

(OPEN ACCESS)

Energy Consumption Analysis and Lightweight Encryption Evaluation in a CoAP-Based Smart Irrigation System for Kiwifruit Orchards in Gilan Province

Amirhossein Hosseini Khotbeh-Sara¹, Mehdi Sadeghzadeh^{*2}

1. M.Sc. Graduate in Computer Engineering, Software Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: amyrrhsynhsyny703@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: sadeghzadeh1999@gmail.com

Article Info

Article type:
Short Technical Report

Article history:
Received: 11.04.2025
Revised: 03.08.2026
Accepted: 05.31.2026

Keywords:
CoAP,
Energy Consumption,
Kiwifruit Orchard,
Precision Agriculture,
Smart Irrigation

ABSTRACT

Background and Objectives: Although Gilan Province is one of the main kiwifruit production regions in Iran, it faces challenges such as high energy consumption, inefficient water management, and traditional irrigation practices. In this study, an IoT-based smart irrigation system was designed and simulated for kiwifruit orchards in Talesh County to evaluate its effect on irrigation decision-making and energy consumption under encrypted and non-encrypted conditions.

Materials and Methods: In this study, a CoAP-based smart drip irrigation system was designed and simulated on the Contiki 2.7 platform for a 12-year-old kiwifruit orchard in Talesh County. The system consisted of eight soil-moisture sensors, one water-level sensor, and one gateway node arranged in a mesh network to collect environmental data and transmit them to a central server. The main objective was to evaluate the energy consumption of sensor nodes under two scenarios, with and without lightweight encryption, and to examine the feasibility of adding a security layer without imposing significant overhead. For CoAP communication, the node-coap library was used as the client agent, and real-time weather data were obtained from the OpenWeather API to improve simulation accuracy. The irrigation process was fully automated and event-driven, so that irrigation was started or stopped based on water availability and the average soil-moisture level.

Results: Based on the simulation output, the average power consumption of the sensor nodes during each 10-minute irrigation event was 4.859709 mW in the non-encrypted mode and 4.863555 mW in the encrypted mode. Considering an annual yield of 35,000 kg per hectare and 221 irrigation cycles per year, the specific energy consumption in both modes was approximately 2.976 MJ kg⁻¹. Analysis of energy distribution among the sensor states revealed that the receive (RX) state accounted for the largest portion of total energy consumption, followed by the transmit (TX) state. Adding encryption caused only a minor increase in processor and

transmission energy consumption, while the RX energy remained almost unchanged. This demonstrates that the lightweight encryption algorithm introduced negligible energy overhead and can therefore be used safely in constrained sensor networks.

Conclusion: The results showed that adding lightweight encryption to the CoAP-based smart irrigation system did not cause a significant increase in energy consumption, and the difference in power usage between the encrypted and non-encrypted modes was less than 1%. This finding indicates that the computational overhead imposed by encryption was minimal, and that lightweight security mechanisms can improve communication security and data confidentiality without negatively affecting energy efficiency or the operational stability of agricultural wireless sensor networks.

Cite this article: Hosseini Khotbeh-Sara, Amirhossein, Sadeghzadeh, Mehdi. 2026. Energy Consumption Analysis and Lightweight Encryption Evaluation in a CoAP-Based Smart Irrigation System for Kiwifruit Orchards in Gilan Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 33 (2), 211-220.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2026.24253.3828

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تحلیل مصرف انرژی و ارزیابی رمزنگاری سبک در سامانه آبیاری هوشمند مبتنی بر CoAP برای باغ‌های کیوی استان گیلان

امیرحسین حسینی خطبه‌سرا^۱، مهدی صادق‌زاده^{۲*}

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی کامپیوتر گرایش نرم افزار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.
رایانامه: amyrrhsynhsyny703@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.
رایانامه: sadeghzadeh1999@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: گزارش کوتاه علمی	سابقه و هدف: استان گیلان با وجود نقش مهم در تولید کیوی، با مشکلاتی مانند مصرف بالای انرژی، مدیریت غیربهبوده آب و استفاده از سامانه‌های آبیاری سنتی روبه‌رو است. در این پژوهش، یک سامانه آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا برای باغ‌های کیوی تالش طراحی و شبیه‌سازی شد تا اثر آن بر بهبود تصمیم‌گیری آبیاری و مصرف انرژی در حالت‌های رمزنگاری شده و بدون رمزنگاری بررسی شود.
تاریخ دریافت: ۱۳/۰۸/۰۴	
تاریخ ویرایش: ۱۷/۱۲/۰۴	
تاریخ پذیرش: ۱۰/۰۳/۰۵	
واژه‌های کلیدی: آبیاری هوشمند، باغ کیوی، کشاورزی دقیق، مصرف انرژی، CoAP	مواد و روش‌ها: در این پژوهش، یک سامانه آبیاری هوشمند قطره‌ای مبتنی بر پروتکل CoAP در بستر Contiki 2.7 برای یک باغ کیوی ۱۲ ساله در شهرستان تالش شبیه‌سازی شد. سامانه شامل هشت حسگر رطوبت خاک، یک حسگر سطح آب و یک گره دروازه بود که در قالب شبکه مش، داده‌های محیطی را جمع‌آوری و به سرویس‌دهنده مرکزی منتقل می‌کردند. هدف اصلی، ارزیابی مصرف انرژی گره‌های حسگر در دو حالت رمزنگاری سبک و بدون رمزنگاری و بررسی امکان استفاده از لایه امنیتی بدون تحمیل سربار قابل توجه بود. در پیاده‌سازی ارتباطات، از کتابخانه node-coap به عنوان متقاضی پروتکل استفاده شد و برای افزایش دقت شبیه‌سازی، داده‌های آب‌وهوایی به صورت بلادرنگ از OpenWeather API دریافت گردید. فرآیند آبیاری نیز به صورت خودکار و مبتنی بر رویداد انجام شد؛ به طوری که پس از بررسی سطح آب منبع و میانگین رطوبت خاک، فرمان شروع یا توقف آبیاری صادر می‌شد.
	یافته‌ها: بر اساس خروجی نتایج شبیه‌سازی آبیاری هوشمند، توان مصرفی حسگرها در هر نوبت آبیاری ۱۰ دقیقه‌ای، به ترتیب برابر با ۴/۸۵۹۷۰۹ میلی‌وات در حالت بدون رمزنگاری و ۴/۸۶۳۵۵۵ میلی‌وات در حالت رمزنگاری شده اندازه‌گیری شد. و با در نظر گرفتن عملکرد

سالانه ۳۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و آبیاری سالیانه ۲۲۱ نوبت، انرژی ویژه سامانه در هر دو حالت تقریباً برابر با ۲/۹۷۶ مگاژول بر کیلوگرم به دست آمد. تحلیل توزیع توان مصرفی در حالت‌های مختلف گره‌های حسگر نشان داد که بیشترین سهم توان مصرفی مربوط به وضعیت دریافت (RX) بوده و پس از آن، حالت ارسال (TX) قرار دارد. افزودن رمزنگاری تنها افزایش اندکی در مصرف پردازنده و ارسال ایجاد کرد، در حالی که مصرف در حالت دریافت تقریباً بدون تغییر باقی ماند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که افزودن رمزنگاری سبک در سامانه آبیاری هوشمند مبتنی بر CoAP، تأثیر معناداری بر مصرف انرژی ندارد و اختلاف توان مصرفی در دو حالت رمزنگاری و بدون رمزنگاری کم‌تر از یک درصد است. این یافته بیانگر آن است که سربار محاسباتی رمزنگاری بسیار محدود بوده و استفاده از آن می‌تواند بدون کاهش کارایی انرژی، امنیت و پایداری عملیاتی شبکه‌های حسگر بی‌سیم کشاورزی را بهبود دهد.

استناد: حسینی خطبه‌سرا، امیرحسین، صادق‌زاده، مهدی (۱۴۰۵). تحلیل مصرف انرژی و ارزیابی رمزنگاری سبک در سامانه آبیاری هوشمند مبتنی بر CoAP برای باغ‌های کیوی استان گیلان. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۳ (۲)، ۲۲۰-۲۱۱.

DOI: 10.22069/jwsc.2026.24253.3828



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

در سال‌های اخیر، بحران جهانی کم‌آبی و پیامدهای تغییر اقلیم، ضرورت بهره‌برداری بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی را دوچندان کرده است (۱). در این میان، آبیاری هوشمند به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر برای مدیریت دقیق و به‌موقع منابع آب، به‌ویژه در تولید محصولات حساس به تنش آبی مانند کیوی، مطرح شده است (۲). درختان کیوی، به‌دلیل نیاز آبی نسبتاً بالا و حساسیت به تنش آبی در مراحل بحرانی رشد، از جمله بازشدن جوانه‌ها، گل‌دهی و رشد میوه، به پایش مستمر رطوبت خاک و مدیریت هوشمند آبیاری نیاز دارند (۳).

استان گیلان به‌عنوان یکی از قطب‌های اصلی تولید کیوی در کشور، با چالش‌هایی نظیر مصرف بالای انرژی، مدیریت غیربهینه منابع آبی و فقدان زیرساخت‌های فناورانه در سامانه‌های آبیاری سنتی مواجه است. مطالعات تطبیقی نشان می‌دهند که بهره‌وری انرژی در باغات کیوی این استان، به‌مراتب پایین‌تر از استان مازندران و حتی استان شانشی در کشور چین گزارش شده است (۲).

در این پژوهش، یک سامانه آبیاری هوشمند تحت فشار (قطره‌ای)، مبتنی بر پروتکل *CoAP* در بستر *Contiki 2.7* (یک پلتفرم سبک و متن‌باز برای دستگاه‌های کم‌منبع، شامل گره‌هایی با محدودیت در انرژی، حافظه و توان پردازشی، در حوزه اینترنت اشیاء و شبکه‌های حسگر بی‌سیم) طراحی و شبیه‌سازی شد. در این سامانه، الگوریتم بازگشتی پیش‌فرض *CoAP* برای مدیریت ارتباطات استفاده شد و میزان انرژی مصرفی گره‌های حسگر در دو سناریو مختلف (رمزنگاری و بدون رمزنگاری) مورد سنجش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و استراتژی آبیاری: در شبیه‌سازی آبیاری قطره‌ای هوشمند یک باغ کیوی ۱۲ ساله (۱۶ درخت و در دو ردیف) به طول جغرافیایی $48^{\circ}12'91''E$ و عرض جغرافیایی $38^{\circ}03'09''N$ ، سامانه‌ای طراحی شده است که شامل یک شبکه متشکل از هشت حسگر رطوبت خاک (۵ متر به ۵ متر در عمق ۳۰ سانتی‌متری در شبیه‌سازی)، یک حسگر اندازه‌گیری سطح آب چاه و یک روتر (گره دروازه یا مرکزی برای رابط بین حسگرها و سرویس‌دهنده مرکزی) می‌باشد.

پروتکل‌های ارتباطی و شبیه‌سازی: در این شبکه، گره‌های حسگر با فاصله ۵ متر از یکدیگر قرار گرفتند تا ارتباط میان حسگرها و روتر به‌صورت واقع‌بینانه شبیه‌سازی شود. برای پیاده‌سازی ارتباطات *CoAP*، از کتابخانه *node-coap* در محیط *Node.js* به‌عنوان متقاضی پروتکل استفاده شد. هم‌چنین، به‌منظور افزایش دقت شبیه‌سازی و انطباق بهتر نتایج با شرایط واقعی، داده‌های آب‌وهوایی از طریق *OpenWeather API*^۱ دریافت و در سامانه به‌کار گرفته شد.

برای تولید داده‌های شبیه‌سازی‌شده با توزیع نرمال، از الگوریتم استاندارد *Box-Muller* استفاده شد. این الگوریتم امکان تولید داده‌های شبه‌واقعی با میانگین $1/283$ و انحراف معیار $0/673$ را فراهم ساخت که برای مدلسازی سطوح متغیر رطوبت خاک یا سطح آب زیرزمینی بسیار مناسب بود (۲).

رابطه ۱، نحوه تولید عدد تصادفی استاندارد نرمال را در این الگوریتم نشان می‌دهد:

1- api.openweathermap.org/data/2.5/weather

$$Z_0 = \sqrt{-2 \ln U_1 \cos(2\pi U_2)} = R \cos(\theta) \quad (1)$$

همکاران (۲۰۱۷) استخراج گردید، درحالی که عملکرد سالانه محصول (۳۵ تن بر هکتار) از داده واقعی باغ مورد مطالعه در شهرستان تالش روستای خطبه‌سرا به‌دست آمد.

برای تبدیل انرژی الکتریکی از واحد کیلو وات ساعت به مگاژول، از ضریب معادل انرژی برق استفاده شد که هر یک کیلو وات ساعت معادل ۱۱/۹۳ مگاژول است (۲).

رابطه ۲ انرژی ویژه^۱ را محاسبه می‌کند که نشان می‌دهد برای تولید هر کیلوگرم محصول در واحد سطح (یک هکتار)، چند مگاژول انرژی مصرف شده است. این مقدار از تقسیم کل انرژی ورودی به زمین (بر حسب مگاژول بر هکتار) بر میزان عملکرد محصول (بر حسب کیلوگرم بر هکتار) به‌دست می‌آید (۲).

در معادله ۱، پارامتر Z_0 عددی تصادفی با توزیع نرمال است که به‌عنوان خروجی اصلی استفاده می‌شود. عدد U_1 یک عدد تصادفی بین صفر تا یک است که برای محاسبه شعاع تصادفی به‌کار می‌رود. عدد U_2 عددی تصادفی در همان بازه است که زاویه تصادفی را مشخص می‌کند. از U_1 مقدار R به‌دست می‌آید که همان شعاع است، و از U_2 مقدار θ که همان زاویه است، محاسبه می‌شود. در نهایت، این مقادیر در کنار هم قرار می‌گیرند تا عدد نهایی Z_0 تولید شود.

محاسبه انرژی ویژه: برای محاسبه و تحلیل شاخص‌های انرژی در سامانه آبیاری هوشمند کیوی، از ترکیب داده‌های شبیه‌سازی و داده‌های واقعی استفاده شد. داده‌های مربوط به انرژی کل ورودی و انرژی ویژه استان گیلان از پژوهش سلطان علی و

$$\text{Specific energy } (E_s, \text{ MJ kg}^{-1}) = \left(\frac{\text{Total energy input, MJ ha}^{-1}}{\text{Kiwifruit yield, kg ha}^{-1}} \right) \quad (2)$$

انرژی ویژه یا مصرف ویژه انرژی: مقدار محصول کیوی برداشت‌شده به‌ازای هر هکتار زمین (MJ/kg).
میزان انرژی مصرف شده برای تولید هر کیلوگرم کیوی.

داده‌های مورد نیاز برای محاسبه و مقایسه انرژی ویژه آبیاری صرفه جویانه (قطره‌ای) استان گیلان با داده عملکرد محصول سالیانه باغ مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

Specific energy (MJ/kg): انرژی ویژه یا مصرف ویژه انرژی
میزان انرژی مصرف شده برای تولید هر کیلوگرم کیوی.

Total energy input (MJ/ha): کل انرژی ورودی
مجموع کل انرژی‌های مصرف شده در فرآیند تولید کیوی به ازای هر هکتار زمین.
Kiwifruit yield (kg/ha): عملکرد کیوی

جدول ۱- مقادیر انرژی و عملکرد محصول.

Table 1. Energy and yield parameters.

منبع Source	مقدار Value	واحد Unit	شاخص انرژی Indicator
(8)	104.156.03	MJ/ha	انرژی کل ورودی Total Energy Input
(8)	4.01	MJ/kg	انرژی ویژه Specific Energy
This study	35000	Kg/ha	عملکرد سالانه محصول Annual Yield

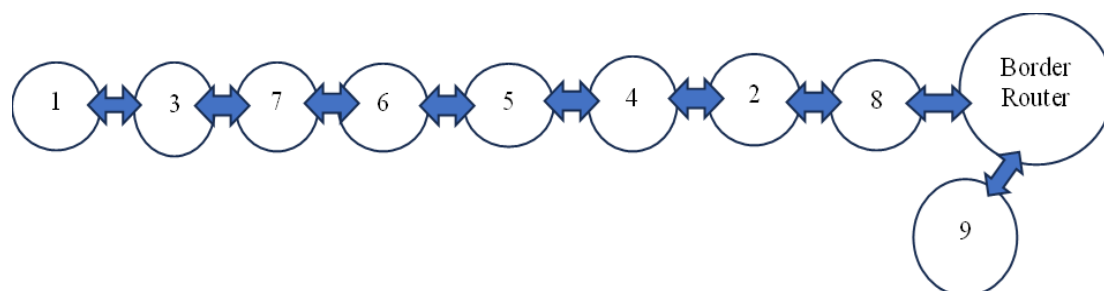
انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم کشاورزی فراهم می‌کند.

توپولوژی شبکه سامانه پیشنهادی که در شکل ۱ نشان داده شده است، از مجموعه‌ای از دستگاه‌های کوچک شامل حسگرها (رطوبت خاک و سطح آب چاه) و دروازه هوشمند^۸ تشکیل شده است که از طریق شبکه‌های کم‌ظرفیت و با تأخیر بالا^۹ با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. در این ساختار، از پروتکل مسیریابی *RPL*^{۱۰} به منظور مدیریت انتقال داده‌ها در این محیط‌های محدود استفاده می‌شود. اتصال این شبکه به اینترنت از طریق دروازه هوشمند انجام می‌گیرد که نقش ریشه *RPL* را نیز ایفا می‌کند (۴).

برای افزایش قابلیت اطمینان ارتباطات در سامانه آبیاری هوشمند مبتنی بر *CoAP*^۱، از مکانیزم بازگشتی نمایی^۲ پیش‌فرض این پروتکل استفاده شد؛ به گونه‌ای که در صورت عدم دریافت پیام تأیید^۳، بسته ارسالی با فواصل زمانی افزایشی و تا تعداد محدودی تکرار می‌شود. این روش با تنظیم زمان بازارسال بر پایه شاخص‌هایی مانند *RTO*^۴ و *RTT*^۵، سبب کاهش ازدحام شبکه، بهبود پایداری ارتباطات و کنترل مصرف انرژی در گره‌های کم‌منبع می‌شود. همچنین، برای تأمین امنیت ارتباط میان متقاضی و سرویس‌دهنده، از چارچوب سبک *CSFSA*^۶ به عنوان جایگزینی مناسب برای *DTLS*^۷ استفاده شد؛ روشی که با تکیه بر کلید محرمانه از پیش اشتراک‌گذاری شده و شناسه دنباله‌ای، امکان برقراری ارتباط امن را با سربرار محاسباتی و ارتباطی پایین فراهم می‌سازد. به‌طورکلی، ترکیب مکانیزم بازگشتی نمایی و روش *CSFSA* در بستر *CoAP*، راهکاری مناسب برای ارتقای هم‌زمان پایداری، امنیت و بهره‌وری

- 1- Constrained Application Protocol
- 2- Exponential Backoff Mechanism
- 3- Acknowledgement
- 4- Retransmission Timeout
- 5- Round-Trip Time
- 6- CoAP Secure Framework for Smart Agriculture
- 7- Datagram Transport Layer Security

- 8- Gateway
- 9- Low-Power and Lossy Networks
- 10- Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks



شکل ۱- موقعیت گره‌های حسگر در شبیه‌ساز Cooja و نحوه ارتباط بین آن‌ها را نشان می‌دهد.

Figure 1. The locations of sensor nodes in the Cooja simulator and the communication links between them.

روش‌های ارزیابی و تحلیل: با استفاده از رابطه ۳ و سیستم عامل Contiki نسخه ۲/۷ محاسبه مصرف انرژی حسگرها در شبیه ساز COOJA گردید.

$$PowerConsumption = \frac{EnergestValue \times Current \times Voltage}{RTIMER_ARCH_SECOND \times RunTime} \quad (3)$$

پیش‌فرض پروتکل CoAP انجام شد. توان مصرفی حسگرها در هر نوبت آبیاری ۱۰ دقیقه‌ای به ترتیب ۴/۸۵۹۷۰۹ میلی‌وات در حالت بدون رمزنگاری و ۴/۸۶۳۵۵۵ میلی‌وات در حالت رمزنگاری شده اندازه‌گیری شد. هم‌چنین، با در نظر گرفتن ۲۲۱ نوبت آبیاری سالانه و عملکرد ۳۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار، مشخص شد که افزودن رمزنگاری تأثیر محسوسی بر مصرف انرژی ندارد. تحلیل توان مصرفی گره‌ها نیز نشان داد که بیش‌ترین سهم مربوط به حالت دریافت (RX) و سپس ارسال (TX) است و رمزنگاری تنها افزایش ناچیزی در مصرف پردازنده و ارسال ایجاد می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، یک سامانه آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء برای باغ‌های کیوی طراحی و در محیط COOJA و Contiki 2.7 شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که با استفاده از پروتکل CoAP، مصرف انرژی گره‌ها پایین بوده و انرژی حالت ارسال کم‌تر از حالت دریافت است. هم‌چنین، به‌کارگیری

مقدار EnergestValue نشان‌دهنده زمان فعالیت یک مؤلفه خاص مانند پردازنده یا رادیو است که بر حسب تعداد تیک‌های زمانی ثبت می‌شود. جریان مصرفی میزان جریان الکتریکی مورد استفاده توسط مؤلفه در حال فعالیت بوده و در گره‌های Sky معمول برای پردازنده ۱/۸ میلی‌آمپر، برای رادیو در حالت ارسال ۱۷/۴ میلی‌آمپر و در حالت دریافت ۱۸۰۸ میلی‌آمپر در نظر گرفته می‌شود. ولتاژ تغذیه ۳ ولت است. RTIMER_ARCH_SECOND بیانگر تعداد تیک‌های زمانی در هر ثانیه است که در SkyMote برابر با ۳۲/۷۶۸ می‌باشد. در نهایت، RunTime مدت‌زمان کلی اجرای برنامه یا زمان کل شبیه‌سازی است.

نتایج و بحث

انرژی ویژه سامانه پیشنهادی برابر با ۲/۹۷۶ مگاژول بر کیلوگرم به‌دست آمد که در مقایسه با مقدار مرجع استان گیلان (۴/۰۱ مگاژول بر کیلوگرم) حدود ۲۶ درصد کم‌تر بود. شبیه‌سازی در محیط Contiki 2.7 و با استفاده از الگوریتم بازگشتی

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در ارتباط با انجام، تحلیل، نگارش و انتشار این مقاله هیچ‌گونه تعارض منفعی، اعم از مالی، شخصی، سازمانی یا حرفه‌ای، وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: آماده‌سازی و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات و تحلیل‌ها، تهیه پیش‌نویس اولیه مقاله و مشارکت در بازبینی نهایی نسخه اصلاح‌شده. نویسنده دوم: طراحی کلی پژوهش و روش‌شناسی، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، مشارکت در تحلیل‌ها و تفسیر نتایج و نظارت علمی بر اجرای تحقیق.

اصول اخلاقی

نویسندگان تأیید می‌کنند که اصول اخلاقی در انجام، نگارش و انتشار این پژوهش رعایت شده است. همچنین تمامی نویسندگان از محتوای مقاله، ترتیب نویسندگان، مسئولیت‌های علمی مربوط به مقاله و ارسال آن برای انتشار آگاهی داشته و آن را تأیید می‌نمایند.

حمایت مالی

این پژوهش بدون دریافت هر گونه حمایت مالی از سازمان‌ها، نهادها، شرکت‌ها یا مؤسسات دولتی و غیردولتی انجام شده است و هزینه‌های مربوط به اجرای تحقیق توسط نویسندگان تأمین شده است.

آبیاری هوشمند و بهینه‌سازی مصرف آب، موجب کاهش ۲۶ درصدی انرژی ویژه در باغ مورد مطالعه نسبت به میانگین استان گیلان شد. این یافته‌ها بیانگر نقش مؤثر آبیاری هوشمند در بهبود بهره‌وری آب و انرژی در باغ‌های کیوی است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان بدین‌وسیله از همکاری مالک باغ مورد مطالعه برای فراهم‌سازی امکان انجام بررسی‌های میدانی و استفاده از اطلاعات مربوط به باغ کیوی، و نیز از تمامی افرادی که در تکمیل داده‌ها و پیشبرد این پژوهش یاری‌رسان بوده‌اند، صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایند.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول و داده‌های میدانی به‌روزرسانی‌شده مربوط به باغ کیوی مورد مطالعه است. محل اجرای پژوهش در استان گیلان، شهرستان تالش، روستای خطبه‌سرا واقع شده است. بخشی از اطلاعات پژوهش بر اساس اندازه‌گیری‌ها، مشاهدات و داده‌های مرتبط با باغ مورد مطالعه، از جمله اطلاعات باردهی و داده‌های به‌روزرسانی‌شده سال ۱۴۰۵ و بخشی دیگر بر پایه منابع علمی و مقالات مرجع استفاده‌شده در متن مقاله تهیه شده است. داده‌های تکمیلی این پژوهش در صورت نیاز و با رعایت ملاحظات علمی، از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول قابل دسترسی است.

منابع

1. Francia, M., Giovanelli, J., & Golfarelli, M. (2022). Multi-sensor profiling for precision soil-moisture monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, 106924.
2. Zhang, Y., Sun, H., Ge, M., Zhao, H., Hu, Y., Cui, C., & Wu, Z. (2023). Difference in energy input and output in agricultural production under surface irrigation and water-saving irrigation: a case study of Kiwi Fruit in Shaanxi. *Sustainability*, 15(4), 3114.
3. Soltanali, H., Nikkhah, A., & Rohani, A. (2017). Energy audit of Iranian kiwifruit production using intelligent systems. *Energy*, 139, 646-654.
4. Khelifa, B., Amel, D., Amel, B., Mohamed, C., & Tarek, B. (2015, July). Smart irrigation using internet of things. In *2015 Fourth International Conference on future generation communication technology (FGCT)* (pp. 1-6). IEEE.
5. Askarifard, A., Amiri, A., & Lashtneshai, S. A. (2021). Analysis and forecasting of groundwater level time series using the autoregressive stochastic process (Case study: Talesh region). Lahijan: Department of Water Engineering, Islamic Azad University, Lahijan Branch. [Translated in Persian]
6. Swarna, M., & Godhvari, T. (2021). Enhancement of CoAP based congestion control in IoT network-a novel approach. *Materials Today: Proceedings*, 37, 775-784.
7. Yascaribay, G., Huerta, M., Silva, M., & Clotet, R. (2022). Performance evaluation of communication systems used for internet of things in agriculture. *Agriculture*, 12(6), 786.
8. Jain, R. K. (2023). Experimental performance of smart IoT-enabled drip irrigation system using and controlled through web-based applications. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100215.
9. Alyahya, S., Khan, W. U., Ahmed, S., Marwat, S. N. K., & Habib, S. (2022). Cyber secure framework for smart agriculture: Robust and tamper-resistant authentication scheme for IoT devices. *Electronics*, 11(6), 963.