Construction Science and Technology
Volume 5, Issue 4

Floating Solar System in Dam Reservoirs

Milad Alizadeh [1*], ehsan sabetnam [2]

[1] Master of Science in Electrical and Electronics, Sepasd Engineering Company, Tehran, Iran
[2] Master of Power Engineering, Sepasd Engineering Company, Tehran, Iran

RTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 2024 December 23

Accepted: 2025 March 11

* Correspondence Email Addres:

ali_eshaghzade@yahoo.com

Keywords:

PV,

FSPV,

Solar Cell

ABSTRACT

In recent years, increase of electricity consuming, reduction of fossil resources and as well as attention to environmental issues have led to increase of energy producing by photovoltaic systems. Floating solar power plants are one of the approaches for using of solar photovoltaics has been strongly developed because of more efficiency due to water cooling and the reduction of water evaporation due to expanding on dams and canals. In present study, to introducte the technology of floating solar power plants, the advantages and disadvantages of different solar power plants, especially the floating solar power plant, the mechanism of floating solar power plants and the equipment related to them have been investigated. In addition to energy generation, this system provides some advantages over the land-based system such as conserving the land and the water and increasing the efficiency of the module. This study first comprehensively reviews the literature and then proposes a practical framework to evaluate the potential of using floating solar photovoltaic (FSPV) taking important factors into account.

Publisher: Imam Hussein University

«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»
سال سوم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحه ۱۵ الی ۲۵

علمی– تخصصی

پنل‌های خورشیدی شناور بر روی مخازن سد

میلاد علی‌زاده[۱*]، احسان ثابت‌نام[۲]
۱- کارشناس ارشد برق الکترونیک، شرکت مهندسی سپاسد، ۲- کارشناس ارشد برق قدرت، شرکت مهندسی سپاسد

چکیده

(دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳، پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱)

افزایش استفاده از برق، کاهش منابع فسیلی و همچنین توجه به مسائل زیست‌محیطی در سال‌های اخیر منجر به آن شده است که استفاده از سیستم‌های فوتوولتاییک افزایش یابد. نیروگاه‌های خورشیدی شناور یکی از کاربردهای فتوولتائیک‌های خورشیدی می‌باشند که در سال‌های اخیر به دلیل عملکرد بهتر صفحات فتوولتاییک ناشی از خنکی آب و کاهش تبخیر آب ناشی از آن گسترده شده است. این نیروگاه‌ها روی مخازن آب سدها و کانال‌ها به‌شدت توسعه‌یافته‌اند. استفاده از روش سلول‌های خورشیدی شناور بر روی مخزن آب سدها با توجه به بحران آب و انرژی، امروز به یک امر مهم در جهان تبدیل‌شده است. این مطالعه ابتدا به‌صورت جامع سلول‌های خورشیدی را بررسی می‌کند و سپس به بررسی سلول‌های خورشیدی شناور می‌پردازد. همچنین این پژوهش بیانگر این موضوع است که ایران می‌تواند انرژی خورشیدی را از طریق سیستم‌های FSPV به‌طور مؤثری مهار کند و علاوه بر حفظ آب، به حمایت از تولید انرژی پایدار و پاک کمک می‌کند.

کلیدواژه‌ها: سلول خورشیدی، فوتوولتائیک، پنل خورشیدی شناور

۱. مقدمه

با توجه به رشد روزافزون مصرف انرژی در جهان، رو به اتمام بودن سوخت‌های فسیلی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای که منجر به آلودگی بیش‌ازپیش محیط‌زیست و خسارات جبران‌ناپذیر برای منابع حیاتی می‌شود، امروزه تلاش‌های علمی بسیاری برای تولید و بهبود عملکرد انرژی‌های تجدید پذیر صورت گرفته است. ازجمله، تلاش برای تولید انرژی الکتریکی با استفاده از نور خورشید که با استفاده از خاصیت ذاتی نیمه‌رساناها انجام‌شده است. در میان انواع انرژی‌های تجدید پذیر، تولید انرژی الکتریکی با استفاده از نور خورشید که با استفاده از خاصیت ذاتی نیمه‌رساناها است، با توجه به ویژگی‌های مناسبی که دارد، موردتوجه بسیاری از پژوهشگران قرارگرفته است؛ و از زمانی که دولت‌های سراسر جهان خود را نسبت به کاهش گازهای گلخانه‌ای متعهد دانسته‌اند، تلاش شده تا با انتخاب سلول‌های خورشیدی به‌عنوان طلایه‌دار عرصه فناوری‌های پاک، انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی، کاهش یابد. از طرفی بحران آب و وجود مخازن ذخیره برای توسعه تأمین آب مطمئن، ضروری می‌باشند. میزان ذخیره آب در مخازن در طول زمان با توجه به تغییر میزان مصرف آب و شرایط هیدرولوژیک که بین سال‌های خشک و سیلابی متغیر است و دارای نوسان زیادی می‌باشد. به‌طور خاص تبخیر از سطح آب جزء مهمی از بیلان آب مخازن به شمار می‌آید. نرخ تبخیر در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران می‌تواند بسیار بزرگ باشد. ازاین‌رو بهترین طرح جهت جلوگیری از تبخیر بیش‌ازحد آب مخازن پشت سدها، استفاده از این فضای موجود و جبران کمبود انرژی در کشور استفاده از سلول‌های خورشیدی شناور است.

در بسیاری از کشورها، منابع زمینی محدود هستند و نمی‌توان سیستم‌های فوتوولتاییک خورشیدی را در مقیاس‌های بزرگ به کار گرفت. علاوه بر آن، پشت‌بام ساختمان‌های مسکونی، تجاری و صنعتی، کاربرد قابل‌توجهی برای نصب پنل‌های خورشیدی ندارند. به همین دلیل، توجه‌ها به سمت سیستم‌های فوتوولتاییک خورشیدی «شناور» جلب شده است. فوتوولتاییک‌های خورشیدی شناور، امروزه با عنوان فلوتوولتائیک نیز شناخته می‌شوند [۱ و ۲].

وقتی مساحت قابل‌توجهی از یک صفحه فتوولتائیک خورشیدی روی حجمی از آب قرار می‌گیرد، سیستم فلوتوولتائیک با کاهش تبخیر، به حفظ آب کمک می‌کند. درعین‌حال، سایه‌ای که پنل‌ها می‌سازند، رشد جلبک‌ها در آب را محدود می‌کند. این سیستم، هیچ خطری برای حیات‌وحش و زیستگاه‌های اطرافش ایجاد نمی‌کند. مهم‌تر از همه اینکه،

* نویسنده مسئول: Miladalizadeh993@gmail.com

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

خنک‌کنندگی طبیعی که آب برای این پنل‌های فوتوولتائیک ایجاد می‌کند، به آن‌ها اجازه می‌دهد تا بازده بیشتری داشته باشند و بیش از سیستم‌های سنتی، توان تولید کنند [۱ و ۳].

در این مقاله، به تحلیل پیشرفت‌های اخیر درزمینهٔ فناوری ساخت فوتوولتائیک‌های خورشیدی شناور پرداخته‌شده و روند جهانی استفاده از این فناوری و پتانسیل‌های پیشرفت و توسعه آن، موردبررسی قرارگرفته است.

۲. روش تحقیق

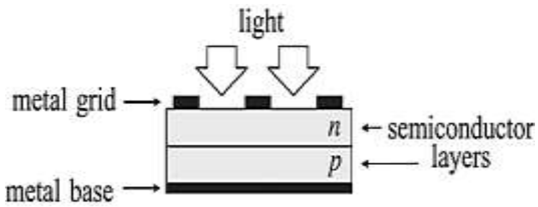
همان‌طور که گفته شد برای تولید توان الکتریکی، امروزه منابع انرژی تجدید پذیر جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی متداول می‌باشند. در میان انواع مختلف انرژی‌های تجدید پذیر، منبع فتوولتائیک (PV) خورشیدی سرعت رشد بیشتری را نسبت به سایر منابع انرژی تجدید پذیر برای تولید توان الکتریکی داشته است [۴]. بر طبق گزارش‌های اتحادیه صنعت فتوولتائیک اروپا (EPIA)، در سال ۲۰۱۲ بیشتر از ۳۱GW ظرفیت توان PV در سطح جهان نصب و راه‌اندازی شده است. پیش‌بینی‌ها در آن زمان نشان می‌داد که این مقدار تا سال ۲۰۱۷ به ۸۴GW خواهد رسید [۵] و طبق آمار رسمی به ۶۸۰GW در سال ۲۰۱۹ رسیده است. انرژی خورشیدی بالاترین چگالی توان را در میان تمام منابع انرژی تجدید پذیر دارد. این منابع با میانگین جهانی $۱۷۰W/m^2$، بالاترین چگالی توان را نیز در میان تمام منابع انرژی تجدید پذیر دارند و پس از انرژی‌های تجدید پذیر آب و باد، PV های خورشیدی سومین منبع تجدید پذیر بزرگ توان الکتریکی در سراسر جهان هستند [۶]. ازجمله مزایا و عواملی که سبب می‌شود PV های خورشیدی به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای سوخت‌های فسیلی در نظر گرفته شود، در زیر فهرست شده‌اند:

- قیمت سوخت‌های فسیلی رو به افزایش است و ممکن است این سوخت‌ها پایان یابند، درحالی‌که منبع PV های خورشیدی رایگان است و تمام نخواهد شد [۷ و ۸].
- نیروگاه‌های تولید توان الکتریکی که از سوخت فسیلی استفاده می‌کنند، سبب گرم شدن کره زمین می‌شوند، درحالی‌که PV های خورشیدی مشکل ایجاد گرما برای محیط‌زیست را کاهش می‌دهند [۷].
- نیروگاه‌های تولید توان الکتریکی که از سوخت فسیلی استفاده می‌کنند، محیط‌زیست را آلوده می‌کنند، درحالی‌که PV های خورشیدی هیچ آلودگی را منتشر نمی‌کنند و به‌عنوان انرژی پاک از آن‌ها یاد می‌شود [۹].
- PVهای خورشیدی هزینه‌های تعمیر و نگه‌داری پایین‌تری دارند [۶].

با توجه به مزایای گفته‌شده، PV های خورشیدی به یکی از پرکاربردترین منابع انرژی تجدید پذیر تبدیل‌شده‌اند و میزان استفاده از آن‌ها روزبه‌روز در حال افزایش است. سیستم‌های PV را می‌توان بر روی زمین، سقف، دیوار ساختمان‌ها (مجتمع ساختمانی PV یا BIPVها)، پشت‌بام و یا در حیاط، نصب روی کانال، نصب در ساحل و مدل شناور در دریا نصب کرد. همچنین، PV های خورشیدی می‌توانند به‌عنوان نیروگاه‌های بزرگ یا واحدهای تولید توان الکتریکی کوچک‌تر مورداستفاده قرار گیرند که بیشتر برق خورشیدی توسط واحدهای تولید کوچک‌تر خورشیدی تولید می‌شود [۶ و ۱]. سیستم‌های PV می‌توانند به شبکه برق متصل شوند که در این صورت به آن‌ها PV های متصل به شبکه (GCPV) گفته می‌شود [۱۰].

۲-۱. نحوه کار یک سلول PV

یک سیستم PV مستقیماً انرژی خورشیدی را به برق تبدیل می‌کند. اصلی‌ترین جزء یک سیستم PV، سلول PV است. درواقع، سلول PV یک دیود نیمه‌رساناست که اتصال P-N آن در معرض نور قرار می‌گیرد [۱۱]. ساختار فیزیکی یک سلول PV در شکل (۱) نشان داده‌شده است.



شکل (۱). ساختار فیزیکی یک سلول PV [۱۱].

لایه فلزی نازک بر روی سطح‌رو به خورشید نیمه‌رسانا قرار داده‌شده است [۱۱]. اندازه و شکل سلول‌های PV به صورتی طراحی می‌شوند که سطح جذب‌کننده تابش نور خورشید حداکثر شده و مقاومت‌های اتصال حداقل شوند [۱۲].

برخورد نور به سلول باعث تولید حامل‌های بار می‌شود که در صورت اتصال کوتاه بودن سلول، باعث ایجاد جریان الکتریکی می‌شود. بارها نیز زمانی تولید می‌شود که انرژی فوتون برخوردی برای جداسازی الکترون‌های کووالانسی نیمه‌هادی‌ها کافی باشد که این پدیده به ماده نیمه‌هادی و طول‌موج نور برخوردی نیز بستگی دارد. به‌طورکلی، پدیده PV را می‌توان به‌صورت جذب تابش خورشیدی، تولید و انتقال حامل‌های آزاد در اتصال P-N و جمع‌آوری این بارهای الکتریکی در ترمینال‌های ادوات PV، توصیف نمود [۱۱].

نرخ تولید حامل‌های الکتریکی به شار نور برخوردی و ظرفیت جذب نیمه‌هادی بستگی دارد. ظرفیت جذب نیز غالباً به شکاف باند نیمه‌هادی، بازتاب سطح سلول (که به شکل و نوع سطح وابسته است)، غلظت ذاتی حامل‌های نیمه‌هادی، قابلیت تحرک الکترونیکی، نرخ بازترکیب، دما و چندین عامل دیگر بستگی دارد [۱۱].

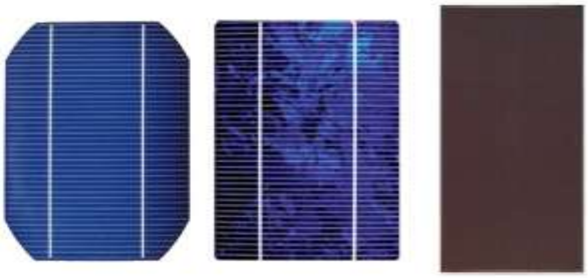
تابش خورشید از فوتون‌هایی با سطح انرژی مختلف تشکیل‌شده است. فوتون‌های باانرژی کمتر از شکاف باند سلول PV بدون استفاده هستند و هیچ ولتاژ و یا جریان الکتریکی تولید نخواهد کرد. فوتون‌های باانرژی بیشتر از شکاف باند، به تولید الکتریسیته منجر می‌شود اما تنها انرژی متناظر با شکاف باند مورداستفاده قرار می‌گیرد و مابقی انرژی به‌صورت گرما در بدنه سلول PV از بین می‌رود. نیمه‌هادی‌های با شکاف باند کمتر می‌تواند از طیف تابشی گسترده‌تری استفاده کند، اما ولتاژهای تولیدی این نیمه‌هادی‌ها نیز کمتر خواهد بود [۱۱]. سیلیکون (Si) تنها ماده و احتمالاً بهترین ماده نیمه‌هادی برای سلول‌های PV نخواهد بود، اما تنها ماده‌ای است که پروسه ساخت آن به لحاظ اقتصادی در مقیاس‌های بزرگ امکان‌پذیر است. سایر مواد می‌توانند بازده تبدیل بهتری را درازای هزینه‌های بالاتر و عدم امکان‌پذیری اقتصادی در اختیار قرار دهد.

۲-۲. انواع سلول PV

بر اساس نوع سیلیکون بلوری استفاده‌شده در یک سلول PV، می‌توان سلول‌های خورشیدی را به سه دسته اصلی تقسیم نمود:

- تک‌بلوری
- چند بلوری
- لایه‌نازک

انواع سلول‌های خورشیدی در شکل (۲) نشان داده‌شده و همچنین ویژگی‌های آن‌ها در جدول (۱) مقایسه شده‌اند [۱۳].



شکل (۲): به ترتیب از سمت چپ، الف) تک‌بلوری، ب) چند بلوری و ج) لایه‌نازک [۱۳].

جدول (۱). انواع سلول‌های PV[۱۳]

انواع سلول PV	مشخصات
تک‌بلوری	•از یک تک‌ماده به نام سیلیکون ساخته‌شده است. •در تولید برق در شرایط آب و هوایی خوب بازدهی بیشتری دارد و کارآمدتر است. •بازدهی تبدیل انرژی آن در حدود ٪۱۵-۱۲ است.
چند بلوری	•از یک ماده به نام سیلیکون چند بلوری ساخته‌شده که از تعدادی بلورهای سیلیکون کوچک تشکیل‌شده است. •در شرایط نور مناسب، بازدهی خوبی دارد. •انرژی متبلور آن کمتر از نوع تک‌بلوری است. •بازدهی تبدیل انرژی آن در حدود ٪۱۴-۱۱ است.
لایه‌نازک	•از موادی مانند CdTe، CIGS، CIS و سیلیکون آمورف (a-Si) ساخته‌شده است. •حتی در شرایط نور ضعیف نیز بازدهی خوبی دارد. •انرژی متبلور بسیار پایینی دارد. •سازگاربامحیط‌زیست است. •بازدهی تبدیل انرژی آن در حدود ٪۱۲- ۶ است.

مطالعه و بررسی فیزیک سلول‌های PV بسیار پیچیده بوده و خارج از چارچوب این تحقیق است.

۲-۳. عوامل طبیعی مؤثر بر عملکرد سلول‌های خورشیدی

عوامل طبیعی و شرایط محیطی مختلف بر روی عملکرد سلول‌های خورشیدی تأثیرگذار می‌باشند که برخی از این عوامل می‌توانند سبب کاهش بازدهی سلول خورشیدی شوند. در ادامه به چند مورد از مهم‌ترین عوامل طبیعی مؤثر بر عملکرد سلول‌های خورشیدی اشاره می‌شود:

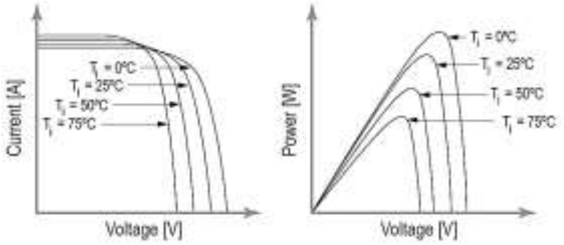
۲-۳-۱. نور خورشید

میزان تابش خورشیدی بر روی زمین قبل از عبور از اتمسفر برابر $۱۳۶۷W/m^2$ است که این میزان تابش پس از عبور از اتمسفر به دلیل انعکاس توسط ذراتی مانند دی‌اکسید کربن و بخارآب و ازون کاهش می‌یابد و مقدار آن پس از کاهش یافتن حدوداً برابر $۱۰۰۰W/m^2$ است که به این مقدار پیک تابش خورشید می‌گویند. مقدار توان الکتریکی تولیدشده توسط سلول خورشیدی رابطه مستقیمی با میزان تابش دریافتی با آن سلول دارد. حال اگر هوا ابری و یا آلوده باشد ذرات معلق در هوا بیشتر شده و مقدار تشعشع کاهش می‌یابد، درنتیجه مقدار توان الکتریکی تولیدشده کاهش می‌یابد. ماژول‌ها هنگامی‌که تابش مستقیم خورشید را دریافت نمی‌کنند هم می‌توانند توان الکتریکی تولید کنند. میزان تابش به سلول‌های خورشیدی در شرایط ابری بودن آسمان در حدود ۵۰ درصد پیک تابش خورشید در حالت عادی است و این میزان در یک آسمان ابری

همراه با باران حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد پیک تابش خورشید خواهد بود [۱۴].

۲-۳-۲. دما

تصور نادرست رایجی که وجود دارد این است که برای تولید توان الکتریکی توسط یک سلول خورشیدی گرما لازم است. درحالی‌که افزایش دما، باعث افزایش مقاومت و کاهش ولتاژ در سلول‌های خورشیدی و همچنین کاهش قدرت جذب سلول و درنتیجه کاهش جریان تولیدشده و درنهایت کاهش بازدهی سلول خورشیدی می‌شود [۱۴].



شکل (۳). اثر دما بر مشخصات PV [۱۵]

۲-۳-۳. سایه

سایه عامل بسیار مهمی در پایین آمدن کارایی سیستم است. اغلب اوقات آرایه‌های PV به‌طور جزئی یا کامل توسط ابرهای عبوری، سایه درختان، ساختمان‌ها، برج‌ها، سایه تیرهای چراغ‌برق و ... دچار سایه جزئی می‌شوند. تحت شرایط سایه جزئی مشخصه P-V بسیار پیچیده می‌شود و دارای چندین پیک توان محلی می‌شود. مهم است که بدانیم حتی اگر یک سلول در سایه قرار گیرد، توان خروجی کل ماژول تحت تأثیر قرار می‌گیرد و به میزان چشم‌گیری کاهش می‌یابد [۱۶].

۲-۳-۴. جریان باد

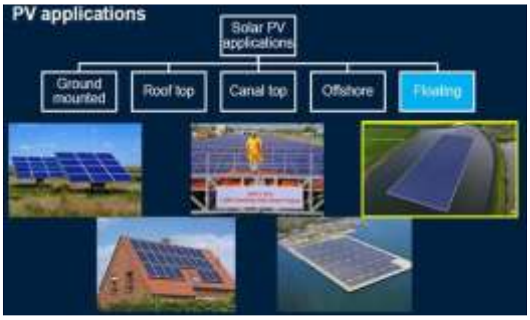
تمام پایه‌های ماژول‌های سلول‌های خورشیدی باید به نحوی باشند که جریان هوا در اطراف ماژول‌ها وجود داشته باشد. گردش هوا و جریان باد باعث خنک شدن ماژول به‌صورت طبیعی و درنتیجه عمل کردن ماژول در دمای پایین‌تر و افزایش کارایی خواهد شد [۱۷].

۲-۳-۵. برف

بارش برف بر روی سلول‌های خورشیدی سبب می‌شود تا میزان تابش دریافتی توسط سلول خورشیدی کاهش یابد و درنتیجه جریان تولیدشده در سلول‌های خورشیدی کاهش یابد و همچنین بازدهی سلول‌های خورشیدی کاهش یابد. به همین دلیل، در مناطقی که برف شدیدی می‌بارد سلول‌های خورشیدی باید در مکانی نصب شوند که بتوان برف را به‌آسانی از روی آن‌ها پارو کرد. در سیستم‌های PV با شیب زیاد، برف به‌راحتی پارو شده و به پایین می‌لغزد [۱۸].

۲-۴. کاربردهای سلول‌های خورشیدی

طبق مطالعات آلوک ساهو و همکارانش [۱] پنج روش برای فوتوولتائیک‌های خورشیدی تعریف‌شده که عبارت‌اند از: نصب روی زمین، نصب روی پشت‌بام، نصب روی کانال، نصب در ساحل و مدل شناور در دریا. نمایی از این کاربردها در شکل (۴) ارائه‌شده است.



شکل (۴). انواع کاربردهای معمول فوتوولتائیک‌های خورشیدی[۲]

۲-۴-۱. سیستم‌های خورشیدی معمولی نصب‌شده روی زمین

سیستم‌های فوتوولتائیکی که روی زمین نصب می‌شوند، معمولاً سیستم‌هایی بزرگ‌مقیاس هستند که نیروگاه‌های خورشیدی را می‌سازند. ماژول خورشیدی آن‌ها، با استفاده از یک سری چهارچوب‌ها که به زمین متصل شده‌اند، در جای خود ثابت و نگه‌داشته می‌شوند. قسمت‌هایی که از اتصال این ماژول‌ها به زمین پشتیبانی می‌کنند عبارت‌اند از:

- پایه‌های قطب که مستقیماً وارد زمین یا یک‌پایه بتنی می‌شوند.
- پایه‌های فونداسیون، مثل دال‌های بتنی یا پایه‌های ریخته شده.
- پایه‌های بالاست شده، مانند پایه‌های فولادی که با استفاده از وزن پنل‌ها، کل سیستم ماژول خورشیدی را در مکان موردنظر حفظ می‌کنند و نیازی به نفوذ در زمین ندارند.

این نوع سیستم نصب، برای سایت‌هایی که در آن‌ها حفاری امکان‌پذیر نیست، مانند مکان‌های سرپوشیده دفن زباله، مناسب‌اند. استقرار یا تغییر مکان سیستم‌های ماژول خورشیدی که با این روش نصب‌شده‌اند، به‌راحتی انجام می‌گیرد.

۲-۴-۲. سیستم‌های خورشیدی نصب‌شده روی پشت‌بام

در این‌گونه سیستم‌ها، پنل‌های خورشیدی تولیدکننده الکتریسیته روی پشت‌بام یک ساختمان مسکونی یا تجاری، یا هر سازه دیگری، نصب می‌شوند. اجزای مختلف این‌گونه سیستم‌ها

شامل ماژول‌های فوتوولتائیک، سیستم‌های نصب، کابل‌ها، اینورترهای خورشیدی و سایر ابزارهای جانبی الکتریکی می‌شوند. یک ایستگاه تولید توان که روی پشت‌بام نصب می‌شود (چه به‌صورت متصل به شبکه، چه به‌صورت خارج از شبکه)، می‌تواند در اتصال با سایر منابع انرژی، مانند ژنراتورهای دیزلی، توربین‌های بادی و غیره، به کار رود. این سیستم قادر است یک منبع توان مداوم به وجود آورد. سیستم‌هایی که روی پشت‌بام‌ها نصب می‌شوند، در مقایسه با ایستگاه‌های تولید توانی که روی زمین نصب می‌شوند، ابعاد کوچک‌تری دارند و ظرفیت آن‌ها در محدوده چند مگاوات است. سیستم‌های فوتوولتائیکی که روی ساختمان‌های مسکونی نصب می‌شوند، ظرفیت حدود ۵ تا ۲۰ کیلووات دارند، اما ظرفیت آن‌هایی که روی ساختمان‌های تجاری نصب می‌شوند، معمولاً به ۱۰۰ کیلووات یا بیشتر می‌رسد.

۲-۴-۳. سیستم‌های خورشیدی نصب‌شده روی کانال‌ها

نیروگاه‌های خورشیدی معمولی که در آن‌ها پنل‌ها را روی زمین نصب می‌کنند، معمولاً به زمین‌هایی با مساحت بالا نیاز دارند. جهت رفع این مشکل، مفهوم جدیدی به نام نصب فوتوولتائیک‌های خورشیدی روی کانال‌ها مطرح شد. به‌این‌ترتیب، نه‌تنها از جنگل‌زدایی جلوگیری می‌شود، بلکه روند رشد مجدد جنگل‌ها نیز تقویت می‌گردد.

۲-۴-۴. سیستم‌های فوتوولتائیک خورشیدی ساحلی

اقیانوس‌ها بیش از ۷۰ درصد سطح زمین را پوشانده‌اند؛ آن‌ها انرژی زیادی از خورشید دریافت می‌کنند. با استفاده از فناوری فعلی تولید الکتریسیته با فوتوولتائیک‌های خورشیدی، می‌توان از این منبع انرژی ارزشمند به‌خوبی بهره‌برداری کرد. به دلیل آنکه در مناطق ساحلی با کمبود زمین مواجه هستیم، محیط دریا که در تمام طول روز پرتوهای نور خورشید را دریافت می‌کند، محیطی ایده آل برای نصب پنل‌های فوتوولتائیک خورشیدی خواهد بود. یکی از اجزای اصلی پنل‌های فوتوولتائیک خورشیدی، کادمیوم کلرید است (که به‌شدت سمی و گران‌قیمت است) و همین موضوع، بر فرآیند ساخت و همچنین هزینه تولید این پنل‌های خورشیدی تأثیر می‌گذارد. آب دریا، حاوی منیزیم کلرید است. این ماده می‌تواند جایگزین خوبی برای ماده به‌شدت سمی و گران‌قیمت کادمیوم کلرید باشد.

۲-۴-۵. سیستم‌های فوتوولتائیک شناور

فناوری سیستم شناور، یک فناوری نوین است. در سراسر جهان، کشورهای زیادی وجود دارند که با مشکل کمبود زمین مواجه هستند و زمین کافی برای نصب پنل‌های خورشیدی در اختیار ندارند. ازجمله آن‌ها می‌توان به جزایری مثل ژاپن، کره، سنگاپور و فیلیپین اشاره کرد. ازاین‌رو جهت مقایسه و درک بهتر، مزایا و معایب انواع روش‌های نصب فوتوولتائیک‌های خورشیدی در جدول (۲) بیان‌شده است.

جدول (۲). مزایا و معایب انواع روش‌های نصب فوتوولتائیک‌های خورشیدی [1]

نوع روش نصب	مزایا	معایب
نصب روی زمین	• برای سیستم‌های بزرگ‌مقیاس و کوچک‌مقیاس مناسب است • راه‌اندازی، تعمیر و نگهداری از پنل‌ها به‌راحتی انجام می‌شود	• در مناطق شهری، کمبود زمین وجود دارد • به فونداسیون مستحکم و یک سازه پایدار نیاز است تا از پنل‌ها در برابر طوفان و بادهای شدید محافظت کند • زمان بیشتری برای نصب پنل‌ها موردنیاز است
نصب روی پشت‌بام ساختمان‌ها	• بهینه‌سازی فضا با استفاده از فضاهای بالای پشت‌بام • افزایش ارزش طول عمر پشت‌بام‌های پوشیده شده با پنل‌های خورشیدی • نصب آسان‌تر و سریع‌تر در مقایسه با نصب روی زمین	• ممکن است به دلیل موانع ساختمانی اطراف، بخشی از پرتوهای خورشید از دست برود و سایه ایجاد شود • شاید پشت‌بام موردنظر، برای ظرفیت در نظر گرفته‌شده، مناسب نباشد
نصب روی کانال	• حفاظت از زمین • حفظ آب موجود در کانال از تبخیر • بازدهی بیشتر ماژول‌های خورشیدی در مقایسه با سیستم‌هایی که روی زمین نصب می‌شوند، به دلیل اثر خنک‌کنندگی آب	• کمبود دسترسی به کانال‌ها • نیاز به سازه‌های پیچیده و طولانی برای نصب ماژول‌ها • تعمیر و نگهداری دشوارتر • پنل‌ها، سازه‌ها و اجزای دیگر ممکن است باعث آلودگی آب تازه شوند.
نصب در ساحل	• کاهش وابستگی به زمین • افزایش بازدهی ماژول‌های خورشیدی در مقایسه بازمانی که روی زمین نصب می‌شوند، به دلیل اثر خنک‌کنندگی آب • تقریباً هیچ سایه‌ای وجود ندارد	• فرسایش پنل‌های فوتوولتائیک به دلیل مجاورت با آب دریا، هزینه استفاده از این پنل‌ها را بالا می‌برد • هزینه تعمیر و نگهداری پنل‌ها بالاست

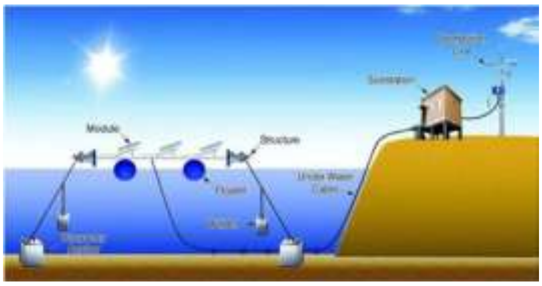
نوع روش نصب	مزایا	معایب
سیستم خورشیدی شناور	• حفاظت از زمین • کاهش تبخیر آب • بهبود کیفیت آب با کاهش فتوسنتز و رشد جلبک‌ها	• فرسایش احتمالی اجزای فتوولتائیک خورشیدی • ایجاد مانع برای فعالیت‌های مربوط به ماهیگیری و حمل‌ونقل

۲-۵. بررسی فناوری فتوولتائیک خورشیدی شناور

سیستم فتوولتائیک خورشیدی شناور، چهار بخش دارد که عبارت‌اند از:

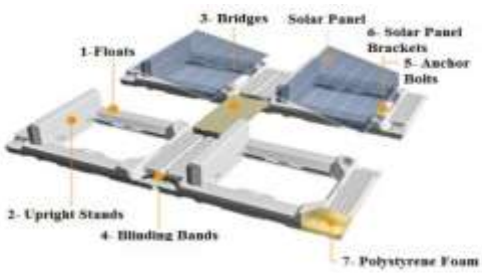
- سیستم شناور: یک جسم شناور، شامل سازه و بخش شناور کننده که امکان نصب ماژول فتوولتائیک را فراهم می‌کند.
- سیستم مورینگ: می‌تواند درعین‌حال که موقعیت سیستم را در جهت رو به جنوب حفظ می‌کند، با افت‌وخیزهای سطح آب نیز هماهنگ شود.
- کابل‌های زیرآب: توان تولیدشده را از سیستم فتوولتائیک به زمین منتقل می‌کنند.
- سیستم فتوولتائیک: تجهیزات تولید توان فتوولتائیک که عبارت‌اند از: ماژول‌های نصب‌شده روی سیستم شناور، اینورتر، کنترلر، ایستگاه فرعی و خط توزیع.

طرح کلی یک سیستم فتوولتائیک شناور را در شکل (۵) ارائه‌شده است.



شکل (۵). طرح سیستم فتوولتائیک خورشیدی شناور [۲]

شرکت طراحی و ساخت سامیتومو میتسوی یک شرکت ژاپنی است که سازه‌های فتوولتائیک شناور را در مقیاس تجاری تولید کرده است. تصویر این محصول در شکل (۶) مشاهده می‌شود [۳].



شکل ۶. یک سازه فتوولتائیک شناور [۳]

سیستم فتوولتائیک خورشیدی شناور را می‌توان روی حجم‌های مختلفی از آب نصب کرد؛ مثل دریاچه‌ها، برکه‌ها، دریاچه پشت سدها، مخازن آب، حوض‌های پرورش ماهی، کانال‌ها و غیره. بنابراین، این فنّاوری می‌تواند با امکانات دیگری مثل تجهیزات نیروگاه‌های آبی، آبیاری، نیروگاه‌های حرارتی، تجهیزات تصفیه آب و ... ادغام گردد.

۲-۶. مزایای این فناوری

مهم‌ترین پارامتری که برای ارزیابی عملکرد فتوولتائیک خورشیدی شناور در نظر گرفته شد، بازده تبدیل مؤثر ماژول خورشیدی در شرایط عملیاتی است. این پارامتر، بر تولید برق که ارزشمندترین محصول این سیستم است، تأثیر می‌گذارد.

یک ماژول فتوولتائیک معمولی ۴ تا ۱۸ درصد از انرژی خورشیدی فرودی را به الکتریسیته تبدیل می‌کند. مقدار این تبدیل، به نوع سلول‌های خورشیدی و شرایط اقلیمی وابسته است [۱]. بقیه تابش خورشیدی، به گرما تبدیل می‌شود. به‌این‌ترتیب، دمای فتوولتائیک به‌شدت افزایش می‌یابد. خروجی توان سلول‌های خورشیدی، بسته به تغییرات دمایی، تغییر می‌کند. به دلیل آن‌که بازده ماژول فتوولتائیک به دما وابسته است، پس اگر سیستم روی سطح آب قرار بگیرد، به خاطر اثر خنک‌کنندگی آب، می‌تواند از دمای محیطی بسیار کمتری بهره‌مند شود. اگر قاب‌های آلومینیومی برای پشتیبانی از ماژول خورشیدی شناور به کار گرفته شوند، دمای سیستم از دمای آب اطرافش هم کمتر می‌شود. واضح است که ماژول‌های شناور، دمای محیطی کمتری را نسبت به ماژول‌های نصب‌شده روی زمین، تجربه می‌کنند. مهم‌ترین نکته آن است که این اثر خنک‌کنندگی، عامل اصلی ارتقای فاکتور ظرفیت سیستم‌های شناور می‌باشد. مفهوم این اثر را در منحنی I-V شکل (۳) مشاهده شد.

دریکی از مطالعات یانگ-کوان چوی در سال ۲۰۱۴ نشان داده شد که سیستم‌های فتوولتائیک شناور، دارای فاکتور ظرفیتی به‌اندازه ۷/۶ تا ۱۳/۵ درصد از فاکتور ظرفیت سیستم‌های نصب‌شده روی زمین هستند [۲]. نتایج یک مدل‌سازی که توسط آبه در سال ۲۰۱۳ انجام شد، نشان داد که قرار دادن پنل‌های خورشیدی روی آب، خروجی انرژی و سطح بازدهی آن‌ها را ۸ تا ۱۰ درصد افزایش می‌دهد [۱۹]. علاوه بر خروجی انرژی، سایر مزایای قابل‌توجه سیستم فتوولتائیک شناور عبارت‌اند از:

حفاظت از زمین: این مزیت، زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که با کشورهایی که با مشکل محدودیت زمین مواجه هستند، سروکار داریم. علاوه بر آن، سرعت نصب نیز بالاتر است، زیرا نیازی به خرید زمین نیست.

حفاظت از آب با کاهش تبخیر: این مزیت، در ناحیه‌هایی که محدودیت منابع آب‌دارند، اهمیت خاصی پیدا می‌کند.

مزایای دیگر سیستم فوتوولتائیک شناور که توسط یانگ-کوان چوی به اثبات رسیده‌اند، عبارت از کاهش هزینه سرمایه‌گذاری قابل‌مقایسه با سایر سیستم‌های مشابه (۱/۲ درصد، بدون در نظر گرفتن هزینه خرید زمین)؛ و نصب سریع‌تر به دلیل طراحی سازه ماژولار [۲].

۲-۷. معایب این فناوری

سیستم فوتوولتائیک شناور، معایبی دارد که باید در هنگام توسعه پروژه‌های مربوطه، مدنظر قرار گیرند:

- سیستم شناور، بیش از سیستم‌های دیگر در معرض شرایط آب‌وهوایی و آثار هیدرولیک قرار دارد؛ پس ممکن است خروجی توان آن ناپایدار باشد.
- ممکن است فعالیت‌های مربوط به حمل‌ونقل دریایی و ماهیگیری تحت تأثیر این سیستم‌های شناور قرار بگیرند و مختل شوند.
- قرار گرفتن سیستم در محیط آبی، باعث ایجاد خوردگی در ماژول‌ها و سازه‌ها شده و به‌این‌ترتیب، طول عمر سیستم کاهش می‌یابد.

۲-۸. تاریخچه توسعه این فناوری

طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدید پذیر، ظرفیت کل سیستم‌ها فوتوولتائیک خورشیدی که تا سال ۲۰۱۶ در سراسر جهان نصب شدند، ۳۰۳ گیگاوات بود. رقم CAGR در طی ده سال گذشته، به ۲۹/۷ درصد رسیده است [۲۰].

از میان همه موارد نصب فوتوولتائیک‌ها در سراسر جهان تا سال ۲۰۱۶، تنها ۷ کشور، ۷۵ درصد کل ظرفیت را به خود اختصاص داده‌اند. این کشورها عبارت‌اند از: چین (۷۷/۴ گیگاوات)، ژاپن (۴۲/۸ گیگاوات)، آلمان (۴۱/۳ گیگاوات)، آمریکا (۴۰/۹ گیگاوات)، ایتالیا (۱۹/۳ گیگاوات)، هند (۹/۱ گیگاوات)، کره (۴/۴ گیگاوات).

صنعت فوتوولتائیک‌های خورشیدی، تاریخچه‌ای حدوداً ۱۰۰ ساله دارد؛ اما عمر فناوری فوتوولتائیک‌های خورشیدی شناور به حدود ۱۰ سال می‌رسد. اولین سیستم، در یک تاکستان در منطقه ناپا ولیِ ایالات کالیفرنیا نصب شد. در همان سال، در ژاپن، فرانسه و هند هم سیستم‌های مشابهی نصب شدند، اما در مرحله آزمایشی قرار داشتند.

مسئولان یک کارخانه در کالیفرنیا، جهت حفظ زمین‌های مربوط به باغات تحت مالکیت خود و درعین‌حال، گسترش سیستم‌های فوتوولتائیک خورشیدی نصب‌شده روی زمین، تصمیم گرفتند ۱۰۰۰ پنل خورشیدی را روی یک حوضچه آبیاری درختان قرار دهند [۲۱]. ظرفیت کل این پنل‌ها، ۱۷۵ کیلووات بود. پنل‌ها روی ۱۳۰ قایق کوچک شناور قرار گرفتند و سپس به سیستم خورشیدی نصب‌شده روی زمین متصل شدند تا درمجموع، در ساعات اوج تولید خروجی، به تولید توان ۴۷۷ کیلوواتی برسند. وقتی پنل‌های شناور با سیستم نصب‌شده روی زمین ترکیب شدند، کارخانه موفق شد کل برق موردنیازش را خودش تأمین کند. با نصب پنل‌ها روی حوضچه، این کارخانه توانست بیش از ۷۵ درصد از زمین‌های مربوط به باغات را حفظ کند و این امر، معادل سود سالانه ۱۵۰ هزار دلاری از محل تولید و فروش بود [۲۲].

البته تا پیش از سال ۲۰۱۳، فناوری فوتوولتائیک شناور به‌خوبی توسعه‌نیافته بود. حدود یک سال قبل از آن، شاهد معرفی سازوکار «تعرفه‌های تشویقی» برای انرژی‌های تجدید پذیر در ژاپن بودیم [۲۳]. معرفی این سازوکار تلاشی در راستای حرکت به سمت استفاده ازاین‌گونه انرژی‌ها بود که پس از وقوع فاجعه هسته‌ای فوکوشیما در سال ۲۰۱۱، انجام گرفت. با تعرفه تشویقیِ بالای ۵۳/۴ سنت به ازای هر کیلووات ساعت، استفاده از فوتوولتائیک‌های شناور در ژاپن به‌سرعت رشد کرد و ۴۵ سیستم به شبکه این کشور اضافه شد. شکل نشان می‌دهد که از زمان نصب اولین فوتوولتائیک خورشیدی شناور در سال، چطور این فناوری به سیستم‌های تولید انرژی جهان افزوده شد. جدول زیرسیستم‌های فوتوولتائیک شناور در سراسر جهان را نشان می‌دهد.

همچنین با توجه به اینکه نیروگاه‌های شناور خورشیدی دارای راندمان بالاتری نسبت به مزرعه‌های خورشیدی مرسوم دارد اما احداث نیروگاه‌های شناور در ایران موردتوجه قرار نگرفته است که یکی از مهم‌ترین دلایل این موضوع می‌تواند عدم اطلاع شرکت‌ها و بخش‌های خصوصی فعال درزمینهٔ احداث نیروگاه‌های خورشیدی از تولید تجهیزات شناورسازی پانل‌های خورشیدی در ایران باشد. چون تجهیزات شناورسازی پانل‌ها از مهم‌ترین اجزای این سیستم می‌باشند.

در سال ۱۳۹۸ یک شرکت ایرانی موفق به ساخت و تولید مجموعه کامل قطعات پلاستیکی لازم جهت شناورسازی پنل‌های خورشیدی بر روی آب شد. با تلاش فراوان مهندسین ایرانی محصول شناور پنل‌های خورشیدی توانست آزمایش‌های اولیه مقاومت کششی و مقاومت فیزیکی و شیمیایی و مقاومت در مقابل اشعه یو وی را با موفقیت پشت سر بگذارد. تا دیگر نیاز به واردات این تجهیزات از کشورهای خارجی نباشد.

با توجه به اهمیت تولید برق و جلوگیری از تبخیر آب در منطقه آذربایجان اولین نیروگاه خورشیدی شناور در ایران در شرکت پتروشیمی مهاباد در سال ۱۳۹۹ راه‌اندازی شد. ظرفیت

این نیروگاه روزانه ۲۰۰ کیلووات ساعت است که در صورت تکمیل طرح و اجرای فاز دوم، این ظرفیت به نیم مگاوات برق هم می‌رسد. ۸۰ درصد امکانات این نیروگاه بومی‌شده و برای نخستین بار روی استخر ذخیره آب‌های سطحی مجموعه پنل‌های شناور به کار گرفته شد و در کنار جلوگیری از تبخیر آب، کارایی نیروگاه با خنک کاری در سطح آب‌های سطحی ۱۳ تا ۱۵ درصد افزایش‌یافته است. هزینه برآورد شده برای این طرح ۸۵۰ میلیون تومان است که زمان بازگشت سرمایه در این طرح با حمایت دولت کمتر از پنج سال است، همچنین قرار است این نیروگاه خورشیدی در فاز دوم برق موردنیاز ۴۰۰ خانوار روستایی را تأمین کند [۲۴].

شکل ۷. نیروگاه خورشیدی شناور شرکت پتروشیمی مهاباد

جدول (۳). سیستم‌های فتوولتائیک شناور [۲۵]

موقعیت	منطقه پوششی: منطقه دریاچه (درصدی از دریاچه)	مزایا	نویسندگان	هزینه
آمریکا	$0.4047 km^2$: $0.4047 km^2$ (100%)	EG: 53 $GWh/year$ WS[1]: 0.32 $MCM/year$	McKay (2013)	ارزش صرفه‌جویی آب در سال: $ 208,000
اسپانیا	$0.00449 km^2$: $0.00449\ km^2$ (100%)	EG: 0.425 $GWh/year$ WS: 0.005 $MCM/year$ GHGR[2]: 72.71 $ton/year$	Santafé et al. (2014)	Installation cost: 2.37/Wp $242.1/$m^2$
برزیل	$40 km^2$: $2\ km^2$ (5%) $30.6 km^2$: $1.53 km^2$ (5%) $17 km^2$: $0.85\ km^2$ (5%)	EG:699.351 $GWh/year$	Sacramento et al. (2015)	-
کانادا	$9.5 km^2$: $0.6857\ km^2$ (7.2%)	EG:20.22 $GWh/year$ GHGR: 12048.9 $ton/year$	Trapani and Millar (2016)	Installation cost: $6.62 Million Operation cost: $40,000/year
ایالت آریزونا	$17.118 km^2$: $0.12\ km^2$ (0.7%)	EG: 27.65 $GWh/year$ WS: 0.247222 $MCM/year$	Hartzell (2016)	Installation cost: $33.6 Million
هند	$12812.2 km^2$: $2562.44 km^2$ (20%)	EG: 909.05 $GWh/year$ WS: 16233 $MCM/year$	Sharma and Kothari (2016)	-
کره	$0.2254 km^2$: $0.0876 km^2$ (38.9%)	EG:0.9716 $GWh/year$ GHGR: 417.21 $ton/year$	Song and Choi (2016)	Installation cost: $2.73 Million Operation cost: $19,040/year
هند	$0.0374 km^2$: $0.0125\ km^2$ (33.3%)	EG:2.658 $GWh/year$ GHGR: 240 $ton/year$	Singh et al. (2017)	Installation cost: $1.6 Million
هند	$0.7198 km^2$: $0.1439\ km^2$ (20%)	EG: 25.74$GWh/year$ WS: 0.545 $MCM/year$ GHGR: 23990 $ton/year$	Mittal et al. (2017)	-
استرالیا	$3 km^2$: $0.42\ km^2$ (14%)	EG: 103.032$GWh/year$ WS: 0.672 $MCM/year$	Rosa-Clot et al. (2017)	-
آلبانی	$475 km^2$: $5.23\ km^2$ (1.1%)	EG: 186.05 $GWh/year$ WS: 5.41 $MCM/year$ GHGR: 83420 $ton/year$	Durkovic´ and Đurišic´ (2017)	Installation cost: $127.8 Million Operation cost: $2,120,970/year
چین	$124700 km^2$: $2500\ km^2$ (2%)	EG: 160 $GWh/year$ WS: 2×10^{21} $MCM/year$	Liu et al. (2017)	-
برزیل	$6369.71 km^2$: $101.86\ km^2$ (2%)	EG: 10.5536 $GWh/year$	Silvério et al. (2018)	Installation cost: $5726.81 Million
موقعیت	**منطقه پوششی: منطقه دریاچه (درصدی از دریاچه)**	**مزایا**	**نویسندگان**	**هزینه**
پرتغال	$92200 km^2$: $0.00335\ km^2$	EG: 0.4557 $GWh/year$	Barbuscia (2018)	Installation cost: $3.51 Million Operation cost: $19,412.82/year

تایوان	$0.03235km^2$: $0.0091\ km^2$ (28.27%)	EG: 1.5433 $GWh/year$	Dizier (2013)	Installation cost: $1.6267 Million Operation cost: $28,320/year
بوسنی و هرزگوین	$13km^2$: $0.38025\ km^2$ (less than 3%)	EG: 36.55 $GWh/year$	Pašalić et al. (2018)	Installation cost: $68.37Million Operation cost: $4.39/year
آمریکا	$21410km^2$:$5780\ km^2$ (27%)	EG: 786000 $GWh/year$ WS: 36403 $MCM/year$	Spencer et al. (2018)	-
کره	$430.6km^2$: $43.06km^2$ (10%)	EG: 2931.94 $GWh/year$ GHGR: 1294450 $ton/year$	Kim et al. (2019)	Installation cost: $3,007.29 Million Operation cost: $21.83 Million/year
ویتنام	$603.5km^2$: $91.28km^2$ (15%)	EG: 1370 $GWh/year$ WS: 136 $MCM/year$ GHGR: 11000000 $ton/year$	Bui (2019)	Installation cost: $10300 Million Operation cost: $240 Million/year
هند	---: km^2	EG: 14.97 $GWh/year$ WS: 0.21 $MCM/year$ GHGR: 13632.06 $ton/year$	Goswami et al. (2019)	Installation cost: $9.365 Million Operation cost: $221,075.4/year
برزیل	$6.17km^2$: $5km^2$ (81%)	EG: 835.82 $GWh/year$ WS: 2.595 $MCM/year$	Rodrigues et al. (2020)	Installation cost: $755 Million Operation cost: $4.674 Million/year
ترکیه	$0.00301km^2$	EG: 0.182 $GWh/year$	Temiz and Javani (2020)	Installation cost: $0.295 Million Operation cost: $18.203/year

۳. نتایج و بحث

نرخ تبخیر در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران می‌تواند بسیار بزرگ باشد. مخزن سد دز با حداکثر حجم گنجایش ۳/۳ میلیارد مترمکعب آب و طول ۶۵ کیلومتر، با اهداف تولید برق و تأمین آب مصرفی ۱۲۵۰۰۰ هکتار از اراضی پایین‌دست، نقش مهمی در تأمین و مدیریت آب موجود در جنوب غرب کشور ایفا می‌کند. سالانه حدود ۱۳ درصد از حجم آب ورودی به سد کرخه معادل ۱۰۶/۰۵۴ میلیون مترمکعب به‌صورت تبخیر از مخزن این سد تلف‌شده که با توجه به برقابی بودن این سد حفظ این مقدار از اهمیت بالایی برخوردار است [۲۶]. حجم تبخیر سالانه از چهار سد مهم شهید عباسپور، دز، کارون ۳ و ۴ تقریباً معادل ۲۷۳/۴ میلیون مترمکعب بوده که این میزان بیشتر از حجم آب ذخیره‌شده در سد مسجدسلیمان و بسیاری از سدهای موجود کشور می‌باشد [۲۶]. بالا رفتن نرخ تبخیر از سطوح آزاد آب در کشور به دلیل اثر تغییر اقلیم در آینده، نگران‌کننده است، چهارمین گزارش هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC) نشان می‌دهد که افزایش دما در اواخر قرن ۲۰ در اکثر مناطق شدت پیداکرده که انتظار می‌رود این روند تا قرن ۲۱ نیز ادامه داشته باشد [۲۷].

می‌دانیم که ایران یکی از مناطقی است که بیشترین پرتوهای خورشیدی را در جهان دریافت می‌کند، این حجم مقداری معادل ۲۲۰۰ کیلووات ساعت در مترمربع در هرسال است، ضمن این‌که ایران به‌طور میانگین حدود ۳۰۰ روز کاملاً آفتابی در طول سال دارد، این مسئله می‌تواند باعث ایجاد چالش بزرگ تبخیر آب در کشور باشد. به همین دلیل هم ایران یکی از مستعدترین و باصرفه‌ترین مناطق دنیا برای استفاده از سیستم‌های انرژی خورشیدی به‌ویژه طرح پنل‌های شناور خورشیدی روی سطح آب است.

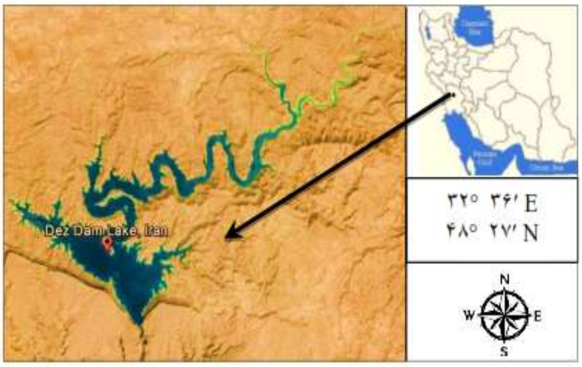
یک بازبینی سطحی نشان می‌دهد در حال حاضر اکثراً کشورهایی که مساحت خاکی کمی دارند مثل ژاپن یا انگلستان از این طرح بسیار استقبال کرده‌اند، این در حالی است که کشوری مثل ایران با توجه به گستره وسیع مساحتی هم‌پتانسیل استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی روی زمین را دارد و هم با استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی شناور روی سطح مخازن باز آب می‌تواند از میزان قابل‌توجه انرژی پاک و تجدید پذیر استفاده کند و هم از تبخیر مقادیر بسیار زیاد آب در فصول گرم سال جلوگیری کند، به‌این‌ترتیب بسیاری از تهدیدها در کشور به فرصت تبدیل خواهند شد.

مطالعات در این زمینه نشان می‌دهند که نیروگاه‌های شناور خورشیدی چه در مقیاس نسبتاً کوچک مثل آنچه در ژاپن می‌بینیم چه در مقیاس صنعتی همانند این طرح انگلستان و چین، تبخیر از سطوحی که شناورسازی‌ها و صفحات خورشیدی آن را پوشانده تا حدود ۸۰ درصد کاهش پیدا می‌کند [۲۵].

ازجمله مزایای بهره‌مندی از این طرح در ایران آن است که گرمای هوا به‌ویژه در فصل تابستان باعث افت کارایی تمام نیروگاه‌های خورشیدی می‌شود اما این نیروگاه‌های شناور روی سطح آب به علت وجود آب و اثر خنک‌کنندگی آن با این مشکل مواجه نخواهند بود. طبق مطالعات در مورد ایران اثر خنک‌کنندگی آب برافزایش بهره‌وری نیروگاه‌های خورشیدی شناور –در مقایسه با نیروگاه‌های خورشیدی معمولی- نزدیک به بیست درصد تخمین زده می‌شود.

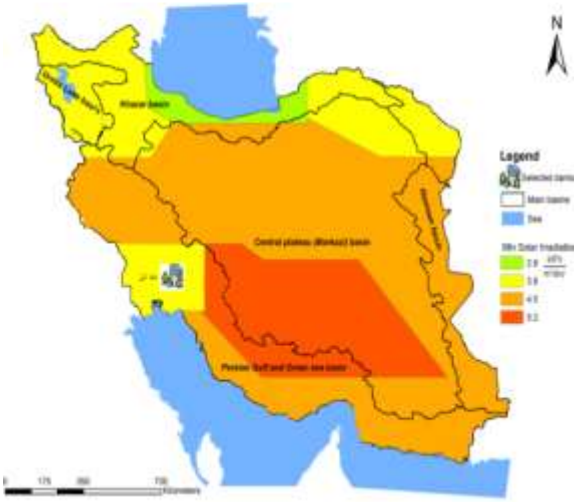
یکی دیگر از مسائلی که استفاده از نیروگاه خورشیدی شناور روی آب را برای ایران یک طرح مفید و توجیه‌پذیر می‌سازد، آن

است که ایران با معضل گردوغبار مواجه است؛ و قرار گرفتن نیروگاه‌های شناور خورشیدی بر روی سطح آب، به‌طور مثال در دریاچه پشت سدها نه‌تنها احتمال قرار گرفتن صفحات خورشیدی در معرض آلاینده‌های هوا همچون گردوغبار را کاهش می‌دهد بلکه هزینه تمیز کردن این صفحات را نیز به شکل قابل‌توجهی کمتر خواهد بود.



شکل (۸). موقعیت جغرافیایی سد دز

با توجه به نقشه حداقل تابش خورشیدی ایران سد دز در منطقه‌ای قرارگرفته است که حداقل تابش در آن بخش برابر $3/8 \frac{kWh}{m^2 day}$ می‌باشد و از این نظر این سد مستعد احداث پنل خورشیدی شناور است.



شکل ۹. نقشه حداقل تابش خورشیدی ایران [۲۵]

با توجه به شرایط اقلیمی و استفاده از پنل‌های خورشیدی سیلیکونی، درصورتی‌که حدود ۵۰ درصد از سطح روی مخزن سد دز را پنل‌های خورشیدی شناور پوشانده شود علاوه بر جلوگیری از تبخیر و هدر رفت آب موجب تولید توان الکتریکی مطابق جدول زیر می‌شود.

مقدار توان الکتریکی تولیدی توسط پنل‌های خورشیدی شناور با درصد پوشش ۵۰ درصد سطح کل مخزن آب‌گیری سد دز با توجه به شبیه‌سازی صورت گرفته با نرم‌افزار Matlab برابر ۲۵۷۰/۸۰ ($10^6 kWh$) است که برای تولید این مقدار توان الکتریکی توسط نیروگاه‌های سوخت فسیلی (MCM) ۵۵۲۵/۰۱ گاز و یا (10M No. Barrels) ۳۲/۵۸ نفت نیاز است. ازاین‌رو با اجرا این طرح علاوه بر کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در مصرف سوخت‌های فسیلی نیز صرفه‌جویی صورت می‌گیرد. علاوه بر این با توجه به نزدیکی این نیروگاه خورشیدی به نیروگاه برق‌آبی و خطوط انتقال امکان برق به‌راحتی میسر است.

۴. نتیجه‌گیری

فناوری فوتوولتائیک خورشیدی شناور، در طی عمر ۱۰ ساله‌اش پیشرفت قابل‌توجهی به دست آورده است. به‌تازگی سراسر جهان به سمت حمایت از انرژی‌های تجدید پذیر حرکت کرده و انگیزه‌های جذابی برای سرمایه‌گذاری در این عرصه ایجاد نموده‌اند. علاوه بر آن، هزینه سیستم‌های فوتوولتائیک و بهبود کارایی ماژول‌ها، سه محرک اصلی برای ارتقای فناوری فوتوولتائیک شناور در طی سه سال اخیر بوده‌اند. حالا که کشور ایران علاوه بر کمبود انرژی برق با مشکل کم‌آبی نیز مواجه است بهتر است از این فنّاوری نوظهور استفاده نماید. همان‌طور که در این پژوهش ذکر شد با پوشش ۵۰ درصدی سطح مخزن ذخیره آب سد دز با پنل‌های خورشیدی شناور، علاوه بر جلوگیری از تبخیر آب می‌توان تولید توان الکتریکی پاک و تجدید پذیر داشت.

۵. مراجع

[1] Alok Sahu, Neha Yadav, K. Sudhakar. “Floating photovoltaic power plant: A review”, 2016.

[2] Young-Kwan Choi, Ph.D. “A Study on Power Generation Analysis of Floating PV System Considering Environmental Impact”, 2014.

[3] Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd: http://pv float.com/english/

[4] D. Oliva, E. Cuevas, and G. Pajares, "Parameter identification of solar cells using artificial bee colony optimization", Energy, vol. 72, pp. 93– 102, Aug. 2014.

[5] Y.-H. Liu, J.-H. Chen, and J.-W. Huang, "A review of maximum power point tracking techniques for use in partially shaded conditions", Renew.Sustain. Energy Rev., vol. 41, pp. 436–453, 2015.

[6] A. R. Jordehi, "Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells: A review", Renewable Sustainable Energy Rev., vol. 61, pp. 354-371, August 2016.

[7] J. Siecker, K. Kusakana, and B. P. Numbi, "A review of solar photovoltaic systems cooling technologies", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 79, pp. 192-203, Nov 2017.

[8] P. Sivakumar, A. A. Kader, Y. Kaliavaradhan et al., "Analysis and enhancement of PV efficiency with incremental conductance MPPT technique under non-linear loading conditions", Renewable Energy, vol. 81, pp. 543-550, Sep 2015.

[9] Y. Wang, Sh. Zhou, and H. Huo, "Cost and CO2 reductions of solar photovoltaic power generation in China Perspectives for 2020", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 39, pp. 370–380, Nov 2014.

[10] S. I. Nanou, A. G. Papakonstantinou, S. A. Papathanassiou, "A generic model of two-stage grid-connected PV systems with primary frequency response and inertia emulation", Electric Power Systems Research, vol. 127, pp. 186-196, Oct 2015.

[11] M. Villalva, J. Gazoli, E. Filho, "Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 24, pp. 1198 – 1208, May 2009.

[12] VJ Chin, Z Salam, K Ishaque, "Cell modelling and model parameters estimation techniques for photovoltaic simulator application: A review", Applied Energy. vol. 154, pp. 500-19, Sep 2015.

[13] R Pradhan, "Development of new parameter extraction schemes and maximum power point controllers for photovoltaic power systems", Ph.D. dissertation, Dept. Electrical Engineering National Institute of Technology, Rourkela Univ., Rourkela, Odisha, India, 2014.

[14] S. Dubey, N. Jatin Narotam Sarvaiya, and S. Bharath Seshadri, "Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world–a review", Energy Procedia, vol. 33, pp. 311-321, Jan 2013.

[15] P. Breza, "Modelling and simulation of a PV generator for applications on distributed generation systems", M.S. thesis, Dept. EEMCS., Delft Univ., Delft, Netherlands, 2013.

[16]S. R. Chowdhury, S. Hiranmay, "Maximum power point tracking of partially shaded solar photovoltaic arrays", Solar energy materials and solar cells, vol. 94, pp. 1441-1447, Sep 2010.

[17] C. Schwingshackl, et al., "Wind effect on PV module temperature: Analysis of different techniques for an accurate estimation", Energy Procedia, vol. 40, pp. 77-86, Jan 2013.

[18] B. P. Jelle, et al, "Avoiding Snow and Ice Formation on Exterior Solar Cell Surfaces–A Review of Research Pathways and Opportunities", Procedia Engineering, vol. 145, pp. 699-706, Dec 2016.

[19] McKay, Abe. "Floatovoltaics: Quantifying the Benefits of a Hydro- Solar Power Fusion" (2013). Pomona Senior Theses. Paper 74.http://scholarship.claremont.edu/pomona_theses/74, retrieved July16, 2017.

[20] REN21. Renewables 2017 Global Status Report, 2017.

[21] Kim Trapani and Miguel Redón Santafé. “A review of floating photovoltaic installations: 2007–2013”, 2014.

[22] http://solaroutreach.org/2015/02/23/floatovoltaics/#, retrieved July16 ,2017.

[23] http://www.jdsupra.com/legalnews/summary-of-the-implementing- regulations- 20667/, retrieved July 16, 2017.

[24] Sh.Amir hoseini,Feasibility study of constructing a floating solar power plant, 5th international conference on technology and energy management, Tehran 1397.

[25] Evaluation of Factors Governing the Use of Floating Solar System: A Study on Iran's Important Water Infrastructures Mohammad Fereshtehpour, Reza Javidi Sabbaghian, Ali Farrokhi, Ehsan Bahrami, Elham Ebrahimi Sarindizaj.1December 2020 Jovein

[25]Iran water joint stock company.

[27] IPCC, 2007. Climate Change (2007): The Physical Science. Contribution of Working Group I to The Fourth Assessment Report of the IPCC (AR4). Cambridge University Press, Cambridge, 996 p.