



## Retrofit Of Steam Power Plant Using Solar Dish Collectors and Multi-Effect Desalination Cycle (Exergy and Economic Analysis)

### ARTICLE INFO

#### Article Type

Original Research

#### Authors

Javadi Z. <sup>1</sup> MSc,  
Miansari M.\*<sup>1</sup> PhD,  
Ghorbani B. <sup>2</sup> PhD

#### How to cite this article

Javadi Z, Miansari M, Ghorbani B. Retrofit Of Steam Power Plant Using Solar Dish Collectors and Multi-Effect Desalination Cycle (Exergy and Economic Analysis). Modares Mechanical Engineering. 2019;19-(12):3007-3022.

<sup>1</sup>Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran

<sup>2</sup>Modern Energy Technologies Department, Engineering Modern Technologies Faculty, Amol University of Special Modern Technologies, Amol, Iran

#### \*Correspondence

Address: Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. Postal Code: 4765161964  
Phone: +98 (11) 42155025  
Fax: -  
m.miansari@qaemiau.ac.ir

#### Article History

Received: January 14, 2019  
Accepted: May 26, 2019  
ePublished: December 21, 2019

### ABSTRACT

Regarding the water and energy crisis, improving the efficiency of thermal systems and heat recovery, along with the use of desalination process, has attracted the attention of many researchers in recent years. For this purpose, thermal desalination process and solar collectors were used in steam power plants. In this study, an integrated structure for simultaneous generation of fresh water and power has been developed using a combination of solar collectors, steam power plant for power generation, ORC cycle, and thermal multi-effect desalination cycle. The integrated structure has the capacity of producing 762.6 kg / s of fresh water, 104.1 MW of power in the rankine cycle and 306.7 MW of power in a steam power plant. In this integrated structure, the efficiency of the steam power plant is 37.24% and the total exergy efficiency is 78.54%. Exergy analysis of the integrated structure shows that the highest destruction of exergy in solar collectors and heat exchangers are equal to 45.2% and 37.27%, respectively. The economic analysis of the developed integrated structure shows that the period of return is 3.838 years, and the prime cost of the product is 0.0325 \$/kWh. Moreover, the impact of various parameters on the performance of the integrated structure was investigated using sensitivity analysis.

**Keywords** Steam Power Plant; Solar Dish Collectors; ORC Power Generation Cycle; Multi-Effect Desalination; Economic Exergy Analysis

### CITATION LINKS

- [1] Thermodynamic and economic evaluation of a novel concentrated solar power system ... [2] Integrated power generation cycle (Kalina cycle) with auxiliary heater and PCM ... [3] Investigation of a combined molten carbonate fuel cell, gas turbine and stirling engine ... [4] Developing a tri-generation system of power, heating, and freshwater ... [5] Optimization of performance of Combined Solar Collector-Geothermal Heat Pump ... [6] Thermodynamic and economic analyses and optimization of a multigeneration system ... [7] thermodynamic analysis of a solar dish receiver using different ... [8] Thermodynamic analysis of a combined gas turbine, ORC cycle and absorption ... [9] Performance investigation of a new solar desalination unit based on sequential flat ... [10] Investigation of a combined cycle power plant coupled with a parabolic trough solar ... [11] Energy and exergy analyses of a combined desalination and CCHP system driven by ... [12] Technical analysis of conversion of a steam power plant to combined cycle, using two ... [13] Exergy-energy analysis of full repowering of a steam power ... [14] Exergoeconomic optimization of a double effect desalination unit used in an industrial ... [15] Exergy and exergo-economic evaluation of Isfahan steam power ... [16] Solar parallel feed water heating repowering of a steam power plant: A case study in ... [17] Multi-objective thermoeconomic optimization of coupling MSF desalination with ... [18] Optimal design and economic analysis of a hybrid solid oxide fuel cell and ... [19] Correlations of personal exposure to particles with outdoor air measurements: a ... [20] The audit ... [21] Structural, operational and economic optimization of cryogenic natural gas ... [22] Exergoeconomic evaluation of an integrated nitrogen rejection unit with LNG and NGL ... [23] Exergoeconomic analysis and multi-objective Pareto optimization of the C3MR ... [24] Thermodynamic and economic optimization of SOFC-GT and its cogeneration ... [25] Performance analysis of combined humidified gas turbine power generation and ... [26] Developing and exergetic performance assessment of biogas upgrading process driven by ... [27] Implementing absorption refrigeration cycle in lieu of DMR and C3MR cycles ... [28] Energetic, exergetic and economic assessment of oxygen production from two columns ... [29] Investigation of a hybrid water desalination, oxy-fuel power generation and CO2 liquefaction ... [30] Techno-economic assessment of a Kalina cycle driven by a ...

## اصلاح ساختار یک نیروگاه بخار با استفاده از کلکتورهای خورشیدی و سیکل آب شیرین کن چند مرحله‌ای (آنالیز انرژی و اقتصادی)

زهرا جوادی MSc

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی قائم‌شهر، ایران

مهدی میانسری PhD\*

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی قائم‌شهر، ایران

بهرام قربانی PhD

گروه فناوری‌های انرژی نو، دانشکده فناوری‌های نوین مهندسی، دانشگاه تخصصی فناوری‌های نوین، آمل، ایران

### چکیده

با توجه به بحران آب و انرژی، بهبود راندمان سیستم‌های حرارتی و بازیافت حرارت به همراه استفاده از فرآیند شیرین‌سازی آب، در سال‌های اخیر توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. بدین منظور فرآیند آب شیرین‌کن حرارتی و کلکتورهای خورشیدی در نیروگاه‌های بخار مورد استفاده قرار گرفتند. در این مطالعه یک ساختار یکپارچه تولید هم‌زمان آب شیرین و توان با استفاده از ترکیب سیستم کلکتورهای خورشیدی، نیروگاه بخار تولید توان، سیکل ORC و سیکل آب شیرین‌کن چند اثره حرارتی توسعه داده شده است. این ساختار یکپارچه قابلیت تولید آب شیرین به میزان  $0.762/6 \text{ kg/s}$ ، توان  $104/1$  مگاوات در سیکل رانکین و  $306/7$  مگاوات در نیروگاه بخار را دارد. در این ساختار یکپارچه به ترتیب بازده نیروگاه بخار  $37/24\%$  و بازده انرژی کل  $78/54\%$  است. آنالیز انرژی ساختار یکپارچه نشان می‌دهد که بیشترین تخریب انرژی به ترتیب در کلکتورهای خورشیدی به میزان  $45/2\%$  و مبدل‌های حرارتی به میزان  $37/27\%$  رخ می‌دهد. با توجه به آنالیز اقتصادی، ساختار یکپارچه توسعه داده شده به ترتیب دارای زمان بازگشت سرمایه  $38/13$  سال و قیمت تمام شده محصول  $0.325 \text{ \$/kWh}$  است. به علاوه با استفاده از آنالیز حساسیت تأثیر پارامترهای مختلف روی عملکرد ساختار یکپارچه مورد بررسی قرار گرفت.

**کلیدواژه‌ها:** نیروگاه بخار، کلکتور خورشیدی، بشقابکی، سیکل تولید توان ORC، آب شیرین‌کن چند اثره، آنالیز انرژی اقتصادی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۰۵

\* نویسنده مسئول: m.miansari@qaemiau.ac.ir

### ۱- مقدمه

در گذشته با استفاده از سوخت‌های فسیلی و منابع آب‌های زیرزمینی دو مشکل اساسی بحران آب و انرژی را حل می‌نمودند. ولی امروزه با کاهش منابع زیرزمینی و افزایش میزان دی‌اکسیدکربن انسان‌ها مجبور به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشند. یکی از روش‌های کاهش دی‌اکسیدکربن در نیروگاه استفاده از کلکتورهای بشقابکی خورشیدی به جای سوخت‌های فسیلی در بویلر می‌باشد. مهریویا و همکاران<sup>[1]</sup> یک نیروگاه خورشیدی به منظور تولید آب شیرین و تبرید با استفاده از آب شیرین‌کن حرارتی چند مرحله‌ای و سیکل تبرید جذبی آب و آمونیاک را توسعه دادند. این ساختار یکپارچه قابلیت تولید آب شیرین به میزان  $22/79 \text{ kg/s}$ ، تبرید  $82/18 \text{ kW}$ ، بازده انرژی  $66/05\%$  و بازده حرارتی کل  $80/7\%$  را ارائه نمود. مهریویا و همکاران<sup>[2]</sup> یک سیکل تولید توان کالینا با استفاده از کلکتورهای صفحه‌تخت خورشیدی و ماده تغییر فاز دهنده توسعه دادند. آنالیز انرژی ساختار یکپارچه نشان می‌دهد که بیشترین میزان بازده انرژی به ترتیب در مبدل‌های حرارتی و فلش‌درام به میزان  $99/24$  و  $99/11\%$  می‌باشد. انصاری‌نصب و مهریویا<sup>[3]</sup> یک

ساختار یکپارچه تولید هم‌زمان گرما، سرما و توان را با استفاده از روش تحلیل انرژی پیشرفته مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. در این ساختار یکپارچه از پیل سوختی کربنات مذاب، توربین گاز و موتور استرلینگ به منظور تولید توان  $6482 \text{ kW}$  مورد استفاده قرار گرفت. قربانی و همکاران<sup>[4]</sup> به منظور تولید توان و آب شیرین در یک شهرک صنعتی واقع در عسلویه از کلکتورهای صفحه‌تخت استفاده نمودند. این ساختار یکپارچه توانایی تولید هم‌زمان  $1864 \text{ kW}$  توان،  $65154 \text{ kW}$  گرما و  $83/22 \text{ kg/s}$  آب شیرین را دارد. راندمان حرارتی کل ساختار یکپارچه  $44/64\%$  و بازده کل انرژی  $90/04\%$  می‌باشد. مهریویا و همکاران<sup>[5]</sup> از کلکتور خورشیدی و سیستم زمین‌گرمایی جهت تأمین توان و حرارت یک گلخانه استفاده نمودند. به منظور بررسی دینامیک تغییرات ساختار یکپارچه از نرم‌افزار ترنسسیس (Transys) جهت شبیه‌سازی استفاده شده است. جابویه‌مهر و همکاران<sup>[6]</sup> به منظور تولید توان و آب شیرین از یک سیستم ذخیره‌سازی هوا، کلکتورهای خورشیدی بشقابکی، توربین گازی، سیکل (Organic Rankine Cycle) ORC و آب شیرین‌کن حرارتی MED (Multi Effect Desalination) استفاده نمودند. این ساختار یکپارچه دارای بازده حرارتی  $65/2\%$  و بازده انرژی  $41/67\%$  می‌باشد. لونی و همکاران<sup>[7]</sup> به مدل‌سازی عددی یک کلکتور بشقابکی خورشیدی با نانوسیال‌های مختلف به عنوان سیال کاری سیستم خورشیدی پرداختند. نتایج این مدل‌سازی نشان داد که با افزایش غلظت نانوذرات بازده حرارتی کلکتور بشقابکی خورشیدی کاهش و بازده انرژی آن افزایش می‌یابد. محمدی و همکاران<sup>[8]</sup> یک سیستم هیبریدی توربین گاز، سیکل ORC و سامانه جذبی به منظور تولید توان، حرارت و تبرید را در ساختمان توسعه دادند. این ساختار یکپارچه با بازده  $67/6\%$  قابلیت تولید  $30 \text{ kW}$  توان،  $7/2$  تن آب گرم را دارد. آرگوتن و کولاکسیز<sup>[9]</sup> یک ساختار یکپارچه کلکتور صفحه‌تخت و بشقابکی خورشیدی را به منظور تولید آب شیرین توسعه دادند. بازده حرارتی آب شیرین‌کن بین  $57-23\%$  در طول سال متغیر می‌باشد. این ساختار یکپارچه می‌تواند حداکثر به میزان  $1038 \text{ ml/m}^2\text{h}$  آب شیرین در فصل پاییز و  $1402 \text{ ml/m}^2\text{h}$  آب شیرین در تابستان تولید نماید. به ترتیب زمان بازگشت سرمایه به میزان  $3$  سال و هزینه تمام‌شده محصول،  $0.18 \text{ \$/L}$  می‌باشد.

مهریویا و همکاران<sup>[10]</sup> یک سیستم تولید توان با استفاده از کلکتورهای سهموی خورشیدی و سیستم ذخیره‌ساز با استفاده از محیط شبیه‌ساز اسپن هایسیس (Aspen Hysys) و متلب توسعه دادند. به ترتیب بازده انرژی کل و بازده الکتریکی این ساختار یکپارچه به میزان  $38/2$  و  $47\%$  می‌باشد. محمدی و مهریویا<sup>[11]</sup> از یک سیکل کالینا و سیستم آب شیرین‌کن اسمز معکوس جهت تولید توان، گرمایش، تبرید و آب شیرین استفاده نمودند. این ساختار یکپارچه قابلیت تولید  $46/77 \text{ kW}$  توان و  $451 \text{ kW}$  گرمایش،  $52 \text{ kW}$  تبرید و  $0.79 \text{ kg/s}$  آب شیرین را دارد. نیک‌بخت و همکاران<sup>[12, 13]</sup> نیروگاه بخار تولید توان بندرعباس را با روش آنالیز انرژی مورد بررسی قرار دادند. در این نیروگاه بازده گرمایی  $38/18\%$  محاسبه شد. هافدهی و همکاران<sup>[14]</sup> به بهینه‌سازی انرژی و اقتصادی یک نیروگاه حرارتی که قادر به تولید  $528 \text{ m}^3$  آب شیرین در روز است، پرداختند. از نرم‌افزار EES به منظور بهینه‌سازی انرژی اکونومیک و افزایش میزان GOR استفاده نمودند. خان‌محمدی و همکاران<sup>[15]</sup> به آنالیز انرژی و انرژی اکونومیک سیکل تولید توان نیروگاه بخار اصفهان پرداختند. بیشترین میزان تخریب  $84/4\%$  نسبت به سایر تجهیزات در بویلر نیروگاه رخ می‌دهد. همچنین احمدی و

## ۲- شرح فرآیند

در این مطالعه به منظور محاسبه تعادل فازهای بخار و مایع فرآیندها، از معادله حالت پنگ-رابینسون و برای پیش‌بینی آنتالپی و آنتروپی از معادله حالت لی-کسلر استفاده شده است. به منظور شبیه‌سازی ساختار یکپارچه از نرم‌افزارهای ترنسیس، هایسیس و زبان برنامه‌نویسی متلب استفاده شده است. ساختار نیروگاه بخار تولید توان در شهر بندرعباس با آب و هوای گرم و مرطوب در نزدیکی خلیج فارس توسعه داده شده است.

### ۱-۲- نیروگاه بخار تولید توان

نیروگاه بخار بندرعباس با ظرفیت تولید ۱۲۸۰ مگاوات است که شامل ۴ واحد ۳۲۰ مگاواتی می‌باشد. سوخت اصلی این نیروگاه مازوت و نفت (گازوئیل) است و سوخت پشتیبان آن گاز طبیعی می‌باشد. به منظور شبیه‌سازی یکی از واحدهای ۳۲۰ مگاواتی نیروگاه بخار بوشهر-بندرعباس از اطلاعات مراجع [12, 13] استفاده می‌شود.

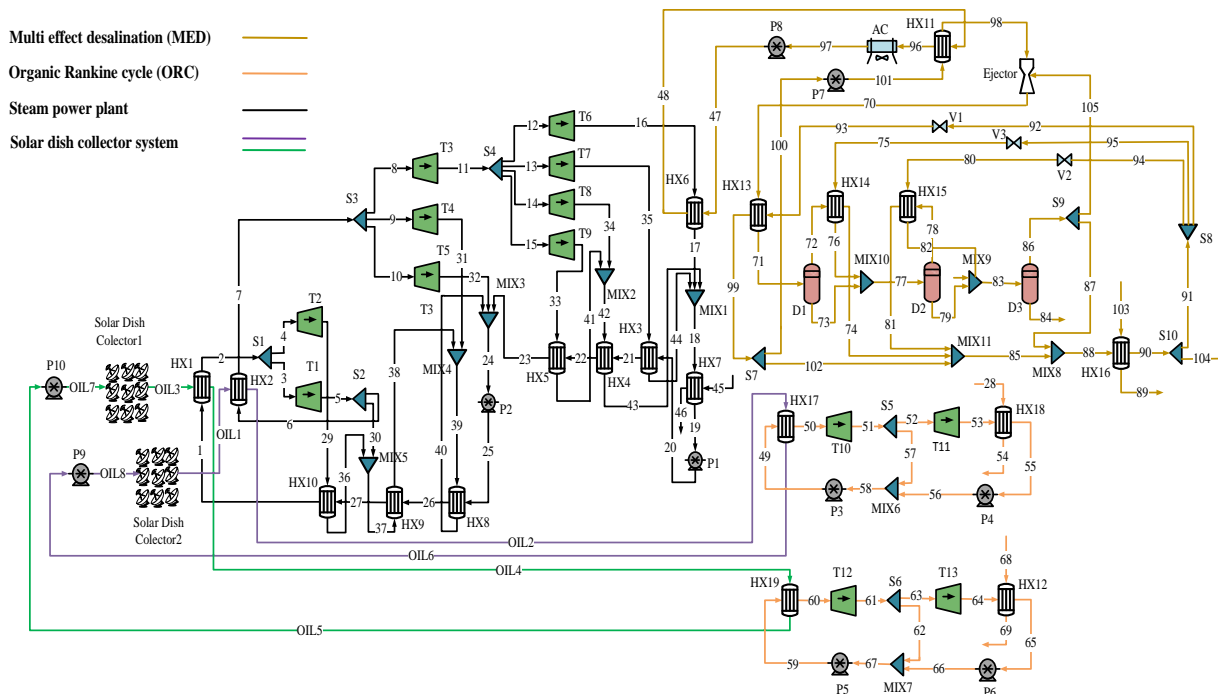
از نرم‌افزار هایسیس جهت شبیه‌سازی نیروگاه سیکل تولید توان استفاده می‌شود. جهت تأمین حرارت ۷۰۳/۶ مگاواتی در بویلر شماره ۱ و ۱۲۰/۲ مگاواتی در بویلر شماره ۲ از کلکتورهای بشقابکی استفاده می‌شود. در حال حاضر جهت تأمین حرارت در بویلر شماره ۱، ۱/۶۴۸۰ kg/h و در بویلر شماره ۲، ۱۵۴۸۰ kg/h گاز طبیعی مصرف می‌شود. جهت کوپل نمودن آب‌شیرین‌کن حرارتی با نیروگاه بخار سیکل تولید توان، اصلاحات دمایی و ساختاری در ورودی کندانسور صورت می‌گیرد.

با توجه به شکل ۱ جریان شماره ۱ با دمای ۲۸۳/۹°C و فشار ۱۷۷/۳ bar وارد مبدل HX1 شده و با افزایش دما تا ۵۳۷/۹°C و کاهش فشار ۰/۳ bar به ترتیب وارد توربین بخار T1 و T2 می‌شود.

همکاران [16] به جای بویلر نیروگاه اصفهان از کلکتورهای خورشیدی استفاده نمودند. با استفاده از کلکتورهای خورشیدی به جای گاز طبیعی در بویلر به ترتیب بازده انرژی افزایش و میزان توان و دی‌اکسیدکربن تولیدی در نیروگاه بخار کاهش می‌یابد. خوش‌گفتار و همکاران [17] یک آب‌شیرین‌کن MSF کوپل با نیروگاه تولید توان بوشهر با ظرفیت ۳۰۰ MW توسعه دادند. از آنالیز انرژی و انرژی اکتونومیک به منظور ارزیابی ساختار یکپارچه توسعه داده شده استفاده نمودند.

با توجه به مطالب ارائه‌شده، مقالات متعددی وجود دارند که در برخی از آنها به استفاده از کلکتور خورشیدی بشقابکی به منظور کاهش میزان دی‌اکسیدکربن تولیدی در هوا و به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به شرایط محیطی در نیروگاه‌ها به عنوان منابع تأمین‌کننده حرارت ورودی توصیه شده و در برخی دیگر به لزوم به‌کارگیری حرارت خروجی از نیروگاه‌های تولید توان به منظور تأمین حرارت ورودی به آب‌شیرین‌کن اشاره شد.

در بسیاری از مطالعات مورد بررسی شرایط ورودی به نیروگاه‌های تولید توان معمولاً به صورت ثابت در نظر گرفته می‌شود. اما در این مطالعه از کلکتورهای بشقابکی خورشیدی جهت تأمین حرارت ورودی به نیروگاه بخار بندرعباس در کشور ایران و سیکل تولید توان ORC استفاده می‌شود. به منظور جلوگیری از اتلاف حرارتی در کندانسور نیروگاه بخار بخش اعظمی از حرارت دفع‌شده، به سیستم آب‌شیرین‌کن حرارتی چند مرحله‌ای داده می‌شود. از آنالیز انرژی و آنالیز اقتصادی به روش هزینه‌های هم‌سطح‌شده سالانه ACS (Annualized Cost of System) به منظور ارزیابی ساختار یکپارچه توسعه داده شده استفاده می‌گردد.



شکل ۱) دیگرام فرآیندی نیروگاه تولید توان و آب شیرین

پیدا می‌کند. جریان شماره ۴ با دمای ۵۳۷/۹°C و فشار ۱۷۰ bar وارد توربین T2 شده و تا فشار ۷۹/۵۳ bar کاهش می‌یابد. جریان خروجی از این توربین به منظور پیش‌گرمایش جریان ورودی به HX1 استفاده می‌شود. در ادامه جریان خروجی از HX2 (جریان شماره ۷) با تقسیم

جریان شماره ۳ با دمای ۵۳۷/۹°C و فشار ۱۷۰ bar وارد توربین شماره ۱ شده و تا ۳۸/۷۸ bar کاهش فشار می‌یابد. بخشی از این جریان جهت پیش‌گرمایش جریان ورودی به HX1 و بخشی دیگر تحت جریان شماره ۶ وارد HX2 می‌شود و تا ۵۳۷/۹°C افزایش دما

مشخصات دمایی، فشار و دبی ساختار هیبریدی توسعه داده شده در جدول ۲ ارائه شده است. در این ساختار یکپارچه از نرم افزار متلب جهت مدل سازی سیستم کلکتور بشقابکی خورشیدی و بویلر کمکی جهت تأمین قسمتی از گرمایش مورد نیاز نیز استفاده می شود. بشقابک های سهموی خورشیدی در نظر گرفته شده در این مطالعه در ۲ محور، خورشید را به صورت ساعتی دنبال می کنند. اطلاعات مربوط به کلکتورهای بشقابکی خورشیدی در جدول ۳ ارائه شده است. [۱۸] استخراج شده است.

توان تولیدی هر کلکتور را می توان از رابطه زیر به دست آورد [۱]:

$$Q_s = I_s A_a \quad (1)$$

Aa برابر با مساحت کلکتور خورشیدی و Is برابر با تابش مستقیم رسیده به هر کلکتور از جانب خورشید می باشد.

در حالت پایدار، انرژی مورد استفاده از کلکتور خورشیدی برابر با Q<sub>u</sub> می باشد که مقدار آن از تفاضل Q<sub>r</sub> انرژی رسیده به جذب کننده و Q<sub>l</sub> انرژی هدررفت در جذب کننده به دست می آید [۱].

$$Q_u = Q_r - Q_l \quad (2)$$

η<sub>0</sub> برابر با بازدهی اپتیکی کلکتور خورشیدی می باشد که مقدار آن از نسبت مقدار انرژی رسیده به جذب کننده به مقدار انرژی رسیده بر سطح کلکتور از جانب خورشید، Q<sub>s</sub>، به دست می آید [۱].

$$\eta_0 = Q_r / Q_s \quad (3)$$

η برابر با بازدهی جذب کننده می باشد که مقدار آن از نسبت مقدار انرژی مفید به دست آمده از کلکتور خورشیدی به مقدار انرژی رسیده به قسمت جذب کننده به دست می آید [۱۸].

$$\eta_r = Q_u / Q_r \quad (4)$$

بازدهی حرارتی کلکتور خورشیدی را می توان از رابطه زیر به دست آورد [۱].

$$\eta_c = Q_u / Q_s \quad (5)$$

بازدهی اپتیکی را می توان از رابطه زیر نیز محاسبه نمود [۱].

$$\eta_0 = \lambda \rho \tau \alpha \cos(\theta) \quad (6)$$

θ برابر با زاویه انتشار می باشد و از آنجایی که بشقابک های خورشیدی در طول روز حرکت خورشید را دنبال می کنند بنابراین مقدار این زاویه برابر با صفر می باشد [۱۸].

$$\eta_0 = \lambda \rho \tau \alpha \quad (7)$$

مقدار کل هدررفت انرژی از جذب کننده کلکتور را می توان به کمک رابطه زیر به دست آورد که در آن Q<sub>lk</sub> و Q<sub>lc</sub> به ترتیب برابر با هدررفت انرژی از طریق رسانش در جذب کننده و دهانه جذب کننده و Q<sub>lr</sub> برابر با هدررفت انرژی تابشی در دهانه جذب کننده می باشد [۱].

$$Q_l = Q_{lk} + Q_{lc} + Q_{lr} \quad (8)$$

تأثیرات باد بسیار ناچیز بوده و در نظر گرفته نشده است [۱، ۱۸]. اطلاعات مربوط به شرایط دمایی از نرم افزار ترنسپس برای شهرستان بندرعباس استخراج شد.

برای محاسبه انرژی مفید به دست آمده از کلکتور خورشیدی از روابط زیر استفاده می شود [۱۸].

$$Nu_l = 0.106 Gr_l^{1/3} \left(\frac{T_w}{T_a}\right)^{0.18} \left(4.256 \frac{Ac}{Aw}\right)^5 h(\phi_1) \quad (9)$$

$$Gr_l = g \beta \left(\frac{T_w}{T_a}\right) L^3 / \nu^2 \quad (10)$$

$$h(\phi_1) = 1.1677 - 1.0762 \sin(\phi_1^{0.8324}) \quad (11)$$

ضریب انتقال حرارت از رابطه زیر به دست می آید [۱].

$$h_c = Nu_l K / L \quad (12)$$

به ۳ جریان وارد توربین های T<sub>۴</sub>، T<sub>۵</sub> و T<sub>۳</sub> می شود. جریان خروجی از توربین های T<sub>۴</sub> و T<sub>۵</sub> به منظور پیش گرمایش و جریان خروجی از T<sub>۱۱</sub> جهت ورود به توربین های فشارپایین استفاده می شود. جریان شماره ۱۱ با دمای ۳۵۲/۶°C و فشار ۷/۲۳ bar به چند شاخه تقسیم شده و به ترتیب وارد توربین های T<sub>۶</sub>، T<sub>۷</sub>، T<sub>۸</sub>، T<sub>۹</sub> می شود. جریان خروجی از توربین های T<sub>۶</sub>، T<sub>۸</sub>، T<sub>۹</sub> و T<sub>۷</sub> به ترتیب جهت پیش گرمایش جریان ورودی به بویلر استفاده می شود. جریان خروجی از توربین T<sub>۶</sub> وارد کندانسور HX<sub>۶</sub> شده و به میزان ۴۸۱/۳ مگاوات حرارت به آب شیرین کن چند مرحله ای می دهد. در ادامه جریان خارج شده از HX<sub>۶</sub> (کندانسور) به همراه سایر جریان هایی که جهت پیش گرمایش استفاده می شوند توسط پمپ شماره ۲ تا فشار ۱۷۸ bar افزایش فشار می یابند و به ترتیب در HX<sub>۱۰</sub>، HX<sub>۹</sub> و HX<sub>۸</sub> گرم شده و جهت افزایش دما وارد HX<sub>۱</sub> می شوند.

توربین های T<sub>۱</sub> و T<sub>۲</sub> به عنوان توربین فشارپایین و توربین های T<sub>۵</sub>، T<sub>۴</sub> و T<sub>۳</sub> به عنوان توربین فشار متوسط و T<sub>۸</sub>، T<sub>۹</sub>، T<sub>۷</sub> و T<sub>۶</sub> و به عنوان توربین های فشار بالا معرفی می شوند. جدول ۱ مشخصات ترکیب فرآیند در ساختار یکپارچه را مشخص می کند.

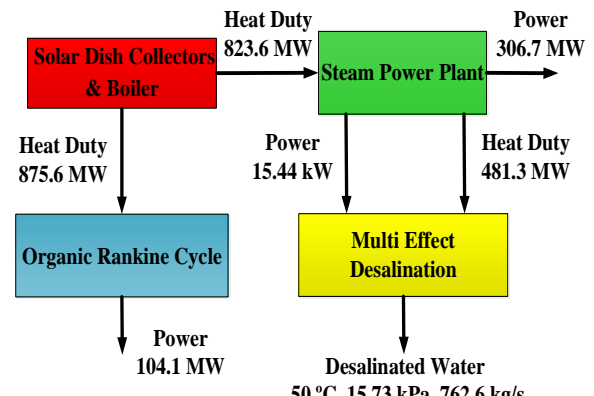
شکل ۱ دیاگرام فرآیندی ساختار یکپارچه تولید هم زمان توان و آب شیرین را نمایش می دهد. این ساختار هیبریدی شامل ۴ بخش کلکتورهای بشقابکی جهت تأمین حرارت بویلر ۱ و ۲، نیروگاه بخار تولید توان، سیکل ORC تولید توان و سیکل آب شیرین کن حرارتی چند مرحله ای می باشد.

جدول ۱) مشخصات ترکیبات جریان ساختار یکپارچه تولید هم زمان توان و آب شیرین

جریان	H <sub>2</sub> O	diPH-Ether BiPhenyl	Sodium-Chloride	R-113
Oil <sub>۱</sub> , Oil <sub>۳</sub>	۰	۰/۲۴۶۲	۰/۷۵۳۸	۰
۲	۱	۰	۰	۰
۵، ۶، ۷	۰	۰	۰	۱
۷۳	۰/۹۷۶۸	۰	۰	۰
۷۹	۰/۹۲۹۰	۰	۰	۰
۸۴	۰/۹۲۹۲	۰	۰	۰
۸۹	۱	۰	۰	۰
۹۱	۰/۹۸۷۶	۰	۰	۰

### ۲-۲- کلکتورهای بشقابکی خورشیدی

شکل ۲ دیاگرام بلوکی ساختار یکپارچه تولید هم زمان توان و آب شیرین با استفاده از نیروگاه بخار، سیکل ORC و آب شیرین کن حرارتی چند مرحله ای را نمایش می دهد.



شکل ۲) دیاگرام بلوکی نیروگاه تولید توان و آب شیرین

$$G_{on} = G_{sc} [1 + 0.033 \cos(\frac{360^\circ n}{365})] \quad (17)$$

$n$  برابر شماره روز سال و  $G_{sc}$  ثابت خورشیدی می باشد که مقدار آن برابر با  $1367$  وات بر متر مربع می باشد. مقدار  $G_{on}$  بر سطح افقی از رابطه زیر به دست می آید [18].

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 \times G_{on}}{\pi} (\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180^\circ} \sin \phi \sin \delta) \quad (19)$$

$$\delta = 23.45^\circ \sin(\frac{360^\circ(284+n)}{365}) \quad (20)$$

$$N = \frac{2}{15} \omega_s \quad (21)$$

$N$  برابر با متوسط ماهانه حداکثر زمان تابش خورشید می باشد. کل تابش ساعتی خورشید بر سطح افقی را می توان از رابطه زیر به دست آورد [18].

$$I_s = \frac{\pi H}{24} (0.409 + 0.5016 \sin(\omega_s - 60^\circ) + (0.6609 - 0.4767 \sin(\omega_s - 60^\circ)) \cos \omega) \times \frac{(\cos \omega - \cos \omega_s)}{\sin \omega_s - (\frac{2\pi \omega_s}{360^\circ}) \cos \omega_s} \quad (22)$$

$\omega$  برابر با زاویه ساعتی می باشد. با توجه به شکل ۱ کلکتورهای خورشیدی شماره ۱ و ۲ به ترتیب تأمین کننده حرارت HX1 و HX2 می باشند.

### ۲-۳- سیکل ORC

به منظور انتقال حرارت از کلکتورهای بشقابکی خورشیدی به نیروگاه بخار از جریان روغن حاوی  $24/62\%$  مولی Biphenyl و  $75/38\%$  DiPH-Ether استفاده می شود. کلکتورهای خورشیدی  $823/6$  مگاوات حرارت به سیکل بخار تولید توان  $875/6$  مگاوات به سیکل های ORC پس می دهند. سیکل های ORC که در شکل ۱ به رنگ نارنجی نشان داده شده اند قابلیت تولید  $104/1$  مگاوات حرارت را دارند. اطلاعات مربوط به شبیه سازی سیکل ORC از مرجع [19] استخراج شده است. به منظور تأمین سرمایه در کنانسورهای ۲ سیکل ORC، از سیستم آب خنک استفاده می شود. جریان های شماره ۲۸ و ۶۸ (آب خنک) به ترتیب جهت تأمین سرمایه HX18 و HX12 استفاده می شود.

### ۲-۴- آب شیرین کن حرارتی چند مرحله ای

آب شیرین کن حرارتی مورد استفاده در این مقاله از نوع آب شیرین کن های چند مرحله ای می باشد. این آب شیرین کن ها از نوع آب شیرین کن های ۲ فاز بوده که در مراحل مختلف آب شیرین تولید می کنند. این آب شیرین کن ها از چندین مرحله متوالی تشکیل شده است که در هر مرحله مقداری از آب شور تبخیر شده و در مرحله بعد چگالیده شده و تبدیل به آب شیرین می شود. آب شور (جریان شماره ۱۰۳) پس از ورود به چگالنده آب شیرین کن (HX1) تا دمای  $26/25^\circ C$  افزایش یافته و با عبور از شیرهای اختناق به منظور تنظیم فشار، وارد هر یک از اثرهای آب شیرین کن می شود. آب تغذیه جریان شماره ۹۳ تحت دمای  $56/26^\circ C$  و فشار  $29/93$  bar به سمت اولین مرحله (HX13) می رود و روی لوله های تبخیرکننده پاشیده می شود. در اولین مرحله آب تغذیه توسط بخار خارج شده از اجکتور تحت جریان شماره ۷۰، تبخیر می شود و سپس جریان خروجی از HX2 (جریان ۷۱) وارد فلش درام D1 می شود. بخار تشکیل شده در مرحله اول وارد لوله های تبخیرکننده مرحله ۲ (HX14) می شود. جریان بخار شماره ۷۲ حرارت مورد نیاز آب تغذیه مرحله دوم را تأمین نموده و خود به صورت آب شیرین (جریان شماره ۷۴) خارج می شود. جریان شماره ۷۵ آب شور تغذیه مرحله دوم، روی لوله های تبخیرکننده (HX14)

مقدار هدرفت انرژی از طریق رسانش در جذب کننده را می توان از روابط زیر محاسبه کرد [18].

$$Q_{lc} = h_c A_w (T_w - T_a) \quad (13)$$

$$Q_{tr} = A_c \epsilon_{eff} \sigma (T_w^4 - T_a^4) \quad (14)$$

که در آن [1]:

$$\epsilon_{eff} = 1 / [1 + (\frac{1}{\epsilon_c} - 1) A_c / A_w] \quad (15)$$

$$A_c = A_a / c \quad (16)$$

جدول ۲) مشخصات شرایط عملیاتی جریان های فرآیند ساختار هیبریدی توسعه داده شده (۲۰ جریان نمونه از تعداد کل ۱۱۳ جریان)

جریان	دما (°C)	فشار (KPa)	دبی جرمی (kg/s)	آنتالپی مولی (kJ/kgmole)	انتروپی مولی (kJ/kgmole°C)
Oil1	560	200	23050	271238	5497
Oil2	350	1987	23050	176411	4329
Oil3	550	200	1173	256896	5444
Oil4	29674	1987	1173	157175	4007
Oil5	1491	1987	1173	57091	2905
Oil6	14813	1987	23050	56829	2089
Oil7	1491	300	1173	57115	2905
Oil8	14813	300	23050	56852	2089
1	2839	17730	3370	-274555	1044
2	5379	17000	3370	-227943	1733
3	5379	17000	3043	-227943	1733
4	5379	17000	3278	-227943	1733
5	3337	3878	3043	-233430	1770
6	3337	3878	2577	-233430	1770
7	5379	3492	2577	-224027	1792
8	5379	3492	2422	-224027	1792
9	5379	3492	1517	-224027	1792
10	5379	3492	0280	-224027	1792
11	3527	7230	2422	-230577	1829
12	3527	7230	2080	-230577	1829

جدول ۳) مشخصات عملیاتی کلکتور بشقابکی خورشیدی

پارامتر	مقدار	نماد
مساحت هر بشقابک خورشیدی	$12/56 \text{ m}^2$	$A_a$
ضریب غیرسایه	۰/۹۹	$\lambda$
بازتابش سطح کلکتور	۰/۹۴	$\rho$
ضریب جذب انتقال حاصل شده	۰/۹	$\tau\alpha$
ضریب نفوذ جذب کننده	۰/۹۹	$\gamma$
طول جذب کننده	$0/254 \text{ m}$	$L$
نسبت تراکم هندسی	۳۰۰۰	$C$
رسانایی گرمایی هوای محیط	$0/25 \text{ W/mk}$	$K$
مساحت داخلی حفره جذب کننده	$0/645 \text{ m}^2$	$A_w$
زاویه شیب حفره	$\pi/2$	$\phi_1$
شدت نشر سطح حفره	۰/۹	$\epsilon_c$

بر اساس مطالعات به دست آمده مقدار  $\epsilon_{eff}$  تقریباً برابر با یک می باشد و از آنجایی که مقدار  $\epsilon_c$  در بازه  $0/8$  تا  $1$  می باشد و مقدار  $A_c/A_w$  بزرگتر از  $5$  می باشد بنابراین می توان جذب کننده را به عنوان یک جسم سیاه در نظر گرفت. لازم به ذکر است که نتایج به دست آمده در محاسبات کلکتور خورشیدی بر اساس پارامترهای موجود در جدول ۳ محاسبه شده است.

در ساختار یکپارچه مورد مطالعه در این تحقیق از ۲ دسته کلکتور برای تأمین حرارت بویلرهای شماره ۱ و ۲ استفاده شده است. میزان تابش ماورای زمین بر یک سطح از رابطه زیر به دست می آید [18].

جدول ۴) مشخصات عملیاتی تجهیزات ساختار هیبریدی یکپارچه تولید هم‌زمان توان و آب شیرین

نسبت فشار	فشار ورودی (kPa)	قدرت (kW)	راندمان آدیباتیک (%)	پمپ
۸۹/۰۵	۸/۶۰۰	۲۴۵/۹	۷۵	P1
۲۴/۲۹	۷۳۳/۰	۸۳۸/۶	۷۵	P2
۲/۵	۱۰۰۰	۱۰۳۱	۸۵	P3
۱۲/۵۰	۸۰۰	۲۶۱/۸	۸۵	P4
۲/۵	۱۰۰۰	۶۳۳/۷	۸۵	P5
۱۲/۵۰	۸۰۰	۱۶۰۸	۸۵	P6
۲/۵۴۰	۳۱۱/۸۹	۱۵/۴۳	۷۵	P7
۱/۱۱	۹۱/۳۰	۲/۶۵۳	۷۵	P8
۱/۵۱۰	۱۹۸/۷	۳۳/۶۹	۷۵	P9
۱/۵۱۰	۱۹۸/۷	۱۶۷/۹	۷۵	P10

توربین				
۰/۲۲۸۱	۱۷۰۰۰	۹۲۶۸۸	۷۵	T1
۰/۴۶۷۸	۱۷۰۰۰	۵۵۴۴	۷۵	T2
۰/۲۰۷۰	۳۴۹۲	۸۸۰۵۵	۷۵	T3
۰/۴۹۱۷	۳۴۹۲	۲۲۲۶	۷۵	T4
۰/۲۱۰۵	۳۴۹۲	۱۰/۱۰	۷۵	T5
۲/۲۱۳۰	۷۲۳/۰	۱۱۵۴۹۲	۷۵	T6
۴/۱۴۹	۷۲۳/۰	۴۷۰۹	۷۵	T7
۰/۱۰۶۵	۷۲۳/۰	۳۱۹۸	۷۵	T8
۰/۳۵۱۳	۷۲۳/۰	۳۰۷۱	۷۵	T9
۰/۴۰۰۰	۲۵۰۰	۱۱۵۷۴	۸۰	T10
۰/۰۸۰۰	۱۰۰۰	۱۶۴۹۴	۸۰	T11
۰/۴۰۰۰	۵۳۵۱۳	۲۵۰۰	۸۰	T12
۰/۰۸۰۰	۱۰۰۰	۸۲۷۳۹	۸۰	T13

توان (kW)	UA (kJ/C.h)	LMTD (°C)	Min. Approach (°C)	مبدل پوسته و لوله
۷۰۳۵۸۴	۲۰۵۵۸۷۷۸۴	۶۷/۳۶۹	۱۹/۸۷	HX1
۱۲۰۱۷۱	۲۲۶۱۵۷۳۴	۳۸/۳۹۱	۱۱/۶۲	HX2
۲۳۴۴۶	۳۳۳۴۱۵۲	۲۵/۳۲	۲۵/۵۸	HX3
۲۳۱۱۳	۱۴۰۶۴۵۱۷	۵/۹۱۶	۵/۶۵۳	HX4
۴۰۰۲۹	۳۴۶۵۰۰۷	۴/۱۵۹	۷/۱۵۲	HX5
۵۰۴۲۳۰	۱۲۹۳۸۵۴۱۷	۱۴/۶۲	۶/۸۱۹	HX6
۱۲۵۷۳	۲۶۲۶۶۳۹	۱۷/۲۳	۱۷/۳۹	HX7
۵۳۲۹۷	۶۴۱۵۱۰۷	۲۹/۹۱	۲۹/۱۲	HX8
۱۷۰۷۹۴	۲۹۱۴۷۷۲۷	۲۱/۰۹	۱۳/۴۶	HX9
۵۳۵۰	۶۲۴۳۴۱	۳۰/۸۵	۵/۰۱۴	HX10
۴۸۱۳۲۱	۱۳۳۳۳۱۳۱۵	۱۳/۰۰	۹/۶۷۶	HX11
۵۱۲۱۷۶	۶۸۵۰۳۵۴۵	۲۶/۹۲	۳	HX12
۶۵۳۹۱۸	۱۸۵۳۷۶۹۳۷	۱۲/۷۰	۹/۸۹۵	HX13
۶۳۰۲۲۴	۴۴۵۴۳۹۱۵۵	۵/۰۹۳	۳/۴۵۶	HX14
۶۱۸۸۷۲	۵۷۲۳۸۴۶۶۶	۳/۸۹۲	۳/۵۴۲	HX15
۴۸۴۳۱۲	۱۶۶۱۳۴۲۴۲	۱۰/۴۹	۴/۶۱۵	HX16
۱۶۹۴۰۸	۲۶۴۴۹۵۷۹	۸/۰۹۵	۲۳/۰۶	HX17
۱۰۷۰۵۵	۸۹۷۵۵۲۸	۴۲/۹۴	۳	HX18
۷۰۶۱۴۳	۸۰۸۹۲۵۵۲	۳۱/۴۳	۸/۸۹۵	HX19
توان (kW)	جریان هوا (kg/s)	قدرت فن (kW)	دمای هوای خروجی (°C)	کولر هوایی AC
۴۴۱۱۲	۸۷۰/۵	۸۳/۱۵	۷۴/۹۴	

پاشیده می‌شود و به همین ترتیب جریان ۲ فاز شماره ۷۷ وارد فلش درام D2 می‌شود. بخار خروجی از فلش درام D2 وارد مرحله سوم HX15 شده و حرارت مورد نیاز برای تبخیر آب تغذیه وارد شده به مرحله ۳ را تأمین می‌کند. بخشی از بخار خارج شده از مرحله سوم تحت جریان ۱۰۵ وارد اجکتور شده تا بتواند حرارت مرحله یک را تأمین نماید. بخش دیگری از بخار تحت جریان شماره ۸۷ به همراه سایر آب شیرین تولید شده در هر مرحله وارد کندانسور (HX16) شده و آب شیرین تحت جریان ۸۹ از آب شیرین کن خارج می‌شود. غلظت نمک آب دریای خلیج فارس برابر با ۳۹۰g/kg می‌باشد که به دلایل مسائل زیست‌محیطی در خروجی آب شیرین کن، این مقدار باید حداکثر به مقدار ۷۷g/kg برسد.

لذا با توجه به مسائل زیست‌محیطی، جریان شماره ۸۴ با میزان نمک ۷۰/۸g/kg به دریا برمی‌گردد. مشخصات عملیاتی تجهیزات ساختار یکپارچه تولید هم‌زمان توان و حرارت در جدول ۴ ارائه شده است. می‌توان با استفاده از روابط زیر سطح انتقال حرارت تبخیرکننده و چگالنده را به دست آورد [19]:

$$Q_e = U_e A_e \Delta T_i \quad (23)$$

$$Q_c = U_c A_c LMTD_e \quad (24)$$

که در روابط بالا LMTD اختلاف دمای لگاریتمی برای چگالنده می‌باشد. ضریب انتقال حرارت کلی تبخیرکننده و چگالنده انتهایی برابر است با [19]:

$$U_e = 1.9695 + 1.2057 \times 10^{-2} T - 8.5989 \times 10^{-5} T^2 + 2.5651 \times 10^{-7} T^3 \quad (25)$$

$$U_c = 1.7194 + 3.2063 \times 10^{-3} T + 1.5971 \times 10^{-5} T^2 - 1.9918 \times 10^{-7} T^3 \quad (26)$$

زیرنویس‌های e و c مربوط به تبخیرکننده و چگالنده انتهایی می‌باشد. جهت مدل‌سازی اجکتور بخار نیز از مدل مرجع [20] استفاده شده است. از مشخصه‌های مهم در اجکتور بخار، ضریب تراکم و ضریب انبساط اجکتور می‌باشد که اولی حاصل تقسیم فشار بخار گرمایشی به بخار مکشی و دومی نسبت فشار بخار محرک به فشار مکشی می‌باشد [20]:

$$\text{Compression ratio} = Cr = \frac{P_s}{P_{ev}} \quad (27)$$

$$\text{Expansion ratio} = Er = \frac{P_m}{P_{ev}} \quad (28)$$

$$m_s = m_m \left(1 + \frac{1}{Ra}\right) \quad (29)$$

$$m_{ev} = m_s - m_m \quad (30)$$

ضریب عملکرد و سطح انتقال حرارت ویژه آب شیرین کن به ترتیب به صورت نسبت دبی آب شیرین تولیدی به بخار محرک و نسبت سطح انتقال حرارت کل به دبی آب شیرین تعریف می‌شود [20]:

$$Pr = \frac{D_{tot}}{M_m} \quad (31)$$

که  $D_{tot}$  برابر است با [20]:

$$D_{tot} = \sum_{i=1}^N D_i \quad (32)$$

$$a = \frac{A_e + A_c}{D_{tot}} \left[ m^2 / \left( \frac{kg}{s} \right) \right] \quad (33)$$

معادلات بالانس انرژی برای هر تجهیز با کمک مقدار آنتالپی مخصوص به دست می‌آید [21]:

$$\sum_{in} \dot{m}_i h_i - \sum_{out} \dot{m}_i h_i - \dot{W} + \dot{Q} = 0 \quad (34)$$

با صرف نظر از هدررفت حرارت در مبدل‌های حرارتی می‌توان معادلات بالانس انرژی را برای هر مبدل به صورت زیر ارائه نمود [21]:

$$\dot{m}_{in,i} (h_{in1,i} - h_{in2,i}) = \dot{m}_{out,i} (h_{out1,i} - h_{out2,i}) \quad (35)$$

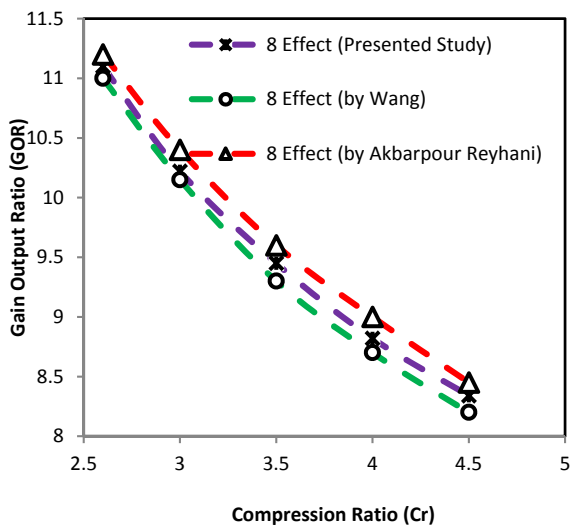
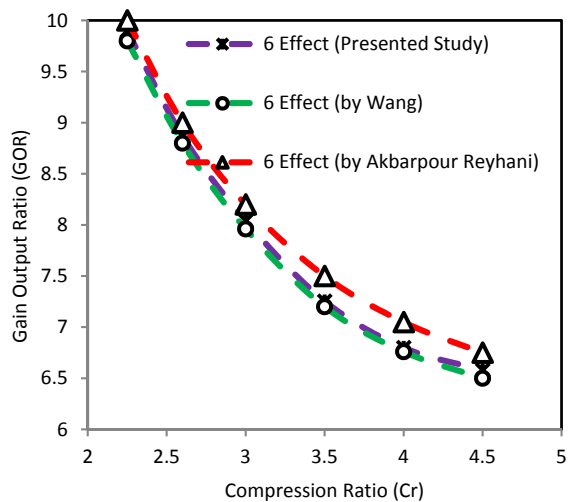
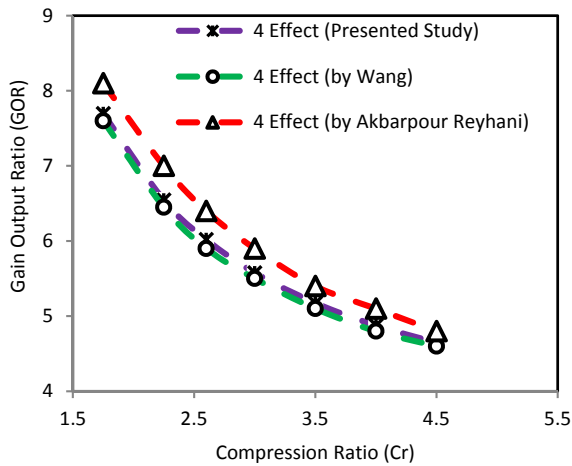
$$T_{in1,i} = T_{out1,i} + \Delta T_{in,HX_i}$$

جهت نوشتن معادله بالانس انرژی برای پمپ‌ها و توربین‌ها از بازده آیزنتروپیک استفاده می‌شود که به ترتیب در روابط (۳۶) و (۳۷) ارائه شده است [21].

$$h_{out} = \frac{h_{out}^s - h_{in}}{\eta_s} + h_{in} \quad (36)$$

$$h_{out} = (h_{out}^s - h_{in}) \eta_s + h_{in} \quad (37)$$

ratio) می‌باشد. GOR یک آب شیرین کن حرارتی به صورت نسبت مقدار آب شیرین تولیدی به مقدار بخار مصرفی آب شیرین کن تعریف می‌شود. نمودار ۱ مشخصات تغییرات GOR نسبت به ضریب تراکم اجکتور در آب شیرین کن حرارتی چند مرحله‌ای با تعداد اثرهای متفاوت را نمایش می‌دهد.



نمودار ۱) اعتبارسنجی تغییرات GOR نسبت به ضریب تراکم در آب شیرین کن توسعه داده شده نسبت به مراجع [24,25]

همچنین با نوشتن موازنه انرژی و بقای جرم در مخلوط‌کننده به صورت زیر ارائه می‌گردد [21]:

$$\dot{m}_{in,1}h_{in,1} + \dot{m}_{in,2}h_{in,2} = \dot{m}_{out}h_{out} \quad (38)$$

$$\dot{m}_{in,1} + \dot{m}_{in,2} = \dot{m}_{out} \quad (39)$$

با تلفیق روابط (38) و (39) می‌توان آنتالپی مبرد را در خروجی محاسبه نمود [21]:

$$h_{out} = \frac{\dot{m}_{in,1}h_{in,1} + \dot{m}_{in,2}h_{in,2}}{\dot{m}_{in,1} + \dot{m}_{in,2}} \quad (40)$$

همچنین در روابط (41) و (42) با نوشتن موازنه انرژی و بقای جرم در جداکننده و فلش‌درام، می‌توان خروجی‌های مطلوب را استخراج نمود [21]:

$$\dot{m}_{in}h_{in} = \dot{m}_{out,1}h_{out,1} + \dot{m}_{out,2}h_{out,2} \quad (41)$$

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out,1} + \dot{m}_{out,2} \quad (42)$$

بر اساس قانون اول ترمودینامیک، فرآیند اختناق، فرآیندی آنتالپی ثابت است. بنابراین [21]:

$$h_{in} = h_{out} \quad (43)$$

### ۳- آنالیز انرژی

هدف اساسی آنالیز انرژی، تعیین محل و مقدار تولید بازگشت‌ناپذیری‌ها در طی فرآیندهای مختلف و عوامل مؤثر بر تولید آن می‌باشد. انرژی به صورت حداکثر کار قابل دستیابی از سیستم در صورت رسیدن آن به شرایط استاندارد تعریف می‌گردد. حداکثر کار قابل دستیابی از یک سیستم، زمانی به دست می‌آید که طی یک فرآیند برگشت‌پذیر به حالت استاندارد برسد. با توجه به تعریف فوق انرژی را می‌توان کار برگشت‌پذیر تعریف کرد.

اختلاف بین کار برگشت‌پذیر و برگشت‌ناپذیر، بازگشت‌ناپذیری نامیده می‌شود [22].

$$I = |W_{rev} - W_{real}| \quad (44)$$

در واقع اختلاف این دو، معادل از بین رفتن انرژی است. رابطه (45) نرخ از بین رفتن انرژی است [23]:

$$E_{des} = T_0 S_{gen} \quad (45)$$

با فرض در نظر گرفتن انرژی جنبشی، پتانسیل، هسته‌ای و دیگر صورت‌های انرژی که بدون تغییر یا ناچیز هستند، انرژی کل را می‌توان به دو قسمت فیزیکی و شیمیایی تقسیم کرد [23].

$$ex = ex^{ph} + ex^{ch} \quad (46)$$

مقدار انرژی فیزیکی با استفاده از رابطه (47) قابل محاسبه است [23].

$$ex^{ph} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (47)$$

در رابطه فوق  $h_0$  و  $s_0$  به ترتیب آنتالپی و آنتروپی حالت استاندارد است. برای یک مخلوط انرژی شیمیایی به صورت زیر تعریف می‌گردد [23].

$$ex^{ch} = \sum x_i ex_0^i \quad (48)$$

در واقع انرژی شیمیایی اجزاء تشکیل‌دهنده مخلوط ایده‌آل است. برای مخلوط حقیقی بایستی تفاوت نیروهای بین مولکولی را نیز در نظر گرفت. برای این منظور از رابطه (49) استفاده می‌شود [22].

$$ex^{ch} = \sum x_i ex_0^i + RT_0 \sum x_i \gamma_i \quad (49)$$

### ۴- نتایج

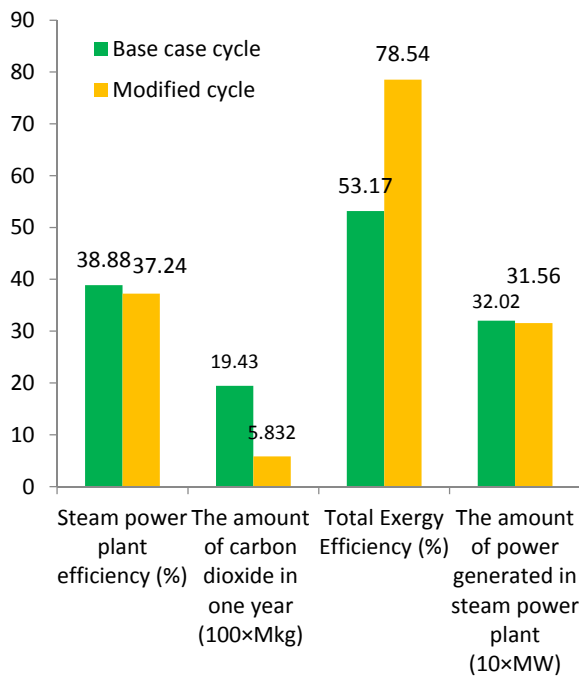
#### ۴-۱- نتایج آنالیز انرژی

یکی از مشخصه‌های مهمی که در تحلیل عملکرد آب شیرین کن حرارتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، GOR (Gain output

بیشترین میزان تخریب آگرژی همان‌طور که در نمودار ۳ نشان داده شده است، متعلق به مبدل‌های حرارتی می‌باشد. مبدل‌های حرارتی ۳۷/۲۷٪ از میزان کل تخریب آگرژی نسبت به سایر ساختارها را به خود اختصاص داده‌اند.

کمترین میزان تخریب آگرژی در HX۷ به میزان ۰/۲۴۷٪ و بیشترین میزان تخریب آگرژی در HX۱۹ به میزان ۲۰/۳۴٪ نسبت به کل تخریب آگرژی مبدل‌های حرارتی را به خود اختصاص داده‌اند. نمودار ۴ دیگرام کلوچه‌ای تخریب آگرژی در مبدل‌های حرارتی را نمایش می‌دهد.

جدول ۱۰ بازه آگرژی هر یک از تجهیزات در ساختار یکپارچه را نشان می‌دهد. بیشترین میزان بازه آگرژی در HX۱۴ به میزان ۹۹/۱٪ و کمترین میزان تخریب آگرژی در V۲ به میزان ۵۵/۱۶٪ می‌باشد.



**نمودار ۲)** مقایسه پارامترهای مختلف ساختار یکپارچه توسعه داده شده نسبت به حالت پایه

**جدول ۷)** مشخصات ترمودینامیکی نیروگاه بخار تولید توان در ساختار یکپارچه توسعه داده شده

پارامترهای موجود در ساختار توسعه داده شده	مقدار
انرژی گرمایی تولیدی در کلکتورهای خورشیدی ۱ و بویلر کمکی	۱۴۰۹۵۶۰ kW
انرژی گرمایی تولیدی در کلکتورهای خورشیدی ۲ و بویلر کمکی	۲۸۹۵۴۷ kW
تعداد کلکتورهای به‌کاررفته در سیکل سولار ۱	۵۰۰۰۰
تعداد کلکتورهای به‌کاررفته در سیکل سولار ۲	۱۰۳۰۰۰
توان تولیدی در نیروگاه بخار	۳۱۵۵۸۴ kW
توان مصرفی در نیروگاه بخار	۸۸۳۳ kW
توان مصرفی در سیستم خورشیدی	۰/۳۳۳۷ kW
توان مصرفی در سیستم آب‌شیرین‌کن	۱۵/۴۴ kW
توان تولیدی در سیکل ORC	۱۱۳۳۰۷ kW
توان مصرفی در سیکل ORC	۹۲۳۸ kW
راندمان حرارتی نیروگاه	۳۷/۲۴٪

$$\eta_{\text{Steam Power}} = \frac{W_{\text{Turbine}}}{Q_{\text{Solar}}}$$

در این نمودار به اعتبارسنجی ساختار آب‌شیرین‌کن MED توسعه داده شده با مراجع [24,25] پرداخته شده است. با افزایش نسبت ضریب تراکم مشخصه GOR کاهش پیدا می‌کند.

جدول ۵ مشخصات عملیاتی آب‌شیرین‌کن چند مرحله‌ای توسعه داده شده در این مطالعه را نشان می‌دهد. آب‌شیرین‌کن ۳ مرحله‌ای توسعه داده شده با دریافت ۴۸۱/۳ مگاوات حرارت به میزان ۷۶۲/۵ kg/s آب شیرین تولید می‌کند.

**جدول ۵)** مشخصات آب‌شیرین‌کن حرارتی چند مرحله‌ای در مطالعه حاضر

پارامتر	مقدار	واحد
میزان آب تولیدی	۷۶۲/۵	kg/s
تعداد مراحل آب‌شیرین‌کن	۳	-
میزان دمای بخار آخرین مرحله	۶۰/۹۶	°C
GOR	۲/۸۷۲	kg.hr <sup>-1</sup> /kg.hr <sup>-1</sup>
نسبت آب شور ورودی به آب شیرین خروجی	۲/۲۲۴	kg.hr <sup>-1</sup> /kg.hr <sup>-1</sup>
میزان آب شور تولیدی	۹۳۴/۱	kg/s
مجموع گرمای دریافتی	۴۸۱/۳	MW
مصرف انرژی الکتریکی	۱۵/۴۴	kW
نسبت جذب اکتور بخار	۲/۷۲۱	kg.hr <sup>-1</sup> /kg.hr <sup>-1</sup>
میزان آب شور ورودی به سیستم	۱۶۹۶/۶	kg/s

جدول ۶ اعتبارسنجی نیروگاه بخار تولید توان توسعه داده شده را ارائه نموده است. به این صورت که نتایج مطالعه حاضر در حالت بدون کلکتورهای خورشیدی و سیکل آب‌شیرین‌کن (حالت پایه)، با نتایج مراجع [12, 13] و اطلاعات دریافتی از نیروگاه فعلی مورد مقایسه قرار گرفته است.

**جدول ۶)** اعتبارسنجی نیروگاه بخار تولید توان توسعه داده شده مطالعه حاضر با نتایج مراجع [12, 13]

مرجع [12]	راندمان آگرژی	راندمان	توان کل (MW)
مرجع [12]	۵۲/۰۴	۳۸/۱۸	۳۲۵
مرجع [13]	-	۳۹/۳۶	۳۲۵/۳
اطلاعات نیروگاه بندرعباس	-	۳۸/۷	۳۲۰
نتایج مدل‌سازی (حالت پایه)	۵۳/۱۷	۳۸/۸۸	۳۲۰/۲

نمودار ۲ به مقایسه پارامترهای مختلف دو نیروگاه بخار تولید توان می‌پردازد. با به‌کارگیری کلکتورهای خورشیدی و آب‌شیرین‌کن حرارتی چند مرحله‌ای به ترتیب بازه گرمایی، میزان دی‌اکسیدکربن تولیدی و میزان توان تولیدی کاهش و بازه آگرژی آن افزایش می‌یابد. جدول ۷ مشخصات ترمودینامیکی نیروگاه بخار تولید توان در ساختار یکپارچه را نشان می‌دهد. این جدول نشان می‌دهد که بازه گرمایی سیکل تولید توان ۳۲/۲۴٪ می‌باشد. توان تولیدی و مصرفی در هر یک از تجهیزات ساختار یکپارچه در جدول ۷ نشان داده شده است.

#### ۴-۲- نتایج آنالیز آگرژی

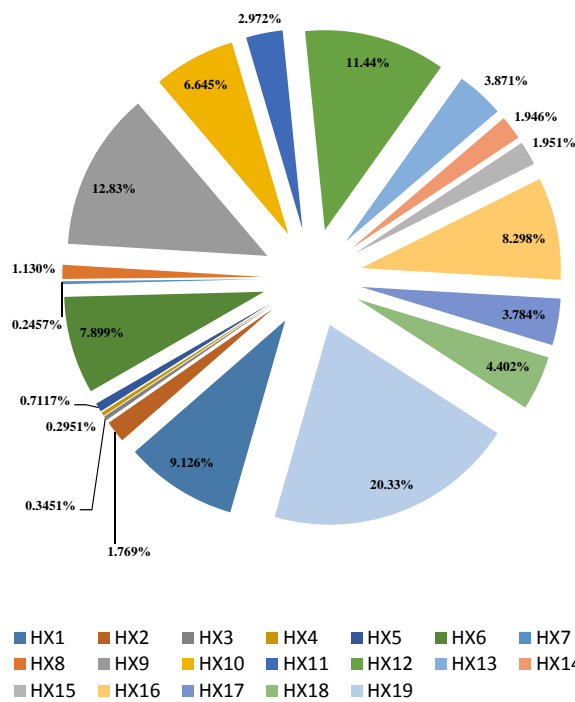
یکی از روش‌های بررسی قانون دوم ترمودینامیک آنالیز آگرژی می‌باشد. جدول ۸ آگرژی فیزیکی، شیمیایی و کل هر یک از جریان‌های فرآیندی را نشان می‌دهد. جدول ۹ مشخصات آگرژی ورودی، آگرژی خروجی و میزان تخریب آگرژی در هر یک از تجهیزات ساختار یکپارچه را نمایش می‌دهد.

بیشترین میزان تخریب آگرژی در کلکتور خورشیدی ۱ به میزان ۲۹۱/۳ مگاوات و کمترین میزان تخریب آگرژی در فلش‌درام D۱ به میزان ۰/۱۵۴۹ کیلو وات رخ داده است. بعد از کلکتورهای خورشیدی

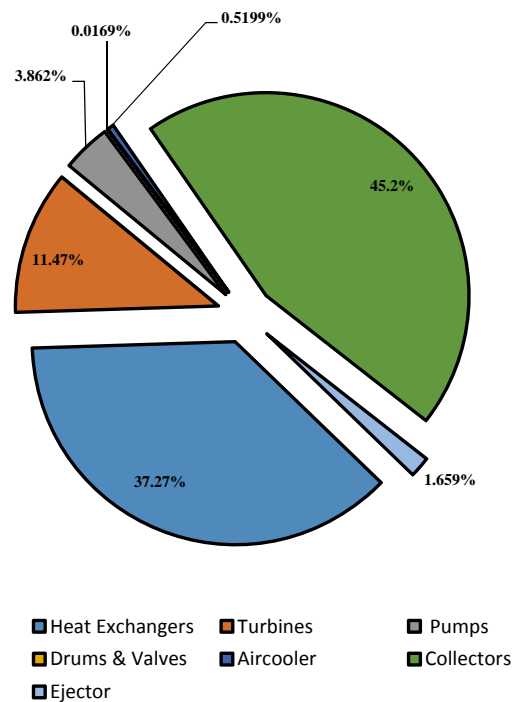


جریان	نرخ آگرزوی فیزیکی (kW)	نرخ آگرزوی شیمیایی (kW)	نرخ آگرزوی کل (kW)	جریان	نرخ آگرزوی کل (kW)	نرخ آگرزوی فیزیکی (kW)	جریان
۱	۶۷۳۴۳/۵	۲۱۹۰۵۴/۰	۳۴۱۷۵۳/۱	۵۷	۳۴۱۷۵۳/۱	۲۱۹۰۵۴/۰	۱
۲	۶۷۳۴۳/۵	۲۱۹۰۵۴/۰	۷۱۶۴۵۲/۰	۵۸	۷۱۶۴۵۲/۰	۲۱۹۰۵۴/۰	۲
۳	۶۰۸۱۳/۰	۱۹۷۸۱۱/۶	۶۰۸۱۳/۰	۵۹	۶۰۸۱۳/۰	۱۹۷۸۱۱/۶	۳
۴	۶۵۳۰/۵	۲۱۲۴۲/۳	۶۰۸۱۳/۰	۶۰	۶۰۸۱۳/۰	۲۱۲۴۲/۳	۴
۵	۶۰۸۱۳/۰	۱۹۷۸۱۱/۶	۵۳۸۵۲۲/۷	۶۱	۵۳۸۵۲۲/۷	۱۹۷۸۱۱/۶	۵
۶	۵۱۴۸۳/۷	۱۶۷۴۶۵/۵	۴۵۵۹۰۸/۲	۶۲	۴۵۵۹۰۸/۲	۱۶۷۴۶۵/۵	۶
۷	۵۱۴۸۳/۷	۱۶۷۴۶۵/۵	۵۲۱۶۳۸/۹	۶۳	۵۲۱۶۳۸/۹	۱۶۷۴۶۵/۵	۷
۸	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۴۹۰۳۵۱/۰	۶۴	۴۹۰۳۵۱/۰	۱۵۷۴۲۰/۹	۸
۹	۳۰۳۲/۰	۹۸۶۲/۵	۳۰۳۲/۰	۶۵	۳۰۳۲/۰	۹۸۶۲/۵	۹
۱۰	۵۶/۰	۱۸۲/۱	۵۶۷/۲	۶۶	۵۶۷/۲	۱۸۲/۱	۱۰
۱۱	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۳۸۷۶۱۱/۴	۶۷	۳۸۷۶۱۱/۴	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۱
۱۲	۴۱۶۵۷/۲	۱۳۵۵۰۱/۸	۳۳۳۶۶۱/۰	۶۸	۳۳۳۶۶۱/۰	۱۳۵۵۰۱/۸	۱۲
۱۳	۱۹۳۸/۴	۶۳۰۵/۲	۱۵۵۲۵/۰	۶۹	۱۵۵۲۵/۰	۶۳۰۵/۲	۱۳
۱۴	۱۷۱۲/۶	۵۵۷۰/۸	۱۳۷۱۶/۸	۷۰	۱۳۷۱۶/۸	۵۵۷۰/۸	۱۴
۱۵	۳۰۸۷/۵	۱۰۰۴۳/۱	۲۴۷۲۸/۷	۷۱	۲۴۷۲۸/۷	۱۰۰۴۳/۱	۱۵
۱۶	۴۱۶۵۷/۲	۱۳۵۵۰۱/۸	۲۱۳۲۱۴/۴	۷۲	۲۱۳۲۱۴/۴	۱۳۵۵۰۱/۸	۱۶
۱۷	۴۱۶۵۷/۲	۱۳۵۵۰۱/۸	۱۳۶۵۰۷/۲	۷۳	۱۳۶۵۰۷/۲	۱۳۵۵۰۱/۸	۱۷
۱۸	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۵۸۸۱۹/۹	۷۴	۱۵۸۸۱۹/۹	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۸
۱۹	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۵۷۹۰۴/۵	۷۵	۱۵۷۹۰۴/۵	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۹
۲۰	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۵۸۱۲۴/۶	۷۶	۱۵۸۱۲۴/۶	۱۵۷۴۲۰/۹	۲۰
۲۱	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۶۰۱۷۲/۶	۷۷	۱۶۰۱۷۲/۶	۱۵۷۴۲۰/۹	۲۱
۲۲	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۶۳۵۲۸/۶	۷۸	۱۶۳۵۲۸/۶	۱۵۷۴۲۰/۹	۲۲
۲۳	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۷۲۰۱۶/۹	۷۹	۱۷۲۰۱۶/۹	۱۵۷۴۲۰/۹	۲۳
۲۴	۶۷۳۴۳/۵	۲۱۹۰۵۴/۰	۲۴۶۹۷/۴	۸۰	۲۴۶۹۷/۴	۲۱۹۰۵۴/۰	۲۴
۲۵	۶۷۳۴۳/۵	۲۱۹۰۵۴/۰	۲۵۲۶۸۵/۳	۸۱	۲۵۲۶۸۵/۳	۲۱۹۰۵۴/۰	۲۵
۲۶	۶۷۳۴۳/۵	۲۱۹۰۵۴/۰	۲۶۹۱۵۷/۴	۸۲	۲۶۹۱۵۷/۴	۲۱۹۰۵۴/۰	۲۶
۲۷	۶۷۳۴۳/۵	۲۱۹۰۵۴/۰	۳۳۸۰۰۷/۹	۸۳	۳۳۸۰۰۷/۹	۲۱۹۰۵۴/۰	۲۷
۲۸	۴۹۵۹۴۸/۵	۱۶۱۳۲۱۴/۲	۱۶۱۳۲۱۴/۲	۸۴	۱۶۱۳۲۱۴/۲	۴۹۵۹۴۸/۵	۲۸
۲۹	۶۵۳۰/۵	۲۱۲۴۲/۳	۶۱۲۸۸/۵	۸۵	۶۱۲۸۸/۵	۲۱۲۴۲/۳	۲۹
۳۰	۹۳۲۹/۳	۳۰۳۴۶/۲	۸۲۶۱۴/۵	۸۶	۸۲۶۱۴/۵	۳۰۳۴۶/۲	۳۰
۳۱	۳۰۳۲/۰	۹۸۶۲/۵	۲۷۶۱۱/۰	۸۷	۲۷۶۱۱/۰	۳۰۳۲/۰	۳۱
۳۲	۵۶/۰	۱۸۲/۱	۴۴۹/۴	۸۸	۴۴۹/۴	۱۸۲/۱	۳۲
۳۳	۳۰۸۷/۵	۱۰۰۴۳/۱	۲۱۰۵۵/۷	۸۹	۲۱۰۵۵/۷	۱۰۰۴۳/۱	۳۳
۳۴	۱۷۱۲/۶	۵۵۷۰/۸	۹۷۲۱/۵	۹۰	۹۷۲۱/۵	۵۵۷۰/۸	۳۴
۳۵	۱۹۳۸/۴	۶۳۰۵/۲	۹۴۶۸۸/۰	۹۱	۹۴۶۸۸/۰	۱۹۳۸/۴	۳۵
۳۶	۶۵۳۰/۵	۲۱۲۴۲/۳	۴۰۸۱۱/۳	۹۲	۴۰۸۱۱/۳	۲۱۲۴۲/۳	۳۶
۳۷	۱۵۸۵۹/۸	۵۱۵۸۸/۵	۹۸۲۱۰/۲	۹۳	۹۸۲۱۰/۲	۵۱۵۸۸/۵	۳۷
۳۸	۱۵۸۵۹/۸	۵۱۵۸۸/۵	۶۶۴۲/۶	۹۴	۶۶۴۲/۶	۵۱۵۸۸/۵	۳۸
۳۹	۱۸۸۹۱/۸	۶۱۴۵۱/۰	۹۲۹۸۲/۰	۹۵	۹۲۹۸۲/۰	۶۱۴۵۱/۰	۳۹
۴۰	۱۸۸۹۱/۸	۶۱۴۵۱/۰	۷۳۲۴۳/۲	۹۶	۷۳۲۴۳/۲	۶۱۴۵۱/۰	۴۰
۴۱	۳۰۸۷/۵	۱۰۰۴۳/۱	۱۰۵۱۰/۸	۹۷	۱۰۵۱۰/۸	۱۰۰۴۳/۱	۴۱
۴۲	۴۸۰۰/۲	۱۵۷۱۳/۹	۲۰۱۵۷/۱	۹۸	۲۰۱۵۷/۱	۱۵۷۱۳/۹	۴۲
۴۳	۴۸۰۰/۲	۱۵۷۱۳/۹	۱۵۹۴۸/۵	۹۹	۱۵۹۴۸/۵	۱۵۷۱۳/۹	۴۳
۴۴	۱۹۳۸/۴	۶۳۰۵/۲	۶۴۲۳/۴	۱۰۰	۶۴۲۳/۴	۱۹۳۸/۴	۴۴
۴۵	۵۸۲۵۱/۵	۱۸۹۴۷۹/۷	۱۸۹۴۷۹/۷	۱۰۱	۱۸۹۴۷۹/۷	۵۸۲۵۱/۵	۴۵
۴۶	۵۸۲۵۱/۵	۱۸۹۴۷۹/۷	۱۸۹۶۸۵/۱	۱۰۲	۱۸۹۶۸۵/۱	۱۸۹۴۷۹/۷	۴۶
۴۷	۴۰۰۰۸/۸	۱۳۰۳۰۲/۶	۱۳۰۳۰۲/۶	۱۰۳	۱۳۰۳۰۲/۶	۴۰۰۰۸/۸	۴۷
۴۸	۴۰۰۰۸/۸	۱۳۰۳۰۲/۶	۲۲۹۸۳/۳	۱۰۴	۲۲۹۸۳/۳	۱۳۰۳۰۲/۶	۴۸
۴۹	۱۴۰۰۰/۰	۶۲۲۲۶/۴	۶۳۶۳۵/۰	Oil۱	۶۳۶۳۵/۰	۱۴۰۰۰/۰	۴۹
۵۰	۱۴۰۰۰/۰	۶۲۲۲۶/۴	۷۰۰۲۱۳/۳	Oil۲	۷۰۰۲۱۳/۳	۱۴۰۰۰/۰	۵۰
۵۱	۱۴۰۰۰/۰	۶۲۲۲۶/۴	۶۸۷۰۴۵/۰	Oil۳	۶۸۷۰۴۵/۰	۱۴۰۰۰/۰	۵۱
۵۲	۷۲۴۶/۲	۳۲۲۰۵۶/۹	۳۵۵۶۰۶/۲	Oil۴	۳۵۵۶۰۶/۲	۷۲۴۶/۲	۵۲
۵۳	۷۲۴۶/۲	۳۲۲۰۵۶/۹	۳۳۶۵۳/۱	Oil۵	۳۳۶۵۳/۱	۷۲۴۶/۲	۵۳
۵۴	۴۹۵۹۴۸/۵	۱۶۱۳۲۱۴/۲	۱۶۱۳۲۱۴/۲	Oil۶	۱۶۱۳۲۱۴/۲	۴۹۵۹۴۸/۵	۵۴
۵۵	۷۲۴۶/۲	۳۲۲۰۵۶/۹	۳۲۲۰۵۷/۱	Oil۷	۳۲۲۰۵۷/۱	۷۲۴۶/۲	۵۵
۵۶	۷۲۴۶/۲	۳۲۲۰۵۶/۹	۳۲۲۲۶۷/۲	Oil۸	۳۲۲۲۶۷/۲	۷۲۴۶/۲	۵۶

جریان	نرخ انرژی سوخت (kW)	نرخ انرژی محصولات (kW)	نرخ تخریب انرژی (kW)	جریان	نرخ انرژی سوخت (kW)	نرخ انرژی محصولات (kW)	نرخ تخریب انرژی (kW)
HX1	۴۴۶۳۰۹/۱	۴۴۵۹۴۸۳/۵	۲۶۳۷۲/۶	T8	۱۳۷۱۶/۸	۱۳۷۱۶/۸	۷۹۷/۲
HX2	۹۳۵۰۶۰۲/۵	۹۳۴۵۴۸۹/۶	۵۱۱۲/۹	T9	۲۴۷۲۸/۷	۲۴۷۲۸/۷	۶۰۲/۴
HX3	۱۶۷۵۹۳/۲	۱۶۷۵۹۶/۱	۹۹۷/۲	T10	۷۰۰۲۱۳/۳	۷۰۰۲۱۳/۳	۱۵۹۳/۹
HX4	۱۸۰۳۲۹/۸	۱۷۹۴۷۷/۱	۸۵۲/۷	T11	۳۵۵۶۰۶/۲	۳۵۵۶۰۶/۲	۲۵۸۰/۴
HX5	۱۸۴۵۸۴/۳	۱۸۲۵۲۷/۷	۲۰۵۶/۶	T12	۴۱۵۳۷۵/۱	۴۱۵۳۷۵/۱	۸۷۰۴/۱
HX6	۳۶۶۳۴۲/۵	۳۴۳۵۱۷/۰	۲۲۸۲۵/۵	T13	۲۱۱۸۰۵۱/۲	۲۱۱۸۰۵۱/۲	۱۵۵۱۳/۱
HX7	۳۴۸۲۹۹/۶	۳۴۷۵۸۹/۶	۷۱۰/۰	P1	۱۵۸۳۷۰/۵	۱۵۸۳۷۰/۵	۲۵/۹
HX8	۳۴۵۶۶۷/۳	۳۴۲۴۰۰/۶	۳۲۶۶/۷	P2	۲۵۲۶۸۵/۳	۲۵۲۶۸۵/۳	۶۷۸/۶
HX9	۴۰۴۴۵۰/۵	۳۶۷۳۶۷/۶	۳۷۰۸۲/۹	P3	۶۳۷۳۸۱/۶	۶۳۷۳۸۱/۶	۹۹۳۱/۱
HX10	۴۰۱۱۳۶/۳	۳۸۱۹۳۴/۴	۱۹۲۰/۹	P4	۳۲۲۳۱۸/۹	۳۲۲۳۱۸/۹	۵۱/۶
HX11	۳۵۸۳۶۴/۵	۳۴۹۷۷۷/۳	۸۵۸۷/۲	P5	۳۹۲۷۹۰/۳	۳۹۲۷۹۰/۳	۱۸۸۹۸/۴
HX12	۹۷۳۷۷۳۹/۲	۹۷۰۴۶۷۷/۸	۳۳۰۶۱/۴	P6	۱۹۷۹۹۵۹/۱	۱۹۷۹۹۵۹/۱	۳۱۷/۵
HX13	۶۳۹۲۷۷/۴	۶۲۸۰۹۱/۷	۱۱۱۸۵/۷	P7	۱۲۸۵۳۲/۶	۱۲۸۵۳۲/۶	۳/۳۹۳۳
HX14	۶۱۹۷۶۷/۹	۶۱۴۱۴۳/۳	۵۶۲۴/۵	P8	۱۳۰۳۰۲/۷	۱۳۰۳۰۲/۷	۰/۲۶۷۹
HX15	۶۰۸۸۹۸/۱	۶۰۳۲۵۹/۵	۵۶۳۸/۶	P9	۸۷۴۹۰۸۶/۲	۸۷۴۹۰۸۶/۲	۶۱۰۳۳۶
HX16	۳۲۹۳۸۳۵/۵	۳۲۶۹۸۵۷/۰	۲۳۹۷۸/۵	P10	۴۳۵۷۴۴۲۴/۳	۴۳۵۷۴۴۲۴/۳	۳۰/۰۳۱۵
HX17	۹۴۶۰۲۰۰/۶	۹۴۴۹۲۶۵/۸	۱۰۹۳۴/۸	D1	۴۵۲۳۸۶/۷	۴۵۲۳۸۶/۷	۰/۱۵۴۹
HX18	۱۹۴۹۷۴۱/۳	۱۹۳۷۰۲۰/۴	۱۲۷۲۱/۰	D2	۶۴۶۹۸۲/۲	۶۴۶۹۸۲/۲	۰/۶۴۵۱
HX19	۴۷۷۸۷۳۹۱/۴	۴۷۷۲۸۶۳۱/۵	۵۸۷۵۹/۹	D3	۸۴۵۴۳۸/۴	۸۴۵۴۳۸/۴	۰/۲۹۱۷
T1	۶۴۶۹۷۵/۴	۶۳۱۲۱۱/۷	۱۵۷۶۳/۸	V1	۳۷۰۴۱۶/۶	۳۷۰۴۱۶/۶	۴۱/۱
T2	۶۹۴۷۶/۵	۶۸۶۷۲/۱	۸۰۴/۵	V2	۳۷۰۴۱۶/۲	۳۷۰۴۱۶/۲	۴۵/۵
T3	۴۹۰۳۵۱/۰	۴۷۵۶۶۶/۷	۱۴۶۸۴/۲	V3	۳۷۰۴۱۶/۲	۳۷۰۴۱۶/۲	۴۳/۴
T4	۳۰۲۲۰/۸	۳۰۳۳۷/۰	۳۸۳/۸	AC	۱۳۳۸۳۰/۹	۱۳۳۸۳۰/۹	۴۰۳۰/۷
T5	۵۶۷/۲	۵۵۰/۴	۱۶/۸	Solar dish1	۴۴۵۷۰۸۰۶/۴	۴۴۵۷۰۸۰۶/۴	۲۹۱۳۵۰/۳
T6	۳۳۳۶۴۱/۰	۳۰۷۵۳۷/۳	۲۶۱۰۳/۶	Solar dish2	۸۸۹۴۶۹۴/۳	۸۸۹۴۶۹۴/۳	۵۹۰۶۵/۳
T7	۱۵۵۲۵/۰	۱۴۱۷۷/۸	۱۳۴۷/۲	Cycle	۱۲۱۹۲۸۲/۵	۱۲۱۹۲۸۲/۵	۲۶۱۵۴۴/۴
Ejector	۲۸۱۷۲۶/۷	۲۶۸۸۶۰/۸	۱۲۸۶۵/۹				



نمودار ۴) سهم تخریب انرژی در تجهیزات ساختار یکپارچه هر یک از مبدل‌های حرارتی ساختار هیبریدی توسعه داده شده



نمودار ۳) سهم اجزاء مختلف در تخریب انرژی در ساختار یکپارچه

مشخصه اجزاء	راندمان انرژی (%)	مشخصه اجزاء	راندمان انرژی (%)	اجزاء به همراه راندمان انرژی مربوطه
HX11	۹۸/۲۱	HX1	۹۶/۲۵	مبدل‌های حرارتی <sup>[22]</sup> $\eta_{ex} = 1 - \left[ \frac{\sum_1^n (\dot{m}\Delta e)}{\sum_1^n (\dot{m}\Delta h)} \right]_h - \left[ \frac{\sum_1^n (\dot{m}\Delta e)}{\sum_1^n (\dot{m}\Delta h)} \right]_c$
HX12	۹۳/۵۴	HX2	۹۵/۷۴	
HX13	۹۸/۲۸	HX3	۹۵/۳۶	
HX14	۹۹/۱۰	HX4	۹۶/۳۱	
HX15	۹۹/۰۸	HX5	۹۴/۸۶	
HX16	۹۵/۰۴	HX6	۹۵/۶۵	
HX17	۹۳/۵۴	HX7	۹۴/۳۵	
HX18	۸۸/۱۱	HX8	۹۳/۸۷	
HX19	۹۱/۶۷	HX9	۷۸/۲۸	
-	-	HX10	۹۵/۶۵	
T8	۸۰/۰۴	T1	۸۵/۴۶	توربین‌ها <sup>[26]</sup> $\eta_{ex} = \frac{\dot{W}}{\sum (\dot{m}.ex)_{in} - \sum (\dot{m}.ex)_{out}}$
T9	۸۳/۵۹	T2	۸۷/۳۲	
T10	۸۷/۸۹	T3	۸۵/۷۰	
T11	۸۶/۴۷	T4	۸۷/۶۵	
T12	۸۶/۰۱	T5	۸۵/۷۴	
T13	۵۴/۴۶	T6	۷۸/۳۲	
-	-	T7	۷۷/۷۵	
P6	۸۰/۲۵	P1	۸۹/۴۵	پمپ‌ها <sup>[26, 27]</sup> $\eta_{ex} = \frac{\sum (\dot{m}.e)_{in} - \sum (\dot{m}.e)_{out}}{\dot{W}_{pump}}$
P7	۷۸/۰۲	P2	۹۱/۹۰	
P8	۸۹/۹۱	P3	۸۶/۲۶	
P9	۸۲/۰۹	P4	۸۰/۲۵	
P10	۸۲/۱۲	P5	۶۶/۰۷	
-	-	AC	۹۷/۰۴	کولر <sup>[22, 27]</sup> $\eta_{ex} = \frac{\dot{W}}{\sum (\dot{m}.e)_i + \dot{W}}$
V3	۵۶/۱۷	V1	۵۶/۱۲	شیر انبساط <sup>[27]</sup> $\eta_{ex} = \frac{e_o^{\Delta T} - e_i^{\Delta T}}{e_i^{\Delta p} - e_o^{\Delta p}}$
-	-	V2	۵۵/۱۶	$e^{\Delta T} = \int_T^{T_0} \frac{T-T_0}{T} dh, e^{PH} = e^{\Delta T} + e^{\Delta p}$
۷۰/۷۶		Solar dish1		کلکتور <sup>[1, 27]</sup> $\dot{E}x_s = Q_s \left[ 1 - \frac{4}{3} (1 - 0.28 \ln f) \frac{T_a}{T_s} \right]$ $T_a = 306 K$ $T_s = 5777 K$ $\eta_{ex} = 1 - \frac{\dot{E}x_{des}}{\dot{E}x_s}$
۷۱/۱۴		Solar dish2		
۹۵/۴۳		Ejector		اجکتور <sup>[23]</sup> $\eta_{ex} = \frac{\sum (\dot{m}.ex)_o}{\sum (\dot{m}.ex)_i}$
۷۸/۵۴		$\eta_{cycle}$		چرخه/فرآیند <sup>[21, 27]</sup> $\eta_{ex} = 1 - \frac{\text{Total irreversibility}}{\text{Total power consumption}}$

### ۳-۴- نتایج آنالیز اقتصادی

روش انتخاب شده به منظور آنالیز اقتصادی، آنالیز هزینه‌های هم‌سطح شده سالانه ACS می‌باشد. در این روش کلیه هزینه‌های یک سیستم در طول مدت عمر فنی پیش‌بینی شده آن مورد محاسبه قرار می‌گیرد. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های هم‌سطح شده سالیانه اولیه (C<sub>acap</sub>)، هزینه‌های هم‌سطح شده سالیانه برای جایگزینی قطعات (C<sub>arep</sub>)، هزینه‌های هم‌سطح شده سالیانه تعمیرات (C<sub>amain</sub>) و هزینه‌های هم‌سطح شده سالیانه نگهداری جاری سیستم (C<sub>aope</sub>)، تشکیل شده است. از آنجایی که عمر مفید پروژه ۲۰ سال است، از هزینه جایگزینی قطعات صرف نظر می‌گردد. از ضرایب مارشال و سوئیفت به منظور به‌روزرسانی قیمت تجهیزات استفاده

می‌شود.

جدول ۱۱ روابط مورد استفاده برای محاسبه قیمت تجهیزات ساختار یکپارچه را نمایش می‌دهد.

جدول ۱۲ روند انجام آنالیز اقتصادی ساختار یکپارچه با هدف تولید الکتریسیته به عنوان محصول هدف و تولید آب شیرین به عنوان محصول جانبی را به نمایش می‌گذارد.

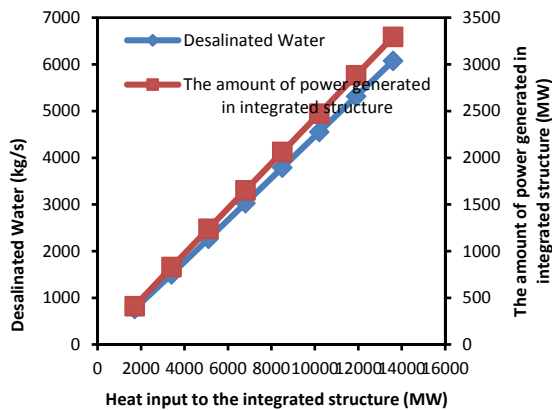
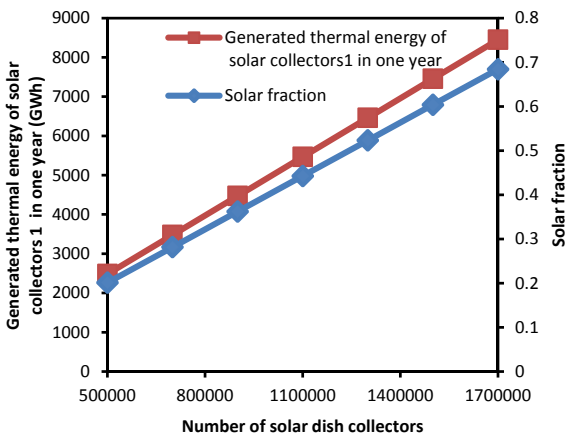
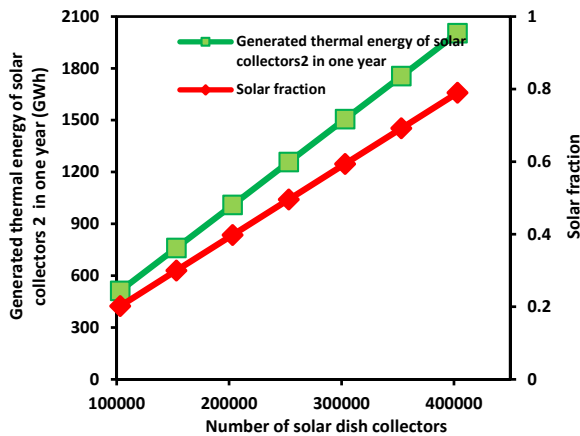
جدول ۱۳ نتایج حاصل از آنالیز اقتصادی ساختار یکپارچه را نشان می‌دهد. آنالیز اقتصادی ساختار یکپارچه نشان می‌دهد که به ترتیب زمان بازگشت سرمایه به میزان ۳/۸۳۸ سال، قیمت تمام شده محصول به میزان ۶/۲۵cent/kWh و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه به میزان ۱۵۱۴ میلیون دلار می‌باشد.

توابع هزینه تجهیزات خریداری شده	اجزاء
$C_{Ex} = 0/378(HP)^{0/81}$ , Original year: 2003 $C_{Ex}$ = Cost of Expander (k\$)	توربین گاز <sup>[1]</sup>
$C_{HX} = 8500 + 409 \times A_{HX}^{0.85}$ , Original year: 2003	مبدل حرارتی <sup>[28]</sup>
$C_{AC} = 1/218f_m f_p \exp[a + b \ln Q + c(\ln Q)^2]$ , Q in KSCFM $C_{AC}$ = Cost of Air cooler (k\$) $f_m$ = Material Factor $f_p$ = Pressure Factor a=0/4692, b=0/1203, c=0/0931, Original year: 2003	کولر هوایی <sup>[22, 27]</sup>
$C_{ST} = 3644/3(W)^{0/7} - 61/3(W)^{0/95}$ , Original year: 2003 $C_{Ex}$ = Cost of Expander (k\$)	توربین بخار <sup>[1]</sup>
$C_P = f_M f_T C_b$ $C_P$ = Cost of Pump (\$) $C_b = 1/39 \exp[8/833 - 0/6019(\ln Q(H)^{0/5}) + 0/0519(\ln Q(H)^{0/5})^2]$ , Q in gpm, H in ft head $f_M$ = Material Factor $f_T = \exp[b_1 + b_2(\ln Q(H)^{0/5}) + b_3(\ln Q(H)^{0/5})^2]$ $b_1 = 5/1029, b_2 = -1/2217, b_3 = 0/0771$ , Original year: 2003	پمپ <sup>[27, 29]</sup>
$C_{boiler} = (0/249P_{boiler} + 47/19)\dot{m}_{steam} + 3/29P_{boiler} + 624/6$	بوiler <sup>[27]</sup>
$C_D = f_m C_b + C_a [95/96]$ $C_D$ = Cost of Drum (\$) $C_b = 1/218 \exp[9/1 - 0/2889(\ln W) + 0/04576(\ln W)^2]$ , 5000 < W < 226000 lb shell weight $C_a = 300D^{0/7396} L^{0/7066}$ , 6 < D < 10, 12 < L < 20 ft $f_m$ = Material Factor, Original year: 2003	درام <sup>[27, 29]</sup>
$C_{Eject} = 16.14 \times 989 \times \dot{m}_{vapor} \times \left(\frac{T_i}{P_i}\right)^{0.05} \times P_e^{-0.75}$	اجکتور بخار <sup>[1, 27]</sup>
$C_{Solar\ dish} = 50 A$ , A=area (m <sup>2</sup> )	بشقاب خورشیدی <sup>[1, 18]</sup>

جدول (۱۲) روند آنالیز اقتصادی ساختار هیبریدی تولید توان و آب شیرین به روش ACS<sup>[1, 27, 30]</sup>

پارامتر	تعاریف
$ACS = C_{acap} (Components) + C_{arep} (Components) + C_{amain} (Components) + C_{aope} (Labor\ Cost + Fuel\ Cost + Insurance\ Cost)$ $C_{cap} = 1.1$ of Total capital cost = 1.1 of (direct cost + Indirect cost + Other outlays)	هزینه سالانه سیستم
$C_{acap} = C_{cap} \cdot CRF(i, Y_{proj}) = C_{cap} \cdot \frac{i \cdot (1+i)^{Y_{proj}}}{(1+i)^{Y_{proj}} - 1}$ $i = \frac{j-f}{1-f}$ j = 17, f = 20%	هزینه سالانه سرمایه
$C_{rap} = C_{cap} (In\ Base) \cdot (1+i)^{Y_{proj}}$ $C_{arep} = C_{rap} \cdot FSF(i, Y_{proj}) = C_{rap} \cdot \frac{j}{(1+i)^{Y_{proj}} - 1}$	هزینه جایگزینی سالانه
For $Y_{proj} = 20$ , $C_{amain} = 0/05$ of Capital Cost OFC = (Labor Cost + Fuel Cost + Insurance Cost) Number of labor = 50, Labor Cost = 400 US\$ per Month Fuel Cost (Natural Gas Price) = 2 (US\$ per Million Btu) Fuel Cost (Electrical Energy Price) = 0/15 (US\$ per kWh) Insurance Cost = 0/02 of Capital Cost	هزینه نگهداری سالانه هزینه عملیاتی سالانه هزینه عملیاتی جریان
$NPV = ACS / CRF(i, Y_{proj})$	ارزش خالص فعلی
Freshwater Price = 3 (US\$ per m <sup>3</sup> Freshwater)	هزینه کل تولید آب شیرین (دلار آمریکا در سال) = C1 NEW ACS = ACS - C1
$LCOP = NEW ACS / Total\ Product\ in\ one\ Year$	هزینه تقسیم محصول/کل محصول در یک سال (کیلووات ساعت انرژی الکتریکی)
$VOP = Volume\ of\ Product$ , $PC = OFC / VOP$ $COP = Cost\ Of\ Product$ , $SOPC = VOP \cdot COP$ $COP = 0/15 (US\$ per kWh)$	هزینه اولیه خلاصه هزینه محصول
$AB = SOPC - OFC$ $NAB = AB \cdot (1 - Tax\ percent)$ , $Tax = 0/1(AB)$	مزایای سالانه سود خالص سالانه
$POR = C_{cap} / NAB$	دوره بازگشت
$ROR = NAB / C_{cap}$	نرخ بازگشت
$AV = COP - PC$	ارزش افزوده

نمودار ۶ تغییرات میزان توان تولیدی و آب شیرین تولید شده و میزان توان تولیدی نسبت به تغییرات انرژی ورودی به ساختار یکپارچه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار نشان داده شده با افزایش حرارت ورودی به ساختار یکپارچه میزان توان تولیدی و آب شیرین تولید شده نیز افزایش می‌یابد.



نمودار ۶ تغییرات میزان توان تولیدی و آب شیرین تولیدی نسبت به حرارت ورودی به سیستم هیبریدی

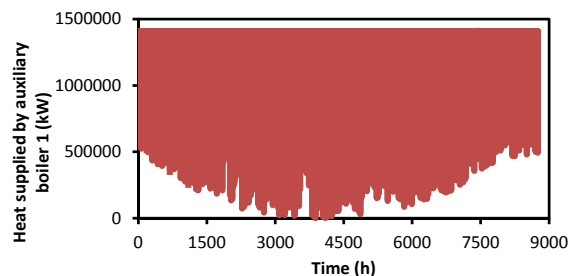
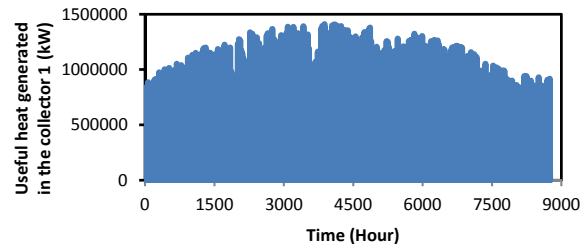
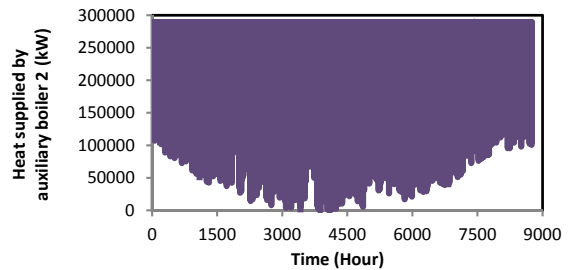
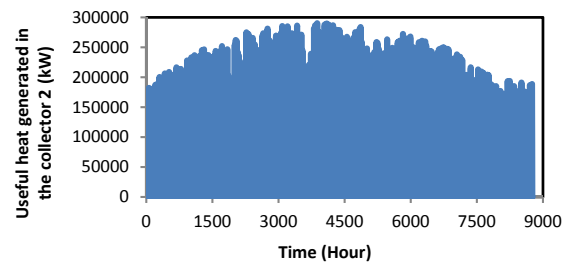
پارامترهای زمان بازگشت سرمایه قیمت تمام شده محصول و ارزش افزوده از پارامترهای تاثیرگذار جهت انتخاب ساختار یکپارچه مناسب می‌باشد.

نمودار ۷ تغییرات زمان بازگشت سرمایه نسبت به قیمت الکتریسیته در ساختار یکپارچه را به نمایش می‌گذارد. با افزایش قیمت الکتریسیته زمان بازگشت سرمایه کاهش می‌یابد. همان‌طور که در نمودار مشخص شده است وقتی قیمت الکتریسیته کمتر از

جدول ۱۳ پارامترهای کلیدی جهت بررسی ساختار یکپارچه توسعه داده شده، تولید توان و آب شیرین

پارامتر	مقدار	واحد
هزینه سرمایه	۱۵۱۴	Million US\$
هزینه مصرف انرژی	۱۵۱/۳	Million US\$/Year
قیمت برق تولید شده	۲۳/۷۷	Million US\$/Year
هزینه تولید آب شیرین	۸۶/۴۹	Million US\$/Year
هزینه اولیه محصول	۰/۰۶۲۵	US\$/kWh
سود خالص سالانه	۳۹۴/۴	Million US\$/Year
هزینه عملیاتی سالانه	۳۸۱/۳	Million US\$/Year
ارزش خالص فعلی	۵۸۷۳	Million US\$/Year
دوره بازگشت	۳/۸۳۸	Year
نرخ بازگشت	۲۶/۰۶	Percent
هزینه بیمه	۳۰/۲۷	Million US\$/Year
ارزش افزوده	۰/۰۸۷۵	US\$/kWh
هزینه عملیاتی جریان	۲۵۱/۱	Million US\$/Year

نمودار ۵ تغییرات انرژی گرمایی جذب شده در کلکتورهای خورشیدی و نسبت سولارفرکشن به تغییرات تعداد کلکتورهای خورشیدی بشقابکی را به نمایش می‌گذارد. با افزایش تعداد کلکتورهای بشقابکی میزان انرژی جذب شده توسط کلکتورها افزایش یافته و از سوی دیگر سهم انرژی خورشیدی جذب شده نسبت به کل انرژی ورودی به سیستم هیبریدی نیز افزایش می‌یابد.



نمودار ۵ تغییرات انرژی خورشیدی جذب شده و تغییرات سولارفرکشن نسبت به تغییرات تعداد کلکتورهای خورشیدی در بویلر

### ۵- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مطالعه از کلکتورهای بشقابکی خورشیدی به منظور تأمین حرارت جایگزین شده در یک نیروگاه بخار استفاده شد. همچنین حرارت اتلافی در کندانسور نیروگاه بخار جهت تأمین حرارت ورودی در آب شیرین‌کن حرارتی چند مرحله‌ای به کار گرفته شد. تغییرات مورد نظر در ساختار یکپارچه توسعه داده شده منجر به کاهش بازدهی حرارتی نیروگاه به میزان ۴/۲۱۸٪، افزایش بازده انرژی به میزان ۳۲/۳٪ و کاهش ۷۰٪ دی‌اکسید کربن شد. به منظور بررسی قانون دوم ترمودینامیک در ساختار یکپارچه از بازده انرژی و تخریب انرژی به طور هم‌زمان در تجهیزات استفاده شد. همان‌طور که در ساختار یکپارچه نشان داده شد، کلکتورهای خورشیدی و مبدل‌های حرارتی بیشترین میزان تخریب انرژی را دارند. بازده انرژی این دو تجهیز نسبت به سایر تجهیزات میزان بالاتری را به خود اختصاص دادند. از سوی دیگر شیر اختناق کمترین بازدهی را در میان تجهیزات دارد.

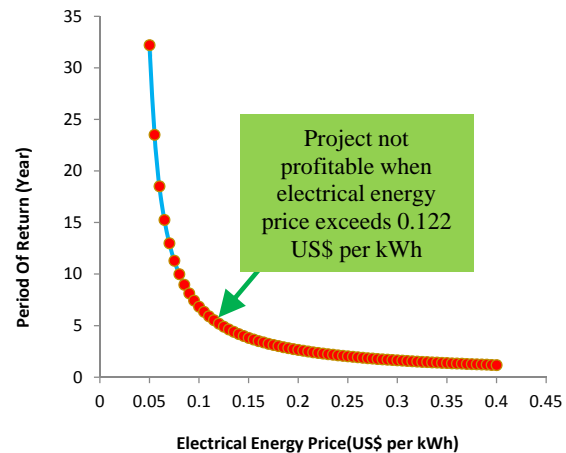
یکی از دلایل بالا بودن بازده انرژی ساختار یکپارچه رعایت موارد ذکر شده می‌باشد. از روش هزینه‌های هم‌سطح شده سالیانه (ACS) به منظور ارزیابی اقتصادی ساختار یکپارچه استفاده شد. این ساختار یکپارچه به ترتیب دارای زمان بازگشت سرمایه به میزان ۳/۸۳۸ سال، سود مفید سالیانه ۳۹۴/۴ میلیون دلار بر سال و ارزش افزوده ۰/۸۷۵۰ US\$/kWh می‌باشد. آنالیز حساسیت ساختار یکپارچه توسعه داده شده نشان می‌دهد که با افزایش قیمت آب شیرین تولیدی، سود خالص سالیانه افزایش و زمان بازگشت سرمایه کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش قیمت الکتریسیته زمان بازگشت سرمایه کاهش می‌یابد.

**تشکر و قدردانی:** نویسندگان این مورد را بیان نکردند.  
**تأییدیه اخلاقی:** نویسندگان این مورد را بیان نکردند.  
**تعارض و منافع:** نویسندگان این مورد را بیان نکردند.  
**سهم نویسندگان:** زهرا جوادی (نویسنده اول)، روش شناس/پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۴۰٪)؛ مهدی میانسری (نویسنده دوم)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۳۰٪)؛ بهرام قربانی (نویسنده سوم)، روش شناس/پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۳۰٪)  
**منابع مالی:** نویسندگان این مورد را بیان نکردند.

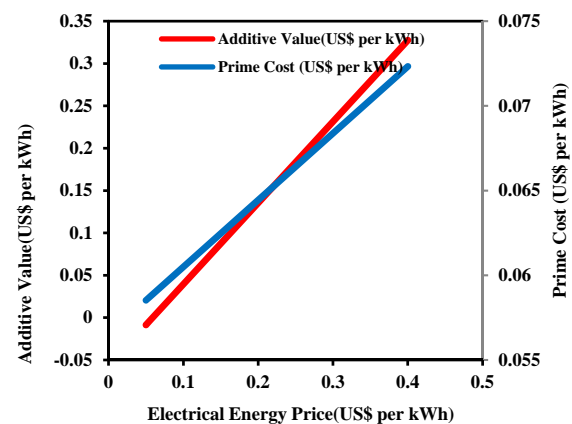
### ۵- پی‌نوشت علامه

حرارت (kW)	Q
فشار (bar)؛ توان (kW)	P
توان رسیده بر سطح دیش (W)	Q <sub>s</sub>
تابش مستقیم رسیده به سطح کلکتور از جانب خورشید (W/m <sup>2</sup> )	I <sub>s</sub>
مساحت سطح کلکتور خورشیدی (m <sup>2</sup> )	A <sub>a</sub>
انرژی رسیده به گیرنده (W)	Q <sub>r</sub>
انرژی مفید رسیده به گیرنده (W)	Q <sub>u</sub>
اتلاف انرژی در گیرنده (W)	Q <sub>l</sub>
عدد ناسلت	Nu <sub>l</sub>
دما (K)	T
دمای گیرنده (°C)	T <sub>w</sub>
مساحت سطح دیافراگم گیرنده (m <sup>2</sup> )	A <sub>c</sub>
سطح داخلی محفظه گیرنده (m <sup>2</sup> )	A <sub>w</sub>
عدد گراش	Gr <sub>l</sub>
شتاب ثقل (9.806m/s <sup>2</sup> )	g

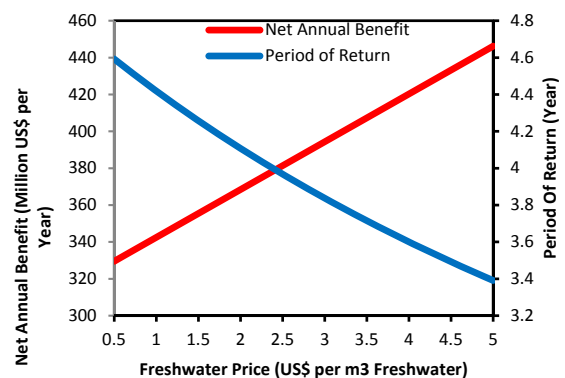
۰/۱۲۲ US\$/kWh باشد، ساختار یکپارچه به واسطه زمان بازگشت سرمایه بیشتر از ۵ سال، از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر نمی‌باشد. نمودار ۸ تغییرات ارزش افزوده و تغییرات قیمت تمام‌شده محصول نسبت به تغییرات قیمت الکتریسیته را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودار مشخص است با افزایش قیمت الکتریسیته به ترتیب ارزش افزوده و قیمت تمام‌شده محصول افزایش می‌یابد. نمودار ۹ تغییرات زمان بازگشت سرمایه و سود مفید سالانه ساختار یکپارچه نسبت به تغییرات قیمت آب شیرین تولیدشده را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار با افزایش قیمت آب شیرین، سود مفید سالیانه افزایش و زمان بازگشت سرمایه کاهش می‌یابد.



نمودار ۷) تغییرات زمان بازگشت سرمایه بر اساس تغییرات قیمت الکتریسیته



نمودار ۸) تغییرات ارزش افزوده و قیمت تمام‌شده محصول نسبت به تغییرات قیمت الکتریسیته



نمودار ۹) تغییرات زمان بازگشت سرمایه و سود مفید سالانه ساختار هیبریدی توسعه داده شده نسبت به تغییرات قیمت آب شیرین تولیدشده

c	جابجایی، کلکتور
k	هدایت
0	حالت مرجع
a	محیط
m	بخار محرک
<b>اختصارات</b>	
ORC	سیکل رانکین آلی
LMTD	اختلاف دمای میانگین لگاریتمی
MED	آب شیرین کن چند اثره

### منابع

- Mehrpooya M, Ghorbani B, Hosseini SS. Thermodynamic and economic evaluation of a novel concentrated solar power system integrated with absorption refrigeration and desalination cycles. *Energy Conversion and Management*. 2018;175:337-356.
- Mehrpooya M, Ghorbani B, Mousavi SA. Integrated power generation cycle (Kalina cycle) with auxiliary heater and PCM energy storage. *Energy Conversion and Management*. 2018;177:453-467.
- Ansarinasaba H, Mehrpooya M. Investigation of a combined molten carbonate fuel cell, gas turbine and stirling engine combined cooling heating and power (CCHP) process by exergy cost sensitivity analysis. *Conversion and Management*. 2018;165:291-303.
- Ghorbani B, Mehrpooya M, Sadeghzadeh M. Developing a tri-generation system of power, heating, and freshwater (for an industrial town) by using solar flat plate collectors, multi-stage desalination unit, and Kalina power generation cycle. *Energy Conversion and Management*. 2018;165:113-126.
- Mehrpooya M, Hemmatabady H, Ahmadi MH. Optimization of performance of Combined Solar Collector-Geothermal Heat Pump Systems to supply thermal load needed for heating greenhouses. *Energy Conversion and Management*. 2015;97:382-392.
- Javidmehr M, Joda F, Mohammadi A. Thermodynamic and economic analyses and optimization of a multigeneration system composed by a compressed air storage, solar dish collector, micro gas turbine, organic Rankine cycle, and desalination system. *Energy Conversion and Management*. 2018;168:467-481.
- Loni R, Askari E, Ghobadian B, Kasaeian AB, Gorjian S. thermodynamic analysis of a solar dish receiver using different nanofluids. *Energy*. 2017;133:749-760.
- Mohammadi A, Kasaeian A, Pourfayaz F, Ahmadi MH. Thermodynamic analysis of a combined gas turbine, ORC cycle and absorption refrigeration for a CCHP system. *Applied Thermal Engineering*. 2017;111:379-406.
- Argun ME, Kulaksız AA. Performance investigation of a new solar desalination unit based on sequential flat plate and parabolic dish collector. *International Journal of Green Energy*. 2017;14(6):561-568.
- Mehrpooya M, Tosang E, Dadak A. Investigation of a combined cycle power plant coupled with a parabolic trough solar field and high temperature energy storage system. *Energy Conversion and Management*. 2018;171:1662-1674.
- Mohammadi A, Mehrpooya M. Energy and exergy analyses of a combined desalination and CCHP system driven by geothermal energy. *Applied Thermal Engineering*. 2017;116:685-694.
- Nikbakht Naserabad S, Mobini K, Mehrpanahi A, Aligoodarz MR. Technical analysis of conversion of a steam

L	قطر (m)
$h_c$	ضریب انتقال حرارت جابجایی بین جذب کننده و هوای محیط (W/m <sup>2</sup> K)
K	ضریب انتقال حرارت هدایتی هوای محیط (W/m.K)
$G_{on}$	میزان تابش ماورای زمین روی یک سطح (W/m <sup>2</sup> )
$G_{sc}$	ثابت خورشیدی (1367W/m <sup>2</sup> )
c	نسبت تمرکز هندسی
$H_0$	میزان تابش ماورای زمین روی یک سطح افقی (W/m <sup>2</sup> )
$I_s$	کل تابش ساعتی خورشید بر سطح افقی (W/m <sup>2</sup> )
$\dot{E}_x$	نرخ آگرژی (kW)
$\dot{m}$	نرخ دبی جرمی (kg/s)
s	آنتروپی مخصوص (kJ/kg.K)
ex	آگرژی مخصوص (kJ/kg)
h	آنتالپی مخصوص (kJ/kg)
U	ضریب انتقال حرارت کلی (W/m <sup>2</sup> .K)
Ra	نسبت جذب اجکتور بخار
$\dot{W}$	توان (kW)

### علامه یونانی

$\rho$	انعکاس
$\tau$	انتقال
$\alpha$	جذب
$\gamma$	فاکتور قطع
$\eta$	راندمان (%)
$\phi_1$	زاویه شیب محفظه (رادیان)
$\beta$	ضریب انبساط گرمایی (1/°C)
$\theta$	ویسکوزیته سینماتیکی (m <sup>2</sup> /s)
$\delta$	انحراف
$\emptyset$	عرض جغرافیایی
$\omega_s$	زاویه ساعتی غروب آفتاب
$\epsilon_{eff}$	شدت نشر مؤثر اشعه مادون قرمز محفظه
$\epsilon_c$	شدت نشر سطح محفظه
$\sigma$	ثابت استفان-بولتزمن (5.67×10 <sup>-8</sup> W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )
$\omega$	زاویه ساعتی
$\Delta$	اختلاف

### بالانویس

ph	فیزیکی
ch	شیمیایی
acap	هزینه سرمایه گذاری سالانه
Cap	هزینه سرمایه گذاری
amain	هزینه نگهداری سالانه
main	هزینه نگهداری
aope	هزینه عملیاتی سالانه
Ope	هزینه عملیاتی
arep	هزینه جایگزینی سالانه
Rep	هزینه جایگزینی

### زیرنویس

eff	مؤثر
ev	بخار مکشی
e	تبخیرکننده
gen	تولید شده
s	بخار گرمایشی
des	از بین رفته
ex	آگرژی
v	بخار
c	چگالنده
in	ورودی
out	خروجی
r	تابش، گیرنده

- based on the MFC and absorption refrigeration systems. *Gas Processing Journal*. 2016;4(1):1-28.
- 23- Ghorbani B, Hamed MH, Shirmohammadi R, Hamed M, Mehrpooya M. Exergoeconomic analysis and multi-objective Pareto optimization of the C3MR liquefaction process. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2016;17:56-67.
- 24- Akbarpour Reyhani H, Meratizaman M, Ebrahimi A, Pourali O, Amidpour M. Thermodynamic and economic optimization of SOFC-GT and its cogeneration opportunities using generated syngas from heavy fuel oil gasification. *Energy*. 2016;107:141-164.
- 25- Wang Y, Lior N. Performance analysis of combined humidified gas turbine power generation and multi-effect thermal vapor compression desalination systems: Part 1: The desalination unit and its combination with a steam-injected gas turbine power system. *Desalination*. 2006;196(1-3):84-104.
- 26- Mehrpooya M, Ghorbani B, and Hosseini SS. Developing and exergetic performance assessment of biogas upgrading process driven by flat plate solar collectors coupled with Kalina power cycle. *Energy Conversion and Management*. 2019;181:398-413.
- 27- Ghorbani B, Hamed MH, Amidpour M, Shirmohammadi R. Implementing absorption refrigeration cycle in lieu of DMR and C3MR cycles in the integrated NGL, LNG and NRU unit. *International Journal of Refrigeration*. 2017;77:20-38.
- 28- Ebrahimi A, Meratizaman M, Akbarpour Reyhani H, Pourali O, Amidpour M. Energetic, exergetic and economic assessment of oxygen production from two columns cryogenic air separation unit. *Energy*. 2015;90:1298-1316.
- 29- Ghorbani B, Mehrpooya M, Ghasemzadeh H. Investigation of a hybrid water desalination, oxy-fuel power generation and CO<sub>2</sub> liquefaction process. *Energy*. 2018;158:1105-1119.
- 30- Ashouri M, Mohammadi Khoshkar Vandani A, Mehrpooya M, Ahmadi MH, Abdollahpour A. Techno-economic assessment of a Kalina cycle driven by a parabolic trough solar collector. *Energy Conversion and Management*. 2015;105:1328-1339.
- power plant to combined cycle, using two types of heavy duty gas turbines. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*. 2015;28(5):781-793.
- 13- Nikbakht Naserabad S, Mobini K, Mehrpanahi A, Aligoodarz MR. Exergy-energy analysis of full repowering of a steam power plant. *Frontiers in Energy*. 2015;9(1):54-67.
- 14- Hafdzi F, Khir T, Ben Yahia A, Ben Brahim A. Exergoeconomic optimization of a double effect desalination unit used in an industrial steam power plant. *Desalination*. 2018;438:63-82.
- 15- Khanmohammadi S, Azimian AR, Khanmohammadi S. Exergy and exergo-economic evaluation of Isfahan steam power plant. *International Journal of Energy*. 2013;12(2):249-272.
- 16- Ahmadi G, Toghraie D, Ali Akbari O. Solar parallel feed water heating repowering of a steam power plant: A case study in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017;77:474-485.
- 17- Khoshgoftar Manesh MH, Amidpour M. Multi-objective thermoeconomic optimization of coupling MSF desalination with PWR nuclear power plant through evolutionary algorithms. *Desalination*. 2009;249(3):1332-1344.
- 18- Moradi M, Mehrpooya M. Optimal design and economic analysis of a hybrid solid oxide fuel cell and parabolic solar dish collector, combined cooling, heating and power (CCHP) system used for a large commercial tower. *Energy*. 2017;130:530-543.
- 19- Safarian S, Aramoun F. Energy and exergy assessments of modified Organic Rankine Cycles (ORCs). *Energy Reports*. 2015;1:1-7.
- 20- Power M. *The audit explosion*. London: Demos; 1994.
- 21- Ghorbani B, Shirmohammadi R, Mehrpooya M, Hamed MH. Structural, operational and economic optimization of cryogenic natural gas plant using NSGAI two-objective genetic algorithm. *Energy* 2018;159:410-428.
- 22- Ghorbani B, Hamed MH and Amidpour M. Exergoeconomic evaluation of an integrated nitrogen rejection unit with LNG and NGL Co-Production processes