): ۲۳-۴۸

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 انرژی 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 انرژی 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 زیرسیستم‌های کلکتور خورشیدی، سیکل ارگانیک رانکین و توربین بادی تشکیل شده بود. در این سیستم توسط توربین سیکل ارگانیک رانکین توان تولید می‌شود و توان تولیدی توسط ژنراتور تبدیل به انرژی الکتریکی می‌شود و به شبکه سراسری توزیع برق انتقال داده می‌شود. این سیستم می‌تواند در بهترین و بهینه‌ترین حالت خود ۴۴۸ کیلووات توان تولید کند. همچنین بازده انرژی سیستم ۱۳،۸۸ درصد است. نتایج نشان داد که استفاده از ترموالکتریک در سیکل ارگانیک رانکین باعث بهبود توان تولیدی سیستم می‌شود [۳]. عصاره و همکاران<sup>۱</sup> در سال ۲۰۲۱، بر روی شبیه‌سازی و بهینه‌سازی یک سیستم تولید چندگانه انرژی بر مبنای انرژی خورشیدی و استفاده از الکترولایزر غشای تبادل پروتون<sup>۲</sup> 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 الکترولایزر 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 انرژی 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، سرمایه‌گذاری 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 انرژی سیستم شد. دو تابع هدف این پژوهش نرخ هزینه و بازده انرژی عنوان شد. برای تعیین مقادیر بهینه توابع هدف، از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه ژنتیک استفاده شد. نتایج نشان داد نرخ هزینه نهایی بعد از بهینه‌سازی ۱۰،۴۱ دلار بر گیگاژول و بازده انرژی 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 تأمین نیاز الکتریکی یک الکترولایزر برای تولید هیدروژن با استفاده از گرمای باقیمانده از توربین گازی استفاده شد. این سیستم شامل زیرسیستم‌های هلیوستات، سیکل ارگانیک رانکین، سیکل بخار، سیکل برایتون و الکترولایزر PEM بود. شش متغیر طراحی تاثیر گذار برای بهینه‌سازی سیستم انتخاب شد و با استفاده از الگوریتم NSGA-II سیستم بهینه‌سازی شد. در نهایت بازده انرژی 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 انرژی- اقتصادی و بهینه‌سازی چند هدفه یک سیستم انرژی چندگانه شامل تولید هیدروژن، آب شیرین، سرمایه‌گذاری، گرمایش و آب گرم و همچنین تولید انرژی برق برای

<sup>1</sup> Assareh et al

<sup>2</sup> Proton Exchange Membrane

شهرستان دزفول پرداختند. این سیستم شامل زیرسیستم های سیکل ارگانیک رانکین، سیکل بخار، الکترولایزر PEM، سیکل تبرید جذبی، زمین گرمایی و نمک زدای اسمز معکوس بود. دو تابع هدف این پژوهش انرژی و هزینه کل معرفی شد که بهینه سازی آن با الگوریتم ژنتیک انجام شد. نتایج بهینه سازی نشان داد که بهترین مقدار برای بازده انرژی 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 انرژی 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 انرژی‌اقتصادی 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 انرژی ۳۳،۳۹ درصد و نرخ هزینه (\$/h) ۹۸،۸۱ گزارش شد [۸]. گلشن‌زاده و عصاره در سال ۱۳۹۹، بر روی تحلیل انرژی، 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 انرژی 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 انرژی دارد. همچنین نتایج تخریب انرژی نشان داد، سیستم خورشیدی با ۶۰ درصد و توربین بادی با ۱۷ درصد بیشترین میزان تخریب انرژی 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 سرمایه‌گذاری 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 انرژی ۲۹،۴۰ درصد و نرخ هزینه (\$/h) ۲۸۹،۴ به دست آمد [۱۰]. فرهادی و عصاره در سال ۱۳۹۹، بر روی تحلیل و بررسی یک سیستم تولید چندگانه 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 انرژی سیستم مربوط به اواپراتور و کمترین تخریب انرژی 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 انرژی ۶۳،۰۰۹ درصد و نرخ هزینه ۲ دلار بر ساعت گزارش شد [۱۲]. دوبکرمه و همکاران<sup>۱</sup> در سال ۲۰۲۰، به تحلیل یک

<sup>1</sup> Dubekerme et al

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 انرژی سیستم می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که دو منبع اصلی تخریب انرژی در این سیستم، کلکتور خورشیدی و آب شیرین‌کن اسمز معکوس است [۱۳].

حیدرنازاد و همکاران<sup>۱</sup> 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 انرژی 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]. کهرامان<sup>۲</sup> 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 انرژی سیستم از ۵۴،۹ درصد به ۳۶،۷ درصد کاهش می‌یابد، ولی میزان نرخ هزینه سیستم افزایش یافت [۱۵]. لی و همکاران<sup>۳</sup> 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 شیرین‌کن 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 و آب 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

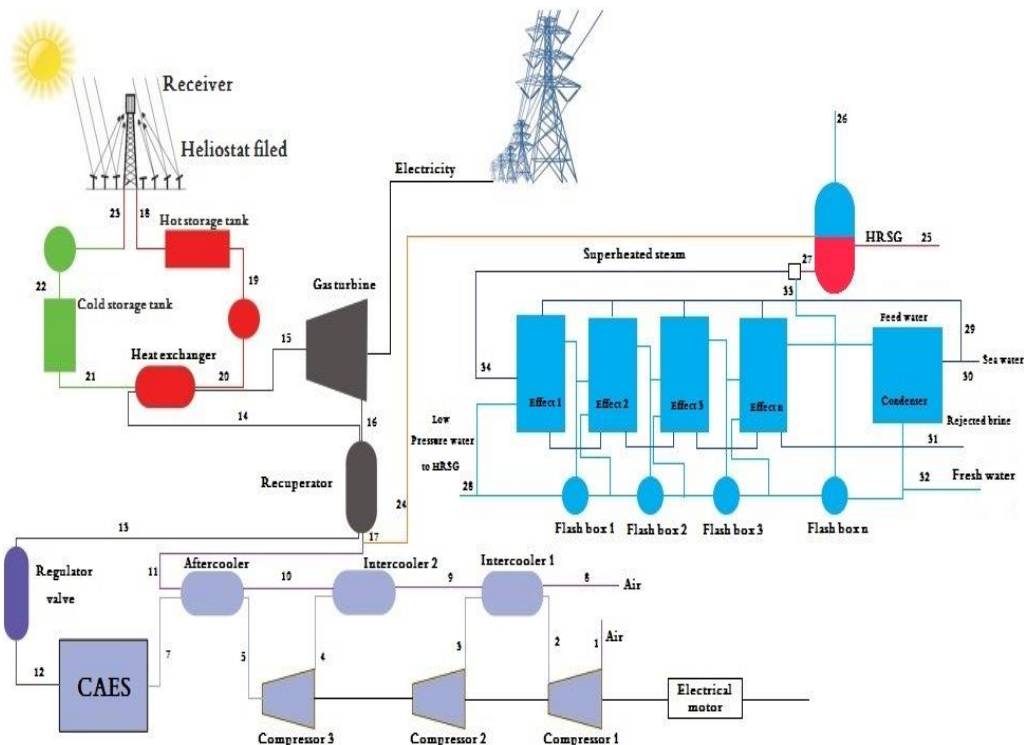
در شکل ۱، شماتیک سیستم تجدیدپذیر مورد بررسی در این پژوهش معرفی شده است. این سیستم که بر پایه انرژی خورشیدی است، متشکل از زیرسیستم‌های هلیوستات، توربین گازی، آب شیرین‌کن چند اثره (MED-TVC) و یک سیستم ذخیره انرژی با هوای فشرده (CAES) است. محصول این سیستم تولید برق پاک و آب شیرین است. منبع حرارت در این 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-

<sup>1</sup> Heidarnejad et al

<sup>2</sup> Kahraman et al

<sup>3</sup> Li et al

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 افتراکولر، حجم مخزن ذخیره را کاهش می‌دهد. 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 می‌شود. 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 می‌دهد. هوای فشرده با دما و فشار بالا از طریق توربین منبسط می‌شود و در زمان اوج نیاز بدون هیچ گونه انتشار CO<sub>2</sub> و اثرات مخربی بر محیط زیست، برق تمیز تولید می‌کند. هوای منبسط شده که هنوز چگالی انرژی بالایی دارد از بازگیرنده عبور می‌کند، سپس گرمای باقی‌مانده برای تولید آب در واحد MED-TVC در هنگام تخلیه استفاده می‌شود.



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. به همین 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

مقاطع 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 می‌شود. 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 می‌شود. 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 می‌شود. مفروضات زیر جهت ساده سازی حل مسئله می‌شود:

- شرایط حالت پایدار
  - توربین‌ها و پمپ‌ها 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 انرژی‌های 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.

مقدار	معرفی پارامتر	داده
25°C	دمای محیط	$T_0$
101.3 [kpa]	فشار محیط	$P_0$
850 W <sup>2</sup> /m	تابش خورشیدی	DNI
0.88	بازده توربین	$\eta_{turbine}$
0.9	بازده پمپ	$\eta_{pump}$
5m/s	سرعت باد	v
300	تعداد هلیوستات	$N_{hel}$
162.75°C	دمای خروجی از ریکاپراتور	$T_{17}$
1030.14°C	دمای ورودی به منبع ذخیره گرم	$T_{18}$
1314KPa	فشار ورودی به CAES	$P_7$

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

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum_i \dot{m}_i \left( h_i + \frac{v_i^2}{2} + gZ_i \right) - \sum_e \dot{m}_e \left( h_e + \frac{v_e^2}{2} + gZ_e \right) = \frac{dE_{cv}}{dt} \quad (1)$$

جدول ۲- معادلات تعادل نرخ انرژی سیستم.

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

در نهایت باید گفت که مقدار توان خالص کل سیستم از رابطه ۲ به دست 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<sup>۱</sup> استفاده می‌شود [۱۹]:

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

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

در این روابط  $\eta_h$  و  $A_h \cdot N$  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]:

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

<sup>۱</sup> Receiver

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

$$h_a = 10.45 - v_a + 10\sqrt{v_a} \left( \frac{W}{m^2 K} \right) \quad (6)$$

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

$$\dot{Q}_r = \dot{Q}_h - \dot{Q}_{loss} = \dot{m}(h_{out} - h_{in}) \quad (7)$$

### ۲-۲-۲- آنالیز واحد نمک زدایی فشرده سازی بخار چند اثره<sup>۱</sup>

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]:

$$\Delta T = \frac{T_1 - T_N}{N} \quad (8)$$

$$T'_i = T_i - NEA_i \quad (9)$$

$$T_{v,n} = T_n - BPE \quad (10)$$

که در این رابطه  $NEA_i$  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.

$$NEA_i = 0/33 \frac{(T_{i-1} - T_i)^{0/55}}{T_{vi}} \quad (11)$$

$$BPE = x[B + (CX)]10^{-3} \quad (12)$$

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

### ۲-۲-۳- آنالیز اگزرژی<sup>۲</sup>

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.

<sup>1</sup> Multi-effect vapor compression desalination unit

<sup>2</sup> exergy



$$Ex_Q + \sum_{in} \dot{m}_{in} ex_{in} = Ex_W + Ex_D \sum_{out} \dot{m}_{out} ex_{out} \quad (13)$$

در اینجا:

$$Ex_W = W \quad (14)$$

$$Ex_Q = Q_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \quad (15)$$

$$ex = ex_{ph} + ex_{ch} \quad (16)$$

۴-۲-۲- بررسی تخریب انرژی<sup>۱</sup>

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

جدول ۳- تخریب انرژی اجزا سیستم.

رابطه تخریب انرژی	اجزاء سیستم
$\dot{E}_{Eva} = Ex_1 + Ex_7 - Ex_2 - Ex_4$	اوپراتور
$\dot{E}_{GAS\ Turbine} = Ex_{15} - Ex_{16} - W_{GAS\ turbine}$	توربین گازی
$\dot{E}_{afc} = Ex_{110} + Ex_6 - Ex_7 - Ex_{11}$	افتراکولر
$\dot{E}_{inc1} = Ex_8 + Ex_2 - Ex_9 - Ex_3$	اینترکولر ۱
$\dot{E}_{inc2} = Ex_9 + Ex_4 - Ex_{10} - Ex_5$	اینترکولر ۲
$\dot{E}_{Compressor1} = Ex_1 + \dot{W}_{Compressor1} - Ex_2$	کمپرسور شماره ۱
$\dot{E}_{Compressor2} = Ex_3 + \dot{W}_{Compressor2} - Ex_4$	کمپرسور شماره ۲
$\dot{E}_{Compressor3} = Ex_5 + \dot{W}_{Compressor3} - Ex_6$	کمپرسور شماره ۳
$\dot{E}_{HEX} = Ex_{14} + Ex_{20} - Ex_{15} - Ex_{21}$	مبدل حرارتی
$\dot{E}_{HEL} = E_{Sim} - E_r$	هلیوستات
$\dot{E}_{REC} = Ex_{23} + E_r - Ex_{18}$	ریکاپراتور
$\dot{E}_{Recg} = Ex_{13} + Ex_{16} - Ex_{14} - Ex_{17}$	ریگلاتور
$\dot{E}_{CAES} = Ex_7 - (T_{discharge} / T_{charge}) \times Ex_{12}$	CAES

## ۵-۲-۲- بررسی اقتصادی

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

<sup>۱</sup> Exergy destruction

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

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

در نهایت باید گفت که میزان هزینه کل سیستم<sup>۱</sup> از مجموع هزینه اجزا سیستم به دست آورده می‌شود، و طبق رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$Z_{total} = Z_{GASTurbine} + Z_{HEX} + Z_{Comp 1} + Z_{Comp 2} + Z_{Comp 3} + Z_{CAES} + Z_{Aftercooler} + Z_{Intercooler1} + Z_{Intercooler2} + Z_{Cold\_Tank} + Z_{Hot\_Tank} + Z_{solar, Heliostat} + Z_{solar, rec} + Z_{Re c} + Z_{Re g} \quad (17)$$

#### 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	$\dot{C}_{W\_AC1} + \dot{C}_1 + \dot{Z}_{Compressor1} = \dot{C}_2$	-

<sup>۱</sup> Total Cost

Compressor 2	$\dot{C}_{W\_AC2} + \dot{C}_3 + \dot{Z}_{Compressor2} = \dot{C}_4$	-
Compressor 3	$\dot{C}_{W\_AC3} + \dot{C}_5 + \dot{Z}_{Compressor3} = \dot{C}_6$	-
Intercooler 1	$\dot{C}_2 + \dot{C}_8 + \dot{Z}_{Intercooler1} = \dot{C}_3 + \dot{C}_9$	-
Intercooler 2	$\dot{C}_4 + \dot{C}_9 + \dot{Z}_{Intercooler1} = \dot{C}_5 + \dot{C}_{10}$	-
Aftercooler	$\dot{C}_6 + \dot{C}_{10} + \dot{Z}_{Aftercooler1} = \dot{C}_7 + \dot{C}_{11}$	-
CAES	$\dot{C}_7 + \dot{Z}_{CAES} = \dot{C}_{12}$	-
Regulator	$\dot{C}_{12} + \dot{Z}_{Regulator} = \dot{C}_{13}$	-
Recuperates	$\dot{C}_{13} + \dot{C}_{16} + \dot{Z}_{Rec} = \dot{C}_{14} + \dot{C}_{17}$	-
Heat exchanger	$\dot{C}_{14} + \dot{C}_{20} + \dot{Z}_{Heat\ exchanger} = \dot{C}_{15} + \dot{C}_{21}$	-
Gas Turbin	$\dot{C}_{15} + \dot{Z}_{GT} = C_{WGT} + \dot{C}_{16}$	$C_{18} = C_{20}, C_{22} = C_{23}$
solar system	$\dot{C}_{DNI} + \dot{Z}_{Heliostat} + \dot{C}_{Re\ x} = \dot{C}_{18}$	-
Hot Tank	$\dot{C}_{18} + \dot{Z}_{Hot\ Tank} = \dot{C}_{19}$	-
Cold Tank	$\dot{C}_{21} + \dot{Z}_{Cold\ Tank} = \dot{C}_{22}$	-
MED-TVC	$\dot{C}_{11} + \dot{Z}_{MED} = \dot{C}_{Fre}$	-

مقدار هزینه  $C_{p\_multi}$  از رابطه ۱۳ محاسبه می‌شود:

$$C_{p\_multi} = C_{W_{GT}} + C_{W_{AC1}} + C_{W_{AC2}} + C_{W_{AC3}} + \dot{C}_{Fre} / ((\dot{W}_{GASTurbin} - (T_{discharge} / T_{charge}) \times (\dot{W}_{CAES} + Ex_{29\_dch})) / 1000 \times 3.6) \quad (18)$$

### ۷-۲-۲- راندمان سیستم

برای ارزیابی عملکرد سیستم بازده انرژی و انرژی 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 (ERTE) Exergy round trip efficiency

$$ERTE = (\dot{W}_{H\_GASTurbin} + \dot{E}x_{29\_dch} \times T_{discharge} + \dot{E}x_{29\_ch} \times T_{charge}) \times 100 / (\dot{W}_{CAES} + \dot{E}x_{H\_Sun}) \times 100 / (\dot{W}_{Input\_CAES} \times T_{charge} + Q_{heater} \times T_{discharge}) \quad (19)$$

رابطه (RTE) round trip efficiency

$$RTE = (\dot{W}_{H\_GASTurbin} + D_{tot\_dch} \times h_{29} \times T_{discharge} + D_{tot\_ch} \times h_{29} \times T_{charge}) \times 100 / (\dot{W}_{H\_Input\_CAES} + Q_{Sun} \times time_{Sun} / 1000) \quad (20)$$

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- اعتبارسنجی

به منظور 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. همان گونه 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.

جدول ۵- نتایج اعتبارسنجی.

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

### ۳-۲- 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.

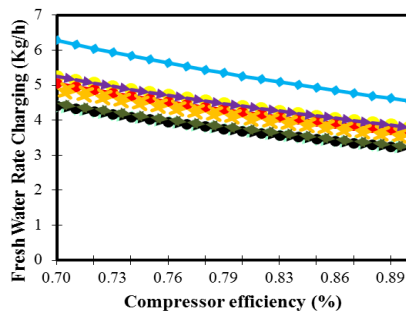
جدول ۶- سناریوها.

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

### ۳-۲-۱- مطالعه پارامتریک

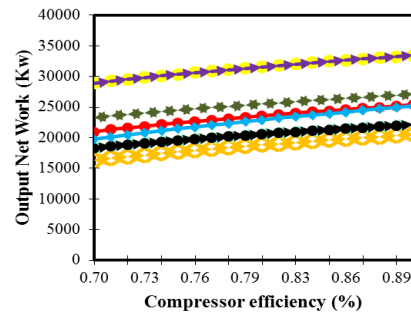
در شکل ۲ تاثیر بازده کمپرسور در محدود ۰,۷ تا ۰,۹، بر روی خروجی‌های سیستم نمایش داده شده است. یکی از پارامترهای بسیار تاثیرگذار در این سیستم، بازده کمپرسور می‌باشد. دو پارامتر عملکردی مهم در کمپرسور شامل نسبت فشار کمپرسور و بازده کمپرسور هستند که مقادیر این دو پارامتر در دوره‌های کاری مختلف کمپرسور متفاوت 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

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 انرژی 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 انرژی رفت و برگشت (ERTE<sup>۱</sup>) و بازده رفت و برگشت (RTE<sup>۲</sup>) 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<sub>multi</sub>) 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.



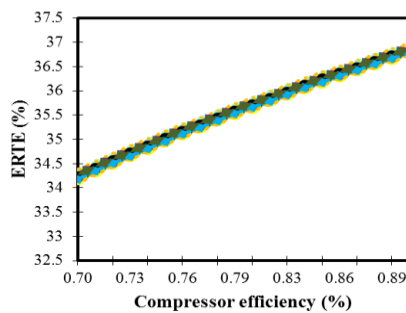
● scenario 1 ● scenario 2 ◆ scenario 3  
◆ scenario 4 ● scenario 5 ● scenario 6  
◆ scenario 7 ◆ scenario 8

ب: آب شیرین تولیدی در حالت شارژ



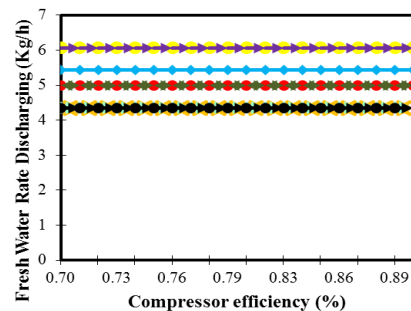
● scenario 1 ● scenario 2 ◆ scenario 3  
◆ scenario 4 ● scenario 5 ● scenario 6  
◆ scenario 7 ◆ scenario 8

الف: توان کل



● scenario 1 ● scenario 2 ◆ scenario 3  
◆ scenario 4 ● scenario 5 ● scenario 6  
◆ scenario 7 ◆ scenario 8

د: ERTE

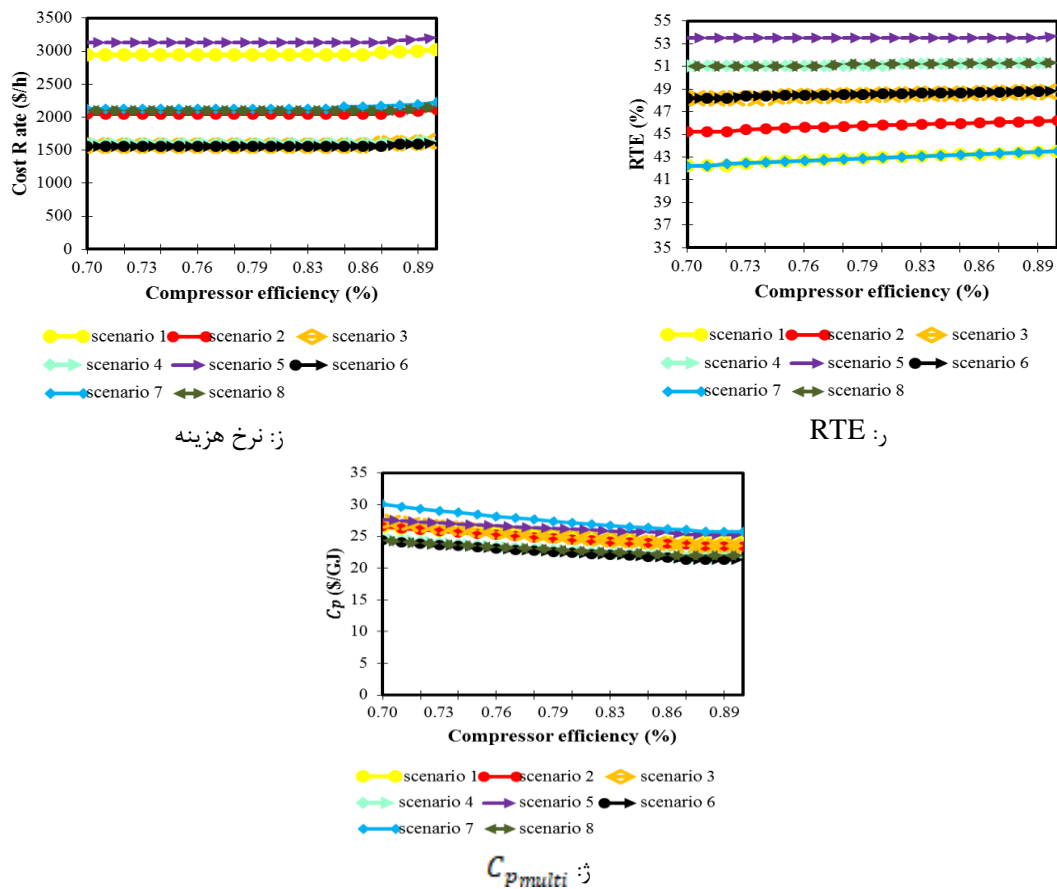


● scenario 1 ● scenario 2 ◆ scenario 3  
◆ scenario 4 ● scenario 5 ● scenario 6  
◆ scenario 7 ◆ scenario 8

ج: آب شیرین تولیدی در حالت تخلیه

<sup>1</sup> Exergy round trip efficiency

<sup>2</sup> Round trip efficiency



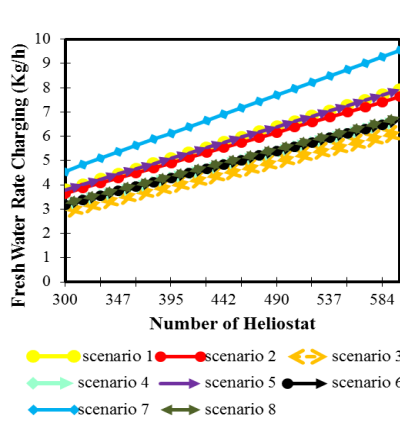
شکل ۲- بررسی تاثیر بازده کمپرسور بر روی عملکرد سیستم.

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.

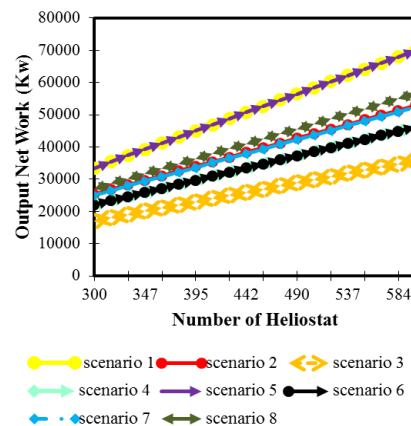
از آنجایی که بازده انرژی و توان تولیدی سیستم، رابطه مستقیم دارند، یعنی با افزایش توان سیستم، میزان راندمان سیستم نیز افزایش می‌یابد در شکل ۳ د و ۳ ر، مشاهده می‌شود که، میزان بازده انرژی رفت و برگشت (ERTE<sup>1</sup>) و بازده رفت و

<sup>1</sup> Exergy round trip efficiency

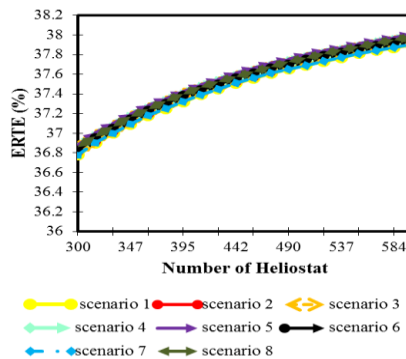
برگشت (RTE<sup>۱</sup>) در حال افزایش است و بهترین سناریو، سناریوی شماره ۵ است. در شکل ۳، مشاهده می‌شود که افزایش تعداد هلیوستات، باعث افزایش میزان نرخ هزینه شده است. زیرا، هرچه توان تولیدی سیستم بیشتر شود، نیاز سیستم به نگهداری و تعمیر سیستم و همچنین تجهیزات بزرگتر و پیشرفته‌تر افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار نرخ هزینه هر دستگاه و بالطبع نرخ هزینه کل سیستم نیز افزایش پیدا می‌کند. در شکل ۳، مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد هلیوستات، نرخ بهای تمام شده محصولات (CP<sub>multi</sub>) 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.



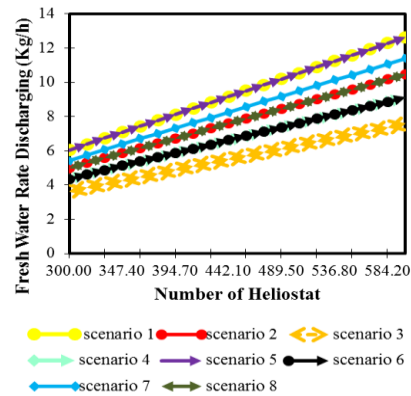
ب: آب شیرین تولیدی در حالت شارژ



الف: توان کل

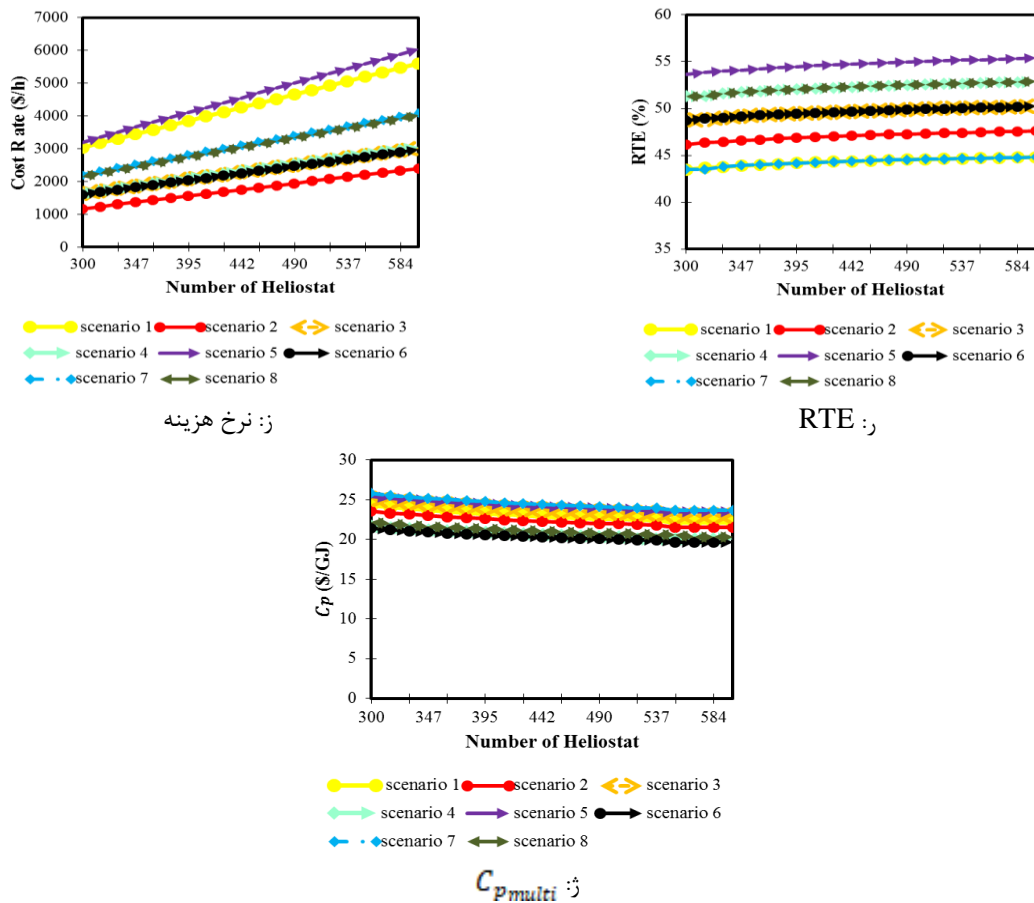


د: ERTE



ج: آب شیرین تولیدی در حالت تخلیه

<sup>1</sup> Round trip efficiency



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

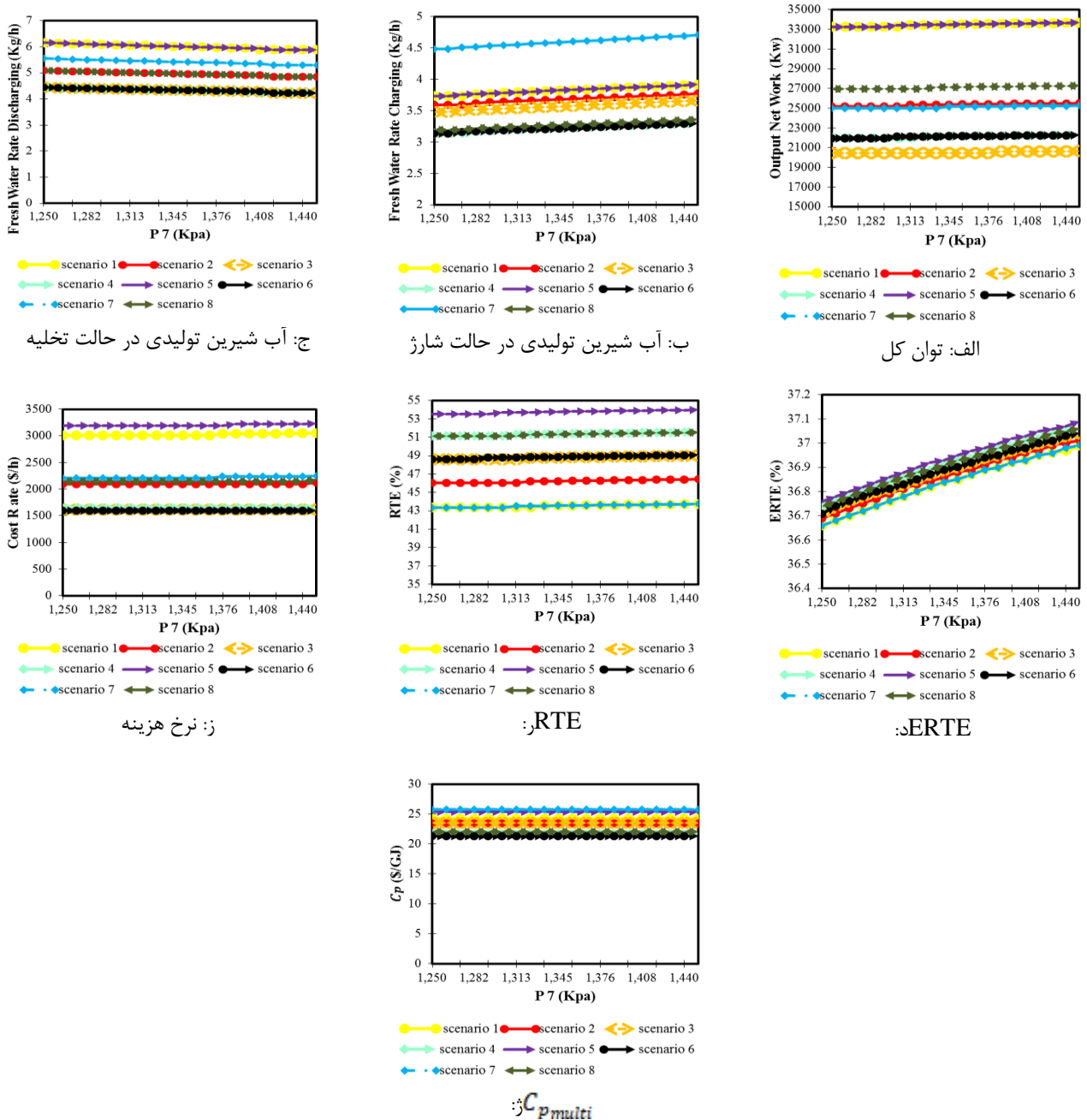
در شکل ۴ تاثیر فشار ورودی به CAES در محدود ۱۲۵۰ تا ۱۴۵۰ کیلوپاسکال، بر روی خروجی‌های سیستم نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۴ الف، مشاهده می‌شود افزایش فشار ورودی به CAES باعث افزایش توان تولیدی کل سیستم شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۱ و ۵ است که بیشترین توان تولیدی را دارند 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<sup>۱</sup>) و بازده رفت و برگشت (RTE<sup>۲</sup>) 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

<sup>1</sup> Exergy round trip efficiency

<sup>2</sup> Round trip efficiency



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.

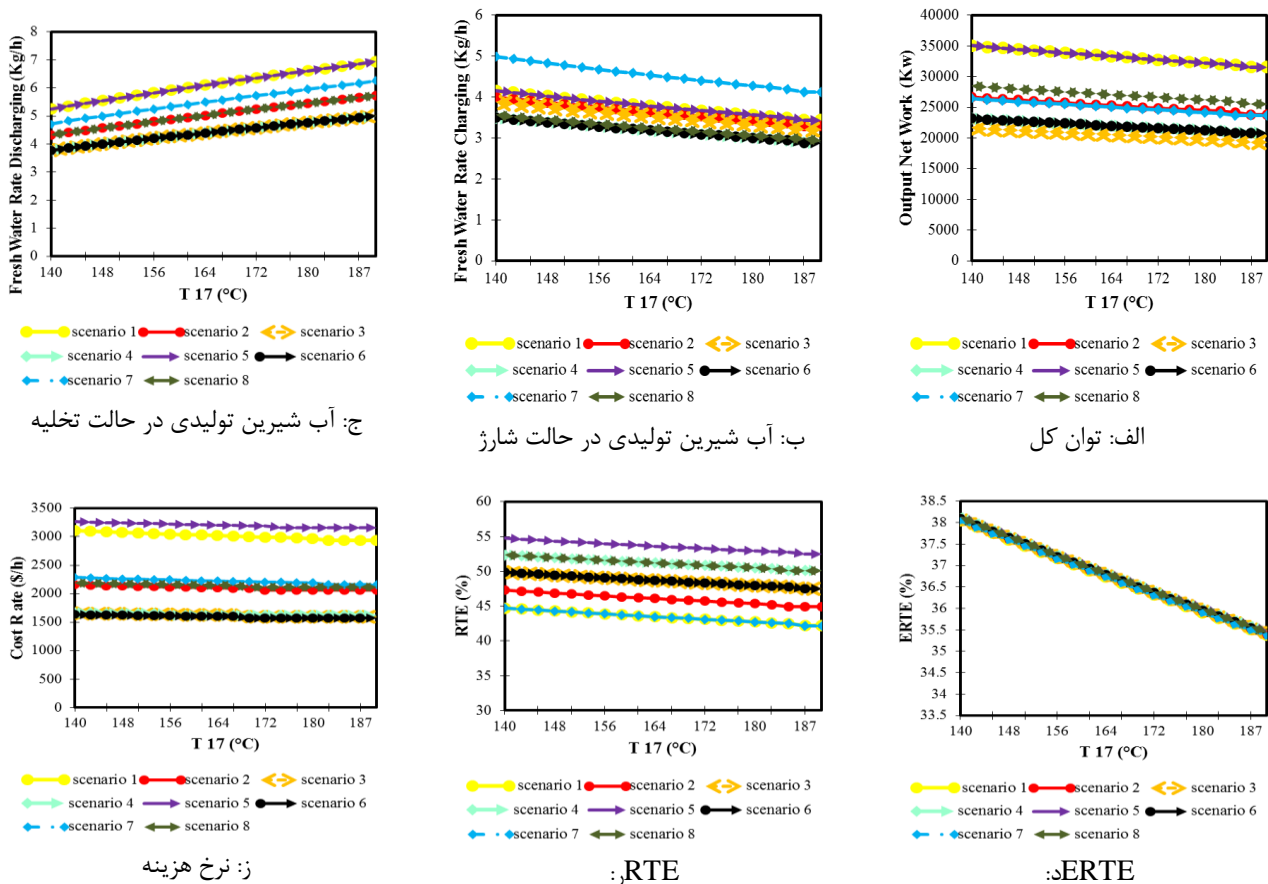


شکل ۴- بررسی تاثیر فشار ورودی به CAES بر روی عملکرد سیستم.

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

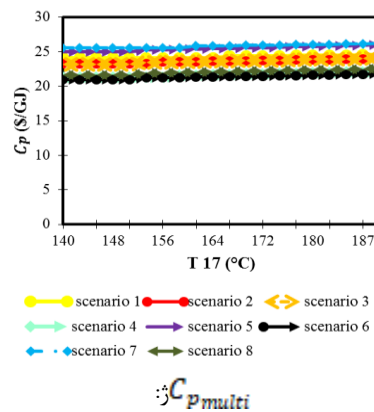
را دارند و بدترین سناریو، سناریوی شماره ۳ است. در شکل ۵ ب، مشاهده می‌شود افزایش دمای خروجی از ریکاپراتور ( $T_{17}$ )، باعث کاهش میزان آب شیرین تولیدی سیستم در حالت شارژ شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۷ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است. در شکل ۵ ج، مشاهده می‌شود افزایش 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.



<sup>1</sup> Exergy round trip efficiency

<sup>2</sup> Round trip efficiency



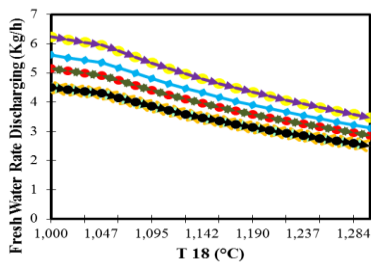
شکل ۵- بررسی تاثیر دمای خروجی از ریکاپراتور ( $T_{17}$ ) بر روی عملکرد سیستم.

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 ۶ ب-۴، 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.

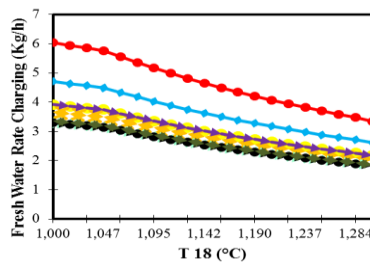
<sup>1</sup> Exergy round trip efficiency

<sup>2</sup> Round trip efficiency



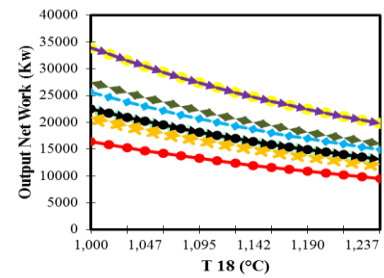
scenario 1 scenario 2 scenario 3  
scenario 4 scenario 5 scenario 6  
scenario 7 scenario 8

ج: آب شیرین تولیدی در حالت تخلیه



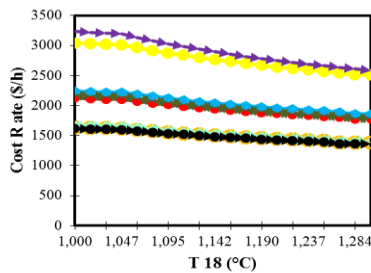
scenario 1 scenario 2 scenario 3  
scenario 4 scenario 5 scenario 6  
scenario 7 scenario 8

ب: آب شیرین تولیدی در حالت شارژ



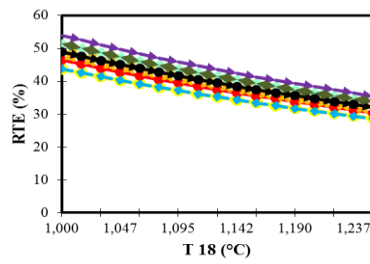
scenario 1 scenario 2 scenario 3  
scenario 4 scenario 5 scenario 6  
scenario 7 scenario 8

الف: توان کل



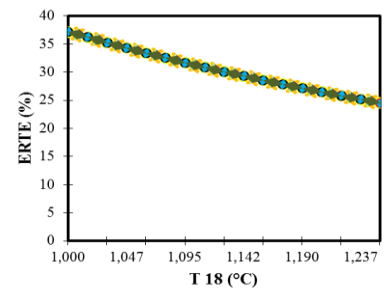
scenario 1 scenario 2 scenario 3  
scenario 4 scenario 5 scenario 6  
scenario 7 scenario 8

ز: نرخ هزینه



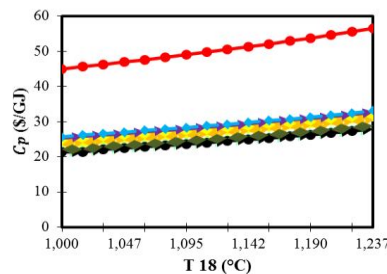
scenario 1 scenario 2 scenario 3  
scenario 4 scenario 5 scenario 6  
scenario 7 scenario 8

ر: RTE



scenario 1 scenario 2 scenario 3  
scenario 4 scenario 5 scenario 6  
scenario 7 scenario 8

د: E RTE



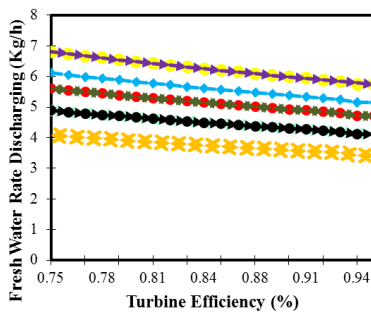
scenario 1 scenario 2 scenario 3  
scenario 4 scenario 5 scenario 6  
scenario 7 scenario 8

ژ:  $C_{p multi}$

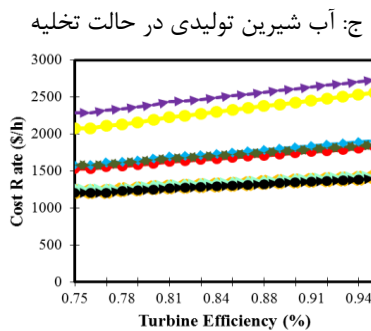
شکل ۶- بررسی تاثیر دمای ورودی به منبع گرم ( $T_{18}$ ) بر روی عملکرد سیستم.

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 دوره‌های 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

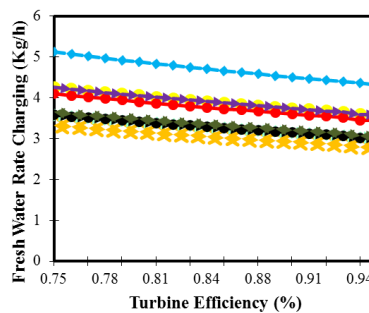
آب شیرین تولیدی سیستم در حالت شارژ شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۷ است که بیشترین آب شیرین تولیدی را داشته است. در شکل ۷ ج، مشاهده می‌شود افزایش بازده توربین، باعث کاهش میزان آب شیرین تولیدی سیستم در حالت تخلیه شده است. همانطور که مشخص است بهترین سناریو، سناریوی ۵ و ۱ است که بیشترین 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.



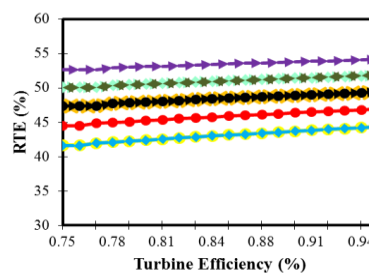
ج: آب شیرین تولیدی در حالت تخلیه



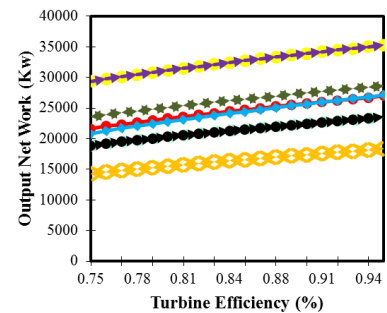
ز: نرخ هزینه



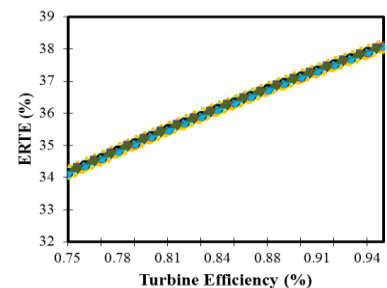
ب: آب شیرین تولیدی در حالت شارژ



ر: RTE



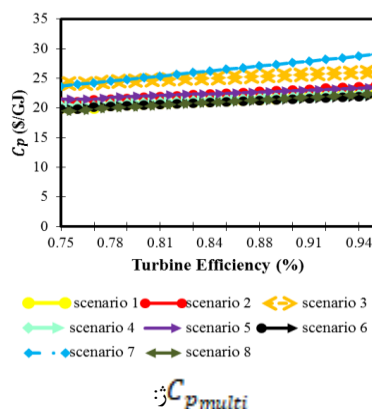
الف: توان کل



د: ERTE

<sup>1</sup> Exergy round trip efficiency

<sup>2</sup> Round trip efficiency



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

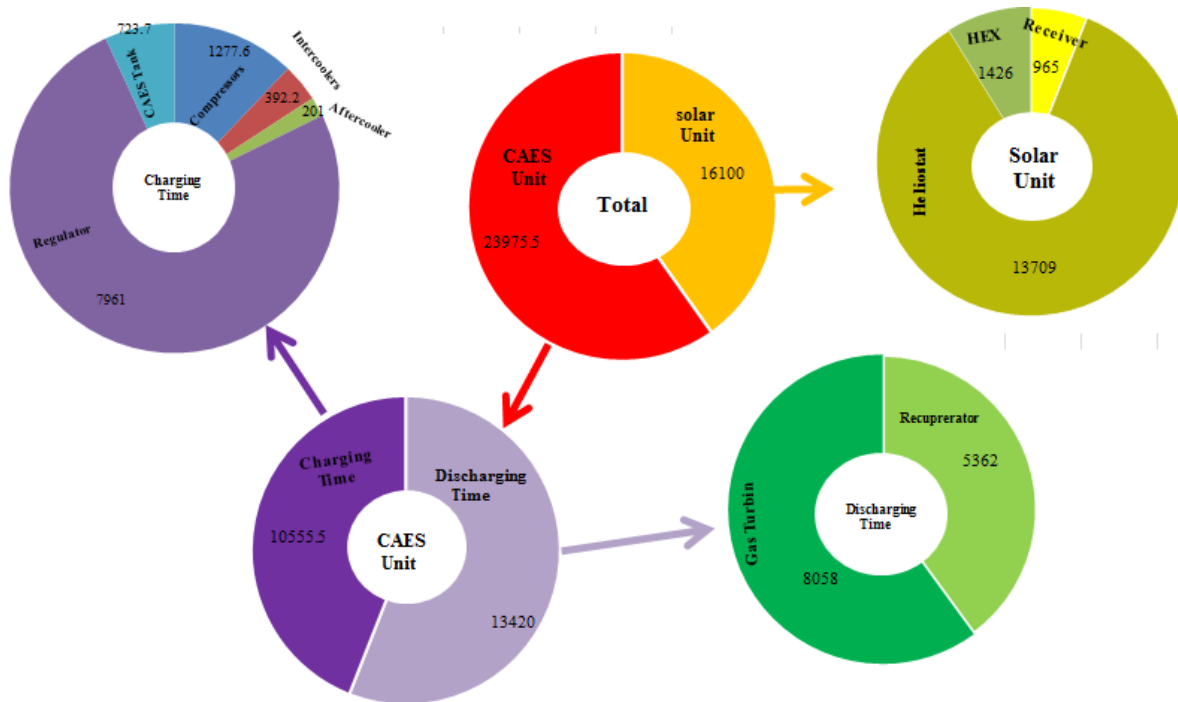
نتایج این بررسی‌ها نشان داد که، افزایش پارامترهای تعداد هلیوستات، بازده توربین، بازده کمپرسور و فشار ورودی به ذخیره‌ساز انرژی با هوای فشرده باعث افزایش عملکرد سیستم می‌شود و افزایش پارامتر دمای خروجی از ریکاپراتور (T17) و دمای ورودی به منبع گرم (T18) تاثیر منفی بر روی عملکرد سیستم داشته است. همچنین در 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 انرژی رفت و برگشت (ERTE<sup>۱</sup>)، بازده رفت و برگشت (RTE<sup>۲</sup>)، میزان توان تولیدی سیستم و نرخ آب شیرین تولیدی سیستم در بیشترین مقدار خود بودند. به همین دلیل، جهت ادامه مطالعه و اخذ نتایج سیستم، از سناریوی ۵ استفاده می‌شود و مرحله بعدی پژوهش بحث تخریب انرژی انجام می‌شود.

### ۲-۲-۳- تخریب انرژی

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

<sup>۱</sup> Exergy round trip efficiency

<sup>۲</sup> Round trip efficiency



شکل ۸- بررسی تخریب انرژی سیستم.

## ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مطالعه مقایسه‌ای، انتخاب سیال کاری و طراحی بهینه پنج سیستم برای تولید برق و هیدروژن بر اساس یک سیکل خورشیدی با ذخیره‌سازی 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 به دست 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 انرژی 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 انرژی سیستم نشان داد که بیشترین تخریب انرژی به ترتیب مربوط به واحد CAES و واحد خورشیدی است.



## مراجع

- 1- Maczulak, A. (2010). *Renewable Energy: Sources and Methods*. New York: Facts On File.
- ۲- ظهوریان مهر، محمد جلال، کبیری، کوروش.، ۱۳۹۰، جایگزینی اسلومند 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., Jalilinasrabad, S., Dejdard, 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 Abbas, 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 Trigenation 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 اگزرواکونومیک 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 اگزروژی، 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 سرمایه‌ش، 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, JameIOrfi, 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., BahadırOlçay, 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.



- 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-economic environmental assessment, and multi-objective optimization. *Energy Convers Manage* 2021;233:113876.
- 23- Khoshgoftar Manesh MH, Ghalami H, Amidpour M, Hamed 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.

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

Majid Jafari<sup>1</sup>, Ehsanolah Assareh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>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](mailto:assareh@iaud.ac.ir)

**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](https://doi.org/10.20089813.1401.9.3.2.7)