DOR: 20.1001.1.24234931.1399.7.1.1.8

سال هفتم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۹، ص ص ۱- ۱۱
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
jrenew.ir

مقاله
تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۰۸
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۱۱

طراحی سامانه پمپ فتوولتاییک برای آبیاری بصورت مشترک بین زمین‌های زراعی به منظور صرفه جویی درتامین هزینه ساخت و نگهداری

سامان پویی[۱]، مرتضی طاهری نژاد[۲*]

۱- دانشجوی لیسانس، مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران
۲- مدرس، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران
* تهران، صندوق پستی ۱۶۷۸۶۸۳۵۱۱، morteza_taherinejad@yahoo.com

چکیده

در این مقاله ترکیب جدیدی از یک سامانه فتوولتاییک - پمپ خورشیدی که برای برطرف کردن آب مورد نیاز، آبیاری ثقلی زمین‌های زراعی طراحی شده است بررسی می‌گردد. در بررسی صورت گرفته شده تلاش شده است تا طراحی مقرون به صرفه تری با توجه به مفهوم مشارکت چندین باغ در راه‌اندازی سامانه ارائه گردد. این سامانه آبیاری برای مناطق و مزارعی که از شبکه برق رسانی شهری دور بوده و رساندن برق شبکه بسیار سخت و پر هزینه می‌باشد گزینه‌ای مناسب خواهد بود. مطالعه انجام گرفته شده با توجه به پارامترهای مختلفی مانند تغییرات ماهانه در توان مورد نیاز به علت تغییر تابش، تغییرات در ولتاژ کل سامانه در ماه‌های مختلف براساس کمترین دما و ولتاژ حداکثری در دمای موثر پنل‌ها در هر ماه، توسعه یافته است. این سامانه برای آبیاری ثقلی ۵ قطعه زمین هرکدام به وسعت ۲ هکتار در اطراف شهر اراک طراحی گردیده است، سپس با توجه به دوره آبیاری و مساحت زمین زراعی، میزان آب مورد نیاز در هر روز محاسبه و در قدم های بعدی توان پمپ مناسب پمپاژ، تعیین شده است و در نهایت با توجه به بخش‌های یک سامانه فتوولتائیک مقدار انرژی مورد نیاز جهت کار پمپ در هر فصل محاسبه و میزان سطح پنل‌های فتوولتائیک لازم برای تامین انرژی مورد نیاز سامانه برآورده گردیده است. در نهایت طراحی ارائه شده با متداول‌ترین طراحی سامانه‌های فتوولتائیک برای یک باغ مقایسه شده که نشان دهنده عملکرد بهتر و هزینه کمتر برای سامانه پیشنهادی است.

کلیدواژگان: پمپ خورشیدی، پنل فتوولتائیک، تابش خورشید، آبیاری خورشیدی، سلول خورشیدی

Design of a shared photovoltaic pumping system for irrigation to save on the cost of construction and maintenance

Saman Pouee [1], Morteza Taherinejad[2*]

۱- Department of Mechanical Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
۲- Department of Mechanical Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
*P.O.B. 1678683511 Tehran, Iran, morteza_taherinejad@yahoo.com
Received: 29 December 2018 Accepted: 2 July 2019

Abstract

In this paper, a novel combination of a photovoltaic solar pump system designed to eliminate the water needed for irrigation of arable land. In this survey, efforts have been made to provide a cost-effective design according to the concept of participation of several gardens in the system and setting up the system. The presented system is a good option for areas and

fields that are far from the grid and the grid delivery is very costly and very difficult. The study has been carried out with regard to various parameters such as monthly changes in the required power due to radiation changes, changes in the total system voltage in different months based on the lowest temperature and maximum voltage at the effective temperature of the panels per month. This system is designed for grazing irrigation of 5 plots of land each with a total area of 2 hectares around the city of Arak. Then, according to the irrigation period and the area of land, the required amount of water per day is calculated and in the next steps the pump power is chosen and according to the elements of a photovoltaic system, the amount of energy needed to work the pump in each calculation and the level of the solar panels required to supply the system's energy requirements are met. Finally, the presented design has been compared with the design of the most common photovoltaic system which represents better performance and lower cost for the proposed system.

Keywords: Solar Pump, Photovoltaic Panel, Sun Radiation, Solar Irrigation, Solar Cell

۱- مقدمه

دو بحران بزرگ در زمینه انرژی که امنیت کشورها را به مخاطره انداخته است، آلودگی محیط زیست به علت احتراق سوخت‌های فسیلی و پایان پذیری این منبع انرژی می‌باشد. یکی از راه‌های برون رفت از این بحران، استفاده از انرژی-های تجدید پذیر و نو است. سهم استفاده از این گونه انرژی‌ها در سبد منابع تامین انرژی کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته به سرعت در حال افزایش است [۱].

متخصصان بر این باورند که با استفاده از انرژی‌های پاک نظیر انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی، هیدروژن به جای انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی می‌توان از آلودگی محیط زیست و خطرات مرتبط بر آن جلوگیری کرد، همچنین از سوی دیگر با پایان یافتن انرژی‌های فسیلی که زمانی تمدن بشری به آنها وابستگی مستقیم داشت دچار یک چالش جدید و بزرگ خواهد شد. از اینرو، انرژی‌های تجدید پذیر بعنوان بهترین جایگزین سوخت‌های فسیلی طی دهه‌ای گذشته برای تامین انرژی سرتاسر جهان مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲-۴].

انرژی خورشیدی بعنوان منبعی پاک، تجدید پذیر و البته رایگان در زمینه تولید انرژی به دوصورت مستقیم و غیر مستقیم و به کمک سامانه‌های خورشیدی چهارگانه: فتوبیولوژی، شیمیایی، فتوولتاییک و حرارتی مورد استفاده قرار می-گیرد. یکی از کاربردهای مهم انرژی خورشیدی، تبدیل آن به انرژی الکتریکی به کمک سامانه‌های حرارتی و سامانه‌های فتوولتاییک است. در سامانه فتوولتائیک انرژی خورشیدی بدون بهره‌گیری از مکانیزم‌های متحرک، بصورت مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. [۵-۷].

بکارگری انرژی خورشیدی با وجود فواید گوناگون آن، همانند استفاده از سایر انرژی‌ها دارای هزینه احداث، خریداری بخش‌های مختلف سامانه تامین انرژی و نگهداری و تعمیرات این بخش‌ها می‌باشد، که مجموع این هزینه‌ها در استفاده از اینگونه انرژی بصورت خصوصی نمود بیش‌تری پیدا می‌کند. متاسفانه در سال‌های اخیر با افزایش چشمگیر هزینه‌های خرید و تعمیرات بخش‌های مختلف سامانه‌های خورشیدی در کشورمان، موجب افزایش ریسک و کم اقبالی در بکارگیری این انرژی نو در مصارف کوچک و خصوصی شده‌است. در این مقاله تلاش شده‌است که روش آبیاری اقتصادی و براساس انرژی خورشیدی و نیازها و شرایط کنونی کشور طراحی گردد، که در مقام قیاس با معمول‌ترین روش‌های استفاده از انرژی‌های سنتی و نو به‌صرفه‌تر، اقتصادی‌تر، با ریسک‌پذیری پایین‌تر و در کل موجب افزایش اقبال در بکارگیری این انرژی نو بخصوص در حوزه‌های زراعی خصوصی و در ابعاد کوچک و متوسط شود.

در ابتدا اجزای اصلی یک سیستم فتوولتاییک شرح داده شده است و سپس به شیوه انتخاب پمپ و در نهایت به طراحی سامانه فتوولتاییک برای تامین برق مورد نیاز برای پمپ خورشیدی پرداخته شده است.

۲- معرفی اجزا یک سامانه فتوولتائیک

در این بخش به معرفی اجمالی اجزا اصلی یک سامانه فتوولتائیک و نحوه عملکرد آنها در سامانه پرداخته شده است.

۱-۲-سلول های خورشیدی

سلول خورشیدی مولفه‌ی اصلی پنل فتوولتائیک است. گاهی به آنها سلول‌های فتوولتائیک یا سلول PV هم گفته می‌شود. این سلول‌ها با جذب نور خورشید، برق تولید می‌کنند. نام PV از فرآیند تبدیل نور (فوتون ها) به برق (ولتاژ) گرفته شده است که به آن اثر PV هم گفته می‌شود [۸].

امروزه سلول‌های خورشیدی سیلیکونی، از پرکاربردترین قطعات حالت جامد هستند سیلیکون نیمه رسانایی با گاف نواری ۱,۱ تا ۱,۷ الکترون ولت ev (مناسب برای جذب نور خورشید) می‌باشد جفت‌های الکترون – حفره در اثر تابش نور خورشید در نیمه رسانا تولید می‌شوند. این حامل‌های بار متحرک می‌توانند جریان الکتریکی تولید کنند. تولید ولتاژ الکتریکی به یک گاف انرژی بین ترازهای انرژی الکترونی نیاز دارد [۸-۹].

۱-۱-۲- انواع سلول های خورشیدی

سلول های خورشیدی از مواد نیمه رسانا ساخته شده‌اند که متداول‌ترین نوع آن کریستالین سیلیکون است. دو نوع کریستالین سیلیکون وجود دارد، نوع مونو کریستالین سیلیکون کاربرد بیشتری دارد، این نوع سلول دارای یک ساختار مربعی است و خاصیت سیلیکونی بالای آن قوی تر و البته گرانتر از دیگر مصالح پنل خورشیدی است.

نوع دیگر کریستالین سیلیکون، پلی کریستال نمونه ای ارزانتر با کارایی و تاثیر کمتر است، از این نوع در فضاهای بزرگ (برای مثال مزرعه خورشیدی، مناطق غیر مسکونی) استفاده می‌شود. نسل دوم سلول‌های خورشیدی، سلول‌های نواری Thin Film هستند که از سیلیکون آمورفس یا مواد غیر سیلیکونی مثل کادمیوم تلورید تشکیل شده‌اند. سلول‌های خورشیدی Thin Film از لایه‌های مواد نیمه رسانا با ضخامت تنها چند میلی-متر استفاده می‌کنند. این سلول‌ها به دلیل انعطاف‌پذیری بالا می‌توانند برای پوشش‌های سقفی، ساخت نما یا لعاب شیشه‌ای نور گیرها به کار بروند.

نسل سوم سلول‌های خورشیدی علاوه بر سیلیکون از انواع مواد جدید از جمله مرکب‌های خورشیدی و با استفاده از فناوری‌های معمولی پرینت، رنگ‌های خورشیدی و پلاستیک‌های رسانا ساخته می‌شوند. بعضی سلول‌های خورشیدی از لنزهای پلاستیکی یا آینه برای تمرکز نور خورشید بر یک بخش کوچک از مواد PV استفاده می‌کنند. مواد PV گران قیمت تر هستند اما به دلیل نیاز اندک به آن‌ها در صنعت و تاسیسات از نظر هزینه مقرون به صرفه خواهند بود. با این حال به این دلیل که لنز ها باید به سمت نور خورشید قرار بگیرند، کاربرد کلکتورهای متمرکز کننده محدود به مناطق آفتابی است[۸].

۲-۲- مبدل (اینورتر-Inverter) یا معکوس کننده خورشیدی

اینورتر بصورت کلی وسیله‌ای برای تبدیل ولتاژ DC به AC می‌باشد. اینورتر برق DC را از منابعی مانند باتری، پنل فتوولتائیک یا سلول‌های سوختی دریافت و به برق AC تبدیل می‌کند. برق خروجی را می توان به هر ولتاژی که لازم باشد تبدیل کرد. اینورترها از نظر فاز تبدیل به دو نوع عمده تک فاز و سه فاز تقسیم می‌شود، همچنین از نظر شکل موج خروجی به چهار نوع زیر تقسیم بندی می-گردند:

۱. خروجی به شکل موج مربعی.
۲. خروجی به شکل سینوسی اصلاح شده (معمولی).
۳. خروجی به شکل سینوسی اصلاح شده (پله‌ای).
۴. خروجی به شکل سینوسی خالص.

اینورتر توصیه شده برای سامانه‌های فتوولتائیک، اینورترهای سینوسی خالص است اما در صورتی که هدف صرفا تامین روشنایی و یا برق برای دوربین مدار بسته باشد، استفاده از اینورترهای شبه سینوسی مشکلی برای سامانه ایجاد نمی‌کند [۱۰-۱۲].

دسته بندی دیگر اینورترهای خورشیدی، دو نوع متصل به شبکه و مستقل

از شبکه است. اینورترهای متصل به شبکه با تبدیل ولتاژ DC به AC، تجهیزاتی را که با ولتاژ AC کار می‌کند تغذیه می‌کند [۱۳].

از جمله پارمتر های مهم در اینورتر ها که باید مورد توجه قرار گیرد می توان به موارد زیر اشار ه کرد [۱۱]:

- سامانه محافظت از تخلیه کامل باتری (Deep Discharge Protection)
- سامانه محاقظت از اضافه ولتاژ باتری (Over Voltage Shutdown)
- سامانه محافظت از دمای بالا و یا با بیش از حد (Over Temp/Over Load)
- سامانه محافظت از اتصال کوتاه (Short Circuit Protection)
- سامانه محافظت از جا به جایی قطب (Reverse Polarity Protection)
- عملکرد اتوماتیک در شرایط مختلف (شناسایی بار، حالت Stand by، اضافه بار، اضافه ولتاژ، اتصال مجدد و غیره)
- ولتاژ ورودی متناسب با طرح ارائه شده
- خروجی ۲۲۰ ولت سینوسی کامل با فرکانس ۵۰ هرتز

۱-۲-۲- سامانه حفاظت

کلیدهای DC بعد از آرایه و رله‌ی خروجی در این شکل از این دست هستند. در یک اینورتر با سامانه حفاظت مفصل می‌توان کلیدهای AC و DC رله‌های under voltage و over voltage سامانه خطای زمین را پیش‌بینی کرد. یک حفاظت مهم دیگر، حفاظت ضد جزیره‌ای Protection (Anti – Islanding) است که معمولا در سامانه کنترلی اینورتر پیش بینی می‌شود و در آن هنگام به قطعی شبکه، تزریق توان اینورتر به شبکه نیز باید قطع شود. اینورترهای جدا از شبکه معمولا بخش عمده‌ای از این حفاظت‌ها را ندارند (لزومی هم ندارد که داشته باشند)[۱۱].

۲-۲-۲- DC – DC یا MPPT

ولتاژ آرایه خورشیدی، متغییر و تابعی از دما، رطوبت، تابش و ..... است. حتی در شرایط عادی کار هم با توجه به منحنی جریان – ولتاژ پنل‌ها کار فقط در یک نقطه از نظر توان بهینه است. وظیفه این جزء مدار پیدا کردن نقطه کار بهینه و در کنار آن ایجاد یک ولتاژ پایا STABLE برای بخش اصلی اینورتر که همان مبدل AC– DC است، می باشد [۱۱].

۳-۲-۲- فیلترها

دو فیلتر EMI (Electromagnetic Interference) در ورودی و خروجی، امکان تداخل سیگنال‌های الکترومغناطیسی در کار مدار را از بین میبرند. فیلتر LC موجود در مدار هارمونیک‌های بالا را حذف می‌کند. باید توجه داشت هرچه این فیلتر شارپ‌تر باشد هزینه آن بیشتر و از طرف دیگر بازده مبدل کمتر خواهد شد، پس در طراحی آن رسیدن به حداقل ملزومات شبکه کفایت می‌کند [۱۱].

۴-۲-۲- کنترل

بخش کنترل بدون شک پیچیده ترین بخش طراحی و پیاده سازی یک اینورتر، مخصوصا نوع متصل به شبکه آن است. تکنیک PWM برای روشن وخاموش کردن کلیدها می‌باشد، این سامانه مخصوصا برای اینورترهای ۵ سطح به بالا بسیار پیچیده است. علاوه بر آن MPPT یک الگوریتم کنترلی دارد و حفاظت جزیره‌ای که شامل پایستن دائمی شبکه است، همه در این بخش گنجانده خواهند شد [۱۱].

۵-۲-۲- POWER SUPPLY ، LCD و RS232

سامانه کنترلی مدار نیاز به منبع تغذیه دارد که مصرف این بخش جزئی است. LCD توان هر لحظه نیروگاه و برخی پیام‌ها را نمایش می‌دهد و RS232 (و دیگر بخش‌های مخابراتی) امکان تبادل داده با یک کامپوتر یا سرور را فراهم میکند [۱۱].

۳- طراحی سامانه آبیاری و انتخاب پمپ

۵ قطعه زمین، هرکدام به وسعت ۲ هکتار که به زیر کشت انار رفته‌اند، آبیاری می‌شوند. روش معمول که برای آبیاری باغات خصوصی اجرا می‌شود، آبیاری تحت فشار توسط پمپ‌های چاه‌کش برای هرکدام از باغات بصورت جداگانه است. اتخاذ و اجرای چنین طرح‌هایی برای باغات خصوصی تنها به معنای افزایش هزینه‌های اجرایی برای هرکدام از مالکان باغات، که این هزینه‌ها بصورت: هزینه احداث خطوط برق شهری، تعمیرات و نگهداری این خطوط و یا خرید دیزل ژنراتورها و به تبع آن افزایش هزینه برای خرید سوخت، که این اقدام خود چیزی به‌جز آلودگی برای محیط زیست نخواهد داشت می‌باشد.

طرحی که این مقاله برای مواردی این چنینی توصیه می‌کند، روش تامین انرژی مورد نیاز آبیاری توسط سامانه‌های فتوولتائیک و بصورت اشتراکی بین باغات خصوصی در جهت کاهش هزینه‌های جاری این سامانه‌ها می‌باشد. از مزیت طرح‌های اشتراکی میان باغات خصوصی می‌توان به استفاده از روش‌های آبیاری و پمپاژ به مراتب ساده‌تر و بخصوص کم هزینه‌تر اشاره کرد.

آبیاری ثقلی یکی از پرکاربردترین و ساده‌ترین شیوه‌های آبیاری می‌باشد. در این روش دیگر نیازی به پمپاژ مستقیم توسط پمپ چاه‌کش و لوله‌های تحت فشار نمی‌باشد. در آبیاری ثقلی مخازن ذخیره آب در میان پمپ و باغ قرار می‌گیرد و آبیاری توسط نیروی گرانش وارد بر حجم آب ذخیره در مخزن برای هرکدام از باغات صورت می‌پذیرد. در آبیاری ثقلی به علت نبود فشار بالا دیگر نیازی به لوله‌های تحت فشار نیست و می‌توان از لوله‌های به مراتب ساده‌تر استفاده کرد.

از دیگر مزایای آبیاری ثقلی عدم نیاز به پمپ برای هرکدام از باغات بصورت جداگانه است که این به معنای کاهش هزینه‌های خرید پمپ و احداث چاه‌های متعدد و هرچه ساده‌تر شدن بکارگیری سامانه‌های فتوولتائیک بصورت اشتراکی می‌شود.

محصول انار هر ۲ روز یکبار به مدت ۱۰ ساعت بصورت مداوم به آبیاری نیاز دارد، دبی حجمی سر هر قطره چکان باید ۳,۱ تا ۳,۸ لیتر بر ساعت باشد. لوله‌های منشعب شده دارای قطر ۱۲ سانتی متر و لوله‌ای که از مخزن سر زمین خارج شده و از آن انشعاب گرفته می‌شود دارای قطر ۲ اینچ یا ۵۰,۸ سانتی متر می‌باشد، آب از قطره چکان‌ها در بهترین حالت باید با دبی حجمی ۳,۸ لیتر بر ساعت خارج شود. برای داشتن دبی مناسب سر قطره چکان‌ها، دبی خروجی از مخزن ۲۶۶ لیتر بر ساعت در نظر گرفته می‌شود. در این حالت با وجود افت‌های موجود در انشعابات دبی خروجی هر قطره چکان بین محدوده مناسب ۳,۱ تا ۳,۸ لیتر بر ساعت خواهد بود [۱۶-۱۴].

مدت زمان آبیاری ۱۰ ساعت و بصورت مداوم می‌باشد اما به عنوان یک ضریب اطمینان برای محاسبه حجم مخزن مدت آبیاری را برای ۲ ساعت بیشتر یعنی ۱۲ ساعت در نظر گرفته شده و با استفاده از فرمول دبی حجمی و با درنظر گرفتن دبی ۲۶۶ لیتر بر ساعت، حجم مخزن برای هر قطعه زمین محاسبه می‌شود [۱۷].

$$V = Q \times \Delta t \qquad (۱)$$

حجم مخزن مورد نیاز برای تامین آب هر زمین ۳۱۹۲ لیتر است. بهترین

مخزن برای آبیاری و کار زراعی و باغات، مخازن پلی‌اتیلن می‌باشد که در اشکال و حجم‌های متنوعی وجود دارد و براساس کاتالوگ‌های موجود این مخازن، حجم مخزن مورد نیاز ۵۰۰۰ لیتر در نظر گرفته شده است تا بتواند به مدت ۱۲ ساعت، آب را در خود ذخیره کند.

دو روش برای پر کردن این مخازن در نظر گرفته شده است. در روش اول مخازن بصورت مستقیم به پمپ خورشیدی داخل چاه آب متصل می‌باشند و بوسیله‌ی آن تغذیه می‌شوند و طبق روش دوم در صورتی که پمپ خورشیدی به هر دلیلی از کار افتاد بعنوان یک ضریب اطمینان مهندسی در طراحی سامانه آبیاری، این مخازن توسط یک مخزن هوایی تغذیه شوند و دیگر نیازی به تغذیه مستقیم از پمپ نداشته باشند. روش دوم بسیار مناسب تر از روش اول است و طراحی سامانه آبیاری براساس آن توسعه یافته است.

برای پر کردن ۵ مخزن هرکدام به حجم ۵۰۰۰ لیتر نیاز به یک مخزن هوایی ۲۵۰۰۰ لیتری است. زمین‌های زیر کشت هر کدام با فاصله‌ای از مخزن هوایی قرار دارند و دورترین زمین در فاصله‌ی ۵۰ متری از مخزن هوایی قرار دارد، پس باید محاسبات مربوط به تعیین ارتفاع مخزن هوایی براساس آن قرار داده شود. در این حالت سایر مخازن نیز بدون هیچ مشکلی تغذیه خواهند شد. هرکدام از مخازن ۵۰۰۰ لیتری در ارتفاع ۳ متری قرار دارد تا بتوانند با وجود افت‌های ناشی در انشعابات، زمین مورد نظر را آبدهی کند و ارتفاع خود مخازن ۱۴۰ سانتی متر می‌باشد. مخزن هوایی باید در ارتفاع مناسبی قرار بگیرد تا بتواند افت هد در لوله‌ها را تحمل کند و مخازن ۵۰۰۰ لیتری را تغذیه کند. قطر لوله-های خارج شده از مخزن هوایی ۲ اینچ یا ۵۰،۸ سانتی متر و جنس آن پلی‌اتیلن است که لوله‌های پلی‌اتیلن دارای زبری $\varepsilon = ۳ \times ۱۰^{-۶}$ متر می‌باشند [۱۸] و زمان پر شدن مخزن ۵۰۰۰ لیتری ۴ ساعت در نظر گرفته شده است که براساس رابطه (۱) دبی حجمی ۱۲۵۰ لیتر بر ساعت و با درنظر گرفتن قطر لوله، سرعت آب در لوله ها ۰،۱۷ متر بر ثانیه بدست خواهد آمد. برای یافتن ضریب اصطکاک در لوله نیاز به محاسبه عدد رینولدز در لوله است [۱۷].

$$R_e = \frac{\rho v D}{\mu} \qquad (۲)$$

عدد رینولدز بر اساس شرایط آب با دمای ۲۵ °C که دارای مشخصات چگالی $۹۹۷\ {kg}/{m^۳}$ و ویسکوزیته دینامیکی $۰،۸۹۱ \times ۱۰^{-۳}\ {kg}/{m.s}$ است [۱۷]، ۹۶۶۳،۴ خواهد بود؛ که براساس عدد رینولدز بدست آمده رژیم سیال داخل لوله‌ها مغشوش بوده و برای بدست آوردن ضریب اصطکاک باید از روابط مناسب با جریان مغشوش استفاده شود. برای یافتن ضریب اصطکاک براساس رژیم جریان مغشوش از رابطه هالند استفاده شده است[۱۷].

$$\frac{۱}{\sqrt{f}} = -۱،۸ \log\left(\frac{۶،۹}{R_e} + \left(\frac{\varepsilon/D}{۳،۷}\right)^{۱،۱۱}\right) \qquad (۳)$$

ضریب اصطکاک بدست آمده از رابطه (۳) ۰،۴۲ است. سیستم لوله کشی طراحی شده برای پر کردن مخزن ۵۰۰۰ لیتری دارای دو زانویی فلنج شده می‌باشد که ضریب اتلاف هر کدام از آنها ۰،۳ می‌باشد پس ضریب اتلاف کلی $K_L = ۰،۶$ خواهد بود [۱۷].

اکنون با نوشتن رابطه برنولی برای دو مخزن می‌توان ارتفاع مخزن هوایی را بدست آورد [۱۷].

$$\frac{P_{h۱}}{\rho.g} + \alpha_۱ \frac{v_۱^۲}{۲g} + Z_۱ + h_L + h_{pump.u} = \frac{P_{h۲}}{\rho.g} + \alpha_۲ \frac{v_۲^۲}{۲g} + Z_۲ + h_L + h_{turbin.e} \qquad (۴)$$

اعداد زیرنویس ۱ و ۲ به ترتیب نشان دهنده‌ی ورودی لوله در مخزن هوایی و خروجی لوله در مخزن ۵۰۰۰ لیتری می‌باشد. در نقاط ۱ و ۲ به ترتیب فشارها به علت برابر بودن با فشار انمسفر با یکدیگر برابرند، سیال در ورودی و خروجی لوله سرعتی ندارد همچنین در ابتدا و انتهای لوله هیچگونه وسیله‌ی موتوری مانند پمپ و توربین وجود ندارد که هدی تولید کند پس آنها نیز از رابطه حذف می‌شوند. رابطه برنولی پس از اصلاح بدین صورت نوشته خواهد شد [۱۷].

$$Z_۱ = Z_۲ + h_L \qquad (۵)$$

($Z_۱$) ارتفاع لوله مخزن هوایی، ($Z_۲$) ارتفاع لوله مخزن ۵۰۰۰ لیتری و h_L نشان دهنده افت هد در داخل لوله‌ها می‌باشد. ابتدا با نوشتن رابطه افت هد این متغیر بدت خواهد آمد [۱۷].

$$h_L = (f \times \frac{L}{D} + K_L) \times \frac{V^۲}{۲g} \qquad (۶)$$

مجموع طول لوله‌های بکار رفته ۵۴،۴ متر است، پس افت هد در لوله‌ها مقدار ۰،۶۶ متر بدست خواهد آمد که با جمع کردن این مقدار با طول لوله‌های عمودی در کنار مخزن ۵۰۰۰ لیتری عدد ۵،۰۶ متر بدست می‌آید که نشان دهنده‌ی طول لوله عمودی که از مخزن هوایی خارج می شود است.

البته باید توجه کرد که لوله از کف مخزن هوایی خارج می‌شود و نه از اطراف یا بالای آن، پس عدد ۵،۰۶ متر بدست آمده تنها نشان دهنده طول لوله عمودی مخزن هوایی می‌باشد. عمق چاه مورد استفاده ۳۲ متر و ارتفاع مخزن هوایی ۵،۰۶ متر می باشد که مجموعا ارتفاع عمودی ۳۷،۰۶ متر خواهد بود. مخزن هوایی در ۵ ساعت پر می‌شود پس با استفاده از رابطه (۱) دبی حجمی مورد نیاز ۵ متر مکعب بر ساعت است. با در نظر گرفتن یک ضریب مهندسی مثلا ۱،۵ متر و جمع آن با ارتفاع عمودی، بیشینه ارتفاع عمودی پمپاژ ۴۰ متر و همچنین با توجه به دبی حجمی مورد نیاز، پمپ قابل استفاده دارای توان نامی ۱۰۰۰ وات و ولتاژ آن ۱۱۰ ولت است که در مدت ۵ ساعت مخزن هوایی را پر می‌کند پس انرژی روزانه مورد نیاز پمپ ۵۰۰۰ وات ساعت یا($۵\ {KW.hr}/{m^۲.day}$) خواهد بود.

۴-طراحی سامانه فتوولتائیک برای تامین برق پمپ آب کشاورزی

برای محاسبه توان نامی قابل تامین پمپ باید انرژی مورد تقاضا را بر اوج ساعت خورشید در هر ماه تقسیم کرده و سپس میانگین سالانه را به عنوان انرژی مورد تقاضای پمپ که باید توسط سامانه فتوولتائیک تامین شود در نظر گرفته می‌شود [۸].

همانطور که نور خورشید به پنل‌ها می رسد مهم است، یک تعریف دقیق تر از آن که پنل‌ها چه مقدار انرژی می‌توانند تولید کنند براساس اوج ساعت خورشید می‌باشد. در ابتدا باید توجه داشت که اوج ساعت خورشید برابر با ساعات تابش نور خورشید نمی‌باشد، اوج ساعت خورشید مطلقا به میزان انرژی خورشیدی موجود در یک محیط مشخص، در طول یک روز معمولی گفته می-شود. اوج ساعت خورشید به معنای آن است که چند ساعت در طول روز به یک فضای مشخص به مساحت ۱ متر مربع خورشیدی خواهد تابید که انرژی معادل ۱۰۰۰ وات تولید کند [۸]. میزان تابش خورشید در طول یک روز بستگی به متغیر های مختلفی مانند: موقعیت مکانی خورشید در آسمان، وضعیت ابرها و سایر شرایط جوی و آب و هوایی دارد.

اکنون باید انرژی مورد تقاضا در هر ماه را براساس اوج ساعت خورشید آن

ماه محاسبه و میانگین سالانه آن را به عنوان انرژی مورد تقاضا پمپ خورشیدی که توسط سامانه فتوولتائیک تامین شود در نظر گرفت. جدول (۱) نشان دهنده‌ی اوج ساعت خورشید در هر ماه سال بر حسب ($^{KW.hr}/_{m^2.day}$) می باشد.

جدول۱ اوج ساعت خورشید در ماه‌های مختلف در طول یکسال در شهر اراک و حومه [۲۰]

ماه	اوج ساعت خورشید
ژانویه	۲,۸۶
فوریه	۳,۷۰
مارس	۴,۶۳
آپریل	۵,۴۷
مئ	۶,۵۸
ژوئن	۷,۳۹
ژولای	۷,۰۳
آگوست	۶,۵۴
سپتامبر	۵,۸۳
اکتبر	۴,۲۱
نوامبر	۳,۰۹
دسامبر	۲,۴۷

حال با دانستن اوج ساعات خورشید در هر ماه می‌توان انرژی مورد تقاضا آن ماه را بدست آورد. با استفاده از رابطه (۷) انرژی مورد نیاز در هر ماه را می‌توان یافت [۸].

$$P(AC) = \frac{Energy\ Deman\ (\mathrm{KW.hr})}{Peak\ Sun\ (^{\mathrm{hr}}/_{\mathrm{day}})} \qquad (۷)$$

در جدول (۲) انرژی مورد نیاز در هر ماه بر حسب (KW) نوشته شده است.

جدول۲ انرژی مورد نیاز در ماه های مختلف با توجه به اوج ساعت خورشید آن ماه

ماه	انرژی مورد نیاز (AC)
ژانویه	۱,۷۴۸۲
فوریه	۱,۳۵۱۳
مارس	۱,۰۷۹۹
آپریل	۰,۹۱۴۰
مئ	۰,۷۵۹۸
ژوئن	۰,۶۷۶۵
ژولای	۰,۷۱۱۲
آگوست	۰,۷۶۴۵
سپتامبر	۰,۸۵۷۶
اکتبر	۱,۱۸۷۶
نوامبر	۱,۶۱۸۱
دسامبر	۲,۰۲۴۳

میانگین انرژی سالانه مورد تقاضا براساس، انرژی مورد تقاضا در هر ماه که در جدول (۳) آورده شده برابر با ۱,۱۴۱۱ کیلووات است. باید توجه داشت که پمپ خورشیدی با جریان (AC) کار می‌کند و میانگین انرژی سالانه مورد نیاز هم براساس این مهم بدست آمده است؛ اما پنل‌های فتوولتائیک همگی براساس جریان (DC) تولید انرژی می‌کنند که نوع جریان این انرژی باید توسط مبدل تغییر یابد تا بتواند توسط پمپ خورشیدی مصرف شود [۱۰].

همیشه تبدیل جریان از (DC) به (AC) توسط مبدل با هدر رفت انرژی همراه است هرچه میزان راندمان تبدیل مبدل مورد استفاده بالاتر باشد این هدر رفت انرژی کمتر خواهد بود، مبدل مورد استفاده در این سامانه فتوولتائیک دارای راندمان ۹۸٪ می باشد همچنین راندمان کابل‌های مورداستفاده برای پنل‌های فتوولتائیک دارای راندمان ۹۵٪ است که با تقسیم کردن انرژی سالانه مورد تقاضا بر راندمان مبدل و کابل می توان انرژی که توسط مجموع پنل‌ها در جریان (DC) باید تولید شود را یافت [۸]. انرژی مورد عرضه یا همان انرژی تولید شده توسط مجموع پنل‌ها باید ۱,۲۲۵۷ کیلووات باشد تا با گذر از کابل و مبدل بتواند در طول سال پمپ خورشیدی را راه اندازی کند.

سامانه فتوولتائیک دارای پنلی با مشخصات (ماکزیمم توان نامی تولیدی P: ۱۲۰ ولت، ماکزیمم شدت جریان I_{max}: ۷,۱۱ آمپر، ماکزیمم ولتاژ تولیدی V_{max}: ۱۷ ولت در شرایط استاندارد آزمایش شده، شدت جریان مدار کوتاه I_{sc}: ۷,۵۴ آمپر، ولتاژ مدار باز V_{oc}: ۲۱ ولت، ماکزیمم ولتاژ سیستم (DC): ۱۰۰۰ ولت، ضریب دمایی ۰,۳۷ $-\gamma$ $^{\%}/_{^{\circ}C}$) در شرایط استاندارد ۲۵°C است که دارای ابعاد ۱۴۷۸ × ۶۷۵ میلی‌متر مربع و سلول‌هایی ساخته شده از پلی‌کریستالین سیلیکون دارد. توان نامی تولیدی توسط پنل در شرایط استاندارد آزمایش شده توسط سازنده ۱۲۰ ولت می‌باشد اما این پنل هیچگاه نمی‌تواند چنین توانی را به علت وجود ضرایبی مانند: ضریب دما و ضریب جوی تولید کند پس باید توان نامی تولیدی پنل را پس از اعمال این ضرایب در نظر گرفت و سامانه فتوولتائیک را براساس آن طراحی نمود.

برای اعمال تاثیر شرایط جوی مانند گرد و غبار، آلودگی هوا و میزان ابری بودن هوا در فصول مختلف می‌توان از یک ضریب مشترک استفاده نمود. برای شرایط جوی معمولا ضریبی بین ۴۰٪ تا ۴۵٪ انتخاب می شود [۱۴،۱۹]، که بر پنل مورد استفاده در این سامانه براساس شرایط جوی و جغرافیایی شهر اراک و حومه آن ضریب جوی ۴۵٪ اعمال شده است. با اعمال ضریب جوی ۴۵٪ بر پنل، توان نامی تولیدی آن ۵۴ وات بدست می‌آید. حال باید ضریب دمایی در هر فصل بر پنل اعمال شود، برای این کار باید ابتدا از رابطه خطای اثر دما، دمای موثر سلول براساس درجه سیلیسیوس در هر ماه را یافت و میانگین آن را برای ضریب دمای آن فصل استفاده کرد [۸].

$$T_{cell,eff} = T_{avg,month} + ۲۵^{\circ}C \qquad (۸)$$

براساس رابطه (۸) دمای موثر سلول در هر ماه برای فصل بهار، در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول۳ دمای موثر سلول در فصل بهار براساس میانگین دمای هر ماه

ماه	بیشترین دما (°C)	کمترین دما (°C)	میانگین دما (°C)	$T_{cell.eff}$ (°C)
مارس	۱۳,۵	۲	۷,۷۵	۳۲,۷۵
آپریل	۱۹,۶	۷	۱۳,۳	۳۸,۳
مئ	۲۵,۶	۱۱	۱۸,۳	۴۳,۳

که دمای موثر میانگین در فصل بهار ۳۸,۱۱°C خواهد بود که با استفاده از رابطه (۹) می‌توان ضریب دمایی در فصل بهار را محاسبه نمود [۸].

$$f_{temp} = ۱ - (\gamma \times (T_{cell.eff} - T_{stc})) \qquad (۹)$$

با داشتن دمای موثر میانگین سلول در فصل بهار ۳۸,۱۱°C و دمای

استاندارد شرایط آزمایش ۲۵°C و ضریب دمایی پنل، ضریب دمایی موثر بر عملکرد سلول خورشیدی در فصل بهار ۰,۹۵۱۵ خواهد بود. ضریب دمایی پنل بدین معنا است که به هر میزان دما از دمای شرایط استاندارد آزمایش بیشتر شود به مقدار ۰,۳۷ درصد کارایی پنل کاهش خواهد یافت.

در جدول (۴)، (۵)، (۶) نیز با استفاده از رابطه (۸) دمای موثر سلول برای ماه های فصول تابستان، پاییز و زمستان محاسبه شده است.

جدول۴ دمای موثر سلول در فصل تابستان برحسب میانگین دمای هر ماه

ماه	بیشترین دما (°C)	کمترین دما (°C)	میانگین دما (°C)	$T_{cell,eff}$ (°C)
ژوئن	۳۲,۵	۱۵,۳	۲۳,۹	۴۸,۹
ژولای	۳۵,۸	۱۸,۸	۲۷,۳	۵۲,۳
آگوست	۳۴,۹	۱۷,۵	۲۶,۲	۵۱,۲

جدول۵ دمای موثر سلول در فصل پاییز بر حسب میانگین دمای هر ماه

ماه	بیشترین دما (°C)	کمترین دما (°C)	میانگین دما (°C)	$T_{cell,eff}$ (°C)
سپتامبر	۳۰,۸	۱۳	۲۱,۹	۴۶,۹
اکتبر	۲۳,۱	۷,۸	۱۵,۴۵	۴۰,۴۵
نوامبر	۱۴,۸	۲,۶	۸,۷	۳۳,۷

جدول۶ دمای موثر سلول در فصل زمستان برحسب میانگین دمای هر ماه

ماه	بیشترین دما (°C)	کمترین دما (°C)	میانگین دما (°C)	$T_{cell,eff}$ (°C)
دسامبر	۷,۶	-۲,۲	۲,۷	۲۷,۷
ژانویه	۴,۲	-۵,۷	-۰,۷۵	۲۴,۲۵
فوریه	۸,۶	-۳,۸	۲,۴	۲۷,۴

با استفاده از رابطه (۹) و دمای موثر میانگین سلول در فصول تابستان، پاییز و زمستان که به ترتیب ۵۰,۸°C، ۴۰,۳۵°C، ۲۶,۴۵°C است ضریب دمای فصول تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۰,۹۰۴۵، ۰,۹۴۳۲، ۰,۹۹۴۶ بدست می‌آید. اکنون با ضرب کردن توان تولیدی توسط پنل (۵۴ وات) در ضرایب دمایی برای هر فصل، می‌توان توان تولیدی توسط پنل برای هر فصل را یافت. جدول (۷) توان تولیدی در هر فصل را پس از اعمال ضریب دمایی آن فصل نشان می دهد.

جدول۷ توان تولیدی پنل در فصول مختلف سال

فصل	ضریب دمایی	توان تولیدی (W)
بهار	۰,۹۵۱۵	۵۱,۳۸۱
تابستان	۰,۹۰۴۵	۴۸,۸۴۳
پاییز	۰,۹۴۳۲	۵۰,۹۳۳
زمستان	۰,۹۹۴۶	۵۳,۷۰۸۴

با محاسبه میانگین توان تولیدی برای فصول مختلف می‌توان توان تولیدی پنل برای سال را بدست آورد و با تقسیم انرژی کل مورد عرضه یا انرژی تولیدی توسط مجموع پنل‌ها بر انرژی تولیدی هر پنل در سال، تعداد پنل‌های مورد نیاز برای تامین انرژی در سال را بدست آورد. برای تامین انرژی برق پمپ خورشیدی بطور سالیانه، باید از ۲۴ عدد پنل استفاده نمود. در صورتی که هر ۵ قطعه زمین بطور جداگانه اقدام به نصب و راه اندازی سامانه آبیاری فتوولتائیک کنند و البته با در نظر داشتن این مهم که هر کدام نیاز به چاه آب مختص به خود خواهند داشت، با تعمیم محاسبات به هر قطعه زمین، نیاز به یک پمپ ۵۰۰ وات است که بتواند دبی مورد نیاز را در ۴ ساعت به مخزن ۵۰۰۰ لیتری برای آبیاری ثقلی برساند و انرژی خالص مورد تقاضا ۱۵۰۰ وات – ساعت در روز خواهد بود که با در نظر گرفتن اوج ساعت خورشید در ماه‌های مختلف که در جدول (۱) آورده شده است و توان میانگین تولیدی هر پنل براساس جدول (۷)، هر قطعه زمین نیازمند ۱۰ پنل خورشیدی خواهد بود.

براین اساس بطور مجموع باید ۵۰ پنل خورشیدی، ۵ پمپ خورشیدی و ۵ مبدل خورشیدی خریداری شود در حالی که نصب و راه‌اندازی سامانه فتوولتائیک بصورت اشتراکی نیازمند تنها ۲۴ پنل خورشیدی و ۱ پمپ خورشیدی است.

با محاسبه‌ی تعداد پنل‌ها اکنون باید مبدل مورد نیاز برای تغییر جریان تولیدی این پنل‌ها برای مصرف توسط پمپ خورشیدی را یافت. برای این کار باید بیشترین ولتاژ تولیدی توسط مجموع پنل‌ها را برای هر فصل محاسبه نمود و مبدل را براساس بیشترین ولتاژ دریافتی ممکن از طرف مجموع پنل‌ها انتخاب کرد. با استفاده از رابطه (۱۰) بیشترین ولتاژ تولیدی برای یک پنل در هر ماه محاسبه می‌شود [۸].

$$V_{max,month} = V_{oc} - (\gamma_V \times (T_{min,month} - T_{stc})) \quad (۱۰)$$

ضریب ولتاژ (γ_V) بدین معنا است که به هر میزان دمای هر ماه از دمای شرایط استاندارد آزمایش (۲۵°C) کمتر شود، به مقدار (۰,۱۴ ولت) موجب افزایش ولتاژ پنل خواهد شد. جدول (۸) بیشترین ولتاژ برای هر ماه در فصل بهار را نشان می‌دهد.

جدول۸ بیشترین ولتاژ پنل در فصل بهار

ماه	کمترین دمای ماه (°C)	$V_{max.month}$(V)
مارس	۲	۲۴,۲۲
آپریل	۷	۲۳,۵۲
مئ	۱۱	۲۲,۹۶

همانطور که مشاهده می‌شود در فصل بهار، ماه مارس دارای بیشترین ولتاژ پنل می‌باشد. در جدول های (۹)، (۱۰) و (۱۱) به ترتیب بیشترین ولتاژ برای فصول تابستان، پاییز و زمستان محاسبه شده است.

جدول۹ بیشترین ولتاژ پنل در فصل تابستان

ماه	کمترین دمای ماه (°C)	$V_{max.month}$(V)
ژوئن	۱۵,۳	۲۲,۳۵۸
ژولای	۱۸,۸	۲۱,۸۶۸
آگوست	۱۷,۵	۲۲,۰۵

جدول۱۰ بیشترین ولتاژ پنل در فصل پاییز

ماه	کمترین دمای ماه (°C)	$V_{max.month}$(V)
سپتامبر	۱۳	۲۲,۶۸
اکتبر	۷,۸	۲۳,۴۰۸

نوامبر	۲,۶	۲۴,۱۳۶

جدول۱۱ بیشترین ولتاژ پنل در فصل زمستان

ماه	کمترین دمای ماه (°C)	$V_{max.month}$ (V)
دسامبر	-۲,۲	۲۴,۸۰۸
ژانویه	-۵,۷	۲۵,۲۹۸
فوریه	-۳,۸	۲۵,۰۳۲

طبق جداول (۹)، (۱۰) و (۱۱) بیشترین ولتاژ در فصول تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۲۲,۳۵۷ ولت، ۲۴,۱۳۶ ولت و ۲۵,۲۹۸ ولت می‌باشد که با ضرب کردن این ولتاژ پنل در تعداد پنل‌های سامانه، ولتاژ کلی سامانه محاسبه خواهد شد. جدول (۱۲) بیشترین ولتاژ سامانه برای هر فصل را نشان می دهد.

جدول۱۲ بیشترین ولتاژ سامانه در فصول مختلف

فصل	بیشترین ولتاژ سامانه (V)
بهار	۵۸۱,۲۸
تابستان	۵۶۰,۵۶۸
پاییز	۵۷۹,۲۶۴
زمستان	۶۰۷,۱۵۲

با استناد به جدول (۱۲) مبدلی باید انتخاب شود که بتواند تمام ولتاژ سامانه را در ۱ شاخه و در فصول مختلف تحمل کند. برای این شرایط باید از مبدلی با مشخصات (ماکزیمم توان موتور: ۲,۲KW/۳hp، توان فتوولتائیک ورودی توصیه شده: ۲,۷ تا ۳,۵ کیلووات، بیشترین ولتاژ ورودی (DC): ۸۵۰ ولت، بیشترین آمپر ورودی (DC): ۹ آمپر، ولتاژ نامی خروجی: ۳۸۰ ولت، محدوده ولتاژ MPPT توصیه شده: ۱۵۰ تا ۶۰۰ ولت و با قابلیت پشتیبانی از ۱ شاخه پنل‌های فتوولتائیک) است.

همچنین راه حل دیگری برای انتخاب مبدلی ضعیف تر اما به مراتب ارزان تر از مبدل ذکر شده وجود دارد و آن هم تقسیم سامانه پنل‌های فتوولتائیک به ۲ شاخه به جای ۱ شاخه است. با انجام این کار بیشترین ولتاژ کلی سامانه در فصول مختلف نصف خواهد شد و به بیشترین ولتاژ هر شاخه تبدیل می‌شود که در جدول (۱۳) بیشترین ولتاژ هر شاخه از سامانه پنل‌های فتوولتائیک آورده شده است. با تقسیم سامانه پنل‌ها از ۱ شاخه به ۲ شاخه تعداد پنل‌ها از ۲۴ عدد در ۱ شاخه به ۱۲ عدد در هر شاخه تغییر می کند.

جدول۱۳ بیشترین ولتاژ هر شاخه سامانه در فصول مختلف

فصل	بیشترین ولتاژ ۱ شاخه سامانه (V)
بهار	۲۹۰,۶۴
تابستان	۲۶۷,۰۸۴
پاییز	۲۸۹,۶۳۲
زمستان	۳۰۳,۵۷۶

با استناد به جدول (۱۳) مبدل مورد استفاده برای هر شاخه که توانایی تحمل ولتاژ شاخه مربوط به خود را داشته باشد، مبدل با مشخصات (ماکزیمم توان موتور:۱,۱KW/۱,۵hp، توان فتوولتائیک ورودی توصیه شده: ۱,۳ تا ۱,۸ کیلووات، بیشترین ولتاژ ورودی (DC): ۴۵۰ ولت، بیشترین آمپر ورودی (DC): ۹ آمپر، ولتاژ نامی خروجی: ۳۸۰ ولت، ولتاژ MPPT توصیه شده: ۱۰۰ تا ۴۰۰ ولت و با قابلیت پشتیبانی تنها از ۱ شاخه پنل فتوولتائیک) می‌باشد. تقسیم ۱ شاخه پنل ۲۴ تایی به ۲ شاخه پنل ۱۲ تایی و استفاده از مبدل ضعیف تر برای هر شاخه روشی منطقی‌تر و اقتصادی‌تر می‌باشد همچنین باعث کاهش استفاده از فضای طولی محیط شده و امکان توسعه سامانه در جهت عرضی را نیز فراهم می‌آورد.

در آخرین مرحله از طراحی سامانه باید زاویه شیب پنل‌ها را در طول فصول مختلف سال تنظیم نمود تا بتوان بیشترین بازده را از سامانه داشت و کلکتورها بیشترین نور خورشید را جذب کنند. برای این کار با استفاده از رابطه (۱۱) زاویه میل خورشید در ماه‌های مختلف بدست می آید [۸-۲۱].

$$\delta = ۲۳,٤٥\ sin(\frac{۳٦۰(۲۸٤ + n)}{۳٦٥}) \qquad (۱۱)$$

برای بدست آوردن زاویه میل باید از عدد مربوط به هر ماه (n) استفاده نمود که در جدول (۱۴) اعداد مربوط به هر ماه آورده شده است.

جدول۱۴ شماره روز متوسط هر ماه از ابتدای سال میلادی [۸,۲۱]

ماه	شماره روز متوسط
ژانویه	۱۷
فوریه	۴۷
مارس	۷۵
آپریل	۱۰۵
مئ	۱۳۵
ژوئن	۱۶۲
ژولای	۱۹۸
آگوست	۲۲۸
سپتامبر	۲۵۸
اکتبر	۲۸۸
نوامبر	۳۱۸
دسامبر	۳۴۴

پس از محاسبه زاویه میل خورشید براساس عدد هر ماه، با استفاده از رابطه (۱۲) زاویه شیب پنل محاسبه خواهد شد [۸].

$$\beta = \varphi - \delta \qquad (۱۲)$$

در رابطه (۱۲)، (φ) نشان دهنده عرض جغرافیایی برای منطقه مورد نظر (شهر اراک و حومه) می‌باشد. عرض جغرافیایی شهر اراک (۳۵,۰۲۳۶ درجه شمالی) است. جداول (۱۵)، (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) زاویه شیب پنل برای فصول مختلف سال با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) برای جذب حداکثری نور خورشید در منطقه جغرافیایی محل نصب سامانه آورده شده است.

جدول۱۵ زاویه شیب پنل در فصل بهار

ماه	شماره روز متوسط (n)	زاویه شیب پنل (β) (درجه)
مارس	۷۵	۳۷,۴۴
آپریل	۱۰۵	۲۵,۶
مئ	۱۳۵	۱۶,۲۲

جدول۱۶ زاویه شیب پنل در فصل تابستان

ماه	شماره روز متوسط (n)	زاویه شیب پنل (β) (درجه)
ژوئن	۱۶۲	۱۲
ژولای	۱۹۸	۱۴
آگوست	۲۲۸	۲۱,۶

جدول۱۷ زاویه شیب پنل در فصل پاییز

ماه	شماره روز متوسط (n)	زاویه شیب پنل (β) (درجه)
سپتامبر	۲۵۸	۳۳
اکتبر	۲۸۸	۴۴,۶
نوامبر	۳۱۸	۵۴

جدول۱۸ زاویه شیب پنل در فصل زمستان

ماه	شماره روز متوسط (n)	زاویه شیب پنل (β) (درجه)
دسامبر	۳۴۴	۵۸
ژانویه	۱۷	۵۶
فوریه	۴۷	۴۸

۵- هزینه اجزا سامانه و برآورد کلی هزینه سرمایه‌گذاری اولیه

در جدول (۱۹) قیمت تمامی اجزا سیستم، شامل سامانه آبرسانی به مخازن و تغذیه زمین زراعی و سامانه فتوولتائیک برای تامین برق پمپ خورشیدی آورده شده است.

جدول۱۹ قیمت اجزا سامانه آبیاری و خورشیدی

نام قطعه	قیمت (ریال)
مخزن ۵۰۰۰ لیتری (۳ لایه عمودی کوتاه)	۲۴,۸۲۰,۰۰۰-۲۸,۳۸۰,۰۰۰
لوله پلی اتیلن ۲ اینچ ۲۰ بار EP100 ضخامت ۲,۳	۶۸,۱۳۴ بر هر متر
لوله پلی اتیلن ۱,۲ اینچ ۲۰ بار EP63 ضخامت ۳,۴	۱۰,۳۹۵ بر هر متر
زانویی پلی اتیلن ۲ اینچ	۶۰,۰۰۰
زانویی پلی اتیلن ۱,۲۵ اینچ	۲۲,۷۰۰
پمپ خورشیدی ۱۰۰۰ وات توان	۳,۹۰۰,۰۰۰
پنل فتوولتائیک ۱۲۰ وات توان	۸,۰۰۰,۰۰۰
استراکچر نگهدارنده پنل فتوولتائیک	۷,۰۰۰,۰۰۰-۱۰,۰۰۰,۰۰۰ به ازای هر کیلووات تولیدی پانل
کابل خورشیدی نمره ۶	۳۷,۰۰۰ بر هر متر
کابل خورشیدی نمره ۴	۲۷,۰۰۰ بر هر متر
اینورتر پمپ خورشیدی برای پمپ با توان ۱,۱ کیلووات	۴۸,۰۰۰,۰۰۰
اینورتر پمپ خورشیدی برای پمپ با توان ۲,۲ کیلووات	۵۳,۰۰۰,۰۰۰
منبع هوایی ۲۵۰۰۰ لیتری فلزی	۴,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰

با توجه به جدول (۱۹) هزینه اولیه سرمایه گذاری با نوجه به متغییر بودن قیمت‌ها و انتخاب قطعات مختلف بین ۳۸۵,۰۰۰,۰۰۰ ریال تا ۴۴۶,۰۰۰,۰۰۰ ریال می‌باشد. البته هزینه منبع هوایی به علت گران بودن محاسبه نشده است و با توجه به خواست سرمایه گذار می‌تواند خریداری شود.

۵-۱- مقایسه هزینه طراحی ارائه شده با طراحی معمول استفاده شده برای یک باغ

همانطور که در بخش (۴) ذکر شد برای راه‌اندازی سامانه آبیاری خورشیدی بصورت اشتراکی بین ۵ باغ نیاز به ۲۴ پانل خورشیدی از جنس پلی‌کریستالین سیلیکون، یک عدد پمپ کف‌کش با توان ۱۰۰۰ وات و دو عدد مبدل با ولتاژ ورودی ۴۵۰ ولت نیاز است. برآورد هزینه برای نصب و راه‌اندازی سامانه آبیاری فتوولتائیک بصورت اشتراکی که در بخش (۵) آورده شده است، با احتساب هزینه خرید و نصب مخازن و سامانه لوله‌کشی برای آبدهی، چیزی در حدود ۲۵۷ الی ۳۰۰ میلیون ریال می‌باشد. در صورتی که هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بین ۵ سرمایه‌گذار هر باغ بصورت مساوی تقسیم شود، هر فرد تنها ملزم به پرداخت هزینه‌ای بین ۵۱ الی ۶۰ میلیون ریال خواهد بود.

اگر هر فرد سرمایه‌گذار اقدام به نصب و راه‌اندازی سامانه فتوولتائیک بطور جداگانه کند، با توجه به بخش (۴) نیاز به تهیه ۱۰ پانل فتوولتائیک از جنس پلی‌کریستالین سیلیکون، یک پمپ کف‌کش ۵۰۰ وات و یک عدد مبدل با ولتاژ ورودی ۴۵۰ ولت دارند. البته باید به این مهم نیز توجه کرد که علاوه بر هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای سامانه فتوولتائیک، هر سرمایه‌گذار نیاز به تهیه هزینه راه‌اندازی سامانه آبدهی شامل مخزن و سامانه لوله‌کشی، همچنین هزینه احداث چاه مختص به باغ خود را نیز دارد. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای سامانه فتوولتائیک بطور جداگانه با احتساب کردن هزینه سامانه آبدهی و حفر چاه چیزی در حدود ۱۸۳ میلیون ریال برای هر سرمایه‌گذار خواهد بود. با قیاسی ساده بین هزینه سرمایه‌گذاری سامانه فتوولتائیک بطور اشتراکی و جداگانه برای هر سرمایه‌گذار می توان متوجه برتری نصب و راه‌اندازی سامانه فتوولتائیک بین تعدادی باغ یا زمین زراعی بطور اشتراکی شد.

۶- نتیجه گیری

محاسبات و طراحی‌های انجام شده نشان می‌دهند که برای آبیاری ۵ قطعه زمین هر کدام به وسعت ۲ هکتار به روش آبیاری ثقلی نیاز به مخازن ۵۰۰۰ لیتری برای هر قطعه زمین است که هرکدام از این مخازن خود توسط یک منبع هوایی ۲۵۰۰۰ لیتری پر می‌شوند و برای پرکردن این منبع هوایی به یک پمپ خورشیدی با توان ۱۰۰۰ وات نیاز است که انرژی برق این پمپ توسط ۲۴ پنل فتوولتائیک با توان ۱۲۰ وات و سلول‌هایی از جنس پلی‌کریستالین سیلیکون تامین می‌شود. همچنین محاسبات نشان دادند که با تقسیم پنل‌ها به ۲ شاخه ۱۲ تایی باید از ۲ مبدل با ولتاژ پایین استفاده کرد که خود موجب کاهش اشغال فضای طولی و توسعه سامانه در فضای عرضی می‌شود. با توجه به هزینه اجزا مختلف سامانه آبیاری و سامانه فتوولتائیک، هزینه نصب و راه اندازی ۱,۲۲۵۷

کیلووات سلول‌های فتوولتائیک برای تامین انرژی برق پمپ خورشیدی زمین‌ها بصورت اشتراکی بین ۳۸۵ میلیون ریال الی ۴۴۶ میلیون ریال خواهد بود که با احتساب هزینه‌های متفرقه احداث منبع ذخیره آب، لوله و غیره این هزینه‌ها به ۲۵۷ الی ۳۰۰ میلیون ریال نزدیک خواهد شد همچنین با تقسیم مساوی هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بین ۵ سرمایه‌گذار هر فرد تنها نیاز به پرداخت ۵۱ الی ۶۰ میلیون ریال خواهد بود. حال آن که هزینه نصب سامانه آبیاری فتوولتائیک بطورجداگانه برای هر قطعه زمین در حدود ۱۸۳ میلیون ریال خواهد شد که بطور مجموع برای تمامی زمین‌ها هزینه سرمایه گذاری ۹۱۵ میلیون ریال بصورت غیر اشتراکی است. نصب و راه‌اندازی سامانه فتوولتائیک بصورت اشتراکی بین تعدادی زمین زراعی قطعا در مقایسه با هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری برای هر قطعه زمین و احداث خط برق و نصب ترانس و نیز هزینه‌های جاری تامین انرژی الکتریکی و نگهداری تاسیسات شبکه و یا خرید دیزل ژنراتورها و خرید سوخت و ... در موارد زیادی اقتصادی‌تر بوده و برای بسیاری از چاه‌ها استفاده از این منبع لایزال انرژی منطقی تر بنظر می‌رسد ضمن اینکه هزینه‌های جاری و هزینه تولید در این سامانه به صفر نزدیک می‌شود.

بدیهی است که پایان پذیری منابع فسیلی انرژی و ضرورت افزایش ارزش این منابع و تبدیل آن به مواد با ارزش افزوده بالا و بسیاری از عوامل دیگر ضرورت استفاده از این منابع انرژی در تامین برق مورد نیاز بخش‌های کشاورزی، خانگی و صنعتی و بالاخص در مواردی که نیازها فصلی بوده و بیشتر به فصل‌های آفتابی سال محدود می‌شود، محرز می‌نماید.

۷-فهرست علائم

V	حجم (m^3)
Q	دبی حجم (m^3/s)
t	زمان (S)
R_e	عدد رینولدز
v	سرعت (m/s)
D	قطر لوله (m)
f	ضریب اصطکاک
P_h	فشار هیدرواستاتیکی (p_a)
g	شتاب گرانش زمین (m/s^2)
Z	ارتفاع (m)
h_L	افت هد در لوله (m)
K_L	ضریب اتلاف در سامانه لوله کشی
$h_{pump,u}$	هد تولیدی بوسیله پمپ (m)
$h_{turbine,e}$	هد تولیدی بوسیله توربین (m)
P	توان (W)
I_{max}	شدت جریان بیشینه (A)
V_{max}	ولتاژ بیشینه (V)
I_{SC}	شدن جریان مدار کوتاه (A)
V_{OC}	ولتاژ مدار باز (V)
$T_{cell.eff}$	دمای موثر بر سلول (℃)
$T_{avg.month}$	دمای میانگین در ماه (℃)
f_{temp}	ضریب دمایی موثر بر عملکرد سلول خور شیدی
$V_{max.month}$	ولتاژ بیشینه سلول خورشیدی در ماه (V)
n	شماره روز متوسط هر ماه از ابتدای سال میلادی

علائم یونانی

Δ	تغییرات
ρ	چگالی (kg/m^3)
μ	ویسکوزیته دینامیکی (kg/ms)
ε	زبری (m)
α	ضریب اصلاح سرعت
γ	ضریب دمایی سلول خورشیدی (%/℃)
γ_v	ضریب ولتاژ سلول خورشیدی (%/ ℃)
δ	زاویه میل خورشید (درجه)
β	زاویه شیب صفحه خورشیدی (درجه)
ϕ	عرض جغرافیایی (درجه)

زیرنویس‌ها

h	هیدرواستاتیک
L	افت، اتلاف
pump,u	تولید شده بوسیله پمپ
turbine,e	مصرف شده بوسیله توربین
max	بیشینه
SC	مدار کوتاه
OC	مدار باز
cell.eff	موثر بر سلول
avg.month	میانگین در ماه
temp	دما
max.month	بیشینه در ماه

منابع و مراجع

[۱] Boroumand Jazi G., Rismanchi B., Saider R, Technical Characteristic analysis of Wind energy Conversion system for sustainable development, *Energy Conversion and Management*, Vol. 69, pp.87-۹۴.

[۲] س. شفیعی نژاد، ل. ابراهیمی قوام آبادی، ث. طهماسبی، انرژی خورشیدی در ایران، مشکلات و فرصت‌ها، *اولین همایش و نمایشگاه تخصصی محیط زیست، انرژی و صنعت پاک*، تهران،۱۱ و ۱۲ آذر ۱۳۹۲.

[۳] Belessiotis V., Delyannis E., Water shortage and renewable energies (RE) desalination – possible technological applications, *presented at the European Conference on Desalination and Environment*, May ۲۰۰۱.

[۴] FAO Manua,. *Localised Irrigation.No.36 Irrigation and Drainage*. Rome: FAO, 1984.

[۵]م. کاویانی، تنگناهای انرژی و ارزیابی پتانسیل انرژی خورشیدی در ایران، *مجله علمی پژوهشی دانشکده ادبیات و علوم انسانی، ویژه نامه تاریخ، جغرافیا و علوم اجتماعی، شماره ۳۰ و ۳۱*.

[۶] Mirunalini T., Iniyan S., Goic R., A review of Solar thermal technologies, *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, pp.312-322, 2010.

[۷] William Harlcrow, UNDP/Project GLO/80/003 Main Report, *Small scale Solar Powered Pumping System: the technology, its economics and advancements*, Intermediate Technology Power Ltd, UK, 1983.

[۸] Duffie J. A., Beckman W. A., *Solar Engineering of Thermal Processes,* John Wiley&Son, New York, 2006.

[۹] م. جمالزاده، بررسی تکنولوژی ساخت سلول های خورشیدی در ایران، شرکت تولیدی فیبر نوری، *مجموعه مقالات اولین سمینار نیروگاه‌های خورشیدی*، مهر ۱۳۷۲.

[۱۰]ن. تقی زادگان کلانتری، ن. رجبی، ارائه روش جدید کلیدزنی برای مبدل های DC/AC سلول های خورشیدی، *اولین همایش سراسری محیط زیست، انرژی و پدافند زیستی*، تهران، موسسه‌ی آموزشی عالی مهر اروند، گروه ترویجی دوستداران محیط زیست، ۱۰ دی ۱۳۹۲.

[۱۱] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, *Power Electronics, Converters, applications and design*, 3rd edition, USA ISBNO-471-22632-2, pp.61-62, 2003.

[۱۲] P. H. Baker and L. H. Bannister, *Electronic Power Converter*, U.S. patent 3767643, Feb, 1975.

[۱۳] P. W. Wheeler, L. Empringham, et al., Improved Output Waveform Quality fir Multi level H-Bridge Chain Converters Using Unequal Cell Voltag, *IEE Power Electronics and Variable Speed Drives Conference*, pp.536-540, 2000.

[۱٤] م. خمسه، پ. السادات عالی، م. رجائی، طراحی و آزمایش پمپ های فتوولتائیک برای سیستم آبیاری قطره‌ای، *مجموعه مقالات دومین همایش ملی انرژی باد و خورشید*، تهران، سوم اسفند ۱۳۹۲.

[۱۵] Singh AK, Pande PC, Development of Solar Photovoltaic-based drip system, *In Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference*, pp.8-308, 1996.

[۱۶] Pande PC, Development of Photovoltaic System for arid zone of India, *In: Sayigh AAM, Energy and the Environmental into the 1990s, Proceedings of the First World Renewable Energy Congress*, VOL.1, Oxford: Program Press, pp.8-314, 1990.

[۱۷] Cengel, Yunus. A, Cimbala, John. M, *Fluid Mechanics: fundamentals and applications*, 2nd edition, 2010.

[۱۸] http://www.engineeringtoolbox.com/pe-pipe-pressure-loss-d_619.html (last visited on 2018-12-21).

[۱۹] Pande PC, Effect of dust on the Performance of PV Panels, *In: Dass BK, Singh SN, editors. Proceedings of the Sixth PVSEC International Conference on Photovoltaic Science and Engineering Conference*, New Delhi. New Delhi: Oxford and IBH Publishing Co. Ltd, pp.42-۵۳۹, ۱۹۹۲.

[۲۰] http://www.solarelecterisityhandbook.com/solar-irradiance.html (last visited on 2018-12-21).

[۲۱] ح. خراسانی زاده، س. م. مسجی، تعیین زاویه شیب بهینه ماهیانه، فصلی، شش ماه و سالانه کلکتورهای خورشیدی، *نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی*، سال سوم شماره چهارم، صفحه ۳۸-۴۹، زمستان ۱۳۹۲.