امکان‌سنجی و طراحی بهینه سیستم ترکیبی انرژی‌های تجدیدپذیر جهت تأمین برق مورد نیاز شبکه و سد یامچی اردبیل

غلامرضا اقاجانی
گروه برق، واحد اردبیل، دانشگاه ازاد اسلامی، اردبیل، ایران

مظفر واثق
شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل
اردبیل، ایران

چکیده — همانطور که می‌دانیم ایران یکی از بیشترین پرتوهای خورشیدی را در جهان دریافت می‌کند؛ که این امر کشور را با چالش عمده تبخیر آب مواجه می‌کند کشوری که امروزه با مشکل بحران آب روبرو است. لذا احداث نیروگاه‌های خورشید روی سطح مخازن باز آب (کانال‌های آب یا دریاچه پشت سد)، نه تنها میزان قابل‌توجهی انرژی پاک تولید و از تولید گازهای گلخانه‌ای جلوگیری می‌شود؛ بلکه جلوی تبخیر مقادیر قابل توجهی از آب گرفته می‌شود. لذا وجود کانال آب شبکه یامچی و دریاچه پشت سد یامچی اردبیل پتانسیل سرمایه‌گذاری ارزشمندی را در اختیار شرکت آب منطقه‌ای اردبیل قرار می‌دهد. از طرفی پتانسیل بادی حاصل در سایت سد یامچی فضای مناسبی را برای نصب توربین‌های بادی در اختیار این شرکت گذاشته است. در این مقاله چهار مدل تولید انرژی الکتریکی شامل نصب نیروگاه خورشیدی یک مگا واتی و ۵,٦ مگا واتی بر روی کانال‌های آب، نیروگاه خورشیدی شناور یک مگا واتی بر روی دریاچه پشت سد یامچی و نصب توربین بادی ٦٦۰ کیلو واتی در سایت سد یامچی مورد بررسی فنی و اقتصادی قرار گفت. نتایج حاصل نشان می‌دهد نیروگاه خورشیدی دارای دوره بازگشت سرمایه شش سال و نیروگاه بادی یک دوره چهار ساله را برای این شرکت بدنبال دارد.

واژه‌های کلیدی — انرژی‌های تجدیدپذیر؛ ایستگاه‌های پمپاژ اب؛ کانال آب؛ سد و شبکه یامچی اردبیل

۱. مقدمه

اهمیت وجود ایستگاه‌های پمپاژ آب بر کسی پوشیده نیست. امروزه امنیت غذایی یکی از مهمترین مقوله‌های مطرح در کشورها می‌باشد و بالطبع فراهم نمودن آب مورد نیاز برای مصارف مختلف از جمله مصارف کشاورزی و آشامیدنی و ... دارای اهمیت ویژه‌ای است [۱]. این اهمیت تا بدان حد است که اختلال در امر ابرسانی در مناطق روستایی باعث خسارت‌های فراوانی به محصولات کشاورزی می‌گردد. لذا تامین انرژی الکتریکی این ایستگاه‌های پمپاژ یک امر لازم و ضروری است [۲]. امروزه در ایران تنها منبع تامین این انرژی، شبکه برق سراسری است. یعنی شبکه الکتریکی که توان الکتریکی خود را از طریق سوزاندن سوخت‌های فسیلی تامین می‌کند [۳]. همانطور که می‌دانیم امروزه جوامع بشری به دلایلی از جمله رو به اتمام بودن سوخت‌های فسیلی و الودگی‌های ناشی از آن تمایل چندانی به استفاده از انرژی‌های الکتریکی حاصل از این نوع سوخت‌ها ندارند و در عوض استقبال زیادی به تامین انرژی خود از طریق انرژی‌های پاک از جمله انرژی خورشیدی و بادی دارند [٤]. لذا تامین برق مورد نیاز ایستگاه‌های پمپاژ آب از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به وجود پتانسیل‌های موجود در شرکت‌های آب منطقه‌ای(به ویژه شرکت آ ب منطقه‌ای اردبیل با توجه به قطب کشاورزی بودن این منطقه) از جمله وجود کانال‌های آب در نزدیکی ایستگاه‌های پمپاژ آب (در مطالعه موردی ایستگاه‌های پمپاژ آب شبکه و سد یامچی) برای احداث پنل‌های خورشیدی و دریاچه پشت سد جهت احداث نیروگاه خورشیدی شناور و همچنین وجود فضا و پتانسیل‌های بادی مناسب در سایت سد یامچی جهت بهره برداری از انرژی بادی یک امری لازم و ضروری بنظر می‌رسد.

این طرح تحقیقاتی با کد ARD-94007 و با حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل انجام گرفته است.

از طرفی با توجه به بخشنامه شماره ۷۸۲۵۰/ت ۵۱۹۰٤ ه هیات وزیران در تاریخ ۱۳۹۵/۰٦/۳۱ مبنی بر موظف بودن موسسات و شرکت‌های دولتی و نهادهای عمومی غیردولتی در جهت تامین حداقل بیست درصد از برق مصرفی خود از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر و خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های تجدیدپذیر، ضرورت دیگری بر استفاده شرکت آب منطقه‌ای اردبیل از این پتانسیل بالقوه خود از ایستگاه‌های پمپاژ شبکه و سد یامچی است.

یکی از مهمترین مسئله در زمینه احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر بخصوص انرژی خورشیدی نیاز به زمین احداث با مساحت بالا است، بطوریکه این فضای با توجه به بخشنامه شماره ۵۳/۰۲/۲۰٤٦۳۵ وزارت جهاد و کشاورزی به ازای هر مگا وات انرژی خورشیدی به فضای تقریبی ۲ هکتار و حداکثر مساحت مورد نیاز جهت احداث توربین بادی برابر زمینی به میزان مربع قطر روتور توربین می‌باشد (این محدودیت باعث می‌شود استفاده از توربین‌های بادی در ایستگاه‌های پمپاژ آب امکان پذیر نباشد.). از طرفی با توجه به وجود کانال اب بطول ۳٦,۵ کیلومتر و عرض حداقل ۷,٦ متر (که با لحاظ کردن حریم این فاصله بین ۱۸ تا ۳۰ متر در طول مسیر متغییر است) می‌توان از این فضا برای قراردادن سازه‌های فلزی و پنل‌های خورشیدی استفاده کرد که این امر از جمله نواوری‌های این مقاله بشمار می‌آید.

بطور خلاصه، پیشنهادات اصلی این مقاله به شرح زیر است:

۱- استفاده از فضای روی کانال‌های آب ایستگاه پمپاژ شبکه یامچی اردبیل برای قرار دادن پنل‌های خورشیدی

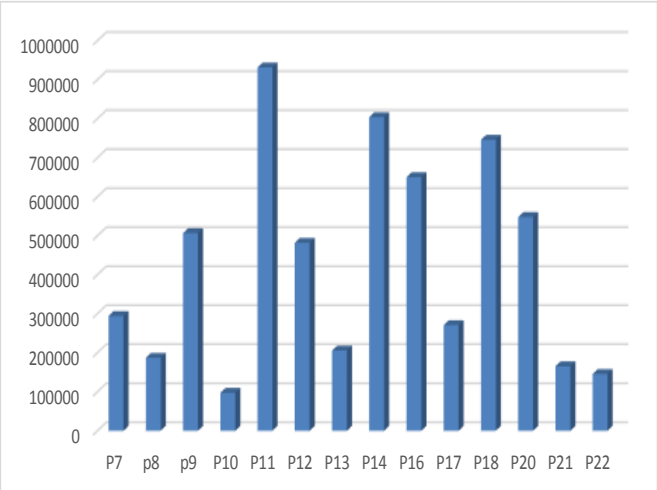
۲- استفاده از نیروگاه خورشیدی شناور برروی ابهای سد یامچی اردبیل

۳- استفاده از فضای موجود در سایت سد یامچی اردبیل برای احداث نیروگاه بادی

ادامه مقاله در بخش‌های زیر پیگیری می‌شود: در بخش دوم بررسی وضعیت مصرف انرژی الکتریکی در ایستگاه‌های پمپاژ شبکه یامچی اردبیل، در بخش سوم راهکارهای ارائه شده برای تامین برق مورد نیاز شبکه و سد یامچی اردبیل بحث شده است و نهایتاً بخش آخر به نتیجه‌گیری اختصاص یافته است.

۲. وضعیت مصرف انرژی الکتریکی در ایستگاه‌های پمپاژ شبکه یامچی اردبیل

با توجه به گزارشات اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای اردبیل شبکه یامچی دارای ۲۲ ایستگاه پمپاژ آب می‌باشد که از این تعداد ۱٤ ایستگاه پمپاژ در حالت فعال قرار دارند. میزان انرژی مصرفی ایستگاه‌های پمپاژ فعال شبکه یامچی اردبیل در سال زارعی ۹٤ مطابق شکل (۱) می‌باشد. کل انرژی مصرفی ایستگاه‌های پمپاژ فعال در سال زارعی سال ۹٤ برابر MWh/year ٦۰۳۲/۵٦۵ است.



شکل ۱: میزان انرژی مصرفی ایستگاه‌های پمپاژ فعال در طول کارکرد سال زارعی ۹٤

با توجه به تغییرات سالیانه در میزان مصارف کشاورزی، کاهش تدریجی بارش‌ها و نظر کارشناسان فعال در ایستگاه‌های پمپاژ شبکه یامچی یک رشد حدود ۲ درصدی برای بارهای مصرفی باید در نظر گرفت. لذا میزان مصارف بدست آمده در سال زارعی ۹٤ برای سال ۹۷ مطابق رابطه (۱) خواهد بود.

$$W = W_0(1+r)^n = 6032.565*(1+0.02)^3 = 6401.806 MWh/year \quad (۱)$$

که میزان توان الکتریکی آن برابر ۰,۷۳۱ مگاوات خواهد بود. هزینه برق مصرفی را با توجه به تعرفه کشاورزی وزارت نیرو برای سال زارعی ۹۷ مطابق رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$Cost_{Energy} = Price_{Energy} * \text{Energy} = 169.4(R/kWh)*6401806(kWh/year) = 1084465936R/year \quad (۲)$$

۳. ارائه راه‌کار

با توجه به اطلاعات و نتایج اشاره شده در بخش‌های قبل شبکه یامچی دارای ۲۲ ایستگاه پمپاژ آب می‌باشد که از این تعداد ۱٤ ایستگاه پمپاژ در حالت فعال قرار دارند. با توجه به میزان انرژی مصرفی پیش‌بینی شده در سال ۱۳۹۷ این ایستگاه‌ها به میزان ٦٤۰۱/۸۰٦ MWh/year هزینه پرداختی انرژی برق مصرفی سالانه حدود ۱۱۰ میلیون تومان خواهد بود. حال اگر شرکت آب منطقه‌ای اردبیل با توجه به این مبلغ پرداختی ناچیز در مقابل میزان انرژی مصرف شده بخواهد تنها به دنبال تامین میزان مصرف خود از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر خورشیدی یا بادی باشد (یعنی یک عملکرد جزیره‌ای برای تامین انرژی الکتریکی خود داشته باشد) اینکار هیچ توجیه اقتصادی برای آن نخواهد داشت.

با توجه به بخشنامه شماره ۹۵/۱٤۲۷۳/۳۰/۱۰۰ وزارت نیرو در تاریخ ۱۳۹۵/۰۲/۱۹ نرخ خرید تضمینی برق بمدت ۲۰ سال از مزرعه خورشیدی با ظرفیت ۱۰ مگاوات و کمتر برابر ٤۹۰ تومان بر کیلو وات ساعت و مولدهای بادی با ظرفیت یک مگا وات و کمتر برابر با ٤۲۰ تومان بر کیلو وات ساعت می‌باشد. از طرفی با توجه به بخشنامه شماره ۷۸۲۵۰/ت ۵۱۹۰٤ ه هیات وزیران در تاریخ ۱۳۹۵/۰٦/۳۱ موسسات و شرکت‌های دولتی و نهادهای عمومی غیردولتی موظف هستند حداقل بیست درصد از برق مصرفی خود را از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تامین کنند. لذا شرکت آب منطقه‌ای اردبیل با توجه به وجود پتانسیل‌های بالقوه خود در کانال‌های آب ایستگاه‌های پمپاژ شبکه یامچی و دریاچه پشت سد یامچی اردبیل می‌تواند با دید سرمایه‌گذاری در قالب قراردادهای مشارکتی وارد تولید برق از طریق نیروگاه‌های خورشیدی و بادی گردد.

برای بررسی دقیق توجیه اقتصادی جهت سرمایه‌گذاری شرکت آب منطقه‌ای اردبیل جهت تامین انرژی الکتریکی ایستگاه‌های پمپاژ شبکه و سد یامچی با احداث نیروگاه خورشیدی و بادی مدل‌های زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

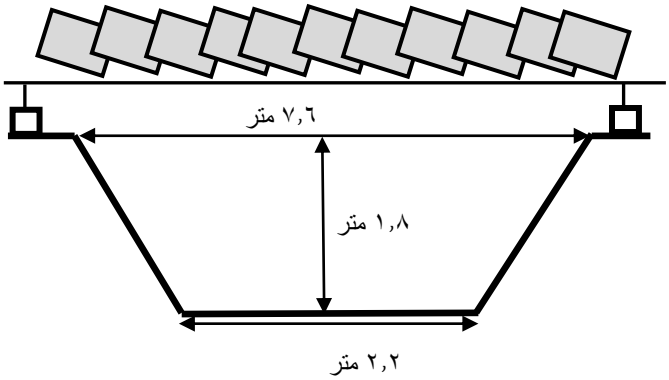
۱،۳. سیستم خورشیدی با ظرفیت نصب یک مگا وات بر روی کانال آب شبکه یامچی

با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی فتوولتائیک (Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)) [۵] با پایه قرار دادن موقعیت جغرافیایی ایستگاه پمپاژ شماره ده شبکه یامچی اردبیل میزان متوسط تابش بر واحد سطح پنل‌های خورشیدی نصب شده در این موقعیت جغرافیایی برابر ۱٦۵۰ kWh/m2 و میزان متوسط انرژی الکتریکی تولید شده از نصب نیروگاه خورشیدی با ظرفیت نصب یک مگا وات در سال برابر ۱۲۵۰ MWh/year می‌باشد. محاسبات دقیق با استفاده از نرم افزار PVsys نشان می‌دهد که در صورت در نظر گرفتن پارامترهایی مانند تغییرات زاویه تابش خورشید (Horizon Line) میزان انرژی الکتریکی تولیدی در سال برابر ۱۱٤۹ MWh/year می‌باشد.

جدول ۱: لیست تجهیزات لازم برای سیستم خورشیدی به ظرفیت یک مگا وات

تعداد ماژول سری(۳۰۳واتی)	۱۱	نوع ای‌نورتر	HPC-050HT-E
تعداد کل ماژول	۳۳۳۳	ظرفیت ای‌نورتر(کی‌لو وات)	۵۰
نوع ماژول	Si-mono	تعداد ای‌نورتر	۱۷
ابعاد ماژول(متر)	۱،۹۵۶×۰،۹۹۱	استراکچر	ثابت
فضای مورد نیاز(متر مربع)	۶۴۶۱	وزن ماژول(کی‌لوگرم)	۲۲/۵

جدول (۱) لیست تجهیزات لازم برای سیستم خورشیدی یک مگا واتی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل، فضای مورد نیاز برای تولید یک مگا وات توان الکتریکی برابر ٦٤٦۱ متر مربع است. اگر مطابق شکل (۲) و ابعاد ماژول‌های بدست آمده یک سازه ثابتی به ابعاد ۸ متر در عرض کانال آب و ۸۰۸ متر در طول کانال در نظر بگیریم، فضای لازم برای پوشش پنل‌های خورشیدی محقق خواهد شد. در ضمن سازه ساخته شده باید تحمل ۷٤۹۹۲,۵ کیلوگرم وزن پنل‌ها را داشته باشد.



شکل۲: ابعاد کانال آب و نحوه چیدمان پنل‌های خورشیدی بر روی آن

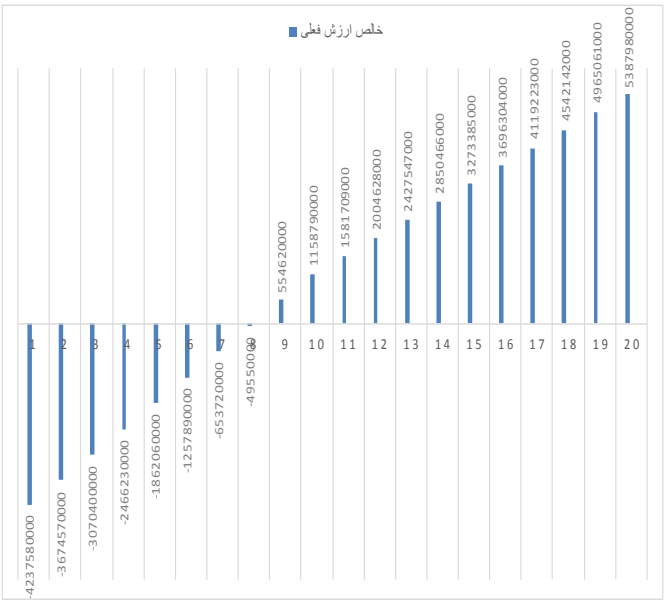
برای احداث نیروگاه یک مگا واتی بر روی کانال، هزینه برآورد شده مستلزم تعیین تجهیزات و برندهای مختلف می‌باشد. با توجه به تجهیزات در نظرگرفته شده و خروجی نرم افزار PVsys، قیمت یک مگا وات نیروگاه خورشیدی با نرخ دلار۴۲۰۰ تومان سرمایه‌گذاری اولیه معادل ٤/۲۳۷/۵۸۰/۰۰۰ تومان (چهار میلیارد و دویست و سی و هفت میلیون پانصد هشتاد هزار تومان) را در بر دارد. جدول (۲) جزئیات این میزان سرمایه گذاری را نشان می‌دهد.

از انجایی که خروجی انرژی الکتریکی این نیروگاه در یک سال معادل ۱۱۴۹ MWh/yearاست که با فروش آن به نرخ ۴۹۰ تومان بر کیلو وات ساعت درآمد حاصل در سال اول برابر ۵۶۳/۰۱۰/۰۰۰ تومان (پانصد و ششصت و سه میلیون و ده هزار تومان) خواهد بود.

جدول ۲: میزان سرمایه گذاری لازم برای سیستم خورشیدی به ظرفیت یک مگا وات

عنوان تجهیزات	واحد	بهای واحد (تومان)	بهای کل
پنل خورشیدی	۳۳۳۳	۱۲۶۰۰۰۰	۴۱۹۹۵۸۰۰۰۰
اینورتر ۵۰ کیلو وات	۱۷	۱۰۰۰۰۰۰	۱۷۰۰۰۰۰۰
هزینه سیم کشی	۱	۲۰۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰۰
هزینه تعمیر و نگهداری	۱	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
مجموع سرمایه گذاری			۴۲۳۷۵۸۰۰۰۰

از انجایی که خرید تضمینی برق مطابق بخشنامه ۹۵/۱۴۲۷۳/۳۰/۱۰۰ وزارت نیرو از نیروگاه‌های خورشیدی برای یک دوره بیست ساله منعقد می‌گردد ولی نرخ آن از ابتدای ده ساله دوم تا پایان دوره قرارداد با ضریب تعدیل ۰/۷ محاسبه می‌شود، لذا با توجه به این ضریب تعدیل نمودار بازگشت سرمایه برای یک نیروگاه خورشیدی یک مگا واتی مطابق شکل ۳ خواهد بود.

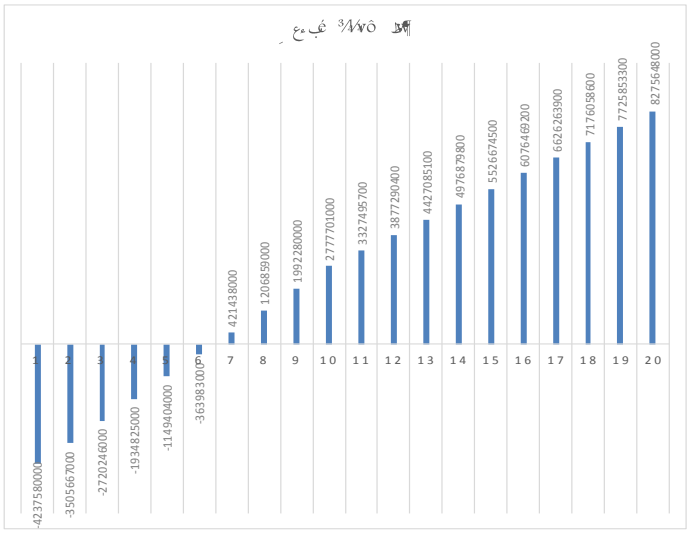


شکل ۳: دوره بازگشت سرمایه نیروگاه خورشیدی یک مگا واتی

با توجه به نمودار دوره بازگشت سرمایه در دوران ساخت و از سال اول بهره برداری تا سال ششم خالص جریانات منفی بوده و از سال هفتم تا پایان دوران بهره برداری، خالص جریانات تجمعی طرح مثبت و در حال افزایش است (بعد از دوره دهم مقادیر با یک ضریب تعدیل ۰/۷ در نظر گرفته شده‌اند). پس می‌توان گفت که دوره بازگشت سرمایه این طرح نه سال می‌باشد.

همچنین، در صورت خرید تجهیزات از داخل کشور (سازه، پنل، اینورتر یا کابل) دولت نرخ خرید را تا ۳۰ درصد (۴۹۰ تومان) افزایش داده و نرخ خرید را تا ۶۳۷ تومان بر کیلو وات ساعت در نظر می‌گیرد. که در صورت لحاظ کردن این حالت نمودار بازگشت سرمایه مطابق شکل (٤) خواهد بود. لذا لحاظ کردن این نرخ به مفهوم، بازگشت سرمایه در هفت سال می‌باشد.

از دیگر مزایای احداث نیروگاه یک مگا واتی بر روی کانال آب می‌توان به کاهش ۹۵۹۲,٦ تن گاز دی اکسید کربن به ازای سوخت فسیلی، جلوگیری از تبخیر آب و جلوگیری از رشد جلبک‌ها در کانال آب اشاره کرد.



شکل ٤: دوره بازگشت سرمایه نیروگاه خورشیدی یک مگا واتی با خرید تجهیزات از تولید کنندگان داخلی

۲,۳. سیستم خورشیدی با ظرفیت نصب مصرف مورد نیاز ایستگاه‌های پمپاژ بر روی کانال آب شبکه یامچی

با توجه به میزان انرژی مصرفی پیش بینی شده در سال ۱۳۹۷ ایستگاه‌های پمپاژ مصرفی برابر ٦٤٠١/٨٠٦ MWh/year خواهد داشت. لذا با توجه به پتانسیل خورشیدی منطقه می‌توان با نصب یک نیروگاه خورشیدی با ظرفیت نصب ۵,٦ مگا واتی پاسخگوی این مقدار انرژی بود. بنابراین لازم است یک تحلیل مناسبی از نصب یک نیروگاه خورشیدی ۵,٦ مگا واتی صورت گیرد

تا بتوان یک آنالیز اقتصادی از نظر نقطه سر به سری انرژی انجام داد. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی فتوولتائیک (Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)) با پایه قرار دادن موقعیت جغرافیایی ایستگاه پمپاژ شماره ده شبکه یامچی اردبیل میزان تولید متوسط انرژی الکتریکی حاصل از نصب نیروگاه خورشیدی با ظرفیت نصب ۵,٦ مگا وات در سال برابر ٦۹۷۰ MWh/year می‌باشد. محاسبات دقیق با استفاده از نرم افزار PVsys نشان می‌دهد که در صورت در نظر گرفتن پارامترهایی مانند تغییرات زاویه تابش خورشید (Horizon Line) میزان انرژی الکتریکی تولیدی در سال برابر ٦٤۱۱ MWh/year می‌باشد.

جدول ۳: لیست تجهیزات لازم برای سیستم خورشیدی به ظرفیت ۵،۶ مگا وات

تعداد ماژول سری(۳۰۰ واتی)	۱۱	نوع ای‌نورتر	Hyundai
تعداد کل ماژول	۱۸۶۶۷	ظرفیت ای‌نورتر(کیلو وات)	۵۰
نوع ماژول	Si-mono	تعداد ای‌نورتر	۹۱
ابعاد ماژول(متر)	۱،۹۵۶×۰،۹۹۱	استراکچر	ثابت
فضای مورد نیاز(متر مربع)	۳۶۱۸۴	وزن ماژول(کیلوگرم)	۲۲/۵

جدول (۳) لیست تجهیزات لازم برای سیستم خورشیدی ۵,٦ مگا وات را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل، فضای مورد نیاز برای تولید ۵,٦ مگا وات توان الکتریکی برابر ۳٦۱۸٤ متر مربع است. اگر مطابق شکل (۵) و ابعاد ماژول‌های بدست امده یک سازه ثابتی به ابعاد ۸ متر در عرض کانال آب و ٤۵۲۳ متر در طول کانال (این مقدار در مقابل طول ۳٦,۵ کیلومتری کانال آب در دسترس قابل تامل است) در نظر بگیریم، فضای لازم برای پوشش پنل‌های خورشیدی محقق می‌شود. در ضمن سازه ساخته شده باید تحمل ٤۲۰۰۰۷,۵ کیلوگرم وزن پنل‌ها را داشته باشد.

شکل ۵: نمونه ای از قرار گرفتن پنل‌های خورشیدی روی کانال آب

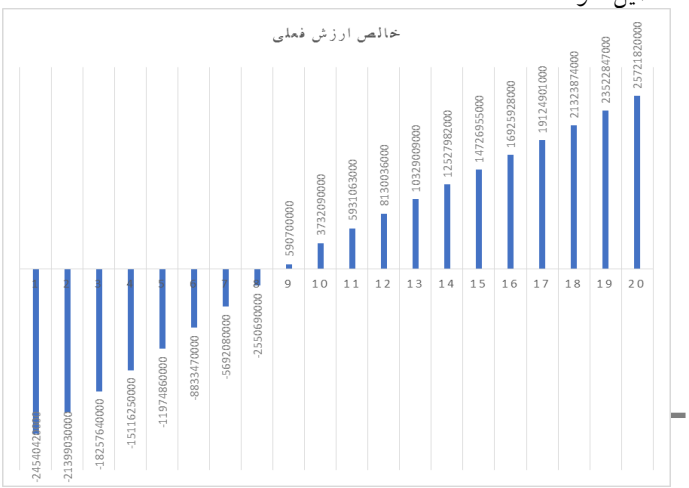
برای احداث نیروگاه ۵,٦ مگا واتی بر روی کانال، هزینه براورد شده مستلزم تعیین تجهیزات و برندهای مختلف می‌باشد. با توجه به تجهیزات در نظرگرفته شده، قیمت ۵,٦ مگا وات نیروگاه خورشیدی سرمایه¬گذاری اولیه معادل ۲٤/۵٤۰/٤۲۰/۰۰۰ تومان (بیست و چهار میلیارد و پانصد و چهل میلیون چهارصد و بیست هزار تومان) را در بر دارد. جدول (٤) جزئیات این میزان سرمایه گذاری را نشان می‌دهد.

جدول ۴: میزان سرمایه گذاری لازم برای سیستم خورشیدی به ظرفیت ۵،۶ مگا وات

عنوان تجهیزات	واحد	بهای واحد (تومان)	بهای کل (تومان)
پنل خورشیدی	۱۸۶۶۷	۱۲۶۰۰۰۰	۲۳۵۲۰۴۲۰۰۰۰
ای‌نورتر ۵۰ کیلو وات	۹۱	۱۰۰۰۰۰۰	۹۱۰۰۰۰۰۰
هزینه سیم کشی	۱	۱۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰۰
هزینه تعمیر و نگهداری	۱	۱۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰۰
مجموع سرمایه گذاری			۲۴۵۴۰۴۲۰۰۰۰

از انجایی که خروجی انرژی الکتریکی این نیروگاه در یک سال معادل ٦٤۱۱ MWh/year است که با فروش آن به نرخ ٤۹۰ تومان بر کیلو وات ساعت، درآمد حاصل در سال اول برابر ۳/۱٤۱/۳۹۰/۰۰۰ تومان (سه میلیارد و یکصد و چهل و یک میلیون سی صد و نود هزار تومان) خواهد بود.

از انجایی که خرید تضمینی برق مطابق بخشنامه ۹۵/۱٤۲۷۳/۳۰/۱۰۰ وزارت نیرو از نیروگاه‌های خورشیدی برای یک دوره بیست ساله منعقد می‌گردد ولی نرخ آن از ابتدای ده ساله دوم تا پایان دوره قرارداد با ضریب تعدیل ۰/۷ محاسبه می‌شود. لذا با توجه به این ضریب تعدیل نمودار بازگشت سرمایه برای یک نیروگاه خورشیدی ۵,٦ مگا واتی مطابق شکل (٦) خواهد بود. با توجه به نمودار دوره بازگشت سرمایه در دوران ساخت و از سال اول بهره برداری تا سال ششم خالص جریانات منفی بوده و از سال هفتم تا پایان دوران بهره¬برداری، خالص جریانات تجمعی طرح مثبت و در حال افزایش است. که البته بعد از دوره دهم مقادیر با یک ضریب تعدیل ۰/۷ در نظر گرفته شده‌اند. پس می‌توان گفت که دوره بازگشت سرمایه این طرح نه سال می‌باشد یعنی در این دوره سرمایه اولیه پرداخت شده مجددا تحصیل خواهد شد.



شکل ۶: دوره بازگشت سرمایه نیروگاه خورشیدی ۵،۶ مگا واتی

۳،۳. سیستم خورشیدی با ظرفیت نصب یک مگا وات بر روی دریاچه پشت سد یامچی

استفاده از نیروگاه خورشیدی شناور بر روی دریاچه پشت سد یامچی فرصت سرمایه گذاری دیگری است که در اختیار شرکت آب منطقه‌ای اردبیل قرار دارد. چرا که استفاده از این نوع نیروگاه‌ها به علت وجود آب و اثر خنک کنندگی بر خلاف نیروگاه‌های خورشیدی معمولی که در هوای گرم کارایی آن افت می‌کند، بازده بالاتری دارند [٦]. از طرف دیگر در نیروگاه‌های خورشیدی شناور احتمال قرار گرفتن صفحات خورشیدی در معرض آلاینده‌های هوا همچون گرد و غبار کمتر و لذا هزینه تمیز کردن این صفحات کاهش می‌یابد [٧]. در کنار این مزیت، نیروگاه خورشیدی شناور کاهش ۸۰ درصدی تبخیر آب در قسمتی از سطح دریاچه که توسط پنل‌های خورشیدی پوشانده می‌شود، را بدنبال دارد [٨]. بطوریکه با احداث این نوع سیستم، تابش مستقیم خورشید به آب تقلیل یافته و رشد جلبک‌ها کاهش می‌یابد، لذا کیفیت آب مخازن و آب شرب بهتر می‌شود. اثر خنک کنندگی آب بر افزایش بهره‌وری نیروگاه‌های خورشیدی شناور در مقایسه با نیروگاه‌های خورشیدی معمولی نزدیک به بیست درصد بوده، و این در حالی است که عمر مفید یک نیروگاه شناور ۲۵ سال (عمر مفید نیروگاه خورشیدی معمولی ۲۰ سال بر آورد می‌شود) تخمین زده می‌شود [٩]. شکل (٧) نمونه‌ای از این نیروگاه را نشان می‌دهد.

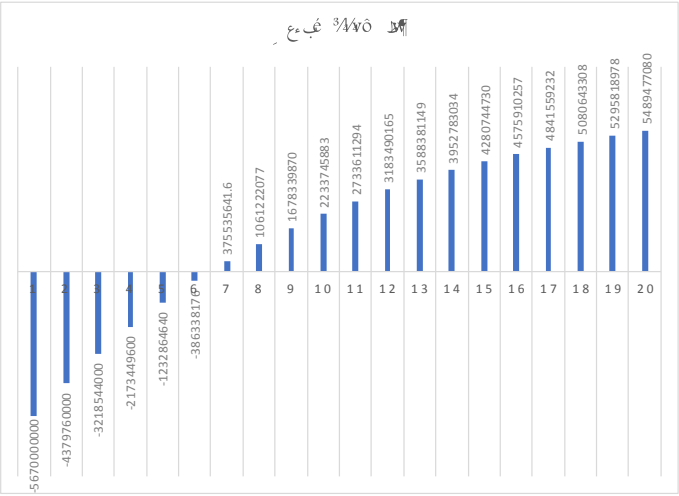
شکل ۷: نمونه‌ای از نیروگاه خورشیدی شناور

جهت برآورد هزینه و فایده یک نیروگاه خورشیدی شناور یک مگا واتی در دریاچه پشت سد یامچی اردبیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی فتوولتائیک (Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS))) میزان تولید متوسط انرژی الکتریکی حاصل از نصب نیروگاه خورشیدی با ظرفیت نصب یک مگا وات روی دریاچه پشت سد یامچی در سال برابر ۱۲۳۰ MWh/year می‌باشد. که با توجه به شناور بودن سیستم این میزان تا ۲۰ درصد یعنی ١٤٧٦MWh/year قابل افزایش است. از انجایی که در این سیستم خورشیدی از سازه‌های آبی با لنگر و دیگر نگهدارنده‌های لازم استفاده می‌شود.

با در نظر گرفتن تجهیزات آلمانی، قیمت یک مگا وات حدود ۱،۳۵ میلیون دلار (معادل پنج میلیارد و ششصت و هفتاد میلیون تومان) خواهد بود. این قیمت شامل سازه های آبی با لنگر، پنل‌های خورشیدی و تجهیزات مورد نیاز می‌باشد(در این طراحی قیمت سازه‌های روی آب به تنهایی برای ظرفیت نصب یک مگا واتی در حدود ۳۸۰ هزار دلار می‌باشد).

از انجایی که خروجی انرژی الکتریکی این نیروگاه در یک سال معادل ١٤٧٦ MWh/year است که با فروش آن به نرخ ٤٩٠ تومان بر کیلو وات ساعت درآمد حاصل در سال اول برابر ۷۲۳/۲٤۰/۰۰۰ تومان (هفتصد و بیست و سه میلیون و دویست و چهل هزار تومان) خواهد بود.

که با خرید تضمینی برق برای یک دوره بیست ساله، نرخ آن از ابتدای ده ساله دوم تا پایان دوره قرارداد با ضریب تعدیل ۰/۷ محاسبه می‌شود، لذا با توجه به این ضریب تعدیل و نرخ تورم ۱۰ درصد نمودار بازگشت سرمایه برای یک نیروگاه خورشیدی شناور یک مگا واتی با دوره بازگشت سرمایه ۷ ساله مطابق شکل (٨) خواهد بود.



شکل ۸: دوره بازگشت سرمایه نیروگاه خورشیدی شناور یک مگا واتی

٤,٣. سیستم بادی با ظرفیت نصب ٦٦٠ کیلو وات در سایت سد یامچی

براساس اطلاعات حاصل از ایستگاه سینوپتیکی اردبیل و مطالعات انجام گرفته چگالی توان باد در مقیاس سالانه و در ارتفاع ۱۰ متری برابر با ۲۸۵,۵۹ وات بر متر مربع و در ارتفاع ٤۰ متری این میزان به ٤۹۱ وات بر متر مربع می‌رسد.

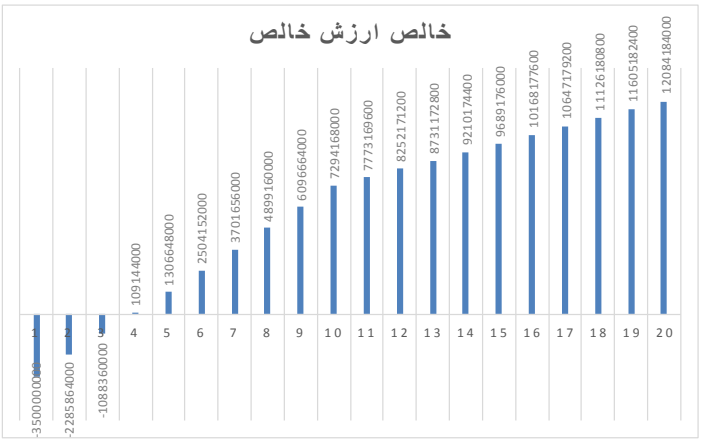
از انجایی که در نصب توربین بادی محدودیتی مانند وجود حریم جانبی هر توربین ۳ برابر قطر پروانه توربین و حریم روبرویی هر توربین ۵ برابر قطر پروانه توربین باید لحاظ شود و فضای مورد نیاز برای هر توربین بادی باید برابر مربع قطر روتور توربین باشد، لذا با این استدلال می‌توان گفت که ایستگاه‌های پمپاژ شبکه یامچی اردبیل مناسب برای نصب توربین بادی حداقل از نظر وجود فضای فیزیکی نیست. همچنین با توجه به ارتفاع قرارگیری این ایستگاه‌ها از سطح دریا (ایستگاه پمپاژ شماره یک در ارتفاع ۱٤۱۲,۸ متر و ایستگاه پمپاژ شماره بیست و دو در ارتفاع ۱۳۹۳,۵ متر از سطح دریا قرار دارند) در مقایسه با سایت سد یامچی که در ارتفاع ۱۵۷۳,۱ متر از سطح دریا قرار دارد. فضای اطراف سد یامچی از جمله مناطق مستعد برای نصب توربین بادی است بطوریکه در حال حاضر یک توربین بادی به قدرت ٦٦۰ کیلو وات و مطابق مشخصات جدول (۵) در منطقه سرعین راه اندازی شده و توربین بادی مشابهی در منطقه بولاغلار شهرستان نیر در حال احداث میباشد. این توربین بادی از تولیدات شرکت صبا نیرو بوده و هزینه احداث آن ۳,۵ میلیارد تومان بر آورد شده است.

جدول ۵: مشخصات توربین بادی مدل S47-660

توان نامی توربین	۶۶۰ کیلو وات	سرعت نامی چرخش روتور	۲۸/۵ دور در دقیقه
عمر مفید توربین	۲۰ سال	مساحت جاروب	۱۷۳۴/۹ متر مربع
قطر روتور توربین	۴۷ متر	حداقل سرعت باد	۴ متر بر ثانیه
ارتفاع برج	۴۰ متر	سرعت نامی باد	۱۵ متر بر ثانیه
نوع ژنراتور	آسنکرون –۶۶۰ کیلو وات ۵۰ هرتز	حداکثر سرعت باد	۲۵ متر بر ثانیه

خرید تضمینی برق مطابق بخشنامه ۹۵/۱٤۲۷۳/۳۰/۱۰۰ وزارت نیرو از نیروگاه‌های بادی با نرخ ٤۲۰ تومان بر کیلووات ساعت (برای مزرعه بادی ۵۰ مگا وات و کمتر) برای یک دوره بیست ساله منعقد می‌گردد بطوریکه این نرخ قرار داد برای نیروگاههای بادی که در دوره دو ساله اول دارای ضریب تولید ٤۰ درصد و بیشتر باشند، از ابتدای دوره دو ساله دوم تا پایان قرارداد در عدد ۰/٤ و برای نیروگاههای با ضریب تولید کمتر از ۲۰ درصد در عدد ۱ ضرب میشوند.

برای بررسی هزینه و فایده حاصل از نصب یک توربین بادی ٦٦۰ کیلو واتی در سایت سد یامچی اردبیل با فرض ضریب تولید ۵۰ درصد (به طور متوسط هر شبانه روز ۱۲ ساعت کارکرد) و تولید انرژی الکتریکی به میزان MWh/year. ۲۸۹۰/۸ و قیمت خرید تضمینی ٤۲۰ تومان بر کیلو وات ساعت میزان در آمد ناشی از فروش آن در سال اول برابر ۱/۲۱٤/۱۳٦/۰۰۰ (یک میلیارد و دویست و چهارده میلیون و یکصد و سی و شش هزار تومان) خواهد بود. نمودار بازگشت سرمایه برای یک نیروگاه بادی ٦٦۰ کیلو واتی مطابق شکل (۹) خواهد بود.



شکل ۹: دوره بازگشت سرمایه نیروگاه بادی ۶۶۰ کیلو وات

با توجه به شکل (۹) می‌توان گفت که دوره بازگشت سرمایه این طرح چهار سال می‌باشد یعنی در این دوره سرمایه اولیه پرداخت شده مجددا تحصیل خواهد شد. دوره بازگشت سرمایه چهار سال نیروگاه بادی در مقایسه با دوره بازگشت سرمایه هفت سال نیروگاه خورشیدی قابل تامل است و لذا این امر دلیلی بر این مسئله است که برای تولید توان‌های بالا (در حدود مگا وات) استفاده از نیروگاههای بادی صرفه اقتصادی بیشتری دارد.

در پایان لازم به ذکر است که به دلیل عدم وجود محدودیت و قید از نظر میزان سرمایه‌گذاری و تولید در نظر گرفتن همزمان تولید بادی و خورشیدی در این مقاله مقدور نمی‌باشد.

٤. نتیجه گیری

تامین برق ایستگاه‌های پمپاژ آب شبکه و سد یامچی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از طرحهای اولویت‌دار شرکت آب منطقه‌ای اردبیل بشمار میآید. بطوریکه شرکت آب منطقه‌ای بدنبال تامین برق مورد نیاز و استفاده از فرصت‌های سرمایه گذاری حاصل از پتانسیل‌های موجود در این منطقه می‌باشد. در این طرح با تحلیل و ارزیابی دقیق فنی – اقتصادی مطابق استانداردهای ملی و بین المللی مرتبط، پتانسیل‌های موجود در جهت تولید انرژی از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر خورشیدی و بادی مشخص شده و در قالب طرح‌های مناسب اجرایی، با پیشنهاد راهکارهایی ارائه گردید. در این طرح تحقیقاتی در اولین گام فاز مطالعاتی پروژه مورد توجه قرار گرفت تا یک برآورد اولیه دقیقی از وضع موجود صورت گیرد و پتانسیل‌های موجود در منطقه تحت مطالعه، شناسایی گردد. در ادامه با توجه به میزان مصرف انرژی الکتریکی ایستگاههای پمپاژ نحوه تولید این انرژی از طریق نیروگاه خورشیدی و بادی مورد ارزیابی قرار گرفت.

در خاتمه بعد از تحلیل اقتصادی سناریوهای عملیاتی مختلف بر مبنای هزینه- فایده راهکارهای عملی اجرایی ارائه گردید که اهم آنها به صورت زیر خلاصه میگردد:

۱- استفاده از سیستم خورشیدی یک مگا واتی بر روی کانال آب شبکه یامچی اردبیل تولید انرژی الکتریکی برابر ۱۱٤۹ MWh/year را برای شرکت آب منطقهای بدنبال دارد. که این امر سرمایه گذاری اولیه ٤/۲۳۷/۵۸۰/۰۰۰ تومان را میطلبد. با فروش انرژی الکتریکی تولید شده به نرخ ٤۹۰ تومان بر کیلو وات ساعت درآمد حاصل در سال اول برابر ۵٦۳/۰۱۰/۰۰۰ تومان خواهد بود. بطوریکه این نیروگاه از سال هفتم بعد از بازگشت سرمایه اولیه وارد سود دهی خواهد شد. از مزایای دیگر این نیروگاه میتوان به کاهش ۹۵۹۲,٦ تنی گاز CO_2 ، جلوگیری از تبخیر آب و کاهش رشد جلبکها در کانال آب اشاره کرد.

۲- استفاده از سیستم خورشیدی ۵,٦ مگا واتی برای پاسخگویی به میزان مصرف ٦٤۱۱ MWh/year ایستگاههای پمپاژ شبکه یامچی سرمایه گذاری اولیه ۲٤/۵٤۰/٤۲۰/۰۰۰ تومان را بدنبال دارد. از انجایی که میزان انرژی الکتریکی تولیدی این نیروگاه برابر ٦٤۱۱ MWh/yearاست لذا با فروش آن نرخ ٤۹۰ تومان بر کیلو وات ساعت در آمد حاصل در سال اول برابر ۳/۱٤۱/۳۹۰/۰۰۰ تومان خواهد بود. که این نیروگاه نیز از سال هفتم وارد سود دهی خواهد شد.

۳- احداث سیستم خورشیدی شناور یک مگا واتی بر روی دریاچه پشت سد یامچی فرصت سرمایه گذاری دیگری بود که در اختیار شرکت آب منطقهای اردبیل قرار دارد. بطوریکه این نیروگاه در مقایسه با نیروگاه خورشیدی معمولی طول عمر مفید ۲۵ سال و افزایش ظرفیت تولید به میزان ۲۰ درصد را داراست. این نیروگاه توان تولید انرژی الکتریکی به میزان ۱٤۷٦MWh/year را دارد.

٤- احداث نیروگاه بادی به ظرفیت ٦٦۰ کیلو وات در سایت یامچی اردبیل سناریو دیگری برای تولید انرژی الکتریکی با استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر است. که انجام آن هزینهای برابر ۳,۵ میلیارد تومان را درپی دارد. ولی با توجه به نرخ فروش انرژی حاصل از آن به نرخ ٤۲۰ تومان بر کیلو وات ساعت درآمد ناشی از فروش آن در سال اول برابر ۱/۱۹۷/۵۰٤/۰۰۰ تومان خواهد بود. بطوریکه دوره بازگشت سرمایه این طرح چهار سال است، که این مدت دوره در مقایسه با دوره بازگشت سرمایه هفت سال نیروگاه خورشیدی قابل تامل است.

منابع

[۱] مسعود تقوایی و عفت صبوحی، " پهنه بندی و مکانیابی نیروگاه های خورشیدی در استان اصفهان"، نشریه پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال هشتم، شماره ۲۸، بهار ۱۳۹٦.

[۲] مجید رضایی بنفشه، سعید جهانبش، یعقوب دین پروژه و مرضیه اسمعیل پور "امکان سنجی استفاده از انرژی باد در استانهای اردبیل و زنجان"، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، سال ٤٦، شماره۳، پاییز، ۱۳۹۳.

[۳] فرشید مستوفی، حشین شایقی و حسین کاظمی کارگر، " پتانسیل سنجی و طراحی بهینه سیستم ترکیبی انرژیهای تجدید پذیر جهت تامین برق مورد نیاز ایستگاههای پمپاژ آب سایت مشکین شهر"، نشریه انرژی ایران، دروه ۱، شماره ۲، تابستان، ۱۳۹۱.

[٤] محمد حسین مهدوی عادلی، مصطفی سلیمی فر و اعظم قزلباش " ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در مصارف خانگی (مطالعه موردی مجتمع سه واحدی در شهرستان مشهد)"، مجله علمی- پژوهشی سیاست گذاری اقتصادی، سال ششم، شماره یازدهم، بهار و تابستان، ۱۳۹۳.

[5] www.re.jrc.ec.europa.eu

[6] R.Cazzaniga, M.Cicu, M.Rosa-Clot, P.Rosa-Colt, C.Tina, C.ventura,"Floating Photovoltaic plants: performance analysis and design solutions", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.81,pp. 1730-1741, 2018.

[7] S.Patill Sujay, M.M.Wagh, N.N.Shinde, " A Reviwe on floating Solar Photovoltaic Power Plants", International journal of Scientific & Engineering Research, Vol.8, Issue 6,pp.789-794, 2017.

[8] Young-Kwan choi, “Astudy on power generation analysis of floating PV system considering environment impact”, International Journal of Software Enegineering and its Applications, Vol.8,No.1,pp.75-84,2014.

[9] www.isna.ir