یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

طراحی سامانه خورشیدی منفصل از شبکه برای تأمین توان دستگاه کشت هیدروپونیک دوار در اقلیم شهرستان کرج

نویسندگان: سید ایمان ساعدی[1*] ،حسین میرازیی مقدم[1] ،محمدهادی موحدنژاد[1]، رضا علیمردانی[2]، حسین موسی زاده[3]

[1]استادیاران مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود؛
[2]استاد مکانیک بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران؛
[3]دانشیار مکانیک بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران؛

چکیده

انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر، پاک و عاری از آلاینده‌های زیست محیطی همواره مورد توجه بوده‌است. به منظور تامین انرژی دستگاه کشت هیدروپونیک دوار، سامانه خورشیدی منفصل از شبکه طراحی گردید که مشتمل بر دو پنل فتوولتائیک تک بلورین ۳۰۰ W بود. به منظور تغییر زاویه جهت‌گیری پنل‌ها و تدارک بهترین بازده دریافت تابش خورشیدی در طول سال، مکانیزمی برای تغییر دستی آن ایجاد گردید. برای ذخیرهٔ انرژی خورشیدی از چهار باتری ۱۲V–۱۰۰Ah از نوع سرب اسیدی سیلد که به‌صورت سری به هم متصل شده‌اند استفاده شد. میزان توان مورد نیاز سامانه در هر شبانه روز ۴۶۰۰ Wh برآورد شد. بر اساس محاسبات انجام شده، میزان ظرفیت باتری برای پوشش ۹۹٪ سال و ۱۵ روز ذخیره، به میزان ۲۱۷۹٫۲۵ Ah بدست آمد که نیازمند ۱۱۱ رشته موازی آرایه فتوولتائیک بود. با توجه به اینکه باتری های تهیه شده با لحاظ کردن بازده تنها قادر به تأمین ۷۷٫۶ Ah بودند، تعداد ۵ رشته موازی برای آن مورد نیاز بود. در این شرایط حدود ۳۱۰۴٫۵ Wh/day معادل ۶۸٪ توان مورد نیاز توسط سامانه خورشیدی برای کم تابش ترین ماه سال کرج (دسامبر) تأمین می شد. بر اساس نمودار انرژی تحویلی سامانه خورشیدی در طول سال، به غیر از ماه دسامبر و ژانویه، در تمامی ماه‌ها این سامانه قادر بود بیشتر از میزان مورد نیاز، توان تأمین نماید.

کلمات کلیدی: دستگاه کشت هیدروپونیک دوار؛ پنل فتوولتائیک؛ سامانه خورشیدی منفصل از شبکه.

Designing an Off-grid Solar System to Supply Power for a Rotary Cropping System in Karaj Climate

Seyed Iman Saedi[1*], Hossein Mirzaee Moghaddam[1], Mohamad Hadi Movahednejad[1], Reza Alimardani[2], Hossein Mousazadeh[3]

[1]Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology;
[2]Professor, University College of agriculture and natural resources, Tehran University;
[3]Associate Professor, University College of agriculture and natural resources, Tehran University;

ABSTRACT

Solar energy is a renewable, clean source of energy that has been the focus of attention. An off-grid solar system was designed to provide power for a rotary cropping system. Two 300-W photovoltaic panels (PVs) were used to extract solar power. An embedded manual mechanism was designed to change the orientation angle of the panels for better solar energy extraction throughout the year. For the storage of solar energy, four 12V-100 Ah lead acid batteries were used in series. The cropping system total daily energy requirement was about 4600 Wh. The nominal battery capacity for serving the system in 99% of year with 15 support days was theoretically calculated as 2179.25 Ah with 111 parallel PV arrays, whereas the applied batteries (100 Ah in series) could provide 77.6 Ah, considering efficiencies. This would need 5 parallel PV arrays which was able to provide 3104.5 Wh/day (68%) for the design month in Karaj (December). Based on the energy supply vs. energy requirements of the system throughout the year, the purchased solar system was capable of supplying energy more than needed, except for December and January.

Keywords: Rotary Cropping Apparatus; Photovoltaic Panel; Solar Off-grid System.

[*] سید ایمان ساعدی- آدرس: دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده کشاورزی، Email: isaedi@shahroodut.ac.ir، تلفن: ۰۲۳-۳۲۵۴۴۰۲۱ ، نمابر ۰۲۳-۳۲۵۴۴۰۲۰

۱- مقدمه

کاهش منابع انرژی فسیلی مثل نفت و گاز و نیز آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از بکارگیری آن در دنیا، ضرورت یافتن منابع انرژی جایگزین را نمایان ساخته‌است. در این زمینه انرژی خورشیدی می‌تواند نقش بسیار مهم و تعیین کننده‌ای ایفا کند. تابش خورشیدی رسیده به زمین بنیادی‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر در طبیعت به شمار می‌آید. استفاده از این منبع انرژی به سبب اینکه همه‌جا، حتی نقاطی که شبکه برق وجود ندارد، در دسترس است و یک منبع انرژی مقرون به صرفه، پاک و عاری از آلاینده‌های زیست محیطی است همواره مورد توجه بوده‌است.

انرژی خورشیدی، نور تابشی و گرمای رسیده از خورشید همواره در طول تاریخ توسط انسان و با بکارگیری انواعی از فناوری‌ها مورد بهره برداری قرار گرفته‌است (Besharat et al., 2013). کشور ایران در ناحیه کمربند خورشیدی جهان واقع است و با داشتن ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دو سوم آن و متوسط تابش ۴٫۵ تا ۵٫۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز، یکی از کشورهای با میزان دریافت بالای انرژی خورشیدی است. بنابراین، استفاده از تجهیزات خورشیدی در ایران مناسب بوده و می‌تواند نقش مهمی در تأمین انرژی کشور ایفا نماید (Layeghi, 2016).

سلول‌های خورشیدی در قابی به نام ماژول فتوولتائیک (PV) چیده می‌شوند. تمامی ماژول‌های فتوولتائیک متصل به هم به عنوان آرایه فتوولتائیک یا آرایه خورشیدی تلقی می‌شوند. کل سامانه به عنوان یک سامانه فتوولتائیک یا PV شناخته می شود (Musazadeh and javanbakht, 2010). با شیب دادن ماژول یا آرایه نسبت به سطح افق می‌توان مقدار تشعشع خورشیدی تابیده شده بر آن و بازده آرایه را افزایش داد. آرایه فتوولتائیک باید حتی الامکان با زاویه‌ای عمود نسبت به پرتوهای ورودی خورشید قرار گیرد. جهت استقرار پنل‌ها در نیمکره شمالی رو به جنوب و در نیمکره جنوبی رو به شمال لحاظ می شود. از آنجا که زاویه خورشید نسبت به زمین در روزهای متفاوت سال متغیر است، می‌توان با تنظیماتی در زاویه استقرار پنل، بیشترین تابش را به دست آورد. اگر یک تنظیم سالانه مدنظر است (زاویه استقرار ثابت) توصیه می شود که این زاویه برابر با عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه باشد. اما این تنظیمات می‌تواند دو تا چند بار در سال و با استفاده از مکانیزم‌های ساده تغییر زاویه فوق صورت گیرد. از سویی دیگر برای حصول بیشترین تابش از ابزارهایی به نام ردیاب‌های خورشیدی[1] می توان استفاده نمود که تغییر زاویه استقرار پنل‌ها را همزمان با حرکت خورشید ممکن می‌سازند.

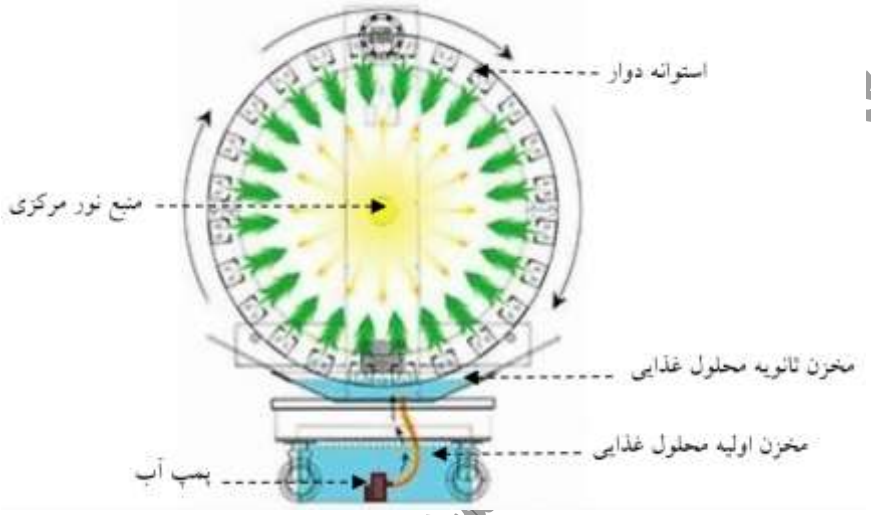
سامانه‌های فتوولتائیک در سه دسته قرار می‌گیرند: سامانه‌های متصل به شبکه برق[2] سامانه‌های منفصل از شبکه برق (مستقل از شبکه[3]) و سامانه‌هایی که مستقیماً به بار متصل می‌شوند (بدون باتری). در سامانه‌های متصل به شبکه، توان اضافی تولید شده سلول‌های PV به شبکه تزریق شده و توان کمترِ تولید شده آنها توسط شبکه تأمین می‌گردد، اما در انواع منفصل از شبکه توان تولید شده توسط سلول‌های PV در باتری ذخیره می شود (Hashemi Nejad, 2016).

کشاورزی یکی از حوزه‌هایی است که در شاخه‌های مختلف نیاز به انرژی دارد. گلخانه‌ها، سامانه‌های آبیاری، تجهیزات مرتبط با عملیات پس از برداشت، آب شیرین کن‌ها، مرغداری‌ها و غیره تنها بخشی از حوزه‌های مرتبط با کشاورزی هستند که بسیار وابسته به منابع انرژی می‌باشند. اما نیاز فراوانی که عملیات کشاورزی متداول به انرژی دارد محققین را به سمت یافتن راهی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در این زمینه سوق داده‌است که از جمله تلاش‌های صورت گرفته، طراحی تراکتور هیبریدی خورشیدی است که قادر است حدود ۱۸ درصد از انرژی مورد نیاز خود را توسط سلول‌های فتوولتاییک حاصل نماید (Mousazadeh et al., 2010). همچنین یک سامانه خورشیدی هیبریدی هوشمند مبتنی بر منطق فازی برای گرمایش سالن مرغداری توسعه داده شد و نتایج امیدبخشی در کارایی آن به‌دست آمد (Mirzaee, 2013). در تحقیقی دیگر یک خشک‌کن خورشیدی مجهز به سامانه گردش هوای بسته و محفظه جاذب رطوبت ساخته شد و عملکرد آن برای خشک کردن نعناع مورد بررسی قرار گرفت (Aghkhani et al., 2013). در کنار آن، می توان به طراحی یک نمونه اولیه از ماژول‌های فتوولتاییک نیمه شفاف برای کاربرد در سقف گلخانه به‌منظور تأمین انرژی در گلخانه اشاره کرد (Yano et al., 2014). سرانجام، می‌توان به پژوهشی اشاره نمود که در آن از انرژی خورشیدی برای توسعه سامانه کنترل خودکار کودآبیاری در یک سامانه آبیاری قطره‌ای در گلخانه، برای تولید نوعی خربزه استفاده شد. متوسط انرژی که پنل خورشیدی تولید می‌کرد حدود ۱۴۰ وات ساعت در روز بود، در حالیکه سامانه در هر روز به طور متوسط ۱۰ وات ساعت انرژی نیاز داشت. این سامانه قادر بود تا ۷ روز بدون تابش خورشیدی کار کند (Salih et al., 2012). تواتی و همکاران[4] یک سامانه آبیاری خورشیدی مبتنی بر منطق فازی مجهز به سامانه ثبت داده بی‌سیم را برای کشت مزرعه‌ای دارای آبیاری قطره‌ای توسعه دادند. این سامانه تشکیل شده‌بود از یک کنترلر منطق فازی دارای بازخورد که پارامترهای کلیدی مزرعه را از طریق حسگرهای خاص و یک ابزار پایش از راه دور Zigbee – GPRS و یک پایگاه داده ثبت می‌نمود. این سامانه همچنین از یک واحد تأمین توان خورشیدی بهره می‌برد که دارای یک پنل فتوولتائیک ۱۰۰ وات بود و می‌توانست انرژی مورد نیاز سامانه کنترلی را به طور مداوم تأمین نماید (Touati

[1] Sun trackers
[2] On-grid
[3] Off-grid
[4] Touati et al.

et al., 2013). در پژوهشی دیگر موهیدا و همکاران[1] یک سامانه آبیاری بارانی هوشمند مبتنی بر منطق فازی و انرژی خورشیدی برای آبیاری چمن توسعه دادند. سامانه خورشیدی برای تأمین انرژی میکروکنترلر، حسگرها و دریچه‌ها استفاده شد (Muhida et al., 2012).

اختراع دستگاه دوار کاشت گیاهان در سال ۲۰۰۳ در امریکا ثبت گردید (Marchildon, 2003). این دستگاه برای کشت در فضای بسته و به شکل هیدروپونیک طراحی شده، نیازی به نور مستقیم یا غیرمستقیم خورشید ندارد و می‌تواند مثلاً در یک محیط مجزا در اقلیم‌های نامناسب که در آنجا کشاورزی در فضای آزاد انجام‌پذیر نمی‌باشد، استفاده شود (Venter, 2010). در این طرح گیاهان در محیط یک استوانه در داخل بسترهای ریشه، در جهت رو به مرکز رشد می‌کنند. منبع نور مصنوعی مرکزی که در محور استوانه واقع می شود وظیفه تأمین یکنواخت نور به گیاهان را بر عهده دارد. با دوران استوانه، واحدهای کشت به ترتیب از مخزن محلول غذایی که در زیر آن قرار دارد عبور می‌کنند و گیاهان آب و مواد غذایی مورد نیاز خود را دریافت کرده و تا نوبت بعدی آبیاری هوادهی می‌گردند (شکل-۱).



شکل-۱: طرحی از دستگاه دوار کاشت گیاهان

هدف از این تحقیق بررسی تئوری ساختار یک سامانه فتوولتائیک منفصل از شبکه ایده آل برای تأمین ۱۰۰٪ توان دستگاه در حداکثر روزهای سال است که شامل روزهای ذخیره کافی برای پوشش ایام کم تابش نیز باشد. همچنین، کارایی سامانه فتوولتائیک خریداری و بکار برده شده برای تأمین انرژی دستگاه در شرایط عدم امکان اتصال به برق شبکه (منفصل از شبکه) بررسی می گردد.

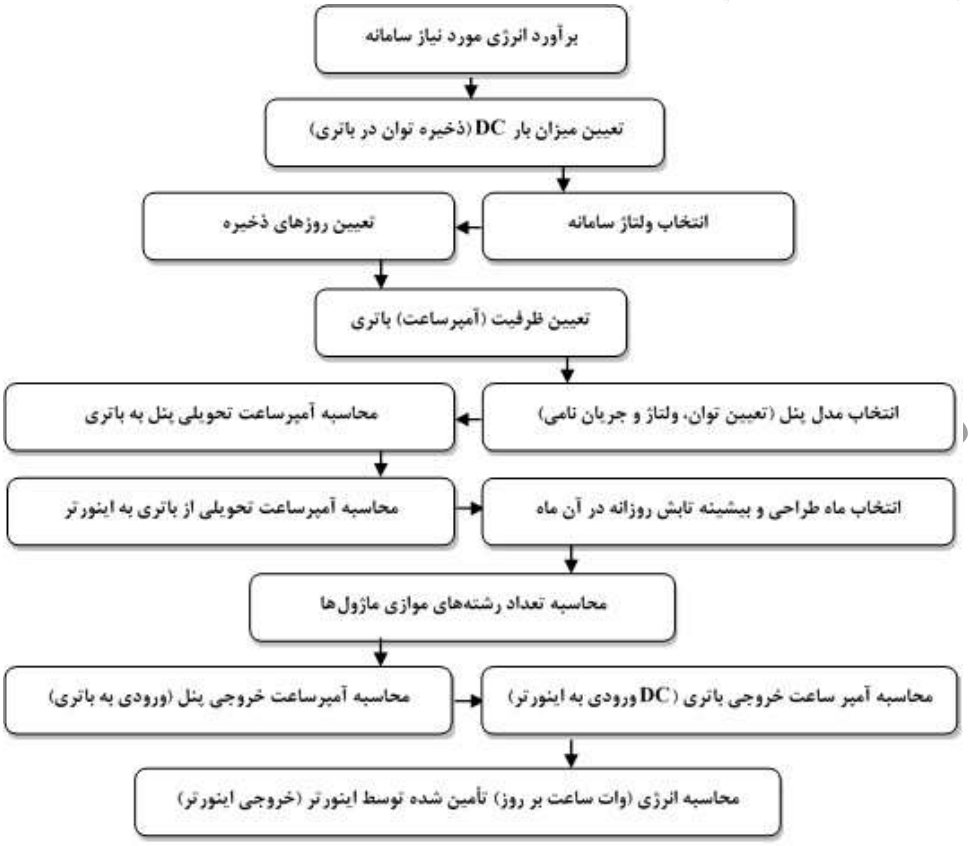
۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق، برای تأمین انرژی مورد نیاز دستگاه کشت دوار از دو پنل فتوولتائیک تک بلورین ۳۰۰ W ساخت شرکت Yingly Solar استفاده شد که به‌صورت سری به یکدیگر متصل و بر روی یک قاب سوار شدند و در مجموع ۶۰۰ W توان داشتند. به‌منظور ایجاد امکان تغییر زاویه جهت‌گیری پنل‌ها و تدارک بهترین بازده دریافت تابش خورشیدی در طول سال، مکانیزمی برای تغییر دستی این زاویه بر روی شاسی و در دو طرف آن تعبیه شد که ۶ زاویهٔ ۲۰ تا ۷۰ درجه با فواصل ده درجه را تأمین می‌کرد. انرژی خورشیدی استحصال شده از طریق کابل وارد شارژکنترلر از نوع جستجو کننده نقطه توان حداکثری[2] (MPPT)، (Western، WRM30) شده و از آنجا وارد باتری‌ها می‌گردید. دستگاه MPPT از یک مدار جستجو برای یافتن بیشترین توان پنل استفاده کرده و صرف نظر از ولتاژ بار و شرایط شارژ آن، به‌گونه‌ای عمل می‌کند که ماژول فتوولتائیک همواره در نقطهٔ توان حداکثری خود عمل کند، لذا انرژی به‌دست آمده از ماژول که در باتری ذخیره می‌شود حداکثر خواهد بود (Mousazadeh and Javanbakht, 2010). از آنجایی که جریان تولیدی پنل‌ها جریان مستقیم است و مصرف کننده‌ها نیاز به جریان متناوب دارند از یک اینورتر (COTEK، ST1000-248) استفاده شد.

برای ذخیرهٔ انرژی خورشیدی از چهار باتری 12 V- 100 Ah از نوع سرب اسیدی سیلد که به‌صورت سری به هم متصل شده‌اند استفاده شد. برای اندازه‌گیری انرژی مصرف شده توسط بخش‌های مختلف سامانه از یک ترانسمیتر برق AC تکفاز مدل TM-1510-M استفاده شد.

مراحل طراحی سامانه فتوولتائیک مدنظر در حالت منفصل از شبکه به صورت خلاصه در شکل(۲) آورده شده است.

[1] Muhida et al.
[2] Maximum Power Point Tracker



شکل-۲: مراحل طراحی سامانه خورشیدی منفصل از شبکه.

برآورد انرژی مورد نیاز: مهمترین مسئله در طراحی اندازه سامانه‌های فتوولتائیک، تخمین انرژی مورد نیاز است. برای این منظور بایستی حاصلضرب ساعات کارکرد در توان مصرفی بخش‌های مختلف دستگاه را در هر شبانه روز محاسبه نمود. محاسبه میزان انرژی مصرفی سامانه به جز با وسایل اندازه‌گیری امکانپذیر نیست. زیرا توان برخی از دستگاه‌ها در بازه زمانی کارکردشان متغیر است(Hashemi Nejad, 2016). در مورد دستگاه کشت دوار منابع مصرف انرژی شامل الکتروموتور، لامپ، پمپ آب و تجهیزات تابلوبرق می‌باشد. با توجه به بررسی عملکرد دستگاه با استفاده از واسط گرافیکی، الکتروموتور به همراه تجهیزات تابلو برق به طور متوسط حدود ۹۱ وات توان مصرف می‌کنند. میزان توان مصرفی لامپ ۱۵۰ و برای پمپ آب ۹۱٫۲ وات برآورد شد. از این بین، الکتروموتور و تابلوبرق به دلیل کارکرد شبانه‌روزی به طور پیوسته فعال هستند. لامپ با در نظر گرفتن فتوپریود انتخابی ۸/۱۶ به میزان ۱۶ ساعت در شبانه روز روشن است. در مورد پمپ آب میزان کارکرد در هر روز مشخص نیست. چرا که این مسئله وابسته به روش آبیاری است. اما با آزمون‌های صورت گرفته این میزان هرگز فراتر از یک دقیقه در هر شبانه روز نمی‌باشد. از این رو مقدار انرژی مصرفی برای الکتروموتور - تابلوبرق، لامپ، و پمپ آب به ترتیب ۲۱۸۴، ۲۴۰۰ و ۱٫۵۲ وات ساعت در هر شبانه روز خواهد بود. همانگونه که مشاهده می‌شود، مقدار انرژی مصرفی پمپ نسبت به سایر منابع مصرف انرژی بسیار کم و قابل چشم پوشی است. در مجموع، کل انرژی مصرفی سامانه در هر شبانه روز برابر با ۴۶۰۰ وات ساعت برآورد می‌شود. از آنجا که تمامی مصرف کننده‌ها از نوع AC منظور شده‌اند، این عدد تحت عنوان بار AC شناخته می‌شود.

تعیین میزان بار DC: با توجه به رابطه (۱) برای اینکه مشخص شود باتری‌ها چه مقدار توان باید در خود ذخیره داشته‌باشند، محاسبات مرحله اول بایستی اصلاح شود تا تلفات در اینورتر لحاظ گردد. برای انجام محاسبات، یک بازده کلی محتاطانه ۸۵٪ به طور پیش فرض برای اینورترها منظور می‌شود (Hashemi Nejad, 2016) . از این رو:

مجموع بار DC = مجموع بار AC / بازده اینورتر (Wh/day) (۱)

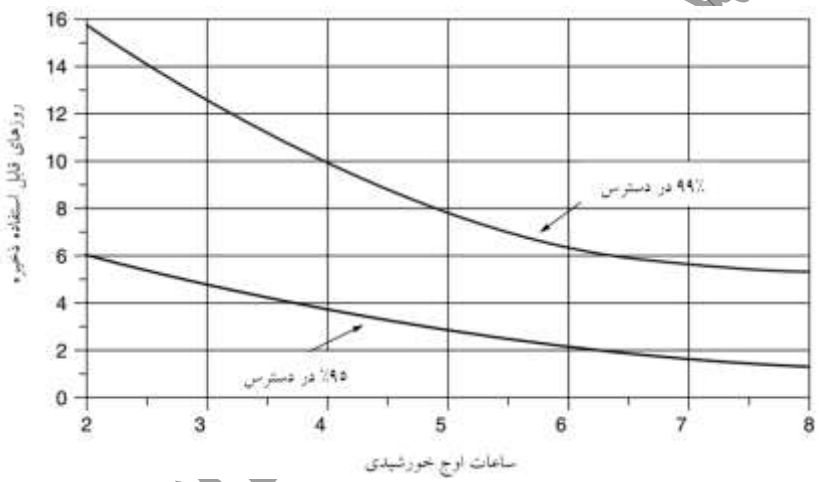
لذا مقدار مجموع بار DC برابر با ۵۴۱۱٫۷۶ وات ساعت در هر شبانه روز خواهد بود.

انتخاب ولتاژ سامانه: ولتاژی که از باتری وارد اینورتر می‌شود یک ولتاژ DC است که همان ولتاژ باتری و آرایه فتوولتائیک است و به آن ولتاژ سامانه می‌گویند. در ولتاژهای بالاتر جریان سامانه کم شده و تلفات سیم کاهش می‌یابد. وقتی که باتری‌ها به صورت سری به هم متصل می‌شوند نسبت به شرایطی که به صورت موازی بسته می‌شوند ولتاژ بالاتر اما آمپر پایین‌تر دارند. این مسئله باعث مدیریت بهتر در اندازه سیم‌ها بدون تلفات زیاد توان و

ولتاژ می‌گردد. همچنین، سوئیچ‌ها و فیوزهای کوچکتری نیاز خواهد بود و اتصال باتری‌ها نیز تاحدی ساده‌تر خواهد بود. در کنار این موارد، قیمت و در دسترس بودن مدل‌های مناسب در بازار در کنار تناسب بخش‌های مختلف سامانه خورشیدی با یکدیگر دو عامل دیگری است که در انتخاب ولتاژ باید لحاظ شود. با توجه به کلیه موارد مذکور، ولتاژ سامانه برابر ۴۸ ولت منظور گردید. در بین تمام فناوری‌های موجود برای باتری، انواع سرب اسیدی همواره بهترین عملکرد را در سامانه‌های فتوولتائیک داشته‌اند (Mousazadeh and Javanbakht, 2010). یک باتری سرب اسیدی دارای ولتاژ نامی ۲ ولت به ازاء هر سلول می‌باشد که هرگاه به ۱٫۷۵ ولت برسد به معنی تخلیه کامل آن است. از این رو، در سامانه کشت دوار از چهار باتری سرب اسیدی سیلد ۱۲ ولت که به صورت سری به هم مرتبط شدند استفاده شد تا ولتاژ ۴۸ ولت از سوی باتری‌ها تأمین می‌شود. بنابراین باتری‌ها بایستی مقدار ظرفیت زیر را (بر حسب آمپر ساعت) در هر روز برای مصرف کننده تأمین نمایند(رابطه-۲):

بار = 5411.76 / 48 = 112.74 Ah/day (۲)

برای اینکه ذخیره قابل استفاده باتری (بر حسب آمپر ساعت) محاسبه شود مقدار فوق بایستی در تعداد روزهای ذخیره، یعنی تعداد روزهایی که از ذخیره باتری می‌توان استفاده کرد ضرب شود. بدین منظور نیاز به تعیین ساعات اوج خورشیدی[1] داریم. برای استفاده از این مفهوم، تابش بیان شده بر حسب kWh/m^2-day اینگونه در نظر گرفته می‌شود که به لحاظ عددی معادل با "تعداد ساعات اوج" در یک $1\text{-}kW/m^2$ (یک خورشید[2]) باشد (Masterss, 2004). شکل ۳ تعداد روزهای مورد نیاز ذخیره باتری برای یک مجموعه منفصل از شبکه برای ۹۵٪ و ۹۹٪ از زمان را بر حسب تعداد ساعات اوج خورشیدی نشان می‌دهد.



شکل-۳: تعداد روزهایی که باتری باید بار را برای ۹۵٪ و ۹۹٪ از زمان تأمین کند (Hashemi Nejad, 2016)

محاسبات برای ماه طراحی، یعنی کم تابش‌ترین ماه سال صورت می‌گیرد. با استفاده از داده‌های هواشناسی در شهرستان کرج در سال ۲۰۱۶ کم تابش ترین ماه، دسامبر با میانگین تابش ۲٫۲ kWh/m^2-day بود که به عنوان ماه طراحی انتخاب شد، از این رو ساعات اوج خورشیدی برای آن ۲٫۲ منظور گردید. اگر از باتری‌ها توقع تأمین توان در ۹۹٪ زمان‌ها وجود داشته باشد با توجه به شکل (۳) تعداد روزهای ذخیره حدود ۱۵ روز به دست می‌آید. بنابراین با توجه به رابطه (۳) خواهیم داشت:

ذخیره قابل استفاده = 112.74 Ah/day × 15 day = 1691.1 Ah (۳)

حالت تخلیه عمیق[3] برای باتری‌های سرب اسیدی معمولا ۸۰٪ منظور می‌شود. همچنین، ظرفیت ذخیره معمولاً ۰٫۹۷ ظرفیت باتری لحاظ می‌گردد (Masterss, 2004). با منظور کردن دو ضریب فوق در ذخیره قابل استفاده، ظرفیت نامی باتری با توجه به رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$\text{ظرفیت نامی باتری} = \frac{1691.1}{0.80*0.97} = 2179.25\ \text{Ah} \quad (۴)$$

این ظرفیت به دست آمده قادر است در ۹۹٪ از روزهای سال (بیش از ۳۶۱ روز) به طور کامل توان سامانه را تأمین نماید و در حدود ۴ روز این تأمین توان کامل نخواهد بود.

[1] peak sun hours
[2] 1-sun
[3] deep discharge

تعیین اندازه آرایه فتوولتائیک: ضرب کردن ساعات پیک تابش خورشیدی در توان نامی ماژول برای برآورد انرژی رسیده به باتری‌ها چندان دقیق نیست، چرا که نقطه کاری برای شارژ کردن باتری معمولاً از نقطه MPP مقداری فاصله دارد و از این رو بخش قابل توجهی از توانی که ماژول‌ها می‌توانند بر اساس توان نامی ماژول تأمین کنند به باتری‌ها نمی‌رسد. فرایند تعیین اندازه آرایه‌های فتوولتائیک مبتنی بر روش ساعات اوج خورشیدی است که در سامانه‌های متصل به شبکه هم استفاده می‌شود، به جز اینکه در اینجا این روش برای جریان بکار می‌رود و نه توان. در این روش با داشتن جریان نامی پنل I_R (در تابش به میزان یک خورشید)، و ضرب آن در ساعات اوج خورشیدی، میزان آمپر ساعت جریان تأمین شده به باتری‌ها به دست می‌آید. حاصل ضرب جریان نامی در ساعات اوج خورشیدی برآورد مناسبی از مقدار آمپرساعت رسیده به باتری‌ها می‌باشد (Masterss, 2004). لذا، اندازه آرایه‌های فتوولتائیک بر اساس مقدار آمپرساعت داده شده از ماژول‌ها به باتری Ah_{in} و مقدار آمپرساعت تحویلی از باتری به بار Ah_{out} تعیین می‌شود (Hashemi Nejad, 2016). برای محاسبه Ah_{in} از رابطه (۵) استفاده شد (Masterss, 2004):

$$Ah_{in} = I_R \times \text{ساعات اوج خورشیدی} \times \text{ضریب استهلاک} \quad (۵)$$

ضریب استهلاک که برای لحاظ کردن عمر آرایه‌ها و آلودگی روی آنها است معمولاً ۰٫۹ منظور می‌شود (Masterss, 2004) . برای تعیین آمپرساعت رسیده از باتری به اینورتر از ضریب کلمب (رابطه-۶) استفاده شد.

$$\text{ضریب کلمب} = \frac{Ah_{out}}{Ah_{in}} \quad (۶)$$

ضریب کلمب در مورد باتری سرب اسیدی مورد استفاده در این پژوهش برابر با ۰٫۹ منظور می‌شود (Masterss, 2004). در نهایت، میزان آمپرساعتی که از آرایه‌های فتوولتائیک به اینورتر می‌رسد از رابطه (۷) به دست آمد:

$$Ah_{out} = 0.81\ I_R \times \text{ساعات اوج خورشیدی} \quad (۷)$$

پنل‌های فتوولتائیک انتخابی سامانه از شرکت yingly solar مدل YL300C-36b انتخاب شده‌است که توان نامی، جریان نامی و ولتاژ نامی آن به ترتیب ۳۰۰ وات، ۸٫۵۴ آمپر، ۳۵٫۱ ولت می‌باشد. بنابراین Ah_{in} برابر با ۱۶٫۹۱ و Ah_{out} برابر با ۱۵٫۲۱ آمپر ساعت خواهد بود. در اینجا نیز رابطه (۷) برای ماه طراحی استفاده شد که ساعات اوج خورشیدی در آن ۲٫۲ منظور گردید.

با توجه به رابطه (۸) تعداد مورد نیاز رشته‌های موازی ماژول‌ها با در اختیار داشتن ذخیره قابل استفاده باتری (۱۶۹۱٫۱ Ah/day) برابر است با:

$$\frac{1691.1\ \text{Ah/day}}{15.22\ \text{Ah/day .string}} = 111.1\ \text{رشته} \quad (۸)$$

این تعداد رشته موازی قادر است در ۹۹٪ روزهای سال تمام نیاز سامانه را برآورده کند و ۱۵ روز ذخیره نیز داشته باشد.

۳- نتایج و بحث

تهیه مجموعه باتری‌هایی که بر طبق رابطه های (۴) و (۸) ظرفیت ایده آلی را تأمین کند گرچه باعث استحصال ۱۰۰٪ توان از انرژی خورشیدی می‌شود ولی به لحاظ هزینه، به صرفه نیست. از این رو، در سامانه حاضر، برای انتخاب واحد ذخیره انرژی تابشی خورشید (بانک باتری) با توجه به ظرفیت‌های موجود باتری در بازار و سایر ملاحظات از چهار باتری ۱۲ ولت ۱۰۰ آمپر ساعت که به صورت سری به هم متصل شده‌اند، استفاده شد. اتصال سری باتری‌ها باعث شد که ظرفیت نامی کل همچنان ۱۰۰ آمپر ساعت باقی بماند. بنابراین ذخیره قابل استفاده با در نظر گرفتن یک روز ذخیره با استفاده از رابطه (۳) معادل ۷۷٫۶=۰٫۹۷×۰٫۸۰×۱۰۰ آمپر ساعت خواهد بود. انتخاب این باتری بدان معناست که سامانه خورشیدی طراحی شده، در ماه‌هایی از سال که تابش خورشیدی کم است، قادر نیست ۱۰۰٪ انرژی مورد نیاز بار را تأمین کند. پنل‌های فتوولتائیک انتخابی سامانه از شرکت yingly solar مدل YL300C-36b انتخاب شده‌است که همان طور که پیشتر بیان گردید دارای توان نامی، جریان نامی و ولتاژ نامی به ترتیب ۳۰۰ وات، ۸٫۵۴ آمپر، ۳۵٫۱ ولت می‌باشد. در نتیجه، میزان آمپرساعت خروجی باتری (ورودی به اینورتر) برطبق رابطه (۵) ۱۵٫۲۲ Ah/day به ازاء هر رشته به دست آمد.

از آنجایی که ولتاژ نامی ماژول ۳۵٫۱ ولت است آنها جزو ماژول‌های ۲۴ ولتی منظور می‌شوند (Hashemi Nejad, 2016). بنابراین، دو ماژول با اتصال سری مورد نیاز است تا یک رشته ۴۸ ولتی را تأمین کند. لذا با توجه به رابطه(۸) تعداد مورد نیاز رشته‌های موازی ماژول‌ها با در اختیار داشتن ذخیره قابل استفاده باتری (۷۷٫۶ Ah/day) تقریباً برابر با ۵٫۱ خواهد بود. لذا ۵ رشته موازی منظور می‌شود که در هریک ۲ ماژول وجود دارد. بنابراین،

با لحاظ کردن ضریب استهلاک ۹۰٪ ، خروجی آرایه فتوولتائیک با توجه به رابطه (۹) تعیین می گردد:

(۹) خروجی آرایه فتوولتائیک = ۵ رشته × ۸٫۵۴ آمپر/رشته × ۲٫۲ h/day × 0.90 = 84.54 Ah/day

اگر باتری‌ها دارای ضریب کلمب ۰٫۹ باشند، خروجی آنها به صورت (رابطه-۱۰) بدست می آید:

(۱۰) خروجی باتری = 93.94 Ah/day × 0.90 = 76.10 Ah/day

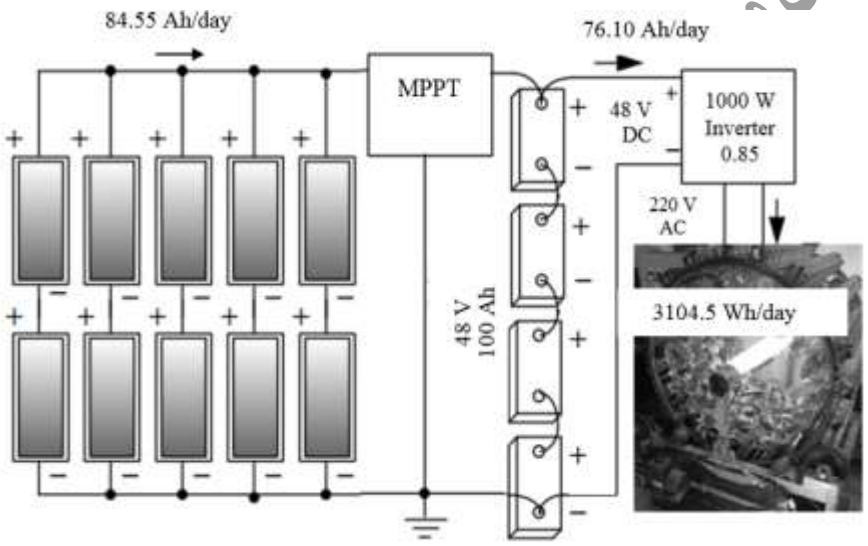
که در شرایط DC و ولتاژ ۴۸ ولت می‌باشد.

و با توجه به رابطه (۱۱) و اینکه بازده اینورتر ۰٫۸۵ است خروجی اینورتر به صورت زیر خواهد بود:

(۱۱) خروجی اینورتر = 76.10 Ah/day × 48 V × 0.85 = 3104.5 Wh/day

که در شرایط AC و ولتاژ ۲۲۰ ولت به بار می‌رسد. با توجه به اینکه میزان انرژی مورد نیاز سامانه ۴۶۰۰ وات ساعت بر روز برآورد شده بود، مقدار به دست آمده فوق (به لحاظ تئوری) تقریباً ۶۸٪ نیاز سامانه است.

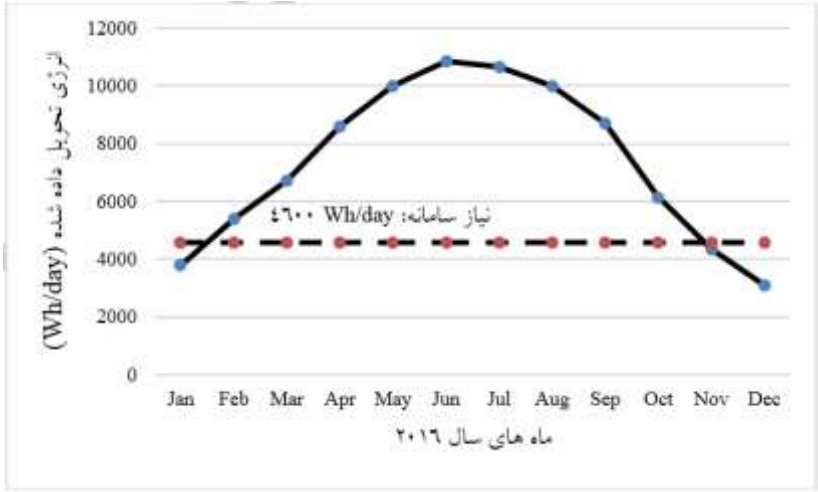
نمودار عملکرد سامانه خورشیدی مورد استفاده برای سامانه کشت دوار که شامل برخی از جریان‌های انرژی برای ماه طراحی (دسامبر) در اقلیم شهرستان کرج می‌باشد در شکل (۴) نشان داده شده‌است.



شکل-۴: عملکرد سامانه فتوولتائیک – باتری مورد استفاده برای دستگاه کشت دوار در اقلیم شهرستان کرج برای ماه طراحی (دسامبر).

همچنین، در شکل (۵) انرژی ماهانه‌ای که سامانه خورشیدی مورد استفاده تأمین می‌کند نشان داده شده‌است. این نمودار با لحاظ کردن اطلاعات هواشناسی ماه‌های دیگر سال شهرستان کرج و تکرار فرایند طراحی به دست آمده‌است. همان‌طور که مشاهده می‌شود به غیر از ماه طراحی دسامبر و نیز ماه ژانویه که هر دو در روزهای کم تابش زمستان واقع شده‌اند در تمامی ماه‌ها سامانه خورشیدی قادر است بیشتر از نیاز سامانه انرژی خورشیدی تأمین نماید. این مسئله در روزهای تابستان بسیار قابل توجه و در ماهی مثل نوامبر تقریباً معادل با توان مورد نیاز است.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



شکل-۵: عملکرد سامانه فتوولتائیک – باتری مورد استفاده در ماههای مختلف سال ۲۰۱۶.

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج و محاسبات انجام شده میزان کل انرژی مصرفی سامانه در هر شبانه روز برابر با ۴۶۰۰ وات ساعت برآورد می‌شود. طراحی یک سامانه خورشیدی ایده آل که در شرایط عدم دسترسی به برق شهر یا سایر منابع جایگزین، بتواند در اقلیم کرج نیاز سامانه را به طور کامل برآورده سازد و حتی با پیش بینی ۱۵ روز ذخیره (برای ایامی از سال که هیچ تابش خورشیدی وجود ندارد) بتواند به تأمین توان بپردازد نیازمند حدود ۱۱۱ رشته موازی فتوولتائیک و نیز بانک باتری با ذخیره حدود ۲۱۷۹٫۲۵ Ah می باشد که بسیار هزینه بر است. سامانه خورشیدی مورد استفاده در دستگاه کشت دوار به جای ۱۱۱ رشته موازی از ۵ رشته موازی و به جای استفاده از بانک باتری ۲۱۷۹٫۲۵ Ah از ۱۰۰ Ah استفاده نمود و تنها یک روز ذخیره برای آن لحاظ گردید. بر طبق محاسبات انجام شده این شرایط باعث شد در ۱۰ ماه از سال توانی بیشتر از توان سامانه کشت دوار تأمین شود. این حالت در روزهای تابستان بسیار قابل توجه و در ماهی مثل نوامبر تقریباً معادل با توان مورد نیاز بود. همچنین، در کم تابش ترین ماه سال (دسامبر) بیش از ۶۸٪ توان قابل استحصال از انرژی خورشیدی بود. لذا اگر سامانه ای کمکی برای تأمین برق در دو ماه از سال ایجاد گردد این ساختار برای تمام طول سال با حداقل هزینه مناسب خواهد بود. در مجموع، در شرایطی که امکان دسترسی (حتی به شکل حداقلی) به برق شهر وجود دارد، استفاده از سامانه هیبریدی متصل به شبکه (با طراحی مناسب) مورد توصیه است تا در شرایط عدم وجود تابش کافی، دستگاه بتواند بدون مشکل به کار خود ادامه دهد.

۵- مراجع

Aghkhani, M. H., Abasspour-Fard, M. H., Bayati, M. R., Mortezapour, H., Saedi, S. I., & Moghimi, A. (2013). Performance analysis of a solar dryer equipped with a recycling air system and desiccant chamber. Journal of Agricultural Machinery 3: 92-103. (In Farsi).

Besharat, F., Dehghan, A. A., & Faghih., A. R. (2013). Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews 21: 798-821.

Hashemi Nejad, S. M. (2016). Solar Power Renewable Energy System. Publishing Institute of Sharif University of Technology, 249 pp. (in Persian)

Layeghi, M. (2016). Solar energy, technologies and applications, Iranian Students Booking Agency. 398 pp. (in persian)

Marchildon, T. (2003). Rotary plant growing apparatus: Google Patents.

Masterss, G. M. (2004). Renewable and Efficient Electric Power Systems. John Wiley & Sons, Inc., publication.

Mirzaee, E., Omid, M., Keyhani A. Javadikia, P. (2013). Forecasting the Thermal Load for Implementing Solar Energy in a Model Poultry House. Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology 1: 30-36.

Mousazadeh, H., & Javanbakht, S. (2010). Photovoltaic. Iran agricultural science.

Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia K., & Sharifi, A. (2010). Optimal power and energy modeling and range evaluation of a solar assist plug-in hybrid electric tractor (SAPHT). Transactions of the ASABE 53: 1025-1035.

Muhida, R., Salami, M. J. E., Astuti, W., Kasim, N. A. B. A., & Rahayu, N. (2012). Solar-based fuzzy intelligent water

sprinkle system. Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology 2: 65-72.

Musazadeh, H., & javanbakht, S. (2010). Photovoltaics for specialists, Iranian Agricultural Science Publishing, 290 pp. (in persian)

Salih, J. M., Adom, A., & Shaakaf, A. M. (2012). Solar Powered automated fertigation control system for cucumis melo L. cultivation in green house. APCBEE procedia 4: 79-87.

Touati, F., Al-Hitmi, M., Benhmed, K., & Tabish, R. (2013). A fuzzy logic based irrigation system enhanced with wireless data logging applied to the state of Qatar. Computers and electronics in agriculture 98: 233-241.

Venter, G. (2010). Successful Hydroponics: 21st Century Technology for Commercial and Home Applications: a Comprehensive Practical Guide to Scientifically Based Hydroponic Crop Production. Xlibris Corporation.

Yano, A., Onoe, M., & Nakata, J. (2014). Prototype semi-transparent photovoltaic modules for greenhouse roof applications. Biosystems Engineering 122: 62-73.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران