The University of Tehran Press

Journal of Sustainable Energy Systems

Online ISSN: 2980-8693

Home Page: https://ses.ut.ac.ir

Idea generation and examination of environmental challenges of floating solar photovoltaic power plants on wetlands and its economic advantage for local communities

Mohammad Ali Allah Rabbi Shirazi

Master of Energy Systems Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran. Email: aliallahrabbi@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 23 July 2023
Revised 23 September 2023
Accepted 23 October 2023
Published Online 08 August 2024

Keywords:
Floating Solar Photovoltaic Power Plant,
Wetland,
Environmental Challenges,
PVsyst,
Maharlu Wetland.

ABSTRACT

This article deals with floating solar photovoltaic power plants on wetlands and examines their environmental challenges and economic benefits for local communities. Due to the world's move towards renewable energy due to the negative effects of fossil fuels, FPV systems are presented as a suitable solution for areas with land constraints. FPV technology involves floating solar panels on water with a cooling effect, increasing productivity and reducing land use. This paper examines the advantages and disadvantages of implementing FPV on wetlands, including reduced water evaporation and algal growth, along with challenges such as equipment corrosion and impact on aquatic ecosystems. In addition, the current study examines the economic implications for local communities and emphasizes job creation, skills development and economic stimulation through local industries and services. Despite the environmental concerns of the plan, such as disruption of aquatic habitats and possible loss of biodiversity, strategic planning and necessary actions can address these issues. This paper emphasizes the benefits of FPV systems in promoting clean energy and supporting local economies, and suggests the need for further research to optimize their integration into sensitive wetland ecosystems. At the end, a case study was carried out on the Maharlu wetland of Fars province for the proposed idea that with only 8.33% of the total area of the Maharlu wetland, a floating solar power plant with a nominal capacity of 10.03 MW can be set up.

Cite this article: Allah Rabbi Shirazi, M. A. (2024). Idea generation and examination of environmental challenges of floating solar photovoltaic power plants on wetlands and its economic advantage for local communities. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 3 (1), 39-51. DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.377595.1070

© Mohammad Ali Allah Rabbi Shirazi **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.377595.1070

Introduction

Emerging and developing countries have gradually increased their energy production capacity to promote industrialization and economic development. Most of the electricity production is done using fossil fuels, which results in large amounts of greenhouse gases and other environmental and health threats. The importance of energy and environmental issues leads human societies to research and use new and clean methods for energy production. As a result, the solar power plant is one of the cleanest and best methods of electricity generation, and a lot of research should be done to increase its efficiency. Floating solar power plants are among these power plants that can be more efficient by using water cooling. Considering the very important and undeniable role of wetlands in the world as well as the environmental and economic effect of FPVs, it is possible to combine these two and propose a floating solar power plant on the wetland. Due to the cooling effect of water, the floating solar power plant produces more electricity than other non-floating systems because the decrease in the temperature of the

solar panel has a direct effect on increasing the efficiency of the system. Also, by creating a shadow on the surface of the water, it reduces the evaporation of water and the growth of algae.

Conclusion

In this article, the idea generation and possible challenges of the floating solar power plant on the wetlands were discussed. One of the new solutions in this field is the use of floating photovoltaic systems, which can also be used in wetlands. The most important application and development of the floating solar power plant on the wetlands can be considered as reducing the unnecessary evaporation of water and increasing the efficiency of the electricity generation system by FPV. Also, this plan helps to increase land productivity and reduce harmful water algae. FPVs on wetlands not only have significant benefits in terms of environmental and energy efficiency, but also economically they can have positive effects on local communities. Creating multiple job opportunities, developing technical skills, strengthening the local economy, reducing dependence on external resources, and improving social welfare are among the benefits of these projects that can contribute to the sustainability and economic development of local communities. Also, the study of the plan on the Maharlu wetland in Fars province showed that 8.33% of the total area of the wetland can be used to set up a floating solar power plant and reach a capacity of more than 10 MW. Along with zero or little damage to the animal and plant environment and achieving the main goals, i.e. using water to cool the system and prevent evaporation of the wetland by shading. Considering these advantages, supporting the development of floating solar power plants can be considered as one of the effective solutions to achieve the goals of sustainable development and increase social welfare.

انتشارات دانشگاه تهران

فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: https://ses.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰

ایده‌پردازی و بررسی چالش‌های زیست‌محیطی نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی شناور بر روی تالاب‌ها و مزیت اقتصادی آن بر جوامع محلی

محمدعلی الهربی شیرازی

کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: aliallahrabbi@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۵/۱۸

کلیدواژه:
نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی شناور،
تالاب،
چالش‌های زیست‌محیطی،
پی‌وی سیست،
تالاب مهارلو.

چکیده

این مقاله به نیروگاه‌های فتوولتائیک خورشیدی شناور[1]، Floating photovoltaics، روی تالاب‌ها می‌پردازد و چالش‌های زیست‌محیطی و مزایای اقتصادی آن‌ها برای جوامع محلی را مورد بررسی قرار می‌دهد. با توجه به حرکت جهان به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل اثرات منفی سوخت‌های فسیلی، سیستم‌های FPV به عنوان یک راه‌حل مناسب برای مناطق با محدودیت‌های زمینی ارائه می‌شوند. فناوری FPV، شامل شناور کردن پنل‌های خورشیدی روی آب با اثر خنک‌کنندگی، بهره‌وری را افزایش داده و استفاده از زمین را کاهش می‌دهد. این مقاله مزایا و معایب اجرای FPV روی تالاب‌ها را بررسی می‌کند، از جمله کاهش تبخیر آب و رشد جلبک‌ها، به همراه چالش‌هایی نظیر خوردگی تجهیزات و تأثیر بر اکوسیستم‌های آبی. علاوه بر این، مطالعهٔ حاضر به بررسی پیامدهای اقتصادی برای جوامع محلی می‌پردازد و بر ایجاد شغل، توسعهٔ مهارت‌ها و تحریک اقتصادی از طریق صنایع و خدمات محلی تأکید دارد. با وجود نگرانی‌های زیست‌محیطی این طرح، مانند اختلال در زیستگاه‌های آبی و کاهش احتمالی تنوع زیستی، برنامه‌ریزی استراتژیک و اقدامات ضروری می‌تواند این مسائل را برطرف کند. این مقاله بر مزایای سیستم‌های FPV در ترویج انرژی پاک و حمایت از اقتصادهای محلی تأکید می‌کند و نیاز به تحقیقات بیشتر برای بهینه‌سازی ادغام آن‌ها در اکوسیستم‌های حساس تالاب‌ها را مطرح می‌سازد. در انتها یک مطالعهٔ موردی روی تالاب مهارلو استان فارس برای ایدهٔ مطرح‌شده، انجام شد که با تنها ۸/۳۳ درصد از مساحت کل تالاب مهارلو، می‌توان نیروگاه خورشیدی شناور با ظرفیت اسمی ۱۰/۰۳ مگاوات راه‌اندازی کرد.

استناد: الهربی شیرازی ، محمدعلی. (۱۴۰۲). ایده‌پردازی و بررسی چالش‌های زیست‌محیطی نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی شناور بر روی تالاب‌ها و مزیت اقتصادی آن بر جوامع محلی. *فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار*، ۳ (۱) ۳۹-۵۱. DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.377595.1070

© محمدعلی الهربی شیرازی

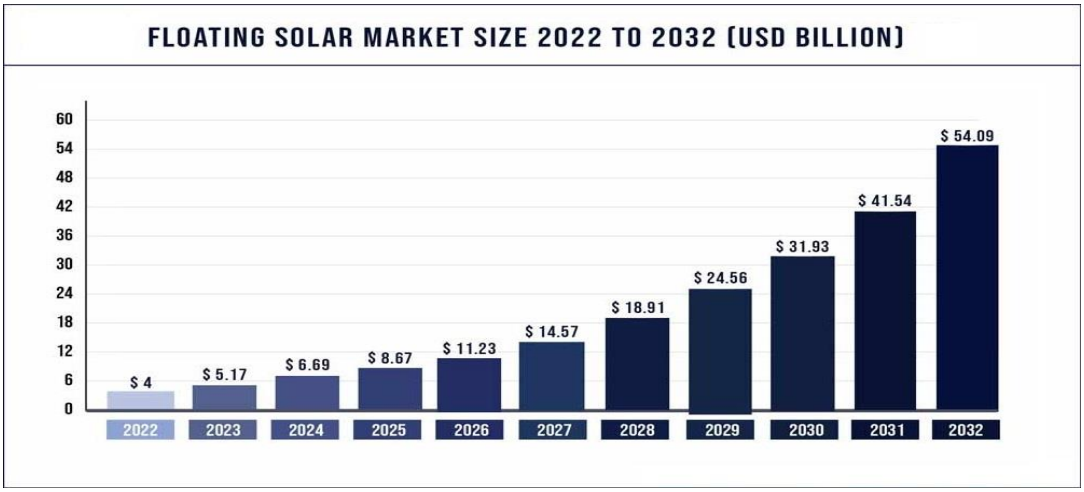
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.377595.1070

1. Floating photovoltaics(FPV)

مقدمه

انرژی، یک منبع استراتژیک برای امنیت ملی و بین‌المللی، توسعهٔ اقتصادی و رفاه است. کشورهای نوظهور و در حال توسعه به‌تدریج ظرفیت تولید انرژی خود را برای ارتقای صنعتی شدن و توسعهٔ اقتصادی افزایش داده‌اند. بیشتر تولید برق، با استفاده از سوخت‌های فسیلی انجام می‌شود که در نتیجه، مقادیر زیادی گازهای گلخانه‌ای و سایر تهدیدهای زیست‌محیطی و بهداشتی را به همراه دارد. اهمیت انرژی و مسائل زیست‌محیطی، جوامع انسانی را به سمت تحقیق و به‌کارگیری روش‌های نوین و پاک برای تولید انرژی سوق می‌دهد. مصرف بی‌رویه انرژی‌های تجدیدناپذیر به دلیل خطرات و آسیب‌های زیست‌محیطی که دارند، در سال‌های اخیر باعث رشد سریع انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر جهان شده‌اند، انرژی خورشیدی به دلیل دسترسی خوب و پایداری از امیدوارکننده‌ترین جایگزین‌های منابع انرژی تجدیدناپذیر در نظر گرفته می‌شود. انرژی خورشیدی به طور رایگان در سراسر جهان در دسترس است [۱]. رایج‌ترین راه برای استفاده از انرژی خورشیدی از طریق سیستم فتوولتائیک[1] است. ماژول‌های فتوولتائیک، photovoltaics، از کارآمدترین و پایدارترین فناوری‌ها در زمینهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. با این‌حال، در بسیاری از کشورها، منابع زمینی محدود هستند و نمی‌توان سیستم‌های خورشیدی را در مقیاس‌های بزرگ به کار گرفت. علاوه بر آن، پشت‌بام ساختمان‌های مسکونی، تجاری و صنعتی، کاربرد قابل توجهی برای نصب پنل‌های خورشیدی ندارند. به همین‌دلیل، توجه‌ها به سمت سیستم‌های فتوولتائیک شناور جلب شده است، چرا که راه‌حل اکولوژیکی[2] خوبی به نظر می‌رسند [۲].

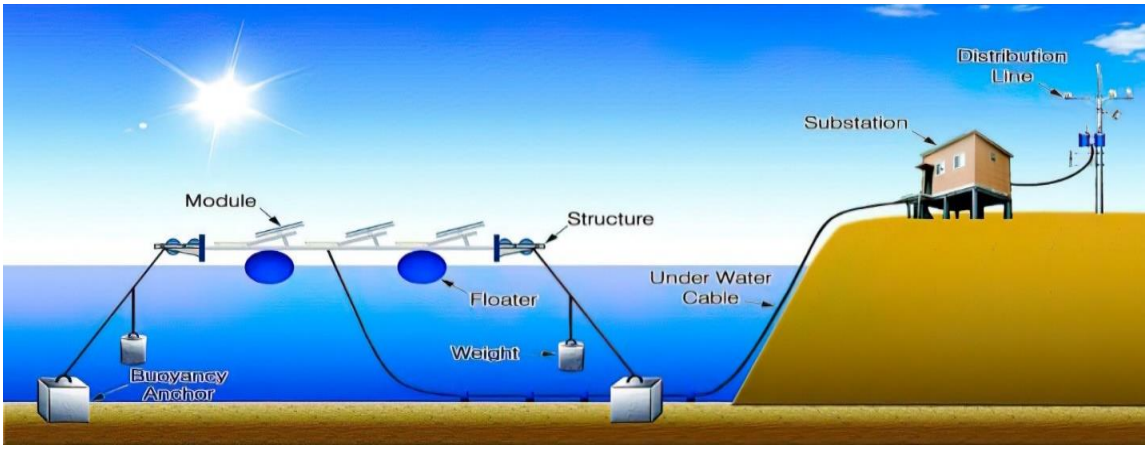
نیروگاه‌های خورشیدی روی سطح زمین یا پشت‌بام ساختمان‌ها قرار می‌گیرند، اما نیروگاه خورشیدی شناور، یکی از انواع این سیستم‌ها روی سطح آب هستند که روزبه‌روز به راه‌اندازی آن‌ها افزوده می‌شود. این نیروگاه‌ها روی سطوح آب به حالت شناور قرار دارند و با دریافت تابش خورشید، به تولید جریان و انرژی می‌پردازند. کشورهای زیادی در دنیا با مشکل کمبود زمین مواجه هستند و فضای کافی برای نصب انرژی خورشیدی ندارند. جزایری مانند ژاپن، کره، سنگاپور و فیلیپین را می‌توان از جمله آن‌ها نام برد. اما منابع آبی زیادی در نقاط مختلف جهان وجود دارد که استفاده از آن‌ها می‌تواند باعث صرفه‌جویی و کاهش هزینه‌های مکانی و عملیاتی شود [۳]. فناوری FPV، یک فناوری جدید است. FPV در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی در بخش اقتصادی تجربه کرده و در آینده نیز تجربه خواهد کرد. طبق گزارش‌های منتشرشده Precedence Statistics در سال ۲۰۲۳، اندازهٔ بازار جهانی سیستم خورشیدی شناور در سال ۲۰۲۲، حدود ۴ میلیارد دلار آمریکا بوده است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۲ به ۵۴/۰۹ میلیارد دلار برسد و با نرخ رشد سالانه ۲۹/۸ درصد رشد کند. شکل ۱ پیش‌بینی اندازهٔ این بازار تا سال ۲۰۳۲ را نشان می‌دهد.



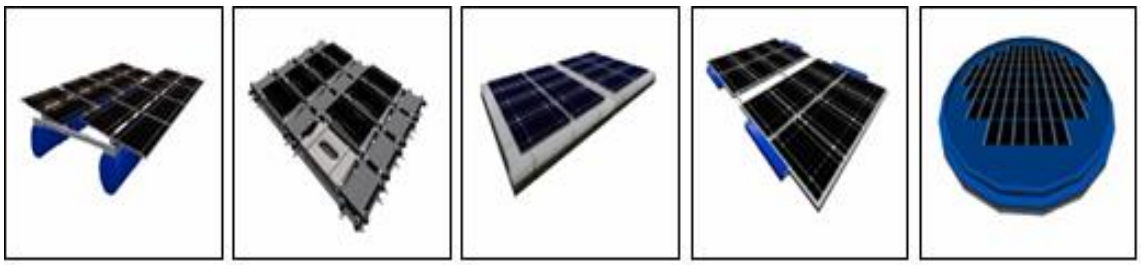
شکل ۱. پیش‌بینی اندازهٔ بازار جهانی سیستم خورشیدی شناور [۴]

1. Photovoltaic systems
2. Ecological

اهمیت و کاربرد این نوع از فناوری با توجه به مزایایی که دارد در حال پیشرفت است. ساختار اصلی FPV به طور کلی از دو جزء اصلی تشکیل شده است [۵ و ۶]: (الف) پنل‌های PV با اجزای الکتریکی کمکی خود، و (ب) ساختار بدنه شامل شناورها، سیستم‌های پهلوگیری، مواد ضد آب و نیروی شناور. پنل‌های PV به مجموعه‌ای از شناورهای به‌هم‌پیوسته متصل می‌شوند. این شناورها معمولاً از مواد سبک وزنی مانند پلی‌اتیلن، غشاهای هیدروالاستیک، فوم پلی‌استایرن، فروسمنت‌ها یا پلاستیک‌های تقویت‌شده با الیاف ساخته می‌شوند. در همین حال، کابل‌های الکتریکی مورد استفاده در FPV معمولاً با پلی‌اورتان یا لاستیک ترموست روکش شده‌اند، زیرا در برابر آب مقاوم هستند. در نهایت از بسترهای لاستیکی برای پوشش سازه استفاده می‌شود [۷ و ۸]. با بیانی دقیق‌تر، سیستم فتوولتائیک خورشیدی شناور، چهار بخش دارد که عبارت‌اند از: سیستم شناور، سیستم مورینگ[1]، کابل‌های زیر آب و سیستم فتوولتائیک. طرح کلی یک سیستم فتوولتائیک شناور را در شکل ۲ می‌توان مشاهده کرد.



شکل ۲. سیستم فتوولتائیک خورشیدی شناور [۹]



شکل ۳. پنج نوع ساختار معمولی از سیستم‌های FPV [۱۰]

هدف و نوآوری

مقالهٔ حاضر، به ایده‌پردازی نیروگاه خورشیدی شناور روی تالاب‌ها با رویکرد اقتصادی و محیط زیستی و بررسی چالش‌های موجود، می‌پردازد. از مزایای کلی نیروگاه خورشیدی شناور روی سطوح آب مواردی بیان شد. در ادامه، به اهمیت این امر روی محیط زیست تالاب و دستاورد مالی و رفاهی بر جوامع محلی پرداخته خواهد شد. همچنین یک مطالعهٔ موردی روی تالاب مهارلو استان فارس، با نرم‌افزار PVsyst انجام می‌شود. طراحی نیروگاه روی تالاب و امکان‌سنجی آن به همراه ارزیابی‌های مورد نظر، از جمله اقدامات انجام‌شده در این بخش است.

نوآوری این پژوهش به ایدهٔ مطرح‌شده، FPV روی تالاب، مربوط می‌شود و همچنین مطالعهٔ اثرات زیست‌محیطی و مزیت اقتصادی این طرح، که تا به حال بررسی و مورد پژوهش قرار نگرفته است. به طور کلی این نوآوری نه تنها به توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک می‌کند، بلکه مزایایی برای حفاظت از محیط زیست و مدیریت منابع آبی نیز به همراه دارد.

1. Mooring

پیشینهٔ پژوهش

فناوری فتوولتائیک خورشیدی، تاریخچه‌ای تقریباً ۱۰۰ ساله دارد؛ اما عمر فناوری FPV به حدود ۱۵ سال می‌رسد. مطالعات گوناگونی روی FPVها انجام شده، اما مستقیم با عنوان FPVها روی تالاب‌ها، مطالعه‌ای انجام نشده یا بسیار کم است.

اولین سیستم FPV، در منطقهٔ ناپا ولی ایالت کالیفرنیا نصب شد. در همان سال، در ژاپن، فرانسه، و هند هم سیستم‌های مشابه اما آزمایشی نصب شدند. مدیران یک کارخانهٔ تولید نوشیدنی تصمیم گرفتند ۱۰۰۰ پنل خورشیدی را روی یک حوضچهٔ آبیاری درختان قرار دهند [۱۱].

اپوکوثر و همکاران [۱۲] به طراحی یک نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی برای یک تالاب در بنگلادش پرداختند. برای این کار حدود ۱۲۳ هکتار از تالاب استفاده شد که فاصلهٔ ۲/۳۵ متری بین هر دو ردیف نصب پنل خورشیدی مجاور را حفظ کند. در کنار تولید برق، فضای زیر پنل‌های خورشیدی موجود در تالاب، به عنوان پناهگاه دائمی برای حفظ گونه‌های بومی ماهی در نظر گرفته شد.

اکسلی و همکاران [۱۳] FPVهای مختلف برای نشان دادن تغییرات سرعت باد و تابش خورشید بر ساختار حرارتی دریاچه شبیه‌سازی کردند. تغییرات دینامیک حرارتی می‌تواند به طور چشمگیری فرایندهای بیوژئوشیمیایی را تغییر دهد. همچنین، بررسی کردند که طراحی سیستم و تنوع پوشش سطح FPV، قادر به کاهش اثرات تغییر آب‌وهوا روی سطح آب بوده و یا به‌عکس، اثرات منفی بر اکوسیستم‌های آبی دارد.

آلمیدا و همکاران [۱۴] یافتند که اگر کانادا فقط حدود ۵ درصد از سطح مخازن را با FPV پوشش دهد، برای برآوردن نیازهای انرژی خورشیدی خود کافی است.

گریپو و همکاران [۱۵] اثرات بالقوه، کاهش و نیازهای تحقیقاتی توسعهٔ انرژی خورشیدی در مقیاس کاربردی را روی زیستگاه‌های آبی و جوامع بیولوژیکی مرتبط، با تأکید ویژه بر آب‌های متناوب، جریان خشک فصلی، به‌ویژه در زمان‌های بارندگی کم یا گرمای زیاد و آب‌های زودگذر بررسی کردند.

کوسیوچ و همکاران [۱۶] مطالعات پایش مرگ‌ومیر پرندگان را در ۱۰ سیستم خورشیدی شناور طی ۱۳ سال در کالیفرنیا و نوادا ترکیب کردند. آن‌ها تنوعی را در توزیع راسته‌ها و گونه‌های پرندگان در میان و در مناطق حفاظت‌شدهٔ پرندگان پیدا کردند و دریافتند که در ۹۰ درصد سال در منطقهٔ حفاظت‌شده، از پرندگان صحرای سونوران و موژو وجود دارند. آن‌ها دریافتند که علت مرگ‌ومیر را نمی‌توان برای حدود ۶۱ درصد از لاشه‌های دست‌نخورده تعیین کرد.

کوک و همکاران [۱۷] رواناب را در شرایط قبل و بعد از نصب پنل برای تعیین اثرات هیدرولوژیکی نیروگاه خورشیدی شبیه‌سازی کردند. مدل‌سازی آن‌ها نشان داد پنل‌ها تأثیر قابل توجهی بر حجم رواناب، قله‌ها یا زمان رسیدن به اوج ندارند. با این‌حال، اگر سطح زیر پنل‌ها سنگریزه یا خالی باشد، دبی اوج ممکن است با مدیریت آب طوفان به طور قابل توجهی افزایش یابد.

ساهو و همکاران [۱۸] در تحقیقی به مطالعه در خصوص نیروگاه‌های تولید الکتریسیته پرداختند و تمرکز اصلی را روی نیروگاه‌های فتوولتائیک شناور قرار دادند. ابتدا، یک طبقه‌بندی برای سیستم‌های فتوولتائیک شناور جهت نوع نصب ارائه کردند. در نتایج به‌دست‌آمده به طور متوسط راندمان پنل‌های خورشیدی از نوع شناور ۱۱ درصد بیشتر از پنل‌های خورشیدی نصب‌شده روی زمین بیان شد.

روزا کلوتا و همکاران [۱۹] در تحقیقی نیروگاهای فتوولتائیک شناور و حوضچه‌های فاضلاب را در پروژهٔ استرالیایی‌ها مورد بررسی قرار دادند و در نتیجه‌گیری‌شان علاوه بر تولید انرژی، کاهش بسیار زیادی در نرخ تبخیر آب به دست آوردند. مقدار ۱۵ هزار تا ۲۵ هزار متر مکعب صرفه‌جویی در آب ازای هر مگاوات پنل ثبت شد.

همان‌طور که مشاهده شد، مقالاتی با محوریت نیروگاه خورشیدی شناور به شکل گسترده‌ای منتشر شده است و روزبه‌روز به محبوبیت آن افزوده می‌شود، اما به‌جز چندین مورد محدود، به نیروگاه خورشیدی روی تالاب‌ها پرداخته نشده است. در نتیجه، این ایده در کنار مزایا و معایب متنوع و بررسی‌های سطحی اقتصادی که در ادامه بیان می‌شود، طرح نوینی است که در بخش‌های مختلف آن می‌تواند تحقیقات نظری و عملی مفیدی انجام شود.

مزایا و معایب طرح FPV روی تالاب‌ها

تالاب‌ها اکوسیستم‌های منحصربه‌فرد و مولد هستند که زیستگاه‌های خشکی و آبی در آن به هم متصل هستند. آن‌ها نقش مهمی در حفظ بسیاری از چرخه‌های طبیعی ایفا می‌کنند، خدمات اکوسیستمی عظیمی را ارائه می‌دهند و همچنین، از طیف گسترده‌ای از تنوع زیستی پشتیبانی می‌کنند. در میان اکوسیستم‌های مختلف، تالاب یکی از اکوسیستم‌های مهم است، اما به‌شدت نادیده گرفته می‌شود. آن‌ها همچنین جزء برترین ذخایر کربن زمین هستند و حفظ آن‌ها می‌تواند به کاهش گرمایش جهانی کمک کند. مقدار آب منابع زیرزمینی و سیل و خشکسالی را کنترل و آلودگی آورده‌شده توسط رودخانه‌ها را خنثی می‌کنند، بنابراین به عنوان کلیه‌های زمین[1] شناخته می‌شوند [۲۰]. اکنون با توجه به نقش بسیار مهم و انکارناپذیر تالاب‌ها در کرهٔ زمین و همچنین، اثر زیست‌محیطی و اقتصادی FPVها، می‌توان این دو را ترکیب و نیروگاه خورشیدی شناور روی تالاب را مطرح کرد. نیروگاه خورشیدی شناور به دلیل اثر خنک‌کنندگی آب، برق بیشتری نسبت به سایر سیستم‌های غیرشناور تولید می‌کند، زیرا کاهش دمای پنل خورشیدی در افزایش کارایی سیستم، تأثیر مستقیم دارد. همچنین، با ایجاد سایه روی سطح آب، تبخیر آب و رشد جلبک‌ها را کاهش می‌دهد. سازه‌های شناور می‌توانند قابل بازیافت باشند. غالباً از پلی‌اتیلن با چگالی بالا ساخته می‌شوند که می‌تواند در برابر اشعهٔ ماوراء بنفش و خوردگی مقاومت کنند. یکی از معایب مهم FPVها فرسایش و خوردگی بخش شناور سازهٔ آن‌ها در محیط خورنده آبی است که با استفاده از مواد مقاوم در برابر خوردگی می‌توان تا حدی خوردگی را تعویق انداخت. این ایده مزایا و معایب گوناگونی دارد که در جدول ۱ بیان شده است.

جدول ۱. مزایا و معایب طرح FPV روی تالاب‌ها

معایب	مزایا
خوردگی تجهیزات و قابلیت اطمینان کم	کاهش تبخیر آب
نصب و نگهداری نسبتاً دشوار	افزایش بهره‌وری زمین
نیاز به تجهیزات آبی اضافی	کارایی بالاتر نسبت به سیستم غیرشناور
اختلال در رشد گیاهان آبی مفید	کاهش رشد جلبک
	اشتغال‌زایی برای جوامع محلی
	تولید انرژی پاک

اشتغال‌زایی و تأثیرات اقتصادی FPV روی تالاب‌ها بر جوامع محلی

نیروگاه‌های خورشیدی شناور، به عنوان یکی از روش‌های نوآورانهٔ تولید انرژی تجدیدپذیر، نه تنها از نظر زیست‌محیطی و بهره‌وری انرژی مزایای قابل توجهی دارند، بلکه می‌توانند تأثیرات اقتصادی مثبتی بر جوامع محلی داشته باشند. ایجاد اشتغال، توسعهٔ مهارت‌های فنی، و تقویت اقتصاد محلی از جمله مزایای این پروژه‌ها هستند که می‌توانند به بهبود کیفیت زندگی و پایداری اقتصادی جوامع محلی کمک کنند. در این بخش، به بررسی جامع این تأثیرات پرداخته خواهد شد.

۱. نصب و راه‌اندازی: فرصتی برای اشتغال‌زایی و توسعهٔ مهارت‌ها

نصب و راه‌اندازی نیروگاه‌های خورشیدی شناور، فرایندی پیچیده و چندمرحله‌ای است که به تخصص‌های مختلفی نیاز دارد. این پروژه‌ها از ابتدا تا انتها به نیروی کار ماهر در زمینه‌های متعددی نیاز دارند. در مراحل ابتدایی، مطالعات زیست‌محیطی و زمین‌شناسی برای ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی و تعیین بهترین مکان‌ها برای نصب نیروگاه انجام می‌شود. سپس، مهندسان و طراحان به طراحی سازه‌های شناور و سیستم‌های پشتیبان می‌پردازند. مراحل ساخت‌وساز و نصب نیز شامل مونتاژ و نصب پنل‌های خورشیدی، سازه‌های شناور، و سیستم‌های الکتریکی می‌شود که نیازمند تخصص‌های مختلف در زمینهٔ مهندسی انرژی، برق و مکانیک است. این فرایندها به طور مستقیم فرصت‌های شغلی متعددی را ایجاد می‌کنند و نیروی کار محلی را به کار می‌گیرند. این موضوع به‌ویژه در مناطقی که با نرخ بیکاری بالا مواجه هستند، می‌تواند تأثیرات اقتصادی قابل توجهی داشته باشد.

1. Kidneys of the Earth

با توجه به گزارش‌های متعدد، هر پروژهٔ نیروگاه خورشیدی می‌تواند صدها شغل مستقیم و غیرمستقیم ایجاد کند، که شامل مهندسان و متخصصان مختلف می‌شود.

۲. نگهداری و تعمیرات: اشتغال پایدار و توسعهٔ مهارت‌های فنی

پس از نصب و راه‌اندازی، نیروگاه‌های خورشیدی شناور به نگهداری و تعمیرات دوره‌ای نیاز دارند تا به بهره‌وری بالا و عمر طولانی دست یابند. این شامل تعمیر و تعویض پنل‌های آسیب‌دیده یا معیوب، بازرسی و نگهداری سازه‌های شناور، و مدیریت سیستم‌های الکتریکی است. نیاز مداوم به تعمیر و نگهداری، اشتغال پایدار و بلندمدت را برای نیروی کار محلی فراهم می‌کند. علاوه بر این، با اجرای چنین پروژه‌هایی، فرصتی برای آموزش و توسعهٔ مهارت‌های فنی در جامعهٔ محلی فراهم می‌شود. برگزاری دوره‌های آموزشی و کارگاه‌های فنی می‌تواند به ارتقای سطح مهارت‌های نیروی کار محلی کمک کند و تخصص‌های جدیدی را به جامعه وارد کند. این موضوع نه تنها به بهبود کیفیت کار و افزایش بهره‌وری نیروگاه منجر می‌شود، بلکه می‌تواند فرصت‌های شغلی بیشتری را در آینده ایجاد کند.

۳. تأثیرات اقتصادی گسترده: تقویت اقتصاد محلی

ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی شناور می‌تواند تأثیرات اقتصادی گسترده‌تری نیز داشته باشد. این پروژه‌ها باعث افزایش فعالیت‌های اقتصادی مرتبط در منطقه می‌شوند. به عنوان مثال، حمل‌ونقل تجهیزات و مواد مورد نیاز برای ساخت و نگهداری نیروگاه، فرصت‌های شغلی جدیدی را در بخش‌های حمل‌ونقل و لجستیک[1] ایجاد می‌کند. همچنین، ارائهٔ خدمات جانبی مانند تأمین غذا، مسکن، و خدمات رفاهی برای بازرسان و متخصصان مهمان پروژه نیز می‌تواند به رشد اقتصادی محلی کمک کند. از سوی دیگر، صنایع محلی که مواد اولیه و قطعات مورد نیاز برای نیروگاه‌ها را تأمین می‌کنند، می‌توانند از این پروژه‌ها بهره‌مند شوند. افزایش تقاضا برای محصولات و خدمات محلی، به رشد و توسعهٔ این صنایع کمک می‌کند و اقتصاد منطقه را تقویت می‌کند.

۴. کاهش وابستگی به منابع خارجی و افزایش امنیت انرژی

تولید انرژی پاک و پایدار در منطقه می‌تواند وابستگی به واردات انرژی را کاهش دهد و بر امنیت انرژی بیفزاید. با تولید محلی انرژی خورشیدی، هزینه‌های واردات سوخت‌های فسیلی کاهش می‌یابد و بودجه‌ای که معمولاً صرف واردات انرژی می‌شود، می‌تواند به توسعهٔ زیرساخت‌های محلی و بهبود خدمات عمومی اختصاص یابد. این موضوع به نوبهٔ خود می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی و رفاه اجتماعی جوامع محلی منجر شود. این مورد در ایران به علت وجود منابع انرژی فراوان و ارزان، کمتر مورد توجه است، اما استقلال یک کشور با پشتوانهٔ محکم‌تر، همیشه مورد توجه سیاستمداران مربوطه بوده است.

۵. تأثیرات مثبت بر رفاه اجتماعی

ایجاد اشتغال و افزایش درآمد افراد و خانواده‌ها، تأثیرات مثبتی بر رفاه اجتماعی دارد. با بهبود وضعیت اقتصادی خانوارها، امکان دسترسی به خدمات بهداشتی، آموزشی، و رفاهی بهبود می‌یابد. این موضوع به‌ویژه در مناطق روستایی و کم‌برخوردار که با مشکلات اقتصادی و اجتماعی مواجه هستند، می‌تواند نقش مهمی در بهبود کیفیت زندگی ایفا کند.

این طرح دارای چالش‌هایی نیز است که باید بررسی و در جهت حل آن قدم‌هایی برداشت. چالش‌هایی که در اجرای این طرح، به میزان کم یا زیاد ممکن است وجود داشته باشد.

چالش‌های اساسی و احتمالی FPV روی تالاب‌ها

نصب و راه‌اندازی FPVها روی تالاب‌ها باید از دیدهای مختلف بررسی و تحلیل شود. این سیستم در کنار مزایای خوبی که دارد. ممکن است به تالاب یا محیط زیست مجاور آسیب وارد کند.

1. Logistics

اثرات منفی بر موجودات تالاب، یکی از این موارد است. به عنوان مثال، تابش دریافتی از سطح آب و در نتیجه، فتوسنتز فیتوپلانکتون‌ها و گیاهان آبزی را کاهش می‌دهد. کاهش فتوسنتز بر جریان سیستم و گونه‌های تالاب تأثیر منفی می‌گذارد [۲۱]. پنل‌های FPV، غلظت اکسیژن محلول در آب را کاهش می‌دهند و در نتیجه، تولید ماهی کاهش می‌یابد [۲۲]. در میان گونه‌های متکی به تالاب‌ها، پرندگان آبی به تغییرات محیطی حساس هستند و ممکن است بلافاصله به سیستم‌های FPV پاسخ دهند. بررسی اثرات سیستم‌های FPV بر جوامع پرندگان آبی ممکن است پیامدهای مهمی برای حفاظت از پرندگان آبی و توسعهٔ پایدار فناوری FPV ارائه دهد. با این‌وجود، تأثیر توسعهٔ سیستم خورشیدی شناور بر تنوع زیستی هنوز به طور گسترده مستند نشده است و معمولاً به صورت موردی بررسی می‌شوند [۱۶]. مطالعهٔ بلندمدتی در مورد اینکه چگونه توسعهٔ نیروگاه خورشیدی بر تالاب‌ها یا توانایی یک تالاب برای حمایت از تنوع زیستی تأثیر می‌گذارد، وجود ندارد. از دست دادن مستقیم زیستگاه و تکه‌تکه شدن سطح آب، سازهٔ نیروگاه و خطوط انتقال مورد نیاز برای انتقال برق به شبکه، ممکن است بر تنوع زیستی تأثیر بگذارد [۲۳]. حامد و همکاران [۲۴] اشاره کردند که تأثیر مستقیم بر تنوع زیستی ممکن است ناچیز باشد، زیرا زیرساخت‌های انرژی خورشیدی در مقیاس بزرگ ممکن است که حرکت و همچنین، مهاجرت فصلی حیات وحش را مسدود کند. درجهٔ تأثیر بستگی به اندازه، مکان و زیرساخت مرتبط با توسعهٔ انرژی خورشیدی دارد. فاز ساخت‌وساز توسعهٔ انرژی خورشیدی ممکن است تأثیر عمیقی بر توانایی یک تالاب برای حمایت از تنوع زیستی داشته باشد. به عنوان مثال، ساخت‌وساز می‌تواند نیاز به حذف پوشش گیاهی و معرفی گونه‌های مهاجم داشته باشد [۲۵]. در مناطق تالاب با پوشش درختی زیاد، توسعهٔ انرژی خورشیدی ممکن است نیاز به حذف پوشش گیاهی بلندی داشته باشد که می‌تواند پنل‌های خورشیدی را تحت‌الشعاع قرار دهد. این خطر از دست دادن مستقیم و غیرمستقیم تنوع زیستی را به دنبال دارد، زیرا به طور مستقیم گونه‌های گیاهی و زیستگاه را حذف می‌کند و می‌تواند به فرسایش و رسوب‌گذاری منجر شود که باعث تغییر زیستگاه می‌شود. این نشان می‌دهد طراحی زیرساخت خورشیدی شامل طرح و محوطه‌سازی، تأثیر زیادی بر تأثیر توسعهٔ انرژی خورشیدی بر تنوع اکولوژیکی و سلامت تالاب دارد. اقدامات کاهشی می‌تواند شامل نیاز به فاصلهٔ بیشتر بین پنل‌ها، پایه‌های بلندتر برای سازه و اندازه‌های کوچک‌تر پنل باشد تا نور خورشید بیشتر به آب برسد. هر چند که هدف ایده برای جلوگیری از تبخیر آب تالاب و خطر زیست‌محیطی ناشی از آن نباید فراموش شود. پرندگان اغلب بر اثر برخورد با زیرساخت‌های ساخته‌شده دچار آسیب می‌شوند. با این‌حال، داده‌های بررسی‌شده کمی وجود دارد که نشان می‌دهد توسعهٔ انرژی خورشیدی نسبت به سایر انواع زیرساخت‌ها تأثیر بیشتری بر پرندگان دارد. پرندگان ممکن است پنل‌های خورشیدی را با دریاچه‌ها اشتباه بگیرند و باعث مرگ‌ومیر، سرگردانی یا آسیب شوند. این نظریه پس از مشاهدات از یک مرکز توسعه یافته، اما ثابت نشده است [۲۶]. سیاست‌گذاری تالاب آلبرتا در ۲۰۱۳ بیان کرد که تالاب‌ها با ذخیره رواناب[1] و کاهش سرعت انتشار آن در پایین‌دست به کاهش سیل و فرسایش خاک کمک می‌کنند. آن‌ها به عنوان مناطق تغذیه و تخلیهٔ آب‌های زیرزمینی مهم هستند و منابع آب در زمان خشکسالی هستند. اثر اصلی هیدرولوژی از توسعهٔ انرژی خورشیدی می‌تواند ناشی از فرسایش و رسوب‌گذاری و افزایش سرعت و حجم رواناب باشد. از آنجا که صفحات خورشیدی یک سطح نفوذناپذیر هستند، بسته به پیکربندی آن‌ها، ممکن است به مشکلاتی با افزایش حجم و سرعت رواناب آب منجر شوند. راهکارهایی جهت حل این مشکل وجود دارد از جمله فاصلهٔ مناسب بین پنل‌ها، قرار دادن FPV در شیب‌های مسطح یا تدریجی، حفظ پوشش گیاهی زیرزمینی و استفاده از کنترل‌هایی مانند نرده‌های گل‌ولای[2] [۲۷].

مطالعهٔ موردی، طراحی و تحلیل یک FPV روی تالاب مهارلو

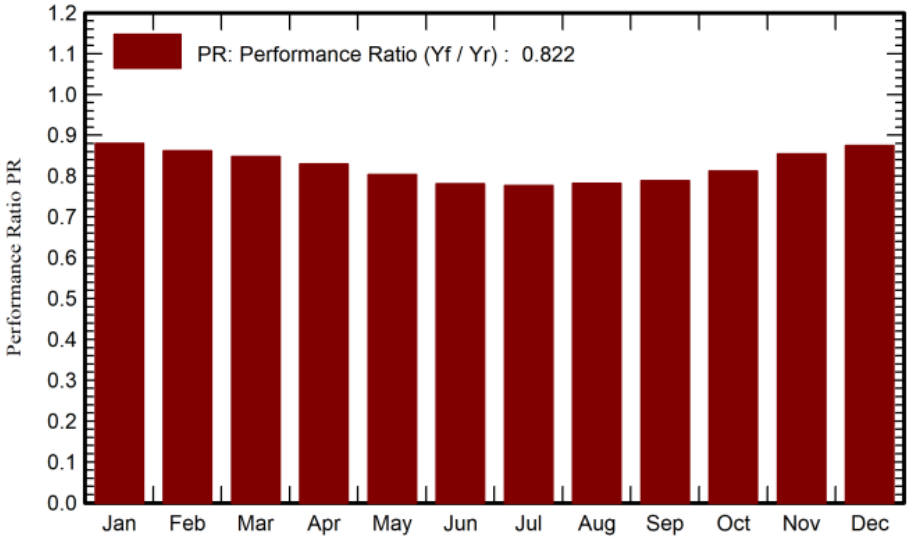
دریاچهٔ مهارلو به عنوان یک تالاب مهم برای پرندگان مهاجر محسوب می‌شود که در استان فارس ایران واقع شده است. این تالاب یکی از دریاچه‌های نمکی و فصلی این منطقه به شمار می‌آید. به دلیل ویژگی‌های طبیعی و زیست‌محیطی خود، اهمیت زیادی دارد. مهارلو با وسعت حدود ۶۰ هکتار، در فصل‌های مختلف سال تغییراتی را در سطح و حجم آب تجربه می‌کند. گونه‌های مختلفی از پرندگان مانند فلامینگوها در فصل‌های مهاجرت به این منطقه می‌آیند و در اطراف دریاچه به جست‌وجوی

1. Runoff
2. Silt fences

غذا می‌پردازند. در سال‌های اخیر، به دلیل تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی، سطح آب تالاب کاهش یافته و در برخی موارد خشکسالی شدید موجب خشک شدن بخشی از تالاب شده است. این امر تأثیرات منفی بر اکوسیستم منطقه و زندگی جانوری داشته است.

آب شور این تالاب و داشتن اهمیت اقتصادی و زیست‌محیطی مهم در جنوب شرق شهر شیراز از دلایل انتخاب جهت مطالعه بوده است. آب شور به علت چگالی بیشتر نسبت به آب شیرین، یک مزیت مهم برای قرارگیری بهتر سازهٔ FPV محسوب می‌شود و باعث می‌شود سازهٔ نیروگاه با سهولت بیشتری روی سطح آب شناور شود.

با استفاده از نرم‌افزار پی‌وی سیست[1]، یک نیروگاه خورشیدی شناور روی ۵ هکتار، ۸/۳۳ درصد مساحت کل، از سطح تالاب مهارلو طراحی شد. ظرفیت اسمی این نیروگاه با توجه به نوع پنل فتوولتائیک و اینورتر انتخابی و همچنین، شیب تقریبی ۳۰ درجه نسبت به سطح افق، مقدار ۱۰/۰۳ مگاوات به دست آمده است. این نیروگاه سالانه ۲۱۷۱۷/۸۳ مگاوات‌ساعت در سال، انرژی الکتریسیته تولید می‌کند. شکل ۴ نرخ عملکرد[2] این سیستم را برای ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. نرخ عملکرد به صورت انرژی خروجی واقعی نسبت به حداکثر انرژی خروجی تئوری سیستم تعریف می‌شود. این مقدار برای این نیروگاه، سالانه ۸۲/۲ درصد است.



شکل ٤. نرخ عملکرد سیستم طراحی‌شده با نرم‌افزار PVsyst

در این طراحی از پنل بینگلی سولار و اینورتر هواوی موجود در بازار ایران استفاده شده است. همچنین، سازهٔ پلاستیکی یا فومی سبک‌وزن، اتصالات ضد آب و سیستم مورینگ در ایران به شکل تجاری وجود دارند. از آنجا که توانایی فنی طراحی و راه‌اندازی این نیروگاه توسط مهندسان و کاردان‌های فنی داخلی وجود دارد، امکان‌سنجی این طرح در شرایط خوبی قرار می‌گیرد.

این نیروگاه با ظرفیت ۱۰/۰۳ مگاواتی به اندازهٔ ۰/۹۶ درصد نیروگاه سیکل ترکیبی فارس، توان تولید برق دارد. بنابراین، با راه‌اندازی نیروگاه خورشیدی شناور روی تالاب‌های دیگر استان فارس و حتی ایران، می‌توان بخشی از برق تولیدی سالانهٔ منطقهٔ مورد نظر را از طریق انرژی پاک و بهره بردن از مزایای مطرح‌شده، تأمین کرد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی ایده‌پردازی و چالش‌های احتمالی نیروگاه خورشیدی شناور روی تالاب‌ها پرداخته شد. با توجه به اهمیت انرژی در امنیت ملی و توسعهٔ اقتصادی، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی، اهمیت بیشتری پیدا کرده

1. PVsyst
2. Performance Ratio(PR)

است. یکی از راهکارهای نوین در این زمینه، استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک شناور است که می‌تواند در تالاب‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد. مهم‌ترین کاربرد و توسعهٔ نیروگاه خورشیدی شناور روی تالاب‌ها را می‌توان کاهش تبخیر بی‌رویهٔ آب و افزایش راندمان سیستم تولید انرژی الکتریسیته توسط FPV دانست. همچنین، این طرح به افزایش بهره‌وری زمین و کاهش جلبک‌های مضر آب کمک شایانی می‌کند. FPVها روی تالاب‌ها نه تنها از نظر زیست‌محیطی و بهره‌وری انرژی دارای مزایای قابل توجهی هستند، بلکه از نظر اقتصادی نیز می‌توانند تأثیرات مثبتی بر جوامع محلی داشته باشند. ایجاد فرصت‌های شغلی متعدد، توسعهٔ مهارت‌های فنی، تقویت اقتصاد محلی، کاهش وابستگی به منابع خارجی، و بهبود رفاه اجتماعی از جمله مزایای این پروژه‌ها هستند که می‌توانند به پایداری و توسعهٔ اقتصادی جوامع محلی کمک کنند. همچنین، مطالعه طرح روی تالاب مهارلو استان فارس، نشان داد می‌توان از ۸/۳۳ درصد از مساحت کل تالاب، برای راه‌اندازی نیروگاه خورشیدی شناور استفاده کرد و به ظرفیت بیش از ۱۰ مگاوات رسید. همراه با آسیب صفر یا کم به محیط جانوری و گیاهی و رسیدن به اهداف اصلی یعنی استفاده از آب جهت خنک‌سازی سیستم و جلوگیری از تبخیر تالاب با سایه‌اندازی. با توجه به این مزایا، حمایت از توسعهٔ نیروگاه‌های خورشیدی شناور می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در جهت دستیابی به اهداف توسعهٔ پایدار و افزایش رفاه اجتماعی محسوب شود.

منابع

[1].Arun Kumar V, Rashmitha M, Naresh B, Bangararaju J, Rajagopal V. Performance analysis of different photovoltaic technologies. In: Proceedings of the 2013 international conference on advanced electronic systems (ICAES), 978-14799–1441-8/13/$31.00 ©2013 IEEE.

[2].Rahman MM, Hasanuzzaman M, Rahim NA. Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. Energy Convers Manag 2015;103:348–58. Alok Sahu, Neha Yadav, K. Sudhakar, Floating photovoltaic power plant: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 66, 2016, Pages 815-824, ISSN 1364-0321, https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051.

[3].Sahu Yashpal, Shahabuddin M, Pooja Agrawal. Floating solar photovoltaic system: an emerging technology. NSPCEP II, ISBN 978-93-84743-43-7©2015 Bonfiring.

[4].Floating Solar Market, Precedence Statistics, October 2023, https://www.precedenceresearch.com/floating-solar-market.

[5].Essak L, Ghosh A. Floating photovoltaics:A review. Clean Technol 2022;4(3):752–69.

[6].Badhoutiya A. Advancements in PV technology-floating photovoltaics. In: 2023 5th international conference on smart systems and inventive technology. ICSSIT, IEEE; 2023, p. 382–5.

[7].Li Z, Chen D, Feng X, Chen J-F. Hydroelastic analysis and structural design of a modular floating structure applying ultra-high performance fiber-reinforced concrete. Ocean Eng 2023;277:114266.

[8].Ravichandran N, Ravichandran N, Panneerselvam B. Review on the structural components of floating photovoltaic covering systems. Intelligent manufacturing and energy sustainability. Springer; 2022, p. 125–33.

[9].Choi, Young-Kwan. "A Study on Power Generation Analysis of Floating PV System Considering Environmental Impact." International Journal of Software Engineering and its Applications 8 (2014): 75-84.

[10]. Claus R, López M. Key issues in the design of floating photovoltaic structures for the marine environment. Renew Sustain Energy Rev 2022;112502.

[11]. Trapani K. and Redón Santafé M. (2015), A review of floating photovoltaic installations: 2007–2013. Prog. Photovolt: Res. Appl., 23: 524–532. doi: 10.1002/pip.2466.

[12]. Pu Kowsar, Sumon Chandra Debnath, Nawshad Haque, Md Saidul Islam, Firoz Alam; Design of a 100 MW solar power plant on wetland in Bangladesh. AIP Conf. Proc. 17 November 2022; 2681 (1): 020072. https://doi.org/10.1063/5.0114976.

[13]. G. Exley, A. Armstrong, T. Page, and I. D. Jones, "Floating photovoltaics could mitigate climate change impacts on water body temperature and stratification" Sol. Energy, vol. 219, no. March, pp. 24–33, 2021, doi: 10.1016/j.solener.2021.01.076.

[14]. R. M. Almeida et al., "Floating solar power: evaluate trade-offs," Nature, vol. 606, 2022.

[15]. M. Grippo, J. W. Hayse, and B. L. O'Connor, Solar Energy Development and Aquatic. Ecosystems in the Southwestern United States: Potential Impacts, Mitigation, and Research Needs" Environ. Manage., vol. 55, no. 1, pp. 244–256, 2015, doi: 10.1007/s00267-014-0384x.

[16]. Kosciuch, K., Riser-Espinoza, D., Gerringer, M., & Erickson, W. (2020). A summary of bird mortality at photovoltaic utility scale solar facilities in the Southwestern U.S. PLoS ONE, 15(4), 1–21. doi:10.1371/journal.pone.0232034.

[17]. L. M. Cook and R. H. McCuen, "Hydrologic Response of Solar Farms" J. Hydrol. Eng., vol. 18, no. 5, pp. 536–541, 2013, doi: 10.1061/(asce)he.1943-5584.0000530.

[18]. Sahu A, Yadav N, Sudhakar K. Floating photovoltaic power plant: A review. Renewable and sustainable energy reviews. 2016;66:815.

[19]. Rosa-Clot M, Tina GM, Nizetic S. Floating photovoltaic plants and wastewater basins: an Australian project. Energy Procedia. 2017;134:664-74.

[20]. Gojendro, Sadokpam & Ch, Basudha & Das, Sanjay & Bharti, Vidya & Peetambari, Ningthoujam & Bidyasagar, Sanjenbam & Meetei, Wakambam & Sharma, Phurailatpam. (2023). WETLANDS: IMPORTANCE AND CONSERVATION STRATEGY FOR THE LOOSING ECOSYSTEM. 3. 73 - 79.

[21]. J. Haas, J. Khalighi, A. de la Fuente, S.U. Gerbersdorf, W. Nowak, Po-Jung Chen, Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility, Energy Conversion and Management, Volume 206, 2020, 112414, ISSN 0196-8904, https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112414.

[22]. Pierre-Alexandre Château, Rainer F. Wunderlich, Teng-Wei Wang, Hong-Thih Lai, Che-Chun Chen, Fi-John Chang,Mathematical modeling suggests high potential for the deployment of floating photovoltaic on fish ponds, Science of The Total Environment, Volume 687, 2019, Pages 654-666, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.420.

[23]. Learned, K., & Kinas, H. (2017). A Jurisdictional Review: Wildlife and Wind Energy Development. Retrieved from www.rockies.ca.

[24]. US Department of Energy, "Solar Impacts on Wildlife and Ecosystems" no. November 2021.

[25]. Hamed, T. A., & Alshare, A. (2022). Environmental Impact of Solar and Wind energy A Review. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 10(2), 1–23. doi:10.13044/j.sdewes.d9.0387.

[26]. Exley, G., Hernandez, R. R., Page, T., Chipps, M., Gambro, S., Hersey, M., … Armstrong, A. (2021). Scientific and stakeholder evidence-based assessment: Ecosystem response to floating solar photovoltaics and implications for sustainability. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 152(September), 111639. doi:10.1016/j.rser.2021.111639.

[27]. Lebel, C. Y. (2020). Solar and Stormwater: Plan Better to Avoid Me. Natural Resources & Environment, 34(3), 50–52.