



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. ¹ MSc,
Miansari M.*¹ PhD,
Ghorbani B. ² 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.

¹Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran

²Modern 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 $762/6 \text{ kg/s}$ ، 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 $8/138$ 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. مهرپویا و همکاران^[1] 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. مهرپویا و همکاران^[2] 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 مهرپویا^[3] یک

ساختار یکپارچه تولید هم‌زمان گرما، سرما و توان را با استفاده از روش تحلیل انرژی پیرامونی 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 kW مورد استفاده قرار گرفت. قربانی و همکاران^[4] به منظور تولید توان و آب شیرین در یک شهر صنعتی واقع در عسلویه از کلکتورهای صفحه‌تخت استفاده نمودند. این ساختار یکپارچه توانایی تولید هم‌زمان 1864 kW توان، 65154 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. مهرپویا و همکاران^[5] 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. جابویدمهر و همکاران^[6] 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^[7] 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^[8] 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 kW توان، $7/2$ تن آب گرم را دارد. آگوست و کولاکسیز^[9] 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.

مهرپویا و همکاران^[10] 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 مهرپویا^[11] 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 kW گرمایش، 52 kW تبرید و $0/79 \text{ kg/s}$ آب شیرین را دارد. نیک‌بخت و همکاران^[12, 13] 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^[14] به بهینه‌سازی انرژی و اقتصادی یک نیروگاه حرارتی که قادر به تولید 528 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^[15] 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 ترنسپس، 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.

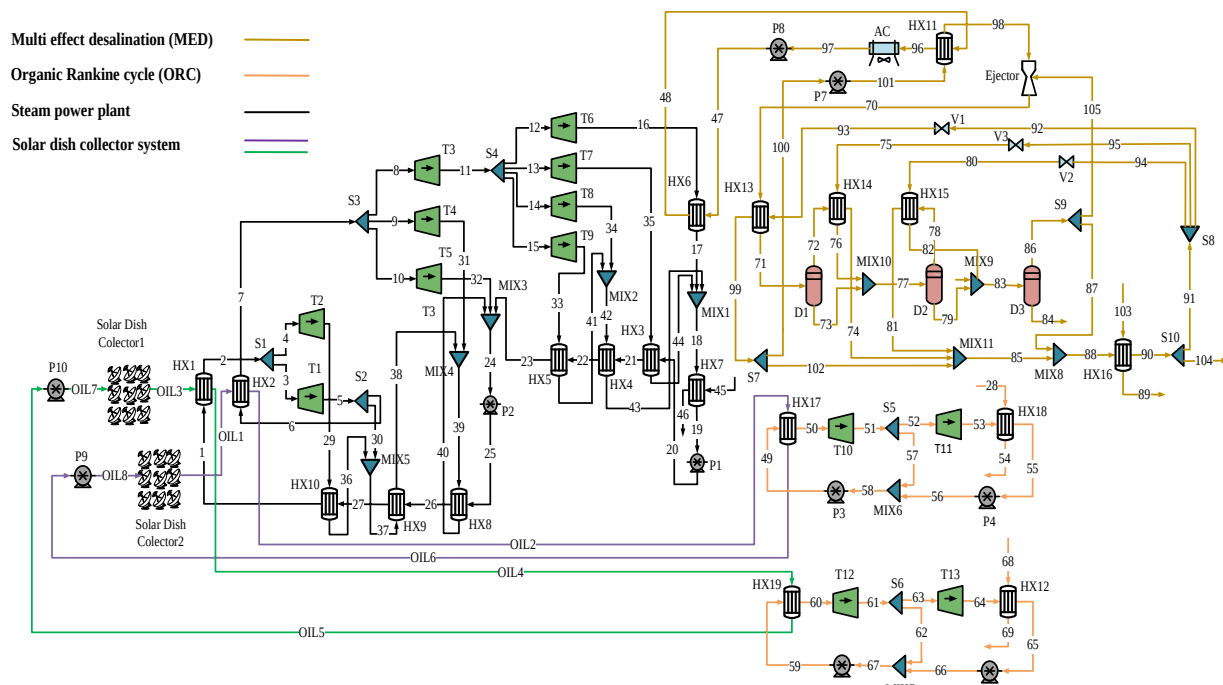
از نرم‌افزار هایسیس جهت شبیه‌سازی نیروگاه سیکل تولید توان استفاده می‌شود. جهت تأمین حرارت ۷۰۳/۶ مگاواتی در بویلر شماره ۱ و ۱۲۰/۲ مگاواتی در بویلر شماره ۲ از کلکتورهای بشقابکی استفاده می‌شود. در حال حاضر جهت تأمین حرارت در بویلر شماره ۱، ۶۴۸۰ kg/h و در بویلر شماره ۲، ۱۵۴۸۰ kg/h گاز طبیعی مصرف می‌شود. جهت کوپل‌نمودن 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 اکونومیک 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 (Annualized Cost of System) به منظور ارزیابی ساختار یکپارچه توسعه داده شده استفاده می‌گردد.



شکل ۱) دیاگرام 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. اطلاعات مربوط به شبیه سازی کلکتور بشقابکی خورشیدی از مراجع^[1] استخراج شده است.

توان تولیدی هر کلکتور را می توان از رابطه زیر به دست آورد^[1]:

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

A_a برابر با مساحت کلکتور خورشیدی و I_s 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_u می باشد که مقدار آن از تفاضل Q_r انرژی رسیده به جذب کننده و Q_l انرژی هدررفت در جذب کننده به دست می آید^[1].

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

η_0 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_s ، به دست می آید^[1].

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

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^[18].

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

بازدهی حرارتی کلکتور خورشیدی را می توان از رابطه زیر به دست آورد^[1].

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

بازدهی اپتیکی را می توان از رابطه زیر نیز محاسبه نمود^[1].

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

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^[18].

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

مقدار کل هدررفت انرژی از جذب کننده کلکتور را می توان به کمک رابطه زیر به دست آورد که در آن Q_{lk} و Q_{lc} به ترتیب برابر با هدررفت انرژی از طریق رسانش در جذب کننده و دهانه جذب کننده و Q_{lr} برابر با هدررفت انرژی تابشی در دهانه جذب کننده می باشد^[1].

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

تأثیرات باد بسیار ناچیز بوده و در نظر گرفته نشده است^[1, 18]. 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^[18].

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

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

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

ضریب انتقال حرارت از رابطه زیر به دست می آید^[1].

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

به ۳ جریان وارد توربین های T_5 ، T_4 و T_3 می شود. جریان خروجی از توربین های T_5 و T_4 به منظور پیش گرمایش و جریان خروجی از T_3 جهت ورود به توربین های فشارپایین استفاده می شود. جریان شماره ۱۱ با دمای $352/6^\circ C$ و فشار $7/23 \text{ bar}$ به چند شاخه تقسیم شده و به ترتیب وارد توربین های T_9 ، T_8 ، T_7 و T_6 می شود. جریان خروجی از توربین های T_9 ، T_8 و T_7 به ترتیب جهت پیش گرمایش جریان ورودی به بویلر استفاده می شود. جریان خروجی از توربین T_6 وارد کندانسور HX_6 شده و به میزان $481/3$ مگاوات حرارت به آب شیرین کن چند مرحله ای می دهد. در ادامه جریان خارج شده از HX_6 (کندانسور) به همراه سایر جریان هایی که جهت پیش گرمایش استفاده می شوند توسط پمپ شماره ۲ تا فشار 178 bar افزایش فشار می یابند و به ترتیب در HX_10 ، HX_9 و HX_8 گرم شده و جهت افزایش دما وارد HX_1 می شوند.

توربین های T_2 و T_1 به عنوان توربین فشارپایین و توربین های T_5 ، T_4 و T_3 به عنوان توربین فشارموسط و T_9 ، T_8 ، T_7 و T_6 به عنوان توربین های فشاربالا معرفی می شوند. جدول ۱ مشخصات ترکیب فرآیند در ساختار یکپارچه را مشخص می کند.

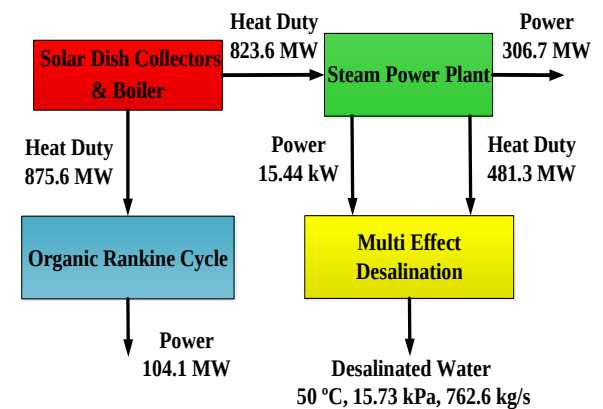
شکل ۱ دیاگرام فرآیندی ساختار یکپارچه تولید هم زمان توان و آب شیرین را نمایش می دهد. این ساختار هیبریدی شامل ۴ بخش کلکتورهای بشقابکی جهت تأمین حرارت بویلر ۱ و ۲، نیروگاه بخار تولید توان، سیکل ORC تولید توان و سیکل آب شیرین کن حرارتی چند مرحله ای می باشد.

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

جریان	H ₂ O	BiPhenyl	diPH-Ether	Sodium-Chloride	R-113
Oil ₁ , Oil ₃	۰	۰/۲۴۶۲	۰/۷۵۳۸	۰	۰
۲	۱	۰	۰	۰	۰
۵، ۶، ۷	۰	۰	۰	۰	۱
۷۳	۰/۹۷۶۸	۰	۰	۰/۰۲۳۲	۰
۷۹	۰/۹۲۹۰	۰	۰	۰/۰۷۱۰	۰
۸۴	۰/۹۲۹۲	۰	۰	۰/۰۷۰۸	۰
۸۹	۱	۰	۰	۰	۰
۹۱	۰/۹۸۷۶	۰	۰	۰/۰۱۲۴	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].

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

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

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (21)$$

$$N = \frac{2}{15} \omega_s \quad (22)$$

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].

$$I_s = \frac{\pi H}{24} (0.409 + 0.5016 \sin(\omega_s - 60^\circ) + (0.6609 - 0.4767 \sin(\omega_s - 60^\circ)) \cos \omega) \times \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - (\frac{2\pi \omega_s}{360^\circ}) \cos \omega_s} \quad (23)$$

ω 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.

۳-۲- 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 سرمایش در کندانسورهای ۲ سیکل ORC، از سیستم آب خنک استفاده می شود. جریان های شماره ۲۸ و ۶۸ (آب خنک) به ترتیب جهت تأمین سرمایش $HX18$ و $HX12$ استفاده می شود.

۴-۲- 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 هریک از اثرهای آب شیرین کن می شود. آب تغذیه جریان شماره ۹۳ تحت دمای $56/26^\circ C$ و فشار $29/93 \text{ bar}$ 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 هدررفت انرژی از طریق رسانش در جذب کننده را می توان از روابط زیر محاسبه کرد [18].

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

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

که در آن [1]:

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

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

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

جریان	دما ($^\circ C$)	فشار (KPa)	دبی جرمی (kg/s)	آنتالپی مولی (kJ/kgmole)	انتروپی مولی (kJ/kgmole $^\circ C$)
Oil1	560	200	2350/5	2611238	549/7
Oil2	350	198/7	2350/5	176411	432/9
Oil3	550	200	1173	256896	544/4
Oil4	296/4	198/7	1173	157175	400/6
Oil5	149/1	198/7	1173	57091	209/5
Oil6	148/3	198/7	2350/5	56829	208/9
Oil7	149/1	300	1173	57115	209/5
Oil8	148/3	300	2350/5	56852	208/9
1	283/9	17730	337/0	-264555	104/4
2	537/9	17000	337/0	-226943	163/3
3	537/9	17000	304/3	-226943	163/3
4	537/9	17000	32/68	-226943	163/3
5	333/7	3878	304/3	-233430	166/5
6	333/7	3878	257/6	-233430	166/5
7	537/9	3492	257/6	-224027	179/2
8	537/9	3492	242/2	-224027	179/2
9	537/9	3492	10/17	-224027	179/2
10	537/9	3492	0/280	-224027	179/2
11	352/6	723/0	242/2	-230577	182/9
12	352/6	723/0	208/5	-230577	182/9

جدول ۳ مشخصات عملیاتی کلکتور بشقابکی خورشیدی

پارامتر	مقدار	نماد
مساحت هر بشقابک خورشیدی	$12/56 \text{ m}^2$	A_b
ضریب غیرسایه	0/99	λ
بازتابش سطح کلکتور	0/94	ρ
ضریب جذب انتقال حاصل شده	0/9	$\tau \alpha$
ضریب نفوذ جذب کننده	0/99	γ
طول جذب کننده	0/254 m	L
نسبت تراکم هندسی	3000	C
رسانایی گرمایی هوای محیط	0/25 W/mk	K
مساحت داخلی حفره جذب کننده	0/645 m 2	A_w
زاویه شیب حفره	$\pi/2$	ϕ_1
شدت نشر سطح حفره	0/9	ε_c

بر اساس مطالعات به دست آمده مقدار ε_{eff} تقریباً برابر با یک می باشد و از آنجایی که مقدار ε_c در بازه 0/8 تا ۱ می باشد و مقدار A_c/A_w بزرگتر از ۵ 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

پمپ	راندمان آدیاباتیک (%)	قدرت (kW)	فشار ورودی (kPa)	نسبت فشار
P1	۷۵	۲۴۵/۹	۸/۶۰۰	۸۹/۰۵
P2	۷۵	۸۳۸/۶	۷۳۳/۰	۲۴/۲۹
P3	۸۵	۱۰۳۱	۱۰۰۰	۲/۵
P4	۸۵	۲۶۱/۸	۸۰۰	۱۲/۵۰
P5	۸۵	۶۳۳/۷	۱۰۰۰	۲/۵
P6	۸۵	۱۶۰/۸	۸۰۰	۱۲/۵۰
P7	۷۵	۱۵/۴۳	۳۱/۸۹	۲/۵۴۰
P8	۷۵	۲/۶۵۳	۹۱/۳۰	۱/۱۱
P9	۷۵	۳۳/۶۹	۱۹۸/۷	۱/۵۱۰
P10	۷۵	۱۶۷/۹	۱۹۸/۷	۱/۵۱۰
توربین				
T1	۷۵	۹۲۶/۸۸	۱۷۰۰۰	۰/۲۲۸۱
T2	۷۵	۵۵۴/۴	۱۷۰۰۰	۰/۴۶۷۸
T3	۷۵	۸۸۰/۵۵	۳۴۹/۲	۰/۲۰۷۰
T4	۷۵	۲۷۲/۶	۳۴۹/۲	۰/۴۹۱۷
T5	۷۵	۱۰۱/۰	۳۴۹/۲	۰/۲۱۰۵
T6	۷۵	۱۱۵۴/۹۲	۷۲۳/۰	۲/۲۱۳۰
T7	۷۵	۴۷۰/۹	۷۲۳/۰	۴/۱۴۹
T8	۷۵	۳۱۹/۸	۷۲۳/۰	۰/۱۰۶۵
T9	۷۵	۳۰۷/۱	۷۲۳/۰	۰/۳۵۱۳
T10	۸۰	۱۱۵۷/۴	۲۵۰۰	۰/۴۰۰۰
T11	۸۰	۱۶۴۹/۴	۱۰۰۰	۰/۰۸۰۰
T12	۸۰	۲۵۰۰	۵۳۵۱/۳	۰/۴۰۰۰
T13	۸۰	۸۲۷/۳۹	۱۰۰۰	۰/۰۸۰۰
مبدل پوسته و لوله				
Min. Approach (°C)	LMTD (°C)	UA (kJ/C.h)	توان (kW)	
۱۹/۸۷	۶۷/۳۶۹	۲۰۵۵۸۷۷۸۴	۷۰۳۵۸۴	HX1
۱۱/۶۲	۳۸/۳۹۱	۲۲۶۱۵۷۳۴	۱۲۰۱۷۱	HX2
۲۵/۵۸	۲۵/۳۲	۳۳۳۴۱۵۲	۲۳۴۴۶	HX3
۵/۶۵۳	۵/۹۱۶	۱۴۰۶۴۵۱۷	۲۳۱۱۳	HX4
۷/۱۵۲	۱۴/۵۹	۳۴۶۵۰۰۷	۴۰۰۲۹	HX5
۶/۸۱۹	۱۴/۶۲	۱۲۹۳۸۵۴۱۷	۵۰۴۲۳۰	HX6
۱۷/۳۹	۱۷/۲۳	۲۶۲۶۶۳۹	۱۲۵۷۳	HX7
۲۹/۱۲	۲۹/۹۱	۶۴۱۵۱۰۷	۵۳۲۹۷	HX8
۱۳/۴۶	۲۱/۰۹	۲۹۱۴۷۷۲۷	۱۷۰۷۹۴	HX9
۵/۰۱۴	۳۰/۸۵	۶۴۴۳۴۱	۵۳۵۰	HX10
۹/۶۷۶	۱۳/۰۰	۱۳۳۳۳۱۳۱۵	۴۸۱۳۲۱	HX11
۳	۲۶/۹۲	۶۸۵۰۳۵۴۵	۵۱۲۱۷۶	HX12
۹/۸۹۵	۱۲/۷۰	۱۸۵۳۷۶۹۳۷	۶۵۳۹۱۸	HX13
۳/۴۵۶	۵/۰۹۳	۴۴۵۴۳۹۱۵۵	۶۳۰۲۲۴	HX14
۳/۵۴۲	۳/۸۹۲	۵۷۲۳۸۴۶۶۶	۶۱۸۸۷۲	HX15
۴/۶۱۵	۱۰/۴۹	۱۶۶۱۳۴۲۴۲	۴۸۴۳۱۲	HX16
۲۳/۰۶	۸/۰۹۵	۳۶۴۴۹۵۷۹	۱۶۹۴۰۸	HX17
۳	۴۲/۹۴	۸۹۷۵۵۲۸	۱۰۷۰۵۵	HX18
۸/۸۹۵	۳۱/۴۳	۸۰۸۹۲۵۵۲	۷۰۶۱۴۳	HX19
کولر هوایی				
دمای هوای خروجی (°C)	قدرت فن (kW)	جریان هوا (kg/s)	توان (kW)	AC
۷۴/۹۴	۸۳/۱۵	۸۷۰/۵	۴۴۱۱۲	

پاشیده می‌شود و به همین ترتیب جریان ۲ فاز شماره ۷۷ وارد فلش‌درام D2 می‌شود. بخار خروجی از فلش‌درام 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 شیرین‌کن خارج می‌شود. غلظت نمک آب دریای خلیج فارس برابر با ۳۹۰ g/kg می‌باشد که به دلایل مسائل زیست‌محیطی در خروجی آب شیرین‌کن، این مقدار باید حداکثر به مقدار ۷۷ g/kg برسد.

لذا با توجه به مسائل زیست‌محیطی، جریان شماره ۸۴ با میزان نمک ۷۰/۸ g/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 شیرین‌کن 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]:

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

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

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

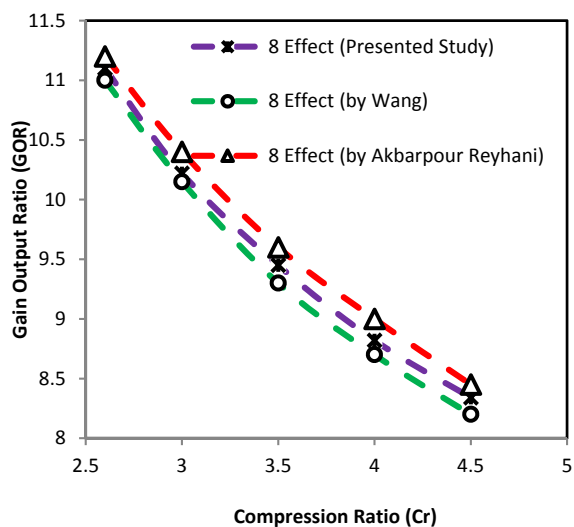
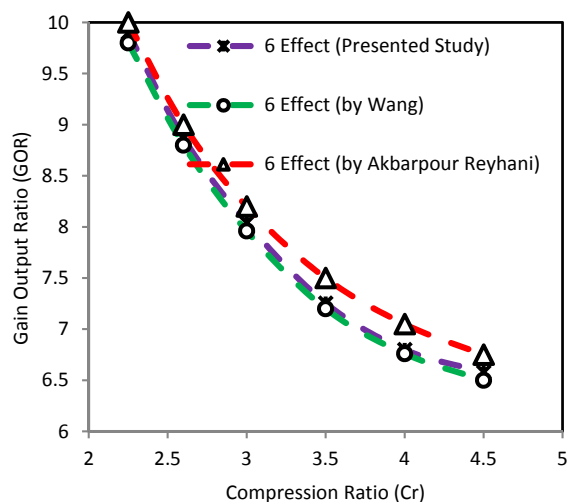
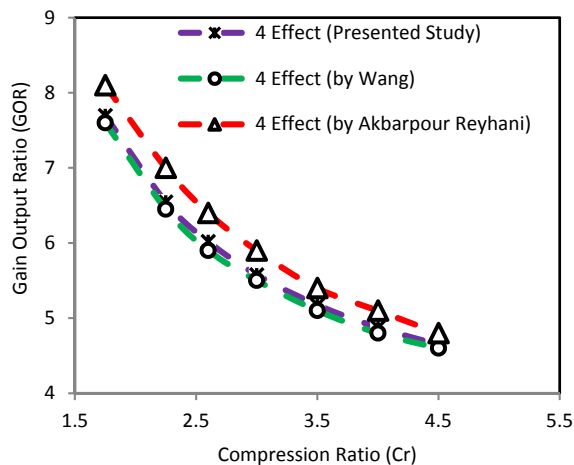
$$T_{in1,i} = T_{out1,i} + \Delta T_{in,HX_i}$$

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]:

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

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]:

$$ex^{ph} = (h - h_o) - T_o(s - s_o) \quad (47)$$

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

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

در ex_o^i 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].

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

۴- نتایج

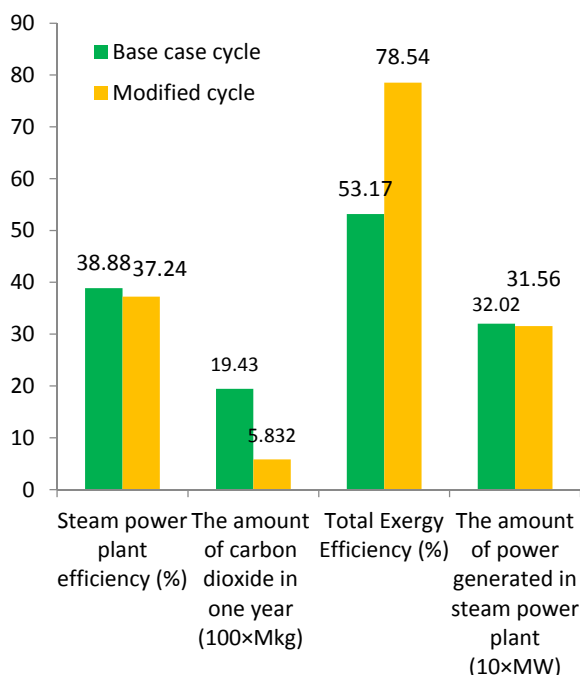
۴-۱- نتایج آنالیز انرژی

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

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

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

جدول ۱۰ بازده اگزورژی هر یک از تجهیزات در ساختار یکپارچه را نشان می‌دهد. بیشترین میزان بازده اگزورژی در HX۱۴ به میزان ۹۹/۱٪ و کمترین میزان تخریب اگزورژی 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	۵۰۰۰۰۰
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 ⁻¹ /kg.hr ⁻¹
نسبت آب شور ورودی به آب شیرین خروجی	۲/۲۲۴	kg.hr ⁻¹ /kg.hr ⁻¹
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 ⁻¹ /kg.hr ⁻¹
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]

راندمان اگزورژی	راندمان	توان کل (MW)
مرجع [12]	۵۲/۰۴	۳۲۵
مرجع [13]	-	۳۲۵/۳
اطلاعات نیروگاه بندرعباس	-	۳۲۰
نتایج مدل‌سازی (حالت پایه)	۵۳/۱۷	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 بازده گرمایی، میزان دی‌اکسیدکربن تولیدی و میزان توان تولیدی کاهش و بازده اگزورژی آن افزایش می‌یابد.

جدول ۷ مشخصات ترمودینامیکی نیروگاه بخار تولید توان در ساختار یکپارچه را نشان می‌دهد. این جدول نشان می‌دهد که بازده 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.

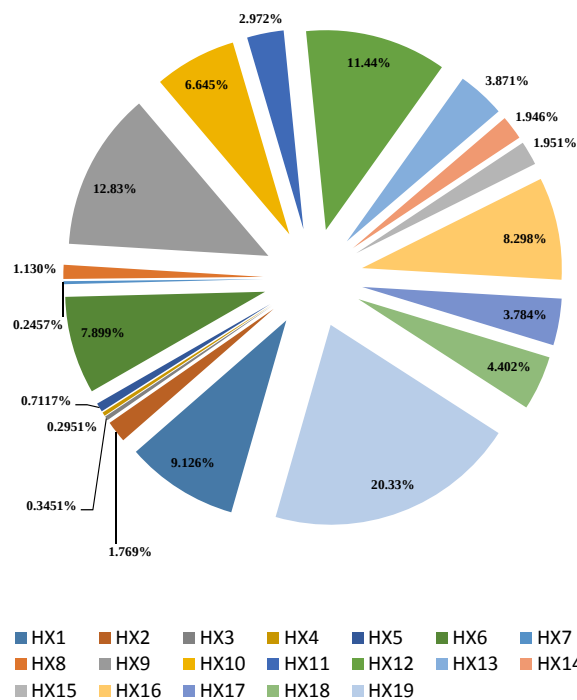
۲-۴- نتایج آنالیز اگزورژی

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

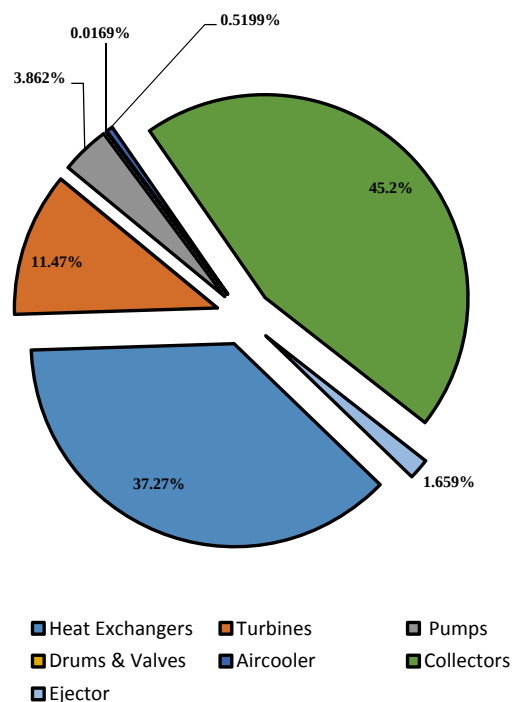
بیشترین میزان تخریب اگزورژی در کلکتور خورشیدی ۱ به میزان ۲۹۱/۳ مگاوات و کمترین میزان تخریب اگزورژی در فلش‌درام D۱ به میزان ۰/۱۵۴۹ کیلو وات رخ داده است. بعد از کلکتورهای خورشیدی

جریان	نرخ انرژی فیزیکی (kW)	نرخ انرژی شیمیایی (kW)	نرخ انرژی کل (kW)	جریان	نرخ انرژی فیزیکی (kW)	نرخ انرژی شیمیایی (kW)	نرخ انرژی کل (kW)
۱	۷۷۳۴۳/۵	۲۱۹۰۵۴/۰	۳۴۱۷۵۳/۱	۵۷	۷۵۳/۸	۳۰۰۱۶۹/۵	۳۳۱۴۳۸/۸
۲	۶۷۳۴۳/۵	۲۱۹۰۵۴/۰	۷۱۶۴۵۲/۰	۵۸	۱۴۰۰۰/۰	۶۲۲۲۲۶/۴	۶۴۵۲۴۹/۴
۳	۷۰۸۱۳/۰	۱۹۷۸۱۱/۶	۷۶۲۹۷۵/۴	۵۹	۸۶۰۰۰/۰	۳۸۲۲۲۴۷/۸	۳۹۰۹۰۰۷/۹
۴	۶۵۳۰/۵	۲۱۲۴۲/۳	۶۹۴۷۶/۵	۶۰	۸۶۰۰۰/۰	۳۸۲۲۲۴۷/۸	۴۱۵۴۳۷۵/۱
۵	۷۰۸۱۳/۰	۱۹۷۸۱۱/۶	۵۳۸۵۲۲/۷	۶۱	۸۶۰۰۰/۰	۳۸۲۲۲۴۷/۸	۴۰۹۲۱۵۷/۲
۶	۵۱۴۸۳/۷	۱۶۷۴۶۵/۵	۴۵۵۹۰۸/۲	۶۲	۴۱۴۸۷/۴	۱۸۴۳۸۹۸/۴	۱۹۷۴۱۰۶/۰
۷	۵۱۴۸۳/۷	۱۶۷۴۶۵/۵	۵۲۱۶۳۸/۹	۶۳	۴۴۵۱۲/۶	۱۹۷۸۳۴۹/۴	۲۱۱۸۰۵۱/۲
۸	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۴۹۰۳۵۱/۰	۶۴	۴۴۵۱۲/۶	۱۹۷۸۳۴۹/۴	۲۰۱۹۷۹۸/۵
۹	۳۰۳۲/۰	۹۸۶۲/۵	۳۰۷۲۰/۸	۶۵	۴۴۵۱۲/۶	۱۹۷۸۳۴۹/۴	۱۹۷۸۳۵۰/۷
۱۰	۵۶/۰	۱۸۲/۱	۵۶۷/۲	۶۶	۴۴۵۱۲/۶	۱۹۷۸۳۴۹/۴	۱۹۷۹۶۴۱/۶
۱۱	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۳۸۷۶۱۱/۴	۶۷	۸۶۰۰۰/۰	۳۸۲۲۲۴۷/۸	۳۹۲۱۵۷۸/۳
۱۲	۴۱۶۵۷/۲	۱۳۵۵۰۱/۸	۳۳۳۶۴۱/۰	۶۸	۲۳۷۲۷۲۳/۰	۷۷۱۷۹۵۹/۳	۷۷۱۷۹۶۰/۷
۱۳	۱۹۳۸/۴	۶۳۰۵/۲	۱۵۵۲۵/۰	۶۹	۲۳۷۲۷۲۳/۰	۷۷۱۷۹۵۹/۳	۷۷۱۷۹۶۱/۱
۱۴	۱۷۱۲/۶	۵۵۷۰/۸	۱۳۷۱۶/۸	۷۰	۵۳۰۶۴/۰	۱۷۲۶۰۵/۸	۲۶۸۸۶۰/۸
۱۵	۳۰۸۷/۵	۱۰۰۴۳/۱	۲۴۷۲۸/۷	۷۱	۱۰۹۹۶۲/۷	۳۶۶۶۸۴/۸	۴۵۲۳۸۶/۶
۱۶	۴۱۶۵۷/۲	۱۳۵۵۰۱/۸	۲۱۳۲۱۴/۴	۷۲	۵۱۵۰۶/۵	۱۶۷۵۳۹/۶	۲۴۹۳۵۳/۷
۱۷	۴۱۶۵۷/۲	۱۳۵۵۰۱/۸	۱۳۷۵۰/۷/۲	۷۳	۵۸۴۵۶/۲	۱۹۹۳۷۰/۷	۲۰۳۰۳۲/۹
۱۸	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۵۸۸۱۹/۹	۷۴	۵۱۵۰۶/۵	۱۶۷۵۳۹/۶	۱۷۰۱۷۱/۹
۱۹	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۵۷۹۰۴/۵	۷۵	۱۰۹۹۶۲/۷	۳۶۶۶۸۴/۸	۳۷۰۴۱۴/۲
۲۰	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۵۸۱۲۴/۶	۷۶	۱۰۹۹۶۲/۷	۳۶۶۶۸۴/۸	۴۴۳۹۷۱/۴
۲۱	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۶۰۱۷۲/۶	۷۷	۱۶۸۴۱۸/۸	۵۶۶۰۷/۸	۷۶۹۸۲/۸
۲۲	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۶۳۵۲۸/۶	۷۸	۵۰۴۳۷/۵	۱۶۴۰۶۲/۵	۲۳۸۴۸۵/۹
۲۳	۴۸۳۹۵/۷	۱۵۷۴۲۰/۹	۱۷۲۰۱۶/۹	۷۹	۱۱۷۹۸۱/۳	۴۰۲۲۱۵/۴	۴۰۸۴۹۷/۰
۲۴	۶۷۳۴۳/۵	۲۱۹۰۵۴/۰	۲۴۴۹۷۷/۴	۸۰	۱۰۹۹۶۲/۷	۳۶۶۶۸۴/۸	۳۷۰۴۱۴/۲
۲۵	۷۷۳۴۳/۵	۲۱۹۰۵۴/۰	۲۵۶۶۸۵/۳	۸۱	۵۰۴۳۷/۵	۱۶۴۰۶۲/۵	۱۶۶۲۷۱/۹
۲۶	۶۷۳۴۳/۵	۲۱۹۰۵۴/۰	۲۶۹۱۵۷/۴	۸۲	۱۰۹۹۶۲/۷	۳۶۶۶۸۴/۸	۴۳۹۸۲/۵
۲۷	۷۷۳۴۳/۵	۲۱۹۰۵۴/۰	۳۳۸۰۰۷/۹	۸۳	۲۲۷۹۴۴/۰	۷۶۹۲۵/۴	۸۴۵۴۳۸/۱
۲۸	۴۹۵۹۴۸/۵	۱۶۱۳۲۱۴/۲	۱۶۱۳۲۱۰/۴	۸۴	۱۷۷۵۱۹/۷	۶۰۵۱۰۳/۲	۶۱۲۹۷۲/۲
۲۹	۷۵۳۰/۵	۲۱۲۴۲/۳	۷۳۱۲۸/۵	۸۵	۱۱۶۱۵۵/۱	۳۷۷۹۵۷/۷	۳۸۳۶۱۱/۷
۳۰	۹۳۲۹/۳	۳۰۳۴۶/۲	۸۲۶۱۴/۵	۸۶	۵۰۴۲۴/۲	۱۶۴۰۱۹/۱	۲۳۲۴۶۶/۲
۳۱	۳۰۳۲/۰	۹۸۶۲/۵	۲۷۶۱۱/۰	۸۷	۳۶۱۸۶/۸	۱۱۷۲۰۸/۰	۱۶۶۸۲۸/۸
۳۲	۵۶/۰	۱۸۲/۱	۴۴۹/۴	۸۸	۱۵۲۳۸۱/۹	۴۹۵۶۶۵/۷	۵۵۰۴۳۵/۹
۳۳	۳۰۸۷/۵	۱۰۰۴۳/۱	۲۱۰۵۵/۷	۸۹	۱۵۲۳۸۱/۹	۴۹۵۶۶۵/۷	۵۵۰۴۳۵/۹
۳۴	۱۷۱۲/۶	۵۵۷۰/۸	۹۷۲۱/۵	۹۰	۸۲۲۴۷۱/۳	۲۲۴۶۳۷/۱	۲۷۷۰۸۵۶/۹
۳۵	۱۹۳۸/۴	۶۳۰۵/۲	۹۴۶۸/۷	۹۱	۳۲۹۸۸۸/۰	۱۱۰۰۰۵۴/۳	۱۱۱۱۳۷۳/۱
۳۶	۷۵۳۰/۵	۲۱۲۴۲/۳	۴۰۱۸۱/۳	۹۲	۱۰۹۹۶۲/۷	۳۶۶۶۸۴/۸	۳۷۰۴۵۷/۷
۳۷	۱۵۸۵۹/۸	۵۱۵۸۸/۵	۹۸۲۱۰/۲	۹۳	۱۰۹۹۶۲/۷	۳۶۶۶۸۴/۸	۳۷۰۴۵۷/۷
۳۸	۱۵۸۵۹/۸	۵۱۵۸۸/۵	۷۶۴۴۲/۶	۹۴	۱۰۹۹۶۲/۷	۳۶۶۶۸۴/۸	۳۷۰۴۵۷/۷
۳۹	۱۸۸۹۱/۸	۷۱۴۵۱/۰	۹۲۹۸۲/۰	۹۵	۱۰۹۹۶۲/۷	۳۶۶۶۸۴/۸	۳۷۰۴۵۷/۷
۴۰	۱۸۸۹۱/۸	۷۱۴۵۱/۰	۷۳۲۴۳/۲	۹۶	۴۰۰۵۸/۸	۱۳۰۳۰۲/۶	۱۳۳۶۸۷/۹
۴۱	۳۰۸۷/۵	۱۰۰۴۳/۱	۱۰۵۱۰/۸	۹۷	۴۰۰۵۸/۸	۱۳۰۳۰۲/۶	۱۳۰۳۰۰/۲
۴۲	۴۸۰۰/۲	۱۵۶۱۳/۹	۲۰۱۵۷/۱	۹۸	۳۸۸۱۲/۹	۱۲۶۲۵۰/۲	۲۱۶۰۸۹/۴
۴۳	۴۸۰۰/۲	۱۵۶۱۳/۹	۱۵۹۴۸/۵	۹۹	۵۳۰۶۴/۰	۱۷۲۶۰۵/۸	۱۷۵۷۰۵/۲
۴۴	۱۹۳۸/۴	۶۳۰۵/۲	۷۴۲۳/۴	۱۰۰	۵۶/۰	۱۸۲/۱	۵۶۷/۲
۴۵	۵۸۲۵۱/۵	۱۸۹۴۷۹/۷	۱۸۹۴۷۹/۷	۱۰۱	۳۸۸۱۲/۹	۱۲۶۲۵۰/۲	۱۲۸۵۲۹/۲
۴۶	۵۸۲۵۱/۵	۱۸۹۴۷۹/۷	۱۸۹۶۸۵/۱	۱۰۲	۱۴۲۵۱/۱	۴۶۳۵۵/۶	۴۷۱۸۸/۰
۴۷	۴۰۰۵۸/۸	۱۳۰۳۰۲/۶	۱۳۰۳۰۲/۶	۱۰۳	۸۲۴۴۷۱/۳	۲۲۴۶۳۷/۱	۲۲۴۶۳۹۹/۶
۴۸	۴۰۰۵۸/۸	۱۳۰۳۰۲/۶	۲۲۹۸۳۵/۳	۱۰۴	۴۹۲۵۸۳/۳	۱۶۴۵۸۲/۸	۱۶۵۹۴۸۳/۹
۴۹	۱۴۰۰۰/۰	۷۲۲۲۲/۴	۷۳۶۳۵۰/۰	Oil1	۵۱۰۰/۰	۸۷۴۰۳۶۹/۲	۸۸۹۴۶۹۴/۳
۵۰	۱۴۰۰۰/۰	۷۲۲۲۲/۴	۷۰۰۲۱۳/۳	Oil2	۵۱۰۰/۰	۸۷۴۰۳۶۹/۲	۸۸۲۳۸۵۰/۷
۵۱	۱۴۰۰۰/۰	۷۲۲۲۲/۴	۷۸۷۰۴۵/۰	Oil3	۲۵۴۰۰/۰	۴۳۵۳۰۴۶۶/۲	۴۴۲۷۹۴۵۶/۰
۵۲	۷۲۴۶/۲	۳۲۲۰۵۶/۹	۳۵۵۶۰۶/۲	Oil4	۲۵۴۰۰/۰	۴۳۵۳۰۴۶۶/۲	۴۳۸۷۳۸۸۴/۵
۵۳	۷۲۴۶/۲	۳۲۲۰۵۶/۹	۳۳۶۵۳۱/۰	Oil5	۲۵۴۰۰/۰	۴۳۵۳۰۴۶۶/۲	۴۳۵۷۴۲۵۶/۴
۵۴	۴۹۵۹۴۸/۵	۱۶۱۳۲۱۴/۲	۱۶۱۳۲۱۴/۲	Oil6	۵۱۰۰/۰	۸۷۴۰۳۶۹/۲	۸۷۴۹۰۵۲/۵
۵۵	۷۲۴۶/۲	۳۲۲۰۵۶/۹	۳۲۲۰۵۷/۱	Oil7	۲۵۴۰۰/۰	۴۳۵۳۰۴۶۶/۲	۴۳۵۷۴۳۹۴/۳
۵۶	۷۲۴۶/۲	۳۲۲۰۵۶/۹	۳۲۲۲۶۷/۲	Oil8	۵۱۰۰/۰	۸۷۴۰۳۶۹/۲	۸۷۴۹۰۸۰/۲

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	۴۴۶۲۰۹/۱	۴۴۵۹۴۸۳۶/۵	۲۶۳۷۲/۶	T8	۱۳۷۱۶/۸	۱۶۹۱۴/۸	۷۹۷/۲
HX2	۹۳۵۰۶۰۲/۵	۹۳۴۵۴۸۹/۶	۵۱۱۲/۹	T9	۲۴۷۲۸/۷	۲۷۷۹۹/۲	۶۰۲/۴
HX3	۱۶۷۵۹۳/۲	۱۶۷۵۹۶/۱	۹۹۷/۲	T10	۷۰۰۲۱۳/۳	۶۹۸۱۶۹/۳	۱۵۹۳/۹
HX4	۱۸۰۳۲۹/۸	۱۷۹۴۷۷/۱	۸۵۲/۷	T11	۳۵۵۶۰۶/۲	۳۵۳۰۲۵/۸	۲۵۸۰/۴
HX5	۱۸۴۵۸۴/۳	۱۸۲۵۲۷/۷	۲۰۵۶/۶	T12	۴۱۵۴۳۷۵/۱	۴۱۵۵۶۷۱/۰	۸۷۰۴/۱
HX6	۳۶۶۳۴۲/۵	۳۴۳۵۱۷/۰	۲۲۸۲۵/۵	T13	۲۱۱۸۰۵۱/۲	۲۱۰۲۵۳۸/۱	۱۵۵۱۳/۱
HX7	۳۴۸۲۹۹/۶	۳۴۷۵۸۹/۶	۷۱۰/۰	P1	۱۵۸۳۷۰/۵	۱۵۷۹۰۴/۵	۲۵/۹
HX8	۳۴۵۶۶۷/۳	۳۴۲۴۰۰/۶	۳۲۶۶/۷	P2	۲۵۳۳۶۴/۰	۲۵۲۶۸۵/۳	۶۷۸/۶
HX9	۴۰۴۴۵۰/۵	۳۶۷۳۶۷/۶	۳۷۰۸۲/۹	P3	۶۳۷۳۸۱/۶	۶۴۵۲۹/۴	۹۹۳۱/۱
HX10	۴۰۱۱۳۶/۳	۳۸۱۹۳۴/۴	۱۹۲۰/۹	P4	۳۲۲۳۱۸/۹	۳۲۲۶۷۲/۲	۵۱/۶
HX11	۳۵۸۳۶۴/۵	۳۴۹۷۷۷/۳	۸۵۸۷/۲	P5	۳۹۲۷۹۰۵/۳	۳۹۰۹۰۶/۹	۱۸۸۹۸/۴
HX12	۹۷۳۷۷۳۹/۲	۹۷۰۴۶۷۷/۸	۳۳۰۶۱/۴	P6	۱۹۷۹۹۵۹/۱	۱۹۷۹۶۶۱/۶	۳۱۷/۵
HX13	۶۳۹۲۷۷/۴	۶۲۸۰۹۱/۷	۱۱۱۸۵/۷	P7	۱۲۸۵۳۲/۶	۱۲۸۵۲۹/۲	۳/۳۹۳۳
HX14	۶۱۹۶۶۷/۹	۶۱۴۱۴۳/۳	۵۶۲۴/۵	P8	۱۳۰۳۰۲/۸	۱۳۰۳۰۲/۶	۰/۲۶۷۹
HX15	۶۰۸۸۹۸/۱	۶۰۳۲۵۹/۵	۵۶۳۸/۶	P9	۸۷۴۹۰۸۶/۲	۸۷۴۹۰۸۰/۲	۶/۰۳۳۶
HX16	۳۲۹۳۸۳۵/۵	۳۲۶۹۸۵۷/۰	۲۳۹۷۸/۵	P10	۴۳۵۷۴۴۲۴/۳	۴۳۵۷۴۳۹۴/۳	۳۰/۰۳۱۵
HX17	۹۴۶۰۲۰۰/۶	۹۴۴۹۲۶۵/۸	۱۰۹۳۴/۸	D1	۴۵۲۳۸۶/۷	۴۵۲۳۸۶/۶	۰/۱۵۴۹
HX18	۱۹۹۷۴۱/۳	۱۹۳۷۰۲۰/۴	۱۲۲۲۱/۰	D2	۶۴۶۹۸۲/۸	۶۴۶۹۸۲/۲	۰/۶۴۵۱
HX19	۴۷۷۸۷۳۹۱/۴	۴۷۷۲۸۶۳۱/۵	۵۸۷۵۹/۹	D3	۸۴۵۴۳۸/۶	۸۴۵۴۳۸/۴	۰/۲۹۱۷
T1	۶۴۶۹۷۵/۴	۶۳۱۲۱۱/۷	۱۵۷۶۳/۸	V1	۳۷۰۴۵۷/۷	۳۷۰۴۱۶/۶	۴۱/۱
T2	۶۹۴۷۶/۵	۶۸۶۷۲/۱	۸۰۴/۵	V2	۳۷۰۴۵۷/۷	۳۷۰۴۱۲/۲	۴۵/۵
T3	۴۹۰۳۵۱/۰	۴۷۵۶۶۶/۷	۱۴۶۸۴/۲	V3	۳۷۰۴۵۷/۷	۳۷۰۴۱۴/۲	۴۳/۴
T4	۳۰۷۲۰/۸	۳۰۳۳۷/۰	۳۸۳/۸	AC	۱۳۳۸۳۰/۹	۱۳۰۸۰۰/۲	۴۰۳۰/۷
T5	۵۶۷/۲	۵۵۰/۴	۱۶/۸	Solar dish1	۴۴۵۷۰۸۰۶/۴	۴۴۲۷۹۴۵۶/۰	۲۹۱۳۵۰/۳
T6	۳۳۳۶۴۱/۰	۳۰۷۵۳۷/۳	۲۶۱۰۳/۶	Solar dish2	۸۹۵۳۷۵۹/۶	۸۸۹۴۶۹۴/۳	۵۹۰۶۵/۳
TV	۱۵۵۲۵/۰	۱۴۱۷۷/۸	۱۳۴۷/۲	Cycle	۱۲۱۹۲۸۲/۵	۹۵۷۷۳۸/۱	۲۶۱۵۴۴/۴
Ejector	۲۸۱۷۲۶/۷	۲۶۸۸۶۰/۸	۱۲۸۶۵/۹				



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



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

اجزاء به همراه راندمان انرژی مربوطه	مشخصه اجزاء	راندمان انرژی (%)	مشخصه اجزاء	راندمان انرژی (%)
مبدل‌های حرارتی [22]	HX1	۹۶/۲۵	HX11	۹۸/۲۱
	HX2	۹۵/۷۴	HX12	۹۳/۵۴
	HX3	۹۵/۳۶	HX13	۹۸/۲۸
	HX4	۹۶/۳۱	HX14	۹۹/۱۰
	HX5	۹۴/۸۶	HX15	۹۹/۰۸
	HX6	۹۵/۶۵	HX16	۹۵/۰۴
	HX7	۹۴/۳۵	HX17	۹۳/۵۴
	HX8	۹۳/۸۷	HX18	۸۸/۱۱
	HX9	۷۸/۲۸	HX19	۹۱/۶۷
	HX10	۹۵/۶۵	-	-
توربین‌ها [26]	T1	۸۵/۴۶	T8	۸۰/۰۴
	T2	۸۷/۳۲	T9	۸۳/۵۹
	T3	۸۵/۷۰	T10	۸۷/۸۹
	T4	۸۷/۶۵	T11	۸۶/۴۷
	T5	۸۵/۷۴	T12	۸۶/۰۱
	T6	۷۸/۳۲	T13	۵۴/۴۶
	T7	۷۷/۷۵	-	-
پمپ‌ها [26, 27]	P1	۸۹/۴۵	P6	۸۰/۲۵
	P2	۹۱/۹۰	P7	۷۸/۰۲
	P3	۸۶/۲۶	P8	۸۹/۹۱
	P4	۸۰/۲۵	P9	۸۲/۰۹
	P5	۶۶/۰۷	P10	۸۲/۱۲
کولر [22, 27]	AC	۹۷/۰۴	-	-
	V1	۵۶/۱۲	V3	۵۶/۱۷
شیر انقباض [27]	V2	۵۵/۱۶	-	-
	-	-	-	-
کلکتور [1, 27]	Solar dish1	۷۰/۷۶	-	-
	Solar dish2	۷۱/۱۴	-	-
اجکتور [23]	Ejector	۹۵/۴۳	-	-
	-	-	-	-
چرخه/فرآیند [21, 27]	η_{cycle}	۷۸/۵۴	-	-
	-	-	-	-

$$\eta_{ex} = 1 - \left[\frac{\sum_1^n (\dot{m} \Delta e)}{\sum_1^n (\dot{m} \Delta h)} \right]_h - \left[\frac{\sum_1^n (\dot{m} \Delta e)}{\sum_1^n (\dot{m} \Delta h)} \right]_c$$

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{W}}{\sum (\dot{m} \cdot ex)_{in} - \sum (\dot{m} \cdot ex)_{out}}$$

$$\eta_{ex} = \frac{\sum (\dot{m} \cdot e)_{in} - \sum (\dot{m} \cdot e)_{out}}{\dot{W}_{pump}}$$

$$\eta_{ex} = \frac{W}{\sum (\dot{m} \cdot e)_i + W}$$

$$\eta_{ex} = \frac{e_o^{\Delta T} - e_i^{\Delta T}}{e_i^{\Delta p} - e_o^{\Delta p}}$$

$$e^{\Delta T} = \int_{T_0}^{T_1} \frac{T - T_0}{T} dh, \quad e^{PH} = e^{\Delta T} + e^{\Delta p}$$

$$\dot{E}x_s = Q_s \left[1 - \frac{4}{3} (1 - 0.28 \ln f) \frac{T_a}{T_s} \right]$$

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{\dot{E}x_{des}}{\dot{E}x_s}$$

$$\eta_{ex} = \frac{\sum (\dot{m} \cdot ex)_o}{\sum (\dot{m} \cdot ex)_i}$$

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{\text{Total irreversibility}}{\text{Total power consumption}}$$

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_{acap})، هزینه‌های هم‌سطح شده سالیانه برای جایگزینی قطعات (C_{arep})، هزینه‌های هم‌سطح شده سالیانه تعمیرات (C_{amain}) و هزینه‌های هم‌سطح شده سالیانه نگهداری جاری سیستم (C_{aope})، 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.

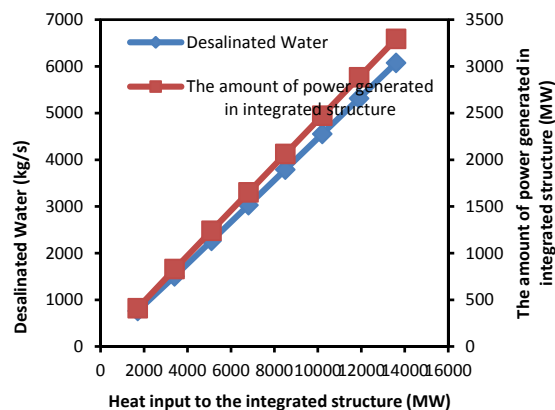
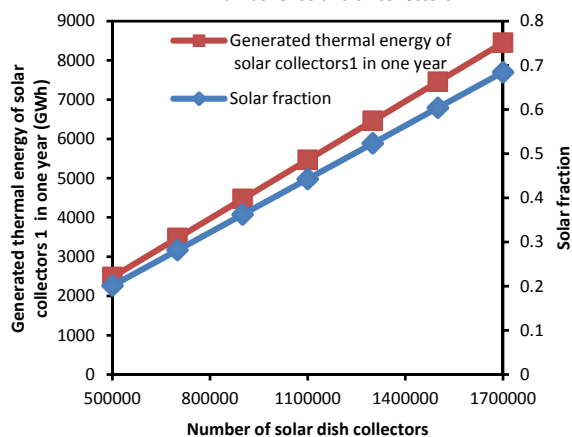
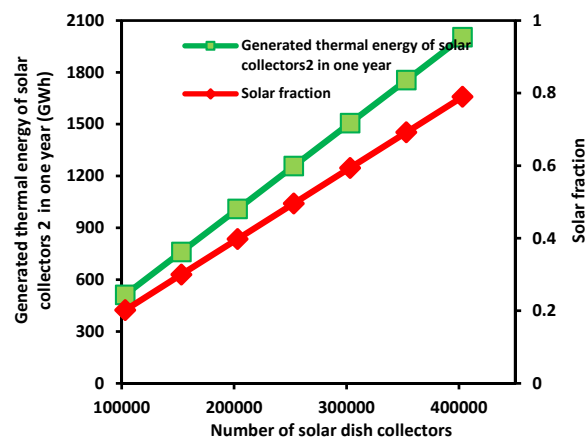
جدول ۱۳ نتایج حاصل از آنالیز اقتصادی ساختار یکپارچه را نشان می‌دهد. آنالیز اقتصادی ساختار یکپارچه نشان می‌دهد که به ترتیب زمان بازگشت سرمایه به میزان ۳/۸۳۸ سال، قیمت تمام شده محصول به میزان ۶/۲۵cent/kWh و هزینه سرمایه گذاری اولیه به میزان ۱۵۱۴ میلیون دلار می‌باشد.

اجزاء	توابع هزینه تجهیزات خریداری شده
توربین گاز ^[1]	$C_{Ex} = 0/378(HP)^{0/81}$, Original year: 2003 C_{Ex} = Cost of Expander (k\$)
مبدل حرارتی ^[28]	$C_{HX} = 8500 + 409 \times A_{HX}^{0.85}$, Original year: 2003
کولر هوایی ^[22, 27]	$C_{AC} = 1/218 f_m f_p \exp[a + b \ln Q + c(\ln Q)^2]$, 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
توربین بخار ^[1]	$C_{ST} = 3644/3(W)^{0/7} - 61/3(W)^{0/95}$, Original year: 2003 C_{Ex} = Cost of Expander (k\$)
پمپ ^[27, 29]	$C_P = f_m f_T C_b$ 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
بویلر ^[27]	$C_{boiler} = (0/249 P_{boiler} + 47/19) \dot{m}_{steam} + 3/29 P_{boiler} + 624/6$
درام ^[27, 29]	$C_D = f_m C_b + C_a [95/96]$ 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 $C_a = 300 D^{0/7396} L^{0/7066}$, $6 < D < 10$, $12 < L < 20$ ft f_m = Material Factor, Original year: 2003
اجکتور بخار ^[1, 27]	$C_{Ejec} = 16.14 \times 989 \times \dot{m}_{vapor} \times \left(\frac{T_i}{P_i} \right)^{0.05} \times P_e^{-0.75}$
بشقابک خورشیدی ^[1, 18]	$C_{Solar\ dish} = 50 A$, A = area (m ²)

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

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

اصلاح ساختار یک نیروگاه بخار با استفاده از کلکتورهای خورشیدی و سیکل آب شیرین کن... ۳۰۱۹
 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

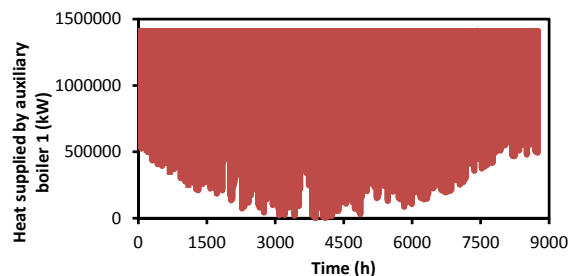
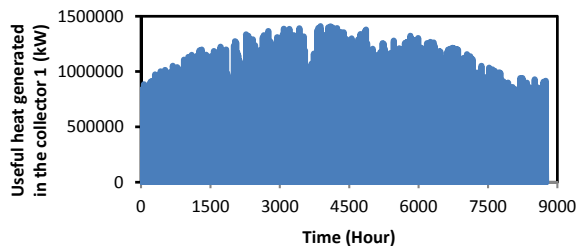
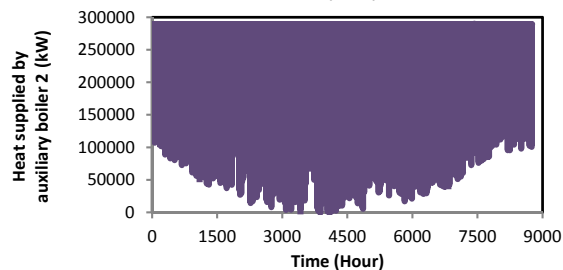
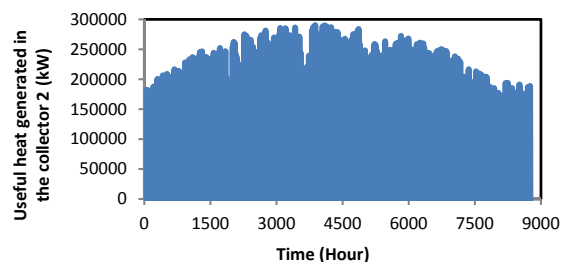
پارامترهای زمان بازگشت سرمایه قیمت تمام شده محصول و ارزش افزوده از پارامترهای تاثیرگذار جهت انتخاب ساختار یکپارچه مناسب می‌باشد.

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 آب‌شیرین‌کن 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 بالابودن 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)، روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۴۰٪)؛ مهدی میانسری (نویسنده دوم)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۳۰٪)؛ بهرام قربانی (نویسنده سوم)، روش‌شناس/پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۳۰٪)

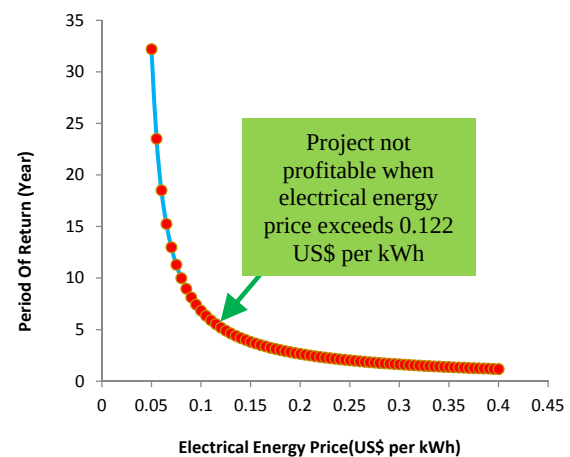
منابع مالی: نویسندگان این مورد را بیان نکردند.

۵- پی‌نوشت

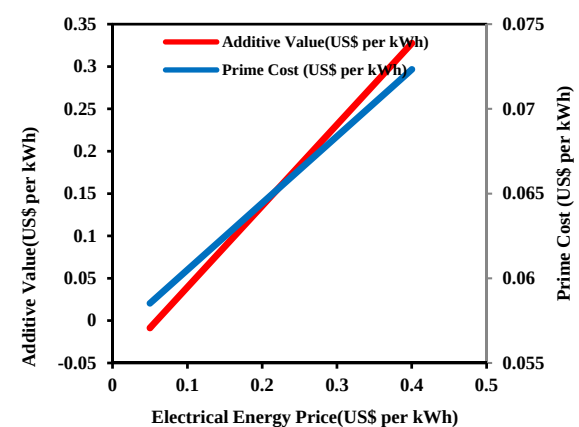
علامه

حرارت (kW)	Q
فشار (bar): توان (kW)	P
توان رسیده بر سطح دیش (W)	Q _s
تابش مستقیم رسیده به سطح کلکتور از جانب خورشید (W/m ²)	I _s
مساحت سطح کلکتور خورشیدی (m ²)	A _a
انرژی رسیده به گیرنده (W)	Q _r
انرژی مفید رسیده به گیرنده (W)	Q _u
اتلاف انرژی در گیرنده (W)	Q _l
عدد ناسلت	Nu _l
دما (K)	T
دمای گیرنده (°C)	T _w
مساحت سطح دیافراگم گیرنده (m ²)	A _c
سطح داخلی محفظه گیرنده (m ²)	A _w
عدد گراشف	Gr _l
شتاب ثقل (9.806m/s ²)	g

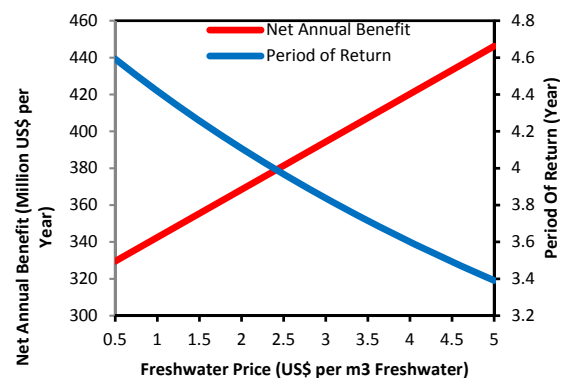
۰/۱۲۲ US\$/kWh باشد، ساختار یکپارچه به واسطه زمان بازگشت سرمایه بیشتر از ۵ سال، از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر نمی‌باشد. نمودار ۸ تغییرات ارزش افزوده و تغییرات قیمت تمام‌شده محصول نسبت به تغییرات قیمت الکتریسیته را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودار مشخص است با افزایش قیمت الکتریسیته به ترتیب ارزش افزوده 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

L	قطر (m)	c	جابجایی، کلکتور
h_c	ضریب انتقال حرارت جابجایی بین جذب کننده و هوای محیط	k	هدایت
K	ضریب انتقال حرارت هدایتی هوای محیط ($W/m.K$)	0	حالت مرجع
G_{on}	میزان تابش ماورای زمین روی یک سطح (W/m^2)	a	محیط
G_{sc}	ثابت خورشیدی ($1367W/m^2$)	m	بخار محرک
c	نسبت تمرکز هندسی	اختصارات	
H_0	میزان تابش ماورای زمین روی یک سطح افقی (W/m^2)	ORC	سیکل رانکین آلی
I_s	کل تابش ساعتی خورشید بر سطح افقی (W/m^2)	LMTD	اختلاف دمای میانگین لگاریتمی
$\dot{E}_x$	نرخ انرژی (kW)	MED	آب شیرین کن چند اثره
$\dot{m}$	نرخ دبی جرمی (kg/s)		
s	آنتروپی مخصوص ($kJ/kg.K$)		
ex	انرژی مخصوص (kJ/kg)		
h	آنتالپی مخصوص (kJ/kg)		
U	ضریب انتقال حرارت کلی ($W/m^2.K$)		
Ra	نسبت جذب اجکتور بخار		
$\dot{W}$	توان (kW)		

علامت یونانی

ρ	انعکاس
τ	انتقال
α	جذب
γ	فاکتور قطع
η	راندمان (%)
φ_1	زاویه شیب محفظه (رادیان)
β	ضریب انبساط گرمایی ($1/^\circ C$)
ϑ	ویسکوزیته سینماتیکی (m^2/s)
δ	انحراف
$\emptyset$	عرض جغرافیایی
ω_s	زاویه ساعتی غروب آفتاب
ε_{eff}	شدت نشر مؤثر اشعه مادون قرمز محفظه
ε_c	شدت نشر سطح محفظه
σ	ثابت استفان-بولتزمن ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$)
ω	زاویه ساعتی
Δ	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	تبخیر کننده
gen	تولید شده
s	بخار گرمایشی
des	از بین رفته
ex	انرژی
v	بخار
c	چگالنده
in	ورودی
out	خروجی
r	تابش، گیرنده

منابع

- 1- 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.
- 2- 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.
- 3- Ansarinassaba 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.
- 4- 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.
- 5- 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.
- 6- 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.
- 7- 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.
- 8- 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.
- 9- 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.
- 10- 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.
- 11- 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.
- 12- Nikbakht Naserabad S, Mobini K, Mehrpanahi A, Aligoodarz MR. Technical analysis of conversion of a steam

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 CO₂ 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 NSGAII 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