

# طراحی، شبیه‌سازی و مقایسه دو سیستم تجدیدپذیر به کمک انرژی‌های خورشیدی، سوخت زیستی و زباله سوز جهت تولید توان و آب شیرین در جزیره ابوموسی

محسن رستمی<sup>۱</sup>

مسعود بهزادی‌نیا<sup>۲</sup>

امیر حمزه فرج‌الهی<sup>۳\*</sup>

[a.farajollahi@sharif.edu](mailto:a.farajollahi@sharif.edu)

تاریخ پذیرش: ۹۹/۷/۲۸

تاریخ دریافت: ۹۹/۳/۳۰

## چکیده

**زمینه و هدف:** با رشد جمعیت و تغییر الگوی جوامع به سمت مصرف انرژی و منابع بیشتر، کمبود ذخایر سوخت‌های فسیلی، کاهش دسترسی به منابع آب تازه، و افزایش آلاینده‌های زیست محیطی، بشر نیاز استفاده از روش‌های نوین تولید انرژی و پاک جهت رفع نیاز خود را بیشتر احساس کند که سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر یکی از مهمترین راه حل‌های موجود برای این مشکلات می‌باشد. **روش بررسی:** پژوهش پیش رو به روش توصیفی-تحلیلی و با رویکرد کاربردی بوده که برای بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در دو طراحی شامل انرژی‌های خورشیدی، سوخت زیستی و زباله سوز جهت رفع بخشی از نیاز برق و آب شیرین جزیره ابوموسی در استان هرمزگان می‌باشد. شبیه‌سازی طراحی‌ها بوسیله نرم افزارهای مهندسی MATLAB, TRNSYS, AspenTech انجام و بررسی فنی-اقتصادی توان و آب شیرین تولیدی به همراه اثرات زیست محیطی ناشی از هر دو طراحی نیز گزارش و تحلیل شد. **یافته‌ها:** با توجه به نتایج شبیه سازی دو طراحی که در سال ۱۳۹۹ انجام شد، مشخص شد که طراحی دو شامل نیروگاه زباله سوز-سوخت زیستی، توان، آب شیرین بیشتری نسبت به طراحی اول تولید می‌کند و می‌تواند مدیریت زباله در منطقه را نیز تسهیل بخشد، در حالی که طراحی اول شامل کلکتور خورشیدی-سوخت زیستی با وجود توان تولیدی کمتر، انرژی پاک‌تر و با نتایج اقتصادی بهتری را تولید می‌کند.

**بحث و نتیجه گیری:** بر اساس نتایج به دست آمده هر دو طراحی پتانسیل رفع بخش عمده‌ای از نیازهای منطقه را دارا می‌باشند و بر اساس سیاست‌های راهبردی و توسعه پایدار می‌توان هر یک از طراحی‌های پیشنهادی را طبق اولویت‌های حال حاضر منطقه انتخاب نمود.

**واژه های کلیدی:** انرژی تجدیدپذیر، نیروگاه زباله سوز، شبیه سازی، سوخت زیستی.

۱-استادیار، مهندسی هوافضا، دانشکده مهندسی، دانشگاه امام علی (ع).

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده محیط زیست و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد واحد علم تحقیقات.

۳-استادیار، مهندسی هوافضا، دانشکده مهندسی، دانشگاه امام علی (ع). \* (مسوول مکاتبات)

# **Design, simulation and comparison of two novel renewable energy systems consisting of solar, biofuel and incineration plant to generate power and freshwater in Abu Musa Island**

**Mohsen Rostami<sup>1</sup>**

**Masoud Behzadnia<sup>2</sup>**

**Amirhamzeh Farajollahi<sup>3\*</sup>**

[a.farajollahi@sharif.edu](mailto:a.farajollahi@sharif.edu)

Admission Date: October 19, 2020

Date Received: June 19, 2020

## **Abstract**

**Background and Objective:** With population growth and the pattern changes of the societies towards consuming more energy and resources, the reduction of fossil fuel reserves, lack of access to freshwater resources, and increasing environmental pollutants caused people to feel the need of using new and cleaner methods of energy production. Therefore, the use of renewable energy systems is one way to solve some of these problems.

**Material and Methodology:** The present research is descriptive-analytical with an applied approach that its purpose is to use renewable energy in two design scenarios including solar collector, biofuels, and incineration plant in order to meet the partial need for the power and freshwater of the island. The simulation of the two proposed scenarios was performed by MATLAB, TRNSYS, and AspenTech engineering software. Techno-economical evaluations of the power and freshwater produced along with environmental impacts were also analyzed and reported.

**Findings:** According to the results, it was found that the second scenario consisting of incineration plant - biofuel produced more power and freshwater than the first scenario and can also facilitate the management of waste in the region, while the first design including a solar collector - biofuel despite its lower power production, supplied cleaner energy with much better financial results.

**Discussion and Conclusion:** To summarize, both proposed scenarios have high potential to meet a major portion of the region's needs, and, based on strategic policies and sustainable development, each design can be selected according to the current priorities of the region.

**Keywords:** Renewable energies, incineration plant, engineering simulation, biofuel.

---

1-Assistant Professor, Aerospace Engineering, Imam Ali University, Tehran, Iran.

2-Msc Student, Energy Systems Engineering, Science and Research Branch of Azad University, Tehran, Iran.

3-Assistant Professor, Aerospace Engineering, Imam Ali University, Tehran, Iran. \*(Corresponding Author)

## مقدمه

استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی در قسمت‌های مختلف زندگی و صنعت باعث تغییرات گسترده آب و هوایی و گرمایش کره زمین شده است، بنابراین ضرورت استفاده از سوخت‌ها و انرژی‌های پاک و به صرفه اهمیت زیادی پیدا کرده است (۱). در میان انواع گوناگون انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی باد، زمین گرمایی، جزر و مد و ... با توجه به در دسترس بودن انرژی خورشید در تمامی نقاط دنیا استفاده از این انرژی مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است. کشور ایران دارای پتانسیل مناسبی در زمینه استفاده از انرژی‌های نو و به‌ویژه انرژی خورشیدی و بادی می‌باشد و غنی بودن این کشور از نظر میزان تشعشع خورشیدی، دلیلی بر این ادعا است. بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته، متوسط تابش حرارتی در ایران، روزانه حدود  $19/23$ ٪ مگاژول بر مترمربع می‌باشد و این در حالی است که متوسط تابش حرارتی در نواحی مرکزی ایران بعضاً از مقدار ذکر شده نیز پیشی می‌گیرد. همچنین متوسط مدت وجود خورشید در این نواحی، روزانه بیش از  $7/7$  ساعت - یعنی در حدود  $2800$  ساعت در سال می‌باشد. لذا با عنایت به موارد مطرح شده، میزان کل انرژی تابشی سالانه در ایران حدود  $3 \times 10^6$  تراوات ساعت می‌باشد (۲، ۳). در میان انواع سیستم‌های خورشیدی مانند کلکتور خورشیدی صفحه تخت، کلکتورهای فرنل و ... سیستم کلکتور سهموی خطی در فرآیندهای تولید حرارت و بخار در مقایسه با سایر کلکتورهای خورشیدی دارای قابلیت بالاتری است. همچنین کلکتورهای خورشیدی سهموی خطی راندمان تولید برق بیشتری در مقایسه با سایر سیستم‌های خورشیدی دارند. با توجه به مقطعی و نوسانی بودن منبع خورشید امکان تولید برق در تمامی ساعات شبانه‌روز از این منبع امکان‌پذیر نیست و این امر باعث افزایش هزینه و کاهش بهره‌وری سیستم می‌شود (۴). یکی از روش‌های ایجاد پایداری در شبکه، افزایش راندمان سیستم با استفاده از سیستم‌های انرژی به صورت هیبریدی مثلاً همراه با تولید بیودیزل است. در میان سوخت‌های زیست‌توده، بیودیزل یک سوخت گازوئیلی پاک است که از منابع طبیعی و

قابل تجدید مانند روغن‌های گیاهی ساخته می‌شود و می‌تواند به عنوان جایگزین سوخت دیزل و یا به صورت مخلوط و در درصد‌های ترکیب مختلف با این سوخت به کار رود. بیودیزل به خاطر تجدیدپذیر بودن و سازگاری با محیط زیست و غیر سمی بودن اخیراً به عنوان یکی از بهترین منابع جایگزین سوخت‌های فسیلی شناخته شد است (۵). به منظور تولید بیودیزل از روغن‌های گیاهی روش‌های متفاوتی نظیر تبادل استری، تبادل استری الکل فوق بحرانی، میکرو امولسیون، امولسیون، الکترولیز و پیرولیز تاکنون گزارش شده است که در این میان روش تبادل استری بیشترین کاربرد را داشته است. تبادل استری روغن‌های گیاهی با الکل بر پایه کاتالیزور قلیایی اغلب برای روغن ریزجلبک استفاده می‌شود و شامل حضور یک کاتالیزور برای جلوانداختن واکنش می‌باشد. در واکنش، تری‌گلیسریدها به آسانی به صورت دسته‌ای در حضور یک کاتالیزور و متانول اضافی در فشار اتمسفری و دمای  $70-60$  درجه سانتی‌گراد تبادل استری می‌شوند (۶، ۷). سیرین و همکاران با بررسی تئوری حاکم بر آلایندگی‌های زیست محیطی ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، امکان استفاده از بیودیزل به عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی و مزیت این جایگزینی را کاهش اثرات آلاینده‌گی عنوان نموده‌اند (۸). همچنین با گسترش شهر نشینی و تغییر الگوهای مصرف جوامع به سمت مصرف گرایی بیشتر، کشورها با افزایش فزاینده حجم زباله‌های تولیدی خود مواجه شده‌اند. با ادامه این روند موضوع زباله‌های انباشته شده به یک معضل اجتماعی و برای بعضی کشورها تبدیل به تهدید اجتماعی شده است (۹). از آنجایی که زباله سوختی تجدیدپذیر، همواره در دسترس، پایان‌ناپذیر و جایگزین سوخت‌های فسیلی می‌باشد و با توجه به میزان پایداری انرژی آن، زباله قابلیت آن را دارد تا به عنوان یک انرژی تجدیدپذیر شناخته شود. این موضوع باعث آن می‌شود تا تمامی سیاست‌گذاران و فعالان حوزه انرژی توجهی دوچندان به این منبع با ارزش، البته نه به‌عنوان یک تهدید بلکه به‌عنوان یک فرصت داشته باشند. روش‌های مختلفی جهت

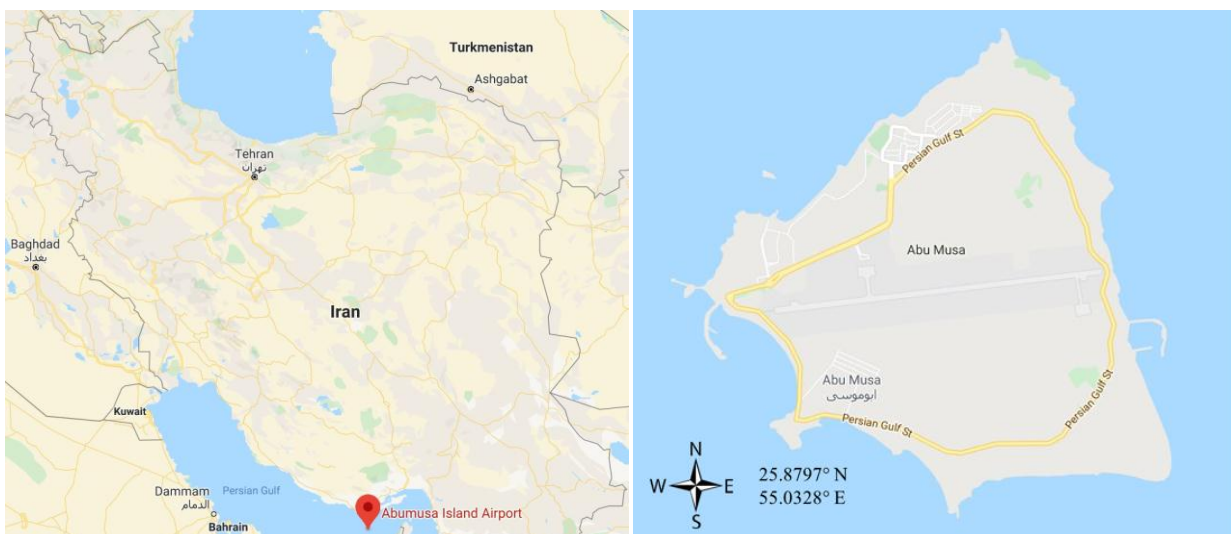
### روش بررسی

هدف از این پژوهش تامین برق و آب شیرین بخشی از منطقه ابوموسی که در سال ۱۳۹۹ انجام شد به وسیله انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد که این امر با طراحی و شبیه سازی دو طراحی مختلف به وسیله نرم‌افزارهای مهندسی MATLAB و TRNSYS و AspenTech انجام شد.

### موقعیت مکانی

در این پژوهش جزیره ابوموسی با جمعیت ۴۲۱۳ نفری (طبق سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵) استان هرمزگان با توجه به مباحث راهبردی پدافند غیر عامل و پتانسل بالا جهت اجرای سیستم‌های چندگانه انرژی جزیره‌ای با قابلیت اطمینان بالا، نزدیکی به آب دریا، بهره مندی از تابش مناسب خورشیدی و محدودیت فضا جهت عدم دفن زباله به عنوان منطقه مورد پژوهش انتخاب شد. موقعیت مکانی این جزیره در شکل ۱ آورده شده است.

استحصال انرژی از زباله موجود است که شامل گریت مکانیکی، کوره بستر سیال، کوره دوار استوانه‌ای و زباله سوزی پزشکی با هوای کنترل شده وجود دارد (۱۰). هر یک از روش‌های اشاره شده شرایط کاری و هدف عملیاتی خاص به خود را دارند و بنا به شرایط مورد نیاز قابل استفاده و بهره برداری می‌باشند. گریت مکانیکی یکی از متداول‌ترین روش زباله سوزی می‌باشد که به خاطر انطباق با تغییرات زیاد در ترکیب زباله و ارزش حرارتی آن، امنیت و قابلیت اطمینان بالا در محیط‌های شهری استفاده می‌شود (۱۱). در این پژوهش با توجه‌های سیستم های انرژی تجدید پذیر بالقوه موجود در ایران، سیستم دوگانه تولید برق و آب شیرین توسط دو طراحی که طراحی اول شامل سیستم کلکتور خورشیدی و زیست توده و طراحی دوم شامل نیروگاه زباله سوز و زیست توده می‌باشد، برای منطقه ابوموسی در استان هرمزگان طراحی شد و نتایج حاصل از آن از جنبه‌های مختلف بررسی و مقایسه شد.



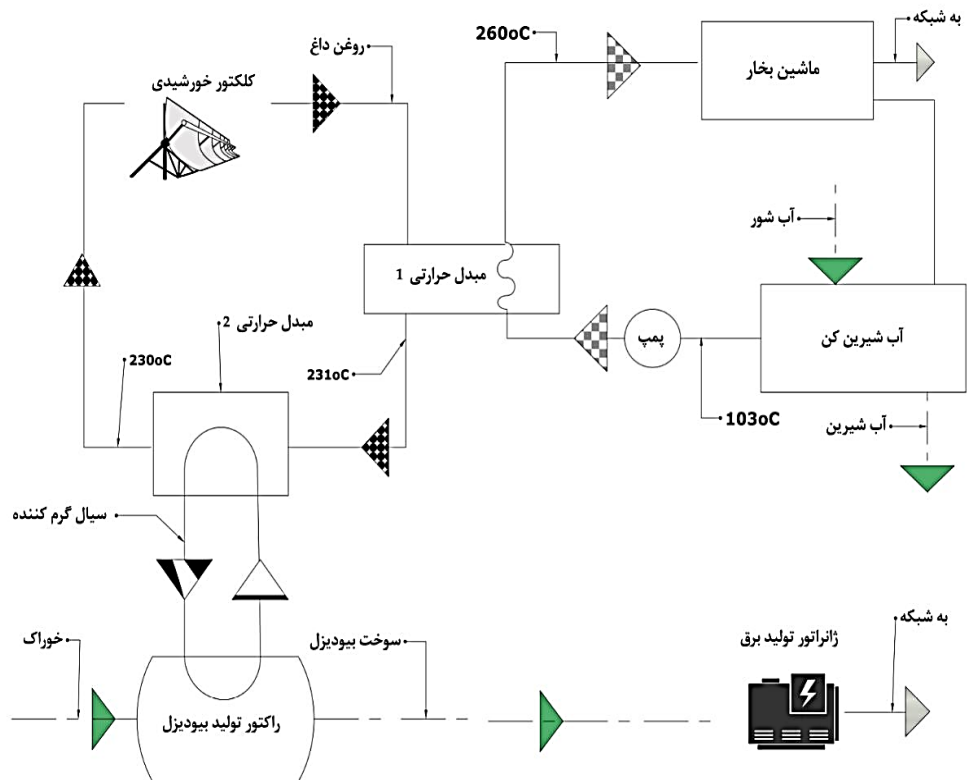
شکل ۱- موقعیت مکانی جزیره ابوموسی، استان هرمزگان، ایران

Figure 1. Location of Abu Musa island, Hormozgan Province, Iran

### طراحی اول

بیودیزل تولید شده همچنین می‌تواند در ساعات شب که کلکتور خورشیدی از مدار خارج است، به کمک ژنراتورها برق تولید نماید، لذا مجموعه کلکتور-بیودیزل به عنوان یک سیستم دارای پایداری قابل تعریف است (Error! Unknown switch argument).

در این طراحی از نیروگاه کلکتور خورشیدی و سیستم تولید بیودیزل به عنوان منابع تجدید پذیر تولید توان و حرارت استفاده شده است. مکانیزم عملکرد این سیستم‌ها به اینصورت است که از گرمای اتلافی کلکتور خورشیدی سهموی-خطی جهت تبدیل روغن زیستی به بیودیزل استفاده می‌گردد (۱۲).



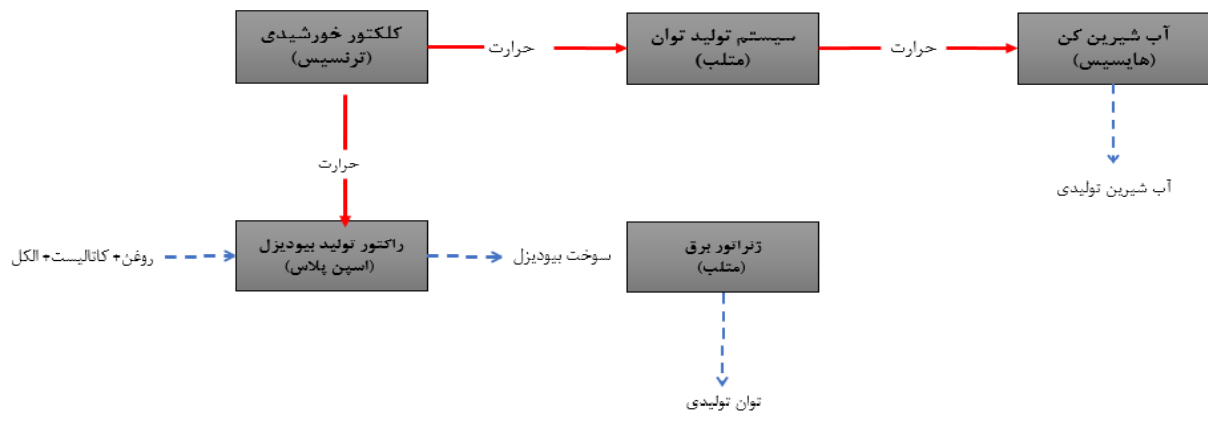
شکل ۲- سیستم طراحی شده برای طراحی اول شامل کلکتور خورشیدی/سوخت زیستی/ژنراتور تولید برق

Figure 2. Schematic of scenario 1 consisting of PTC, biofuel and power generator

شود. شبیه‌سازی سیستم تولید بیودیزل و آب شیرین در این پژوهش با استفاده از مجموعه نرم‌افزاری ۱۱ AspenTech انجام شد. همچنین طراحی نیروگاه خورشیدی که وظیفه آن تامین حرارت سیستم رانکین و راکتور می‌باشد در نرم‌افزار ۴ VTRNSYS صورت گرفته است. سیستم کلکتور استفاده شده در این پژوهش از ۴۸ عدد با طول ۲۵ متر، ضریب انعکاس آینه‌ای  $(\rho) 0.873$  و ضریب جذب لوله گیرنده  $0.94$  می‌باشد.

در شکل ۳ نحوه ارتباط نرم‌افزارها در هر قسمت طراحی سیستم با توجه به ورودی و خروجی آنها در یک نمودار بلوکی مشاهده می‌شود.

با توجه به شماتیک نشان داده شده در شکل ۲ روغن موجود در سیستم کلکتور خورشیدی پس از دریافت انرژی تابشی خورشید و افزایش دمای آن به مبدل حرارتی ۱ فرستاده می‌شود تا با تبادل حرارت باعث تولید بخار مافوق گرم در سیستم تولید توان رانکین شود. این بخار مافوق گرم (با دمای ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد برای یک روز تابستانی) پس از عبور از ماشین بخار توان الکتریکی تولید می‌کند. بخار کم فشار خروجی از ماشین بخار پس از عبور از سیستم آب شیرین کن به شرایط مادون سرد می‌رسد. سیستم آب شیرین کن به روش چند مرحله‌ای به گونه‌ای طراحی شده است تا علاوه بر تقطیر بخار خروجی از ماشین بخار، آب شور دریا را پس از تقطیر به آب شیرین تبدیل



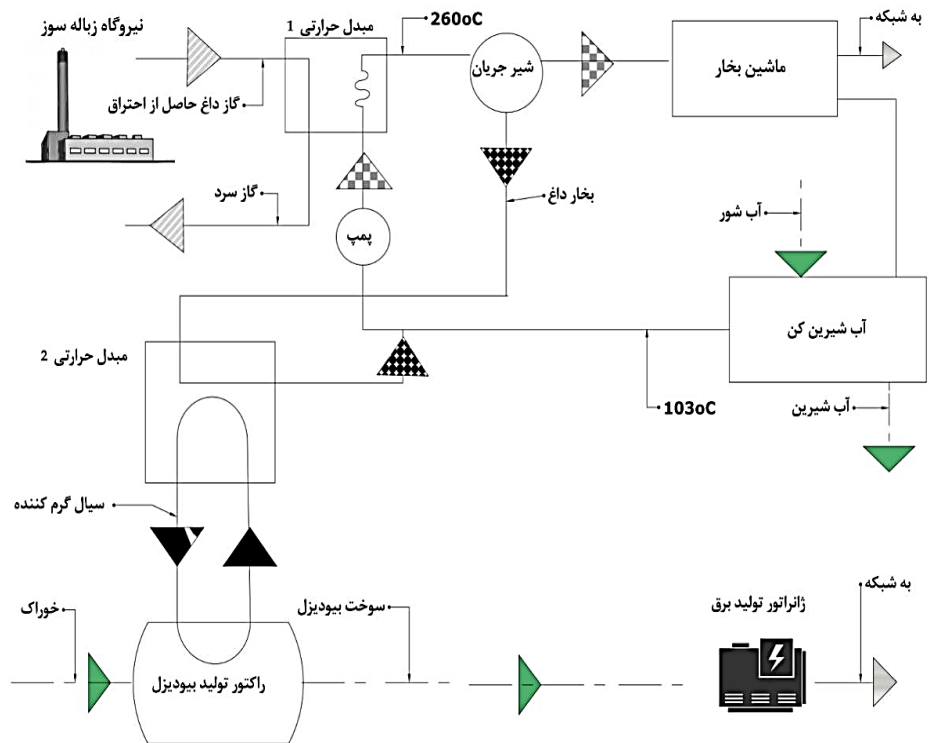
شکل ۳- نمودار بلوکی ارتباط نرم افزارها در طراحی هر بخش از سیستم در طراحی اول

Figure 3. block diagram of communication softwares in design each part of the system in first design

**طراحی دوم**

تولید حرارت و ترفیع معضل دفن زباله به عنوان نکات مثبت و اثرات زیست محیطی ناشی از سوزاندن زباله‌ها را به عنوان بزرگترین نکته منفی آن دانست. در این پژوهش ارزش حرارتی زباله ورودی به سیستم به‌طور میانگین  $6000 \text{ kJ/kg}$  در نظر گرفته شده است (شکل ۴).

در این طراحی اجزای سیستم همگی همانند طراحی ۱ می باشد با این فرق که به‌جای سیستم کلیکتور خورشیدی، از نیروگاه زباله سوز با تکنولوژی گریت مکانیکی به علت سازگاری آن با زباله‌های شهری و راندمان بالا استفاده شده است. این جایگزینی جنبه‌های مختلفی دارد که می‌توان از پایداری در

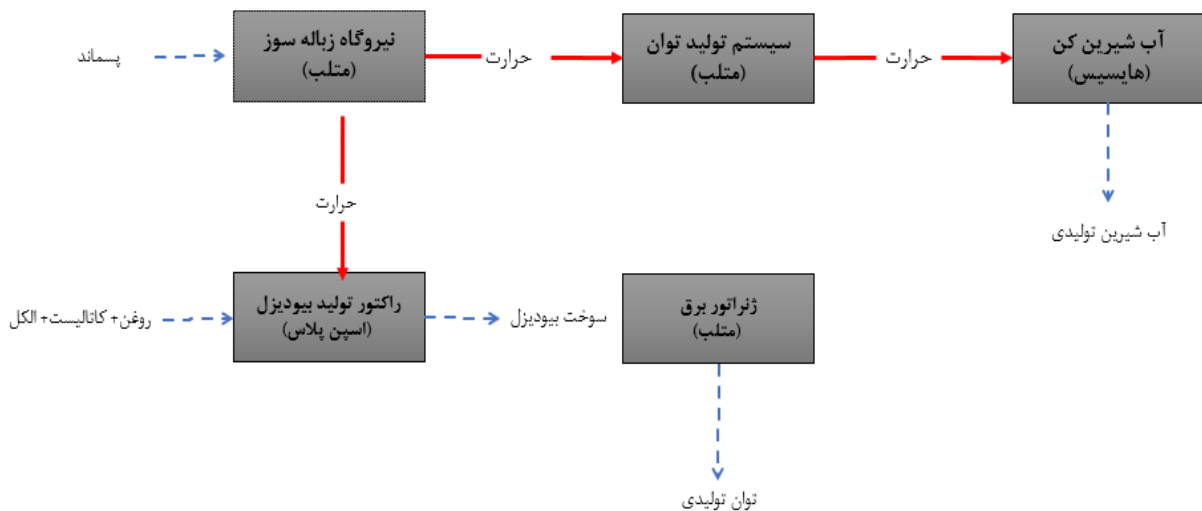


شکل ۴- سیستم طراحی شده برای طراحی دوم شامل نیروگاه زباله سوز/سوخت زیستی/ژنراتور تولید برق

Figure 4. Schematic of scenario 2 consisting of incineration plant, biofuel and power generator

راکتور تولید بیودیزل، قسمتی از این بخار مافوق گرم به وسیله شیر جریان به مبدل حرارتی ۲ فرستاده می‌شود و سپس به سیکل اصلی خود بازگردانده می‌شود. شرایط سیستم تولید سوخت زیستی بیودیزل و آب شیرین در این طراحی نیز همانند طراحی ۱ می‌باشد.

در شکل ۵ نحوه ارتباط نرم افزارها در هر قسمت طراحی سیستم با توجه به ورودی و خروجی آنها در یک نمودار بلوکی مشاهده می‌شود.



شکل ۵- نمودار بلوکی ارتباط نرم افزارها در طراحی هر بخش از سیستم در طراحی دوم

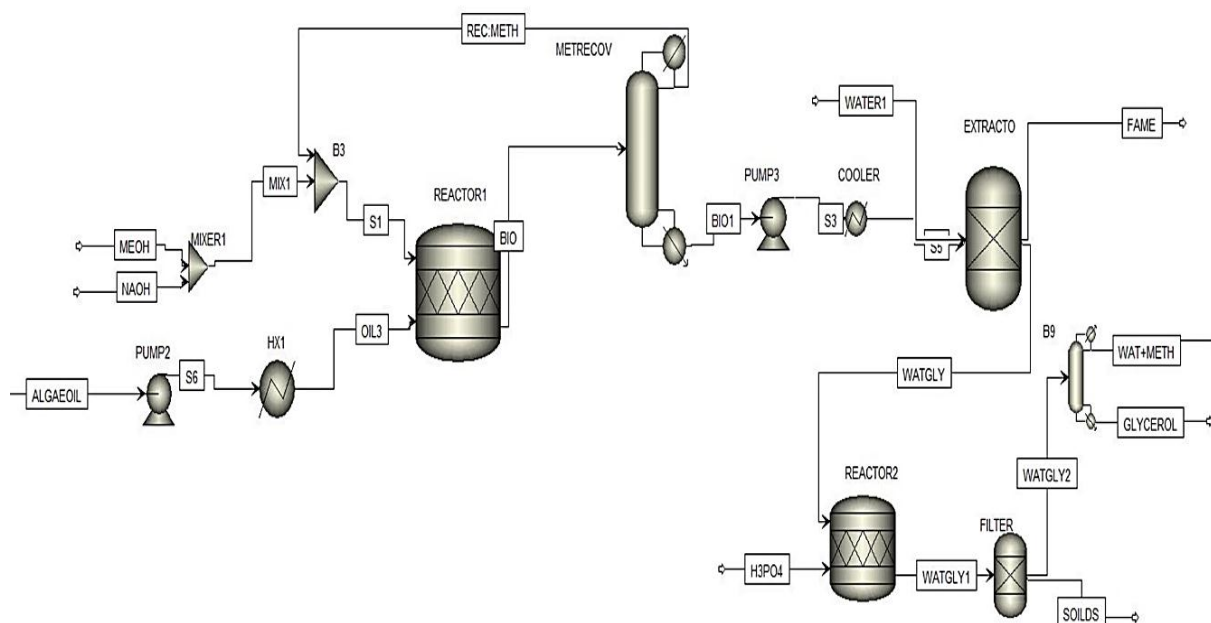
Figure 5. block diagram of communication softwares in design each part of the system in second design

### سیستم تولید سوخت زیستی

آزمایشگاهی برابر ۷۸/۶٪ می‌باشد. بیودیزل تولیدی با توجه به ارزش حرارتی مناسب ۴۰ MJ/kg جهت استفاده در ژنراتورهای تولید توان توجیه مناسبی دارد. شبیه سازی سیستم تولید بیودیزل از روغن زیستی توسط نرم افزار ۱۱ Aspen Plus انجام شد و شرایط شبیه سازی برای هر دو طراحی یکسان می‌باشد. پی‌کربندی این سیستم در شکل ۶ آورده شده است.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود گاز داغ ناشی از سوزانده شدن زباله از نیروگاه زباله بوسیله مبدل حرارتی ۱ باعث تبدیل آب مادون سرد به بخار مافوق گرم شده (با دمای ۲۶۰ درجه سانتی گراد برای یک روز تابستانی) و سپس در ماشین بخار باعث تولید توان می‌شود. گاز سرد خروجی از مبدل حرارتی ۱ جهت کاهش آلودگی‌اش با استفاده از تکنیک‌های کاهش اثرات زیست محیطی به سمت سیستم‌های مدیریت آلودگی فرستاده می‌شود. به منظور تامین حرارت مورد نیاز

نحوه عملکرد سیستم تولید سوخت زیستی بیودیزل براساس تحقیقات زاهدی و همکاران (۱۳) به این صورت است که روغن ریز جلبک کلرلا در شرایط بهینه با نسبت مولی ثابت متانول روغن ۱:۶ و با حضور ۰/۳٪ کاتالیست سدیم هیدروکسید (NaOH) در دمای ۶۰°C و به مدت تقریبی ۶۰ دقیقه در راکتور همزده می‌شود و واکنش ترنس استریفیکشن صورت می‌گیرد، که در این شرایط درصد تبدیل روغن به بیودیزل بطور



شکل ۶- پیکربندی سیستم تولید سوخت زیستی بیودیزل از روغن ریز جلبک

Figure 6. Configuration of Biodiesel production system from Algae oil

به ذکر است پیکربندی و شرایط عملکردی سیستم تولید سوخت زیستی بیودیزل طراحی شده برای دو طراحی یکسان می‌باشد.

شرایط کارکردی و فرضیات در نظر گرفته شده برای وارد کردن مقادیر ورودی به نرم افزار به منظور شبیه سازی سیستم تولید سوخت زیستی بیودیزل، در جدول ۱ نشان داده شده است. لازم

جدول ۱- شرایط کارکردی سیستم تولید سوخت زیستی بیودیزل

Table 1. Operational terms of the Biodiesel production system

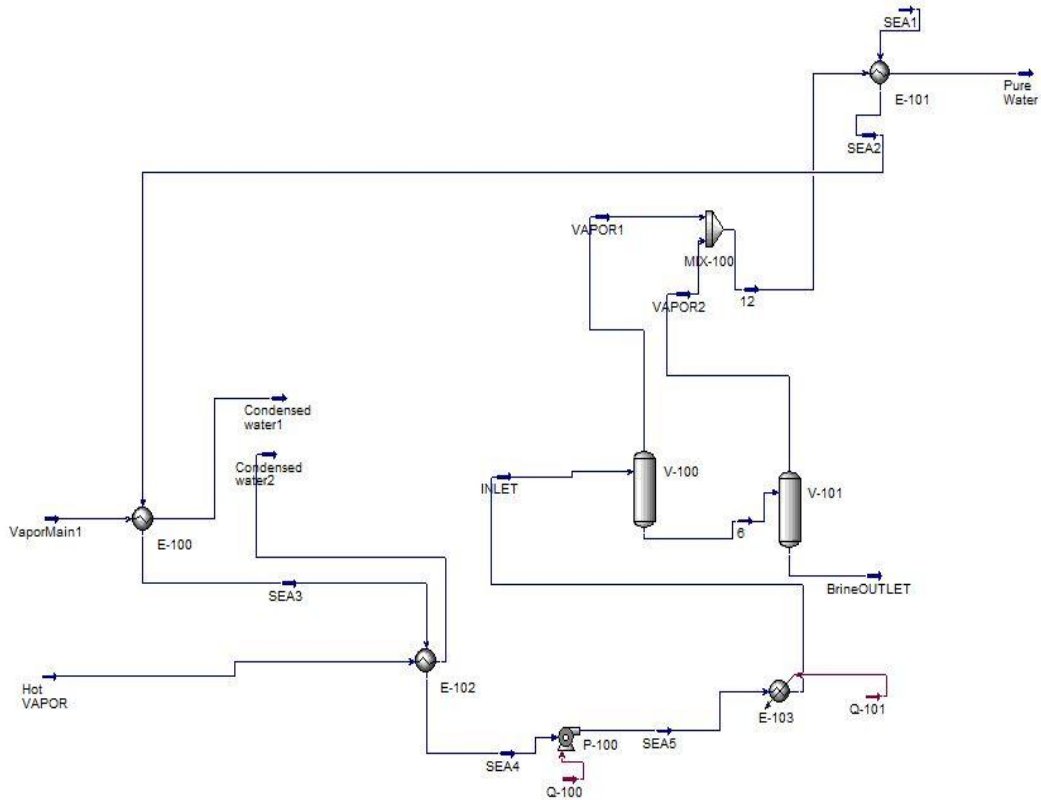
مقدار	پارامتر کارکردی
۱۳۱۵ kg/h	ظرفیت راکتور
۹۴۰ kg/h	دبی روغن ریز جلبک ورودی
۳۰ °C	دمای روغن ریز جلبک ورودی
۲۶۵ kg/h	دبی متانول ورودی
۵۰ Kg/h	دبی کاتالیست ورودی
۶۰ °C	دما کارکردی راکتور

### سیستم تولید آب شیرین

علاوه بر ایفای نقش کندانسور در سیستم، آب ورودی شور دریا را به آب شیرین و قابل شرب تبدیل کند. شکل ۷ شماتیک این طراحی را نشان می‌دهد.

به منظور استفاده بهینه و حداکثری از گرما و حرارت بخار خروجی از ماشین بخار، یک سیستم تولید آب شیرین کن به روش تقطیر چند مرحله‌ای توسط HYSYS۱۱ از مجموعه نرم افزاری VAspenTech۱۱ طراحی شد به گونه‌ای که





شکل ۷- پیکربندی سیستم آب شیرین کن به روش تقطیر ناگهانی چند مرحله ای

Figure 7. Configuration of the water desalination system through Multi-stage flash distillation (MSF)

پیکربندی و شرایط عملکردی سیستم آب شیرین کن طراحی شده برای دو طراحی یکسان می‌باشد.

جدول ۲ شرایط کارکردی و فرضیات در نظر گرفته شده برای وارد کردن مقادیر ورودی به نرم افزار به منظور شبیه سازی سیستم آب شیرین کن را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است

جدول ۲- شرایط کارکردی سیستم آب شیرین کن

Table 2. Operational terms of the desalination system

مقدار	پارامتر کارکردی
۱۰۰۰۰۰ kg/h	دبی آب شور ورودی
۳۰ °C	دمای آب شور ورودی
۲۰۰۰ Kg/h	دبی بخار خروجی از توربین
۶۰ °C	دما بخار خروجی از توربین
۵۰۰ Kg/h	دبی بخار داغ کمک کننده بعد از مبدل حرارتی ۱
۲۶۰ °C	دما بخار داغ کمک کننده بعد از مبدل حرارتی ۱
۱۳ kPa	فشار درام V-۱۰۰
۱۰ kPa	فشار درام V-۱۰۱

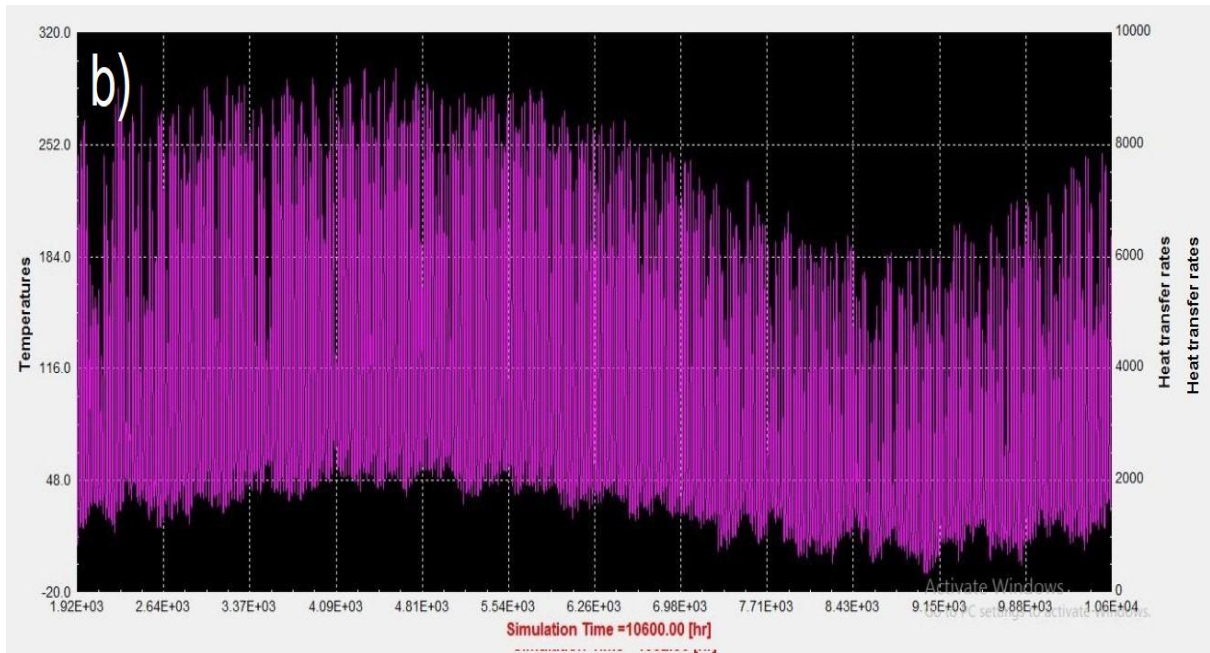
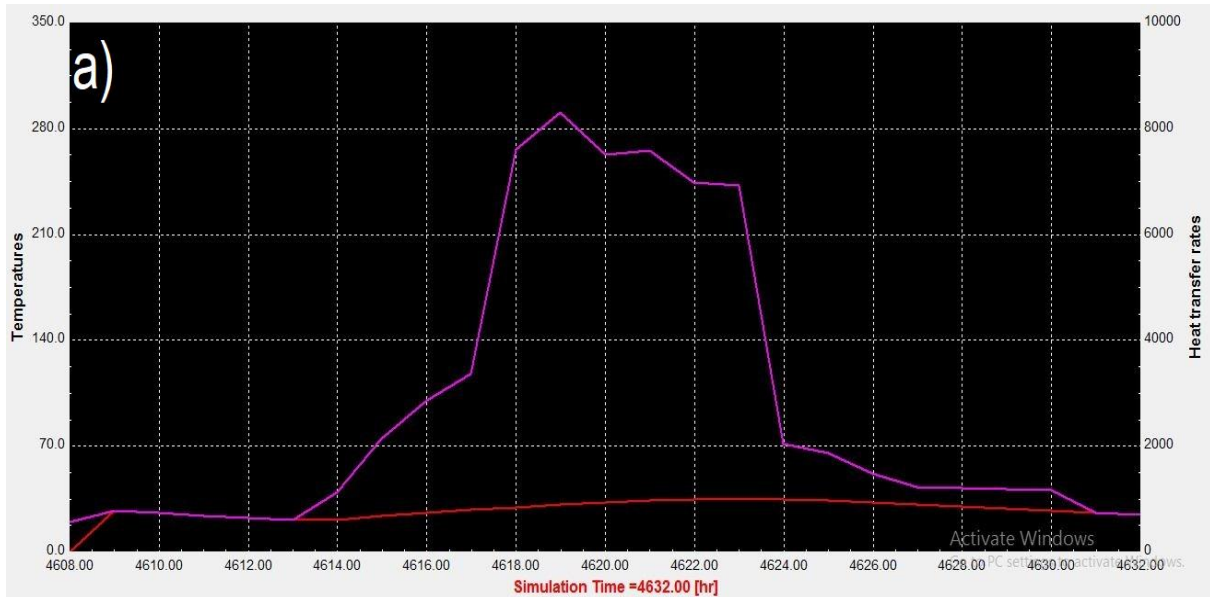
## نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از شبیه سازی سیستم های انرژی طراحی شده از دو طراحی در ادامه آورده شده است.

## نتایج حاصل از طراحی ۱

شبیه سازی سیستم کلکتور خورشیدی طراحی شده در این پژوهش با استفاده از نرم افزار TRNSYS برای یک روز

تابستانی در شکل ۸ آورده شده است که نشان می دهد دمای روغن خروجی از کلکتور به منظور تولید توان و حرارت مقدار مطلوبی (حداکثر دمای ۲۸۴ درجه سانتی گراد) دارد.

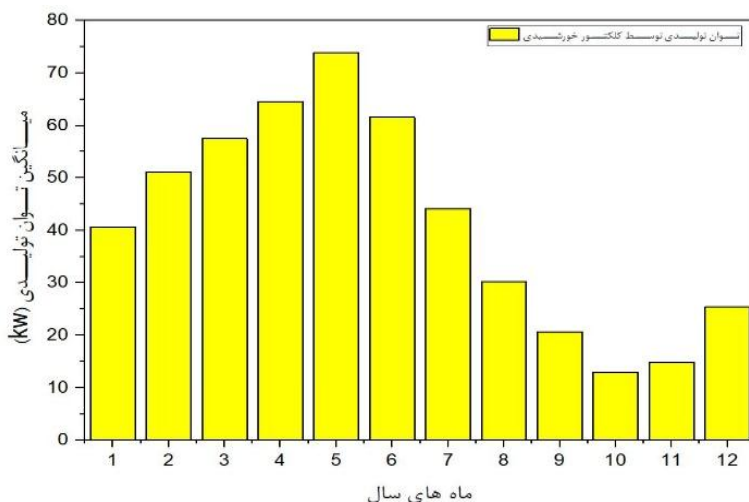


شکل ۸- شبیه سازی کلکتور سهموی خطی برای (a) یک روز تابستانی (b) تمامی روز های سال

Figure 8. simulation of parabolic trough collector (PTC) for a) a summer day b) every day in the year

پایین‌تر روغن در زمستان نشان از افت راندمان سیستم تولید توان رانکین می‌باشد. پس از مشخص شدن دمای روغن خروجی از کلکتور خورشیدی، توان تولیدی سیستم رانکین در محیط MATLAB شبیه‌سازی و در شکل ۹ نشان داده شده است.

همچنین به منظور بررسی عملکرد سیستم کلکتور خورشیدی در تمامی روزهای سال، دمای خروجی از کلکتور برای مدت یکسال در شکل ۸ آورده شده است. با توجه به شکل ۸ عملکرد این سیستم در فصول بهار و تابستان با توجه به دمای خروجی آن ایده آل برای طراحی مدنظر می‌باشد درحالی که دمای



شکل ۹- میانگین توان تولیدی توسط سیستم کلکتور خورشیدی در ماه‌های سال

Figure 9. The average power generated by the solar collector system in the months of the year

در حضور کاتالیست NaOH مقدار  $189/2$  کیلوگرم بر ساعت بیودیزل حاصل می‌شود بطوری که در یک ماه مقدار  $28380$  کیلوگرم بیودیزل تولید می‌شود. باید دقت شود که این مقدار برای یک ماه تابستانی محاسبه شده است و در ماه‌های سردتر با توجه به کاهش تعداد ساعات آفتابی این مقدار به  $17000$  افت پیدا می‌کند. دیزل ژنراتور انتخابی بر اساس مقدار بیودیزل تولیدی، با  $75\%$  ظرفیت نامی،  $120$  kW با مصرف  $30$  لیتر بر ساعت به نحوی انتخاب شده است تا به‌طور شبانه روز و پایدار توان تولید کند و کمبود سوخت مصرفی در زمستان از ذخیره سوخت اضافی تولید شده در تابستان جبران شود.

## نتایج حاصل از طراحی ۲

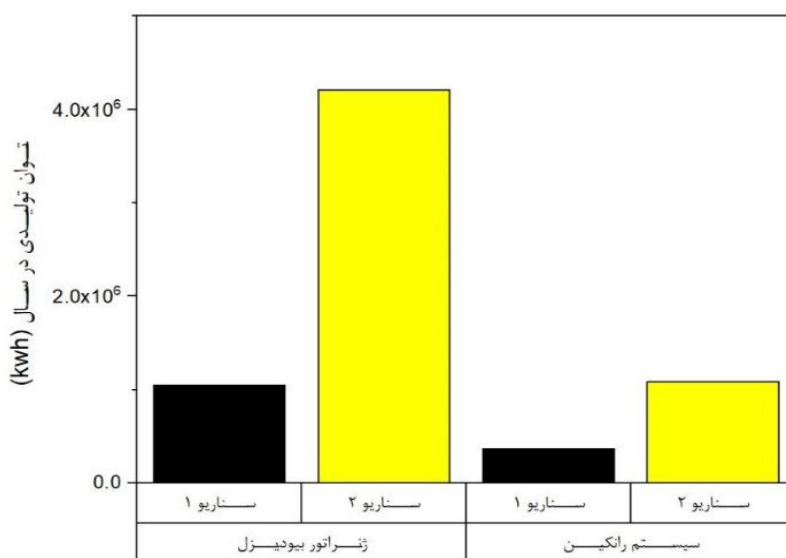
در این طراحی به منظور تامین حرارت لازم جهت تولید توان در سیستم رانکین و تامین حرارت راکتور تولید سوخت زیستی نیروگاه با ظرفیت سوزاندن  $1200$  کیلوگرم بر ساعت طراحی شده به گونه‌ای که به‌وسیله بهره‌گیری از حرارت ایجاد شده آن توان  $124$  kW به‌طور پایدار در تمامی ساعات شبانه روز تولید

با توجه به شکل ۹ همان‌طور که انتظار می‌رفت در فصول بهار و تابستان توان بیشتری (حداکثر  $73/91$  کیلووات) توسط کلکتور خورشیدی تولید می‌شود در حالی که در فصول سردتر سال این مقدار به کمترین میزان (حداقل  $12/93$  کیلووات) خود می‌رسد. لازم به ذکر است این مقدار بطور میانگین برای تمامی ساعات شبانه روز در یک ماه محاسبه شده است. طبق نتایج بدست آمده از طراحی اجزای سیستم تولید توان رانکین، دبی ورودی و خروجی، حرارت لازم و ظرفیت سیستم آب شیرین کن میزان آب نمک زدایی شده به‌دست آمد که در حالت ماکزیمم (یک روز تابستانی) هر ساعت میزان آب دریای شیرین شده برابر با  $1500$  لیتر بر ساعت می‌باشد. این در حالی است که میزان آب تولیدی وابسته به توان تولیدی که خود تاثیر گرفته از تابش خورشیدی می‌باشد و در فصول سرد این میزان تا  $20\%$  راندمان فعلی می‌تواند کاهش پیدا کند. در سیستم تولید سوخت زیستی بیودیزل، در یک روز تابستانی روغن ریز جلبک با مقدار ورودی  $188$  کیلوگرم بر ساعت و متانول با مقدار  $30$  کیلوگرم بر ساعت

به منظور ارزیابی فنی-اقتصادی دو طراحی پیشنهاد شده، لازم است تا توان تولیدی هر طراحی بررسی و سپس هزینه احداث هر طرح محاسبه شود تا بتوان نسبت به تحلیل عملکرد پرداخت. از این رو، میزان توان تولیدی هر طراحی برای یک سال در شکل ۱۰ نشان داده شده است. بر اساس نتایج نشان داده شده در شکل ۱۰ توان تولیدی در طراحی دو در بخش سیستم رانکین با ۱GW نسبت به طراحی اول ۲/۵ برابر بیشتر می-باشد، این در حالی است که این اختلاف توان تولیدی در بخش ژنراتور بیودیزل بسیار بیشتر می-باشد، به طوری که با ۴/۱GW توان تولیدی افزایش ۴ برابری را نسبت به طراحی اول در سال نشان می-دهد.

شود. با توجه شرایط پایدار تولید توان و حرارت سیستم، سیستم آب شیرین کن با حداکثر مقدار ظرفیت خود (۱۵۰۰ لیتر بر ساعت) در تمامی ساعات شبانه روز آب شیرین تولید می-کند. در سیستم تولید سوخت زیستی با توجه به وجود حرارت دایمی در تمامی ساعات شبانه روز، مقدار تولید بیودیزل در تمامی ماه‌های سال برابر با ۶۸۱۱۲ کیلوگرم می-باشد. دیزل ژنراتور انتخابی بر اساس مقدار بیودیزل تولیدی، با ۷۵٪ ظرفیت نامی، ۴۸۰ kW با مصرف ۱۲۹ لیتر بر ساعت به‌طور شبانه روز و پایدار توان تولید می-کند.

### ارزیابی فنی-اقتصادی دو طراحی



شکل ۱۰- مقایسه توان تولیدی دو طراحی در سال

Figure 10. The power generated by the two scenarios in one year

تولیدی می-باشد که به واحد انرژی تبدیل می-شود) را برای هر طراحی نشان می-دهد.

جدول ۳ بررسی بازدهی انرژی هر بخش که از انرژی ورودی به هر سیستم نسبت به انرژی خروجی از آن (در این جا توان

### جدول ۳- بازدهی انرژی سیستم‌های استفاده شده در دو طراحی

Table 3- The energy efficiency calculated for the subsystems of the two scenarios

بازدهی انرژی	سیستم استفاده شده
۵/۸-۸٪	طراحی اول: کلکتور خورشیدی
۳۶٪	دیزل ژنراتور
۶/۲٪	طراحی دوم: نیروگاه زباله سوز
۳۳٪	دیزل ژنراتور

به منظور ارزیابی اقتصادی دو طراحی، هزینه سرمایه گذاری هر بخش در جدول ۴ آورده شده است. لازم به ذکر است سیستم-های مشترک در دو طراحی جهت مقایسه بهتر صرف نظر شده است.

#### جدول ۴- هزینه سرمایه گذاری برای دو طراحی

Table 4. The capital costs of the two scenarios

هزینه های جاری	جمع کل هزینه های ثابت	سرمایه گذاری مورد نیاز	هزینه سرمایه گذاری	سیستم استفاده شده
		۱۴۰۰۰۰ \$ (مساحت اشغالی ۷۰۰ m <sup>2</sup> )	۲۰۰ (\$/m <sup>2</sup> )	طراحی اول: کلکتور خورشیدی
۳۸۰۰۰ \$	۱۴۸۰۰۰ \$	۸۰۰۰ \$	۸۰۰۰ \$	دیزل ژنراتور
		۳۸۰۰۰ \$	۰/۱۴۳ \$/liter	هزینه تولید سوخت زیستی
۱۶۲۰۰۰ \$	۲۸۳۰۰۰۰ \$	۲۸۰۰۰۰۰ \$ (برای ظرفیت ۲۸/۸ ton/day)	۱۰۰۰۰۰ (\$/ton/day)	طراحی دوم: نیروگاه زباله سوز
		۳۰۰۰۰ \$	۳۰۰۰۰ \$	دیزل ژنراتور
		۱۶۲۰۰۰ \$	۰/۱۴۳ \$/liter	هزینه تولید سوخت زیستی

جهت بررسی میزان درآمد زایی هر سیستم طراحی شده، لازم است تا میزان فروش برق تولیدی هر طراحی برای یک سال محاسبه و بررسی شود (جدول ۵). لازم به ذکر است تعرفه استفاده شده برای خرید تضمینی برق نیروگاه‌های تجدید پذیر توسط وزارت نیرو می‌باشد.

#### جدول ۵- میزان فروش برق تولیدی هر طراحی

Table 5. Electricity sold by each Scenarios

سود یک سال	درآمد از فروش برق	مجموع برق تولیدی (یک سال)	تعرفه فروش برق	طراحی
۳۶۲۰۰ \$	۷۴۲۰۰ \$	۱,۴×۱۰ <sup>۶</sup> kWh	۰/۰۵۳ \$/kWh	طراحی ۱- کلکتور خورشیدی/سوخت زیستی
۷۷۲۰۰ \$	۲۳۹۲۰۰ \$	۵,۲×۱۰ <sup>۶</sup> kWh	۰/۰۴۶ \$/kWh	طراحی ۲- نیروگاه زباله سوز/سوخت زیستی

باتوجه به نتایج به دست آمده از جدول ۵ نرخ بازگشت سرمایه برای طراحی اول برابر با ۵ ماه و برای طراحی دوم برابر با ۳۶ ماه می‌باشد.

#### ارزیابی زیست محیطی

به منظور بررسی ارزیابی اثرات زیست محیطی هر طراحی، آلاینده‌های ناشی از احتراق بیودیزل و زباله در جدول ۶ آورده

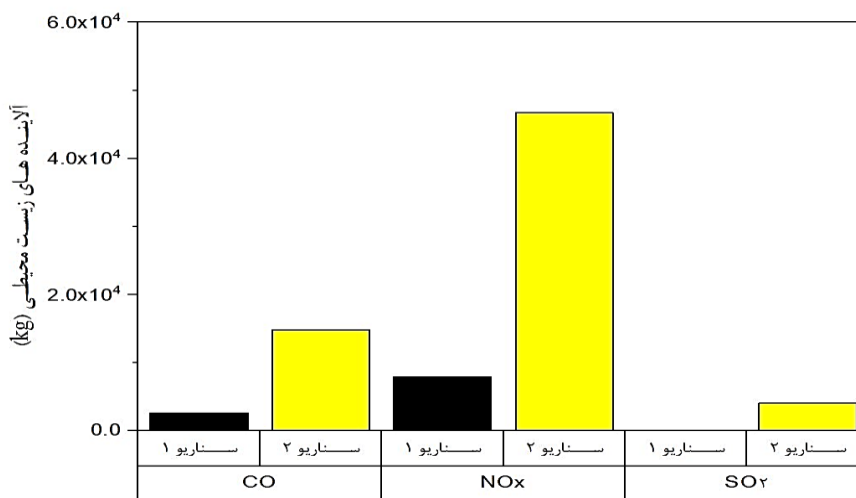
شد (۱۴، ۱۵). لازم به ذکر است سوخت زیستی بیودیزل به علت نبود گوگرد در ترکیب خود، احتراق آن گوگرد دی اکسید منتشر نمی‌کند.

## جدول ۴- آلاینده‌های ناشی از احتراق بیودیزل و زباله‌های شهری

Table 6. Pollutants from combustion of biodiesel and urban solid waste

نوع آلاینده (بر حسب)	نیروگاه زباله سوز	ژنراتور بیودیزل
CO <sub>2</sub> (kg/kg <sub>feed</sub> )	۰/۶	۳/۳۸
CO (kg/kg <sub>feed</sub> )	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱
NO <sub>x</sub> (kg/kg <sub>feed</sub> )	۰/۰۰۱۱	۰/۰۳
SO <sub>2</sub> (kg/kg <sub>feed</sub> )	۰/۰۰۰۳۵	۰
	آلاینده‌های دیگر بر حسب (mg/m <sup>3</sup> ) شامل هیدروژن کلراید: ۰/۱۴، هیدروژن فلراید: ۰،۴، سرب: ۸، کادمیم: ۰/۱، جیوه: ۰،۲ و دیاکسین: $1.59 \times 10^{-9} \text{ kg/ton}$	آلاینده‌های دیگر بر حسب (kg/kg <sub>feed</sub> ) شامل ذرات معلق: ۰/۰۰۲، هیدروکربن‌های نسوخته: ۰/۰۰۳

با توجه به جدول ۶ آلاینده‌های زیست محیطی تولید شده در سال برای هر دو طراحی محاسبه شد (شکل ۱۱).

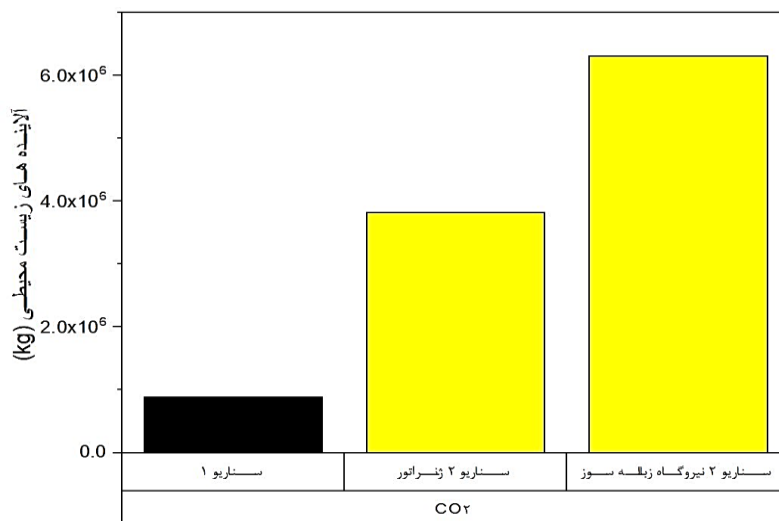


شکل ۱۱- آلاینده‌های زیست محیطی تولید شده توسط هر دو طراحی در سال

Figure 11. The environmental pollutants produced by both scenarios in the year

شود. همچنین میزان کربن دی اکسید (CO<sub>2</sub>) از گازهای گلخانه‌ای محاسبه شده برای ۲ طراحی نشان می‌دهد که طراحی ۲ نسبت به طراحی ۱ میزان بیشتری تولید کربن دی اکسید داشته که علت آن می‌تواند تولید توان بیشتر طراحی ۲ نسبت به طراحی ۱ باشد (شکل ۱۲).

با توجه به نتایج حاصل از شکل ۱۱ آلاینده‌های زیست محیطی در طراحی ۲ نسبت به طراحی ۱ بیشتر تولید می‌شود که یکی از دلایل آن احتراق ناقص در نیروگاه زباله سوز می‌باشد که باعث تولید هیدروکربن‌های نسوخته شده و همچنین دمای بالای گازهای خروجی که باعث تولید اکسیدهای نیتروژن می-



شکل ۱۲- میزان انتشار گاز کربن دی اکسید دو طراحی در سال

Figure 12. Carbon dioxide emissions in two scenarios per year

### نتیجه گیری

راستای مدیریت زباله می‌باشد و می‌تواند باعث جلوگیری از روش‌هایی مانند دفن در جزیره ابوموسی که خود با محدودیت فضا روبرو است شود. از این رو با توجه به سیاست‌های راهبردی، منطقه‌ای و پدافند غیر عامل انتخاب هر دو طراحی می‌تواند مزایا و معایب متعددی داشته باشد و اولویت بندی در بخش نیرو، آب و زیست محیطی چالشی است که دست اندرکاران حوزه انرژی باید با آن روبرو و تصمیمات لازم را جهت گام گذاشتن در توسعه پایدار بگیرند.

### References

1. Sansaniwal SK, Sharma V, Mathur J. Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;82:1576-601.
2. Alirahmi SM, Rostami M and Farajollahi AH, Multi-criteria design optimization and thermodynamic analysis of a novel multi-generation energy system for hydrogen, cooling, heating, power, and freshwater, *International Journal of Hydrogen Energy*,

به صورت کلی طراحی این دو سیستم یعنی کوپل شدن نیروگاه‌های زباله سوز و خورشیدی هرکدام به صورت مجزا با سیستم تولید زیست توده به منظور تامین دمای راکتور این سیستم و همچنین استفاده از مازاد این انرژی حرارتی در تامین حرارت موردنیاز سیستم آب شیرین کن، نو آوری این مقاله می‌باشد.

به منظور ایجاد سیستم چندگانه تولید برق، آب شیرین و سوخت زیستی و بهره مندی منطقه ابوموسی از این امکانات، دو طراحی بر اساس فناوری های نو و تجدید پذیر بر اساس ظرفیت ها و ویژگی‌های منطقه طراحی شد. براساس شبیه سازی تمامی اجزای سیستم در نرم افزارهای مهندسی مشخص شد که طراحی ۲ با بهره گیری از نیروگاه زباله سوز سالانه قابلیت تولید توان ۵/۲ GWh، آب شیرین ۱۳ میلیون لیتر دارد. طراحی اول با بهره گیری از کلکتور خورشیدی سالانه ۱/۴ GWh توان و آب شیرین ۱/۵ میلیون لیتر تولید می کند. البته لازم به ذکر است باوجود عملکرد بهتر طراحی دو اما اثرات زیست محیطی آن بسیار بیشتر از طراحی ۱ که از کلکتور خورشیدی بهره گرفته است می‌باشد همچنین از لحاظ اقتصادی با توجه نرخ بازگشت سرمایه بسیار کمتر طراحی اول (۵ ماه) سود آوری بیشتر این طراحی از خود نشان می‌دهد. با این حال، وجود نیروگاه زباله سوز خود راه حل راهبردی در

- incineration power plant in Guangzhou. *Journal of Cleaner Production*. 2016;134:354-61.
10. Hulgaard TaJuV. *Incineration: Process and Technology*. . Solid Waste Technology & Management. 2011.
  11. Xin-gang Z, Gui-wu J, Ang L, Yun L. Technology, cost, a performance of waste-to-energy incineration industry in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;55:11530.
  12. Zahedi A, Timasi H, Kasaeian A, Mirnezami SA. Design and construction of a new dual CHP-type renewable energy power plant based on an improved parabolic trough solar collector and a biofuel generator. *Renewable energy*. 2019;135:485-95.
  13. Nejad AS, Zahedi AR. Optimization of biodiesel production as a clean fuel for thermal power plants using renewable energy source. *Renewable energy*. 2018;119:365-74.
  14. Lou Z, Bilitewski B, Zhu N, Chai X, Li B, Zhao Y. Environmental impacts of a large-scale incinerator with mixed MSW of high water content from a LCA perspective. *Journal of Environmental Sciences*. 2015;30:173-9.
  15. Palash S, Kalam M, Masjuki H, Masum B, Fattah IR, Mofijur M. Impacts of biodiesel combustion on NOx emissions and their reduction approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013;23:473-90.
  3. Hadadian A. Design and construction of steam producing byparabolic trough collector *Materials and Energy Research Center*; 1391.
  4. Minea AA, El-Maghlany WM. Influence of hybrid nanofluids on the performance of parabolic trough collectors in solar thermal systems: recent findings and numerical comparison. *Renewable Energy*. 2018;120:350-64.
  5. Kalogirou SA. Solar thermal collectors and applications. *Progress in energy and combustion science*. 2004;30(3):231-95.
  6. Chong K, Wong C. General formula for on-axis sun-tracking system and its application in improving tracking accuracy of solar collector. *Solar Energy*. 2009;83(3):298-305.
  7. Szabados G, Bereczky Á. Experimental investigation of physicochemical properties of diesel, biodiesel and TBK-biodiesel fuels and combustion and emission analysis in CI internal combustion engine. *Renewable energy*. 2018;121:568-78.
  8. Srinivasnaik M, Sudhakar T, Naik BB. Bio Diesel as an Alternative Green Fuel to Internal Combustion Diesel Engine. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*. 2015;5.۶۳:(۲)
  9. Li Y, Homburg V, De Jong M, Koppenjan J. Government responses to environmental conflicts in urban China: the case of the Panyu waste <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.235>