



## Optimum Use of Arable Land with the Implementation of a Smart Solar Farming System

Meraj Rajaei<sup>1\*</sup>, Fateme Arab<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Technical and Vocational University, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>MSc Student, Department of Electrical Engineering, Tehran University of Technology, Tehran, Iran.

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article Type:

Original Research

**Received:** 03.16.2024

**Revised:** 06.28.2024

**Accepted:** 08.14.2024

#### Keyword:

Solar Energy

Agropv System

Smart Agriculture

#### \*Corresponding Author:

Meraj Rajaei

Email: [mrajaei@tvu.ac.ir](mailto:mrajaei@tvu.ac.ir)

In this article, the modelling and implementation of the Agropv intelligent agricultural system for the optimal use of agricultural land is discussed. This system was designed in such a way that it is possible to optimally use agricultural land under photovoltaic panels and simultaneously use solar energy for the electricity required for intelligent irrigation management and plant temperature control. This system was implemented in such a way that the humidity sensor measured the soil bed and if the soil was dry, it activated the pump and delivered water to the plant by collecting the surface water stored on the surface of the panel, and by measuring the pH of the soil, the required solution was obtained. The advantage of the proposed method over the existing methods is the use of shading solar panels on the products to make the plants sweat more but prevent their evaporation and it is designed with optimal use of solar energy to illuminate the agricultural environment and supply the electricity required by two fans. Using a fan to remove dust from the surface of the panel and another fan to cool the panels led to a decrease in the temperature of the panel, and also by using the Internet of Things, the growth speed and quality of the plant improved.



---

**EXTENDED ABSTRACT**

---

**Introduction**

Solar farms are one of the most modern and newest ways of producing agricultural products that provide the possibility of producing agricultural products with high yields on all days of the year regardless of weather conditions. The construction of such farms is a definite need of our country due to the serious shortage of water. Many agricultural products are destroyed due to lack of water or dehydration, which is due to the decrease of soil moisture and water not reaching the agricultural products on time. One of the ways that can be used to increase the quality of agricultural products is the use of new and up-to-date technologies. In this project, using solar panels, in addition to providing electricity, was implemented to increase the efficiency of water consumption and optimal use of agricultural land. Smart agriculture can measure soil and air humidity, water level, and sunlight through sensors and by using artificial intelligence and giving information to help farmers find the best time to irrigate to save their water resources.

**Methodology**

Three important factors in the Argopv system will affect agricultural production and plant growth:

- Temperature
- Direct sunlight
- Water requirements

The shade that solar panels created for agricultural land causes the ambient temperature to decrease during the day and increase during the night. In addition, due to the increase in water vapour pressure in Argopv systems, the desired place will have more humidity. Such solutions can allow farmers to grow crops that they could not grow before. Designing targeted photovoltaic systems with specific light management requirements, in addition to the work and selection of plant species, can stabilize and improve the performance of both. The reason for this is that photovoltaic systems can interfere with shading crops during very dry periods in which product failure is likely to occur. This method allows farmers to reduce water consumption for irrigation due to the protection of the photovoltaic system and prevents wind erosion of products. The need for irrigation is reduced due to little shade and wind erosion. Figure 1 shows the flowchart of this system.

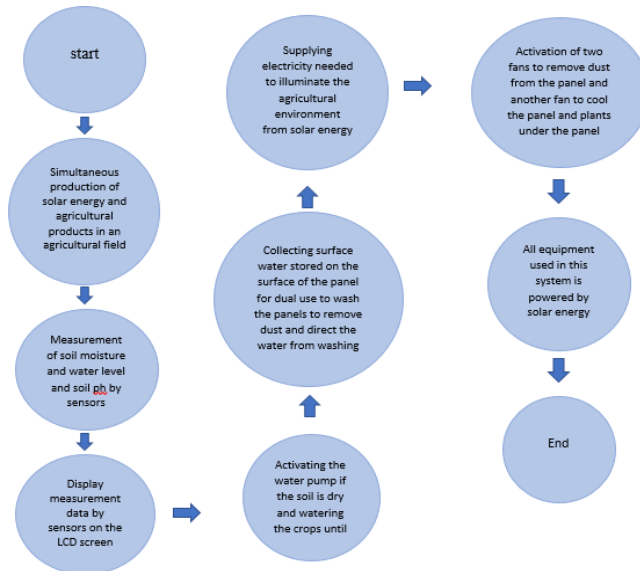


Figure 1. General system flowchart.

## Results and discussion

The advantages of the proposed model are summarized below:

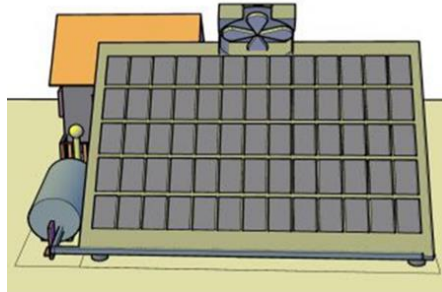
- 1- By using this system, in addition to increasing the production of agricultural products with energy storage, the energy needed for various purposes is provided.
- 2- It is possible to have an energy purchase contract in residential and industrial settlements that use this system.
- 3- It is possible to feed energy to electricity distribution network operators.
- 4- Another advantage of the Agrovoltatics system is the reduction of emissions

Figure 2 presents a model of a small-scale Agropv system. This system was designed in such a way that farmers can easily take advantage of new opportunities to generate electricity in the fields at the same time as producing agricultural products. Furthermore, this system allows a suitable level of sunlight to shine on crops and there is sufficient space for agricultural machinery to operate. Crops, especially those that are resistant to shading and do not require all the sunlight for photosynthesis, can benefit from this system.



Figure 2. Agropv system modeling.

Additionally, in this system, a fan was used on top of the panels to remove dust from the surface of the panels which leads to a decrease in the temperature of the panels and as a result, an increase in the efficiency of the panels. The illustration below shows the placement of the fan on top of the panel to remove dust.



**Figure 3. Panel cleaning system.**

### **Conclusion**

In this research, an Agropyv system was modelled and implemented. The advantage of the implementation of this plan is that, unlike previous research models, the soil moisture is always controlled by collecting rainwater on the panels and the intelligent irrigation system. This plan provides the electricity needed to activate the pump by using the solar power system and with the shade that the solar panels cast on the plants, it leads to cooler temperatures during the day and night for the plants grown under them. This leads to an increase in air humidity.

Another advantage of this research is the use of a fan on top of the panels to remove dust from the surface of the panels. This leads to a decrease in the temperature of the panels and significantly increases the performance of the system. Furthermore, management solutions to reduce water consumption using the Internet of Things method can be a part of a sustainable solution for some problems caused by drought in the country. Overall, taking into account the guaranteed purchase price of electricity produced per year, assuming a lifespan of 25 years, and calculating the costs of photovoltaic panels and the construction costs of the panels, the results showed that the use of the proposed method will attain good performance and improve the growth of agricultural products significantly.



## استفاده بهینه از زمین محصولات زراعی با اجرای سیستم کشاورزی هوشمند خورشیدی

معراج رجایی<sup>\*۱</sup>، فاطمه عرب<sup>۲</sup>

- ۱- استادیار گروه مهندسی برق، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

در این مقاله به مدلسازی و پیاده‌سازی سیستم کشاورزی هوشمند *Agropv* برای استفاده بهینه از زمین زراعی پرداخته شده است. این سیستم به گونه‌ای طراحی شده است که امکان بهره‌برداری بهینه از زمین‌های زراعی در زیر پنل‌های فتوولتائیک و هم‌زمان استفاده از انرژی خورشیدی برای برق موردنیاز برای مدیریت هوشمند آبیاری و کنترل دمای گیاه انجام می‌شود. این سیستم به صورتی اجرا شده است که سنسور رطوبت، بستر خاک را اندازه‌گیری می‌کند و در صورت خشک‌بودن خاک پمپ فعال و کار آبرسانی را با جمع‌آوری آب‌های ذخیره‌شده سطحی در سطح پنل به گیاه می‌رساند و با اندازه‌گیری *pH* خاک، محلول موردنیاز به گیاه ارسال می‌گردد. مزیت روش پیشنهادی نسبت به روش‌های موجود، بهره‌گیری از سایه‌انداختن پنل‌های خورشیدی روی محصولات به منظور تعریق بیشتر گیاهان و جلوگیری از تبخیر آنها است و با استفاده بهینه از انرژی خورشیدی برای روشن کردن محیط زراعی و تأمین برق موردنیاز دو فن طراحی شده است: استفاده از یک فن برای زدودن گرد و غبار از روی سطح پنل و فن دیگر برای خنک کردن پنل‌ها که منجر به کاهش دمای پنل گردیده و همچنین با بهره‌گیری از اینترنت اشیا افزایش سرعت رشد و کیفیت گیاه مطلوب‌تر شده است.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۰۸

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴

کلید واژگان:

انرژی خورشیدی

سیستم *Agropv*

کشاورزی هوشمند

\*نویسنده مسئول: معراج رجایی

پست الکترونیکی:

[mrajaee@tvu.ac.ir](mailto:mrajaee@tvu.ac.ir)



## مقدمه

مزارع خورشیدی یکی از مدرن‌ترین و جدیدترین راهکارهای تولید محصولات کشاورزی هستند که امکان تولید محصولات کشاورزی با بازده بالا را در تمامی روزهای سال و بدون توجه به شرایط آب و هوایی فراهم می‌آورند. احداث چنین مزارعی به دلیل کمبود جدی آب، نیاز قطعی و حتمی کشور ما است.

بسیاری از محصولات کشاورزی به دلیل کم‌آبی یا بی‌آبی از بین می‌روند که دلیل آن کاهش رطوبت خاک و نرسیدن آب به موقوع به محصولات کشاورزی می‌باشد. یکی از راه‌هایی که با به‌کارگیری آنها می‌توان کیفیت محصولات کشاورزی را افزایش داد استفاده از فناوری‌های جدید و به‌روز می‌باشد. در این طرح با استفاده از پنل‌های خورشیدی، علاوه بر تأمین برق، افزایش راندمان مصرف آب و استفاده بهینه از زمین‌های کشاورزی اجرا شده است. کشاورزی هوشمند از طریق سنسورها می‌تواند رطوبت خاک و هوا، سطح آب، نور خورشید و ... را اندازه‌گیری کند و با استفاده از هوش مصنوعی و دادن اطلاعات به کشاورزان کمک کند تا بهترین زمان برای آبیاری را پیدا کنند تا در منابع آبی خود صرفه‌جویی کنند و با آنالیز مواد مغذی خاک (ازت، فسفر، پتاسیم) می‌تواند باعث افزایش کیفیت محصولات شود [۱؛ ۲].

ایران از جمله کشورهایی است با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال که دارای شدت انرژی بالا است؛ به این معنی که اولاً سرمایه‌گذاری در بخش احداث نیروگاه‌های خورشیدی توجیه فنی و اقتصادی و زیست‌محیطی دارد و ثانیاً با توجه به شدت بالای تابش در کشور گیاهانی که مقاوم به سایه‌اندازی هستند و به دریافت تمام نور خورشید برای رشد نیاز ندارند این سیستم بهترین نتیجه را دارد.

سیستم (Agro pv) ترکیبی از تولید انرژی خورشیدی با کشاورزی سنتی است. توسط این سیستم عملکرد محصولات کشاورزی افزایش قابل توجهی می‌یابد. با توجه به مقادیر آب کم همان‌طور که بسیاری از محصولات به شدت به آب وابسته هستند محصولات غذایی کم‌تری به دلیل استفاده نکردن بهینه از آب تولید می‌شود در حالی که برخی از این محصولات در زیر پنل‌ها تا ۳۲۸ درصد حداکثر استفاده بهینه از آب را دارند. این سیستم در مناطقی که افزایش راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی ضروری است می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. در تحقیقاتی که در مورد سطوح تبخیر محصولات مقاوم به سایه مانند کاهو و خیار آبیاری شده انجام شد ۱۴ تا ۲۹ درصد کاهش تبخیر ثبت شده است. در تحقیقاتی که در مورد گرمای زمین، هوا و محصولات زراعی در زیر پنل برای یک فصل زراعی انجام شد جریان هوا ثابت شد ولی زمین و گیاهان درجه حرارت کمتری ثبت کردند [۳؛ ۴].

از مزایای این سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تولید هم‌زمان انرژی خورشیدی و محصولات کشاورزی
- محافظت در برابر تلفات ناشی از نگرگ، خشکسالی
- برداشت آب حاصل از بارش باران
- استفاده بهینه از زمین
- کاهش آبیاری
- افزایش محصولات کشاورزی [۵]
- کاهش تبخیر و کمک به کاهش دما
- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای
- کاهش دمای صفحات خورشیدی
- امکان رشد گیاهان در شرایط گرم و خشک با سایه پنل
- شارژ وسایل نقلیه برقی توسط برق تولیدی

<sup>1</sup> Agriculture + Photovoltaics

- حذف گرد و غبار از روی سطح پنل توسط فن
  - محافظت محصولات کشاورزی در برابر اشعه بیش از حد نور خورشید.
- مؤسسه آلمانی Fraunhofer، در سال ۲۰۲۱ ادعا کرد که ۴ درصد از تمام زمین‌های زراعی در آلمان برای تأمین تمام نیازهای انرژی کشور نیاز به پوشش پنل‌های خورشیدی دارد. در یک سوم هکتار از اراضی قابل کشت در نزدیکی دریاچه کنستانس در آلمان، ماژول‌های فتوولتائیک با توان کلی ۱۹۴ کیلووات بر روی سازه‌ای به ارتفاع پنج متر نصب شده است. نتایج حاصل از این سیستم بازدهی کاربری، زمین را ۱۶۰ درصد نشان می‌دهد که توسط کنسرسيوم پروژه تحت هدایت مؤسسه Fraunhofer برای سیستم‌های انرژی خورشیدی ISE تأیید شده است [۵].
- در سال ۲۰۱۸، کشاورزان هگل‌باخ، چهار نوع محصول گندم زمستانی، سیب‌زمینی، کرفس و شبدر را کشت کردند. در این سال، عملکرد سه محصول از چهار محصول زیرسیستم Agrophotovoltaic بیشتر از عملکرد مرجع بود. عملکرد محصول کرفس ۱۲ درصد نسبت به روش سنتی افزایش داشته است. گندم زمستانه ۳ درصد افزایش داشته است. استغان شیندل از Fraunhofer ISE می‌گوید: بر اساس عملکرد سیب‌زمینی در سال ۲۰۱۸، بهره‌وری زمین با سیستم Agrophotovoltaic به ۱۸۶ درصد در هکتار افزایش یافته است. محصولات مختلفی که به‌طور معمول در آب و هوای خشک با تابش خورشیدی به‌خوبی رشد نمی‌کنند می‌توانند توسط این سیستم شکوفا شوند. همچنین از برق تولیدی برای پمپ‌های آب استفاده می‌شود. علاوه بر این، از آن برای خنک‌کردن و فراوری محصولات زراعی استفاده می‌شود. شکل ۱ سیستم احداث‌شده در آلمان را نشان می‌دهد [۵].



شکل ۱. سیستم احداث‌شده در آلمان.

در ایالات متحده آمریکا در مرکز مطالعات و آموزش عمومی دانشگاه بیوسفر نیز از سایبان‌های خورشیدی استفاده شده است. در ابتدا به‌منظور کاهش گرمای پنل‌های خورشیدی بود که این پروژه‌ها به سمت تولید آزمایشی محصولات کشاورزی زیر پنل‌ها برده شده است. در آریزونا محصولاتی که در زیر سایه پنل‌های خورشیدی رشد کرده بودند به میزان نصف محصولاتی که به روش سنتی کشت داده شده بودند، به آب نیاز داشتند و به‌خوبی در زیر پنل‌ها رشد می‌کردند. سایه پنل‌های خورشیدی دمای مناسب برای کشاورزانی که در حال برداشت محصولات کشاورزی هستند، می‌باشد. برخی مدعی بودند محصولاتی که در زیر سایه پنل‌های خورشیدی تولید شده بودند طعم بهتری نسبت به محصولات تولیدی به روش سنتی داشتند. شکل ۲ سیستم احداث‌شده در آریزونا را نشان می‌دهد [۶].



شکل ۲. سیستم احداث شده در آریزونا.

دانشگاه ماساچوست (در شهر امهرست) در ایالات متحده آمریکا یک مزرعه دومنظوره همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده را اجرا کرده و گیاهان مختلفی چون فلفل، لوبیا، گشنیز و کلم را زیر پنل‌های خورشیدی پرورش داده است. پژوهشگران این پروژه دریافتند که وجود فواصل ۱ تا ۲ متری بین پنل‌ها موجب می‌شود که این گیاهان تقریباً به همان اندازه حالت تابش کامل آفتاب، تولید داشته باشند [6].



شکل ۳. سیستم احداث شده در شهر امهرست.

همچنین همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در ایالت مینه سوتا گیاهان بومی به‌عنوان بستر باغ‌های خورشیدی، جایگزین چمن و شن شده‌اند. در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ نتیجه اجرای این طرح نشان می‌دهد که در بیش از نیمی از ۱۶۰۰ هکتار از مزارع خورشیدی گیاهان بومی کشت شده در این مناطق علاوه بر اینکه برای گرده‌افشان‌ها مفید هستند موجب زیبایی آن مناطق نیز می‌شوند. افزودن گیاهان به مزارع خورشیدی، مزایای مختلفی برای شرکت‌هایی که هدف آن‌ها کاهش انتشارات کربن و گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است به همراه دارد و گیاهان بومی و زراعی می‌توانند به سلامت گرده‌افشانان کمک کنند. موجوداتی که به‌واسطه از دست‌دادن زیستگاه‌هایشان،

مسمومیت با سموم حشره‌کش، تغذیه ضعیف، بیماری، کاهش تنوع ژنتیکی و عوامل مختلف دیگری در معرض خطر قرار گرفته‌اند با این روش از آسیب نجات می‌یابند [4].



شکل ۴. سیستم احداث شده در ایالت مینه سوتا.

مطالعات انجام شده بر روی بهره‌وری سیستم‌های (Agropv) نشان می‌دهند که تولید مؤثر و همزمان محصولات مقاوم در برابر سایه‌اندازی و تولید انرژی الکتریسیته در یک مزرعه کاملاً امکان‌پذیر است. دینش و پیرس<sup>۱</sup> [7] دریافتند که ارزش برق تولیدی از انرژی خورشیدی به همراه ارزش محصولات زراعی تولید شده، موجب افزایش بیش از ۳۰ درصدی ارزش اقتصادی مزارع در مقایسه با سیستم کشاورزی سنتی می‌شود. پژوش دوپراز<sup>۲</sup> و همکاران [۸] و ماروچی و همکاران<sup>۳</sup> [۹] نشان می‌دهد که در سیستم Agropv پتانسیل بهره‌وری زمین به میزان ۶۰ تا ۷۰ درصد افزایش یافته است. سیستم‌های Agropv برای تولید محصولات تابستانی با بررسی ریزاقلیم‌ها نظیر نوع پوشش گیاهی، شرایط آب و هوایی و اثر جانبی که بر روی کنترل گرما و رطوبت نسبی دارند، مفید خواهند بود. همچنین دریافتند که سیستم‌های Agropv می‌توانند از طریق افزایش بهره‌وری زمین به خصوص در کشورهایی که با محدودیت زمین مواجه هستند، بسیار کارآمد باشند. برای مثال، در کشورهایی نظیر هند، جایی که ظرفیت سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه، در عرض ۴ سال به ۲۶۰۰ مگاوات افزایش یافته است، یکی از مسائل کلیدی به وجود آمده محدودیت زمین است که استفاده از زمین برای کشاورزی و انرژی تجدیدپذیر به‌طور همزمان مطرح شده است.

پنل‌های فتوولتائیک به‌طور معمولی باعث شرایط نامطلوب برای رشد گیاهان می‌شوند به این دلیل با بهینه‌سازی پنل‌های فتوولتائیک می‌توان به سازگاری با اقلیم‌ها دست یافت. برای افزایش سرعت فتوسنتز در زیر سایه، پنل‌ها به‌گونه‌ای طراحی شدند که فاصله پنل‌ها وسیع‌تر و پوششی پراکنده داشته باشند. برای کشت زغال اخته، از طریق این سیستم، بهره‌وری زمین تا ۵۰ درصد افزایش یافته است، در حالی که بازده انرژی ۳۳ درصد نسبت به تولید متعارف و جداگانه غذا و انرژی کاهش داشته است [۱۰؛ ۱۱]. انتخاب نوع مناسب پنل‌های فتوولتائیک برای نصب در مزارع مهم است. انرژی خورشیدی، انرژی موردنیاز سیستم کشاورزی را در داخل و خارج مزارع تأمین می‌کند. همچنین سیستم پمپاژ خورشیدی در کشورهای در حال توسعه، روشی امیدوارکننده برای آبیاری محصولات می‌باشد [12].

<sup>۱</sup>Dinesh & Pearce

<sup>۲</sup>Dupraz

<sup>۳</sup>Marucci

در پروژه‌های که دانشگاه Amity در Noida شمال هند مطالعه کرده است پنل‌های خورشیدی بین محصولات کشاورزی قرار گرفتند تا سایه روی گیاهان را محدود کنند. در این مطالعه ادعا شده است که توسط این سیستم، درآمد کشاورزان هندی ۱۵۰۰ درصد افزایش یافته است [۹؛ ۱۳].

تجهیزات استفاده‌شده در این سیستم که سکایما و ناگاشیما در ژاپن طراحی کرده، در مقابل باد و زلزله مقاوم است. اگر این سیستم در ۲۰ درصد از زمین‌های کشاورزی در ژاپن نصب شود سالانه ۹,۴۷۴ میلیون مگاوات برق تولید می‌کند که حدود ۵۷ درصد تقاضای کل برق ژاپن در سال ۲۰۱۴ می‌باشد [14]. شکل ۵ نمونه سیستم احداث‌شده در ژاپن را نشان می‌دهد. چاد هیگینز [10] در بیانیه‌ای گفت: ترکیب دو فعالیت کشاورزی و تولید انرژی از خورشید در یک محل نیز می‌تواند یک اقدام هوشمندانه باشد.



شکل ۵. سیستم احداث‌شده در ژاپن.

در این پژوهش به معرفی سیستم Agropv پرداخته شده است. این پژوهش در دانشکده شریعتی اجرا شده است. نوآوری این طرح نسبت به سایر روش‌ها استفاده از برق خورشیدی به‌منظور روشن کردن یک فن برای زدودن گرد و خاک از روی پنل و یک فن دیگر برای خنک کردن پنل می‌باشد که این کار منجر به کاهش دمای پنل و همچنین افزایش بازدهی پنل‌های خورشیدی می‌شود. از اینترنت اشیا نیز برای مدیریت برق ایجادشده و صرفه‌جویی در مصرف آب استفاده شده است که با جمع‌آوری آب‌های سطحی حاصل از بارش که توسط کانالی در زیر پنل‌ها قرار داده‌شده، انتقال آب‌ها به مخزن آب صورت می‌گیرد و با استفاده از سنسورهایی در سطح خاک در زمان لازم گیاه را آبیاری می‌کند. در نهایت هدف اجرای یک سیستم Agropv در مقیاس کوچک می‌باشد که در ادامه به تشریح این روش پیشنهادی پرداخته می‌شود.

## مواد و روش

### عوامل مؤثر سیستم Agropv

سه عامل مهم در این سیستم مطرح می‌باشد که بر تولیدات کشاورزی و رشد گیاهان تأثیرگذار خواهند بود که عبارت است از:

- دمای هوا
- نور مستقیم خورشید
- آب موردنیاز.

سایه‌ای که پنل‌های خورشیدی برای زمین کشاورزی ایجاد می‌کنند موجب کاهش دمای محیط در طول روز و افزایش دما در طول شب می‌شود. همچنین به دلیل افزایش فشار بخار آب در سیستم‌های Agropv، محل موردنظر از رطوبت بیشتری برخوردار خواهد بود. چنین راه‌حلی می‌تواند به کشاورزان این فرصت را بدهد تا محصولاتی که قبلاً نتوانسته‌اند پرورش دهند را پرورش دهند. طراحی سیستم‌های فتوولتائیک هدفمند با الزامات خاص مدیریت نور، همراه با کار و انتخاب گونه‌های گیاهی، می‌تواند عملکرد هر دو را تثبیت و بهبود بخشد. دلیل این امر این است که سیستم‌های فتوولتائیک می‌توانند در سایه‌زنی محصولات در دوره‌های بسیار خشک دخالت کند که در آن به احتمال زیاد خرابی محصول رخ می‌دهد. این روش به کشاورزان اجازه می‌دهد تا به دلیل حفاظت از سیستم فتوولتائیک، مصرف آب برای آبیاری را کاهش دهند و از فرسایش بادی محصولات جلوگیری کنند. نیاز آبیاری به دلیل سایه اندک و فرسایش بادی کاهش می‌یابد [۱۵]. در شکل ۶ فلوجارت این سیستم مشاهده می‌شود.



شکل ۶. فلوچارت کلی سیستم.

### جهت‌گیری پنل‌های خورشیدی

ساده‌ترین روش نصب پنل‌های خورشیدی به‌صورت ثابت است که با شیب مناسب نصب بهینه انجام می‌شود. در پیکربندی دقیق‌تر سیستم زراعی از سیستم ردیاب استفاده می‌شود. همچنین پنل‌ها را می‌توانیم طوری تنظیم کنیم تا موقعیت آنها در بهینه‌سازی تولید کشاورزی و تولید برق بهبود یابد. برای پنل‌های خورشیدی در جنوب برای پنل‌های ثابت و در جهت شرقی یا غربی برای پنل‌های با ردیاب کاربرد دارد. کشاورزان می‌توانند برای افزایش یا کاهش سایه و تولید برق، پنل‌ها را مطابق با فصل محصول تنظیم کنند. یکی از اهداف این سیستم‌ها حفظ زمین‌های کشاورزی می‌باشد [۸].

## بحث و نتایج

### مدل پیشنهادی سیستم Agropv

فراتر از مزایای برداشت مواد غذایی و انرژی پاک از یک منطقه، مطالعات بر روی این موضوع نشان می‌دهند که پنل‌های خورشیدی باعث افزایش عملکرد محصولات زراعی می‌شوند. بر این اساس به‌کارگیری پنل‌های خورشیدی می‌تواند به‌طور مؤثر بر روی تولید محصولات کشاورزی اثر کارآمدتری داشته باشد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود:

- 1- با استفاده از این سیستم علاوه بر افزایش تولید محصولات کشاورزی با ذخیره انرژی، انرژی موردنیاز برای مصارف مختلف تأمین می‌شود.
- 2- امکان قرارداد خرید انرژی در شهرک‌های مسکونی و صنعتی که از این سیستم استفاده می‌کنند وجود دارد.
- 3- امکان تغذیه انرژی به اپراتورهای شبکه توزیع برق وجود دارد [۱۶].



شکل ۷. کشاورزی خورشیدی.

تأثیرات مثبت در این سیستم‌ها دوطرفه است. بدین منظور علاوه بر امتیازاتی که پنل‌های خورشیدی برای کشاورزی دارند، عملکرد نیروگاه خورشیدی با وجود محصولاتی که در زیر پنل‌ها در حال رشد هستند بهبود می‌یابد. کشت محصولات در زیر پنل‌ها باعث کاهش دمای محیط و منجر به افزایش بهره‌وری می‌شود. در واقع تنفس گیاهان در زیر پنل‌ها باعث انتشار بخار آب و سپس قطرات آب می‌شود که در نهایت منجر به خنک‌شدن پنل‌های خورشیدی می‌شود [۱۷].

از دیگر مزیت‌های سیستم Agrovoltatics می‌توان به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی، استفاده مضاعف از زمین هم برای کشاورزی و هم بهره‌مندی از انرژی، کاهش فشار بر اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی اشاره کرد. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، برآوردها نشان می‌دهد که برق تولیدشده توسط پنل‌های خورشیدی، ارزش اقتصادی مزارع کشاورزی را بیش از ۳۰ درصد افزایش می‌دهد زیرا باعث افزایش کارایی و عملکرد زمین می‌شود. این امر به‌ویژه در مناطق گرم‌تر صادق است؛ جایی که سایه می‌تواند با کاهش دما و جلوگیری از تبخیر بیش‌ازحد، از محصولات محافظت کند [۱۸].



شکل ۸. Agrovoltaic و کارایی آن

مشخصات مدل پیشنهادی شامل قسمت‌های زیر است:

#### – پنل فتوولتائیک:

پنل‌ها از تعدادی ماژول بهم متصل می‌شوند و از اجتماع پنل‌ها، آرایه فتوولتائیک به وجود می‌آید. پنل‌های فتوولتائیک با زاویه‌ای در مقابل نور خورشید نصب می‌شوند که حداکثر نور خورشید در طول روز به آنها برسد. مشخصات پنل فتوولتائیک در جدول ۱ آمده است [19].

#### جدول ۱. مشخصات پنل فتوولتائیک.

Yingli Solar	شرکت سازنده
20-18-M	مدل
مونوکریستال	نوع پنل
۲۰	حداکثر توان (W)
۱۸/۲۳	ولتاژ عملکرد (V)
۱/۱۰	جریان عملکرد (A)
۲۱/۸۸	ولتاژ مدار باز (V)
۱/۱۷	جریان اتصال کوتاه (A)
۱۱/۰۴٪	راندمان

#### – شارژکنترلر خورشیدی

شارژ کنترلر خورشیدی به‌طور کلی دستگاهی برای تنظیم ولتاژ یا جریان خروجی از پنل‌های خورشیدی، برای محافظت از باتری‌ها در مقابل شارژ بیش از اندازه است. نقش شارژکنترلر خورشیدی در سیستم‌های متصل از شبکه بسیار حائز اهمیت است. در صورتی که تنظیم بر نحوه شارژ باتری وجود نداشته باشد، باتری بر اثر شارژ بیش از حد آسیب خواهد دید [20]. مشخصات شارژ کنترلر در جدول ۲ آمده است.

## جدول ۲. مشخصات شارژکنترلر.

شرکت سازنده	Epever
مدل	LS0512EU
ولتاژ نامی سیستم (V)	۱۲
جریان شارژ نامی (A)	۵
رابط ورودی (USB)	۵VDC/ ۱/۲A
محدوده ورودی ولتاژ باتری (V)	۱۶ ~ ۸

## - باتری خورشیدی

مهم‌ترین قسمت یک سیستم فتوولتائیک منفصل از شبکه، باتری سیستم خورشیدی است که انرژی تولیدشده توسط پنل‌ها در آن ذخیره می‌شوند تا در طول شب و روزهای ابری که نور خورشید به سطح پنل‌ها برخورد نمی‌کند، سیستم فتوولتائیک، توانایی تأمین انرژی الکتریکی مصرفی را بر عهده داشته باشد. مشخصات باتری در جدول ۳ آمده است.

## جدول ۳. مشخصات باتری.

شرکت سازنده	CGB
ولتاژ باتری (V)	۱۲
جریان باتری (A)	۷

## اجرای سیستم Agropv

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود یک سیستم Agropv در مقیاس کوچک مدل‌سازی شده است. این سیستم به گونه‌ای طراحی شده است که کشاورزان به راحتی بتوانند از فرصت‌های جدید برای تولید برق در مزارع همزمان با تولید محصولات کشاورزی استفاده کنند. همچنین این سیستم اجازه می‌دهد سطح مناسبی از نور خورشید به گیاهان زراعی تابیده شود و فضای کافی برای فعالیت ماشین‌آلات کشاورزی وجود داشته باشد. محصولات زراعی به خصوص آنهایی که مقاوم به سایه‌اندازی هستند و به تمام نور خورشید برای فتوسنتز نیاز ندارند می‌توانند از این سیستم بهره‌مند شوند. همچنین ارتفاع مناسب برای نصب پنل‌های خورشیدی با توجه به نوع محصولات کشاورزی تنظیم می‌شود.



شکل ۹. مدل سازی سیستم Agropv

همچنین آب حاصل از بارش باران که از روی پنل‌ها به پایین می‌ریزد از طریق کانال‌هایی به سمت مخزن یا استخرهای نگهداری هدایت می‌شود و در شروع فصل زراعی برای آبیاری محصولات زراعی استفاده می‌شود یا به چاه‌های آب هدایت می‌شود تا از تبخیر آن جلوگیری شود. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود از آب چاه‌های کشاورزی در فصل زراعی می‌توان استفاده دوگانه برای شستشوی پنل‌ها برای زدودن گرد و غبار از روی پنل و هدایت آب حاصل از شستشو پنل‌ها برای آبیاری گیاهان زراعی کشت‌شده در زیر پنل داشته باشیم.



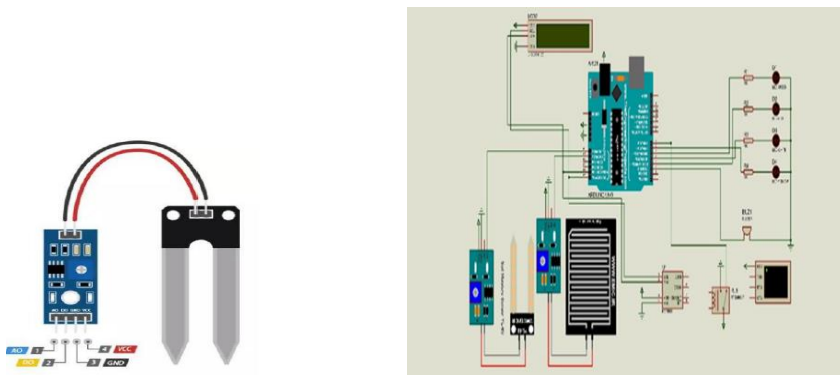
شکل ۱۰. شستشوی پنل و آبیاری گیاهان.

برای جلوگیری از گرم شدن پنل خورشیدی از یک فن برای خنک کردن پنل استفاده شده است تا در روزهای گرم باعث کاهش دمای پنل خورشیدی شود. بسیار مهم است که پنل خورشیدی در جایی نصب شود که جریان هوا وجود داشته باشد.

### اصول کارکرد سیستم آبیاری

سیستم‌های آبیاری از کنترلر و سنسورهای نظیر سنسور سطح آب و رطوبت خاک تشکیل شده‌اند. بخش سنسورها به صورت مداوم حالت‌هایی از خاک مانند میزان رطوبت خاک را می‌سنجد و اطلاعات را به مرکز کنترلر اصلی ارسال می‌کند. این مرکز کنترلر الکترونیکی بر اساس داده‌های دریافتی از سنسورها می‌تواند وظایف مختلفی که از قبل تعریف شده را انجام دهد.

شکل ۱۱ شماتیک سیستم آبیاری هوشمند را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود در این سیستم از یک برد آردوینو UNO به همراه ماژول رطوبت‌سنج خاک (YL-69) و سنسور سطح آب و یک LCD کاراکتری ۱۶\*۲ برای نمایش مقدار رطوبت خاک و میزان سطح آب مخزن (به درصد) استفاده شده است. در این سیستم بازر به پایه ۲ برد متصل و LEDهای مربوطه به پایه‌های ۳ تا ۶ برد متصل و رله به پایه ۷ برد متصل شده است.



شکل ۱۱. سیستم آبیاری هوشمند.

عملکرد این سیستم به گونه‌ای است که سنسور رطوبت، سطح خاک را اندازه‌گیری می‌کند در صورتی که رطوبت خاک کاهش پیدا کرده باشد سنسور داده‌هایی را به مرکز کنترل اصلی خودش (آر دینو) ارسال می‌کند، مرکز کنترل نیز طبق برنامه‌ای که دارد مقدار رطوبت خاک را به صورت درصد بر روی LCD نمایش می‌دهد و زمانی که سنسور خشکی خاک را تشخیص داد در این صورت آلارم به هشدار درمی‌آید و LEDهای مربوطه به حالت چشمک‌زن درمی‌آیند و فرمان روشن شدن پمپ آب را صادر می‌کند در نهایت پمپ آب فعال و کار آب‌رسانی را با جمع‌آوری آب‌های سطحی در سطح پل به گیاه می‌رساند. نحوه آبیاری در این گونه سیستم در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود. سپس بعد از ۱ دقیقه مجدد سنسور رطوبت خاک را می‌سنجد. اگر خاک خشک باشد مجدد این عمل صورت می‌گیرد؛ به این ترتیب گیاهان آب موردنیازشان را دریافت می‌کنند و زمانی که رطوبت خاک مناسب به حد کافی برسد فرمان غیرفعال شدن پمپ صادر می‌شود.



شکل ۱۲. آبیاری هوشمند گیاهان.

بسیاری از موارد نظیر آب و هوا، سایر گیاهان منطقه، pH آب آبیاری، نوع خاک، نوع کود مورد استفاده و در دسترس بودن مواد مغذی می‌توانند بر pH خاک تأثیر بگذارند. pH مناسب خاک برای اطمینان از رشد بهینه گیاه و عملکرد محصول ضروری است زیرا باعث می‌شود مواد مغذی آزادانه در دسترس گیاهان قرار گیرند. در این سیستم از یک سنسور pH برای اندازه‌گیری مکمل‌هایی مانند کودها و تنظیم‌کننده‌های pH خاک استفاده شده است. اندازه‌گیری pH خاک می‌تواند به ما کمک کند تا بدانیم خاک برای رشد گیاه به چه چیزی نیاز دارد.

سه محدوده برای سطح رطوبت خاک در نظر گرفته شده است:

- محدوده خاک خشک ۰ تا ۵۰
- محدوده خاک مرطوب ۵۰ تا ۵۶
- محدوده خاک خیس بیشتر از ۵۶.

برای اندازه‌گیری سطح آب مخزن از سنسور تشخیص سطح مایعات استفاده شده است که میزان سطح آب مخزن را به صورت درصد بر روی نمایشگر نشان می‌دهد.

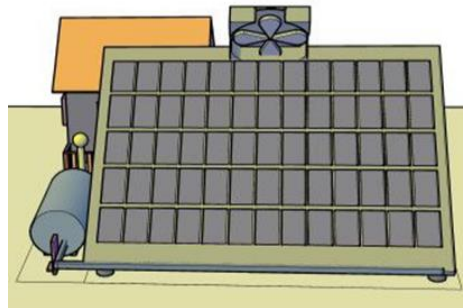
استفاده از فناوری اینترنت اشیا، در آینده‌ای نزدیک، صنعت کشاورزی را متحول خواهد کرد. افزایش کیفیت محصولات، صرفه‌جویی در هزینه‌ها، بهینه‌شدن فرایند تولید و مدیریت منابع و انرژی، تنها برخی از مزایای استفاده از

این تکنولوژی در صنعت کشاورزی است. آبیاری به میزان نامناسب، آسیب‌های زیادی را به محصولات وارد می‌کند. اینترنت اشیا راهکاری مناسب برای مدیریت بهینه آب در کشاورزی است. به کمک این فناوری می‌توانیم میزان منابع موردنیاز برای آبیاری هر محصول را بررسی و با نظارت بر مصرف منابع آب موجود، از اتلاف آن جلوگیری کنیم. در این طرح با استفاده از اینترنت اشیا به‌طور خودکار آبیاری گیاهان در زمان‌های تعیین شده انجام می‌شود. ساختار اینترنت اشیا در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۳. ساختار **IoT**.

همچنین در این سیستم برای زدودن گرد و غبار از روی سطح پنل‌ها از یک فن در بالای پنل‌ها استفاده شده است که این کار منجر به کاهش دمای پنل‌ها و در نتیجه افزایش راندمان پنل‌ها می‌شود. شکل ۱۴ قرارداد فن در بالای پنل برای زدودن گرد و غبار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴. سیستم تمیزکننده پنل.

همچنین در بسیاری از مناطق که مشکلات برق‌رسانی وجود دارد و آب در اعماق زمین وجود دارد که خارج‌سازی آن بسیار مشکل است بنابراین در این مناطق می‌توانیم از پمپ آب خورشیدی استفاده کنیم. به دلیل دور دست بودن این مناطق از شبکه برق امکان انتقال انرژی به این مناطق با هزینه‌های بالایی روبه‌رو است که در بخش کشاورزی مهم‌ترین عامل وجود منابع آب می‌باشد. پمپ آب انرژی مصرفی خود را از انرژی خورشید تأمین می‌کند که برای استخراج آب از اعماق زمین برای ذخیره آب در مخازن استفاده می‌شود. استفاده از انرژی نو مانند خورشید، بهترین راه‌حل برای تأمین برق در بخش کشاورزی و آب آشامیدنی می‌باشد.

## نتیجه گیری

در این پژوهش یک سیستم Agropv مدل سازی و اجرا شده است. مزیتی که اجرای این طرح نسبت به طرح‌هایی که در پژوهش‌های قبلی صورت گرفته این است که با جمع‌آوری آب حاصل از بارش باران روی پنل‌ها و سیستم آبیاری هوشمند رطوبت خاک همواره کنترل می‌گردد. این طرح با بهره‌گیری از سیستم برق خورشیدی، برق موردنیاز برای فعال شدن پمپ را تأمین و با سایه‌ای که پنل‌های خورشیدی روی گیاهان می‌اندازند منجر به خنک‌شدن دما در طول شبانه‌روز برای گیاهانی که در زیر آنها رشد کرده‌اند می‌شود که این امر منجر به افزایش رطوبت هوا نیز می‌گردد. همچنین دیگر مزیت این پژوهش برای زدودن گرد و غبار از روی سطح پنل‌ها استفاده از یک فن در بالای پنل‌ها است که این کار منجر به کاهش دمای پنل‌ها و عملکرد سیستم را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. همچنین با راهکارهایی برای مدیریت در کاهش مصرف آب که با روش اینترنت اشیا صورت گرفته است می‌تواند بخشی از یک راه‌حل پایدار برای برخی از مشکلات ناشی از خشکسالی در کشور باشد. در مجموع با در نظر گرفتن قیمت تضمینی خرید برق تولیدی در سال با فرض طول عمر ۲۵ سال و محاسبه هزینه‌های پنل‌های فتوولتائیک و هزینه‌های ساخت و ساز پنل‌ها نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش پیشنهادی، عملکرد مطلوبی را به همراه خواهد داشت و در نهایت رشد محصولات کشاورزی به‌طور قابل توجهی بهبود پیدا می‌کند.

## References

- [1] Delangizan, S., Papzan, A., & Armand, S. (2022). Design and Development of a Model for Commercialization of Organic Products Based on Fundamental Theory (Case Study: Kermanshah Province). *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, 18(4), 33-48. <https://doi.org/10.48301/kssa.2021.271211.1375>
- [2] Fatemi, M., Monfared, N., Rezaei-Moghaddam, K., & Badzaban, F. (2022). Factors Affecting the Extension and Development of Organic Farming Activities. *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, 18(4), 13-32. <https://doi.org/10.48301/kssa.2021.129161>
- [3] Beck, M., Bopp, G., Goetzberger, A., Obergefell, T., Reise, C., & Schindele, S. (2012, September 24-28). *Combining PV and food crops to Agrophotovoltaic—optimization of orientation and harvest* [Conference session]. Proceedings of the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Frankfurt, Germany. <http://dx.doi.org/10.4229/27thEUPVSEC2012-5AV.2.25>
- [4] Marrou, H., Guillioni, L., Dufour, L., Dupraz, C., & Wery, J. (2013). Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 117-132. <https://doi.org/10.1016/j.agrfor.2013.04.012>
- [5] Perna, A., Grubbs, E. K., Agrawal, R., & Bermel, P. (2019, June 16-21). *Design Considerations for Agrophotovoltaic Systems: Maintaining PV Area with Increased Crop Yield* [Conference session], 46th Photovoltaic Specialists Conference, Chicago, Illinois, USA. <https://doi.org/10.1109/PVSC40753.2019.8981324>
- [6] Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M. A., Minor, R. L., Sutter, L. F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D. T., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak, A. K., Nabhan, G. P., & Macknick, J. E. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2(9), 848-855. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>
- [7] Dinesh, H., & Pearce, J. M. (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 299-308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>

- [8] Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., & Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36(10), 2725-2732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>
- [9] Marucci, A., Zambon, I., Colantoni, A., & Monarca, D. (2018). A combination of agricultural and energy purposes: Evaluation of a prototype of photovoltaic greenhouse tunnel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(1), 1178-1186. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.029>
- [10] Jain, P., Raina, G., Sinha, S., Malik, P., & Mathur, S. (2021). Agrovoltatics: Step towards sustainable energy-food combination. *Bioresourcetechnology Reports*, 15(2), 100766. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100766>
- [11] Katsikogiannis, O. A., Ziar, H., & Isabella, O. (2022). Integration of bifacial photovoltaics in agrivoltaic systems: A synergistic design approach. *Applied Energy*, 309, 118475. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118475>
- [12] Rahman, M. M., Khan, I., Field, D. L., Techato, K., & Alameh, K. (2022). Powering agriculture: Present status, future potential, and challenges of renewable energy applications. *Renewable Energy*, 188(11), 731-749. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.065>
- [13] Malu, P. R., Sharma, U. S., & Pearce, J. M. (2017). Agrivoltaic potential on grape farms in India. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 23, 104-110. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.08.004>
- [14] Sekiyama, T., & Nagashima, A. (2019). Solar Sharing for Both Food and Clean Energy Production: Performance of Agrivoltaic Systems for Corn, A Typical Shade-Intolerant Crop. *Environments*, 6(6), 65. <https://doi.org/10.3390/environments6060065>
- [15] Schindele, S. (2019, April 12). *Agrophotovoltaics: High Harvesting Yield in Hot Summer of 2018* [Press release]. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-release/2019/agrophotovoltaics-high-harvesting-yield-in-hot-summer-of-2018.html>
- [16] Miskin, C. K., Li, Y., Perna, A., Ellis, R. G., Grubbs, E. K., Bermel, P., & Agrawal, R. (2019). Sustainable co-production of food and solar power to relax land-use constraints. *Nature Sustainability*, 2(10), 972-980. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0388-x>
- [17] Rajae, M., & Jalali, M. (2022). Analysis and implementation of the solar tree by determining the optimal angle in Shiraz-Iran. *Journal of Computational & Applied Research in Mechanical Engineering*, 12(1), 95-107. <https://doi.org/10.22061/jcarme.2021.8079.2076>
- [18] Chamara, S. R., & Beneragama, C. (2020). Agrivoltaic systems and its potential to optimize agricultural land use for energy production in Sri Lanka: A Review. *Journal of Solar Energy Research*, 5(2), 417-431. <https://doi.org/10.22059/jser.2020.302720.1154>
- [19] Meriem, C., Boumדיène, B., Asma, C., Mohamed, B. M., & Aicha, S. (2014, October 26-27). *Study of a photovoltaic system connected to the network and simulated by the code PVSYSY* [Conference session]. 2014 North African Workshop on Dielectric Materials for Photovoltaic Systems, Tlemcen, Algeria. <https://doi.org/10.1109/NAWDMPV.2014.6997605>
- [20] Prasad, B. K. K., Reddy, K. P., Rajesh, K., & Reddy, P. V. (2020). Design and simulation analysis of 12.4 kWp grid connected photovoltaic system by using PVSYSY software. *The International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(5), 2859-2864. <https://doi.org/10.35940/ijrte.E6243.018520>