



The Feasibility of Installing FPV on the Reservoirs of Dams in Hormozgan Province to Produce Energy and Reduce the Amount of Water Evaporation

Majid Zarezadeh 

Expert in energy audit, Department of Energy and Environment, Iranian National Standard Organization, Bandar Abbas, Iran. Email: majid_zarezadeh_nu@yahoo.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:

*Evaporation Reduction,
Floating Solar Panel,
Renewable Energy,
PVSol.*

ABSTRACT

Renewable energy production using solar panels as cover on reservoirs and dams has increased in arid and semi-arid countries. By using this method, in addition to producing clean energy, drinking water evaporation amount would be reduced in the tanks. Hormozgan province located in the south of Iran is considered to be arid. Jagin and Esteghlal Minab dams are the major water suppliers in this province. Throughout the past few years, the decrease in rainfall has caused an increase in the evaporation of reservoir water. According to the appropriate amount of radiation in mentioned areas, installing floating solar panels on the tanks is possible. The simulation using PVSOL in three installation modes: south direction, east-west, and flat. The estimation of the volume and water level to cover these panels has shown that by using the existing apron zone cover with a flat layout in the dams, a solar power plant with a power of 9Gw will be built with an energy production of 9000 Gwh/year. Also placing the FPV panel on the canal has prevented water evaporation by 100,000 cubic meters. It is required to mention that proper climate and radiation angle can lead to power plants with 80%+ performance.

Cite this article: Zarezadeh, M. (2023). The Feasibility of Installing FPV on the Reservoirs of Dams in Hormozgan Province to Produce Energy and Reduce the Amount of Water Evaporation. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 2 (4), 369-387. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.373539.1055>



© Majid Zarezadeh. **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.373539.1055>

1. Introduction

The application and use of renewable energies today as one of the useful and operational tools for energy supply has been a permanent option for developed countries. In the meantime, the use of solar energy-generating equipment for multiple uses, in addition to energy production, has been emphasized a lot. Of course, it should be kept in mind that the cost of installing these pieces of equipment, cabling, floating platforms, and insulation will lead to an increase in the cost of electricity production and the return on the investment cost in this sector, also the balanced cost of energy, in this case, will increase compared to the state installed on both the roof and ground of the structures, however its positive effects, especially the reduction of water evaporation in the reservoirs, in addition to covering the added costs, lead to more water supply in these drought and water scarcity conditions we are currently facing.

2. Material and Method

The amount of radiation in the area has been investigated. The most significant issue on solar panel installation in this area would be the amount of sunlight. Subsequently, according to the technical requirements for installing solar panels, the solar panel installation method and their flotation have

been analyzed. Eventually, the simulation of the amount of output energy according to the selected conditions and the desired position has been checked by PVSol software. Finally, it is important that in addition to the output electric power gain, the effect of placing these plates with the aim of reducing the evaporation rate is also checked and calculated.

3. Results and Discussion

The performance ratio of the solar panel indicates the suitability of the orientation of the arrays, the correct arrangement of the cabling, the temperature of the panel plates, and the shading effect on the panel. By using this amount, the proper functioning of solar panels can be ensured. Based on the results of simulation output data, the average performance ratio for floating solar panels has been more than 80% in Jagin throughout all the years, in Minab about 80% for 9 months and for the rest of the year it has been more than 70%, which is suitable for the operation of solar power plants. The result of the mentioned panel installation on the reservoir of the dams has led to the production of renewable solar energy. Considering that the installation method for each of the dams is in three different ways: south-direction, east-west, and flat and therefore for each of these methods, the number of panels and converters is different, as well as the output power of this power plant. Small sizes have been obtained. The result of this amount of produced energy and increasing the efficiency of the solar panel system is to prevent the evaporation of water in the reservoirs by using the shading effect, reducing the temperature of the water surface, and preventing direct sunlight from hitting the water surface. The estimation of the evaporation rate from reservoir surfaces, in the case of solar panel installation, was carried out by utilizing the geographic information calculated through ArcGIS software. This involved the calculation of the mentioned areas to determine the rate of evaporation from the reservoirs.

4. Conclusion

The results of the research have shown that the installation of these panels may not be feasible and cost-effective in the entire level of the reservoirs, but it will have a great effect on reducing water evaporation in the calm areas of Esteghlal Minab and Jagin dams. The possibility of preventing the evaporation of one hundred thousand cubic meters of drinking water and the simultaneous production of more than 5Gwatt in Jagin Dam and more than 4Gwatt in Esteghlal Minab Dam is a multi-purpose economic project. Climatic conditions and the location of the sun's radiation in the Jagin region have led to an increase in the power output of floating solar panels compared to simulated panels in Esteghlal Dam. Also, the simulation output has shown that the method of flat arrangement in both the Jagin and Esteghlal dams is more economical in terms of finances and electrical energy production compared to the cost incurred.



امکان‌سنجی نصب پانل خورشیدی شناور بر روی مخازن سدهای استان هرمزگان برای تولید انرژی و کاهش میزان تبخیر آب موجود در مخازن

مجید زارع‌زاده

دکتری هیدرولوژی دریا، بخش انرژی و محیط زیست، سازمان ملی استاندارد، بندرعباس، ایران. رایانامه: majid_zarezadeh_nu@yahoo.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹

کلیدواژه:

انرژی تجدیدپذیر،

پانل خورشیدی شناور،

کاهش تبخیر،

PVSol

تولید انرژی تجدیدپذیر با استفاده از انرژی خورشیدی و استفاده هم‌زمان از پانل‌های خورشیدی به عنوان پوشش روی مخازن و سدها امروزه به شکل وسیعی در کشورهای گرم و خشک و نیمه‌خشک افزایش یافته است. استفاده از این روش علاوه بر تولید انرژی پاک، از میزان تبخیر آب شرب موجود در این مخازن خواهد کاست. استان هرمزگان، در جنوب ایران دارای اقلیم گرم و خشک بوده و سدهای جگین و استقلال میناب از تأمین‌کننده‌های بزرگ آب در این استان هستند. طی چند سال گذشته، کاهش بارندگی و خشکسالی‌های مستمر باعث افزایش تبخیر آب مخازن و در نتیجه، چالش بزرگی برای تأمین آب در این استان بوده است. با توجه به میزان تابش مناسب در این مناطق، امکان نصب پانل‌های خورشیدی شناور روی مخازن وجود دارد. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PVSOL در سه حالت نصب جنوب‌سو، شرق-غرب، و حالت مسطح و همچنین برآورد میزان حجم و سطح آب برای پوشش این پانل‌ها، نشان داد با استفاده از پوشش منطقه آرامش موجود پشت مخازن و چیدمان مسطح پانل در این سدها، نیروگاه خورشیدی با توان ۹GW با انرژی تولیدی ۹ Gwh/year هزار ساخته خواهد شد، و علاوه بر آن بر اثر کاهش دمای آب زیر پانل‌ها به علت سایه‌اندازی، از تبخیر بیش از یکصد هزارمتر مکعب آب پشت مخازن کاسته خواهد شد. نتایج نشان داده است که اقلیم و زاویه تابش مناسب در این مناطق به ایجاد نیروگاه‌هایی با ضریب عملکرد بیش از ۸۰ درصد منجر خواهد شد.

استناد: زارع‌زاده، مجید. (۱۴۰۲). امکان‌سنجی نصب پانل خورشیدی شناور بر روی مخازن سدهای استان هرمزگان برای تولید انرژی و کاهش میزان تبخیر آب موجود در مخازن. فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار، ۲ (۴) ۳۶۹-۳۸۷. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.373539.1055>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© مجید زارع‌زاده.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.373539.1055>



۱. مقدمه

با توجه به رشد روزافزون جمعیت و همچنین توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها، توجه به تولید انرژی پایدار برای تأمین پیش‌نیاز توسعه پایدار امری ضروری محسوب می‌شود، اما تأمین انرژی از منابع گاز و فسیلی به افزایش آلاینده‌گی و محدودیت منابع منجر شده است. از این رو به‌کارگیری و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر امروزه به عنوان یکی از ابزارهای مفید و عملیاتی برای تأمین انرژی، گزینه همیشگی کشورهای توسعه‌یافته است. فناوری‌های مرتبط با انرژی خورشیدی در یک دهه گذشته توسعه روزافزونی داشته و با انجام پژوهش در این حوزه علاوه بر کاهش هزینه مرتبط با ابزار و تجهیزات آن، بهره‌توان خروجی آن افزایش محسوسی یافته است. در این بین، به‌کارگیری تجهیزات تولیدکننده انرژی خورشیدی برای استفاده‌های چندگانه، علاوه بر تولید انرژی، تأکید زیادی شده است. استفاده از پانل‌های خورشیدی به عنوان سقف سوله‌های کشت گیاهان گلخانه‌ای، مسقف کردن پارکینگ‌های خودرو با پانل‌های خورشیدی نمونه‌ای از این کاربردهای دوگانه هستند [۱ و ۲]. طی یک دهه اخیر و با افزایش دما و خشکسالی، استفاده از پانل‌های خورشیدی به عنوان پوشش کانال‌ها، مخازن آب، و همچنین دریاچه‌ها و پشت سدها افزایش یافته، که به آن سیستم پانل‌های خورشیدی شناور^۱ می‌گویند. همانند سیستم پانل‌های نصب‌شده روی زمین و سقف ساختمان‌ها، این سیستم شناور می‌تواند ثابت و یا دنبال‌کننده باشد. شاید بتوان گفت که یکی از عوامل مهم در رویکرد به سمت این فناوری، استفاده از سیال زیر پانل‌ها به عنوان سیستم تهویه خنک‌کننده است که موجب افزایش کارایی این پانل‌ها و در نتیجه، افزایش توان خروجی آن‌ها، به‌ویژه در مناطق با دمای هوای بالا است [۲ و ۳]. عوامل محیطی نظیر دما و رطوبت تأثیر زیادی بر عملکرد توان خروجی پانل‌های خورشیدی دارند. به این منظور عموماً پارامتر ضریب دمایی که با نماد منفی و دیمانسون $\%/K$ اثر معکوس دمای بیش از ۲۵ درجه سلسیوس را بر عملکرد خروجی پانل خورشیدی نشان می‌دهد و در دستورالعمل شرکت سازنده موجود است. رطوبت هوا دارای دو نوع اثر روی عملکرد پانل‌های خورشیدی است. در صورتی که رطوبت مربوطه ناشی از اقلیم منطقه باشد و توده‌های هوای مرطوب در ارتفاع بالای سطح پانل‌ها وجود داشته باشد، اثر منفی بر عملکرد پانل‌های خورشیدی خواهد داشت، زیرا به جلوگیری از تابش مستقیم نور آفتاب روی پانل خورشیدی منجر خواهد شد. رطوبت موجود در هوا، در انعکاس و پراکنش نور خورشید تأثیر دارد و به کاهش میزان مساحت مؤثر روی پانل خورشیدی منجر می‌شود. بر اساس پژوهش‌های متفاوت صورت‌گرفته افزایش رطوبت هوای ناشی از اقلیم می‌تواند تا ۲۰ درصد از بهره‌توان خروجی پانل‌های خورشیدی را کاهش بدهد [۴-۶]. اما در مورد سیستم پانل خورشیدی شناور که رطوبت ناشی از آب زیر سازه نگهدارنده و مخازن است، این موضوع به همراه اثر گردش هوا روی دمای پانل اثر دارد و با کاهش دمای سطحی موجب افزایش بهره‌توان خروجی و توان پانل‌های خورشیدی می‌شود [۷ و ۸].

با توجه به اهمیت موضوع و همچنین نوین بودن این مبحث، تحقیقات زیادی در کشور ایران و سایر کشورها در این زمینه انجام شده است. بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، نصب پانل‌های خورشیدی روی منابع آب، به افزایش ۱۰ درصد بهره‌وری سیستم و توان خروجی پانل‌های خورشیدی منجر شده است [۹]. می‌توان گفت که مهم‌ترین تأثیر نصب پانل روی مخازن آب، جلوگیری از تبخیر آب و کاهش سرعت تبخیر با اثر سایه‌اندازی و همچنین جلوگیری از رشد جلبک در این مخازن است [۱۰]. استفاده از سیستم پانل‌های شناور به همراه توربین‌های بادی و توربین آبی برای تولید انرژی در دریا و یا رودخانه‌های بزرگ، به افزایش چشمگیر کارایی این سیستم‌ها و اثربخشی آن‌ها منجر شده است [۱۱]. البته باید در نظر داشت هزینه نصب این تجهیزات، کابل‌کشی، سکوهای شناور و عایق‌بندی، به افزایش هزینه تمام‌شده برق تولیدی و برگشت هزینه سرمایه‌گذاری در این بخش منجر خواهد شد، و هزینه ترازشده انرژی^۲ در این حالت را نسبت به حالت نصب‌شده روی زمین و سقف سازه‌ها افزایش خواهد داد، اما آثار مثبت آن، به‌ویژه کاهش تبخیر آب مخازن، علاوه بر پوشش هزینه‌های افزوده‌شده، به تأمین آب در شرایط خشکسالی و کم‌آبی منجر می‌شود. توسعه این فناوری و تأییدی که محققان و مراکز پژوهشی روی این روش نوین و آثار مثبت آن دارند، به حدی است که بر اساس یکی از تحقیقات صورت‌گرفته، با پوشش ۱ درصد از مخازن و سدها با سیستم پانل

1. Floating PV

2. Levelized Cost of Energy (LCOE)

خورشیدی شناور، تا ۲۵ درصد از انرژی الکتریکی مورد نیاز کل کشورها تأمین خواهد شد [۱۲]. در پژوهشی دیگر در کشور پاکستان، نتایج تحقیقات نشان داده که تنها با پوشش ۲۸ درصد از سطح مخازن و آب پشت سدها با پانل‌های شناور در این کشور، می‌توان کلیه انرژی مورد نیاز کشور پاکستان را تأمین کرد [۱۳].

نتایج مدل‌سازی نصب پانل خورشیدی روی مخزن سد تنگویه در استان کرمان نشان داده با نصب ۳۶۰۷۸۰ عدد پانل خورشیدی، حدود ۴ میلیون کیلووات ساعت انرژی تولید شده و عملکرد پانل‌های خورشیدی نیز ۲/۶ درصد افزایش یافته است، همچنین با این کار از تبخیر ۱/۹۷ میلیون متر مکعب آب در این سد جلوگیری خواهد شد [۱۴]. در پژوهشی دیگر، نصب این‌گونه پانل‌ها روی سد پانزده خرداد بررسی شده است. در این پژوهش با پوشش ۱/۵۹ m² حدود ۱/۴۵ MW انرژی الکتریکی تولید و از تبخیر حدود ۱۶۵۰۰ m³ آب درون مخزن جلوگیری شده است [۱۵].

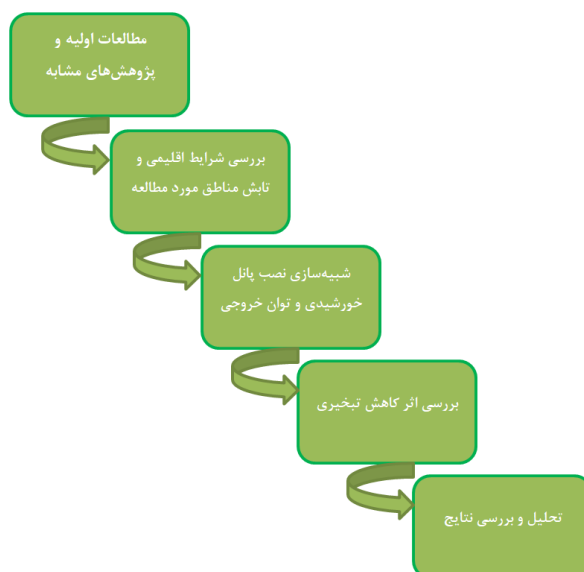
سایر کشورها پیش‌تر به اهمیت این موضوع پی برده، و تحقیقات مفید و کاربردی در این موضوع پرداخته شده است. در بخش گرم و خشک کشور اردن، طی یک سال اثر قرار دادن و نصب پانل‌های خورشیدی روی مخازن آب بررسی شده است. نتایج نشان داده است ولتاژ و جریان پانل‌های نصب‌شده روی مخازن به ترتیب ۱/۶۸ و ۴/۴۰ درصد بیش از ولتاژ و شدت جریان پانل‌های نصب‌شده روی زمین در همان منطقه و شرایط اقلیمی مشابه است. به همین ترتیب، کارایی پانل‌های نصب‌شده روی مخازن ۴/۸۹ تا ۵/۵۱ درصد بیش از پانل مشابه نصب‌شده روی زمین هستند. نتایج بررسی اثر کاهش تبخیر نیز در این پژوهش چشمگیر بوده است، و پوشش ۳۰ درصد از سطح این مخازن به کاهش ۳۱/۲ درصد میزان تبخیر در این منطقه منجر شده است [۱۶]. کشور برزیل دارای منابع آب فراوانی است، با این حال محققان و پژوهشگران این کشور به منظور بررسی اثر کاهش تبخیر آب مخازن سدها، پژوهشی را انجام داده و با استفاده از داده‌های دما، رطوبت، سرعت باد، و تابش خورشید در منطقه، میزان تبخیر آب از مخزن سد پاسانا در جنوب شرقی کشور برزیل را محاسبه کرده‌اند. شبیه‌سازی نصب پانل خورشیدی روی ۱۲۶۵/۱۴ m² نشان داده است که امکان تولید انرژی با توانی حدود ۵ MW از این پانل‌ها وجود دارد. میزان اثر نصب این پانل‌ها در کاهش تبخیر نیز بررسی و تخمین زده شده است سالیانه حدود ۲/۶۹ hm³ از آب این مخزن کمتر تبخیر خواهد شد [۱۷]. اقلیم گرم و نیمه‌خشک کشور مصر انگیزه‌ای برای محققان این کشور شد تا با بررسی امکان نصب پانل‌های خورشیدی روی دریاچه ناصر، اثر نصب این پانل‌ها را در کاهش تبخیر آب دریاچه محاسبه کنند. نتایج نشان داده است که نصب جزئی پانل روی این مخزن آب به کاهش ۶۱/۷۱ درصدی تبخیر آب با مقداری حدود، سال/۹۰۷۴۰۸۱۰۰۰ m³ منجر خواهد شد [۱۸]. بررسی آثار مفید و تأثیرگذار نصب پانل خورشیدی روی مخازن آب نه تنها در کشورهای گرم و خشک بررسی شده است، بلکه با توجه به اهمیت موضوع و اثربخشی آن، در کشور یونان نیز بررسی شده است. پژوهشگران حوزه آب در کشور یونان، اثر قرار دادن پانل‌های خورشیدی بر مخازن آب جزیره کرت را بررسی کرده‌اند که نتایج آن نشان داده است با نسبت ضریب پوشش ۰/۱ تا ۰/۳، انرژی در محدوده ۷۸/۳ GWh تا ۲۳۴/۹ GWh تولید خواهد شد [۱۹].

استان هرمزگان در یک دهه گذشته با خشکسالی‌های متوالی و پی‌درپی درگیر بوده است و تأمین آب شرب و همچنین، آب مورد نیاز صنایع چالشی مهم در این استان بوده است. محدوده جغرافیایی استان هرمزگان که منطبق بر بخش جنوبی ایران، از جمله مناطقی در کشور است که تغییرات شرایط جوی در آن بسیار محسوس بوده و پدیده خشکسالی بارها در آن اتفاق می‌افتد. از دیدگاه هواشناسی کمبود بارش را نسبت به شرایط میانگین درازمدت خشکسالی می‌نامند که در این خصوص ویژگی‌های مختلف اقلیم‌ها منظور می‌شود. استان هرمزگان بر اساس محاسبات دوره آماری دارای متوسط سالانه ۱۷۴/۵ میلی‌متر بارندگی است. پدیده خشکسالی در استان هرمزگان همگام با روند خشکسالی‌ها در ایران بوده و به دلیل موقعیت خاصی که استان هرمزگان در زمینه‌های مختلف اعم از کشاورزی، مرتع و صنعت دارد، خشکسالی مشکلات و معضلات بزرگی ایجاد کرده است [۲۰]. سدهای استقلال میناب، شمیل، نیان و جگین از جمله مهم‌ترین و اصلی‌ترین آب‌بندهای هرمزگان هستند که میزان ذخیره آب در آن‌ها مناسب نیست. کم‌بارشی هرمزگان در چند سال گذشته بی‌سابقه بوده و وضعیت بفرنجی به وجود آورده است. با تداوم بیش از دو دهه خشکسالی و کاهش میزان بارندگی، سدهای استان هرمزگان هم‌اکنون با چالش بسیار جدی روبه‌رو هستند. این آمارها حکایت از در پیش بودن سال آبی سخت برای استان گرمسیر هرمزگان دارد، که بیش از ۹ ماه از سال هوای آن گرم و

طاقت فرسا است. اقلیم هرمزگان گرم و خشک بوده و پراکنش بارندگی و توزیع زمان و مکان ریزش نزولات آسمانی در این استان به گونه‌ای است که بارندگی ناچیز و شاخص‌های بحران آب در آن به مراتب نامطلوب‌تر از متوسط شاخص کشوری است. در صورت نبود مدیریت مصرف از سوی مردم و اجرای طرح‌های عملیاتی از سوی مسئولان این چالش تبدیل به یک بحران اجتماعی خواهد شد. در این سال‌ها تأمین آب مورد نیاز بخش صنعت به هر ترتیب ممکن، و کاهش آب مصرفی در بخش کشاورزی، دو سیاست اصلی شورای حفاظت از منابع آبی استان هرمزگان بوده است. در راستای اجرایی شدن این سیاست، کاهش سطح زیر کشت و تغییر الگوی کشت به عنوان دو راهبرد اجرایی کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی انتخاب شده است. رویکرد دیگر تأمین آب با استفاده از آب شیرین‌کن‌ها و تأمین آب از خلیج فارس و دریای عمان بوده، اما این روش نیز به علت نمک‌زدایی و همچنین پساب‌های خروجی به سمت دریا دارای مشکلات زیست‌محیطی بوده‌اند [۲۱]. با توجه به این مشکلات و چالش‌ها، امکان‌سنجی، زیست‌محیطی و اقتصادی، به کارگیری سیستم پانل خورشیدی شناور روی سدهای استقلال میناب و جگین برای تأمین انرژی و کاهش میزان تبخیر آب به عنوان راه حلی برای رفع مشکل کم‌آبی و ذخیره منابع است. سد استقلال میناب با حجم مخزن اولیه ۳۵۰ میلیون مترمکعب و حجم مفید ۲۷۰ میلیون مترمکعب از نوع سدهای بتنی وزنی پایدار بوده و در ۴ کیلومتری شرق شهرستان میناب در طول جغرافیایی ۵۷/۱۳ درجه و عرض جغرافیایی ۲۷/۱۷ درجه، روی رودخانه میناب احداث شده است. این سد با هدف تأمین آب آشامیدنی شهرستان بندرعباس، تأمین آب برای ۱۴۶۷۰ هکتار اراضی پایین‌دست، در کنترل سیلاب و تغذیه مصنوعی شهرستان میناب، در سال ۱۳۶۲ به بهره‌برداری رسید [۲۲ و ۲۳]. سد جگین در استان هرمزگان و در ۱۰۷ کیلومتری شمال شرقی بندر جاسک واقع شده است. دسترسی به این سازه از طریق یک جاده آسفالت به طول ۲۱ کیلومتر که از کیلومتر ۵۷ راه اصلی بندر جاسک- جگدان منشعب می‌شود، امکان‌پذیر است. سد جگین با مساحت حوضه آبریزی حدود ۳۹۲۰ کیلومتر مربع روی رودخانه جگین در محلی موسوم به تنگه دهنه مرنگ با مختصات طول جغرافیایی ۵۷/۹۱ درجه و عرض جغرافیایی ۲۶/۱۷ درجه قرار گرفته است. رودخانه جگین از دامنه جنوبی کوه‌های بشاگرد سرچشمه گرفته و پس از عبور از تنگه دهنه مرنگ و پیوستن به سرشاخه عمده دیگری به نام شریفی به دریای عمان منتهی شده است. روند خشکسالی و فرسایش سیستم‌های آبرسانی آب شرب و صنعتی، و همچنین افزایش برداشت از حوضه‌های آبریز این سدها به منظور کشاورزی، در کنار ضریب بالای تبخیر و بارش‌های کم در این مناطق به کاهش سطح آب در این سدها منجر شده است. تأثیر خشکسالی بر منابع آب و کاهش منابع آب‌های سطحی تأثیر زیادی بر چالش‌های اقتصادی و اجتماعی دارد. استفاده از پوشش‌های تک‌لایه یکی از روش‌های متداول جهت کاهش تبخیر در مخازن آب‌های سطحی است. برای استفاده دوگانه از این لایه‌ها می‌توان با نصب پانل‌های خورشیدی، هم‌زمان با کاهش میزان تبخیر، از تابش در منطقه استفاده و برای تولید انرژی پاک و تجدیدپذیر استفاده کرد.

۲. روش کار

در این تحقیق پس از مطالعه و بررسی مقالات و پژوهش‌های مرتبط با موضوع، ابتدا شرایط اقلیمی مناطق مورد مطالعه، میناب و جگین، و میزان تابش منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. مهم‌ترین موضوع در نصب پانل‌های خورشیدی میزان تابش خورشید در منطقه است. پس از آن با توجه به الزامات فنی مورد نیاز برای نصب پانل‌های خورشیدی، نحوه نصب و شناورسازی آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در نهایت شبیه‌سازی میزان انرژی خروجی مطابق با شرایط انتخابی و موقعیت مد نظر توسط نرم‌افزار PVSol بررسی شده است. در پایان، مهم است که علاوه بر بهره‌توان الکتریکی خروجی، اثر قرار دادن این صفحات خورشیدی روی کانال و کاهش میزان تبخیر نیز بررسی و محاسبه شود (شکل ۱).
مطالعات مرتبط با وضعیت مساحت مؤثر و دیگر عوامل توپولوژیکی با استفاده از قابلیت جدول‌های توصیفی نرم‌افزار ArcGIS انجام شده است.



شکل ۱. روش انجام پژوهش و مطالعه امکان‌سنجی نصب نیروگاه خورشیدی با پانل شناور

۱.۲. بررسی شرایط اقلیمی و تابش مناطق مورد مطالعه

اقلیم، آمیخته‌ای از ویژگی‌های چیره‌شده و ماندگار جوی یک گستره جغرافیایی در گذر زمان است و اغلب بر اساس متغیرهایی مانند دما، بارش، رطوبت، وزش باد، تابش خورشید، تعداد روز آفتابی تعیین می‌شود (جدول ۱). مجموعه این عوامل در بلندمدت همراه با دیگر ویژگی‌های منطقه‌ای اقلیم یک منطقه را تعیین می‌کنند [۲۴].

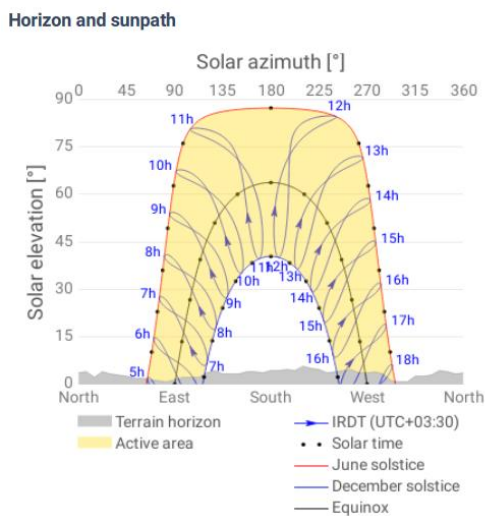
جدول ۱. میانگین داده‌های اقلیمی مناطق مورد مطالعه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی [۲۴ و ۲۵]

عنوان پارامتر اقلیمی	موقعیت سد میناب	موقعیت سد جگین
میانگین دما (سلسیوس)	۲۸٫۳۵	۲۷٫۰۱
میانگین سرعت باد (m/s)	۱٫۳۵	۱٫۳۸
میانگین دما شب‌نم (سلسیوس)	۱۶٫۱۸	۱۵٫۱۵
مجموع ساعت‌های آفتابی (ساعت)	۳۴۲۲	۳۲۵۴
بیشترین ساعت آفتابی (ساعت)	۱۲٫۳۶	۱۲٫۱۴
میانگین ساعت آفتابی (ساعت)	۹٫۳۷	۹٫۳۶
میانگین روزهای بارانی	۱۷٫۱	۲۱٫۲

آگاهی کامل از مسیر خورشید^۱ برای شکل دادن و پیش‌بینی محاسباتی، کارایی سیستم سالانه خورشیدی و تحلیل کمینه و بیشینه زاویه خورشید در موقعیت مورد مطالعه ضروری است [۲۶]. شکل ۲ نشان‌دهنده مسیر خورشید است که بر این اساس کمینه زاویه در زمستان حدود ۳۶ درجه و بیشینه آن در تابستان و حدود ۸۴ درجه است (شکل ۲). عامل مهم دیگر در مطالعات پیش‌طراحی نصب پانل خورشیدی در منطقه، بررسی میزان تابش عمود بر سطح زمین است. مطالعه این عامل در هر دو منطقه نشان می‌دهد با توجه به فاصله نزدیک این دو موقعیت، طیف ماهیانه تابش در این مناطق تقریباً مشابه است و در خرداد و دی ماه بیشینه مقدار خود را دارند، اما نکته مهم، همان‌گونه که در شکل ۳ قابل ملاحظه است، در همه ماه‌های سال، میانگین تابش در هر دو منطقه میناب و جگین بیش از 130 kWh/m^2 است، که این عامل به عنوان نقطه قوت برای ساخت نیروگاه خورشیدی و نصب پانل خورشیدی در این مناطق است.

با توجه به نوع اقلیم منطقه و همچنین میانگین تابش ماهیانه، می‌توان گفت که مناطق مورد نظر برای نصب پانل‌های خورشیدی دارای شرایط مناسب و الزامات فنی لازم هستند. شکل ۴ نمایی از سد و دریاچه‌های پشت سدهای استقلال میناب و

جگین را از نمای بالا نشان داده است. تصویر شکل ۴ برگرفته از سامانه Google Earth است که توسط نرم‌افزار ArcGIS زمین مرجع شده است.



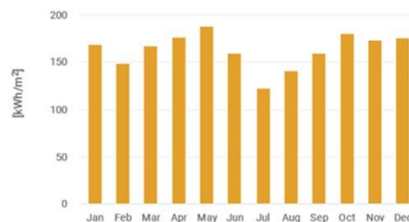
شکل ۲. مسیر خورشید در منطقه مورد مطالعه [۲۵]

Monthly averages
Direct normal irradiation



(ب) منطقه میناب

Monthly averages
Direct normal irradiation



(الف) منطقه جگین

شکل ۳. میزان تابش نرمال روی زمین در منطقه (الف) جگین و (ب) میناب [۲۵]



(الف)



(ج)



(ب)



(د)

شکل ۴. نمای سد های (الف) استقلال میناب و (ب) جگین در استان هرمزگان، (ج) موقعیت سد ها در استان هرمزگان، (د) موقعیت سد ها در کشور

۲.۲. شبیه‌سازی نصب پانل خورشیدی شناور

پس از انتخاب موقعیت مناسب برای نصب سیستم‌های پانل خورشیدی، نیاز است که بر اساس این معیارها شبیه‌سازی انجام شود. به منظور شبیه‌سازی از نرم‌افزار PVSOL Premium نسخه ۲۰۲۱ استفاده شده است. قابلیت سه‌بعدی این نرم‌افزار، استفاده از الگوریتم‌های مناسب برای تابش و همچنین پایگاه داده تجهیزات خورشیدی متنوع این نرم‌افزار، موجب شده خروجی شبیه‌سازی، عدم قطعیت کمی داشته و در صورت ورود داده‌های اولیه مناسب و دقیق، توان خروجی کمترین انحراف را با نتایج عملیاتی خواهد داشت. به منظور جلوگیری از اثر سایه‌اندازی^۱ پانل‌ها روی یکدیگر، و در نتیجه کاهش توان خروجی، فاصله بین پانل‌ها باید به گونه‌ای تعیین شود که کمترین میزان سایه‌اندازی روی دهد، و هم‌زمان این فاصله نباید به اندازه‌ای باشد که موجب افزایش مساحت مورد نیاز و در نتیجه افزایش مقدار کابل، زیرساخت و هزینه‌های اجرای پروژه شود [۲۷]. برای تعیین فاصله بهینه بین پانل‌ها، D ، سه پارامتر دیگر مورد نیاز است، H عرض پانل، برای آرایش عمودی H برابر با طول ضلع بزرگ‌تر پانل و در آرایش افقی برابر ضلع کوچک‌تر است. دو پارامتر دیگر یکی عبارت است از: زاویه نصب پانل نسبت به سطح افق θ ، و دیگری زاویه تابش خورشید α است. تعیین مقدار α از طریق منحنی‌های مسیر خورشید انجام می‌شود. در نهایت فاصله بین پانل‌ها از رابطه ۱ به دست می‌آید [۲۷ و ۲۸]:

$$D = \sin(\alpha + \theta) \times \frac{H}{\sin(\alpha)} \quad (1)$$

زاویه α در واقع زاویه ارتفاع خورشید نسبت به زمین است. این زاویه در عرض‌های جغرافیایی مختلف و فصل‌های مختلف سال متفاوت است. برای محاسبه آن مطابق شکل ۲ از منحنی‌های دوطرفه مسیر حرکت خورشید استفاده می‌شود. چنانچه مشخص است کمترین زاویه خورشید طی سال مربوط به اواخر ماه آذر و اوایل دی‌ماه، و بیشترین آن مربوط به خرداد است. با توجه به ابعاد و مشخصات جغرافیایی منطقه و همچنین مسیر خورشید در موقعیت مورد مطالعه، فاصله مناسب بین پانل‌ها حدود ۵/۶۰ متر به دست آمده است (جدول ۲). به منظور استفاده بهینه از فضا و افزایش توان خروجی در فرایند شبیه‌سازی، در هر آرایه دو پانل به صورت افقی قرار داده شده است.

جدول ۲. مشخصات موقعیت محل نصب برای تعیین فاصله بهینه بین پانل‌ها

مشخصه	مقدار
زاویه α	۴۱ درجه
زاویه θ	۲۶/۹ درجه
تعداد پانل در هر آرایه	۲
ارتفاع پانل H	۱۳۰۳ میلی‌متر

برای محاسبه تابش پخش از الگوریتم هافمن^۲ استفاده شده است که رابطه آن به شکل زیر است (رابطه ۲) [۲۸]:

$$E_{clear} = 0.78 E_{ext} \sin(\gamma_s)^{1.15} \quad (2)$$

که در آن γ_s ارتفاع خورشید، E_{ext} تابش فرازمینی است. با استفاده از الگوریتم هی و دیویس^۳ برای معادلات تابش سطح به دست می‌آید (رابطه ۳) [۲۹]:

$$A_i = \frac{DNI}{E_a} \quad (3)$$

که در آن DNI تابش مستقیم متعامد و E_a میزان تابش روی زمین است. متناسب با شرایط تابش پانل‌ها و مبدل‌هایی^۴ با توان خروجی متناسب و بهینه در شبیه‌سازی انتخاب شده است. مشخصات این پانل و مبدل‌ها متناسب با شرایط مورد نیاز و همچنین اقلیم منطقه و توان مورد نیاز است (جدول‌های ۳ و ۴).

1. Shading
2. Hoffmann
3. Hey & Davies
4. Inverter

جدول ۳. مشخصات فنی پانل به کاررفته در شبیه‌سازی [۲۵]

مشخصه فنی	کمیت/کیفیت مشخص شده
نوع سلول	تک کریستال
ولتاژ در MPP	۳۸ ولت
شدت جریان در MPP	۱۷٫۵ آمپر
کارایی	۲۱/۴۱ درصد
عملکرد سلول دو طرفه	۷۰ درصد
بیشینه ولتاژ	۱۵۰۰ ولت
ضریب پوشش	۷۸/۰۲ درصد
تعداد سلول‌های موجود در هر پانل	۱۳۲

جدول ۴. مشخصات فنی مبدل استفاده شده در شبیه‌سازی [۲۵]

مشخصه فنی	کمیت/کیفیت مشخص شده
توان خروجی اسمی DC	۴۰kW
بیشینه توان جریان DC	۵۵kW
ولتاژ اسمی DC	۸۶۰V
بیشینه ولتاژ ورودی	۱۱۰۰V
بیشینه شدت جریان ورودی	۷۴A
تعداد فاز	۳
توان AC	۴۰kW
مصرف تاریکی	۰٫۵W

بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام شده، در صورت ورود داده‌های مناسب و صحت‌گذاری شده، خروجی نرم‌افزار PVSOL دارای صحت مناسبی است و عدم قطعیت کمی نسبت به نتایج عملیاتی دارد [۳۰ و ۳۱].

به منظور یافتن حالت بهینه از لحاظ کمی و کیفی، و رسیدن به بهترین توان خروجی با کمترین هزینه ممکن، در شبیه‌سازی انجام شده، سه روش متفاوت جهت‌گیری پانل‌ها شامل جنوب‌سو^۱، شرق-غرب^۲ و مسطح^۳ بررسی شده است و نتایج با یکدیگر مقایسه شده‌اند. بر این اساس و متناظر با نحوه چیدمان پانل‌های خورشیدی، تعداد پانل‌ها و مبدل‌های^۴ مورد نیاز تغییر می‌یابد (جدول ۵). شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار برای هر یک از مخازن برای یک لایه پوششی پانل‌دار استفاده شده و برای استفاده بهینه از فضا این لایه به شکل مستطیل است. مساحت سطح پوشش پانل خورشیدی مخزن سد میناب ۱۱۰۹ متر مربع و مساحت سطح پوشش پانل خورشیدی مخزن سد جگین ۱۶۱۳ متر مربع در نظر گرفته شده است. علت اختلاف سطح مساحت در دو مخزن سدها، یافتن فضای بهینه در منطقه آرامش^۵ مخازن است.

جدول ۵. مساحت مؤثر برای نصب پانل‌های خورشید در وضعیت‌های متفاوت جهت‌گیری نصب

نوع جهت‌گیری پانل	تعداد پانل به کاررفته	تعداد مبدل	مساحت مؤثر سطح به کاررفته (m ²)
سد میناب جنوب‌سو	۱۹۲	۶	۵۹۶
سد میناب شرق-غرب	۲۶۰	۶	۸۰۷
سد میناب مسطح	۳۰۰	۳	۹۳۱
سد جگین جنوب‌سو	۳۲۶	۸	۱۰۱۲
سد جگین شرق-غرب	۴۵۰	۱۰	۱۳۹۷
سد جگین مسطح	۳۳۶	۴	۱۰۴۳

1. south-direction
2. Delta Wing
3. Flat
4. Inverters
5. Apron

۳.۲. محاسبه اثر کاهش تبخیری با به‌کارگیری پوشش پانل خورشیدی

استفاده از پوشش‌های لایه‌ای یکی از روش‌های متداول برای کاهش تبخیر در مخازن آب‌های سطحی است. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که استفاده از پوشش، حتی به صورت تک‌لایه از مواد آلی سبک، امکان کاهش ۸ درصد تبخیر نسبت به مخازن بدون پوشش را دارند [۳۲]. سدهای جگین و استقلال میناب منبع تأمین آب شرب و کشاوری مناطق استان هرمزگان هستند و با توجه به خشکسالی‌های پی‌درپی در چند سال اخیر میزان تبخیر آن‌ها اهمیت بسزایی یافته است، و مدیران به دنبال روش‌هایی برای کاهش میزان تبخیر از این مخازن هستند. در مناطق گرم و خشک و نیمه‌گرمسیری، مدیریت هدررفت آب یکی از عوامل مهم در این چالش است. به طور کلی محاسبه مستقیم تبخیر از سطح دریاچه و مخازن سدها به علت کمبود اطلاعات موجود چالشی سخت و مقادیر نهایی تقریبی است، که این میزان خطا و عدم قطعیت به روش محاسبه مربوط است [۳۳].

پوشش عموماً به شکل پیوسته و یا صفحات با اعداد مختلف و گسسته در کنار یکدیگر صورت می‌پذیرد. از آنجا که در پوشش فیزیکی تنها آسیب ممکن برای آب و سیال زیرین تأثیرات سایه‌اندازی و کاهش اکسیژن محلول به علت این اثر است، به‌کارگیری لایه‌های پوششی گسسته هم‌تراز محیط زیست کاربری بیشتری نسبت به پوشش پیوسته دارد [۳۴]. برای تخمین میزان آب تبخیرشده از دریاچه و مخازن روش‌های متفاوتی وجود دارد که عموماً این روش‌ها تجربی، و بر اساس پژوهش صورت پذیرفته بوده است. در این بین، به‌کارگیری روش تخمین بستگی به شرایط پژوهش و داده‌های میدانی موجود در مطالعه دارد [۳۵]. روش هامون^۱ برای تخمین تبخیر از سطوح باز یکی از روش‌های صحه‌گذاری شده و با دقت مناسب برای برآورد میزان تبخیر آب از مخازن و سدها است. در این روش ابتدا زاویهٔ میل تابش بر حسب رادیان محاسبه شده است (رابطهٔ ۴) [۳۶]:

$$\delta = 0.4093 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.405\right) \quad (4)$$

که در آن J روز ژولوسی^۲ است. مرحلهٔ بعدی محاسبهٔ زاویهٔ ساعت آفتاب^۳ است (رابطهٔ ۵) [۳۴]:

$$\omega = \arccos(-\tan \phi \tan \delta) \quad (5)$$

که در آن ω زاویهٔ ساعت طلوع بر حسب رادیان، ϕ عرض جغرافیایی موقعیت سد یا مخزن بر حسب درجه است. حال با استفاده از این داده‌ها بیشینهٔ ساعت‌های ممکن نور روز محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۶) [۳۶]:

$$D = \frac{24}{\pi} \omega \quad (6)$$

که در آن D بیشینهٔ مقدار ساعت طول روز است. پس از بررسی وضعیت جغرافیایی و نحوهٔ تابش خورشید، باید عوامل اقلیمی مؤثر در فرایند تبخیر بررسی شوند. فشار بخار اشباع‌شده با رابطهٔ ۷ است [۳۶]:

$$e_s = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27 T_a}{237.3 + T_a}\right) \quad (7)$$

که در آن e_s فشار بخار اشباع‌شده بر حسب کیلوپاسکال، و T_a میانگین دمای روزانه بر حسب سلسیوس است. دانسیتهٔ بخار اشباع‌شده^۴ از رابطهٔ گاز ایده‌آل به شکل رابطهٔ ۸ است [۳۶]:

$$SVD = 2166.74 \frac{e_s}{T_a} \quad (8)$$

که در آن SVD چگالی بخار اشباع‌شده بر حسب گرم بر متر مکعب و e_s فشار بخار اشباع‌شده بر حسب کیلوپاسکال، و T_a میانگین دمای روزانه بر حسب کلون است. رابطهٔ هامون برای تخمین میزان تبخیر مخزن و سد به شکل رابطهٔ ۹ به دست می‌آید [۳۶]:

$$E = 0.55 \left(\frac{D}{12}\right)^2 \left(\frac{SVD}{100}\right) \quad (9)$$

1. Hamon method
2. Julian Day
3. Sunset hour angle
4. Saturation Vapor Density(SVD)

که در آن E مقدار تبخیر برحسب اینچ در روز، D بیشینه مقدار ساعات نور روز، و SVD چگالی بخار اشباع شده بر حسب گرم بر متر مکعب است. ورود اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه تبخیر ماهیانه با وجود داده‌ها فراوان، به شکل دستی مشکل است، لذا با استفاده از برنامه‌متلب^۱ و برنامه‌نویسی در فایل متنی، کلیه داده‌ها به شکل یکپارچه و پیوسته به برنامه داده شده است و بر اساس خروجی برنامه‌متلب و رابط گرافیکی آن نتایج تحلیل شده است. داده‌های اقلیمی ۲۰ سال از ایستگاه‌های هواشناسی استان هرمزگان اخذ شده است.

بر اساس نتایج پژوهش‌های متفاوت در مورد اثر سایه‌اندازی و ایجاد لایه‌های پانل خورشیدی روی آب، میزان تبخیر بین ۸ تا ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت [۳۳-۳۶]. بر اساس محاسبات نرم‌افزار ArcGIS، کل مساحت سطح مؤثر سد مخزن استقلال میناب ۱۶۱۰ هکتار و مساحت سطح منطقه آرامش این سد ۱۹۵ هکتار است. در سد جگین مساحت مؤثر ۱۵۰۸ هکتار و مساحت منطقه آرامش ۲۴ هکتار است.

۳. نتایج

تحلیل و بررسی نتایج شبیه‌سازی نصب پانل‌های خورشیدی روی سدهای استقلال میناب و جگین نشان داده که شرایط اقلیمی منطقه دارای تابش مناسبی است. البته این تابش دو جنبه دارد، یکی موجب افزایش بهره‌توان خروجی پانل‌های خورشیدی، و از دیگر سو همین گستره زیاد و توان تابش زیاد خورشیدی موجب افزایش تبخیر آب در پشت سدها است. از آنجا که این تحقیق شامل چندین مبحث پیوسته است، یافته‌های این پژوهش در دو بخش مجزا بررسی شده است. ابتدا موارد مرتبط با تولید انرژی تجدیدپذیر بررسی شده، سپس محاسبات و تخمین میزان تبخیر و کاهش تبخیر ناشی از پوشش مورد بحث و بررسی قرار گرفته است [۳۷ و ۳۸].

وضعیت میانگین تابش در این مناطق نشان می‌دهد که از ساعت ۸ تا ۱۶ تابش برای اخذ انرژی از پانل‌های خورشیدی وضعیت بسیار مناسبی دارد و در این بازه زمانی بیشترین میزان بهره از پانل‌ها است. ۸ ساعت استفاده مفید از نور خورشید برای هر منطقه‌ای یک موهبت انکارناپذیر است که امکان استفاده بهینه برای تولید انرژی پاک را مهیا می‌سازد. به شکل کلی میانگین توان تابشی در منطقه جگین حدود ۱۰ درصد بیشتر از منطقه میناب است (شکل ۵). نکته درخور یادآوری در مورد منطقه جگین این موضوع است که در ماه‌های خرداد و تیر، از ساعت ۵ صبح امکان تولید انرژی خورشیدی، هر چند به میزان کم، وجود دارد، اما با همه این موارد باید دوباره متذکر شد، به همین میزان در روند رشد تبخیر آب نیز تأثیرگذار است. نصب پانل خورشیدی روی این مخزن به کاهش دمای پانل و همچنین دمای آب موجود در زیر پانل منجر خواهد شد (شکل ۶). روند این تغییرات دمایی متناسب با روند تغییر فصل‌ها است و در بیشتر فصل‌های سال به علت سایه‌اندازی پانل‌ها روی آب، دمای زیرین بین ۳ تا ۷ درجه نسبت به محیط اطراف کمتر برآورد است.

اطلاعات موجود در جدول ۶ نتایج میانگین برای یک سال است. استفاده از داده‌های ماهیانه برای پایش و برآورد و تعیین مقادیر بهینه الزامی و ضروری است. شکل ۷ میانگین ماهیانه توان تولیدی هر مجموعه پانل شناور نصب شده را نشان داده است. نسبت عملکرد^۲ پانل خورشیدی نشان‌دهنده مناسب بودن جهت‌گیری آرایه‌ها، چیدمان صحیح کابل‌کشی، دمای صفحات پانل و اثر سایه‌اندازی روی پانل است. با استفاده از این مقدار می‌توان از کارکرد پانل‌های خورشیدی اطمینان حاصل کرد. بر اساس نتایج داده‌های خروجی شبیه‌سازی، میانگین نسبت عملکرد برای پانل‌های خورشیدی شناور در سد جگین در همه سال بیش از ۸۰ درصد و در میناب ۹ ماه از سال حدود ۸۰ درصد و در سه ماه دیگر نیز بیش از ۷۰ درصد است که برای کارکرد نیروگاه‌های خورشیدی مقداری مناسب است (شکل ۸).

1. MATLAB
2. Performance Ratio (PR)

Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m²]

(الف) وضعیت توان تابشی میناب



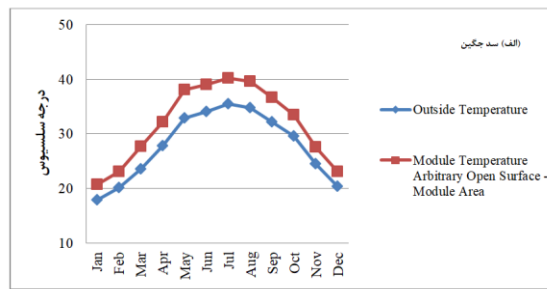
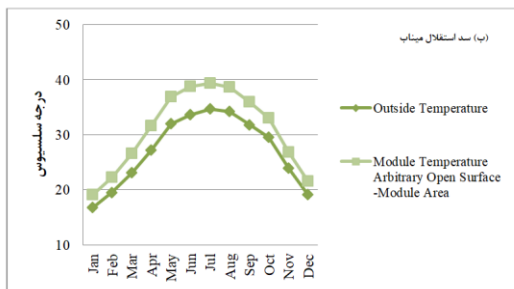
(ب) وضعیت توان تابشی جگین

Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m²]



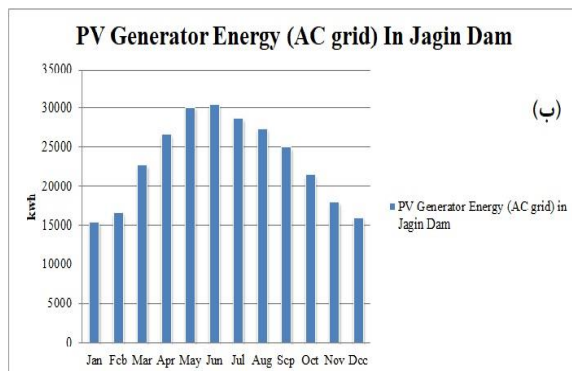
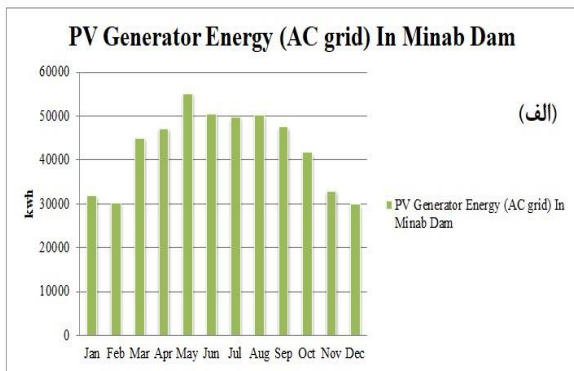
شکل ۵. میانگین توان تابشی روزانه در ماه‌های متفاوت سال در الف) سد استقلال میناب، ب) سد جگین [۲۵]



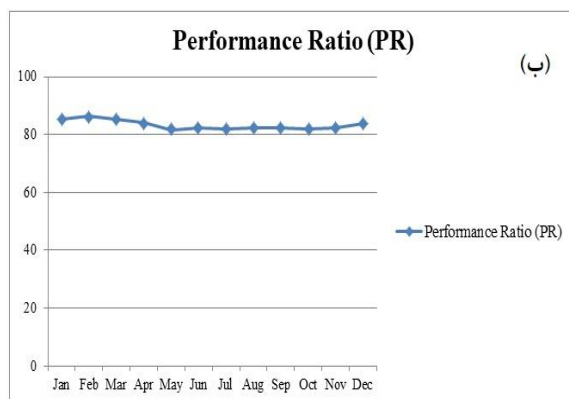
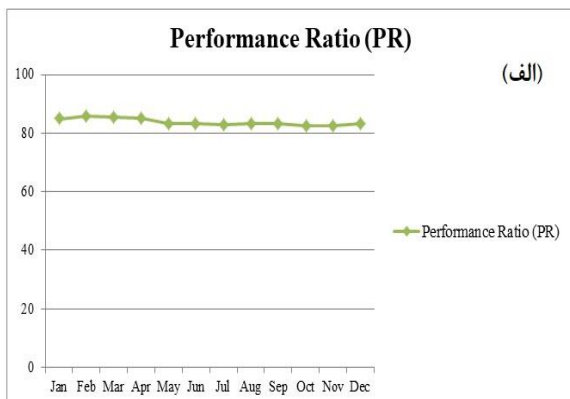
شکل ۶. روند دمای ماهیانه روی پانل‌ها و آب مخازن زیر پانل‌ها در الف) سد جگین، ب) سد استقلال میناب

جدول ۶. نسبت عملکرد، توان خروجی و انرژی تولیدی هر جهت‌گیری

نسبت عملکرد (%)	انرژی تولیدی (kwh/ year)	توان تولیدی (kw)	نحوه قرارگیری مجموعه پانل‌های شناور روی سکو
۷۸٫۳	۲۴۹۵۱۵	۱۷۴	سد میناب جنوب‌سو
۸۳٫۷	۲۷۸۵۲۰	۱۷۱٫۶	سد میناب شرق- غرب
۸۰٫۳	۳۱۴۰۷۸	۱۹۹٫۵	سد میناب مسطح
۸۰٫۸	۴۰۶۰۶۹	۲۱۶٫۸	سد جگین جنوب‌سو
۸۳٫۱	۵۱۱۶۶۹	۲۹۹٫۳	سد جگین شرق- غرب
۸۰٫۵	۳۷۴۳۱۲	۲۲۳٫۴	سد جگین مسطح



شکل ۷. روند زمانی انرژی الکتریکی تولیدی در الف) سد استقلال میناب، و ب) سد جگین



شکل ۸. نسبت عملکرد ماهیانه نیروگاه خورشیدی کوچک مقیاس شناور در الف) سد استقلال میناب، و ب) سد جگین

جدول ۷. میزان انرژی و توان الکتریکی تولیدی در صورت پوشش کل مساحت مخازن

تعداد مبدل	تعداد پانل به کاررفته	انرژی تولیدی (Gwh/year)	توان تولیدی (Mw)	نحوه قرارگیری مجموعه پانل‌های شناور روی سکو
۱۶۲۰۸۰۵	۵۱۸۶۵۷۷۲	۶۷۴۰۲	۴۷۰۰۳	سد میناب جنوب‌سو
۱۱۹۷۰۲۷	۵۱۸۷۱۲۸	۵۵۵۶۵	۳۴۲۳۴	سد میناب شرق-غرب
۵۱۸۷۶۷	۵۱۸۷۹۹۷۰	۵۴۳۱۴	۳۴۵۰۰	سد میناب مسطح
۱۱۹۲۰۹۵	۴۸۵۷۷۸۶۶	۶۰۵۰۹	۳۲۳۰۵	سد جگین جنوب‌سو
۱۰۷۹۴۵۶	۴۸۵۷۵۵۱۹	۵۵۲۳۲	۳۲۳۰۸	سد جگین شرق-غرب
۵۷۸۳۳۲	۴۸۵۷۹۸۶۶	۵۴۱۱۹	۳۲۲۹۹	سد جگین مسطح

جدول ۸. میزان انرژی و توان الکتریکی تولیدی در صورت پوشش منطقه آرامش

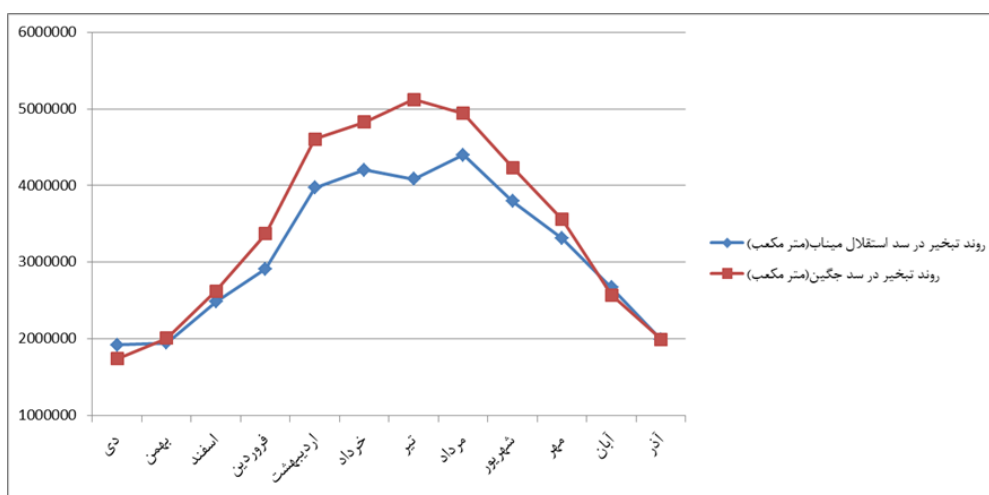
تعداد مبدل	تعداد پانل به کاررفته	انرژی تولیدی (Gwh/year)	توان تولیدی (Mw)	نحوه قرارگیری مجموعه پانل‌های شناور روی سکو
۱۹۶۳۰۹	۶۲۸۱۸۸۰	۸۱۶۳	۵۶۹۲	سد میناب جنوب‌سو
۱۴۴۹۸۲	۶۲۸۲۵۲۸	۶۷۳۰	۴۱۴۶	سد میناب شرق-غرب
۶۲۸۳۶	۶۲۸۳۵۶۷	۶۵۷۸	۴۱۷۸	سد میناب مسطح
۱۸۹۷۳	۷۷۳۱۲۳	۹۶۳	۵۱۴۱	سد جگین جنوب‌سو
۱۷۱۸۰	۷۷۳۰۸۶	۸۷۹	۵۱۴۱	سد جگین شرق-غرب
۹۲۰۵	۷۷۳۱۵۵	۸۶۱	۵۱۴۰	سد جگین مسطح

از آنجا که محاسبات انجام‌شده برای یک واحد نیروگاهی کوچک‌مقیاس خورشیدی و زیرساخت شناور آن انجام شده است، برای به دست آوردن میزان انرژی و توان تولیدی در حالت پوشش کل مساحت مؤثر و یا پوشش منطقه مؤثر، محاسبات مربوطه با در نظر گرفتن آثار سایه‌اندازی در بخش‌های متفاوت سطح و همچنین فاصله ایمن و زیرسازی مورد نیاز، پارامترهای انرژی کلی برای پوشش‌های نهایی محاسبه شده است (جدول‌های ۷ و ۸).

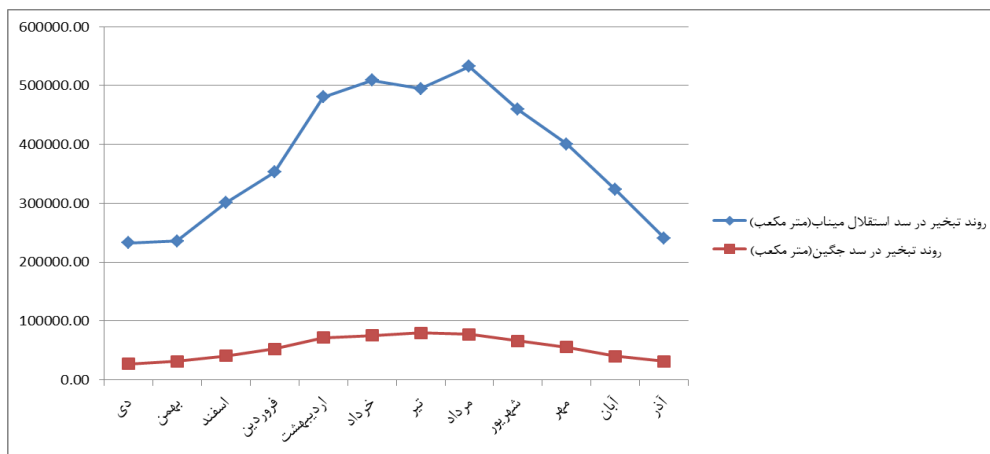
نتیجه این میزان از انرژی تولیدی و افزایش بهره‌وری سیستم پانل‌های خورشیدی جلوگیری از تبخیر آب وجود در مخازن با استفاده از اثر سایه‌اندازی، کاهش دمای سطح آب و جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید به سطح آب است. پس از آن، با استفاده از مساحت‌های محاسبه‌شده از اطلاعات جغرافیایی نرم‌افزار ArcGIS و همچنین روابط ۱ تا ۶، میزان تخمین تبخیر از سطح مخازن سطح‌ها در صورت قرار دادن پانل‌های خورشیدی محاسبه شده است (جدول ۹).

همان‌گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، بر اساس برآورد انجام‌شده از روش هامون، نصب پانل‌های خورشیدی شناور تأثیر مثبتی روی روند کاهش تبخیر داشته و حدود ۱ میلیون مترمکعب آب ذخیره شده و تبخیر نخواهند شد. این میزان در منطقه آرامش به مراتب کمتر است و مقدار تبخیر آن حدود یکصد هزار مترمکعب در سال است (شکل ۱۰). روند زمانی تبخیرها در کل سطح مخازن و مناطق آرامش در ماه‌های متفاوت سال، رابطه مستقیمی با روند تغییرات دمای محیطی و همچنین دمای آب زیر پانل‌های خورشیدی داشته است (شکل‌های ۹ و ۱۰).

مقایسه بین نتایج خروجی شبیه‌سازی انجام‌شده در این پژوهش با دیگر پژوهش‌های انجام‌شده در سایر نقاط کشور و در دیگر کشورها، نشان از نتایج مناسب در این پژوهش داشته و محاسبات میزان انرژی تولیدی خورشیدی و همچنین میزان تبخیر در این مناطق، بازده مناسب این روش نوین در جنوب کشور را نشان می‌دهد (جدول ۱۰). با توجه به شرایط متفاوت اقلیم‌های مورد مطالعه، تنها می‌توان در مورد میزان اثربخشی قرارگیری پانل‌های خورشیدی روی مخازن و همچنین ضریب عملکرد آن در سدهای میناب و جگین با دیگر موقعیت‌ها مقایسه انجام داد. نتایج جدول ۱۰ نشان می‌دهد شبیه‌سازی انجام‌شده در سدهای میناب و جگین دارای نسبت عملکرد مناسبی بوده و همسو با دیگر تحقیقات مشابه هستند. همچنین میزان اثربخشی این نوع نصب در افزایش کارایی توان خروجی در سدهای میناب و جگین ۳ درصد است که با مقادیر موجود در جدول ۱۰ انطباق مناسبی داشته است.



شکل ۹. برآورد میزان تبخیر آب ماهیانه از کل پوشش سدهای جگین و استقلال میناب



شکل ۱۰. برآورد میزان تبخیر آب ماهیانه از پوشش منطقه آرمش سدهای جگین و استقلال میناب

جدول ۹. میزان تخمین تبخیر قبل و پس از نصب پانل خورشیدی روی مخازن در هر سال

میزان تبخیر تخمینی از مساحت سطح مؤثر (m ³)	میزان تبخیر تخمینی از مساحت سطح آرمش (m ³)	میزان تبخیر تخمینی پس از نصب پانل خورشیدی بر مساحت مؤثر (m ³)	میزان تبخیر تخمینی از مساحت سطح مؤثر (m ³)	
۴۵۲۲۹۸۴	۵۴۷۲۶۹	۴۰۷۰۶۸۷	۴۹۲۵۴۳	سد استقلال میناب
۴۲۶۳۵۹۴	۶۶۴۴۰	۳۸۳۷۲۳۵	۵۹۷۹۶	سد جگین

جدول ۱۰. مقایسه عملکرد پانل‌های خورشیدی شناور

ردیف	موقعیت نصب پانل خورشیدی شناور	میزان افزایش انرژی تولیدی	میزان تأثیر بر کاهش تبخیر آب (متر مکعب در سال)	نسبت عملکرد
۱	سد تگوییّه- ایران	۲٫۶٪	۱۹۷۰۰۰۰	۷۲٪
۲	سد ۱۵ خرداد دلیجان- ایران	۲٪	۱۶۵۰۰	۸۱٪
۳	سد کارون ۴- ایران	۳٫۵٪	۷۰۰۰۰۰۰	۸۰٪
۴	جزیره کرت- یونان	۲٫۵۷٪	محاسبه نشده است	۷۳٪
۵	دریاچه ناصر- مصر	۲٫۷۴٪	۹۰۷۴۰۸۱۰۰۰	۸۰٪
۶	سد پاسانا- برزیل	۳٪	۲۶۹۰۰	۷۹٪

در مورد اثربخشی در کاهش میزان تبخیر، نمی‌توان اظهار نظر قطعی کرد، زیرا بسیاری از عوامل تأثیرگذار در این امر وابسته به شرایط اقلیمی مناطق است. اما همین شرایط اقلیمی منجر به افزایش نسبت عملکرد پانل‌های نصب‌شده در این مناطق نسبت به دیگر مناطق مورد پژوهش داشته، به شکلی که نسبت عملکرد در این مناطق در کل سال بیش از ۸۰ درصد بوده، که نسبت عملکرد مناسبی است.

۴. نتیجه‌گیری

اهمیت منابعی همانند آب و انرژی آینده هر کشور و تمدنی را تحت تأثیر قرار داده است و بر اساس پایش‌های جهانی عامل بحران در دهه آتی کشورهای منطقه خاورمیانه است. این موضوع نیز شاید به ظاهر در شرایط حاضر به صورت ملموس و آشکار تبدیل به یکی از چالش‌های عمده در این منطقه نشده باشد، اما با نگاهی به حوادث اخیر مرتبط با مبحث آب در دو حوزه حکمرانی داخلی و حکمرانی بین حکومت‌ها، به روشنی می‌توان دریافت که آب از مسائل چالش‌آفرین در سال‌های آتی و به‌یقین یک دهه پیش‌روی کشور خواهد بود. رخداد نارضایتی‌های داخلی و نیز اختلافات ناپیدا، اما جاری میان ایران و سایر کشورهای همسایه، از مصادیق بارز چالش‌زا بودن موضوع آب در ابعاد حکمرانی داخلی و میان حکومت‌ها است. استفاده از نتایج شبیه‌سازی

و انطباق مناسب نتایج خروجی نرم‌افزار PVSol در کمتر پژوهش مشابهی صورت پذیرفته است. القای اثر رطوبت و کاهش دما در این پژوهش به عنوان یک فرایند نوین می‌تواند در دیگر پروژه‌های تحقیقاتی مشابه مورد استفاده قرار داده شود. استفاده چندگانه از پانل خورشیدی به عنوان پوشش مخزن، به ارتقای بهره‌وری فرایند و کاهش هزینه‌های سربار منجر خواهد شد. این فرایند نوعی رویه برد- برد است که مزایای چندگانه و فرایند اجتماعی زیادی خواهد داشت.

نتایج پژوهش انجام‌شده نشان داده است نصب این پانل‌ها، شاید در کل سطوح مخازن امکان‌پذیر و به‌صرفه نباشد، اما در مناطق آرامش سدهای استقلال میناب و جگین تأثیر زیادی در کاهش تبخیر آب خواهد داشت. امکان جلوگیری از تبخیر یکصد هزار متر مکعب آب شرب و تولید برق هم‌زمان بیش از ۵Gw در سد جگین و بیش از ۴Gw در سد استقلال میناب، یک پروژه اقتصادی چندمنظوره است. شرایط اقلیمی و موقعیت تابش خورشید در منطقه جگین منجر به افزایش بهره‌وری خروجی پانل‌های خورشیدی شناور نسبت به پانل‌های شبیه‌سازی شده در سد استقلال داشته است. همچنین خروجی شبیه‌سازی نشان داده است که نحوه چیدمان مسطح در هر دو سد جگین و استقلال از لحاظ مالی و انرژی الکتریکی تولیدی نسبت به هزینه انجام‌شده به‌صرفه‌تر هستند.

۵. فهرست علائم

علائم یونانی	پانل خورشیدی شناور	FPV
زاویه تابش خورشید (درجه)	هزینه تراشده انرژی	LOCE
زاویه نصب پانل نسبت به افق (درجه)	تابش عمودی مستقیم (kw/m^2)	DNI
ارتفاع خورشید	فاصله بین پانل‌های خورشیدی (m)	D
زاویه میل تابش خورشید (درجه)	تبخیر (in/day)	E
زاویه ساعت طلوع خورشید (درجه)	عرض پانل (m)	H
عرض جغرافیایی (درجه)	تابش فرازمینی (kw/m^2)	E_{ext}
	تابش زمینی (kw/m^2)	E_{a}
	نقطه حداکثر توان	MPP
	روز ژولیوسی	J
	دما (کلوین)	T_{a}
	فشار اشباع شده (kPa)	e_{s}
	چگالی بخار اشباع شده (gr/m^3)	SDV

منابع

- [1] Zarezadeh M. Estimation of Sustainable Energy Supply in Bandar Abbas Industrial Estate No. 2 Using Solar Panel Installed on the Roof of the Building. *Journal of Sustainable Energy Systems*. 2023; 2(2):167-181. DOI:10.22059/ses.2024.369849.1047.
- [2] Zarezadeh M. Investigating the Installation of Solar Panels in Reducing the Evaporation of Water in Canals. *Journal of Water and Wastewater*. 2024; 34(6):58-68. DOI: 10.22093/wwj.2023.382886.3317.
- [3] López M, Rodríguez N, Iglesias G. Combined Floating Offshore Wind and Solar PV. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020; Vol. 8, No. 8, pp. 576-596. DOI:10.3390/jmse8080576.
- [4] Cuce E, Cuce P M, Tugin B. Impact of humidity on current parameters of solar cells. *JOURNAL OF ENERGY SYSTEMS*. 2018; 2(3): 84-96. DOI: 10.30521/jes.441643.
- [5] Kazem H A, Chaichan M T. Effect of Humidity on Photovoltaic Performance Based on Experimental Study. *International Journal of applied Engineering Research*. 2015; 10(23):43572-43577.
- [6] Sukarso A P, Kim K N. Cooling Effect on the Floating Solar PV: Performance and Economic Analysis on the Case of West Java Province in Indonesia. *Energies*. 2020; 13: 2123. doi:10.3390/en13092126
- [7] Goswami A. Effect of Humidity on the Generation Capacity of Floating Solar Photovoltaic System, *Jordan Journal of Electrical Engineering*. 2023;9(1):31-41.
- [8] Kaplanis S, Kaplani E, Kaldellis J K. PV Temperature Prediction Incorporating the Effect of Humidity and Cooling Due to Seawater Flow and Evaporation on Modules Simulating Floating PV Conditions. *Energies*. 2023; 16:4756. <https://doi.org/10.3390/en16124756>.
- [9] Kamuyu W Ch L, Lim J R, Won Ch S, Ahn H K. Prediction Model of Photovoltaic Module Temperature for Power Performance of Floating PVs. *Energies*. 2018; Vol. 11, No. 2, pp. 447-460. DOI:10.3390/en11020447.
- [10] Santafe M R, Gisbert P S F, Romero F J S, Soler J B T, Gozalvez J J F, Gisbert C M F. Implementation of a photovoltaic floating cover for irrigation reservoirs. *Journal of cleaner production*, 2014; Vol. 66, pp.568-570. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.006>.
- [11] Zarezadeh M. Feasibility Construction of a 4 MW PV Power Plant to Provide Sustainable Electricity to Bandar Abbas Industrial Estate. *Journal of Solar Energy Research*, 2023; Vol. 8, No. 1, pp. 1250-1263. DOI:10.22059/jsr.2022.349199.1256
- [12] Tina G M, Rosa-Clot M, Rosa-Clot P, Cazzaniga R. Geographic and technical floating photovoltaic potential. *Thermal Science*, 2018; Vol. 22, pp. 831-841. <https://doi.org/10.2298/TSCII170929017T>.
- [13] Zubair M, Ghuffar S, Butt A D, Awan A B. Analysis and Selection Criteria of Lakes and Dams of Pakistan for Floating Photovoltaic Capabilities. *Journal of Solar Energy Engineering*, 2019; Vol. 142, No. 3, pp.1-12. DOI:10.1115/1.4045352.
- [14] Sadeghi S, Vahidi H. Using Floating Photovoltaics, Electrolyser and Fuel Cell to Decrease the Peak Load and Reduce Water Surface Evaporation. *Environmental Energy and Economic Research*. 2020; Vol. 4, No. 2, pp. 83-96. <https://doi.org/10.22097/eeer.2020.195314.1099>.
- [15] Azami S, Vahdaty M, Torabi F. Theoretical analysis of reservoir-based floating photovoltaic plant for 15-khordad dam in Delijan, *Energy Equipment System*, Vol. 5, No. 2, pp. 211-218, 2017.
- [16] Al-Widyan M, Khasawneh M, MAbu-Dalo M. Potential of Floating Photovoltaic Technology and Their Effects on Energy Output, Water Quality and Supply in Jordan. *Energies*. 2021; Vol. 14, No. 24, pp. 1-13. DOI: 10.3390/en14248417.
- [17] Dos Santos F R, Wiecheteck G K, Filho J S V, Carranza G A, Chambers T L, Fekih A. Effects of a Floating Photovoltaic System on the Water Evaporation Rate in the Passaúna Reservoir, Brazil. *Energies*. 2022; Vol. 15, No. 17, pp. 1-16. DOI: 10.3390/en15176274.
- [18] Abdelgaied M, Kabeel A E, Zelenakova M, Elhamid H F A. Floating Photovoltaic Plants as an Effective Option to Reduce Water Evaporation in Water-Stressed Regions and Produce Electricity: A Case Study of Lake Nasser, Egypt. *Water*. 2023; Vol. 15, No. 4, pp. 1-13. DOI: 10.3390/w15040635.
- [19] Vourdoubas J. Estimation of Solar Electricity Generation from Floating Photovoltaics Installed in Water Dams in the Island of Crete, Greece. *European Journal of Environment and Earth Sciences*. 2023; Vol. 4, No. 1, pp. 27-33. <https://doi.org/10.24018/ejgeo.2023.4.1.376>.
- [20] Pour Asghariyan A, Sisipour M, Aragizadeh M. Monitoring the phenomenon of drought in Hormozgan province (case study: Bandar Abbas). in 3rd International Conference on Integrated Natural Disaster Management. 2008, Tehran, Iran. (in Persian)
- [21] Sadeghi Z, Hori H R, Safinataj M. Economic Comparison of Persian Gulf Water Desalination by Renewable Energy and Fossil Fuel. *Journal of Environmental and Natural Resource Economics*. 2018; Vol. 2, No. 2, pp. 143-171.(in Persian)
- [22] Jozi S A, Hosseini L, Dehghani A. Study of Environmental Impact of Minab Esteghlal Dam in Operation Phase Using a Combination of Modified and ICOLD Methods. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2016; Vol. 18, No. 3, pp-129-141.

- [24] Asadi M, Jabbari I, Hesadi H. Evaluation and Assessment of Capability of Hydrograph Model of Instantaneous Geomorphology Unit in Simulating Flood Hydrograph of Minab River Basin. *Geography and Development*. 2022; Vol. 20, No. 68, pp. 116-137. <https://doi.org/10.22111/gdij10.22111.2022.7005>.
- [25] Pron G, Rezazadeh M. Climatic classification of Hormozgan province based on Litin scan method. *Physical Geography Quarterly*. 2019; Vol. 12, No. 46, pp-14-20. (in Persian)
- [26] Available from: <https://globalsolaratlas.info/>.
- [27] Mehrabi H. Analysis of the sun path and its relationship with the Azimuth and tilt of the panel and shade in solar systems. Forth national conference on applied of novel technologies in engineering science. 2016; Torbat Heydarie University, Iran. (in Persian)
- [28] George A M. *Utility Scale Solar Power Plants (a guide for developers and investors)*, First Edition, India, International Finance Corporation, World Bank Group, 2012.
- [29] Hofmann M, Seckmeyer G. A New Model for Estimating the Diffuse Fraction of Solar Irradiance for Photovoltaic System Simulations. *Energies*. 2017; Vol. 10, pp. 248-260.
- [30] Hofmann M, Seckmeyer G. Influence of Various Irradiance Models and Their Combination on Simulation Results of Photovoltaic Systems. *Energies*. 2017; Vol. 10, pp. 1495-1510.
- [31] Babaei M, Abu Tarabi Zarchi A. Investigating the accuracy of PVSOL software in estimating the amount of solar energy production using practical data. 33rd International Electricity Conference. Tehran, Iran, 2017. (in Persian)
- [32] Axaopoulos P J, Fylladitakis E D, Gkarakis K. Accuracy analysis of software for the estimation and planning of photovoltaic installations. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 2014; Vol. 5, No. 1, pp. 1-7. DOI:10.1186/2251-6832-5-1.
- [33] Salehi S, Niksokhan S M H, Ardestani M. EFFECT OF USING MONOLAYER COVERS ON EVAPORATION RATE IN DAM RESERVOIRS EFFECT OF USING MONOLAYER COVERS ON EVAPORATION RATE IN DAM RESERVOIRS. *Sharif Journal of Civil Engineering*. 2019; Vol. 35.2, No. 3.2, pp. 23-33.
- [34] Hassani A, Tajrishy M, Abrishamchi A. Comparison of Several evaporation models applied to the Reservoir of Saveh Dam. EWRI-AIT Conference on An International Perspective on Environmental and Water Resources. Pathumthani, Thailand, 2009.
- [35] Youssef Y, Khodzinskaya A. A Review of Evaporation Reduction Methods from Water Surfaces. E3S Web of Conferences. Milan, Italy, February 13-15. 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199705044>.
- [36] Hojjati E, Mahtabi Gh, Taran F, Kisi O. Estimating evaporation from reservoirs using energy budget and empirical methods: Alavian Dam reservoir, NW Iran. *Italian Journal of Agrometeorology*. 2020; Vol: 2, pp. 19-34, DOI:10.13128/ijam-1033.
- [37] Harwell G R. *Estimation of Evaporation from Open Water—A Review of Selected Studies. Summary of U.S. Army Corps of Engineers Data Collection and Methods, and Evaluation of Two Methods for Estimation of Evaporation from Five Reservoirs in Texas: Prepared in cooperation with the U.S. Army Corps of Engineers, Fort Worth District*. 2015.
- [38] Zarezadeh M. Modeling the Required Energy Supply in the Frozan Area of Bandar Abbas Using Solar Panels Installed On the Roofs of Buildings. *Journal of Sustainable Energy Systems*. 2023; 2(3):215-235. 10.22059/ses.2024.372473.1051.