Journal of Industrial Innovations 3(3) (2025) 1 – 17

Industrial Innovations

https://jii.araku.ac.ir

ISSN: 3092-7811

Evaluation of Capacity of Constructing Solar Power Plants in Water and Wastewater Plants in MARKAZI Province and its Role in Energy Crisis

Vahideh Farshadpour [a], Mohsen Nasrabadi [a*], Mohammad Amini [b]

[a] Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran.
[b] Manager of Water Control and Energy Systems Office, Markazi Province Water and Wastewater Company, Arak, Iran.

Original Article

Use your device to scan and read the article online

Citation: Farshadpour V, Nasrabadi M, Amini M. Evaluation of Capacity of Constructing Solar Power Plants in Water and Wastewater Plants in MARKAZI Province and its Role in Energy Crisis. Industrial Innovations. 2025;3 (3):1-17.

https://doi.org/10.61882/jii.3.3.1

KEYWORDS

Energy Crisis;
Solar Power Plant;
Carbon Dioxide Emissions;
Thermal Power Plants;
Markazi Province.

ABSTRACT

The necessity of reduction in the emission of polluting gases and to preserve water resources are of the issues that highlight the importance of providing an approach for replacing fossil fuel power plants by renewable power plants. In this study, the capacity of the water and wastewater plants of the MARKAZI Province in constructing solar power plants was examined and analyzed in terms of contributing to the energy crisis of this province. In this regard, first, information on electricity consumption, area, geographical coordinates and characteristics of the area around all construction sites owned by the water and wastewater company was collected; then, by applying some environmental constraints, a total of 62 suitable construction sites with a total nominal power of 80 MW were determined. The power plants corresponding to these construction sites were designed using the PVsyst software, and the total annual production capacity and carbon emission reduction were obtained by this software. Next, three scenarios of the current situation, constructing 50 percent and constructing 100 percent of the existing capacity in the Water and Wastewater Company by the year 2030 were considered. Since the Shazand Thermal Power Plant is the main electricity producer in the province, the results were examined in each scenario from the perspective of environmental indicators such as corresponding fuel consumption and the amount of reduction in carbon dioxide emissions in this power plant. The results indicated the positive effect of implementing the second and third scenarios in reducing the fuel consumption of the Shazand Thermal Power Plant by 31 and 63 percent, respectively, compared to the current situation scenario. In addition, in terms of reduction in carbon emissions, the results indicated the carbon dioxide emissions reduced by 17 and 36 percent, respectively, in the second and third scenarios compared to the current situation.

Extended Abstract

1. Introduction

The world's population is expected to reach 8.5 billion by 2030, and the excessive demand for energy due to population growth and technological advancement will lead to the depletion of fossil fuels by 2300. In other words, energy consumption per person in society, is an important indicator of the energy efficiency of countries. The findings show that per capita energy consumption in the world is increasing rapidly.

* Corresponding author.
E-mail address: m-nasrabadi@araku.ac.ir
DOI: https://doi.org/10.61882/jii.3.3.1
Received: November 15, 2025; Received in revised form: December 6, 2025; Accepted: December 10,2025.
Article type: Research Paper

The present study uses a new approach to examine the potential capacities of water and wastewater facilities in Markazi Province in providing the infrastructure required for the development of solar power plants and analyzes their impact on dealing with environmental and energy crises. This is the first time that water and wastewater facilities in Markazi Province have been systematically evaluated as effective potential for the installation and operation of solar power plants, which allows for the optimal use of existing spaces and resources. For this purpose, by using accurate data on energy consumption and production in water and wastewater facilities and situational analysis, it provides a practical framework for integrating renewable resources with water and wastewater infrastructures that has not been considered at the provincial scale before. This research, while analyzing the challenges of energy needs in Markazi Province, provides a suitable and efficient solution for reducing electricity consumption from the national grid by relying on solar energy. Considering the climatic conditions of the region and the country's supportive policies in the field of renewable energies, this study provides an environmental feasibility study for the implementation of solar power plant projects in water and wastewater facilities, which can also be a model for technology transfer and sustainable development in other provinces. From the perspective of scientific innovation, this research raises the opportunity to localize new clean energy technologies in the field of energy management, with special attention to specific regional needs and constraints, which have been less addressed in previous studies.

2. **Material and Methods**

The studied area includes sites owned by the Markazi Province Water and Wastewater Company in 12 cities: Arak, Khondab, Zarandieh, Tafresh, Farahan, Saveh, Komijan, Khomein, Mahallat, Ashtian, Shazand and Delijan. In the first stage, by examining the data of the Water and Wastewater Company in previous years, the amount of energy required in the coming years was predicted. Since the main load in the electricity network of the Markazi Province is provided by the Shazand Thermal Power Plant, any contribution to reducing the pressure on the production of this power plant will prevent the use of polluting fuels and also reduce the pressure on the consumption of fossil fuels within the province. This is important in this research based on the assumption of constructing solar power plants in the water and wastewater facilities of the province. In this study, all information related to the electricity consumption of the Markazi Province Water and Wastewater Company, the specifications of the construction sites, and the type of electricity branch were obtained from the Energy Office of the Markazi Province Water and Wastewater Company and the Operation Office of the Shazand Thermal Power Plant (2022).

The design of solar power plants is based on a detailed assessment of solar radiation sources, selection of a suitable location, determination of the appropriate technology (photovoltaic or thermal systems), optimization of the dimensions and various components of the system, and finally the design of the structure and installation of equipment. In addition, accurate prediction of energy production in different climatic and seasonal conditions allows for better planning for energy supply and network management. PVsyst software is known as one of the most advanced specialized tools for designing, simulating, and optimizing photovoltaic systems and is approved by SATBA, which allows for detailed examination of various parameters such as the installation angle of the panels, equipment specifications, climatic conditions, and losses.

In order to determine the nominal capacity of the constructed power plants, three scenarios were considered for construction. The coefficient assigned to each scenario (0, 50 and 100 percent) is of the total potential nominal capacity determined. For each year, a part of the scenario construction is considered, so that the construction plan is obtained by the end of 1410 (the year of the plan horizon) in that scenario:

- First scenario: No action is taken regarding the construction of solar power plants until 1410.
- Second scenario: Construction of power plants at the rate of 50 percent of the calculated existing potential, over 6 years until 1410.
- Third scenario: Construction of power plants at the rate of 100 percent of the calculated existing potential, over 6 years until 1410.

3. **Results and Discussions**

In general, it can be concluded that the higher the capacity of the solar power plant, the more carbon dioxide emissions are significantly reduced. In fact, the first scenario shows an upward increase in carbon dioxide emissions. The second scenario tried to overcome the increase in electricity consumption in the water and wastewater company, but it was only able to keep carbon dioxide consumption at a constant level during the years 1405 to 1410. However, the third scenario not only managed to overcome the increase in electricity consumption of the water and wastewater company during the years 1405 to 1410, but also reduced the amount of carbon dioxide emissions over consecutive years. An examination of the trend and the amount of emissions in the second scenario shows that the upward trend in electricity consumption of the water and wastewater company prevails over the downward trend in carbon dioxide emissions in the second scenario. The results showed that the lowest amount of carbon dioxide emissions is related to the third scenario. In this scenario, the construction of solar power plants has been able to overcome the percentage increase in energy consumption of the water and wastewater company and has accounted for a higher percentage of growth.

4. **Conclusions**

The overall results of this study are summarized as follows:

- The results of the study showed that there is more than 80 MW of nominal construction capacity in the Markazi Province Water and Wastewater Company. Among the cities of the province, Delijan city has the highest nominal construction potential and Zarandieh City has the lowest nominal construction potential.
- The results of the PVsyst software showed that the highest average production potential per unit nominal capacity was in one of the construction sites in Mahallat City and the lowest in one of the construction sites in Saveh City.

- Considering the amount of energy produced by solar power plants, the realization of the second scenario during the years of the plan horizon, in 1410, can cover 31 percent and the third scenario can cover 63 percent of the electricity required by the Water and Wastewater Company.
- Results of the study on fuel consumption at the Shazand power plant: In the first scenario, the Water and Wastewater Company consumes electricity to supply its electricity needs in 1410, equivalent to the annual energy needs of 272,000 people. The second scenario can reduce this amount to 171,379 people and the third scenario to 84,670 people. Results of the reduction of carbon dioxide emissions in supplying the electricity needed by the Water and Wastewater Company, with the policy of constructing and investing in solar power plants, showed that the second and third scenarios can reduce carbon dioxide emissions by 17.25 and 36.26 percent, respectively, in 1410. This reduction in greenhouse gas pollution, in addition to having important effects on the health of the population in the Markazi province and the country, can also help reduce the water crisis.

نوآوری‌های صنعتی

شاپا: ۷۸۱۱-۳۰۹۲

ارزیابی ظرفیت احداث نیروگاه‌های خورشیدی در تأسیسات آب و فاضلاب استان مرکزی و نقش آن در بحران انرژی

وحیده فرشادپور[الف]، محسن نصرآبادی[ب*]، محمد امینی[ج]

[الف] گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیطزیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران. vahidehf62@gmail.com

[ب*] گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیطزیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران. m-nasrabadi@araku.ac.ir

[ج] مدیر دفتر سیستم‌های کنترل و انرژی آب، شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، اراک، ایران. amin66428313@gmail.com

واژگان کلیدی

بحران انرژی؛ نیروگاه خورشیدی؛ انتشار دی‌اکسیدکربن؛ نیروگاه‌های حرارتی؛ استان مرکزی.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۹

چکیده

لزوم کاهش میزان انتشار گازهای آلاینده محیطزیست و حفظ منابع آبی مسائلی هستند که اهمیت ارائه راهکار در خصوص جایگزینی نیروگاه‌های سوخت فسیلی با نیروگاه‌های تجدیدپذیر را پراهمیت جلوه می‌دهند. در این پژوهش، ظرفیت تاسیسات آب و فاضلاب استان مرکزی در احداث نیروگاه‌های خورشیدی بررسی و از حیث کمک به بحران انرژی این استان تحلیل گردید. در این راستا، ابتدا اطلاعات مصرف برق، مساحت، مختصات جغرافیایی و مشخصات محوطه اطراف کلیه ساختگاه‌های در اختیار شرکت آب و فاضلاب استان جمع‌آوری و سپس با استفاده از اعمال برخی قیود محیطی، درمجموع ۶۲ ساختگاه مناسب با مجموع توان اسمی ۸۰ مگاوات تعیین گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار PVsyst نیروگاه‌های متناظر با این ساختگاه‌ها طراحی‌شده و میزان توان تولیدی کل سالانه و پارامتر کاهش انتشار کربن از این نرم‌افزار به‌دست آمد. در ادامه، به‌ترتیب سه سناریوی وضع موجود، سناریوی احداث ۵۰ درصد و سناریوی احداث ۱۰۰ درصد از ظرفیت موجود در شرکت آب و فاضلاب تا افق سال ۱۴۱۰ در نظر گرفته شد. ازآنجایی‌که نیروگاه حرارتی شازند تولیدکننده اصلی برق استان به‌شمار می‌رود، بنابراین، نتایج از منظر شاخص‌های محیطزیستی نظیر مصرف سوخت متناظر و میزان کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در نیروگاه مذکور، در هر سناریو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت اجرای سناریوی دوم و سوم در کاهش سوخت مصرفی نیروگاه حرارتی شازند، به‌ترتیب به میزان ۳۱ و ۶۳ درصد نسبت به سناریوی وضع موجود است. افزون بر این، از منظر کاهش انتشار کربن، نتایج حاکی از کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن به‌میزان ۱۷ و ۳۶ درصد به‌ترتیب در سناریوهای دوم و سوم در مقایسه با وضع موجود را نشان داد.

۱- مقدمه

جمعیت قابل پیش‌بینی جهان تا سال ۲۰۳۰، حدود ۸/۵ میلیارد نفر می‌باشد و تقاضای بیش‌ازحد انرژی به‌دلیل رشد جمعیت و پیشرفت روزافزون فن‌آوری، منجر به اتمام سوخت‌های فسیلی تا سال ۲۳۰۰ میلادی می‌شود. سرانه مصرف انرژی، به عبارتی مصرف انرژی به ازای هر فرد جامعه، از شاخص‌های مهم ارزیابی بهره‌وری انرژی کشورها محسوب می‌شود. یافته‌ها نشان می‌دهند سرانه مصرف انرژی در جهان با سرعت در حال افزایش است [۱]. طبق سند ملی راهبردی در بخش انرژی کشور، اولین چالش

* نویسنده مسئول؛

آدرس پست الکترونیک: m-nasrabadi@araku.ac.ir

در حوزه انرژی، بالابودن شدت انرژی و پایین‌بودن بهره‌وری انرژی در ایران در مقایسه با کشورهای هم‌تراز می‌باشد که مقرر است تا افق ۱۴۲۰ بهره‌وری انرژی در کشور افزایش و شدت انرژی کاهش یابد. عوامل یادشده نشان‌دهنده مصرف بالای انرژی به‌خصوص انرژی‌های فسیلی در کشور است [۲]. همچنین از عواقب استفاده بیش‌ازحد سوخت‌های فسیلی علاوه بر پایان‌پذیر بودن، اثرات محیط‌زیستی از جمله انتشار گازهای گلخانه‌ای است. ۸۹ درصد دی‌اکسیدکربن جهان وابسته به تولید انرژی از سوخت‌های فسیلی است که موجب آلودگی اکوسیستم و مرگ سالانه ۴ تا ۷ میلیون انسان (بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۱۴) در سراسر جهان و بیماری هزاران نفر شده است [۱]. بنابراین، تمام کشورهای جهان به‌دنبال کاهش مصرف انرژی و جایگزینی آن با منابع جدید تأمین انرژی هستند و انرژی‌های تجدیدپذیر راهکار ساده و وسوسه‌برانگیزی است [۳].

پیش‌بینی می‌شود با افزایش میزان تولید برق تا سال ۲۰۵۰ سهم تولید برق از منابع تجدیدپذیر در جهان به ۴۳ درصد می‌رسد [۴]. بااین‌وجود سهم تجدیدپذیر در کشور ایران کمتر از ۰/۵ درصد است، به‌طوری‌که متوسط جهانی حدود ۱۲/۸ درصد می‌باشد و با سهم ۳۶ درصدی بیشترین سهم را در منطقه خاورمیانه در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد [۵]. در ایران درحال‌حاضر توان اسمی برق، برابر با ۹۱ هزار مگاوات است که حدود ۸۰ درصد آن در نیروگاه‌های حرارتی تأمین می‌شود که سوخت آنها گاز طبیعی، نفت گاز، مازوت و غیره است. مطابق برآورد وزارت نیرو در سال ۱۴۰۲، کشور دارای پتانسیل ۱۲۴ هزار مگاوات برق از منابع تجدیدپذیر است که ۷۱ هزار مگاوات آن خورشیدی و ۴۹ هزار مگاوات آن مربوط به انرژی بادی است [۶].

استان مرکزی نیز دومین قطب صنایع مادر در کشور است. در این استان به‌دلیل وجود و گسترش صنایع متعدد مساله پایدارسازی برق موردنیاز از اهمیت بالایی برخوردار است. حدود ۳۰۰۰ واحد صنعتی در استان وجود دارد. این استان از ناترازترین استان‌های کشور است و حدود ۶۰۰ مگاوات ناترازی انرژی دارد. برق مصرفی استان حدود ۲۱۰۰ مگاوات در سال است و نیروگاه حرارتی شازند حدود ۱۳۰۰ مگاوات آن را تولید می‌کند و مابقی انرژی برق از سایر استان‌ها تأمین می‌شود که حدود ۸۵ درصد آن در بخش صنعت و کشاورزی استفاده می‌شود. این استان از استان‌های خوب و پر پتانسیل برای استفاده از انرژی خورشیدی می‌باشد که دارای پتانسیل ۲۸۷۰ مگاوات تولید انرژی خورشیدی است.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه مصارف انرژی در شرکت‌های آب و فاضلاب انجام شده است. مطابق گزارش مرکز مدیریت مصرف انرژی سازمان آب و فاضلاب کشور، مصرف برق در صنعت آب و فاضلاب کشور در سال ۹۴ در کل کشور ۷/۵ تراوات ساعت بوده است که این میزان حدود ۳/۳ درصد از مصرف برق در کشور می‌باشد [۷]. مهم‌ترین بخش برق مصرفی در صنایع آب و فاضلاب مربوط به استحصال آب از منابع زیرزمینی (اغلب چاه‌ها) و نیز انتقال آب از مخازن پایین‌دست، به مخازن بالادست می‌باشد. استحصال آب از چاه‌ها و ذخیره آن در مخازن، همچنین انتقال از مخازن پایین‌دست به مخازن بالادست فرآیندی است که از کوچک‌ترین شهرها تا کلانشهرها را شامل می‌شود و در همین راستا مصرف برق سیستم‌های پمپاژ چه پمپ‌های شناور چاه‌ها و چه پمپ‌های سانتریفوژ بخش قابل‌توجهی از مصرف انرژی صنعت آب و فاضلاب را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب نیز بخش مهمی از انرژی مصرفی صنعت آب و فاضلاب را به خود اختصاص می‌دهند [۸]. Guo و همکاران [۹] عنوان نمودند در فرآیندهای ثانویه تصفیه فاضلاب، مصرف برق پمپ فاضلاب حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد از کل مصرف را شامل می‌شود، تصفیه بیولوژیکی حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد، فرآوری لجن و دورریختن آن ۱۰ تا ۲۵ درصد و ترکیب این سه فرآیند بیش از ۷۰ درصد مصرف انرژی را در بر می‌گیرد.

از بررسی مطالعات عنوان‌شده در زمینه استفاده نیروگاه‌های خورشیدی در شرکت آب و فاضلاب به‌منظور تأمین بخشی از برق مورد نیاز تاسیسات، می‌توان به این نتیجه دست یافت که رویکرد مثبت و موثری در این خصوص وجود داشته به‌نحوی‌که می‌تواند جایگزینی برای تولید برق از نیروگاه‌های مختلف از جمله نیروگاه‌های حرارتی باشد. در ادامه مطالعات در خصوص دلایل عدم استفاده و یا کاهش استفاده از نیروگاه‌های حرارتی آورده شده است. مِسفین و همکاران [۱۰] به بررسی انرژی موردنیاز برای تولید پنل‌های خورشیدی با تکنولوژی‌های مختلف پرداختند. براساس نتایج این مطالعه، تولید، انتقال از کارخانه به محل موردنظر، نصب و راه‌اندازی پنل خورشیدی، نگهداری و دفع زباله‌های آن دارای میزان کم انتشار دی‌اکسیدکربن نسبت به دیگر سوخت‌های مصرفی است. بررسی‌ها نشان‌دهنده ۱۳ تا ۱۳۰ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن به ازای هر مگاوات ساعت در کلیه مراحل ساخت پنل

خورشیدی است. اسدرابولی و همکاران [۱۱] به این نتیجه رسیدند که مقادیر خروجی دی‌اکسیدکربن، دی‌اکسید گوگرد، میزان انرژی مصرفی و غیره در بین ۵ نوع نیروگاه تجدیدپذیر، نیروگاه خورشیدی دارای دامنه اطلاعات گسترده‌تری است و بیشترین دامنه داده مربوط به دی‌اکسیدگوگرد خروجی بین ۱۰۰۰-۵۰۰۰ گرم بر کیلووات‌ساعت، و دی‌اکسیدکربن بین ۱۰۰-۲۰ گرم بر کیلووات‌ساعت از نیروگاه خورشیدی می‌باشد. طبق نظر نبوی و همکاران [۱۲]، باوجوداینکه برق تولیدی از سامانه‌های خورشیدی در مرحله بهره‌برداری بدون انتشار کربن هستند، اما پنل‌های خورشیدی در مرحله استخراج مواد موردنیاز، پردازش و مونتاژ، اثرات محیط‌زیستی ایجاد می‌کنند. درنتیجه این اثرات به‌طور دقیق باید اندازه‌گیری شوند تا از پارامترهای محیط‌زیستی فن‌آوری‌های مختلف، درک بهتری حاصل‌شده و امکان مقایسه صحیح با سایر منابع انرژی فراهم شود. طالبیان و همکاران [۱۳]، به ارزیابی چرخه حیات تولید پنل‌های پلی‌کریستالی در ایران پرداختند. در تحقیق آنها بر اساس نتایج خروجی از نرم‌افزار SimaPro مصرف انرژی اولیه، پتانسیل گرمایش جهانی، پتانسیل اسیدی شدن و پتانسیل اوتریفیکاسیون برای تولید پنل و همچنین سلول‌ها ارزیابی شد و سهم هریک از اجزای پنل در تمام دسته‌بندی‌های تأثیر ارائه گردید. تقاضای انرژی اولیه ۱۵/۴ مگاژول بروات ساعت محاسبه‌شده و GWP (پتانسیل گرمایش جهانی)، AP (پتانسیل اسیدی‌شدن) و EP (پتانسیل اوتریفیکاسیون) به‌ترتیب ۱/۴۳ کیلوگرم CO_2-equiv./WP، ۰/۰۰۶ کیلوگرم SO_2-equiv/WP و ۰/۰۰۱۳کیلوگرم PO_3equiv/WP محاسبه گردید. همچنین مدلسازی عامل حمل‌ونقل اجزای پنل به کشور سازنده پنل نشان داد سهم آن در مصرف انرژی اولیه چرخه عمر و آلودگی محیط‌زیست ناچیز است. ارجمند و تشکر [۱۴] به شبیه‌سازی یک نیروگاه خورشیدی بر روی یک حوضچه تصفیه فاضلاب در شهر شیراز پرداختند. نتایج نشان داد اثر سرمایشی آب می‌تواند سبب افزایش راندمان نیروگاه تا ۱۵ درصد شده و همچنین از تبخیر سطحی آب تا ۹۰ درصد جلوگیری نماید. ساتنیک و همکاران [۱۵] به بررسی مزایای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در شرکت‌های تأمین آب در کشور اوکراین پرداختند. نتایج بررسی یک نیروگاه خورشیدی ۱۲۰ کیلوواتی نشان داد علاوه بر سودآور بودن مزایای مالی احداث نیروگاه خورشیدی، پروژه مذکور با تضمین فرآیندهای انتقال آب قابل‌اعتماد و مزایای زیست‌محیطی مانند کاهش انتشار CO_2 از طریق جایگزینی منابع انرژی سنتی با انرژی خورشیدی، همراه است. آن‌ها عنوان نمودند افزایش گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر در شرکت‌های تأمین آب نه‌تنها امکان‌پذیر است، بلکه برای پایداری بلندمدت نیز ضروری است و ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند عملیات انتقال آب را مقاوم‌تر، کارآمدتر و سازگارتر با محیط‌زیست سازد.

پژوهش حاضر با رویکردی نوین به بررسی ظرفیت‌های بالقوه تأسیسات آب و فاضلاب استان مرکزی در تأمین زیرساخت‌های موردنیاز برای توسعه نیروگاه‌های خورشیدی می‌پردازد و تأثیر آنها در مقابله با بحران‌های محیط‌زیستی و انرژی را تحلیل می‌نماید. نخستین بار است که تأسیسات آب و فاضلاب استان مرکزی به‌عنوان پتانسیل مؤثر برای نصب و بهره‌برداری از نیروگاه‌های خورشیدی به‌صورت نظام‌مند ارزیابی می‌شوند، که این موضوع امکان استفاده بهینه از فضاهای موجود و منابع را فراهم می‌آورد. برای این منظور، با به‌کارگیری داده‌های دقیق مصرف و تولید انرژی در تاسیسات آب و فاضلاب و تحلیل موقعیتی، چارچوبی عملی برای ادغام منابع تجدیدپذیر با زیرساخت‌های آب و فاضلاب ارائه می‌کند که تا پیش‌ازاین در مقیاس استانی موردتوجه قرار نگرفته بود. این تحقیق ضمن تحلیل چالش‌های نیازهای انرژی در استان مرکزی، راهکاری مناسب و کارآمدی برای کاهش مصرف برق از شبکه سراسری با اتکا بر انرژی خورشیدی را ارائه می‌دهد. این مطالعه، با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و سیاست‌های حمایتی کشور در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، امکان‌سنجی محیط‌زیستی را برای اجرای طرح‌های نیروگاه خورشیدی در تأسیسات آب و فاضلاب فراهم نموده که می‌تواند الگوی انتقال فناوری و توسعه پایدار در سایر استان‌ها نیز باشد. از منظر نوآوری علمی، این پژوهش فرصت بومی‌سازی فناوری‌های نوین انرژی پاک در حوزه مدیریت انرژی را با توجه ویژه به نیازها و محدودیت‌های خاص منطقه‌ای مطرح می‌سازد که در مطالعات پیشین کمتر به آن پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

براساس پتانسیل‌سنجی‌ها و مطالعات انجام‌شده در سطح کشور، استان مرکزی پتانسیل بالایی از نظر استفاده از سیستم‌های

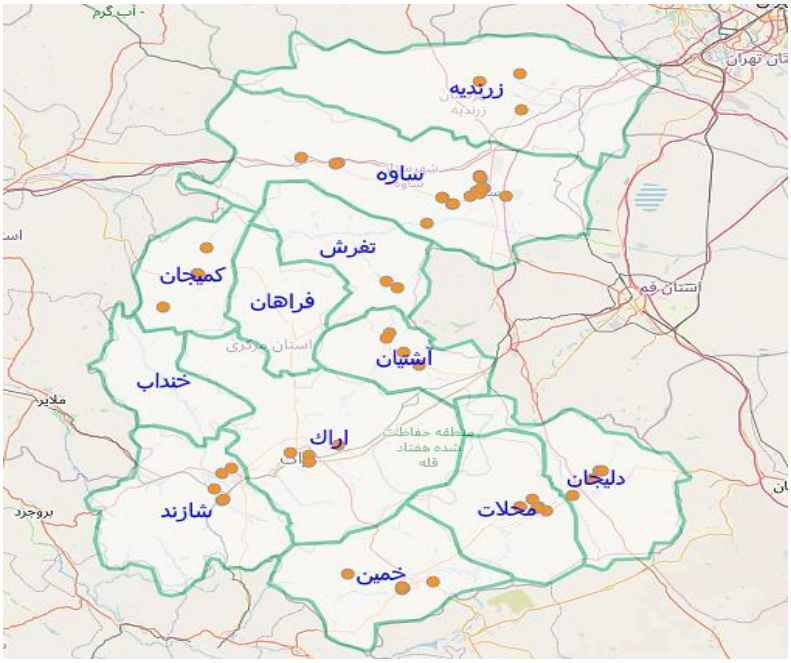
مختلف خورشیدی دارد و پتانسیل این استان در خصوص مجموع انرژی‌های تجدیدپذیر در رتبه چهاردهم و در مقایسه با پتانسیل احداث نیروگاه‌های خورشیدی در رتبه نهم قرار دارد. ازآنجایی‌که این نوع نیروگاه‌ها نیاز به مساحت قابل‌توجه دارند و شرکت آب و فاضلاب از مکان‌های مناسب و وسیعی در بسیاری از تاسیسات خود برخوردار است؛ بنابراین، محدوده موردنظر این مطالعه شامل سایت‌های در اختیار شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی در ۱۲ شهرستان اراک، خنداب، زرندیه، تفرش، فراهان، ساوه، کمیجان، خمین، محلات، آشتیان، شازند و دلیجان می‌باشد.

۲-۲- داده‌ها و اطلاعات مورداستفاده

در مرحله نخست، با بررسی داده‌های سال‌های پیشین شرکت آب و فاضلاب، میزان انرژی موردنیاز در سال‌های آتی پیش‌بینی شد. ازآنجایی‌که تأمین بار اصلی در شبکه برق استان مرکزی، بر عهده نیروگاه حرارتی شازند می‌باشد، هرگونه کمک به کاهش فشار بر تولید این نیروگاه، مانع استفاده از سوخت‌های آلاینده و همچنین کاهش فشار بر مصرف سوخت‌های فسیلی در محدوده استان می‌شود. این مهم در این تحقیق بر اساس فرض احداث نیروگاه‌های خورشیدی در تاسیسات آب و فاضلاب استان می‌باشد. در این مطالعه کلیه اطلاعات مربوط به مصرف برق شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، مشخصات ساختگاه‌ها، نوع انشعاب برق از دفتر انرژی شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی و دفتر بهره‌برداری نیروگاه حرارتی شازند (سال ۱۴۰۳) اخذ گردید.

شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی دارای تاسیسات مختلفی در فرآیندهای آبرسانی به شهرها و روستاهای استان است. هر یک از این تاسیسات محوطه‌هایی را در اختیار دارند و برای تأمین برق فرایندهای خود دارای انشعاب برق با مشخصات ویژه هستند. همان‌طور که عنوان شد نوعی از احداث نیروگاه در شرکت‌های آب و فاضلاب، احداث در محوطه تاسیسات است؛ به‌نحوی‌که تولید برق به‌صورت مستقیم فقط برای مصرف فرآیند موجود در محوطه موردنظر صرف نمی‌شود، بلکه با توجه به مشخصات انشعاب و مساحت پنل خورشیدی نصب و نیروگاه احداث و به شبکه برق متصل می‌شود (احداث با ارتباط غیرمستقیم). کلیه نیروگاه‌های موردمطالعه در این پژوهش از نوع ارتباط غیرمستقیم بوده و فارغ از نوع عملیات اجرایی تاسیسات ایجاد می‌گردند. در ابتدای مراحل این پژوهش، کلیه سایت‌های در اختیار شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی مورد بررسی قرار گرفت و ساختگاه‌هایی که از نظر مساحت بیشتر از ۲۰۰ مترمربع بودند و از نظر محدودیت در استفاده از آنها طی ۲۰ سال آینده مشکلی وجود نداشت، انتخاب و مساحت‌ها و مختصات مکانی (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع) آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS مشخص شد. سپس محدوده‌های انتخابی از نظر دسترسی به جاده (از لحاظ امنیت و نگهداری آسان‌تر)، نوع انشعاب برق ساختگاه موردنظر(تک‌فاز و سه‌فاز)، عدم وجود ساختمان نزدیک و موانع خاص برای جلوگیری از سایه‌اندازی بر روی پنل‌ها، مورد بررسی دقیق‌تر قرار گرفت و از این میان، حدود ۶۲ ساختگاه انتخاب و تعیین شد که موقعیت این ساختگاه‌ها در شکل ۱ آمده است.

ازآنجایی‌که تاسیسات شرکت به‌طورعمده در دشت‌ها قرار دارند، سایه‌اندازی از اطراف آنها بسیار کم است. بنابراین، با توجه به مساحت در دسترس در هر ساختگاه و در نظر گرفتن اینکه برای یک کیلوات ظرفیت نامی پنل خورشیدی ۸ مترمربع فضای اشغال (با در نظر گرفتن جلوگیری از سایه‌اندازی مستقیم بر پنل‌های پشتی) نیاز است، ظرفیت نامی تقریبی برای احداث نیروگاه در هر ساختگاه تعیین گردید. سپس اطلاعات به‌منظور طراحی به نرم‌افزار PVsyst انتقال داده شد.



شکل ۱ نمایش مختصات مکانی ساختگاه‌های مناسب احداث در شرکت آب و فاضلاب

طراحی نیروگاه‌های خورشیدی، پس از ارزیابی دقیق منابع تابش خورشیدی، انتخاب محل مناسب، تعیین فناوری مناسب (سیستم‌های فتوولتائیک)، بهینه‌سازی ابعاد و اجزای مختلف سیستم و در نهایت طراحی ساختار و نصب تجهیزات می‌باشد. به‌علاوه، پیش‌بینی صحیح تولید انرژی در شرایط مختلف اقلیمی و فصلی، امکان برنامه‌ریزی بهتر برای تأمین انرژی و مدیریت شبکه را فراهم می‌سازد. نرم‌افزار PVsyst به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین ابزارهای تخصصی طراحی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک و مورد تأیید ساتبا شناخته‌شده است که امکان بررسی دقیق پارامترهای مختلف مانند زاویه نصب پنل‌ها، مشخصات تجهیزات، شرایط اقلیمی و تلفات را فراهم می‌آورد. همچنین از ویژگی‌هایی این نرم‌افزار دقت بالای تخمین تولید انرژی است. این نرم‌افزار شامل چند پایگاه داده بزرگ آب و هوایی مانند Metronorm, Nasa و غیره است که داده‌های ۵۰ ساله را در خود جای داده‌اند و حتی به کاربران اجازه می‌دهد تا داده‌های هواشناسی را از منابع دیگر وارد کرده و با استفاده از آنها میزان تابش دقیق را بر پنل‌های خورشیدی تعیین نماید.

در این تحقیق، نوع پنل‌ها از نوع یک‌طرفه و (ظرفیت بین ۶۰۰-۶۵۰ کیلووات) با استفاده از برندهای معتبر در بانک اطلاعاتی نرم‌افزار در نظر گرفته شد. زاویه پنل‌ها با سطح افق در هر ساختگاه بر اساس زاویه عرض جغرافیایی ساختگاه تنظیم شد (زاویه بهینه). پس از تعیین نوع پنل‌ها و میزان ظرفیت نامی موردنظر به‌دست‌آمده از مساحت موجود (به‌نحوی‌که برای هر یک کیلوات پنل فضایی حدود ۸ مترمربع در نظر گرفته شد) مختصات کلیه ساختگاه‌ها به نرم‌افزار وارد شده و سپس با استفاده از بانک اطلاعاتی نرم‌افزار که Metronorm 8 انتخاب شد، تابش سالانه مشخص گردید. در قسمت طراحی فنی نیز اطلاعات اینورتر و پنل‌ها از بانک نرم‌افزار انتخاب و درپایان شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار انجام و میزان انرژی تولیدی سالانه محاسبه گردید. همچنین از قسمت نتایج اقتصادی نرم‌افزار مقادیر کاهش کربن تولید به‌دست آمد. همچنین به‌منظور پیش‌بینی برخی اطلاعات پایه موردنیاز در سال‌های آینده از مدل رگرسیون خطی در افزونه Data Analysis در نرم‌افزار اکسل برای سال‌های آینده استفاده شد. رگرسیون خطی به‌عنوان روشی ساده و قابل‌فهم برای پیش‌بینی روندهای آتی انتخاب گردید. در این مدل، یک پارامتر (برای مثال، در این تحقیق میزان مصرف برق شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی) به‌عنوان متغیر وابسته و زمان (سال یا ماه) به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شود. سپس با استفاده از فرض خطی‌بودن داده‌های مربوط به دوره‌های زمانی قبل، برای دوره‌های زمانی آتی میزان متغیر وابسته تعیین می‌گردد.

۲-۳- روش انجام مطالعات

به‌طورکلی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در تاسیسات آب و فاضلاب استان مرکزی از چند منظر مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت که بیشتر شامل بررسی‌های کمّی بود. بدون‌تردید ایجاد و زمینه‌سازی احداث نیروگاه خورشیدی در تاسیسات شرکت آب و فاضلاب به‌یک‌باره صورت نخواهد گرفت و به‌منظور واقع‌نگری باید طی چند سال متوالی احداث گردند. به‌منظور تعیین ظرفیت اسمی نیروگاه‌های احداث‌شده، سه سناریو برای احداث در نظر گرفته شد. ضریب اختصاص‌یافته به هر سناریو (۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) از کل پتانسیل ظرفیت اسمی تعیین‌شده می‌باشد. برای هرسال بخشی از احداث سناریو در نظر گرفته می‌شود، تا برنامه احداث تا پایان سال ۱۴۱۰ (سال افق طرح) در آن سناریو به‌دست آید:

- سناریوی اول: هیچ اقدامی در خصوص احداث نیروگاه خورشیدی تا سال ۱۴۱۰ صورت نگیرد.
- سناریوی دوم: احداث نیروگاه‌ها به میزان ۵۰ درصد پتانسیل موجود محاسبه‌شده، طی ۶ سال تا سال ۱۴۱۰.
- سناریوی سوم: احداث نیروگاه‌ها به میزان ۱۰۰ درصد پتانسیل موجود محاسبه‌شده، طی ۶ سال تا سال ۱۴۱۰.

گفتنی است در ارائه این سناریوها شرایط به‌نحوی‌که در نظر گرفته شده است که سال ۱۴۰۴ در هر سه سناریو شرایط مشابهی داشته و بهره‌برداری صورت نگیرد. در این مطالعه، در بررسی مساله بحران انرژی در استان مرز مشخصی تعیین نگردیده و طراحی‌ها و محاسبات فارغ از مرزبندی شهرستان‌های استان انجام شده است. بنابراین، در تعیین محدوده‌های هر سناریو و درصدبندی احداث نیروگاه‌ها، نیز اولویتی در انتخاب شهرستان‌های استان لحاظ نگردیده و از ابتدا فهرست ساختگاه‌های موجود به‌ترتیب درصدهای ۰ ، ۵۰ و ۱۰۰ تعیین شد. نکته قابل‌ذکر این است که میزان تولید کل نیروگاه‌های خورشیدی را در هرسال از رابطه (۱) می‌توان به‌دست آورد. بدین معنا که نیروگاه‌های احداث‌شده در سال‌های گذشته در سال بعد نیز تولید انرژی دارد:

$$PY_{total} = PY_{New} + PY_{Past} \quad (1)$$

در این رابطه، PY_{total} کل تولید سالانه نیروگاه‌های خورشیدی در سال موردنظر، PY_{new} تولید سالانه نیروگاه بهره‌برداری شده در سال موردنظر و PY_{past} تولید سالانه نیروگاه‌های احداث‌شده در سال‌های گذشته از ابتدای طرح است. گفتنی است میزان انرژی تولیدی خورشیدی در هر سناریو، میزان کاهش انرژی موردنیاز شرکت آب و فاضلاب از انرژی‌های فسیلی را در تا سال افق طرح نشان می‌دهد.

در این تحقیق اثر احداث نیرگاه‌های خورشیدی در تاسیسات آب و فاضلاب استان مرکزی در هر سناریو در دو رویکرد بررسی شدند:

الف) تأثیر احداث نیروگاه‌های خورشیدی مطالعه‌شده بر کاهش بحران انرژی

در این رویکرد میزان کاهش سوخت در نیروگاه حرارتی شازند محاسبه خواهد شد. برای محاسبه میزان کاهش سوخت مصرفی در هرسال از اطلاعات اخذشده از نیروگاه حرارتی شازند استفاده می‌شود. طبق آمار سال ۱۴۰۳، حدود ۷۴۱ گیگاوات (میلیون کیلووات ساعت) برق به شبکه اصلی تزریق شده است که بدین منظور میزان ۱۵۲۹ میلیون مترمکعب گاز طبیعی و ۴۴۳ هزار مترمکعب مازوت استفاده شده است. نکته قابل‌ذکر در نظر گرفتن میزان مصرف سوخت تنها در مرحله بهره‌برداری از نیروگاه حرارتی می‌باشد. درنتیجه برای به‌دست آوردن میزان سوخت مصرفی واحد و معادل‌سازی آن برای پیش‌بینی کاهش مصرف سوخت، تبدیل سوخت‌ها به بشکه معادل نفت خام انجام شد.

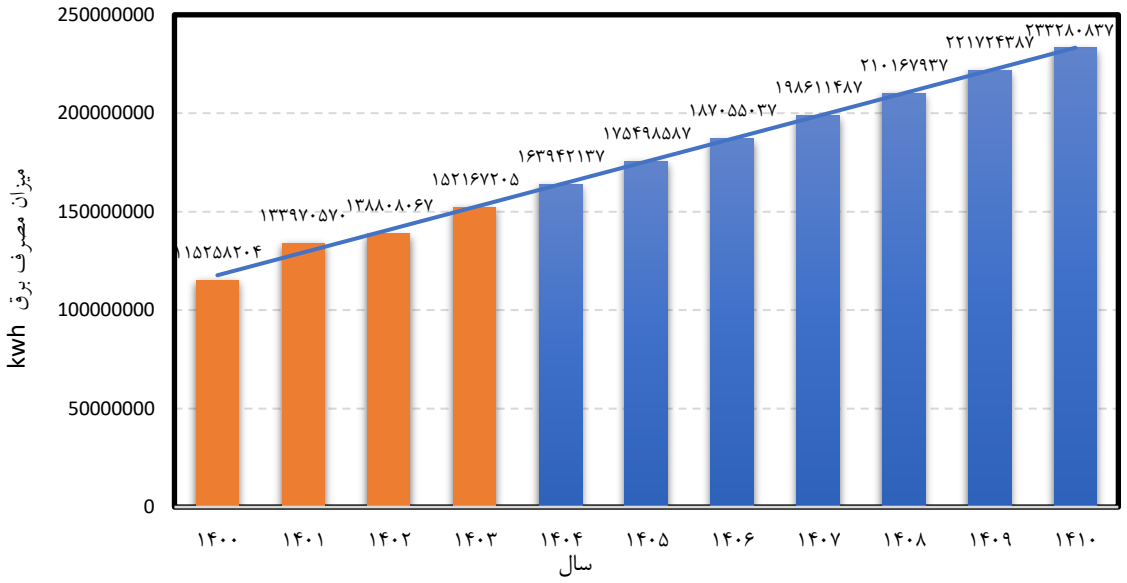
ب) تأثیر احداث نیروگاه‌های خورشیدی بر کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن

همان‌طور که در مقدمه بیان شد، کاهش مصرف سوخت و انرژی منجر به کاهش بحران انرژی و کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی نظیر دی‌اکسیدکربن می‌گردد. بدین منظور از نتایج نرم‌افزار PVsyst استفاده گردید. یکی از قسمت‌های طراحی نیروگاه خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار PVsyst گزارشات محیط‌زیستی مرتبط با محاسبه کربن تولیدی می‌باشد. ازآنجایی‌که

محاسبه کاهش کربن تولیدی در این قسمت، با در نظر گفتن کلیه مراحل ساخت، نصب و بهره‌برداری نیروگاه خورشیدی می‌باشد که در بانک اطلاعاتی نرم‌افزار موجود است. در هر سناریو با توجه به نیروگاه‌های موردنظر و احداث شده، میزان تولید انرژی سالانه و کاهش کربن تولیدی محاسبه و مقایسه می‌گردد. درنهایت، با در نظر گرفتن نتایج رویکردهای ذکرشده میزان اثرات محیط‌زیستی سناریوهای حاضر با یکدیگر قابل‌مقایسه می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

در شرکت آب و فاضلاب استان تاسیساتی چون ایستگاه‌های پمپاژ، چاه‌های تأمین آب شهری و روستایی، مخازن ذخیره آب، ایستگاه‌های تأمین فشار شبکه، تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب در سطح استان و ساختمان‌های اداری مختلف در ستاد و امورات تابعه مصرف‌کننده انرژی برق می‌باشند. به‌دلیل ادغام شرکت‌های آب و فاضلاب روستایی و شهری در سال ۱۳۹۹ و ایجاد تغییرات اساسی در روند میزان مصرف انرژی شرکت که به‌دلیل حذف یا افزایش تعدادی سیستم‌های آبرسانی و همچنین عملیات مشترک در شرکت‌های شهری و روستایی اتفاق افتاده است، سال شروع بررسی روند مصرف انرژی از ابتدای سال ۱۴۰۰ در نظر گرفته شد. بر اساس اطلاعات اخذشده از شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی و با استفاده از افزونه Data Analysis در نرم‌افزار اکسل، از روش رگرسیون خطی به‌منظور پیش‌بینی مصارف تا سال ۱۴۱۰ استفاده شد. شکل ۲ نشان‌دهنده روند مصرف برق در شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی طی دوره ۱۰ ساله است که شامل دو بخش مصرف واقعی (ستون‌های قرمز رنگ) و پیش‌بینی مصرف (ستون‌های آبی رنگ) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روند مصرف برق طی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۳ خطی است و پیش‌بینی تا پایان سال افق طرح نیز به همین منوال ادامه می‌یابد که این نتیجه با نتایج مطالعه حمله‌دار و همکاران [۱۶] در خصوص پیش‌بینی برق مصرفی شرکت آب و فاضلاب تهران هم‌خوانی دارد. پیش‌بینی‌ها روند صعودی مصرف را تأیید می‌کند و نزدیک به روند واقعی حرکت می‌کند که بیانگر اعتبار مدل پیش‌بینی است. روند افزایشی برق مصرفی نیاز به یک منبع انرژی کمکی یا جایگزین مانند انرژی خورشیدی را به‌وضوح نشان می‌دهد. اگرچه رشد جمعیتی و توسعه فعالیت‌های شرکت آب و فاضلاب از دلایل مصرف این انرژی می‌باشد.



شکل ۲ نمودار مصرف فعلی و پیش‌بینی مصرف برق در شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی طی دوره ۱۰ ساله

طبق اطلاعات دریافتی از شرکت تولید برق حرارتی شازند در سال ۱۴۰۳ حدود ۷۵۴۱ گیگاوات (میلیون کیلووات ساعت) برق به شبکه اصلی تزریق شده است که بدین منظور میزان ۱۵۲۹ میلیون مترمکعب گاز طبیعی و ۴۴۳ هزار مترمکعب مازوت استفاده شده است. نکته قابل‌ذکر در نظر گرفتن میزان مصرف سوخت تنها در مرحله بهره‌برداری از نیروگاه حرارتی می‌باشد. با توجه به اینکه نیروگاه حرارتی شازند از دو سوخت گاز طبیعی و مازوت استفاده می‌کند، بنابراین، برای به‌دست آوردن میزان

بشکه نفت خام مصرفی معادل با هر نوع سوخت، با توجه به جدول تبدیل ضرایب از نظام‌نامه انرژی سال ۱۳۹۶ عمل‌شده که نتایج نهایی در جدول ۲ ارائه شده است. در نتیجه، با تقسیم حجم معادل بشکه نفت خام بر میزان برق تولیدی در سال ۱۴۰۳ در نیروگاه شازند، ضریب نفت خام معادل با تولید واحد انرژی الکتریکی در نیروگاه شازند، به‌دست می‌آید. همچنین طبق گزارش امامی و همکاران [۱۷] نیروگاه شازند در سال ۱۳۹۶ به‌دلیل تولید ۶۹۷۳ هزار مگاوات برق حرارتی معادل با ۷/۳ میلیون تن دی‌اکسیدکربن به محیط‌زیست منتشر نموده است. که با تقسیم اعداد به ۱/۰۴۷ تن بر مگاوات ساعت در این نیروگاه به‌دست می‌آید (جدول ۲).

جدول ۱ ضرایب تبدیل به مصرف معادل بشکه نفت خام

ضرایب تبدیل و مقادیر مصرفی	حجم مصرفی (مترمکعب)	نفت خام معادل (بشکه)
ضرایب تبدیل مربوط به مازوت	۱	۷/۰۶
مقدار مصرفی مازوت در نیروگاه شازند و معادل آن	۴۴۳،۰۰۰	۳،۱۲۷،۸۵۰
ضرایب تبدیل مربوط به گاز طبیعی	۱	۰/۰۰۶۳
مقدار مصرفی گاز طبیعی در نیروگاه شازند و معادل آن	۱،۵۲۹،۰۰۰،۰۰۰	۹،۶۳۲،۷۰۰
مجموع بشکه نفت خام معادل در نیروگاه شازند		۱۲،۷۶۰،۲۸۰

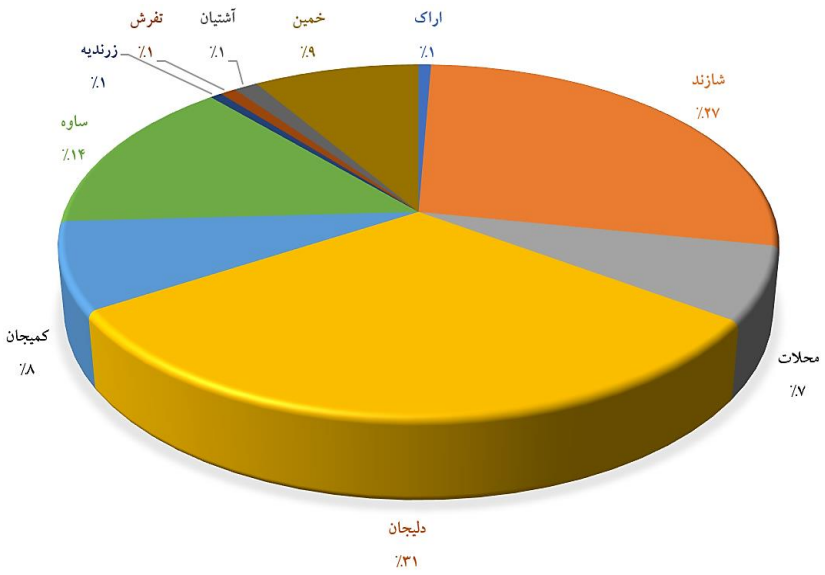
جدول ۲ ضرایب تبدیل برق تولیدی به معادل بشکه و دی‌اکسید کربن

میزان تولید برق در سال ۱۴۰۳ (مگاوات ساعت)	میزان بشکه نفت خام معادل مصرفی (مترمکعب)	ضریب تبدیل (بشکه به ازای مگاوات ساعت)
۷۵۴۱۰۰۰	۱۲،۷۶۰،۲۸۰	۱/۱۶۹
میزان برق تولیدی در سال ۱۳۹۶ (مگاوات ساعت)	میزان نشر دی‌اکسیدکربن در سال ۱۳۹۶ (تن)	ضریب تبدیل (تن به ازای مگاوات ساعت)
۶،۹۷۳،۰۰۰	۷،۳۰۰،۰۰۰	۱/۰۴۷

۳-۱- بررسی پتانسیل سایت‌های در اختیار شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی

پس از بررسی سایت‌های در اختیار شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، با توجه به قیودی همچون دسترسی به جاده و امکانات، نزدیکی به ترانس برق، مساحت در اختیار شرکت تا ۲۰ سال آینده و ویژگی‌های انشعاب برق، تعداد ۶۲ ساختگاه مناسب به‌منظور احداث نیروگاه خورشیدی، تعیین گردید. نتایج نشان داد این ساختگاه‌ها درمجموع مساحتی بالغبر ۶۳۶ هزار مترمربع را به خود اختصاص می‌دهند تا بتوان کل ظرفیت یعنی حدود ۸۰ مگاوات نیروگاه را احداث نمود. پس از امکان‌سنجی، اطلاعات مکانی ساختگاه‌ها در نرم‌افزار PVSyst وارد شد. در هر ساختگاه میزان ظرفیت مطلوب، پنل و اینورتر موردنظر انتخاب گردید.

بر اساس عملکرد نیروگاه در یک دوره ۲۰ ساله، نتایج خروجی نشان داد بیشترین پتانسیل تولید در بین یکی از ساختگاه‌های شهرستان محلات با نام ایستگاه پمپاژ شهدای گمنام، با قابلیت تولید kWh/year ۱۸۸۴ می‌باشد. همچنین نتایج به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزار و با استفاده از شرایط تابشی و اقلیمی نشان داد از منظر تولید میانگین سالانه به ازای هر کیلووات پنل در سال (kWh/kwp/year) بیشترین میزان مربوط به شهرستان خمین و کمترین پتانسیل تولید در شهرستان ساوه می‌باشد. همچنین در شکل ۳ درصد توزیع نسبی پتانسیل احداث نیروگاه‌های خورشیدی در ادارات شهرستان‌های تابع شرکت آب و فاضلاب استان نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شهرستان‌های دلیجان، شازند و ساوه به ترتیب، از نظر مساحت موجود، بیشترین میزان ظرفیت احداث نیروگاه خورشیدی را در ساختگاه‌ها به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۳ نمودار توزیع نسبی پتانسیل احداث نیروگاه‌های خورشیدی شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی

۳-۲- تولید نیروگاه‌های خورشیدی

تولید سالانه برای هر سناریو و مقایسه دو سناریوی دوم و سوم در جدول ۳ ارائه‌شده است. نتایج داد که در سناریوی دوم احداث نیروگاه خورشیدی به میزان ۳۱/۴۳ درصد و در سناریوی سوم حدود ۶۳/۶۱ درصد مصرف شرکت می‌باشد.

جدول ۳ مقایسه تولید نیروگاه‌های خورشیدی در سناریوهای موردمطالعه

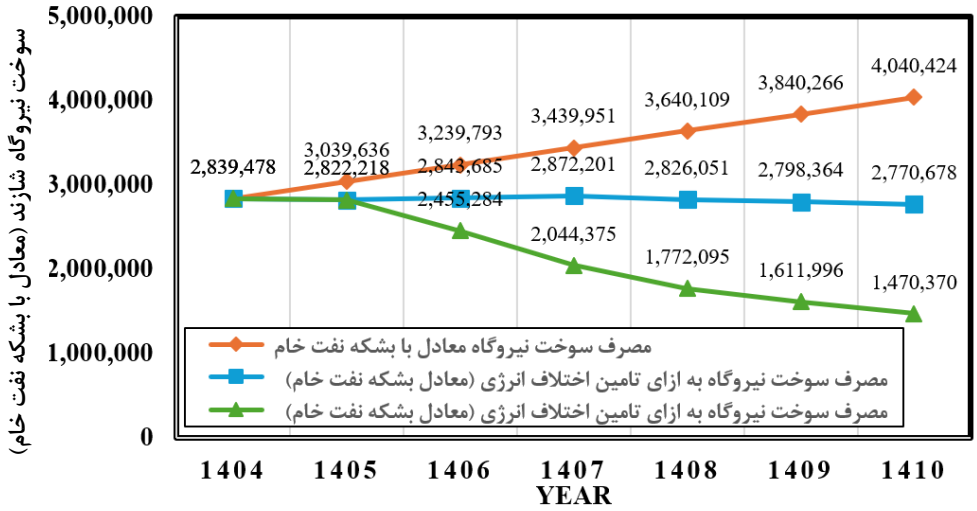
سال	میزان مصرف انرژی شرکت آب و فاضلاب (MWh)	سناریوی دوم		سناریوی سوم	
		میزان تولید سالانه تجمعی (MWh)	نسبت تولید به مصرف (٪)	میزان تولید سالانه تجمعی (MWh)	نسبت تولید به مصرف (٪)
۱۴۰۵	۱۷۵،۴۹۸.۵۸۷	۱۲,۵۵۳	۷/۱۵	۱۲,۵۵۳	۷/۱۵
۱۴۰۶	۱۸۷،۰۵۵.۰۳۷	۲۲,۸۷۰	۱۲/۲۳	۴۵,۲۹۵	۲۴/۲۱
۱۴۰۷	۱۹۸،۶۱۱.۴۸۷	۳۲,۷۸۰	۱۶/۵۰	۸۰,۵۷۶	۴۰/۵۷
۱۴۰۸	۲۱،۰۱۶۷.۹۳۷	۴۷,۰۰۱	۲۲/۳۶	۱۰۷,۸۵۳	۵۱/۳۲
۱۴۰۹	۲۲۱،۷۲۴.۳۸۷	۶۰,۱۵۶	۲۷/۱۳	۱۲۸,۶۵۳	۵۸/۰۲
۱۴۱۰	۲۳۳،۲۸۰.۸۳۷	۷۳,۳۱۱	۳۱/۴۳	۱۴۸,۳۸۷	۶۳/۶۱

۳-۳- تأثیر احداث نیروگاه‌های خورشیدی بر مصرف سوخت و انرژی

برای محاسبه میزان کاهش سوخت مصرفی در هرسال از ضرایب تبدیل مربوط به نفت خام معادل با انرژی مصرفی استفاده شد. نکته قابل‌ذکر در این بخش در نظر گرفتن میزان مصرف سوخت تنها در مرحله بهره‌برداری از نیروگاه حرارتی می‌باشد. در این رویکرد ساخت پنل در ایران در نظر گرفته نمی‌شود و در مرحله نگهداری از پنل‌ها نیز سوختی مصرف نمی‌شود. درنتیجه، اختلاف سوخت مصرفی در دو نوع نیروگاه (خورشیدی و حرارتی) تنها مربوط به نیروگاه حرارتی شازند می‌باشد. مطابق شکل در سناریوهای دوم و سوم، با توجه به میزان تولید نیروگاه‌های خورشیدی بهره‌برداری شده از تولید نیروگاه شازند کم و مصرف سوخت معادل برای تولید آن میزان برق نیز به‌تناسب کاسته می‌شود. بنابراین، در جدول ۴ اعداد ستون تأمین از نیروگاه شازند از اختلاف ستون انرژی موردنیاز شرکت در آن سال با ستون تولید نیروگاه‌های خورشیدی حاصل می‌گردد. نکته قابل‌توجه درصد تأمین انرژی موردنیاز شرکت در سال ۱۴۱۰ از انرژی‌های خورشیدی حدوداً معادل با ۳۱ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده تأثیر بالای نیروگاه‌های خورشیدی در کاهش میزان انرژی موردنیاز شرکت آب‌وفاضلاب می‌باشد. در شکل ۴ سوخت مصرفی در نیروگاه شازند در سه سناریو تا سال ۱۴۱۸ مقایسه شده‌اند. ازآنجایی‌که از سال ۱۴۱۰ بهره‌برداری جدید صورت نمی‌گیرد، بنابراین، تولید نیروگاه‌های خورشیدی تقریباً ثابت است.

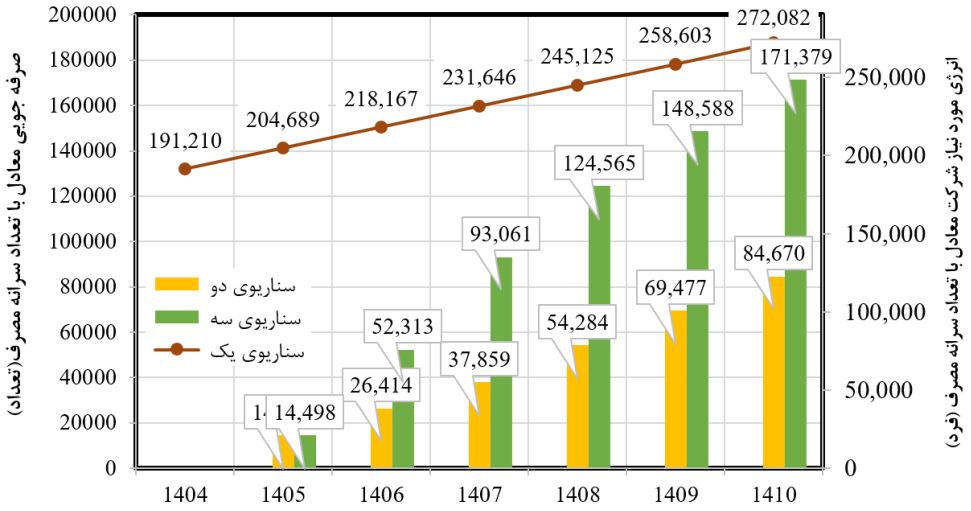
جدول ۴ مقایسه سه سناریو در خصوص کاهش مصرف سوخت از نیروگاه شازند (بشکه نفت خام معادل)

سال	میزان مصرف سوخت در سناریوی اول	سناریوی دوم			سناریوی سوم		
		میزان مصرف سوخت	میزان صرفه‌جویی	درصد صرفه‌جویی	میزان مصرف سوخت	میزان صرفه‌جویی	درصد صرفه‌جویی
۱۴۰۵	۳,۰۳۹,۶۳۵	۲,۸۲۲,۲۱۸	۲۱۷,۴۱۷	۷/۱۵	۲,۸۲۲,۲۱۷	۲۱۷,۴۱۸	۷/۱۵
۱۴۰۶	۳,۲۳۹,۷۹۳	۲,۸۴۳,۶۸۵	۳۹۶,۱۰۸	۱۲/۲۳	۲,۴۵۵,۲۸۳	۷۸۴,۵۰۹	۲۴/۲۱
۱۴۰۷	۳,۴۳۹,۹۵۱	۲,۸۷۲,۲۰۱	۵۶۷,۷۴۹	۱۶/۵۰	۲,۰۴۴,۳۷۴	۱۳۹۵,۵۷۶	۴۰/۵۷
۱۴۰۸	۳,۶۴۰,۱۰۸	۲,۸۲۶,۰۵۱	۸۱۴,۰۵۷	۲۲/۳۶	۱,۷۷۲,۰۹۵	۱,۸۶۸,۰۱۴	۵۱/۳۲
۱۴۰۹	۳,۸۴۰,۲۶۶	۲,۷۹۸,۳۶۴	۱,۰۴۱,۹۰۱	۲۷/۱۳	۱,۶۱۱,۹۹۶	۲,۲۲۸,۲۷۰	۵۸/۰۲
۱۴۱۰	۴,۰۴۰,۴۲۴	۲,۷۷۰,۶۷۷	۱,۲۶۹,۷۴۶	۳۱/۴۳	۱,۴۷۰,۳۷۰	۲,۵۷۰,۰۵۴	۶۳/۶۱



شکل ۴ مقایسه میزان سوخت مصرفی در نیروگاه شازند در سه سناریوی موردمطالعه تا سال ۱۴۱۸

به‌منظور پیش‌بینی میزان صرفه‌جویی انرژی با احداث نیروگاه‌های خورشیدی در مقایسه با سرانه انرژی مصرفی در کشور، با در نظر گرفتن سرانه مصرف انرژی هر فرد در سال طبق ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۸، این میزان معادل با ۲/۰۳ تن معادل نفت خام در نظر گرفته شد. نتایج این بررسی نشانگر میزان مصرف انرژی در سناریوی اول در شرکت آب و فاضلاب بدون احداث نیروگاه‌های خورشیدی معادل با مجموع مصرف سرانه انرژی بالغ بر ۲۷۲ هزار نفر می‌باشد که در سناریوهای دوم و سوم صرفه‌جویی حاصل از احداث نیروگاه‌های خورشیدی به‌ترتیب معادل با انرژی مصرفی حدود ۸۴ هزار و ۱۷۱ هزار نفر در سال ۱۴۱۰ می‌باشد. مطابق شکل ۵، در سال ۱۴۱۰ بیشترین صرفه‌جویی در مصرف سوخت در سناریوی سوم و سپس سناریوی دوم دیده می‌شود. با این حساب، شرکت آب و فاضلاب درمجموع توانسته است تا سال ۱۴۱۰ به میزان جمعیت ۳۸۷ هزار نفر در سناریوی دوم و ۸۴۰ هزار نفر در سناریوی سوم صرفه‌جویی انرژی داشته باشد. درواقع نتیجه کلی نشان‌دهنده کاهش چشم‌گیر انرژی موردنیاز برای تأمین برق موردنیاز شرکت آب و فاضلاب است. نتایج نشان‌دهنده لزوم انتخاب سناریوهای با دامنه پوشش و سرعت جایگزینی بیشتر (سناریوی سوم) می‌تواند اثرات قابل‌ملاحظه‌ای بر صرفه‌جویی انرژی و بهبود کارایی مصرف انرژی در استان مرکزی داشته باشد.



شکل ۵ صرفه‌جویی در سرانه انرژی نفرات در سال به ازای احداث نیروگاه خورشیدی در سناریوهای دوم و سوم در مقایسه با میزان مصرف انرژی در شرکت آب و فاضلاب معادل با تعداد سرانه انرژی فرد

۳-۴- تأثیر احداث نیروگاه‌های خورشیدی بر انتشار دی‌اکسیدکربن

به‌منظور محاسبه انتشار دی‌اکسیدکربن و مقایسه آن در سناریوهای مختلف، از نتایج کاهش نشر دی‌اکسیدکربن در نرم‌افزار PVSyst استفاده شد. کاهش دی‌اکسیدکربن سالانه تجمعی در نیروگاه‌های احداث‌شده مطابق جدول ۷ است. اما به‌منظور مقایسه انتشار دی‌اکسیدکربن به‌دلیل مصرف سوخت فسیلی در نیروگاه حرارتی شازند از ضریب ۰/۸۵ تن دی‌اکسیدکربن به ازای هر مگاوات برق تولیدی نیز استفاده شد. اگرچه نرم‌افزار PVsyst میزان تولید دی‌اکسیدکربن حاصل از تولید پنل‌ها، اینورتر و غیره را در نظر گرفته و از میزان دی‌اکسیدکربن تولیدی در حالت بدون نیروگاه خورشیدی کاسته است و خالص صرفه‌جویی کربن را در چرخه حیات پنل‌های خورشیدی نشان می‌دهد. در جدول ۵ و شکل ۶ میزان تأثیر احداث نیروگاه‌های خورشیدی در هریک از سناریوها، بر کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن نشان داده شده است. نتایج نشانگر صرفه‌جویی از انتشار دی‌اکسیدکربن در سال ۱۴۱۰ به میزان ۱۷/۲۵ درصد در سناریوی دوم و انتشار ۳۶/۳۶ درصد در سناریوی سوم در مقایسه با سناریوی اول (بدون احداث نیروگاه‌های خورشیدی) می‌باشد.

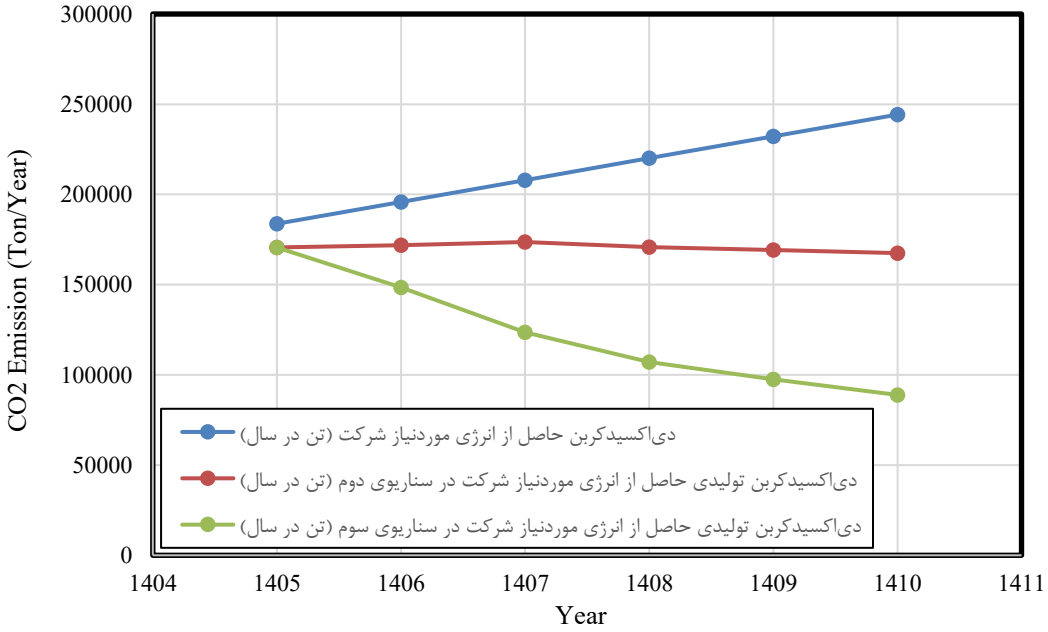
جدول ۵ میزان کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در سناریوهای با فرض تولید پنل در داخل کشور (تن بر سال)

سال بهره‌برداری	سناریوی اول	میزان کاهش در سناریوی دوم	درصد کاهش در سناریوی دوم	میزان کاهش در سناریوی سوم	درصد کاهش در سناریوی سوم
۱۴۰۵	۱۸۳۷۴۷	۵,۹۶۲	۳/۲۴	۵,۹۶۲	۳/۲۴
۱۴۰۶	۱۹۵۸۴۶	۱۰,۲۶۵	۵/۲۴	۲۰,۸۸۵	۱۰/۶۶
۱۴۰۷	۲۰۷۹۴۶	۱۴,۹۴۸	۷/۱۹	۳۷,۶۸۷	۱۸/۱۲
۱۴۰۸	۶۲۲۰۰۴	۲۱,۷۰۵	۹/۸۶	۵۰,۶۶۲	۲۳/۰۲
۱۴۰۹	۲۳۲۱۴۵	۲۷,۹۵۵	۱۲/۰۴	۶۰,۵۴۳	۲۶/۰۸
۱۴۱۰	۲۴۴۲۴۵	۳۴,۲۰۴	۱۴	۶۹,۹۱۸	۲۸/۶۳

درصورتی‌که تنها مرحله بهره‌برداری پنل‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد و هیچ نشر آلودگی صورت نگرفته و به میزان تولید نیروگاه‌ها در هر سناریو از نشر دی‌اکسیدکربن نیروگاه شازند کاسته می‌شود. بنابراین، نتایج انتشار دی‌اکسیدکربن در جدول۶ آورده شده است. در این صورت درصدهای کاهش دی‌اکسیدکربن بیشتر خواهد بود، زیرا دی‌اکسیدکربن حاصل از ساخت پنل‌های خورشیدی در نظر گرفته نشده است.

جدول ۶ دی‌اکسیدکربن حاصل از انرژی موردنیاز شرکت آب و فاضلاب در سناریوهای مختلف (تن بر سال)

سال بهره‌برداری	سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم
۱۴۰۵	۱۸۳۷۴۷	۱۷۰۶۰۴	۱۷۰۶۰۴
۱۴۰۶	۱۹۵۸۴۶	۱۷۱۹۰۱	۱۴۸۴۲۳
۱۴۰۷	۲۰۷۹۴۶	۱۷۳۶۲۶	۱۲۳۵۸۳
۱۴۰۸	۲۲۰۰۴۶	۱۷۰۸۳۶	۱۰۷۱۲۴
۱۴۰۹	۲۳۲۱۴۵	۱۶۹۱۶۲	۹۷۴۴۵
۱۴۱۰	۲۴۴۲۴۵	۱۶۷۴۸۷	۸۸۸۸۴



شکل ۶ میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در هر سناریو در طول سال‌های طرح

به‌طورکلی می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که هرچه ظرفیت نیروگاه خورشیدی بیشتر باشد، انتشار دی‌اکسیدکربن به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. در واقع سناریوی اول نشان‌دهنده افزایش صعودی انتشار دی‌اکسیدکربن است. سناریوی دوم سعی نموده بر افزایش مصرف برق در شرکت آب و فاضلاب غلبه کند اما تنها توانسته مصرف دی‌اکسیدکربن را در سطح ثابتی طی سال‌های ۱۴۰۵ تا ۱۴۱۰ نگه دارد. اما سناریوی سوم نه‌تنها بر افزایش مصرف برق شرکت آب و فاضلاب طی سال‌های ۱۴۰۵ الی ۱۴۱۰ توانسته غلبه نماید، بلکه میزان انتشار دی‌اکسیدکربن را طی سال‌های متوالی کاهشی نموده است. بررسی روند و میزان انتشار در سناریوی دوم نشان‌دهنده غلبه روند صعودی در برق مصرفی شرکت آب و فاضلاب بر روند کاهشی انتشار دی‌اکسیدکربن در سناریوی دوم است. نتایج نشان داد که کم‌ترین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن مربوط به سناریوی سوم است. احداث نیروگاه‌های خورشیدی در این سناریو توانسته بر درصد افزایش مصرف انرژی شرکت آب و فاضلاب غلبه نماید و درصد رشد بیشتری را به خود اختصاص داده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تأثیر احداث نیروگاه‌های خورشیدی بر کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و کاهش سوخت مصرف معادل بشکه نفت خام، در تأمین برق موردنیاز شرکت آب و فاضلاب استان می‌باشد. به‌منظور جمع‌بندی تحلیل، نتایج دو رویکرد کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن همان‌طورکه در جدول ۷ مشاهده می‌شود، درصد کاهش در میزان مصرف سوخت

و میزان تولید بخشی از انرژی موردنیاز شرکت آب و فاضلاب در سناریوهای مختلف مانند یکدیگر است. این نشان‌دهنده وجود دقت در انتخاب پارامترهای مرتبط‌کننده خروجی سناریوها و محاسبات می‌باشد. افزون بر این، نتایج این جدول نشان‌دهنده این است که کاهش اثرات محیط‌زیستی در حوزه انتشار دی‌اکسیدکربن و همچنین سوخت مصرفی است. از سوی دیگر، استان مرکزی با داشتن پالایشگاه، نیروگاه، کارخانه‌ها، شهرک‌های صنعتی متعدد و غیره یک شهر صنعتی است که روزانه حجم قابل‌توجهی از جمعیت متأثر خود را در معرض انتشار منابع آلاینده کربنی و گوگردی قرار می‌دهد که کمک به کاهش اثرات مضر محیط‌زیستی از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است.

بر این اساس، نتایج کلی این تحقیق به‌طورخلاصه به شرح زیر می‌باشد:

- نتایج بررسی نشان داد که بالغ بر ۸۰ مگاوات ظرفیت اسمی احداث در شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی وجود دارد. از بین شهرهای استان شهرستان دلیجان دارای بیشترین پتانسیل اسمی احداث و شهرستان زرندیه دارای کمترین پتانسیل اسمی احداث می‌باشند.
- نتایج نرم‌افزار PVsyst نشان داد بالاترین میانگین پتانسیل تولید به ازای ظرفیت اسمی واحد را در یکی از ساختگاه‌های شهرستان محلات و کمترین آن در یکی از ساختگاه‌های شهرستان ساوه نشان داد.
- میزان تولید انرژی خورشیدی در سناریوی دوم و سوم نسبت به سناریوی اول نشان از خودتامینی برق مصرفی به میزان ۳۱/۴۳ و ۶۳/۶۱ درصد به‌ترتیب در سناریوی دوم و سوم می‌شود. صرفه‌جویی در مصرف سوخت نیروگاه حرارتی شازند به ترتیب در سناریوی دوم و سوم به میزان ۳۱/۴۳ و ۶۳/۶۱ درصد نسبت به سناریوی اول می‌باشد.
- همچنین کاهش میزان انتشار دی اکسید کربن با فرض واردات پنل به داخل کشور حدود ۱۷/۲۵ درصد در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول و ۳۶/۲۶ درصد در سناریوی سوم نسبت به سناریوی دوم می‌شود. همچنین با فرض ساخت پنل در کشور در سناریوی دوم نسبت به سناریو اول می‌تواند حدود ۱۴ درصد از انتشار دی‌اکسیدکربن جلوگیری نماید و در سناریوی سوم حدود ۲۶/۳۶ درصد کاهش انتشار کربن نسبت به سناریو اول انتظار می‌رود.
- نتایج بررسی در خصوص مصرف سوخت در نیروگاه شازند سناریوی اول، شرکت آب و فاضلاب برای تأمین برق موردنیاز خود در سال ۱۴۱۰ به‌اندازه انرژی موردنیاز سالانه ۲۷۲ هزار نفر برق مصرف می‌نماید. که سناریوی دوم می‌تواند این میزان را به ۱۷۱،۳۷۹ نفر و سناریوی سوم به ۸۴،۶۷۰ نفر کاهش دهد.

با توجه به نتایج بالا می‌توان نتیجه گرفت احداث نیروگاه‌های خورشیدی در شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی می‌تواند از آلاینده‌های موجود در استان مرکزی بکاهد و تأثیر تولید برق به‌منظور مصرف شرکت آب و فاضلاب در آلایندگی استان را بکاهد. اگرچه این مهم با توجه به اینکه نیروگاه شازند به پایان عمر مفید بهره‌برداری خود نزدیک می‌شود، می‌تواند گره‌گشای ناترازی در استان باشد. افزون بر این، با ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی در صنعت آب وابستگی پایداری برق موردنیاز به شبکه سراسری نیز مرتفع شده و در صورت قطع برق در شبکه سراسری، شرکت آب و فاضلاب می‌تواند با خود تامینی انرژی از نیروگاه‌های خورشیدی با رویکرد هیبریدی، گامی در جهت پایدارسازی خدمات ارائه آب و فاضلاب به شهروندان داشته باشد.

۵- مراجع

[1] Shahsavari A. Yousefi H., Shahorn, Israfil. The contribution of solar energy in the world energy portfolio in 2030, Scientific Journal of Renewable and New Energies. 2018; 5(2).

[2] Moradian R. Moridi Farimani F. Renewable Energy Development in Iran - Choice or Necessity? Journal of Renewable and New Energies. 2012; 9(2).

[3] Abbasi-Goudarzi A. Maleki A. Policymaking of the Islamic Republic of Iran in the exploitation of renewable energy resources, Quarterly Journal of Strategic Studies in Public Policy. 2017; 7(23).

[4] Anonymous. Identification of potential sites in the country, investigation of renewable energy sources, prioritization and determination of the share of clean energies, Ministry of Energy, Office of Potential Assessment and Evaluation of SATBA. 2021.

[5] Anonymous. Report on the amount of water saved in the electricity generation process in solar power plants compared to fossil power plants, Ministry of Energy, Office of Economic, Technical and Environmental Assessments. 2021.

[6] Anonymous. Introduction to the Office and Performance Report 1399, Ministry of Power, Renewable Energy and Electricity Efficiency Organization (SATBA), Office of Potential Assessment and Evaluation of Renewable Energy. 2021.

[7] Ghasemi S. M. Strategic Management of Drinking Water, Niaz Danesh Publications, First Edition. 2016.

[8] Issapour A. Abedi S. Investigating water consumption in thermal power plants and providing solutions for improving consumption patterns. Seventh Conference on Power Plants. 2014.

[9] Guo Z. Sun Y. Pan S. Y. Chiang P. C. Integration of Green Energy and Advanced Energy-Efficient Technologies for Municipal Wastewater Treatment Plants. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019; 16(7):1282. https://doi.org/10.3390/ijerph16071282.

[10] Mekonnen M. M. Gerbens-Leenes P. W. and Hoekstra A. Y. Future electricity: The challenge of reducing both carbon and water footprint. Science of the Total Environment. 2016; 569–570, pp. 1282–1288. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.204.

[11] Asdrubali F. Baldinelli G. D'Alessandro F. and Scrucca F. Life cycle assessment of electricity production from renewable energies: Review and results harmonization. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015; 42: 1113–1122. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.082.

[12] Nabavi S. Mostafazadeh R. Asiahir R. Analysis of water scarcity indicators and water governance network in the sixth five-year development plan of Iran, Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering. 2021; 12: 2. [in Persian]

[13] Talebian A. Ghandehariun S. Hosseinalipour S. M. Dadpoor A. Life cycle assessment of polycrystalline solar panel production in Iran, Journal od solar energy Research. 2020; 5(3): 516-526.

[14] Sotnyk I. Wenjuan D. Chortok Y. Yevdokymov A. & Yang Y. Enhancing Efficiency and Sustainability: Green Energy Solutions for Water Supply Companies. Економіка розвитку систем. 2024; 6(2):53-62. https://doi.org/10.32782/2707-8019/2024-2-8.

[15] Arjomand A. and Takhar S. Simulation of a floating solar power plant on a wastewater treatment pond Case study: Wastewater treatment plant No. 1 Shiraz, Journal of Energy Policy and Planning Research. 2023; 8(4): 2. URL: http://epprjournal.ir/article-1-1107-fa.html.

[16] Hamlehdar M. Yousefi H. Noorollahi Y. Fahimi-Henzaei R. Utilizing the potential of the water and wastewater industry for distributed clean energy production. Journal of Ecohydrology. 2018; 5(4): 1147-1160. doi: 10.22059/ije.2018.257602.878

[17] Emami Meybodi A. Amadeh H. Comparison of technical efficiency and bioefficiency in selected thermal power plants in Iran, Journal of Energy Policy and Planning Research. 2017; 3(8):33-67.