تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۲۲/ شماره ۸۲/ بهار ۱۴۰۰/ص ۱۰۲-۸۹

نوع مقاله: علمی پژوهشی

تحلیل اقتصادی کاربرد سلول‌های خورشیدی روی دریاچهٔ سدها (مطالعهٔ موردی: سد انحرافی نوروزلو)

میلاد رضائی[۱] و حجت احمدی[۲*]

۱ و ۲- به ترتیب: کارشناسی ارشد؛ و دانشیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه ، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۲

چکیده

ایران سرزمینی است کم بارش و با توجه به پیامدهای تغییرات اقلیمی و وجود خشکسالی باید برای رفع کم آبی در کشور از هر راهی جلو هدر رفت آب را گرفت. مطالعات در بارهٔ شدت تابش نور خورشید در کشور ایران نشان می‌دهد که به کارگیری برق خورشیدی در ایران مناسب است و می‌تواند بخشی از انرژی مورد نیاز کشور را تأمین کند. در استان آذربایجان غربی هر ساله حجم عظیمی از آب‌ها در اثر تبخیر از دسترس خارج می‌شود. در این تحقیق کاهش تبخیر از سد انحرافی نوروزلو با به‌کارگیری پنل‌های خورشیدی بررسی شده‌است. برای این منظور تبخیر واقعی آب دریاچهٔ سد با استفاده از داده‌های ایستگاه کلیماتولوژی سد نوروزلو برآورد و با نرم‌افزار پی وی سیست[۱] برآورد میزان بار انرژی خورشیدی در محدودهٔ سد استخراج گردید. پروژه از نظر اقتصادی بررسی و سود آوری آن تحلیل شد. نتایج تحلیل‌ها نشان داد طبق برآوردهای اقتصادی، متوسط هزینه برای خود کفایی برق مصرفی ۱۰۰۰ خانوار اطراف سد حدود ۳۸ میلیارد ریال است. با احتساب درآمد حاصل از کاهش تبخیر و تولید برق، بازگشت سرمایه این فنّاوری طی ۵/۷ سال میسرخواهد بود.

واژه‌های کلیدی

الکتریسیته، تبخیر، ذخیرهٔ آب، سد انحرافی، سلول خورشیدی

مقدمه

انرژی خورشیدی یکی از بزرگ‌ترین سرچشمه‌های انرژی در کره زمین است که فراوان و بدون هیچ هزینه‌ای در بیشتر مناطق جهان قابل دسترس است. کمبود منابع فسیلی و پیامدهای زیست محیطی آن بشر را بر آن داشت تا به سوی استفاده از انرژی پاک رود و در کشورهای با پتانسیل بالای انرژی خورشیدی موجب برپایی رقابت شدیدی میان این دو منابع انرژی شود (Shams *et al.*, 2013). سوخت فسیلی که برای تولید برق در نیروگاه‌ها مصرف می‌شود رو به پایان است و نیز آلودگی محیطزیست را به‌دنبال دارد؛ بنابراین با توجه به نیاز مبرم مصرف انرژی و افزایش جمعیت و گسترش سطح فنّاوری‌ها، ساخت و ساز نیروگاه‌ها با فنّاوری‌های نوین در کشور ضروری است (Turki & Abedi, 2012). در کشور ما به دلیل بارندگی فصلی، آب تا حد زیادی با ذخیره کردن آن در فصل بارش برای فصل‌های کم‌بارش تهیه می‌شود. این نکته قابل توجه است که سدها هیچ نقشی در افزایش منابع آب سرزمین گرم و خشک ندارند بلکه منابع آب پایدار هر سرزمین به میزان بارندگی پس از تبخیر، جریان‌های ورودی و خروجی از حوضه‌های

* نگارنده مسئول: Email: hojjat.a@gmail.com

http://doi: 10.22092/idser.2021.353313.1454

1- Pvsyst

مجاور و بخش تجدید پذیر آبخوان‌ها بستگی دارد. از این رو سدها را می توان تشتک‌های تبخیری دانست که تا چند کیلومتر ایجاد می‌شوند و میزان تبخیر آب در آنها در هر سال تا میلیاردها مترمکعب می‌رسد (Fereshtepour, 2016).

ایران با توجه به اینکه کشوری آفتابی است و منبع سرشار انرژی خورشیدی محسوب می‌شود، می‌تواند بخش بزرگی از انرژی خود را از تابش پرتو خورشید دریافت کند (Almodaresi & Marzban, 2014). میزان انرژی خورشیدی در کشور ایران زیاد و بنابراین تبخیر آب سطحی از مخزن سدها نیز بالاست. این امر سبب شد تا پژوهشگران برای کاهش تلفات آب چاره‌ای بیندیشند زیرا تبخیر یکی از پارامترهای مهم در چرخهٔ آب است که می‌تواند موجب از بین رفتن بیش از نیمی از بارندگی‌ها شود. در خصوص تبخیر و چگونگی مهار آن داده‌های تئوری فراوانی موجود است، ولی کارهای عملی چندانی در خصوص کنترل تبخیر از سطح مخزن‌های سدها صورت نگرفته است (Farzin & Alizadeh sanami, 2015).

برای کاهش تبخیر آب از سطح مخزن سدها و استخرهای ذخیرهٔ آب می‌توان به ذخیرهٔ آب در مخزن‌های سرپوشیده، بهره‌مندی از مخزن‌های زیرزمینی، طراحی سد در محلی با کمترین سطح دریاچه و به کارگیری از پنل‌های شناور خورشیدی برای ایجاد پوشش مناسب در برابر تبخیر و تولید هم‌زمان برق خورشیدی اشاره کرد (Nematalahi *et al.*, 2015).

پژوهشگران نیز روش‌های گوناگونی برای کاهش تبخیر آب از سطح دریاچه‌ها بررسی کرده‌اند که در دو دسته روش‌های شیمیایی و فیزیکی یا بیولوژیکی قابل بررسی است. از روش‌های شیمیایی می‌توان به بهره‌مندی از یک لایه تک مولکولی الکل‌های چرب یا به‌کار بردن موادی چون ستیل الکل مانند هگزا دکانول[1] و استریل الکل مانند اکتا دکانول[2] اشاره کرد که به کار بردن پیوسته و مداوم مخلوطی از الکل‌ها کاهش قابل توجهی در تبخیر داشته و کارایی آنها بهتر از کارایی بادشکن و پوشش‌های سایه‌انداز بوده است(Sepaskhah, 2018; Piri *et al.*, 2009). از روش‌های بیولوژیکی می‌توان به استفاده از گیاه عدسک آبی زنده و غیرزنده اشاره کرد که نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد تبخیر سطحی در آکواریوم گیاهی نسبت به آکواریوم غیر گیاهی کمتر است، میزان تبخیر آب در آکواریوم گیاهی و غیر گیاهی به ترتیب برابر ۲۳/۷۵ و ۳۲/۶۰ درصد به‌دست آمده است (Soltani *et al.*, 2015). در روش فیزیکی نیز از پوشش‌های سیاه‌رنگ از جنس پلی‌اتیلن[3] استفاده و به صورت تک لایه و دو لایه آزمایش شده است، سرانجام کاهش تبخیر روزانه در تشتک با پوشش سایه انداز به صورت تک لایه و دو لایه به ترتیب ۷۵ و ۸۳ درصد برآورد شده‌است (Alvarez *et al.*, 2006). همچنین با به‌کار بردن ورقه‌های فوم دایره‌ای کاهش تبخیری معادل ۷۴ درصد برآورد شده‌است (Hasan *et al.*, 2015). مجتمع مس سرچشمه نیز از لاستیک‌های فرسوده به نام یونورینگ[4] برای کاهش تبخیر استفاده کرد و نتایج نمایانگر کاهش ۷۸/۳۵ درصد تبخیر بود (Afkhami *et al.*, 2017). در پژوهش دیگر از توپ‌های سیاه و سفید برای پوشش مخزن استفاده شد که میزان تبخیر تا یک دبی مشخص، کاهشی و با افزایش دبی، افزایشی بوده است و رنگ سفید بیشتر از رنگ سیاه در کاهش تبخیر کارآمد بوده‌است؛ میزان کاهندگی نزدیک به ۷۱/۵ درصد برآورد شده است (Rezazade *et al.*, 2017).

1- Hexadecanol
2- Octadecanol
3- Poly ethylene
4- Yonoring

در سال‌های اخیر، کشورهایی که اقلیم خشک دارند یا در معرض خشکسالی قرار دارند یا حتی با مشکل کمبود فضا مواجه هستند، به ساخت نیروگاه‌های شناور خورشیدی دست زده‌اند و با نصب سلول‌های خورشیدی شناور روی دریاچه‌ها، تالاب‌ها و مخزن‌ها انرژی تولید کرده‌اند و با توجه به اینکه این نیروگاه‌ها روی آب سایه می اندازند باعث محدود شدن رشد جلبک‌ها و کاهش تبخیر می‌شوند. سیستم‌های شناور خورشیدی از لحاظ هزینه در رقابت با سایر سیستم‌های خورشیدی زمینی هستند (Fereshtepour, 2016) در تحقیق صورت‌گرفته با استفاده از چهار سناریو برای پوشش سطح مخزن‌ها مقدار حجم کاهش یافته سالانه از تبخیر برآورد شده است که در مجموع حجم آب ذخیره شده در اثر نیروگاه‌های خورشیدی شناور با سطح پوشش ۱۰ درصدی، می تواند تمام نیاز صنایع منطقه از آب سطحی را پوشش دهد (Fereshtepour *et al.*, 2021).

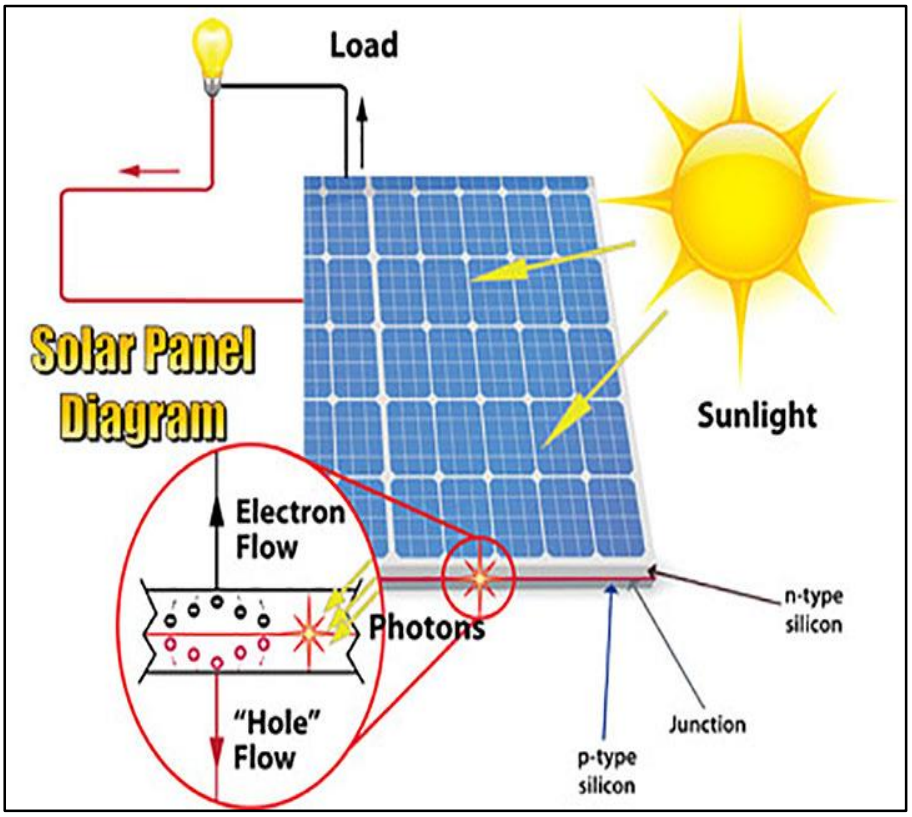
برق مصرفی مورد نیاز چاه کشاورزی با استفاده از ۱۳۰ متر مربع سلول خورشیدی بدون استفاده از شبکه سراسری، تامین می شود. صرفه جویی حاصل از استفاده از این تکنولوژی طی مدت سه سال و ده ماه هزینه اولیه را جبران می‌کند. باید در نظر داشت این برآورد هزینه فقط برای آب تبخیری در مصارف کشاورزی است. با در نظر گرفتن مقدار آب تبخیری از سدها ضرورت اجرای این طرح بیش از پیش مشخص خواهد شد(Nematalahi *et al.*, 2015). از بین پژوهش‌های صورت‌گرفته، پوشش دولایهٔ پلی‌اتیلن دارای بیشترین درصد کاهش تبخیر و نیروگاه شناور خورشیدی نیز از هر دو لحاظ کاهش تبخیر و تولید انرژی نسبت به بقیه روش‌ها برتری دارد.

بدین ترتیب به‌کارگیری پوشش‌های سطحی به‌عنوان راهکار عملی در کاهش تبخیر آب از سطح مخزن‌ها تأیید شده است اما در خصوص عملکرد پنل‌های شناور تولید انرژی و کاهندهٔ تبخیر روی سطح مخزن سدها در کشور، پژوهش چندانی صورت نگرفته است. از این رو به بررسی پتانسیل تبخیر و انرژی موجود در منطقه پرداخته می‌شود و امکان به‌کار بردن پنل‌های خورشیدی، به عنوان راهکاری برای کنترل و حفظ آب از تبخیر و همچنین تولید انرژی پاک در مخزن سد انحرافی نوروزلو بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

سلول‌های خورشیدی

برای آشنایی با پنل‌های خورشیدی می توان گفت که پنل‌ها از واحدهای کوچک‌تری به نام سلول‌های خورشیدی (سلول‌های فتوولتائیک) ساخته می‌شوند. بیشتر سلول‌های خورشیدی از سیلیکون ساخته شده‌اند. در هر سلول خورشیدی، ماده ای بنام سیلیکون بین لایه‌های رسانا چفت شده و با چهار پیوند نیرومند به اتم‌های کناری وصل می‌شود که موجب ثابت ماندن الکترون‌ها در جای خود می شود، به‌طوری که هیچ جریانی برقرار نمی‌شود. سلول خورشیدی از دو لایه گوناگون تشکیل می‌شود که در شکل ۱ قابل مشاهده است. سیلیکون نوع n الکترون اضافی دارد و سیلیکون نوع p فضاهای خالی ای به نام حفره دارد. الکترون‌ها در سراسر صفحه سرگردان می‌شوند و در یک سمت بار مثبت و در سمت دیگر بار منفی به وجود می‌آید و الکترون‌های در حال حرکت، با یک لایهٔ نازک فلزی جمع آوری می‌شوند و از آنجا در یک مدار خارجی جریان می‌یابند و برق را تأمین می‌کنند (Ganaei, 2017).



شکل ۱- صفحهٔ خورشیدی و سیلیکون نوع n و p

Fig. 1. Solar panel and silicone types of n and p

موقعیت جغرافیایی سد انحرافی نوروزلو

سد موردنظر روی رودخانهٔ زرینه رود در استان آذربایجان غربی با مختصات جغرافیایی ۳۶/۸۸۶ درجه شمالی و ۴۶/۲۳۹ درجه شرقی در ۱۵ کیلومتری جنوب شهرستان میاندوآب و در ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان بوکان احداث شده است. رودخانهٔ زرینه رود نزدیک مرز ایران و عراق سر چشمه گرفته و پس از طی مسافتی به محل سد می‌رسد و سپس در جهت شمال غربی به طرف شهرستان میاندوآب ادامه مسیر داده و در نهایت به دریاچهٔ ارومیه می‌ریزد. سد نوروزلو روزانه در پتانسیل بالای تابش (۵۵۰۰-۵۲۰۰) وات ساعت بر مترمربع است. همچنین دارای وسعت خوبی برای پیاده‌سازی پنل‌های شناور است.

درنتیجه باید تحقیقات لازم در این باره صورت گیرد و تمام جوانب مد نظر قرار گیرد و در صورت بهره‌وری بالا گام‌های لازم برای بهره برداری برداشته شود. درشکل ۲ عکس هوایی سد انحرافی نوروزلو و مکان جاگذاری پنل‌های شناور قابل مشاهده است که گستره حدود ۲۰۰۰۰۰ مترمربع برآورد گردید.

شکل ۲- عکس هوایی سد انحرافی نوروزلو و مکان جا گذاری پنل‌های شناور

Fig. 2. Arial photo over Nowrouzlu diversion dam and location of floating panels

عوامل مؤثر بر تبخیر

از مهم‌ترین عوامل موثر بر تبخیر و تعرق، پارامترهایی مانند دما، بارش، رطوبت، تابش خورشیدی و غیره است (Salahi *et al.*, 2018). از دیگر عوامل می‌توان به مساحت سطح آب، کمبود فشار بخار هوا، سرعت باد، فشار اتمسفر و کیفیت آب اشاره کرد (Sepaskhah., 2018). در این تحقیق، پارامترهای اقلیمی از ایستگاه کلیماتولوژی محدودهٔ سد نوروزلو دریافت و تبخیر و تعرق واقعی آب دریاچهٔ سد نوروزلو برآورد گردید. با به‌کارگیری نرم افزار پی وی سیست، پتانسیل انرژی خورشیدی موجود در منطقه برآورد شد تا بازدهی اقتصادی برآمده از احداث صفحات خورشیدی تولید انرژی با کاهش عوامل مؤثر بر تبخیر ازجمله تابش مستقیم خورشید روی سطح آب، دما و سرعت باد برآورد گردد.

دما: عاملی است که به موقعیت جغرافیایی، ارتفاع و اقلیم منطقه بستگی دارد (Alizadeh, 1998). با استفاده از داده‌های موجود در منطقه، کمترین دما در بهمن ماه به ۱۳- درجه سانتی‌گراد و بیشترین دما در تیر ماه به ۴۰ درجه سانتی‌گراد رسید.

باد: یکی از عامل‌های اصلی تبخیر است که به موقعیت جغرافیایی و ارتفاع و اقلیم منطقه بستگی دارد (Alizadeh, 1998).

بیشترین سرعت باد در ماه‌های دی و اردیبهشت به ۶ و ۷ کیلومتر در روز رسیده و کمترین سرعت باد حدود ۱ کیلومتر در روز در اکثر ماه‌های سال وزیده است.

تابش و میزان ساعات روشنایی: این عامل به موقعیت جغرافیایی منطقه بستگی دارد و از عامل‌های اصلی تبخیر از سطح آزاد آب است (Alizadeh, 1998). بیشترین ساعات تابش در خرداد ماه دیده شده که به ۱۳/۶ ساعت رسیده است و کمترین ساعات تابش مربوط به ماه‌های فصل پاییز و زمستان و برخی روزهای فصل بهار است که در طول روز هوا کاملاً ابری بوده است.

رطوبت: این عامل به موقعیت جغرافیایی منطقه و بارندگی بستگی دارد (Alizadeh, 1998). بارش موجود در منطقه از عوامل مؤثر بر رطوبت و تبخیر است که بیشترین بارش مربوط به اسفند ماه (۱۴ میلی‌متر) است. درمجموع ۲۳۲/۵ میلی‌متر بارش سالانه گزارش گردید. بیشترین میزان رطوبت در

ماه‌های آذر و بهمن (حدود ۹۵ درصد) و کمترین آن برای خرداد ماه با ۲۷ درصد گزارش شده است.

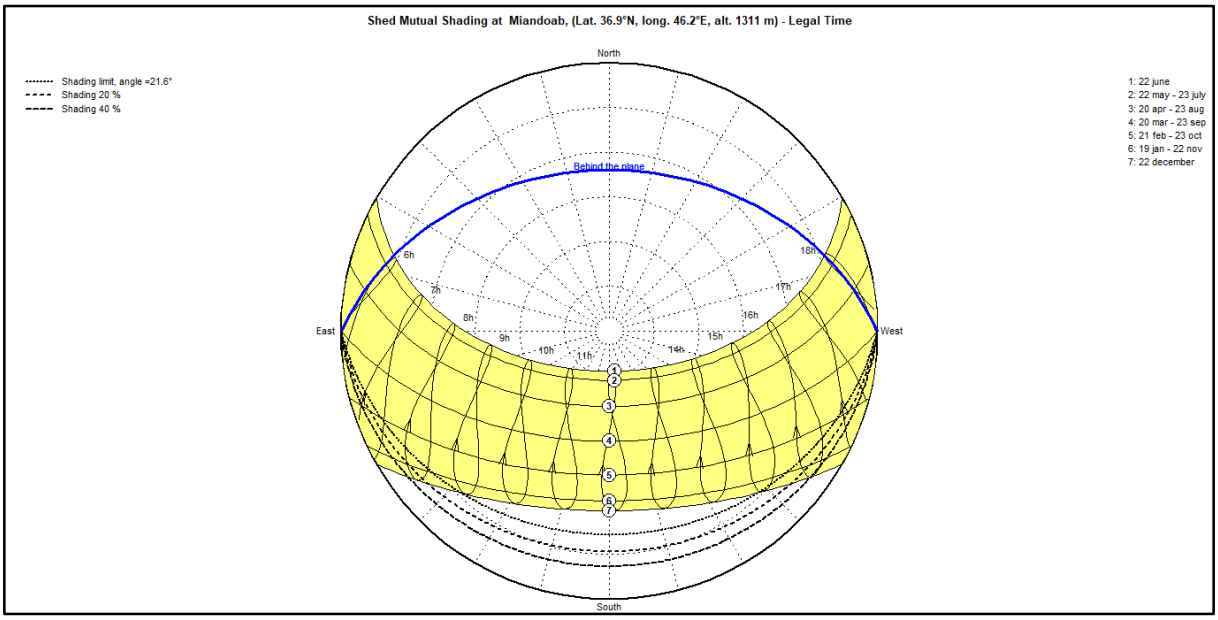
نرم افزار پی وی سیست

با استفاده از این نرم افزار پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه و نحوهٔ پیاده سازی پنل‌ها به‌دست آمد (Shams *et al.*, 2013). شکل ۳ مسیر حرکت خورشید در منطقه را نشان می‌دهد که در آن با توجه به شماره گذاری برای هر مسیر، ماه مربوط در سمت راست بالای شکل مشخص شده است که از روی آن مسیر گذر خورشید در طول روز قابل مشاهده است. در سمت چپ بالای شکل با توجه به فاصلهٔ ۳ متری ردیف پنل‌ها ساعات سایه اندازی پنل‌ها روی همدیگر با بررسی فاصله‌های مختلف مشخص گردید. در جدول ۱ میزان دریافتی انرژی خورشیدی پنل‌ها در حالت افقی، میزان دریافتی انرژی خورشیدی پنل‌ها در حالت زاویهٔ ۳۶ درجه بدون سایه اندازی، میزان دریافتی انرژی خورشیدی پنل‌ها در حالت زاویه ۳۶ درجه با سایه اندازی و انرژی تولیدی ازسیستم برحسب کیلو وات برای ماه‌های سال استخراج گردید.

جدول ۱-میزان دریافتی انرژی خورشیدی در منطقه

Table 1. Solar energy generation in the region

پارامتر Parameter	میزان انرژی دریافتی پنل‌ها در زاویه افقی The amount of energy received by the panels at a horizontal angle	میزان انرژی دریافتی پنل‌ها در زاویهٔ ۳۶ درجه degrees The amount of energy received by the panels at an angle of 36 degrees	میزان انرژی دریافتی پنل‌ها در اثر سایه اندازی The amount of energy received by the panels due to shading	انرژی روزانهٔ خروجی سیستم Out put of energy	انرژی سالانهٔ خروجی سیستم Anually energy	انرژی روزانهٔ مورد نیاز خانگی Daily domestic energy reqirment	انرژی روزانه اضافه سیستم Extra energy, daily	کمبود انرژی روزانه سیستم Daily nergy shorgate
ماهانه	kWh/m².day	kWh/m².day	kWh/m².day	kWh/day	kWh	kWh/day	kWh/day	kWh/day
دی	2.63	4.75	4.6	1473	45663	2000	0	-527
بهمن	3.74	5.72	5.59	1790	50114	2000	0	-210
اسفند	4.93	6.38	6.24	1997	61911	2000	0	-3
فروردین	6.07	6.58	6.42	2053	61601	2000	53	۰
اردیبهشت	7.4	6.97	6.81	2179	67534	2000	179	۰
خرداد	8.38	7.33	7.16	2292	68754	2000	292	۰
تیر	8.00	7.21	7.04	2253	69848	2000	253	۰
مرداد	4.48	7.53	7.38	2361	73191	2000	361	۰
شهریور	6.31	7.57	7.45	2382	71459	2000	382	۰
مهر	4.51	6.55	6.44	2060	63869	2000	60	۰
آبان	3.19	5.52	5.39	1725	51744	2000	0	-275
آذر	2.51	4.63	4.47	1429	44312	2000	0	-571
سالانه	5.44	6.40	6.25	2000	730000	2000	1580	-1586

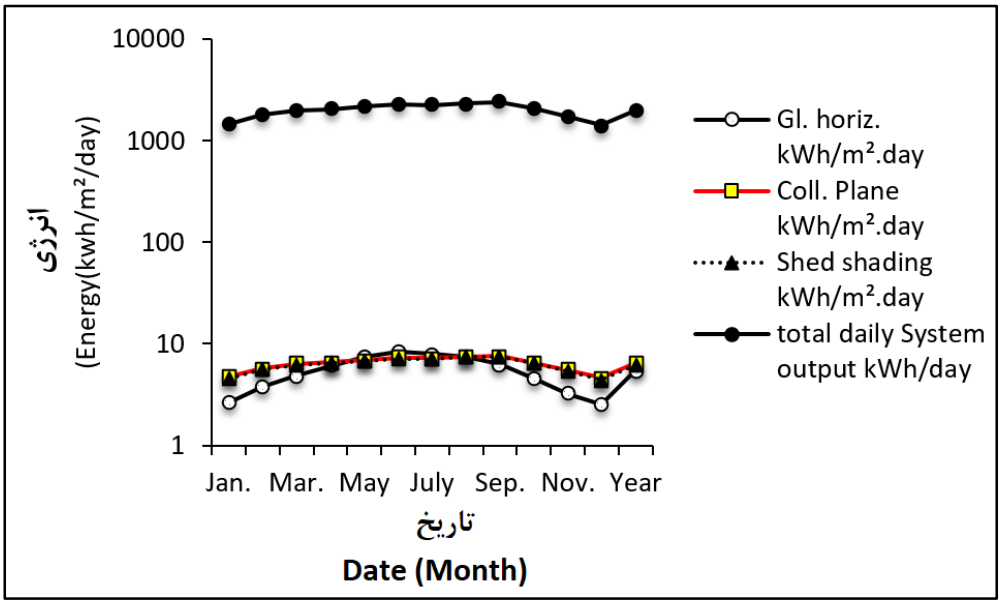


شکل ۳- مسیر حرکت خورشید و ارتفاع آن در محدودهٔ سد در ماه‌های مختلف

Fig. 4. Sun rout movement and its latitude in different months

شکل ۴ برای مقایسه بهتر زاویه قرار گیری پنل‌ها ارایه شده است که در حالت افقی بیشترین انرژی دریافتی در خرداد ماه هست که با انرژی روزانه حدود ۸/۳۸ کیلو وات ساعت در متر مربع بیشترین انرژی را داراست و میانگین سالانه هر روز این پارامتر حدود ۵/۴۴ کیلو وات ساعت در متر مربع می‌باشد در حالی که با جا گذاری پنل‌ها در زاویه ۳۶ درجه بیشترین انرژی دریافتی روزانه درشهریور ماه با انرژی حدود ۷/۵۷ کیلو وات ساعت در متر مربع اتفاق خواهد افتاد با این تفاوت که میزان انرژی دریافتی سیستم در این حالت با قرار گیری پنل‌ها در کنار هم موجب ایجاد سایه روی پنل‌ها خواهد شد و مقداری از این انرژی به این دلیل از دست خواهد رفت ولی این مقدار به صورت روزانه در میانگین سالانه حدود ۰/۱۵ کیلو وات می‌باشد در نتیجه از این بابت مشکل خاصی در کاهش انرژی دریافتی ایجاد نمی‌شود.

در عوض با مقایسه میانگین سالانه دو پارامتر در اثر تغییر زاویه از حالت افقی به زاویه ۳۶ درجه روزانه حدود ۱ کیلو وات به انرژی دریافتی سیستم اضافه می‌گردد. با اشاره به پارامتر انرژی روزانه خروجی سیستم نیز در حالت کلی خروجی روزانه سیستم با زاویه ۳۶ درجه برای شهریور ماه حدود ۲۳۸۲ کیلو وات ساعت بدست آمد که به صورت میانگین سالانه حدود ۲۰۰۰ کیلو وات ساعت در هر روز انرژی قابل دریافت است. این نشانگر آن است که برنامه ریزی صورت گرفته توانایی آن را دارد که کمبود انرژی به وجود آمده به خاطر شرایط آب و هوایی و دریافتی انرژی را جبران کرده و از این بابت مستلزم هیچ هزینه مازاد از بابت هزینه خرید سوخت از شرکت نفت و یا خرید برق از اداره توزیع برق نگردد.

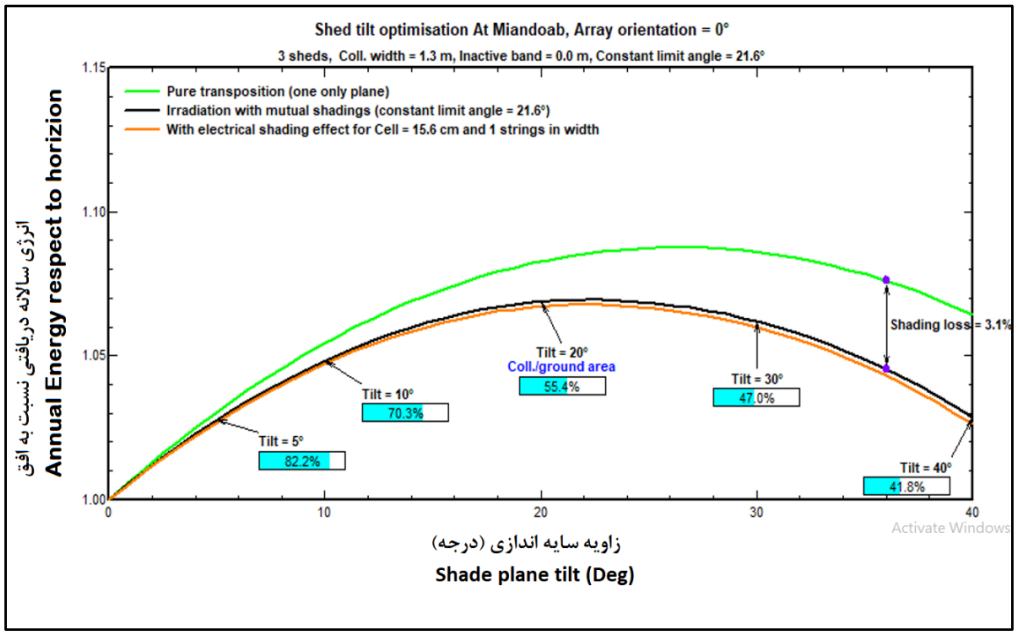


شکل ۴- نمودار میزان انتشار و تولید انرژی خورشیدی

Fig. 4. Solar energy production uder different states

در این تحقیق از الگوی استاندارد با فنّاوری سلول‌های پلی کریستال به مساحت ۲ مترمربع با زاویهٔ شیب ۳۶ درجه در جهت تابش خورشید و زاویهٔ سمت صفر درجه با بررسی زاویه‌های مختلف برآورد گردید.

در نهایت درصد سایه اندازی پنل‌ها روی همدیگر برای فاصله‌های مختلف بررسی و درنهایت ۴۳/۷ درصد با کاهش تولید انرژی ۳/۱ درصد برآورد گردید که در شکل ۵ قابل مشاهده است.



شکل ۵- درصد سایه اندازی پنل‌ها در ۳۶ درجه ارتفاع

Fig. 5. Shading values of panels at the altitude of 36°

نتایج و بحث

با توجه به نتایج استخراجی، پنل‌های خورشیدی در محدودهٔ سد، روزانه به طور متوسط توانایی دریافت انرژی حدود ۶/۳ کیلو وات ساعت در متر مربع تحت زاویهٔ ارتفاع ۳۶ درجه و زاویه سمت صفر درجه را دارد. طراحی نیروگاه برای خود کفایی مصرف ۱۰۰۰ خانوار با مصرف برق ۲ کیلو وات برآورد گردید. مساحت مورد نیاز برای قرارگیری پنل‌ها حدود ۲۵۳۸ متر مربع محاسبه گردید که تولید انرژی روزانه ۲ مگا وات و سالانه ۷۳۰ مگا وات را خواهیم داشت. کمبود و مازاد انرژی خورشیدی در محدودهٔ سد برای ماه‌های سال در جدول ۱ قابل مشاهده است که با توجه به متصل بودن نیروگاه به شبکه، طراحی طوری تنظیم گردید که کمبود و مازاد انرژی طی سال جبران گردد.

برآورد اقتصادی نیروگاه شناوری خورشیدی دریاچهٔ سد انحرافی نوروزلو

هزینهٔ سرمایه‌گذاری سیستم شامل هزینهٔ خرید سلول‌های فتوولتائیک[1] و تعادل سازی (هزینه نصب و راه اندازی سازه، آماده سازی و غیره) است. هزینه‌های دستگاه‌های الکتریکی شامل اینورتر[2]، سیم‌کشی و دیگر هزینه‌های نصب و راه اندازی الکتریکی است که برای هر پنل با در نظر گرفتن هزینه‌هایی که اشاره شد حدود سی میلیون ریال برآورد گردید. با توجه به نتایج استخراجی به تعداد ۱۲۶۹ پنل برای تامین برق ۱۰۰۰ خانوار نیاز است. همچنین بر اساس داده‌های اقلیمی ایستگاه کلیماتولوژی، تبخیر و تعرق منطقه برای سال (۹۹-۹۸) مقدار ۹۳۵/۵ میلی‌متر به دست آمد.

حجم آب مخزن پشت سد نوروزلو ۱۴ میلیون مترمکعب است و مساحت برآوردی از نرم افزار گوگل ارس حدود ۲۰۰۰۰۰ متر مربع است. با اختصاص مساحت حدود ۲۵۳۸ مترمربع از مخزن سد و احتساب ۹۳۵/۵ میلی‌متر در هر مترمربع تبخیر و تعرق سالانه، ۲۳۷۴/۲ متر مکعب هدر رفت آب از طریق تبخیر برای این مساحت اتفاق خواهد افتاد که از این مقدار با در نظر گرفتن پوشش ۴۳/۷ درصدی حدود ۱۰۳۷/۵ مترمکعب کاهش تبخیر آب اتفاق می‌افتد که بنا بر قیمت‌گذاری (۹۰۰۰ ریال به ازای هر متر مکعب آب) هزینه‌ای معادل ۹۳۳۷۵۰۰ ریال در سال به کشور تحمیل می‌کند که با پنل جلو تبخیر آن گرفته خواهد شد. برق مصرفی مورد نیاز حدود ۷۳۰ مگا وات برای ۱۰۰۰ خانوار برآورد گردید، اگر تعرفهٔ خرید تضمینی برق تولیدی توسط ادارهٔ برق محاسبه شود بر پایهٔ گزارش سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر برای مزرعهٔ خورشیدی با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات وکمتر، ۹۱۰۰ ریال است. درآمد سالانهٔ تولید برق برای ۷۳۰ مگاوات حدود ۶۶۴۳۰۰۰۰۰۰ ریال به دست می‌آید. بر اساس هزینهٔ اولیه لازم که برای خودکفایی برق مصرفی برای ۱۰۰۰ خانه برآورد گردید حدود ۳۸ میلیارد ریال به دست آمد. درآمد حاصل از تولید برق و کاهش تبخیر ۶۶۵۲۳۳۷۵۰۰ میلیارد ریال خواهد بود که صرفه‌جویی حاصل از استفاده از این فنّاوری طی ۵/۷ سال هزینه اولیه را جبران خواهد کرد.

1- crystal oltaic Cells

2- Invertor

جدول ۲-میزان آب تبخیر شده و میزان سالانه برق مصرفی و هزینه سالانه برق مصرفی

Table 2. Water evaporation and energy consumption, annually

میزان آب تبخیر شده از سطح سد طی یک سال (مترمکعب) Evaporated water	میزان برق مصرفی برآورد شده در سال (مگاوات) Consumed energy
2374.3	730

جدول ۳-برآورد اقتصادی نیروگاه شناور خورشیدی در دریاچهٔ سد نوروزلو

Table 3. Economical estimation of floating solar energy generation in the lake of Nowrouzlu dam

قیمت آب هدررفته در طول یک سال (ریال) Costs of waste water	درآمد حاصل از فروش برق تولیدی (ریال) Benefits of generated energy	هزینهٔ سلول خورشیدی برای خانه‌ها (ریال) Costs of panales/hause	زمان موردنیاز برای بازگشت سرمایه (سال) Life cycle costs
21367800	6643000000	38070000000	5.7

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ارائه‌شده، سد انحرافی نوروزلو پتانسیل خوبی برای تولید انرژی داراست. می توان با اجرای پنل‌های خورشیدی روی دریاچهٔ سد نوروزلو انرژی الکتریکی را برای حدود ۱۰۰۰ خانوار تامین کرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با اجرای پوشش سلول‌های خورشیدی میزان تبخیر از سطح دریاچه به میزان ۴۳/۷ درصد با در نظر گرفتن تولید حداکثری نسبت به حالت آزاد، کاهش خواهد یافت. مطالعات اقتصادی صورت گرفته بر اساس شرایط بهای برق در زمان مطالعات، بازگشت سرمایه نصب تجهیزات و تاسیسات مربوط پس از طی ۵/۷ سال اتفاق خواهد افتاد. با وجودی که در این بررسی مزایای دیگر این روش مانند کاهش تولید دی اکسید کربن و جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی لحاظ نشده است. همچنین در هزینه اجاره و یا بهای زمین برای نصب پنل‌ها نیز در سرمایه گذاری اولیه صرفه‌جویی می‌شود.

مراجع

Alizadeh, A. (1998). Principles of Applied Hydrology.Quds Razavi Publications, 8th edition. (in Persian)

Almodaresi, S. & Marzban, M. (2014). Estimation of solar radiation potential using remote sensing data from acase study of Yazd province, The First National ConferenceontheApplicationofAdvancedSpatialAnalysisModels GIS Remote Sensing in Landscaping.Feb. 24. (in Persian)

Afkhami, H., Esmaeilzadeh, A. & Kharibi, Kh. (2017). Design of floating ionizing coating using worn tires to reduce evaporation from open water resources, Technical Note of Iranian Water Resources Research,11th year, No.3. (in Persian)

Álvarez, V. M. &Baille, A. & Martínez, J. M. M. & Real, M. M. G. (2006). Effect of black polyethylene shade covers onthe evaporation rate of agricultural reservoirs. Spanish Journal of Agricultural Research, 4, 280-288.

Farzin, S. & Alizadeh sanami, F. (2015). Shadow ball, a measure to reduce water evaporation of dam reservoirs, second International Congress of Civil Engineering-Urban Development. (In Persian)

Fereshtepour, M. Baghrpourmojaver, N. Esmaeilzade, M. Latif, A. Milanishirvan, P. & javidiSabakhian, R. (2021). Investigation of the role of floating solar cells in reducing evaporation from dam reservoirs (Case study: Khorasan Razavi province), National Conference on Water Resources Management of Iran, University of Ferdowsi Mashhad, No. 8. (In Persian)

Fereshtepour, M. (2016). Application of floating solar cells in dam reservoirs, University of Tehran. (In Persian)

Ganaei, Z. (2017).Solar energy, from how solar panels work to the types of panels and new technologies today, Ivan Charso Specialized Magazine, No. 1.

Hassan, R. M., Hekal, N. T., & Mansor, N. M. (2007). Evaporation reduction from Lake Naser using new environmentally safe techniques. Eleventh International Water Technology Conference, IWTC11, Sharm El-Sheikh, Citeseer, 179-194.

Nematalahi, M., Agaei foroshani, M. & Binazade, M. (2015). Floating solar cells: A way to solve the problem of water evaporation from the surface of dams, water storage pools and the production of solar electricity at the same time, Radio and Television Conference Center, Proceedings of the Sixth Conference on Water, Wastewater and Waste, ISBN 2-47. (In Persian)

Piri, M., Hesam, M., Dehgani, A., Meftahholgi, M. & Khazali, A. (2009). Investigating the effect of heavy alcohol use on reducing the evaporation of water reservoirs, Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, Volume 16, Issue 2. (In Persian)

Rezazade,A.&Akbarzade,P.&Aminzade,M.(2020).ModelingandLaboratoryInvestigationofReduci ngSurfaceEvaporation of Water by Floating Coatings in the Presence of Surface Current, Amirkabir Journal of Mechanical Engineering, Article 18, Volume 52, No 7,Pages 180-171. (In Persian)

Shams,M., kia,M. & Mahdavi,B. (2013).Optimal design studiesofa100kWphotovoltaicpowerplant connected to the grid in Tehran using pvsyst software,Iranian Journal of Energy,Volume 16, Number 2. (In Persian)

Sepaskhah, A. (2018). Reducing evaporation from water reservoir dam, Journal of Strategic Research in Agricultural Sciences and Natural Resources, Volume 3, Pages 13 to 26. (In Persian)

Soltani, Z., Khani, A. & Mahanpour, K. & Marjani, A. (2018). Assessment of duckweed (Lemna gibba L) growth on dam water surface as green cost-effective process to improving water quality. Desalination and Water Treatment.june, 118, 79-86.

Salahi,B, Godarzi,B & Hoseini,S. (2018).Estimation of Evapotranspiration in Relation to Climate Change in Urmia Lake Watershed,Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering,12th year, Issue 41. (In Persian)

Turki, M & Abedi, Z. (2012). External Costs of Power Generation from Fossil Power Plants: A Case Study of Iran, Human and Environment Quarterly, No. 19. (In Persian)

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.22/No.82/ Spring 2021/P:89-102

Economical Evaluation of Application of Solar Cells in Lake of Dams (Case study: Nowruzlu diversion dam)

M. Rezaei and H. Ahmadi*

* Corresponding Author: Associate professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, IRAN. Email: hojjat.a@gmail.com.
Received: 20 February 2021, Accepted: 12 May 2021.

Extended Abstract

Introduction

Iran is a land of low rainfall and due to the consequences of climate change and the existence of drought, water loss should be prevented in any way to eliminate water shortage in the country. In the province of West Azerbaijan, a large amount of water is lost every year due to evaporation.

Solar energy is known as free and clean energy and even main source of other types of energy in the earth. Scarcity of fossil fuel as well as non-uniform distribution of this kinds of energy source in the work motivate humans to find other types of energy specially to clean and sustainable solar energy. Nowadays, rising of earth population and impacts of fossil fuel on the environment leads to accelerate construction of solar power stations (Turki and Abedi, 2012). Owing to location of Iran in suitable latitude and altitude, the country has sunny and dry climate. Therefore, the significant magnitude of the sun's radiant energy reaches the earth's surface. In the other hands, hot and dry climate of Iran makes high evaporation of water from reservoirs of dams.

Covering of the surface of fresh water reservoirs by physical thin covers could prevent or reduce the evaporation rate of water. Soltani et al., (2015) reported that water evaporation in aquatic environment could be reduced up to 10% in the presence of planet. Rezzade et al., (2017) informed that scattering of colored floating balls could prevent evaporation rate from medium to small reservoirs up to 71.5%. Based on their results, the white color balls are more effective than the dark colors such as black in control of evaporation under similar conditions. One of the common means to cover the surface of reservoirs large dam in order to reduce evaporation of water is to use solar panels.

Materials and Method

In this study, the reduction of evaporation from the Nowruzlu diversion dam was investigated by using solar panels. This high diversion dam is located in the northwest of Iran, province of West Azerbaijan. The dam is constructed to divert the resealed water from Boukan earth dam to supply agricultural demands left side intake and domestic, industrial and agricultural demands by right side intake. The height of dam is about 10 meters, the lake area is 0.2 km^2, and the volume of water is more than 14 MCM. The object of this methods is not only reducing evaporation from reservoir of dam, but also production clean solar energy for domestic energy supply. For this purpose, the actual evaporation of the dam lake water was estimated using the data of noruzlu dam climatology station. With PVsyst software, the amount of solar energy load in the norozlo dam range was extracted. Finally, the project was economically evaluated and its profitability was analyzed. In this research we used recorded evaporation data from synoptic station located in dam site based on standard A Class pan. The solar energy potential was estimated by using photo voltage software PVSYST model. The software provides effective tool to simulate and calculate the distribution of energies throughout the year in the any region on the

earth. The output of the software is categorized in three was as follows based on the software documents:

- The total energy production [MWh/y] is essential for the evaluation of the PV system's profitability.
- The Performance Ratio (PR [%]) describes the quality of the system itself.
- The specific energy [kWh/kWp] is an indicator of production based on the available irradiation (location and orientation).

Results and discussion

The numerical analysis to evaluate installation circumstances for solar panels revealed that, by 36^{o} inclination, 2 kw/m2 energy would be produced. In order to supply domestic requirements of 1000 house, 2568 m^2covering of Lake Surface will be sufficient. Hence, via the mentioned states, 2Mw electricity will be produced, in another word the annually produced energy could be more than 730 Mw.

The results showed that according to economic estimates, the average cost for self-sufficiency in electricity consumption in 5 villages (each of them with 200 house) around the dam is about 37,680 billion Ianian rials (IRR). By calculating the revenue from the reduction of evaporation and electricity generation, the return on investment of this technology will be compensated in 5.7 years.

Keywords: Evaporation, water storage, diversion dam, solar cell, electricity