



## Assessment of Renewable Energy Potential in Sistan and Baluchistan Province: Solar, Wind, Geothermal, and Bioenergy Sources

Sepideh Abedi<sup>1\*</sup> | Danial Ebrahiminia<sup>2</sup>

1. Corresponding Author, Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: [s\\_abedi@sbu.ac.ir](mailto:s_abedi@sbu.ac.ir)

2. Master of Science, Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: [denial.ebrahiminia@gmail.com](mailto:denial.ebrahiminia@gmail.com)

### ARTICLE INFO

**Article type:**  
Research Paper

**Article History:**  
Received 11 May 2023  
Revised 21 June 2023  
Accepted 21 July 2023  
Published Online 12 June 2024

**Keywords:**  
*Renewable Energies,  
Sistan and Baluchistan,  
GEO T-SOL,  
ArcGIS.*

### ABSTRACT

The present research investigates the possibility of using renewable energies such as solar, wind, geothermal, and bioenergy in the Sistan and Baluchistan province. This province faces significant obstacles in energy supply due to climatic, economic, and geographical factors. Using geographic information and global data in the ArcGIS software, an assessment of the total capacity of the province has been conducted, and areas with the highest potential for renewable energy exploitation have been identified. The assessment results show that the annual energy production capacity from solar, wind, geothermal, and bioenergy sources is equivalent to 1962 kWyear.m<sup>-2</sup>, 22776 MWyear per turbine, 402 kWyear.m<sup>-2</sup>, and 194 KWyear per person, respectively, which, if these sources were replaced, would prevent 818.74 kg.m<sup>-2</sup>, 9504.42 ton (per turbine), 167.75 kg.m<sup>-2</sup>, and 80.95 kg (per person) of carbon dioxide emissions annually. Furthermore, the annual energy production level in a sample household demand in the study area has been evaluated using GEO T-SOL and PVSYST software. The results indicate that the energy produced by designing a hybrid geothermal and solar system for household demand in the region is equivalent to 8637 kWh and 8858 kWh per year, leading to energy savings of 22566 kWh and prevention of 5585 kg of carbon dioxide emissions annually. The results of this study demonstrate the significant efficiency and potential of renewable energies in meeting the energy needs in the Sistan and Baluchistan province, serving as a valuable solution to address the challenges of energy demand and sustainable development in the region.

**Cite this article:** Abedi, S. & Ebrahiminia, D. (2023). Assessment of Renewable Energy Potential in Sistan and Baluchistan Province: Solar, Wind, Geothermal, and Bioenergy Sources. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 2 (4), 353-367. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.373293.1064>



© Sepideh Abedi, Danial Ebrahiminia. **Publisher:** University of Tehran Press.  
DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.373293.1064>

### Introduction

In recent years, the global shift towards renewable energy sources as a response to the depletion of fossil fuels and their detrimental impact on the environment has gained significant momentum. In Iran, the primary sources of energy are gas, oil, and hydroelectric power. However, in Sistan and Baluchistan province, accessing these conventional energy sources poses considerable challenges due to unique climatic conditions, economic constraints, and limited infrastructure development. The arid and hot climate of Sistan and Baluchistan restricts the feasibility of hydropower utilization in the region. Additionally, the province lacks adequate infrastructure for fossil fuel energy production, further exacerbating energy supply issues. The vast expanse of the area, coupled with its desert terrain and accessibility constraints, presents obstacles to efficient energy transmission, resulting in energy scarcity in the region.

To address the energy deficit and promote economic growth in Sistan and Baluchistan, harnessing renewable resources emerges as a viable solution. Given its sunny climate, expansive geography, and geological characteristics, the region shows promising potential for solar, wind, biological, and geothermal energy exploration. To assess this potential, a study was conducted using geographic information systems and global databases in conjunction with ArcGIS software to evaluate the overall energy capacity of the province and identify areas with optimal energy exploitation prospects. Furthermore, utilizing GEO T-SOL and PVSYST software, a zero-energy building design was developed based on the assessment of renewable energy capacity and annual energy production output.

## **Methods**

The study focused on Sistan and Baluchistan province, known for its predominantly hot and dry weather conditions. Solar energy potential was evaluated based on photovoltaic energy harvesting capacity, considering total solar radiation on horizontal surfaces derived from daily sunlight hours.

Moreover, geothermal energy utilization capacity was assessed by analyzing geological data and temperature profiles in the region to determine extractable power potential. The design of a geothermal system in conjunction with solar energy was carried out using GEO T-SOL software. Bioenergy production capacity evaluation involved calculating sewage sludge production per capita and estimating biogas yield through anaerobic digestion processes.

Finally, wind energy harvesting potential was determined by reviewing station-specific weather data and utilizing wind atlas information to assess energy output at a height of 100 meters. Through comprehensive analysis and innovative design approaches, the study aims to pave the way for sustainable energy development and economic progress in Sistan and Baluchistan province.

## **Results**

The study findings on solar energy in Sistan and Baluchistan reveal the region's immense potential for solar energy development and photovoltaic electricity generation. The area boasts an average direct sunlight exposure of approximately  $5.81 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ , with a total average sunlight reaching  $6.02 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ . Moreover, the region receives an average of  $2.20 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$  of scattered radiation. Wind assessments indicate that the Behartib region experiences wind speeds ranging from 3 to  $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , while the province, on the whole, maintains an average wind speed between 7 to 10 meters per second. The prevailing westerly winds highlight significant wind energy harvesting potential in the province. Additionally, the presence of hot water springs aligning east to west across the central region showcases favorable conditions for small-scale geothermal power plants, positioning Sistan and Baluchistan as a key geothermal energy resource hub in the country. Analysis of biogas production capacity, based on a population of  $1,448,000 \text{ m}^3$  per day, further accentuates the region's diverse renewable energy potential. Evaluating the utilization of various resources in Sistan Baluchistan, a study sample focusing on meeting energy demands in the residential area of Jo Abad village within Mirjaveh Zahedan city was conducted.

In this context, a zero-energy building concept was applied, integrating geothermal thermal energy and solar photovoltaic systems to fulfill thermal heating and electricity requirements. System design and performance evaluations were facilitated through GEO T-SOL and PVSYST software platforms. The designed hybrid system caters to heating indoor spaces and supplying hot water demands, requiring 8411 kWh and 8659 kWh annually, respectively. It yields 8637 kilowatt hours and 8858 kilowatt hours per year from the geothermal and solar collectors. The heat pump and solar collector exhibit performance factors of 4.8 and 4.6, respectively, resulting in an overall system performance coefficient of 7.8, meeting efficiency targets. This sustainable system generates significant energy savings of 22566 kilowatt hours annually, curbing carbon dioxide emissions by 5585 kg per year.

## **Conclusion**

The annual energy production capacities from solar, wind, geothermal, and bioenergy resources are  $1962 \text{ kW}\cdot\text{year}\cdot\text{m}^{-2}$ , 22776 MWyear (per turbine),  $402 \text{ kW}\cdot\text{year}\cdot\text{m}^{-2}$ , and 194 KWyear (per person), respectively. These sources have the potential to reduce carbon dioxide emissions significantly. These results highlight the efficiency and potential of renewable energies in meeting energy needs in Sistan and Baluchistan province, offering a sustainable solution for energy demand and development in the region.



## ارزیابی پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در استان سیستان و بلوچستان: منابع انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی و زیستی

سپیده عابدی<sup>۱\*</sup> | دانیال ابراهیمی<sup>۲</sup>

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی. رایانامه: [s\\_abedi@sbu.ac.ir](mailto:s_abedi@sbu.ac.ir)  
 ۲. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی. رایانامه: [denial.ebrahiminia@gmail.com](mailto:denial.ebrahiminia@gmail.com)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

#### نوع مقاله:

پژوهشی

#### تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳

#### کلیدواژه:

انرژی‌های تجدیدپذیر،  
سیستان و بلوچستان،  
GEO T-SOL  
ArcGIS

تحقیق حاضر به بررسی امکان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی، بادی، زمین گرمایی و انرژی زیستی در استان سیستان و بلوچستان پرداخته است. استانی که در تأمین انرژی با موانع مهمی ناشی از عوامل اقلیمی، اقتصادی و دسترسی جغرافیایی روبه‌رو است. با استفاده از اطلاعات جغرافیایی و داده‌های جهانی در نرم‌افزار ArcGIS، ارزیابی ظرفیت کل استان انجام و مناطق دارای بالاترین پتانسیل بهره‌برداری انرژی‌های تجدیدپذیر مشخص شده است. نتایج حاصل از ارزیابی نشان داد ظرفیت تولید انرژی سالانه از محل منابع انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی و انرژی زیستی به ترتیب معادل  $1962 \text{ MWyear}$ ،  $22776$  (به ازای هر توربین)،  $402 \text{ kWyear}$ ،  $194 \text{ kWyear}$  (به ازای هر نفر)، است که در صورت جایگزینی این منابع به ترتیب از انتشار  $818/74 \text{ kg.m}^{-2}$ ،  $950/4/42 \text{ ton}$ ،  $167/75 \text{ kg.m}^{-2}$ ،  $80/95$ ،  $80/95$  دی‌اکسیدکربن در سال جلوگیری خواهد شد. همچنین با استفاده از نتایج حاصل از ارزیابی ظرفیت به کارگیری از منابع تجدیدپذیر به کمک نرم‌افزارهای GEO T-SOL و PVSYST، میزان تولید انرژی سالانه در یک نمونه تقاضای خانگی در منطقه مورد مطالعه ارزیابی شده است. نتایج نشان داد انرژی تولیدشده در طراحی سیستم هیبرید زمین گرمایی و خورشیدی با تقاضای خانگی در منطقه به ترتیب معادل  $8637 \text{ kWh}$  و  $8858 \text{ kWh}$  در سال است که به صرفه‌جویی معادل  $22566 \text{ kWh}$  انرژی و جلوگیری از انتشار  $5585 \text{ kg}$  دی‌اکسیدکربن در سال منجر می‌شود. نتایج حاصل از این مطالعه، کارایی و پتانسیل قابل توجه انرژی‌های تجدیدپذیر در تأمین انرژی مورد نیاز در استان سیستان و بلوچستان را نشان می‌دهد که می‌تواند به عنوان راهکار ارزشمندی به منظور برون‌رفت از چالش‌های تأمین تقاضای انرژی و توسعه پایدار منطقه مورد توجه قرار گیرد.

**استناد:** عابدی، سپیده و ابراهیمی‌نیا، دانیال (۱۴۰۲). ارزیابی پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در استان سیستان و بلوچستان: منابع انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی و زیستی. فصلنامه

سیستم‌های انرژی پایدار، ۲ (۴) ۳۶۷-۳۵۳. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.373293.1064>

© سپیده عابدی، دانیال ابراهیمی‌نیا. ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.373293.1064>



## ۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، به دلیل کاهش منابع انرژی فسیلی و تأثیرات مخرب محیط زیستی آن‌ها بر جهان، تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر و بهره‌گیری از آن به عنوان یک سیاست جایگزین، بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱]. بر اساس داده‌های تغییر اقلیم مجمع بین‌دولتی تغییرات آب‌وهوایی (IPCC<sup>۱</sup>)، در صوتی که تا سال ۲۰۵۰، مقدار دی‌اکسیدکربن به گونه‌ای کاهش یابد که افزایش آن متوقف شود، در بهترین حالت میانگین دمای جهانی ۱-۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. اما در صورت عدم اعمال برنامه‌های کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن، روند رو به افزایش آن باعث افزایش دمای ۵-۴/۵ درجه سانتی‌گراد خواهد شد [۲]. بنابراین باید با به‌کارگیری تکنولوژی‌های انرژی تجدیدپذیر علاوه بر حفاظت از منابع فسیلی باقی‌مانده، در راستای برنامه‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای حرکت کرد.

در سبد انرژی کشور ایران بیشترین سهم تأمین منابع انرژی به ترتیب از محل گاز، نفت و انرژی برق‌آبی است. این در حالی است که دسترسی به هر سه این منابع در برخی نقاط به دلیل شرایط خاص اقلیمی، اقتصادی و دسترسی به منطقه نظیر استان سیستان و بلوچستان با چالش‌های جدی روبه‌روست. از آنجا که اقلیم این منطقه گرم و خشک است، استفاده از انرژی آبی را محدود می‌کند. همچنین استان سیستان و بلوچستان دارای نارسایی در توسعه زیرساخت‌های تولید انرژی از منابع فسیلی است. از سوی دیگر، به دلیل مساحت زیاد استان و کویری بودن منطقه و محدودیت‌های دسترسی، انتقال انرژی با چالش‌های بسیاری همراه بوده و از این‌رو منطقه را با محرومیت تأمین انرژی مواجه ساخته است [۳].

توسعه منابع تجدیدپذیر در استان سیستان و بلوچستان می‌تواند به عنوان راه‌حلی برای تأمین نیازهای انرژی به صورت محلی و توسعه اقتصادی این منطقه به کار گرفته شود. با توجه به گرم و آفتابی بودن منطقه و از طرف دیگر، وجود گسل‌های متعدد، این منطقه دارای پتانسیل قابل بررسی در زمینه انرژی خورشیدی و انرژی زمین‌گرمایی است. همچنین، استفاده از فناوری‌های پیشرفته و جذب سرمایه‌گذاری در این حوزه نیز می‌تواند تأثیر به‌سزایی داشته باشد [۳ و ۴]. بنابراین هدف از این مطالعه، ارزیابی استفاده از منابع تجدیدپذیر در این منطقه است.

تا کنون مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی امکان بهره‌مندی از منابع تجدیدپذیر در شهرهای مختلف کشور انجام گرفته است. شمیرانی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از روش ارزیابی اثرات محیط زیستی (EIA<sup>۲</sup>) به بررسی پتانسیل بهره‌برداری حداکثری از انرژی خورشید، باد و زمین‌گرمایی پرداخته‌اند و بهترین نقاط برای بهره‌برداری از این سه انرژی را در کل کشور ارائه داده‌اند [۵]. در تحقیقی دیگر خبیر و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی پتانسیل منابع انرژی تجدیدپذیر در ایران برای طراحی ساختمان صفر انرژی و بهره‌برداری محلی از انرژی تجدیدپذیر با استفاده از اطلس‌های انرژی پرداخته‌اند و مناطق بهینه برای بهره‌برداری محلی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر را ارائه داده‌اند [۶].

همچنین دهدار و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی پتانسیل استان ایلام برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی پرداختند. در این بررسی به کمک نرم‌افزار ArcGIS و استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و مدل سلسله‌مراتبی به مناطق با پتانسیل بالا شناسایی شد [۷]. در تحقیق دیگر میرکلائی (۱۴۰۲) در شهر چالوس به کمک اطلاعات جغرافیایی منطقه به بررسی پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر و درجه‌بندی‌های آن‌ها برای بهره‌برداری در شهر چالوس پرداخت [۸].

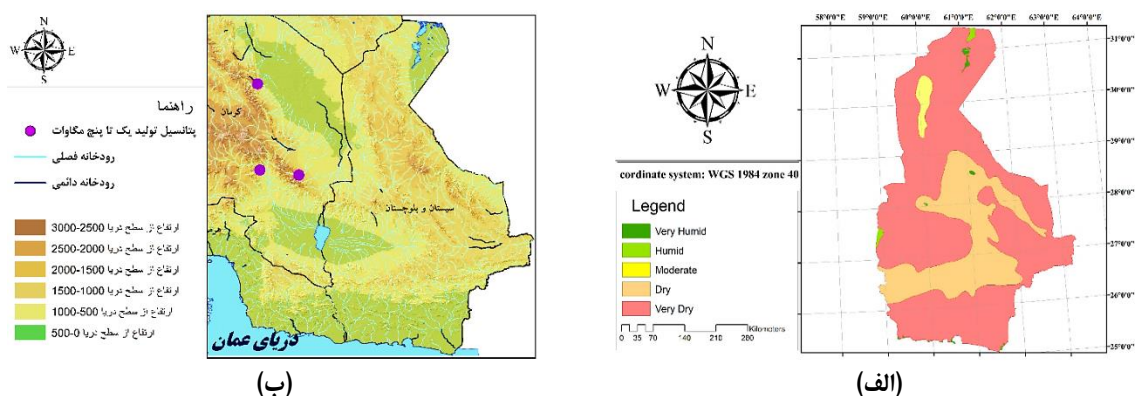
دهواری و همکاران (۱۳۷۸) به طراحی سیستمی برای تولید بیوگاز به صورت محلی در روستاهای استان سیستان و بلوچستان پرداختند [۹]. میناییان و همکاران (۱۳۹۳) نیز به بررسی پتانسیل انرژی باد استان و تحلیل اقتصادی برای احداث نیروگاه بادی در این منطقه پرداخته‌اند و مدل اقتصادی را با توجه به اطلاعات پتانسیل انرژی باد ارائه کرده‌اند [۱۰]. بهرامی (۱۴۰۰) نیز به امکان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در استان به کمک روش‌های تحلیلی و تعیین عوامل خارجی و داخلی و ضعف‌ها و قوت‌ها پرداخته است [۱۱]. مرور سوابق تحقیق نشان داد در مطالعات پتانسیل‌سنجی در انرژی استان سیستان و بلوچستان به صورت پراکنده و با محوریت یک منبع انرژی انجام گرفته و ظرفیت کلی استان به صورت یک مطالعه جامع مورد توجه نبوده است.

در این مطالعه سعی شده است با مطالعه دقیق شاخص‌های جغرافیایی، محیط زیستی و اجتماعی به بررسی کلیه ظرفیت‌های بهره‌برداری از منابع انرژی تجدیدپذیر پرداخته شود. در این راستا پتانسیل بهره‌برداری انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید انرژی زمین‌گرمایی، انرژی خورشیدی و انرژی زیستی در استان سیستان و بلوچستان مورد بررسی قرار گرفته است. این منطقه آب‌وهوای گرم و خشک دارد و با چالش‌هایی مانند کمبود انرژی، افزایش هزینه‌های انرژی، کاهش سطح آب زیرزمینی و کمبود اشتغال مواجه است. این مشکلات باعث شده است که نیاز به تأمین انرژی از منابع تجدیدپذیر در این منطقه به شدت احساس شود. همچنین، تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر در این منطقه با چالش‌هایی مانند عدم توانایی در تأمین منابع مالی، عدم دسترسی به فناوری‌های پیشرفته، عدم انتقال آسان انرژی و عدم توانایی در جذب سرمایه‌گذاری مواجه است [۱۲]. از این رو به کمک اطلاعات جغرافیایی و اطلس‌های جهانی با کمک از نرم‌افزار ArcGis، ظرفیت کلی استان ارزیابی و نواحی با بالاترین پتانسیل بهره‌برداری انرژی در منطقه شناسایی شده است. نوآوری این تحقیق علاوه بر ارائه ظرفیت جامع برداشت منابع تجدیدپذیر در کل استان، طراحی ساختمان صفر انرژی و ارزیابی توان برداشت هیبرید به کمک نرم‌افزارهای GEO T-SOL و PVSYST یک ساختمان با تقاضای مصرف خانگی در منطقه مورد مطالعه است، به طوری که علاوه بر تأمین تقاضا، میزان صرفه‌جویی منابع و کاهش انتشار کربن با به‌کارگیری منابع تجدیدپذیر ارزیابی شده است.

## ۲. مواد و روش

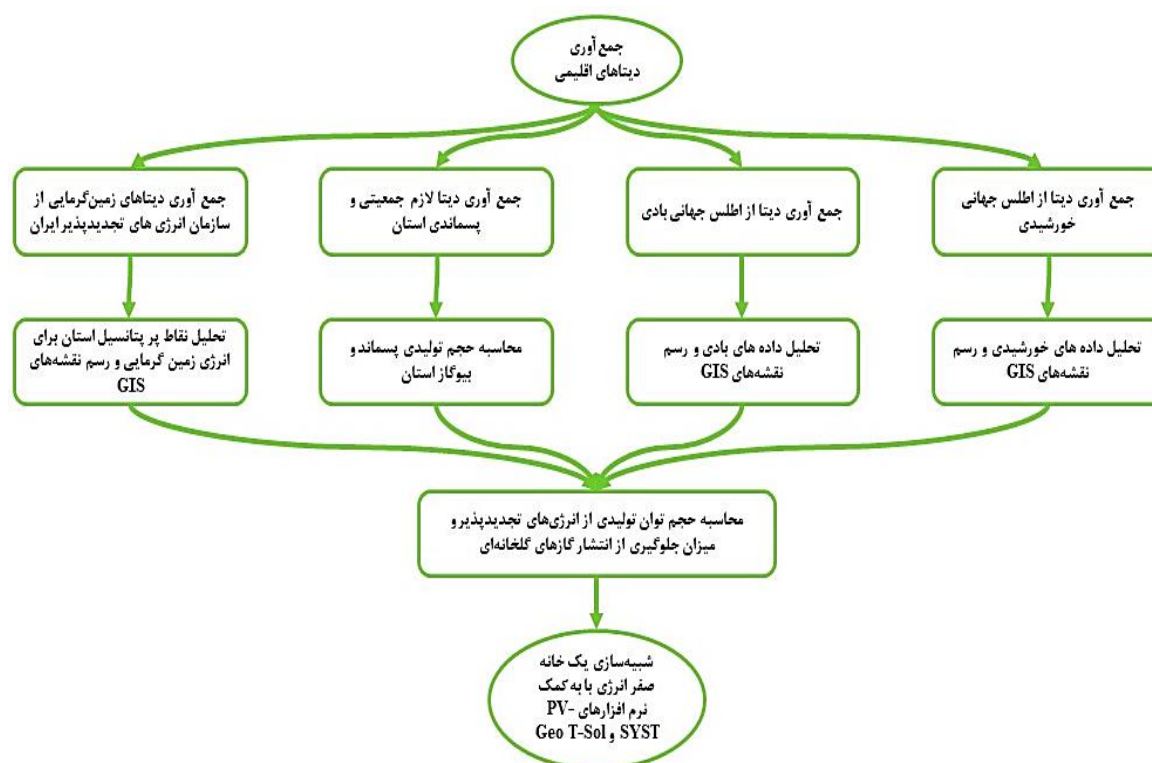
### ۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان سیستان و بلوچستان در مختصات جغرافیایی (۲۵ درجه و ۳ دقیقه) تا (۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه) عرض شمالی و (۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه) تا (۶۳ درجه و ۲۱ دقیقه) طول شرقی واقع شده است. نقشه طبقات اقلیمی این محدوده با مساحت ۱۸۰۷۲۶ کیلومتر مربع در شکل (۱ الف) نشان داده شده است. آب‌وهوای استان در بیشتر روزهای سال گرم و خشک است. در فصل تابستان روزهایی بسیار گرم و شب‌های با حرارت نسبی کم دارد. در ماه‌های دی و بهمن، آب‌وهوایی عمدتاً خنک و شب‌های سرد در این منطقه حاکم است و تنوع اقلیمی‌اش با دریای عمان گره خورده است. این استان دارای طبیعتی کوهستانی است و مناطق جنوبی آن با توجه به مجاورت با دریای عمان و وزش بادهای موسمی، اقلیم متفاوتی دارد. بالا بودن میانگین دما و پایین بودن نوسانات آن از مشخصه‌های اساسی اقلیم منطقه است. منابع محدود آب‌های زیرزمینی تنها امکانات تأمین آب محسوب می‌شود. وجود آتش‌فشان تفتان با ارتفاع ۳۹۴۱ متر در شمال بلوچستان مرکزی، شرایط اقلیمی متنوعی را ایجاد کرده است [۱۳]. با توجه به پایین بودن مقدار نزولات جوی و نبود منابع برفی کوهستانی اکثر جریان‌های رودخانه‌ای در این استان، موقتی و فصلی بوده که در شکل (۱ ب) نشان داده شده است. با توجه به اقلیم منطقه، آب‌وهوای خشک و گرم در استان و کم بودن اختلاف ارتفاع در منطقه باعث شده است که احداث سد برای استفاده از پتانسیل انرژی برق‌آبی در این منطقه مناسب نباشد. از این رو ظرفیت انرژی خورشیدی، بادی، زمین‌گرمایی و زیستی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته است.



شکل ۱. نقشه طبقات اقلیمی استان سیستان و بلوچستان (الف)، ارتفاع از سطح دریا و جریان‌های رودخانه‌ای در استان (ب)

در ادامه نحوه ارزیابی ظرفیت برداشت از منابع انرژی تجدیدپذیر در منطقه تشریح شده است. مراحل و روش‌های به کاررفته در این تحقیق در فلوچارت شکل ۲ ارائه شده است. در این تحقیق تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار GIS بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از اطلس منابع انجام شده است. در لایه GIS خورشیدی، بادی و زمین‌گرمایی به ترتیب از شاخص توان فتوولتائیک، سرعت باد و نزدیکی چشمه‌های آب گرم و آتش‌فشان استفاده شده است.



شکل ۲. فلوچارت از مراحل انجام مطالعه و ارزیابی ظرفیت تجدیدپذیر در منطقه مورد مطالعه

## ۲.۲. ظرفیت انرژی خورشیدی

ارزیابی پتانسیل انرژی خورشیدی بر پایه ظرفیت برداشت انرژی فتوولتائیک انجام شده است. عامل اساسی در بهبود بهره‌وری سیستم‌های فتوولتائیک مقدار زمان مواجهه با تابش خورشیدی طی روز است. جهت تخمین کل تابش انرژی خورشیدی که بر سطوح افقی می‌تابد، از معادله ۱ که بر پایه تعداد ساعات‌های آفتابی طی یک روز محاسبه می‌شود، استفاده شده است [۱۴].

$$\frac{Q}{Q_s} = 0.29 \times \cos(\theta) + 0.59 \frac{n}{N} \quad (1)$$

در این معادله، (Q) کل انرژی تابشی دریافت‌شده توسط یک سطح افقی را نشان می‌دهد، که با واحد  $m^2.MJ^{-1}$  در روز اندازه‌گیری می‌شود؛ (n) شمار ساعات‌های دریافت نور خورشید در یک روز و (N) نشان‌دهنده بیشینه مقدار ممکن برای تعداد ساعات‌های آفتابی طی یک روز است. همچنین متغیر (θ) عرض جغرافیایی مکان مورد نظر را معرفی می‌کند. این معادله به ارزیابی دقیق‌تر بار تابش خورشیدی برای مکان‌های مختلف با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی کمک می‌کند [۱۴]. مشخصات تابش و توان خورشیدی قابل برداشت در اقلیم مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

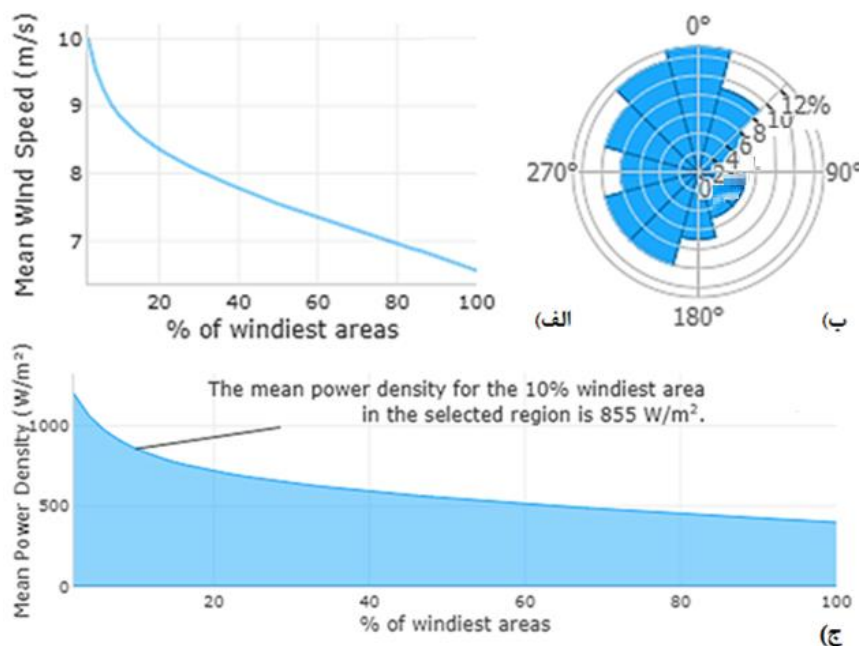
سیستم فتوولتائیک مورد استفاده در این پروژه، با استفاده از نرم‌افزار PVsyst طراحی شده است. این سیستم متشکل از ۴ عدد پنل سری از شرکت AE Solar به مدل AE 570TME-110BDS است. هر یک از این پنل‌ها دارای توان نامی ۵۶۰ وات هستند و در مجموع توان نامی ۲۲۴۰ وات را تولید می‌کنند. برای ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی تولیدشده، از ۳ عدد باتری لیتیوم یونی از شرکت V-TAC استفاده شده است. این باتری‌ها دارای جریان نامی ۱۰۰ آمپر ساعت و ولتاژ نامی ۲۰۵ ولت هستند. مجموعه باتری‌ها قادر به ذخیره‌سازی ۳/۵۵ کیلووات ساعت انرژی هستند.

جدول ۱. مشخصات تابش و توان خورشیدی قابل برداشت در اقلیم مورد مطالعه

متغیر	مقدار	واحد
Specic photovoltaic power output	۵/۵۳ — ۴/۷۷	kWh.kWp <sup>-1</sup>
Direct normal irradiation	۶/۹۰ — ۴/۸۵	kWh.m <sup>-2</sup>
Global horizontal irradiation	۶/۲۶ — ۵/۶۳	kWh.m <sup>-2</sup>
Diffuse horizontal irradiation	۲/۴۹ — ۱/۷۹	kWh.m <sup>-2</sup>
Global tilted irradiation	۶/۹۹ — ۶/۲۵	kWh.m <sup>-2</sup>
Optimum tilt of PV modules	۳۱ - ۲۷	Degree
Air temperature	۲۸/۴ - ۱۵/۵	C°

### ۳.۲. ظرفیت انرژی بادی

دو عامل مهمی که در بهره‌برداری از انرژی باد اهمیت دارد سرعت و جهت باد است. سرعت متوسط سالانه باد در منطقه نباید از مقدار حداقل کمتر باشد و جهت باد نیز بهتر است مداوم و در یک جهت باشد، چرا که چرخش توربین‌ها به جهت‌های مختلف، اقتصادی و عملی نیست و کارایی سامانه بادی را کاهش می‌دهد. به منظور ارزیابی ظرفیت برداشت انرژی بادی منطقه، اطلاعات آب‌وهوایی ایستگاه مورد نظر بررسی و متناسب با اطلس بادی در ارتفاع ۱۰۰ متری، ظرفیت برداشت انرژی بادی ارزیابی شده است که بخشی از این داده‌های اطلس جهانی در شکل ۳ آمده است. در شکل ۳ دو نمودار از سرعت و چگالی توان باد در کنار یک توپوگرافی از جهت بادهای قالب منطقه قرار دارد.



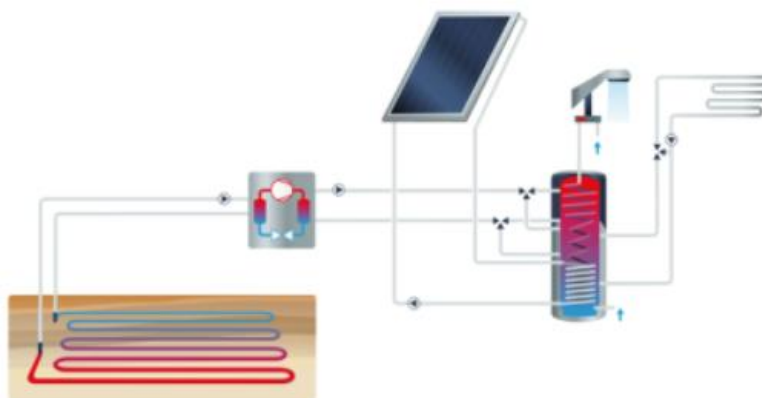
شکل ۳. میانگین سرعت باد (الف)، نمودار جهت باد (گلاباد) (ب) و میانگین چگالی توان باد (ج) در ارتفاع ۱۰۰ متری استان (منبع: اطلس جهانی باد)

توان قابل برداشت از انرژی بادی با توجه به فرمول ۲ در ارتفاع ۱۰۰ متری با سرعت باد متوسط  $8/5 \text{ m.s}^{-1}$  با فرض توربین بادی با پره‌های به طول ۷۵ m و در نظر گرفتن ضریب عملکرد ۴۰ درصد (بر مبنای میانگین ضریب توربین‌های بادی در شرایط عملیاتی نرمال) در چگالی استاندارد هوا  $1/225 \text{ kg.m}^{-3}$  محاسبه شده است [۲۲].

$$p = \frac{\pi}{2} \times r^2 \times v^3 \times \rho \times \eta \quad (۲)$$

## ۴.۲. ظرفیت انرژی زمین گرمایی

انرژی زمین گرمایی یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر است که از داخل زمین استخراج می‌شود. در این روش، حرارت داخل زمین، از طریق چاه‌های عمیق به سطح زمین منتقل می‌شود و از آن به عنوان منبع گرما و برق استفاده می‌شود [۱۵]. برای بررسی ظرفیت بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی در استان سیستان و بلوچستان، با تحلیل داده‌های زمین‌شناسی، مناطقی که دارای پتانسیل انرژی زمین گرمایی مناسبی هستند، شناسایی شده‌اند. همچنین با کمک داده‌های به‌دست‌آمده و تحلیل دما و خواص سنگ‌ها در منطقه پتانسیل توان قابل برداشت از انرژی زمین گرمایی در منطقه محاسبه شده است [۱۶]. طراحی سیستم زمین گرمایی در منطقه بهینه به صورت ترکیبی با انرژی خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار GEO T-SOL انجام گرفته است. در این سیستم از کلکتورهای افقی در عمق ۲ متری سطح زمین استفاده شده است.



شکل ۴. شماتیک سیستم طراحی شده در نرم‌افزار GEO T-SOL

در شکل ۴ شماتیک سیستم طراحی شده با استفاده از نرم‌افزار GEO T-SOL نمایش داده شده است. این سیستم هیبرید شامل یک کلکتور زمین گرمایی است که به یک کلکتور خورشیدی متصل است. هر دو کلکتور به یک مخزن ذخیره انرژی گرمایی متصل هستند. این مخزن انرژی مورد نیاز برای گرم کردن محیط خانه را تأمین می‌کند. به علاوه، این سیستم قادر است آب گرم مورد نیاز ساختمان را تأمین کند.

## ۵.۲. ظرفیت انرژی زیستی

برای دستیابی به بیوگاز در مناطق روستایی استان می‌توان از راکتور در واحدهای کوچک و محلی استفاده کرد و از بیوگاز تولیدی برای تولید برق و حرارت و همچنین از بقایای آن به عنوان کود استفاده کرد [۹]. برای بررسی ظرفیت تولید انرژی زیستی در این استان، ابتدا با بررسی جمعیت در شهرهای مختلف منطقه مورد مطالعه، میزان تولید لجن فاضلاب به ازای هر نفر را با ضریب سرانه تولید معادل ۲ لیتر به ازای هر نفر در روز محاسبه شده است. میزان لجن اولیه و ثانویه بر اساس سیستم‌های تصفیه هوازی فاضلاب در ایران طبق داده‌های کشوری و سوابق جهانی برآورد شده است [۱۷]. میزان تولید لجن خشک با ضریب یک پانزدهم از فاضلاب تولیدی لحاظ شده است [۱۸ و ۱۹]. در مرحله بعد میزان تولید بیوگاز از لجن فاضلاب تولیدی محاسبه شده است. این میزان طی فرایند هضم بی‌هوازی بر اساس مرجع به ازای هر نفر برابر ۰/۱۱ مترمکعب در روز لحاظ شده است [۲۰، ۲۱ و ۲۴]. میانگین تولید توان از بیوگاز در سیستم از هر مترمکعب بیوگاز به طور میانگین برابر با ۱/۹ kWh است [۲۳].

## ۳. یافته‌ها

### ۱.۳. ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر استان سیستان و بلوچستان

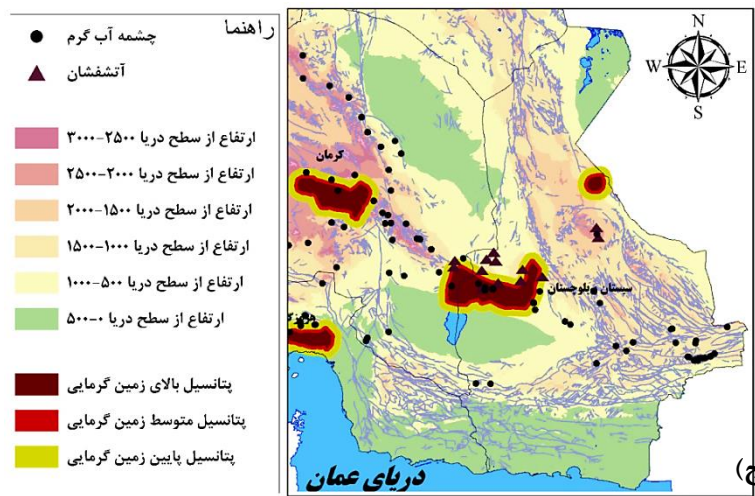
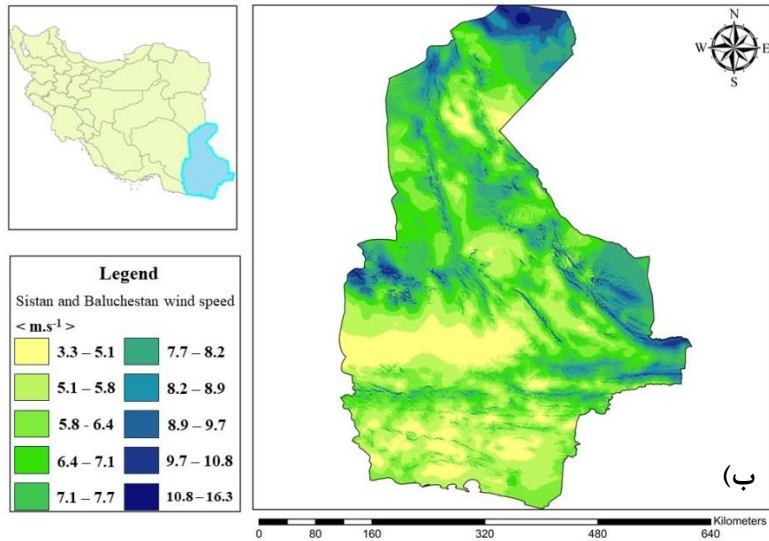
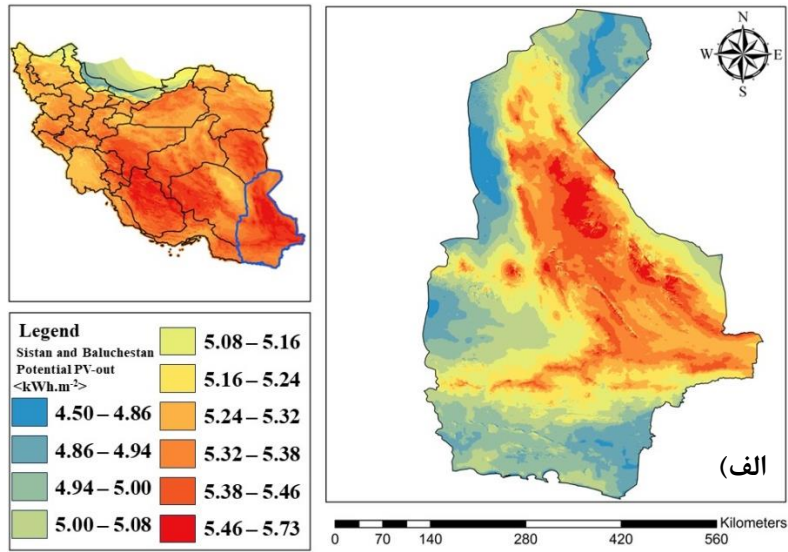
با بررسی داده‌های اقلیمی و اطلس انرژی‌های تجدیدپذیر ایران وضعیت بهره‌مندی شهرهای مختلف استان سیستان و بلوچستان از انرژی خورشیدی، زمین گرمایی، بادی و زیستی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از بررسی انرژی خورشیدی در



منطقه نشان داد منطقه سیستان و بلوچستان با داشتن ظرفیت سالانه تولید توان خروجی خورشیدی خاص معادل  $2 \text{ kWh.m}^{-2}$   $1962$ ، یک منطقه مناسب برای توسعه انرژی خورشیدی و تولید برق فتوولتائیک است (شکل ۵ الف). میانگین تابش مستقیم نور خورشید روزانه در این منطقه معادل  $5/875 \text{ kWh.m}^{-2}$  و میانگین تابش افقی جهانی روزانه نور خورشید معادل  $2/14 \text{ kWh.m}^{-2}$  است. علاوه بر این، میزان تابش پراکنده روزانه نیز به طور میانگین حدود  $2/14 \text{ kWh.m}^{-2}$  است. کمینه و بیشینه سرعت باد در منطقه به ترتیب  $3 \text{ m.s}^{-1}$  و  $16 \text{ m.s}^{-1}$  است و میانگین سرعت باد در کل استان  $7-10 \text{ m.s}^{-1}$  است (شکل‌های ۳ و ۵ ب). سرعت و جهت باد غالب که همواره از سمت غرب در جریان است، پتانسیل مناسب استان را در برداشت انرژی بادی نشان می‌دهد (شکل ۵ ب). این ظرفیت معادل  $2600 \text{ kWh}$  به ازای هر توربین با ضریب عملکرد ۴۰ درصد در ارتفاع ۱۰۰ متر با سرعت باد متوسط  $8/5$  متر بر ثانیه برآورد شده است.

از سوی دیگر، وجود چشمه‌های آب گرم در خط مرکزی استان بین شرق تا غرب که نشان‌دهنده ظرفیت راه‌اندازی نیروگاه‌های کوچک‌مقیاس در این محور است (شکل ۵ ج)، این استان را به ظرفیتی با پتانسیل قابل توجه در کشور برای بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی مبدل ساخته است. علاوه بر این، توان قابل برداشت از هیت پمپ زمین‌گرمایی در حالت استاندارد در این منطقه، به طور میانگین با نرخ استخراج حرارت معادل  $45/9 \text{ Wh.m}^{-2}$  محاسبه شده است. استفاده از پمپ حرارتی برای استخراج گرما برای کاربردهای مختلف از جمله گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها و تأمین تقاضای انرژی برای فعالیت‌های صنعتی، انبارداری و کشاورزی می‌تواند به کاهش وابستگی به منابع انرژی فسیلی و توسعه انرژی پایدار در منطقه کمک کند. همچنین برای ارزیابی ظرفیت برداشت انرژی زیستی از لجن فاضلاب شهری در این استان نیز، ظرفیت تولید بیوگاز از لجن به ازای جمعیت ساکن در استان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل به ازای کل جمعیت استان ظرفیتی معادل تولید روزانه  $34980 \text{ m}^3$  بیوگاز از لجن خشک و تولید  $66462 \text{ kWh}$  را نشان داد. این ظرفیت به ازای هر فرد روزانه برابر با  $22/15 \text{ Wh}$  است. به علاوه در صورت استفاده از پساب تصفیه‌خانه برای تولید سوخت بیودیزل بر پایه زیست‌توده نسل سوم [۲۵]، ظرفیتی معادل تولید  $0/09 \text{ m}^3$  زیست‌توده با قابلیت تولید سوخت زیستی از هر مترمکعب پساب برآورد شد.

نتایج حاصل از ارزیابی ظرفیت بهره‌برداری از منابع مختلف انرژی تجدیدپذیر در استان سیستان و بلوچستان در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس نقشه هم‌پوشانی مناطق مستعد تولید خورشیدی، بادی و زمین‌گرمایی، غرب استان سیستان و بلوچستان به عنوان منطقه‌ای با پتانسیل قابل ملاحظه برای برداشت انرژی‌های تجدیدپذیر معرفی می‌شود. بر این اساس، دو منطقه با بالاترین ظرفیت بهره‌برداری از سیستم‌های هیبرید انرژی تجدیدپذیر معرفی کرد که علاوه بر پتانسیل انرژی خورشیدی، دارای ظرفیت مناسب جهت برداشت انرژی بادی و انرژی زمین‌گرمایی است. یکی از این مناطق بین شهر به زمان، روستای گنبد علوی و کوه زندان به مساحت ۷ هزار کیلومتر مربع قرار دارد. این منطقه دارای چند روستای بسیار کوچک و کم‌جمعیت است. منطقه دیگر بین شهر زاهدان، شهر مرزی میرجاوه و روستای جو آباد با مساحت  $5500$  کیلومتر مربع قرار دارد. به دلیل پرجمعیت بودن منطقه دوم ظرفیت بالاتری برای بهره‌برداری از انرژی زیستی از جمله بیوگاز حاصل از لجن فاضلاب را دارد. بنابراین این منطقه به عنوان منطقه مطالعاتی برای ارزیابی میزان پوشش تقاضای انرژی با استفاده از یک مدل هیبرید تأمین انرژی از منابع تجدیدپذیر انتخاب شد.



شکل ۵. نقشه پتانسیل خورشیدی استان سیستان و بلوچستان (الف)، سرعت باد در ارتفاع ۱۰۰ متری (ب)، نقشه پتانسیل‌های زمین گرمایی موجود در استان سیستان و بلوچستان (ج)

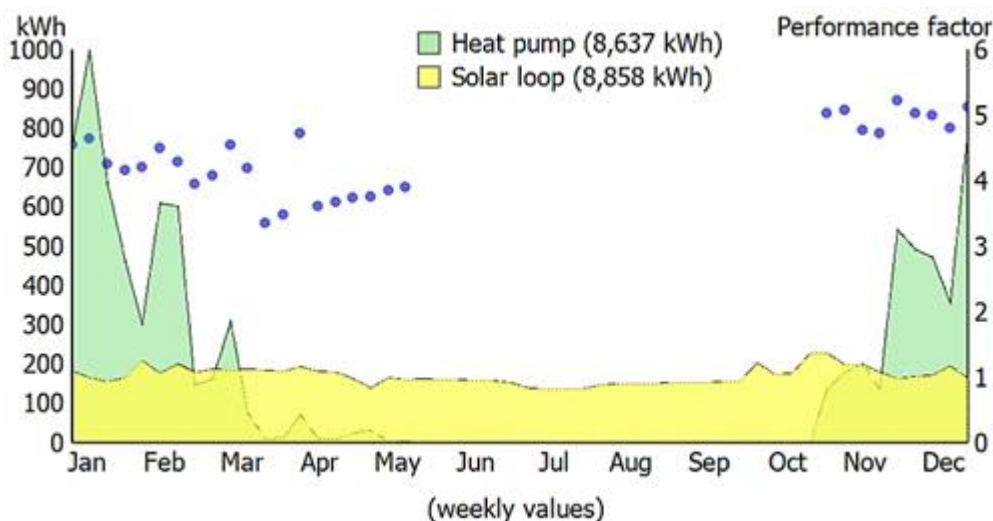
جدول ۲. وضعیت بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر در استان سیستان و بلوچستان

ردیف	نوع انرژی	شاخص	وضعیت موجود در استان
۱	خورشیدی	روزهای آفتابی میزان تابش	بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در سال $4/85 \text{ kWh.m}^{-2}$ تا $6/9$
۲	بادی	سرعت وزش (بیش از $4 \text{ m.s}^{-1}$ )	میانگین بازه سرعت $7 \text{ m.s}^{-1} - 10$
۳	زمین‌گرمایی	وجود مظاهر زمین‌گرمایی مانند چشمه‌های آب گرم و وجود گسل	احراز شاخص در خط مرکزی از غرب تا شرق استان
۴	زیستی	وجود منابع اولیه زیستی دمای محیط	قابلیت استفاده از منابع دورریز و لجن فاضلاب $15$ تا $28 \text{ }^\circ\text{C}$
۵	آبی	وجود منابع آب اختلاف ارتفاع	منابع آب کم، اقلیم گرم و خشک، غالب منطقه دارای دشت‌های وسیع

### ۲.۳. تأمین مصارف خانگی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در استان

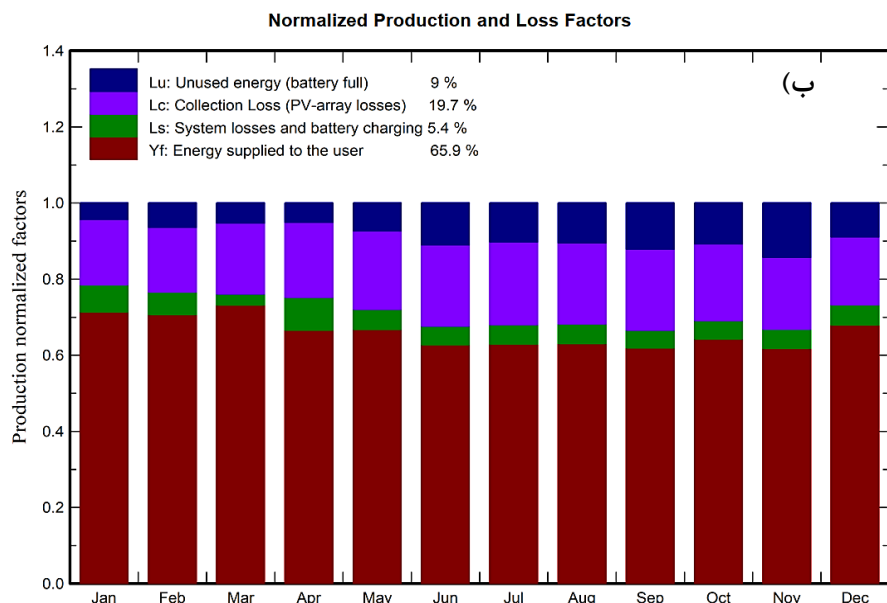
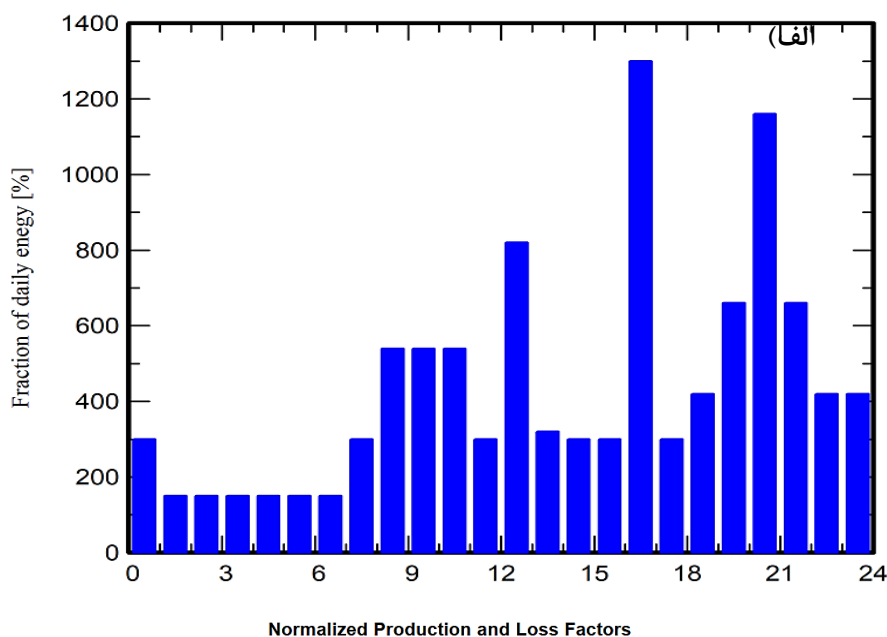
در بخش دوم پس از ارزیابی ظرفیت بهره‌برداری از منابع مختلف در استان سیستان و بلوچستان، به بررسی میزان تولید انرژی تجدیدپذیر در یک نمونه مطالعاتی برای تأمین منابع انرژی مورد تقاضا در بخش مسکونی روستای جو آباد واقع در شهر میرجاوه زاهدان، پرداخته شده است. در این راستا یک ساختمان صفر انرژی به‌گونه‌ای طراحی شده که تقاضای انرژی حرارتی و برق خود را از انرژی حرارتی زمین‌گرمایی به همراه سیستم‌های فتولتائیک خورشیدی تأمین می‌کند. طراحی سیستم هیبرید در دو نرم‌افزار GEO T-SOL و PVSYSY انجام شده است.

در سیستم طراحی‌شده برای گرمایش ساختمان، از کلکتور زمین‌گرمایی همراه با کلکتور خورشیدی استفاده شده است. انرژی مورد نیاز برای گرم کردن فضای داخلی و تأمین آب گرم مصرفی به ترتیب  $8411$  کیلووات ساعت و  $8659$  کیلووات ساعت در سال است. در مقابل، انرژی تولید شده توسط کلکتور زمین‌گرمایی و کلکتور خورشیدی به ترتیب  $8637$  کیلووات ساعت و  $8858$  کیلووات ساعت در سال برآورد شده است که می‌تواند تقاضا را به طور مطلوبی پوشش دهد. ضریب عملکرد برای هیتر پمپ  $4/8$  و برای کلکتور خورشیدی  $4/6$  است. ضریب عملکرد کل سیستم  $8/7$  محاسبه شده که در محدوده مطلوبی قرار گرفته است. سیستم طراحی‌شده سالانه به صرفه‌جویی معادل  $22566$  کیلووات ساعت انرژی و همچنین باعث جلوگیری از انتشار  $5585$  کیلوگرم دی‌اکسید کربن منجر می‌شود. ضریب عملکرد سیستم و انرژی تولیدشده توسط سیستم هیبرید زمین‌گرمایی و خورشیدی طی سال در شکل ۶ ارائه شده است. این نتایج نشان‌دهنده کارایی بالای سیستم در تأمین نیازهای انرژی ساختمان با استفاده از این منابع انرژی تجدیدپذیر است.



شکل ۶. انرژی تولید شده توسط سیستم هیبرید خورشیدی و زمین‌گرمایی و ضریب عملکرد سیستم

بر اساس پروفیل بار مفروض، میانگین توان مصرفی روزانه در سیستم ۱۰/۵ کیلووات است پروفیل بار روزانه در شکل (۷) الف نشان داده شده است. همچنین، در شکل (۷) ب) میزان انرژی تولیدشده و اتلاف انرژی در این سیستم نشان داده شده است.



شکل ۷. الف)، پروفیل بار مصرفی خانه مفروض در ۲۴ ساعت شبانه‌روز (ب)، نمودار درصد برداشت از تولید به تفکیک ماه‌های سال (رنگ قرمز: انرژی عرضه‌شده به کاربر، رنگ سبز: تلفات سیستم و شارژ باتری، رنگ بنفش: تلفات پنل، رنگ آبی: انرژی استفاده‌نشده در زمان پر بودن باتری‌ها)

#### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از ارزیابی پتانسیل برداشت انرژی‌های تجدیدپذیر در تأمین انرژی مورد تقاضای استان سیستان و بلوچستان نشان می‌دهد بهره‌برداری از این منابع می‌تواند به عنوان راهکار ارزشمندی به منظور برون‌رفت از چالش‌های تأمین تقاضای انرژی و توسعه پایدار منطقه مورد توجه قرار گیرد. اهم نتایج حاصل از این مطالعه عبارت‌اند از:

- ظرفیت تولید انرژی سالانه از محل منابع خورشیدی، بادی، زمین‌گرمایی و زیستی به ترتیب معادل  $1962 \text{ kWyear.m}^{-2}$ ،  $22776 \text{ MWyear}$  (به ازای هر توربین)،  $402 \text{ kWyear.m}^{-2}$ ،  $194 \text{ KWyear}$  (به ازای هر نفر)، است.

- کاربست منابع خورشیدی، بادی، زمین‌گرمایی و زیستی با ظرفیت شناسایی‌شده، به‌ترتیب قابلیت جلوگیری از انتشار  $8118/74 \text{ kg.m}^{-2}$ ،  $9504/42 \text{ ton}$  (به ازای هر توربین)،  $167/75 \text{ kg.m}^{-2}$ ،  $80/95 \text{ kg}$  (به ازای هر نفر)، دی‌اکسیدکربن در سال را دارد.
  - انرژی تولیدشده توسط یک نمونه سیستم هیبرید زمین‌گرمایی و خورشیدی طراحی‌شده با تقاضای خانگی در منطقه به‌ترتیب معادل  $8637$  و  $8858$  کیلووات ساعت در سال است.
  - این سیستم طراحی‌شده به صرفه‌جویی معادل  $22566$  کیلووات ساعت انرژی جلوگیری از انتشار  $5585$  کیلوگرم دی‌اکسیدکربن در سال منجر می‌شود.
- در راستای عملیاتی‌سازی ظرفیت‌های شناسایی‌شده، پیشنهاد می‌شود که در مناطق با پتانسیل بالا در استان، به تحقیق و توسعه مدل‌های بهینه به صورت سیستم‌های هیبرید انرژی‌های تجدیدپذیر پرداخته شود. این مطالعات می‌تواند به بهبود استفاده از منابع انرژی موجود و کاهش وابستگی به احداث تأسیسات مرتبط با بهره‌برداری از منابع انرژی فسیلی کمک کند. با توجه به اهمیت موضوع، این پیشنهاد می‌تواند یک اقدام کلیدی در راستای توسعه پایدار در منطقه نیز باشد. به‌علاوه، این مهم نه‌تنها باعث حفظ محیط زیست می‌شود، بلکه به ایجاد فرصت‌های شغلی و توسعه اقتصادی و اجتماعی منطقه منجر شود.

## منابع

1. Benedek J, Sebestyén TT, Bartók B. "Evaluation of renewable energy sources in peripheral areas and renewable energy-based rural development," *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*, vol.90, p. 516–35, 2018.
2. IPCC. "Global Warming of 1.5°C", Cambridge University Press; 2022.
3. Hosseini SE, Andwari AM, Wahid MA, Bagheri G. "A review on green energy potentials in Iran," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 27, p. 533–45, 2013.
4. Olabi AG, Abdelkareem MA. "Renewable energy and climate change," *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*, vol. 158, p. 112111, 2022.
5. Mofidi Shemirani Sam, Hosseini Zas. "Feasibility of maximum exploitation of solar, geothermal and wind renewable energies in Iran by EIA method. In: Third National Conference on Fuel," *Energy and Environmen*, 2013. [Persian].
6. Khabeir S., Vakilinejad R. "Feasibility of designing zero energy buildings based on the potential of renewable energy resources in Iran," *Second International Science and Engineering Congress*, 2018, [Persian].
7. Dehdar M, Yousefi H. "Potential measurement of solar energy in Ilam province." *The first national conference of green management from theory to practice*, 2023, [Persian].
8. Mousavi Mirklai Sam. "Potential measurement of the use of renewable energies (case example: Chalus city)," *The first national conference on new technologies in energy consumption and sustainable urban development in civil engineering and architecture*, 2023. [Persian].
9. Dehwari K.A., Thagha Al-Islami.N., Razavi Toosi S.S. "Design of biogas production unit for rural areas of Sistan and Baluchistan province," *National Conference on Fuel, Energy and Environment*, 2008, [Persian]
10. Minaian A, Sedaghat A, Alam Rajabi A. "Potential measurement of wind energy in Sistan and Baluchistan province and economic analysis for the construction of wind power plant," *Energy Engineering and Management Quarterly*, 2013, [Persian]
11. Humble Bahrami and Feasibility of using renewable resources in Sistan and Baluchistan province using Takافت analysis," *The 7th International Conference on Technology and Energy Management*, 2021, [Persian]
12. Ali Y, Ahmad M, Sabir M, Shah SA. "Regional development through energy infrastructure: A comparison and optimization of Iran-Pakistan-India (IPI) & Turkmenistan- Afghanistan-Pakistan-India (TAPI) gas pipelines," *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications.*, vol. 15.4(3), p.82–106, 2021.
13. Bloki H, Fazli M, Sharifzadeh M. "Forecasting the effects of climate change on Sistan and Baluchistan province with emphasis on rainfall and temperature variables," *Second International Conference and Fifth National Conference on Protection of Natural Resources and Environment*, 2021, [Persian]
14. Rydz E, Harper A, Leong B, Arrandale VH, Kalia S, Forsman-Phillips L, et al. "Solar ultraviolet radiation exposure among outdoor workers in Alberta, Canada," *Environ Res.*vol. 189, p. 109902, 2020.
15. Mehmood A, Yao J, Fan D, Bongole K, Liu J, Zhang X. "Potential for heat production by retrofitting abandoned gas wells into geothermal wells," *PLoS One.*, vol. 6.14(8), p. e0220128, 2019.
16. Li X, Huang C, Chen W, Li Y, Han J, Wang X, et al. "GIS model for geothermal advantageous target selection," *Sci Rep.*, vol. 13(1), p.6024, 2023.
17. Takdestan A, Azimi A, Tarabian A. "Investigating the amount of sewage sludge production in Iran and the methods of reducing sludge production in aerobic biological processes for wastewater treatment," *The third national conference on Iran's environmental crises and their improvement solutions*, 1385, [Persian]
18. Dariabigi Zand A, Rabiei Abianeh M. "Potential assessment of biogas production from waste in rural areas (case study: Abyaneh village)," *Man and Environment.*, vol. 19(2), p. 15–24. 2021. [Persian]
19. Irajpour M, Fadai Tehrani M. "Comparison of conventional drying sludge beds and paved stone in sludge dewatering of sewage treatment plants," *The 5th National Conference on Environmental Engineering and Management*, 2023, [Persian]
20. Hosseini Sh, Shahabi P, Bashirnezhad K. "Evaluation of Biogas Production from Municipal Solid Waste Using Continuous Anaerobic Fermentation Reactors: Case of City of Mashhad." *Agricultural Mechanization*, vol 7(1), p. 87–130, 2021.
21. Saghouri M, Abdi R, Ebrahimi Nik M, Rouhani A, Misami M. "Evaluation of biogas production from dry state anaerobic digestion of municipal sewage sludge," *Journal of Agricultural Mechanization*, vol 4(2), 2018. [Persian]
22. Yaakoubi AE, Amhaimar L, Attari K, Harrak MH, Halaoui ME, Asselman A, "Non-linear and intelligent maximum power point tracking strategies for small size wind turbines: Performance analysis and comparison," *Energy Reports*. vol. 5, p. 545–54, 2019.

23. Masłoń A. "An analysis of sewage sludge and biogas production at the Zamość WWTP," *Advances in Resource-saving Technologies and Materials in Civil and Environmental Engineering Book*, Springer International Publishing, 2020.
24. Adeniran A. E, Adetunke A, Omolaraeni O, "An evaluation of biogas production from anaerobic digester of a constructed wetland domestic wastewater treatment plant," *African Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 10(10), p. 329-337, 2016.
25. Abedi S, Ahmadiania A, Eidipour S. "Water-Energy-Environment Nexus Assessment: Phycoremediation, Biofuel Production, and Carbon Capture Using Microalgae" *Journal of Sustainable Energy System*, vol. 2(1), p. 87-99, 2023, [Persian]