تاریخ دریافت: ۲۱ تیر ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۱ مهر ۱۴۰۳ صفحات ۹۳ الی ۱۱۵

محاسبه عددی میزان تبخیر آب تالاب هامون با مدل‌سازی نصب پنل خورشیدی شناور

مجید زارع زاده
دکتری هیدرولوژی دریا، کارشناس انرژی و محیط زیست اداره کل استاندارد استان هرمزگان
Majid_zarezadeh_nu@yahoo.com
سعیده خوارزمی
دکتری اقلیم و هواشناسی، کارشناس مسئول پیش بینی اداره کل هواشناسی استان هرمزگان
s.khwarazmi@yahoo.com

چکیده: چالش مهم کاهش ورودی آب به حوزه آبریز تالاب هامون منجر به خشک شدن بستر این تالاب شده و با افزایش دما، در نهایت منجر به ایجاد یک کانون گرد و غبار خواهد شد. بکارگیری پنل خورشیدی شناور به عنوان پوشش تالاب هامون، با کاهش دمای آب زیر آن و ایجاد اثر بادشکنی، تا حدود بسیار زیادی از میزان تبخیر آب‌های این تالاب خواهد کاست و بر اساس مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PVSol نسخه ۲۰۲۱، بیش از MW ۱۷۶ انرژی الکتریکی و GWh/year ۳۰۶ برق تجدیدپذیر تولید خواهد شد. نتایج نشان داده است می‌توان از تبخیر بیش از ۱۹۰ هزار مترمکعب آب در مساحتی در حدود ۲۰ هکتار پوشش قطاع پنل خورشیدی شناور جلوگیری نمود. ضریب عملکرد مناسب توان خروجی پنل خورشیدی شناور، ۹۱٪، نصب شده و همچنین اثر کاهشی تبخیر با این نوع پوشش بر روی تالاب هامون، این فرایند را از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی، فرایندی اقتصادی می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: پنل خورشیدی شناور، تالاب هامون، تخمین تبخیر، ریزگرد

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

۱. مقدمه

خشکسالی وضعیتی گذرا و برگشت‌پذیر از اقلیم است که بسیاری به اشتباه آنرا واقعه‌ای تصادفی و نادر می‌پندارند، این پدیده در تمامی مناطق اقلیمی می‌تواند به وقوع بپیوندد و تنها مشخصات آن از یک منطقه به منطقه دیگر تفاوت می‌کند. خشکسالی را حاصل کمبود بارش در طی یک دوره زمانی ممتد می‌دانند که این کمبود منجر به کاهش آب برای فعالیت‌ها، گروه‌ها و یا یک بخش از محیط‌زیست می‌شود (مریم کریمی نظر و همکاران، ۱۳۸۸). پدیده خشکسالی به کمبود بارش در یک دوره بلند مدت گفته می‌شود، که به دلیل گستردگی مکانی و داشتن تبعات کوتاه مدت و بلند مدت اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، یکی از مهمترین بلایای طبیعی محسوب می‌شود، و می‌تواند موجب کاهش رطوبت خاک، جریان آب‌های سطحی و افت آب‌های زیرزمینی گردد (محمودی و همکاران، ۱۳۹۴). منطقه سیستان در استان سیستان و بلوچستان فاصله زیادی از دریا و اقیانوس‌ها دارد و تنها رودخانه دائمی هیرمند با حوزه آبگیر مجزا به صورت کمربندی در شمال آن حیات و ممات سیستان را تعیین می‌نماید. تالاب هامون در محدوده ۶۰ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی واقع بوده و مشتمل بر دریاچه، برکه‌ها و باتلاق‌هایی است که سطح آن مرتباً در حال نوسان و تغییر می‌باشد. وسعت هامون در شرایط حداکثر آبگیری حدود ۵۷۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که از این مقدار ۳۸۲۰ کیلومتر مربع متعلق به ایران است. دامنه عمقی هامون بین ۱ تا ۷ متر می‌باشد. هامون دریاچه‌های کم و بیش دائمی داشته و دارای آب شیرین است. در منطقه سیستان، سه هامون به نام‌های پوزک، صابری و هیرمند قرار دارد. این هامون‌ها به طور مجزا از منابع آبی جداگانه تغذیه می‌شوند ولی در موقع حداکثر آبگیری به هم می‌پیوندند. طی خشکسالی‌های گذشته جریان آب در این رودخانه و به تبع آن در دریاچه هامون کاهش یافته و به کفه خشک تبدیل نموده است. تغییر در میزان و رژیم بارندگی از جمله مظاهر قابل توجه تغییرات اقلیمی است (خادم الحسینی و گندمکار، ۱۳۸۸). رشد جمعیت همراه با توسعه اقتصادی مبتنی بر بکارگیری گسترده فناوری‌های نوین، اساس مجموعه‌ای از نیروهای انسانی مخرب زیست‌محیطی، از جمله انتشار وسیع گازهای گلخانه‌ای شده که تغییرات اقلیمی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

گسترده‌ای را درسرتاسر جهان در پی داشته و پیامد آن تبدیل شدن تغییرات اقلیمی به تهدیدی جهانی بوده است. به طور کلی تغییر اقلیم نوسان کلی و گسترده آب و هوای منطقه است و در حال حاضر زیاد شدن دمای کره زمین، کاهش بارندگی‌ها و افزایش وزش بادهای شدید بخشی از تغییر اقلیم قلمداد می‌شوند. ازاین‌رو تغییرات اقلیمی یکی از مسائل چالش‌برانگیز برای آینده توسعه به‌ویژه در مناطق خشک است که آثار آن کاهش تولیدی محصولات کشاورزی و تهدید معیشت روستایی است (Abdollahzadeh و همکاران، ۲۰۱۸). منطقه سیستان، واقع در قسمت شمالی استان سیستان و بلوچستان یکی از مناطق مهم و استراتژیک کشور از نظر اقتصادی، تجاری و امنیتی است و با داشتن ۹۰ هزار هکتار اراضی کشاورزی، نقش مهمی در تامین امنیت غذایی کشور ایفا می‌کند، و مدت‌های طولانی و مستمر دچار خشکسالی شده است. این منطقه در قسمت انتهایی حوضه آبریز هیرمند مشترک با کشور افغانستان قرار گرفته و همه منابع آب‌های سطحی ورودی به ایران از ارتفاعات واقع در کشور افغانستان سرچشمه می‌گیرد. حوضه آبریز هیرمند یک حوضه آبریز بسته است که بخش‌های بزرگی از جنوب و غرب افغانستان و بخش‌های کوچکی از جنوب شرق ایران را دربر می‌گیرد. این حوضه شامل تعدادی رود است که از ارتفاعات افغانستان سرچشمه می‌گیرد و به سمت دریاچه‌ها و تالاب‌های آب شیرین هامون روان هستند. منابع آب شرب و کشاورزی دشت سیستان و همچنین حقابه تالاب‌های هامون کاملا وابسته به میزان آب ورودی به ایران است. بر مبنای معاهده سال ۱۳۵۱ مابین ایران و افغانستان، حقابه ایران ۲۲ مترمکعب آب در ثانیه به‌طور متوسط در سال نرمال آبی، معادل ۸۲۰ میلیون مترمکعب در سال است که با بهره‌برداری از سدهای بالادست، دریافت حقابه ایران با چالش اساسی مواجه شده است (Khusfi،۲۰۲۳). مسیر طبیعی رودخانه هیرمند پس از عبور از خاک افغانستان امتداد می‌یابد و با ورود به تالاب‌های هامون از سمت شمال در دشت سیستان، در نهایت از قسمت جنوبی مجددا به خاک افغانستان بازگشته و به شوره‌زار گودزره وارد می‌شود. کشور افغانستان در سال ۱۳۹۹ اقدام به افتتاح سد کمال‌خان روی رودخانه هیرمنددر مرز مشترک دو کشور کرد که در نتیجه آن، بخش عمده‌ای از منابع آب این رودخانه بدون ورود به خاک ایران مستقیما وارد گودزره و از دسترس خارج می‌شود. از آنجائیکه در منطقه سیستان سفره‌های آب زیرزمینی نیز

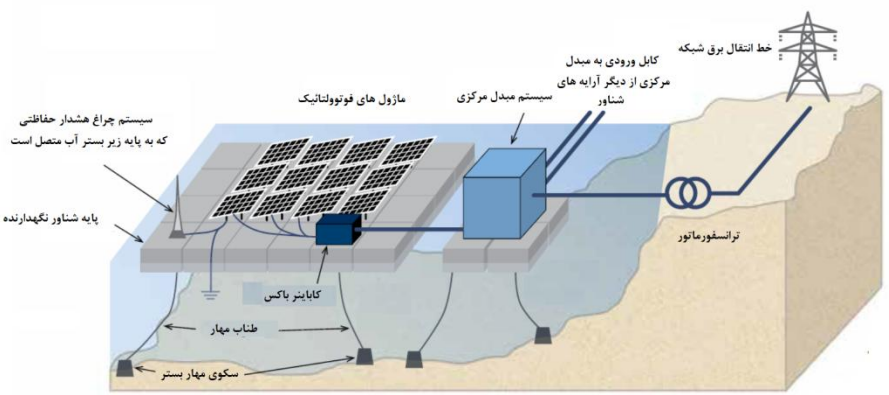
[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

به معنی واقعی وجود ندارد، رودخانه هیرمند و تالاب هامون رگ حیاتی دشت سیستان محسوب می‌گردد. همین امر موجب شده مردم محلی این منطقه ادارک زیادی نسبت به تغییر اقلیم و راهبردهای مقابله با آن را داشته باشند، و آمادگی مناسبی برای اقدامات موثر برای مقابله و کاهش پیامدها داشته باشند. همچنین کشاورزان و دامداران منطقه به عنوان افرادی که شغل آنها بیشترین آسیب را داشته، به دنبال راه‌حل‌های کاربردی و سازگاری با وضعیت موجود می‌باشند (عبدالله‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶).طی بررسی‌ها مشخص شده که میزان بارش‌ها دارای روند نزولی بوده است و همسویی بین کاهش بارش و کاهش دبی آب ورودی هیرمند موجب تخریب زمین بستر تالاب‌ها شده است (shokouhi Razi و همکاران، ۲۰۲۰).

بر این اساس و با توجه به بحران‌های اجتماعی، اقتصادی و امنیتی ناشی از خشک شدن تالاب هامون در منطقه سیستان، باید به دنبال رویکردی برای جلوگیری این چالش بود. روش‌هایی که برای جلوگیری از تبخیر بیشتر آب باقی‌مانده در تالاب هامون بکار خواهد رفت باید مطابق با شرایط اقلیمی و توسعه پایدار منطقه باشد و آثار و طبعات زیست‌محیطی مضری برای این تالاب نداشته باشد. در فناوری‌های نوین پوشش سطح مخازن و آب پشت سدها با استفاده از پنل خورشیدی یکی از روش‌های نوین برای کاهش میزان تبخیر آب، و تولید همزمان انرژی از تابش خورشید است (Zarezadeh، ۲۰۲۳). نتایج تحقیقات و پژوهش محققان در اکثر نقاط، با اقلیم‌های متفاوت، نشان از آثار مثبت و مفید نصب پنل خورشیدی است. نتایج نشان می‌دهد که این نوع پوشش منجر به کاهش محسوس و چشمگیر تبخیر آب موجود زیر کانال، مخزن سد و یا تالاب‌ها خواهد شد (Zarezadeh،Abdelal ;2024 ،Al-Widyan ;2021 و همکاران، ۲۰۲۱; Elshafei و همکاران، ۲۰۲۱). یکی از مهمترین عوامل تغییر به سمت این رویکرد، به ویژه در مناطق گرم و خشک، منفعت مضاعفی است که به علت کاهش دمای ناشی از گذر آب در زیر پنل خورشیدی در افزایش راندمان و توان خروجی این پنل‌ها خواهد داشت. نتایج تحقیقات نشان داده است، گذر آب از زیر پنل خورشیدی موجب کاهش دمای سطح پنل و در نتیجه افزایش ۸ ٪ الی ۱۳٪ توان خروجی آنها خواهد

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

شد (Aman and Dhanush، ۲۰۲۱). نمائی از نحوه چیدمان پنل خورشیدی شناور در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. چیدمان نحوه نصب پنل‌های شناور و تولید انرژی الکتریکی از آن(برگرفته از طرح پژوهشی موسسه تحقیقات انرژی خورشیدی سنگاپور که در دانشگاه ملی سنگاپور نصب شده است)

نصب و بکارگیری پنل خورشیدی شناور در کشورهای متفاوتی نظیر مصر، اردن، هند، چین، انگلیس و... با اقلیم‌های متفاوت تجربه شده است، اما می‌توان گفت به علت اهمیت آن در کاهش میزان تبخیر آب زیر پنل، اهمیت آن در مناطق گرمسیری محسوس‌تر است.

کره جنوبی همواره در فناوری‌های پاک و ارزان قیمت تجدپذیر پیشگام بوده است. نتایج تحقیقی در این کشور بر روی پنل خورشیدی شناور با توان‌های ۲۴۰۰kW، ۵۰۰kW و ۱۰۰ kW نشان داده است که بهره توان خروجی این تجهیزات ۱۱٪ بیشتر از تجهیزات مشابه نصب شده بر روی زمین است (Choi، ۲۰۱۴). کشور اردن دارای اقلیمی گرم و خشک است و همواره دچار تنش‌های آبی است. نصب پنل خورشیدی شناور بر روی مخازنی در این کشور به عنوان نمونه و پایلوت صورت پذیرفته است. نتایج این پژوهش نشان داده است که این پنل هیچ تاثیر نامطلوبی بر کیفیت آب نشان نداشته، و در مقابل، شواهدی از بهبود به ویژه در غلظت نیترات و کلروفیل وجود دارد. علاوه بر این، کاهش ۶۰٪ در تبخیر آب این مخازن مشاهده شده است. از طرف دیگر، تولید برق از پنل‌های شناور از نظر

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

آماری مشابه با پنل‌های روی زمین بود (Qasem، ۲۰۲۱). در پژوهشی دیگر در این کشور گروهی از محققان با نصب پنل خورشیدی شناور بر روی مخزن، علاوه بر بررسی کیفیت آب زیر پنل، میزان انرژی و اثرگذاری این پنل در کاهش تبخیر را پایش نمودند. اندازه‌گیری انرژی تولیدی از این پنل‌ها از آگوست ۲۰۲۰ تا ژانویه ۲۰۲۱ با استفاده از برد آردوینو با حسگرهای ثبت داده‌ها انجام شد. میانگین افزایش ۱٫۶۸٪در ولتاژ و ۴٫۴۰٪در جریان برای پنل شناور در مقایسه با پنل نصب شده روی زمین مشاهده شد، که به معنای افزایش متوسط ۵٫۳۳٪در تولید برق نسبت به پنل روی زمین است. همچنین بر اساس نتایج این پژوهش، راندمان و ضریب پرشدن به ترتیب ۴٫۸۹ و ۵٫۵۱ درصد افزایش یافت. نتایج اندازه‌گیری تبخیر نشان داد که پوشاندن بدنه‌های آبی با پنل‌ها می‌تواند مقدار قابل‌توجهی آب را ذخیره کند. در طی یک دوره ۳۰ روزه، تشت با پوشش ۳۰ درصد سطح مخزن، ۳۱٫۲ درصد (۳۶ میلی متر) آب صرفه‌جویی کرد در حالی که تشت با پوشش ۵۰ درصد سطح مخازن، ۵۴٫۵ درصد (۶۳ میلی متر) آب را در مدت مشابه در مقایسه با تشت بدون پوشش تبخیر را کاهش داده است (Al-Widyan و همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهشی در کشور مصر مزارع گسترده و وسیع پنل خورشیدی شناور بر روی دریاچه ناصر نصب و در مورد مزایای بکارگیری آنها توسط محققان پژوهش‌های گسترده‌ای انجام شده است. این پروژه پتانسیل این را دارد که یکی از بزرگترین تولیدکنندگان انرژی الکتریکی پاک ارزان قیمت در جهان برای اروپا و منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA) باشد، به ویژه با تلاش‌های مداوم برای اتصال کشورهای شمال آفریقا به اروپا. این مطالعه نشان می‌دهد که فاز اول این پروژه حدود ۱۶ درصد از نیاز اروپا به برق را تامین می‌نماید، و در حدود ۳ میلیارد متر مکعب آب شیرین صرفه‌جویی خواهد شد. در فازهای بعدی این پروژه انرژی سبز ارزان قیمتی را برای جایگزینی سوخت‌های قابل احتراق در اروپا تا سال ۲۰۴۵ فراهم می‌کند، در حالیکه ۱۰ تا ۱۲ میلیارد متر مکعب از آب شیرین از دست رفته توسط تبخیر دریاچه ناصر صرفه‌جویی می‌شود (Elshafei و همکاران، ۲۰۲۱). پژوهش گروه دیگری از محققان بر روی اثر نصب پنل خورشیدی بر روی همین دریاچه در مصر نشان داده که تبخیر از دریاچه ۱۰۹۱۲٫۰متر مکعب در سال تخمین زده شده است. نتایج نشان می‌دهد که پوشش ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ سطح دریاچه با پنل

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

شناور خورشیدی می‌تواند منجر به کاهش تبخیر ۲٫۱، ۳٫۲، ۶٫۳، ۷٫۰ و ۱۰۹۸٫۴ متر مکعب در هر سال شود و به میزان ۲٫۸۵، ۱۰۹، ۵٫۶۷، ۱۰۹۵٫۶۷، انرژی تولید کند. بر اساس نتایج این پژوهش با سطح پوشش‌های پنل خورشیدی شناور بیان شده، به ترتیب ۱۰۹۸٫۵۴و ۱۰۹۱۱٫۳۸مگاوات ساعت در سال برق تولید شده، و پوشش مناطق با عمق کمتر کارآمدتر و مقرون به‌صرفه‌تر بوده است. نتایج نشان می‌دهد که پوشش ۱۵ درصد از مساحت دریاچه با پنل خورشیدی شناور (عمق تا ۳٫۰ متر) می‌تواند ۱۰۹۲٫۶۶متر مکعب آب در سال صرفه‌جویی کند و ۱٫۷ مگاوات ساعت در سال برق تولید کند. پوشش ۲۵ درصد از مساحت دریاچه (عمق تا ۷٫۰ متر) می‌تواند ۱۰۹۳٫۵مترمکعب آب در سال صرفه‌جویی کند و ۲٫۸۵۴مگاوات ساعت در سال برق تولید کند (Abd-Elhamidو همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهشی در کشور آمریکا اثر قراردادن پنل خورشیدی شناور بر روی کانال‌های آب مطالعه شده است. نتایج نشان داده است که این نوع پوشش تبخیر آب را به طور متوسط ۱۲ ± ۳۹ هزار متر مکعب در هر کیلومتر کانال کاهش می‌دهد. علاوه بر این، منافع مالی ناشی از سایه‌اندازی کانال‌ها بر هزینه‌های اضافی سازه‌های پشتیبانی کابل مورد نیاز برای دهانه کانال‌ها بیشتر است. ارزش فعلی خالص (NPV) پنل خورشیدی روی کانال ۲۰ تا ۵۰ درصد بیشتر از پنل خورشیدی روی زمین است (McKuin و همکاران، ۲۰۲۱). یک مدل دریاچه هیدرودینامیکی-اکولوژیکی سه بعدی همراه با اندازه‌گیری‌های میدانی و نمونه‌برداری برای بررسی اثرات سیستم‌های فتوولتائیک شناور (PV) بر هیدرودینامیک و کیفیت آب در یک مخزن استوایی کم عمق در سنگاپور استفاده شد. این مدل با استفاده از داده‌های میدانی تأیید شد و متعاقباً برای پیش‌بینی تغییرات دما و کیفیت آب برای قرارگیری ۴۲ هکتاری پنل‌های فتوولتائیک شناور، که حدود ۳۰ درصد از سطح آب را پوشش می‌دهد و قادر به تولید حداکثر ۵۰ مگاوات انرژی است، اعمال شد (Yangو همکاران، ۲۰۲۲). پژوهشگران دانشگاه زاگراب کرواسی پژوهشی را بر روی تاثیر نصب پنل خورشیدی شناور در منطقه اوتارپرادش هند انجام داده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد که این فناوری در هند و چین با هزینه‌های بین USD/Wp ۰٫۵۹تا USD/Wp ۰٫۹برای کارخانه‌های بزرگ قابل اجراست(Vidovicو همکاران، ۲۰۲۳).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

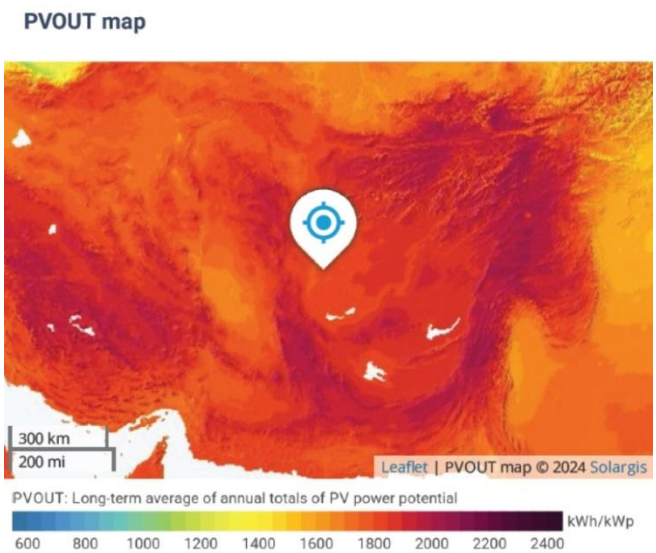
در ایران نیز پژوهش‌های در این زمینه صورت پذیرفته است، اما عمدتا در مبحث شبیه‌سازی بوده و نسبت به چالش و تنش آبی موجود در کشور این پژوهش ناچیز است. در تحقیقی امکان‌سنجی احداث نیروگاه شناور خورشیدی بر روی مخزن سد گیلارلو مطالعه شد. نتایج نشان داد که میزان تبخیر از این مخزن تا ۵۰٪ کاهش خواهد یافت و بهره خروجی توان این پنل‌ها ۱۰ الی ۱۵ درصد افزایش خواهد یافت (سیف‌الهی و همکاران، ۱۴۰۰). در پژوهشی دیگر تولید انرژی تجدیدپذیر با استفاده از انرژی خورشیدی و استفاده همزمان از پنل‌های خورشیدی به عنوان پوشش بر روی مخازن سدهای جگین و استقلال میناب در استان هرمزگان بررسی شده است. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PVSOL در سه حالت نصب جنوب سو، شرق-غرب، و حالت مسطح، و همچنین برآورد میزان حجم و سطح آب برای پوشش این پنل‌ها، نشان داد که با استفاده از پوشش منطقه آرامش موجود پشت مخازن و چیدمان مسطح پنل در این سدها، نیروگاه خورشیدی با توان ۹GW با انرژی تولیدی ۹۰۰۰ GWh/year ساخته خواهد شد، و علاوه بر آن در اثر کاهش دمای آب زیر پنل‌ها 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 منجر به ایجاد نیروگاه‌هایی با ضریب عملکرد بیش از ۸۰٪ خواهد شد (Zarezadeh،۲۰۲۴).

توسعه انرژی خورشیدی بر روی کانال‌ها پاسخی نوظهور به رابطه انرژی-آب-غذا است که می تواند مزایای متعددی برای زیرساخت های آب و انرژی داشته باشد. بر این اساس به منظور امکان‌سنجی نصب پنل خورشیدی شناور در تالاب هامون با استفاده از نرم‌افزاهای ArcGIS و PVSol، مدل‌سازی و جانمائی در این منطقه صورت پذیرفت.

۲. مواد و روش‌ها

بررسی اقلیم منطقه سیستان پایه تعیین میزان انرژی تابشی خورشید و عوامل تاثیرگذار در تبخیر است. بر اساس داده‌های پایگاه داده جهانی، منطقه سیستان یکی از غنی‌ترین مناطق از لحاظ انرژی تابش خورشیدی است (شکل۲).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]



شکل۲.میانگین زمانی بلندمدت انرژی خورشیدی در منطقه سیستان

یکی دیگر از مزیت‌های منطقه سیستان و محدوده تالاب هامون، مدت زمان مناسب استفاده از انرژی خورشید در طول بازه زمانی روز است. در تمامی ماه‌ها و فواصل سال حداقل ۱۰ ساعت از روز امکان اخذ انرژی خورشیدی وجود دارد، و در برخی از ماه‌های سال این زمان به ۱۲ ساعت در روز نیز می‌رسد (شکل۳). البته این موضوع همانقدر که در تامین انرژی الکتریکی مفید بوده و یک امتیاز محسوب می‌گردد، در افزایش تبخیر آب‌های سطحی تالاب هامون و رودخانه هیرمند نیز اثرگذار است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m^2]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6				1	24	49	31	11	1			
6 - 7			32	119	181	261	216	202	189	66	22	
7 - 8	90	190	241	276	319	400	356	385	417	383	292	194
8 - 9	412	378	374	393	431	509	471	506	548	518	482	466
9 - 10	503	470	474	491	524	598	565	601	644	609	576	563
10 - 11	566	549	545	549	578	648	626	661	709	670	628	624
11 - 12	601	605	601	577	599	673	650	690	733	702	650	653
12 - 13	597	616	609	575	593	672	654	689	723	684	635	643
13 - 14	565	561	556	539	559	649	631	660	677	625	581	591
14 - 15	500	501	470	459	495	593	577	602	614	544	497	514
15 - 16	407	409	373	360	399	510	489	508	505	428	375	399
16 - 17	126	234	257	246	284	394	375	382	334	136	70	70
17 - 18		2	42	73	126	247	228	170	46			
18 - 19					1	33	31	2				
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	4,367	4,515	4,576	4,658	5,111	6,236	5,898	6,067	6,140	5,364	4,808	4,717

شکل۳. نمایی از تابش عمودی در منطقه سیستان در ماه‌های مختلف سال

روش‌های مختلفی برای تعیین کمیت تبخیر وجود دارد: روش بودجه آب، روش انتقال جرم، روش بودجه انرژی، تبخیر تشت و روش‌های ترکیبی. شاید بیشترین استفاده از روش ترکیبی معادله پنمن باشد، که تبخیر را به تشعشع خالص جذب شده توسط بدنه آبی، سرعت باد، مقادیر فشار بخار و تعدادی از عوامل دیگر مرتبط می‌کند (Finch and Hall، ۲۰۰۱). روش هامون برای تخمین تبخیر از سطوح باز یکی از روش‌های صحه‌گذاری شده و با دقت و درستی مناسب برای برآورد میزان تبخیر آب از مخازن و سدها است. در این روش ابتدا زاویه میل تابش بر حسب رادیان محاسبه می‌شود (Salazar and McNutt، ۲۰۱۲):

$$\delta = 0.4093 \sin(\frac{2\pi}{365} J - 1.405) \quad (۱)$$

که در آن J روز ژولیوسی است. مرحله بعدی محاسبه زاویه ساعت آفتاب است (Salazar and McNutt، ۲۰۱۲):

$$\omega = \arccos(-\tan \emptyset \tan \delta) \quad (۲)$$

که در آن ω زاویه ساعت طلوع بر حسب رادیان، ϕ عرض جغرافیایی موقعیت سد یا مخزن بر حسب درجه است. حال با استفاده از این داده‌ها بیشینه ساعات ممکن نور روز بدست آورده می‌شود (Salazar and McNutt، ۲۰۱۲):

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

$$D = \frac{24}{\pi}\omega \quad (۳)$$

که در آن D بیشنه مقدار ساعت طول روز است. پس از بررسی وضعیت جغرافیایی و نحوه تابش خورشید، باید عوامل اقلیمی موثر در فرایند تبخیر بررسی شوند. فشار بخار اشباع شده با رابطه (۴) محاسبه می‌شود (Salazar and McNutt، ۲۰۱۲):

$$e_s = 0.6108\exp\left(\frac{17.27T_a}{237.3+T_a}\right) \quad (۴)$$

که در آن e_s فشار بخار اشباع شده بر حسب کیلوپاسکال، T_a میانگین دمای روزانه بر حسب سلسیوس است. دانسیته بخار اشباع شده از رابطه گاز ایده‌آل به شکل زیر محاسبه می‌شود (Salazar and McNutt، ۲۰۱۲):

$$SVD = 2166.74\frac{e_s}{T_a} \quad (۵)$$

که در آن SVD چگالی بخار اشباع شده بر حسب گرم بر متر مکعب و e_s فشار بخار اشباع شده برحسب کیلوپاسکال، و T_a میانگین دمای روازنه بر حسب کلوین است. رابطه هامون برای تخمین میزان تبخیر مخزن و سد از رابطه زیر بدست می‌آید(Salazar and McNutt، ۲۰۱۲):

$$E = 0.55\left(\frac{D}{12}\right)^2\left(\frac{SVD}{100}\right) \quad (۶)$$

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 برنامه متلب و برنامه‌نویسی در فایل متنی، کلیه داده‌ها به کل یکپارچه و پیوسته به برنامه داده شده است و بر اساس خروجی برنامه متلب و رابط گرافیکی آن نتایج تحلیل شده است. داده‌های اقلیمی ۲۰ سال از ایستگاه‌های هواشناسی اخذ شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

شکل۴. منطقه مورد نظر برای نصب پنل خورشیدی شناور متناسب با الزامات فنی

در مبحث امکان‌سنجی مباحث فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی در ساخت و بنا نهادن اینگونه پروژه‌ها از اهمیت خاصی برخودار است. از لحاظ اقتصادی مقایسه نیروگاه خورشیدی شناور و نیروگاه خورشیدی نصب شده بر زمین تفاوت چندانی نداشته و تنها هزینه‌های اضافی نظیر سکوی شناور، نگهدارنده و... به آن افزوده می‌شود. عمدتا در نیروگاه‌های خورشیدی بین ۳۵ تا ۴۰درصد هزینه مربوط به ماژول‌ها است (Mirsa، ۲۰۲۲). از لحاظ فنی نیز باید منطقه مورد بررسی در سطح تالاب بگونه‌ای باشد که دارای عمق مناسب برای نصب تجهیزات بوده و تحت تاثیر جریان‌های هیدرودینامیکی سریع و گردابی نباشد. همچنین در اثر ورود آب به تالاب و یا مخزن سد، ارتفاع تجهیزات نصب شده شناور از نقطه صفر معیار بالاتر نرود (Jahromi و همکاران، ۲۰۲۴). از لحاظ فنی، پنل خورشیدی شناور باید به منطقه‌ای که به شبکه برق سراسری نزدیک است نصب شود. همچنین برای جلوگیری از ایجاد تلاطم‌های جریان‌های سریع، بهتر است نصب پنل شناور در منطقه آرامش مخازن شد و یا ساحل تالاب با شکل کاو باشد. نرخ رسوب‌گذاری و همچین نرخ رشد گیاهان و درختچه‌های ساحلی و درون‌تالابی نیز از عوامل مهم و تاثیرگذار است. لذا بر اساس این پارامترها و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS منطقه مورد نظر درون تالاب هامون با مساحت حدودی ۶۰

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

هکتار انتخاب شده است (شکل۴). هدف از توصیه به استانداردها و الزامات امکان‌سنجی، تسریع طراحی ایمن، پایدار و سالم است.

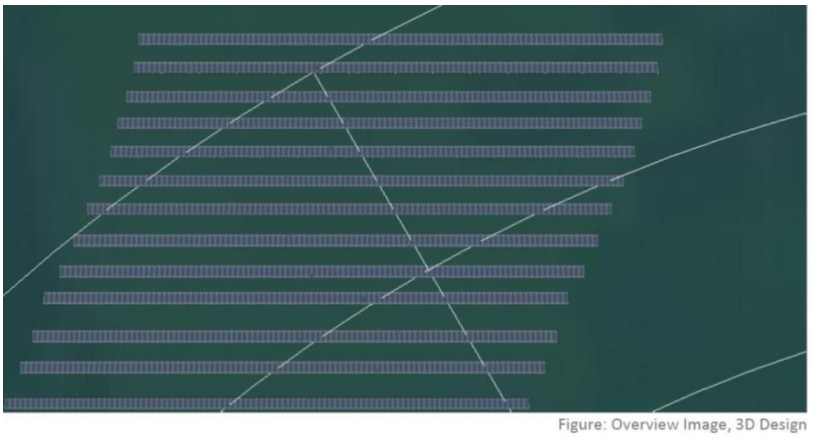
پس از تخمین میزان تبخیر آب از تالاب هامون، و همچنین انتخاب موقعیت مناسب برای نصب پنل خورشید شناور، مطابق با الزامات فنی، نیاز به مدل‌سازی فرایند نصب پنل خورشیدی شناور در منطقه مورد بررسی، و تخمین میزان انرژی خروجی دریافتی با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و مباحث فنی است. با استفاده از نرم‌افزار PVSol 2021 صورت می‌پذیرد. از آنجائیکه در نصب پنل خورشیدی شناور، به علت وضعیت شناوری و همچنین امکان‌سنجی نصب کابل و تجهیزات الکترونیکی نیاز است پنل‌ها در قطاع‌های با ابعاد مشخص نصب و بارگذاری شوند (Vidovicو همکاران، ۲۰۲۳).

شکل۵. نمایی از نصب پنل خورشیدی شناور

باید در نظر داشت ساخت پنل خورشیدی شناور متشکل از سکوی شناورها، بویه، لنگرها و پیوندهای پهلوگیری است که هزینه کلی فرایند را افزایش می‌دهد. سازه نگهدار پنل خورشیدی شناور را می

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

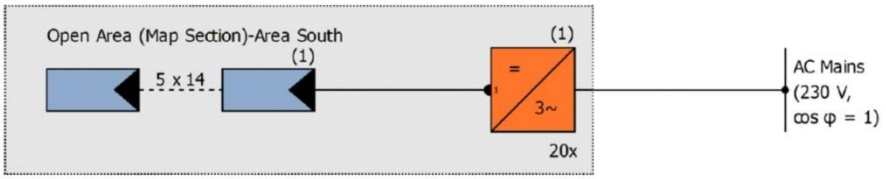
توان در کف دریاچه یا کناره‌های خشکی دریاچه انجام داد. مبدل‌ها را می‌توان بر روی زمین خشک توسط بدنه آبی یا روی شناورها قرار داد که اغلب برای تاسیسات بزرگتر صدق می‌کند. پس از اخذ داده‌های اقلیمی، و موقعیت ارتفاع رقومی و عمق تالاب هامون، این داده‌ها وارد نرم‌افزار می‌شود. با توجه به مسائل فنی مطرح شده، ابعاد صفحات شناور برای نصب پنل در ابعاد ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر درنظر گرفته شده است. ساختار پنل‌های خورشیدی بر روی این سازه استقرار یافته و با جهتگیری ۵ درجه نسبت سطح آب و به سوی جنوب بر روی این صفحه شناور نصب شده است (شکل۶).



شکل۶. نمایی از مدل‌سازی نصب پنل خورشیدی شناور خروجی نرم‌افزار PVSol

در این مدل‌سازی و سکوی شناور، ۱۴۰۰ پنل خورشیدی و ۲۰ مبدل در فضای ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر قرار داده شده است. برای پوشش دیگر سطوح تالاب هامون نیز به همین شکل شبیه‌سازی ادامه خواهد یافت و این سکوهای مشخص شده با فاصله تعیین شده در کنار یکدیگر قرار داده خواهند شد. با توجه به مساحت موثر موجود در منطقه مورد مطالعه، امکان نصب ۲۰۰ قطاع شناور در این منطقه وجود دارد. از آنجائیکه این پنل‌های خورشیدی برای تولید جریان الکتریکی است، مدار سری پنل‌ها برای هر قطاع شناور و ایجاد برق پاک تجدیدپذیر سطح مقطع آن و تبدیل از جریان DC به AC نیاز است، این مدار نیز در طراحی پنل شناور ارائه شده است (شکل۷).

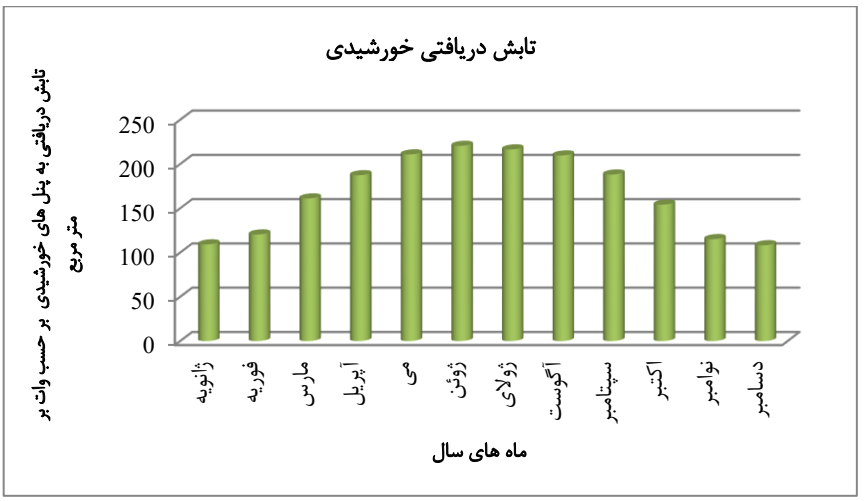
[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]



شکل۷. مدار قطاع پنل خورشیدی شناور

۳. نتایج

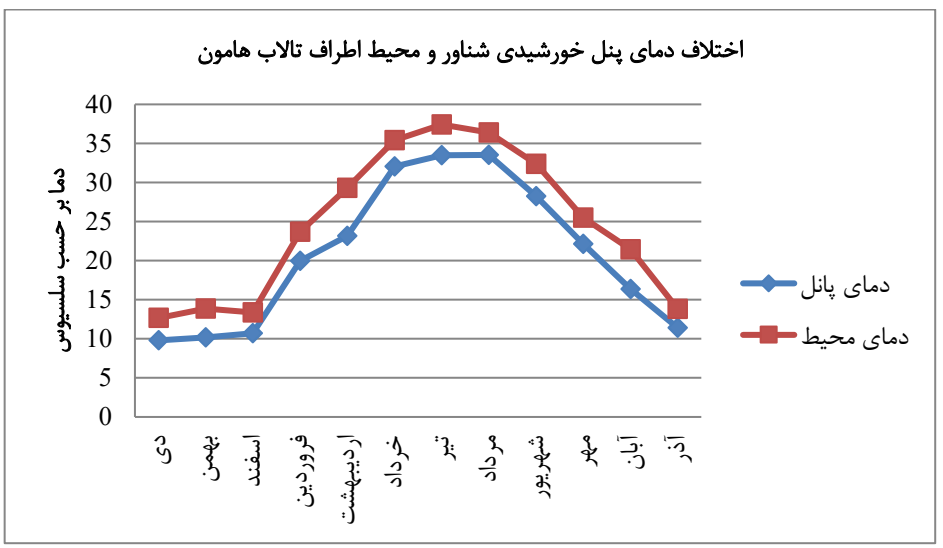
از آنجائیکه هدف از این پژوهش کاهش تبخیر آب تالاب با پوشش پنل خورشیدی شناور است، لذا نتایج نیز بر اساس این اهداف بیان خواهد شد. میزان تابش دریافتی هر یک از پنل‌های خورشیدی برای تولید انرژی تجدیدپذیر اهمیت خاصی دارد. شکل ۸ میزان تابش دریافتی را در ماه‌های متفاوت سال بیان می‌نماید. همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود میزان تابش دریافتی در کل ماه‌های سال بیش از ۱۰۰ $watt/m^2$ است که این مقدار انرژی در تولید انرژی خورشیدی یک موهبت است. بر اساس این سری زمانی، با گذر از ماه‌های سرد به گرم، این میزان انرژی به شکل چشمگیری افزایش می‌یابد، به شکلی که در خرداد و تیرماه این مقدار دو برابر می‌شود.



شکل۸. میزان تابش دریافتی پنل‌های خورشیدی نصب شده در تالاب هامون

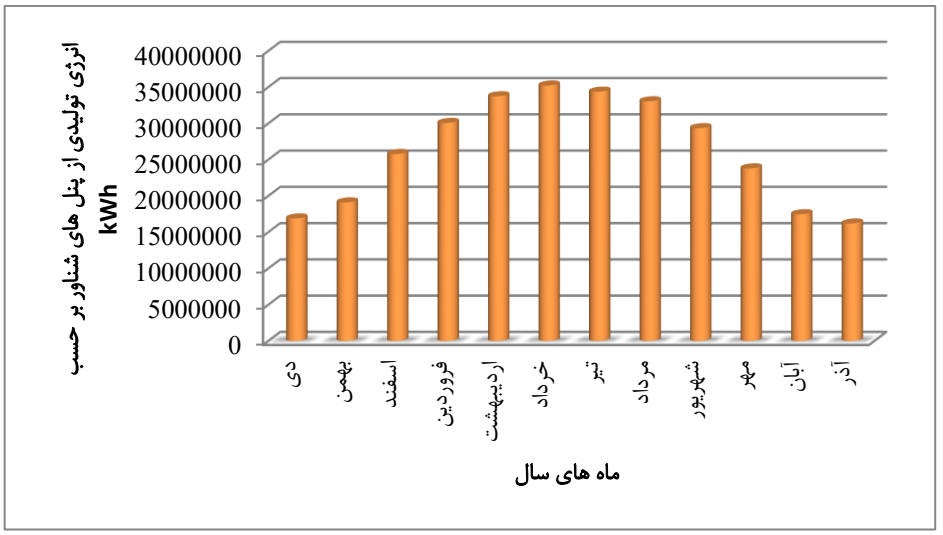
[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

اثر قراردادن پنل خورشیدی بر روی تالاب منجر به کاهش دمای آب و در نتیجه کاهش تبخیر خواهد شد. تغییر دما در ماه‌های مختلف سال تفاوت دارد. تخمین این اختلاف دما بین ۲ تا ۶ درجه سلسیوس است (شکل۹). این کاهش دما علاوه بر کاهش تبخیر آب قرار گرفته در زیر پنل خورشیدی شناور، منجر به افزایش توان خروجی پنل خورشیدی خواهد شد. ماحصل نهایی این نصب پنل خورشیدی شناور تولید انرژی الکتریکی ۱۷۶٫۴ MW و برقی به میزان ۳۰۶٫۶ GWh/year برق به شبکه محلی وارد خواهد شد (شکل ۱۰).



شکل۹. اختلاف دمای محیط اطراف تالاب هامون و آب قرار گرفته زیر پنل خورشیدی شناور

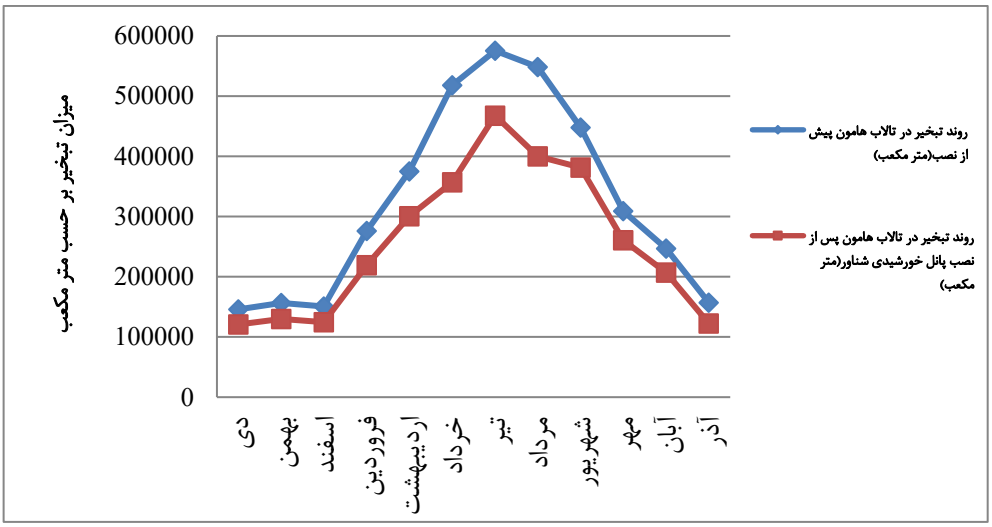
[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]



شکل۱۰. انرژی تولیدی در ماه‌های متفاوت سال از پنل‌های خورشیدی شناور نصب شده بر روی تالاب هامون

هدف نهایی این پژوهش بررسی میزان تاثیرگذاری نصب پنل خورشیدی شناور به عنوان پوشش و کاهش میزان تبخیر بوده است. لذا بر اساس روابط ۱ تا ۶ و همچنین تخمین تغییرات دمایی سطح آب و بادشکنی این پنل‌ها، میزان تبخیر و اثر کاهشی آن محاسبه شده است (شکل۱۱). نتایج تخمین و برآورد میزان تبخر نشان می‌دهد پنل خورشیدی شناور نصب شده منجر به کاهش ۲۵٪ میزان تبخیر از تالاب هامون خواهد شد.

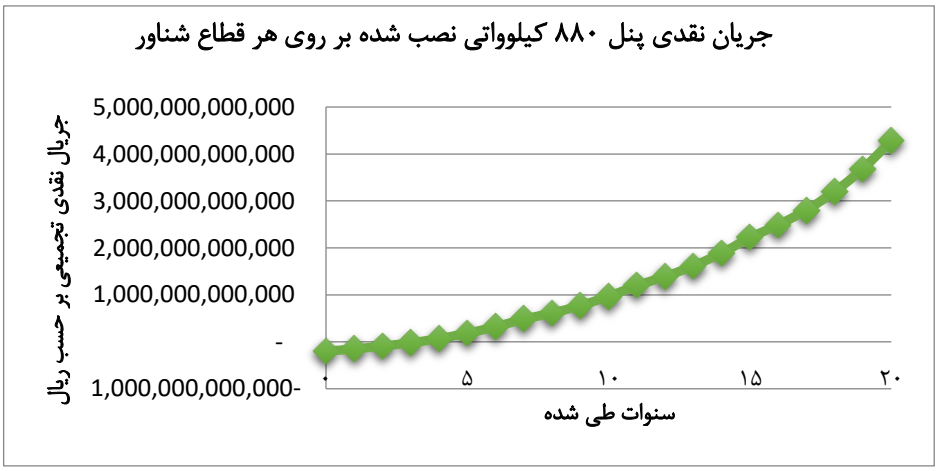
[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]



شکل۱۱.تخمین میزان تبخیر آب در حالت بدون پوشش پنل خورشیدی شناور و با وجود پنل خورشیدی شناور طی یک سال

کاهش ۲۵٪ میزان تبخیر و انرژی الکتریکی تولید شده ناشی از این پنل‌های خورشیدی، علاوه بر آثار مثبت زیست‌محیطی در این منطقه، موجب رونق اقتصادی و جلوگیری از تخلیه منطقه خواهد شد. بر اساس آنالیزهای انجام شده و با در نظر گرفتن قیمت تضمینی خرید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر توسط دولت، برگشت هزینه سرمایه‌گذاری در این طرح برای هر قطاع ۸۸۰KW حدود ۴ الی ۵ سال می‌باشد (شکل۱۲).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]



شکل ۱۲. هزینه سرمایه‌گذاری و برگشت سرمایه هر قطاع شناور پنل خورشیدی

مقایسه این شبیه‌سازی با پژوهش تانجام شده در غرب استان هرمزگان، که اقلیمی تقریبا مشابه با سیستان و بلوچستان دارد، نشان داده که ضریب عملکرد پنل‌های شناور نصب شده بر روی دریاچه هامون بیش از ۱۰٪ بهره بیشتری نسبت به پنل خورشیدی شناور نصب شده بر روی مخازن سدهای غرب استان هرمزگان است. در زمینه تبخیر آب زیر پنل‌ها، مقایسه این داده‌ها نشان می‌دهد تفاوت معناداری بین این دو منطقه در میزان اثرگذاری بر روی تبخیر وجود ندارد.

۴. جمع‌بندی

طبعات و آثار ناشی از خشک شدن تالاب هامون و ریزگردهای ناشی از آن موضوعی فرامنطقه‌ای است که آثار زیانبار آن نه تنها در ایران، بلکه در کشورهای افغانستان، پاکستان و حتی بخشی از هند نیز قابل احساس است (Modaresi و همکاران، ۲۰۲۲ ; Davarpanah و همکاران، ۲۰۲۴). نتایج مدل‌سازی تولید انرژی خورشیدی از پنل شناور نشان می‌دهد بهره خروجی پنل‌های نصب شده دارای راندمان بسیار مناسبی است و قابل مقایسه با دیگر نقاط نیروگاه‌های خورشیدی شناور است. ضریب عملکرد ۹۱٪ خروجی مدل‌سازی نصب پنل شناور بر روی تالاب هامون، کمیتی بسیار مناسب در

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

فرایند تولید انرژی تجدیدپذیر خورشیدی است. از آنجائیکه محاسبات عددی انجام شده برای برآورد کاهش تبخیر تنها بر روی بخش کوچکی از این تالاب انجام شده است، در صورت عملیاتی شدن و توسعه این قطاع‌های شناور خورشیدی به دیگر بخش‌های تالاب هامون، حجم بسیار زیادی از آب به این حوزه آبریز افزوده خواهد شد. چالشی که در پیشروی این طرح و عملیاتی شدن آن می‌باشد، وجود گرد و غبار و ریزگرد در برخی ایام سال دراین منطقه است. بر اساس پژوهش‌های مختلف در کشورهای متفاوت، بیشینه مقداری که گرد و غبار و خاک می‌تواند بر روی عملکرد پنل خورشیدی تاثیرگذار باشد کاهش ۳۰٪ راندمان است که با شتشوی آب جاری در زیر این پنل‌ها می‌توان مشکل را تا حد بسیار زیادی حل نمود (Memiche و همکاران، ۲۰۲۰; Rao و همکاران، ۲۰۲۰; Andera و همکاران، ۲۰۱۴). در پایان باید یادآوری کرد این موضوع یک چالش بین‌المللی است و توسعه فناوری پنل شناور با کمک مجامع بزرگ فنی، اقتصادی و سازمان ملل می‌تواند از تبدیل شدن این تالاب به یکی از چشمه‌ها کانونی گرد و غبار و ریزگرد جلوگیری نماید.

۵. منابع

ابراهیمی خوسفی، محسن(۱۴۰۲)، "تحلیل تغییرات مساحت تالاب‌های هامون و سایر پهنه‌های آبی منطقه سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای"، *نشریه جغرافیا و توسعه*، ۷۱(۲۱)، صص ۱۳۹-۱۶۵.

خادم‌الحسینی، احمد؛ گندمکار، امیر (۱۳۸۸)، "بررسی روند تغییرات بارش در زابل"، *نشریه آمایش محیط*، ۶(۲)، صص ۶۵-۷۶.

کریمی نظر، مریم؛ مساعدی، ابوالفضل؛ فخیره، اکبر (۱۳۸۸)، "بررسی فاکتورهای اقلیمی موثر بر وقوع خشکسالی(مطالعه موردی:زابل)"، *پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، گرگان

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

سیف‌الهی، مهران؛ بدرزاده، رضا؛ عباسی، سلیم (۱۴۰۰)، "مطالعه امکانسنجی احداث نیروگاه خورشیدی شناور در مخزن سد (مطالعه موردی: سد گیلارلو، اردبیل)"، *هفتمین کنفرانس بین‌المللی فناوری و مدیریت انرژی*، اردبیل. ایران.

محمودی، پیمان؛ طاوسی، تقی؛ شاهوزئی، عبدالرئوف (۱۳۹۴). "خشکسالی و تاثیر آن بر کیفیت منابع آب سطحی در استان سیستان و بلوچستان"، *نشریه پژوهش آب در کشاورزی*، جدل۲۹. شماره۱ ، صص ۲۱-۳۵.

عبدالله‌زاده، غلامحسین؛ اژدرپور، علیرضا؛شریف‌زاده، م.(۱۳۹۶)، "بررسی ادراک روستاییان نسبت به تغییرات اقلیمی و راهبردهای سازگاری در شهرستان زابل"، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، (۴)۶۸، صص۸۵-۱۰۶.

Aggarwal, S. K., Saini, L. M., and A. Kumar (2008). "Electricity price forecasting in Ontario electricity market using wavelet transform in artificial neural network based model", *International Journal of Control*,Automation and Systems, Vol. 6. No.5, pp. 639–650.

Barreto, H., and F. Howland (2005), *Using Monte Carlo Simulation With Microsoft Excel*, NewYork City: Cambridge University Press

Abdelal, Q (2021). "Floating PV; an assessment of water quality and evaporation reduction in semi-arid Regions", *International Journal of Low-Carbon Technologies*. Vol. 16, pp.732–739.

Al-Widyan, M., Khasawneh, M., Abu-Dalo, M (2021). "Potential of Floating Photovoltaic Technology and Their Effects on Energy Output, Water Quality and Supply in Jordan". *Energies*. Vol.14. pp 1-13.

Aman, B., Dhanush. S (2021). "Feasibility study of floating solar panels over lakes in Bengaluru City, India". *Smart Infrastructure and Construction*. 174(1). Pp. 1–10.

Andrea, Y., Pogrebnaya, T., Kichonge (2019). "Effect of Industrial Dust Deposition on Photovoltaic Module Performance: Experimental Measurements in the Tropical Region". *International Journal of Photoenergy* Volume 2019, Article ID 1892148, 10 pages.https://doi.org/10.1155/2019/1892148.

Abd-Elhamid, H, F,. Ahmed, A,. Zelenakova, M,. Vranayova, Z,. Fathy, I (2021). "Reservoir Management by Reducing Evaporation Using Floating Photovoltaic System: A Case Study of Lake Nasser, Egypt". *Water* 2021, 13, 769. https://doi.org/10.3390/w13060769.

Choi, Y, K (2014). "A Study on Power Generation Analysis of Floating PV System Considering Environmental Impact". *International Journal of Software Engineering*

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

and Its Applications, Vol.8, No.1, pp.75-84 http://dx.doi.org/10.14257/ijseia.2014.8.1.07

Darvishi Boloorani, A., Najafi, M., Soleimani, M., Papi, R., and Torabi, O (2022). "Influence of Hamoun Lakes' dry conditions on dust emission and radiative forcing over Sistan plain, Iran". *Atmospheric Research*. Vol. 272, pp.106152.

Davarpanah, M., Ahmadpour, M., Shahrriri, M., Ghafarimoghaddam, Z., Mirshekari, S (2024). "Estimating the economic damages of the effects of dust on the beneficiaries of Hamon Wetland", *Journal of Environmental Sciences Studies*. 8(4), pp. 7541-7556.

Elshafei, M., Ibrahim, A., Helmy, A., Abdallah, M., Eldeib, A., Badawy, M., AbdelRazek, S (2021). "Study of Massive Floating Solar Panels over Lake Nasser", *Journal of Energy*. 2021. pp.1-17.

Finch, J, W., Hall, R L (2001). "Estimation of Open Water Evaporation", *A Review of Methods R&D Technical Report W6-043/TR. Centre for Ecology and Hydrology – Wallingford*, Maclean Buildings, USA.

Jahromi, D., Minoofar, A., Ghorbani, Gh., Gholami, A., Ameri, M., Zandi, M (2024). "Harnessing Sunlight on Water: A Comprehensive Analysis of Floating Photovoltaic Systems and their Implications Compared to Terrestrial", *Journal of Renewable Energy and Environment* (JREE). 11(1), pp. 89-99.

McKuin, B., Zumkhr, A., Ta, J., Bales, R., Viers, J, H., Pathak, T., Campbell, J, E (2021). "Energy and water co-benefits from covering canals with solar panels". *Nature Sustainability*, Vol. 4. pp. 609–617. https://doi.org/10.1038/s41893-021-00693-8.

Memiche, M., Bouzian, Ch., Benzahia., Moussi, A (2020). "Effects of dust, soiling, aging, and weather conditions on photovoltaic system performances in a Saharan environment—Case study in Algeria". *Global Energy Interconnection*. Vol. 3. No. 1. pp. 60-67. https://doi.org/10.1016/j.gloei.2020.03.004

Mirsa, D (2022). "Detailed Project Report 160 MW Floating PV plant in Indravati reservoir in Odisha". *India - EU Clean Energy and Climate Partnership (CECP)State, India*

Modaresi Rad, A., Kreitler, J., Abatzoglou, J., Fallon, K., Roche, K. R,. Sadegh, M (2022). "Anthropogenic stressors compound climate impacts on inland lake dynamics: The case of Hamun Lakes". *Science of The Total Environment*. 829. 154419.

Rao, A., Pilla, R,. Mani, M., Ramamurthy, P (2014). " Influence of dust deposition on photovoltaic panel performance". *Energy Procedia*. Vol. 54 (2014), pp. 690 – 700.

Salazar, K., McNutt, M (2012). "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", *Scientific Investigations Report 2012–5202. U.S. Geological Survey. Reston, Virginia. USA*.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]

Zarezadeh, M (2023). "Simultaneous Supply of Energy and Water by Rainwater Harvest from the Roof of the Greenhouse Structure with a Solar Panel", *Water Harvest Research*. Vol. 6. No. 1. pp. 55-69.

Zarezadeh, M (2024). "Investigating the Installation of Solar Panels in Reducing the Evaporation of Canal Water. Journal of Water and Wastewater", Vol. 34. No. 6. pp. 58-68 . doi: 10.22093/wwj.2023.382886.3317.

Zarezadeh, M (2024). "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*. Vol. 2. No. 4. Pp. 369-387. 10.22059/ses.2024.373539.1055

Vidovic, V., Krajacic, G., Matak, N., Stunjek, G., Mimica, M (2023). "Review of the potentials for implementation of floating solar panels on lakes and water reservoirs", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 178, 113237.

Yang, P., Chua, L, H, C,. Irvine, K, N,. Nguyen, M, T,. Low, E, W (2022). "Impacts of a floating photovoltaic system on temperature and water quality in a shallow tropical reservoir". *Limnology* (2022) 23. pp. 441–454 https://doi.org/10.1007/s10201-022-00698-y

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-01]