Scientific Journal for Publishing in Health Research and Technology

Volume 1, Issue 2, 2025, Pages: 180-188

Journal homepage: https://sjphrt.com.ly/index.php/sjphrt/en/index

Design of an Intelligent Irrigation System Based on Arduino Uno and RTC Module to Reduce Energy Consumption and Automate Operation

Fathalla.I. Solman [1*], Zead Hamad.Abdulkarim [2]
[1,2] Department of Electrical and Electronic Engineering, College of Engineering Technologies-AI Qubbah, Libya.

تصميم نظام ري ذكي يعتمد على *Arduino Uno* ووحدة *RTC* لتقليل استهلاك الطاقة واتمتة التشغيل

فتح الله إبراهيم سيلمان[1 *]، زياد عبد الكريم حمد[2]
[2،1] قسم الهندسة الكهربائية والالكترونية، كلية التقنيات الهندسية-القبة، ليبيا

*Corresponding author: Fathall.i.adam1986@gmail.com

Received: September 20, 2025	Accepted: December 03, 2025	Published: December 18, 2025

Abstract:
Design and development of an intelligent irrigation system based on the Arduino Uno microcontroller and a Real-Time Clock (RTC) module is the objective of this research. This system enables highly precise scheduling of irrigation operations, including the specification of days, hours, minutes, and even seconds. The system allows the pump to operate automatically according to a predefined weekly schedule without any human intervention. It employs an embedded control algorithm that provides high flexibility in managing irrigation timings, resulting in a more disciplined and reliable process compared to conventional systems that require manual operation and consume considerable time and effort. Practical evaluation using a 1-horsepower pump operated for 3 hours per day over a week demonstrated the system's ability to fully comply with the programmed schedule while maintaining operational stability. A comparative assessment showed that the intelligent system achieved greater energy savings by preventing random operation and ensuring the pump runs only when needed. Furthermore, the system relies on the RTC module to maintain precise timekeeping even during power outages, ensuring uninterrupted scheduling. The intelligent system reduced daily energy consumption from 2.2 kWh to 1.8 kWh, achieving an annual energy saving of 146 kWh/year and an improvement rate of 18%. This low-cost, scalable solution is suitable for greenhouses, home gardens, and small farms, with future potential for integration with soil-moisture sensing systems or Internet of Things (IoT) technologies.

Keywords: Arduino Uno, intelligent irrigation system, RTC, electric pump, agricultural automation, time scheduling.

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

الملخص
يهدف هذا البحث إلى تصميم وتطوير نظام ري ذكي يعتمد على المتحكم الدقيق Arduino Uno ووحدة التوقيت الحقيقي(RTC) ، مما يتيح جدولة عمليات الري بدقة عالية تشمل تحديد الأيام والساعات والدقائق وحتى الثواني .يتيح النظام برمجة المضخة للعمل تلقائياً وفق جدول أسبوعي محدد دون أي تدخل بشري . يعتمد النظام على خوارزمية تحكم مدمجة تسمح بمرونة عالية في إدارة مواعيد الري، مما يجعل العملية أكثر انضباطاً وموثوقية مقارنة بالأنظمة التقليدية التي تتطلب تشغيلاً يدوياً وتستهلك وقتاً وجهداً كبيرين . أثبتت التجربة العملية، التي تضمنت تشغيل مضخة بقدرة 1 حصان لمدة 3 ساعات يومياً على امتداد أسبوع، قدرة النظام على الالتزام التام بالجدولة الزمنية المبرمجة مع الحفاظ على استقرار التشغيل .وأظهرت مقارنة أن النظام الذكي حقق وفراً أكبر في استهلاك الطاقة من خلال منع التشغيل العشوائي وضمان تشغيل المضخة فقط عند الحاجة .إضافة إلى ذلك، يعتمد النظام على وحدة RTC للحفاظ على دقة الوقت حتى في حال انقطاع التغذية الكهربائية، مما يضمن استمرارية الجدولة دون خلل .انخفض الاستهلاك اليومي للطاقة في النظام الذكي من 2.2 kWhفي النظام التقليدي إلى 1.8 kWh، ليبلغ التوفير السنوي في الطاقة 146 kWh/yearوبنسبة تحسين تعادل 18 % يوفر النظام حلاً منخفض التكلفة وسهل التوسع ومناسباً للبيوت الزراعية، الحدائق المنزلية، والمزارع الصغيرة، مع إمكانية دمجه مستقبلاً مع أنظمة استشعار رطوبة التربة أو تقنيات إنترنت الأشياء.

الكلمات المفتاحية: Arduino Uno ، نظام ري ذكي، RTC، المضخة الكهربائية، الأتمتة الزراعية، الجدولة الزمنية.

1. المقدمة

تُعدّ إدارة الموارد المائية من أبرز التحديات التي تواجه النظم الزراعية الحديثة، خاصة في البيئات التي تعاني من شح المياه وارتفاع معدلات الهدر الناجم عن الاعتماد على أساليب الري التقليدية (فتحي وآخرون، 2025). لا تزال غالبية المزارع والحدائق المنزلية تشغل المضخات يدوياً، مما يؤدي إلى ري غير منتظم بسبب العوامل البشرية كالنسيان أو الانشغال أو ضعف المراقبة الدقيقة لفترات الري (الشيخ وآخرون، 2022). ومع الانتشار المتزايد لتقنيات التحكم الذكي منخفضة التكلفة، أصبح بالإمكان تطوير حلول عملية لمعالجة هذه الإشكاليات وتقديم بديل فعال لأنظمة الري التقليدية (الشيخ وآخرون، 2022). في هذا السياق، يهدف هذا البحث إلى تقديم نظام ري ذكي يعتمد على المتحكم Arduino Uno ووحدة التوقيت الحقيقي (RTC)، مما يتيح تنظيم عمليات الري وفق جدول أسبوعي دقيق يحدد الأيام والساعات والدقائق والثواني. يعمل النظام على تشغيل المضخة تلقائياً في الأوقات المبرمجة دون تدخل بشري مباشر، الأمر الذي يعزز انتظام الري ويضمن استمرارية التشغيل حتى في ظروف غياب المستخدم.

يمتاز هذا النظام بمرونة عالية في ضبط فترات التشغيل، حيث يمكن برمجة أي يوم من أيام الأسبوع للري لفترة معينة ثم التوقف تلقائياً، مما يساهم في تحسين كفاءة استهلاك المياه والطاقة (لزعر، 2023). تلعب وحدة RTC دوراً محورياً في هذا التصميم لقدرتها على الحفاظ على دقة التوقيت حتى عند انقطاع التيار الكهربائي، مما يضمن موثوقية النظام على المدى الطويل (لزعر، 2023). يُعدّ هذا العمل خطوة نحو دمج مفاهيم الأنظمة المضمنة والتحكم الذكي في الزراعة، كونه يوفر حلاً منخفض التكلفة وسهل التطبيق (إدارة مستدامة للموارد المائية، 2016). يقترح البحث إطاراً تصميمياً وتطبيقياً لنظام ري آلي يمكن تطويره مستقبلاً ليشمل إضافات مثل حساس رطوبة التربة والتحكم عبر الهاتف الذكي أو دمجه ضمن شبكات إنترنت الأشياء (IoT)، ليصبح جزءاً من بنية الري الذكي المتقدمة (إدارة مستدامة للموارد المائية، 2016).

2. المشكلة البحثية

يعاني نظام الري التقليدي من استهلاك مرتفع للطاقة الكهربائية وهدر كبير للمياه، بالإضافة إلى الجهد والوقت الذي يبذله المستخدم لتشغيل المضخات ومتابعة الري يدوياً. تتطلب هذه الفجوة وجود نظام ذكي قادر على إدارة عمليات الري تلقائياً وفق أوقات محددة، بهدف تقليل الهدر وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة والمياه وتخفيف العبء على المستخدم.

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

3. أهداف البحث

1. تصميم وتطوير نظام ري ذكي يعتمد على المتحكم Arduino Uno ووحدة الوقت الحقيقي RTC للتحكم التلقائي في تشغيل وإيقاف المضخات.
2. تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية وتحسين كفاءة استخدام المياه في عمليات الري.
3. توفير الوقت والجهد على المستخدم من خلال أتمتة عمليات الري وفق جدول زمني محدد بالدقائق والثواني والأيام.
4. تحقيق إدارة مائية دقيقة تساهم في زيادة إنتاجية المحاصيل وجودتها.
5. تقديم نموذج عملي قابل للتطبيق في البيئات الزراعية المختلفة لتسهيل مراقبة الري وتحسين الاستدامة.

4. أهمية البحث

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من قدرتها على تطوير نظام ري ذكي يقلل من استهلاك المياه والطاقة الكهربائية، ويوفر الوقت والجهد على المستخدم، مع تحسين إدارة الموارد المائية وزيادة إنتاجية المحاصيل. كما يقدم البحث نموذجاً عملياً قابلاً للتطبيق في مختلف البيئات الزراعية، مما يساهم في تعزيز الاستدامة وكفاءة العمليات الزراعية.

5. الأهمية النظرية للتطبيقات الذكية في نظم الري

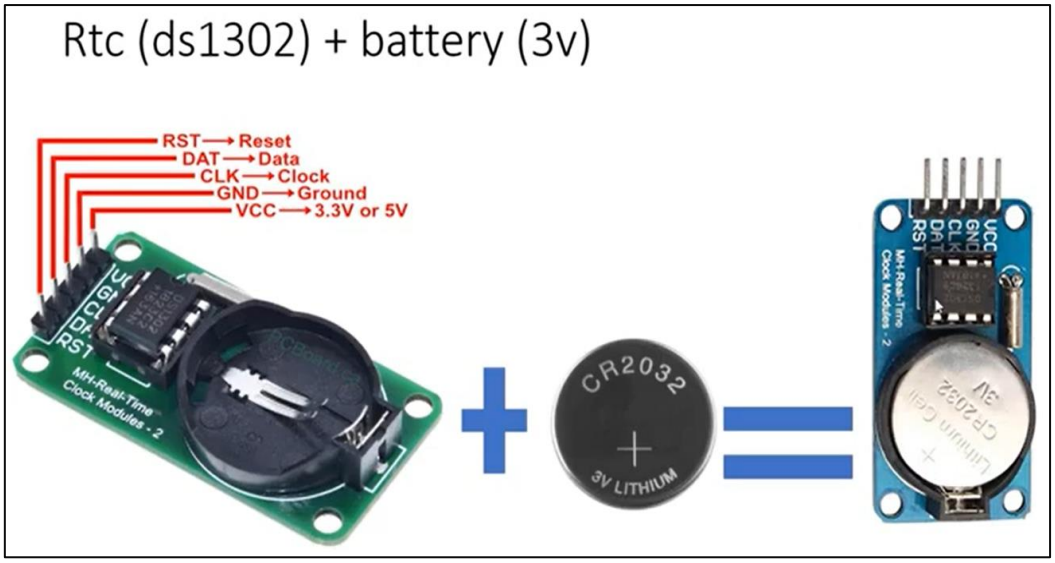
يمثل اعتماد أنظمة الري الذكية خطوة محورية نحو تحسين إدارة الموارد المائية والطاقة، خصوصاً في ظل التحديات المتزايدة لندرة المياه وارتفاع تكاليف التشغيل. تؤكد الدراسات أن تطبيق تقنيات الري المحوسب يسهم في ترشيد المياه وتقليل الفاقد بشكل ملحوظ، مع رفع كفاءة التشغيل وتحقيق إنتاجية أعلى، وهو ما أشار إليه (الجمل و فرج، 2017) في دراستهما حول تأثير تطوير شبكات الري في مصر. كما توضح دراسات أخرى أهمية دمج الأدوات الذكية كالمتحكمات الدقيقة لتحقيق عمليات ري مبرمجة بدقة، مما يقلل من التشغيل غير الضروري للمضخات ويخفض استهلاك الطاقة. وقد بيّن (عبد الحكيم وهالل، 2022) أن الجدولة الذكية للري ترفع كفاءة استخدام المياه وتحد من الهدر، خاصة عند استخدام أنظمة ري تعتمد على تحكم إلكتروني دقيق. وعلى مستوى الممارسات الزراعية الحديثة، تشير تقارير إلى أن أنظمة الري الذكي تتيح وفورات تتجاوز 50% من استهلاك المياه مقارنة بالري التقليدي، بالإضافة إلى دورها في تقليل الجهد البشري وتعزيز الاستدامة الزراعية (تقرير صحيفة الدستور). بناءً على ما سبق، يأتي هذا البحث ليسد فجوة معرفية مهمة بتقديمه نموذجاً عملياً يعتمد على Arduino Uno ووحدة RTC لتحقيق جدولة دقيقة لعمل المضخات وفق الأيام والساعات والدقائق والثواني. يهدف هذا النموذج إلى تعزيز كفاءة الري، خفض استهلاك الطاقة، وتقليل الهدر، مع إمكانية تطبيقه على نطاق واسع في البيئات الزراعية الحديثة.

6.مكوّنات النظام والتوصيلات الكهربائية

1.6. وحدة RTC

يوضح الشكل (1) وحدة RTC المستخدمة في النظام، وهي اختصار لعبارة Real Time Clock (الساعة الحقيقية). تُعد هذه الوحدة من المكونات الإلكترونية الأساسية التي تُستخدم مع المتحكمات الدقيقة مثل Arduino للحفاظ على الوقت والتاريخ بدقة عالية حتى في حال انقطاع التيار الكهربائي. تتميز هذه الوحدة بقدرتها على تخزين معلومات الزمن الحقيقي (السنة، الشهر، اليوم، الساعة، الدقيقة، والثانية)، وتستمر في العمل بفضل احتوائها على بطارية صغيرة (غالباً من نوع CR2032) تسمح لها بالحفاظ على التوقيت حتى عند فصل مصدر التغذية عن المتحكم. تقوم وحدة RTC بإرسال بيانات الوقت بدقة عالية عبر بروتوكول I2C (الرشيد وآخرون، 2020)، مما يمكّن الأنظمة المعتمدة عليها من تنفيذ المهام المجدولة تلقائياً مثل تشغيل المضخات أو الإضاءة أو أي أجهزة أخرى تعتمد في عملها على توقيت محدد مسبقاً.

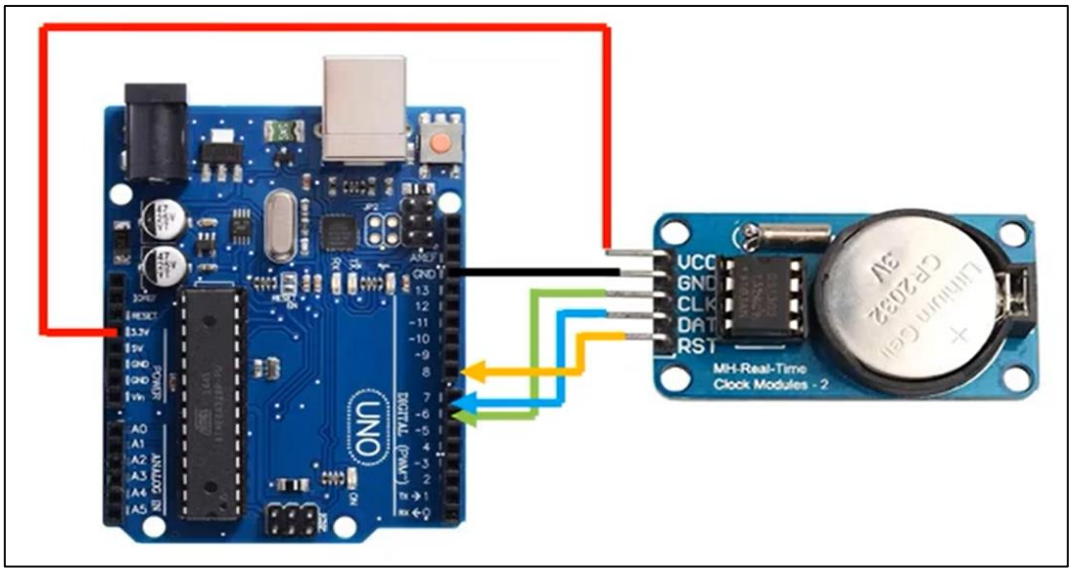
 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



شكل (1) يبين وحدة RTC المستخدمة في النظام.

2.6. توصيل وحدة الـ RTC مع لوحة الأردوينو Uno

يوضح الشكل (2) توصيل لوحة Arduino Uno ووحدة الساعة الرقمية RTC المعتمدة في النظام (العمري والغامدي، 2023). يهدف هذا التوصيل إلى تمكين النظام من قراءة الوقت والتاريخ بدقة عالية واعتمادها في عمليات التشغيل الآلي.

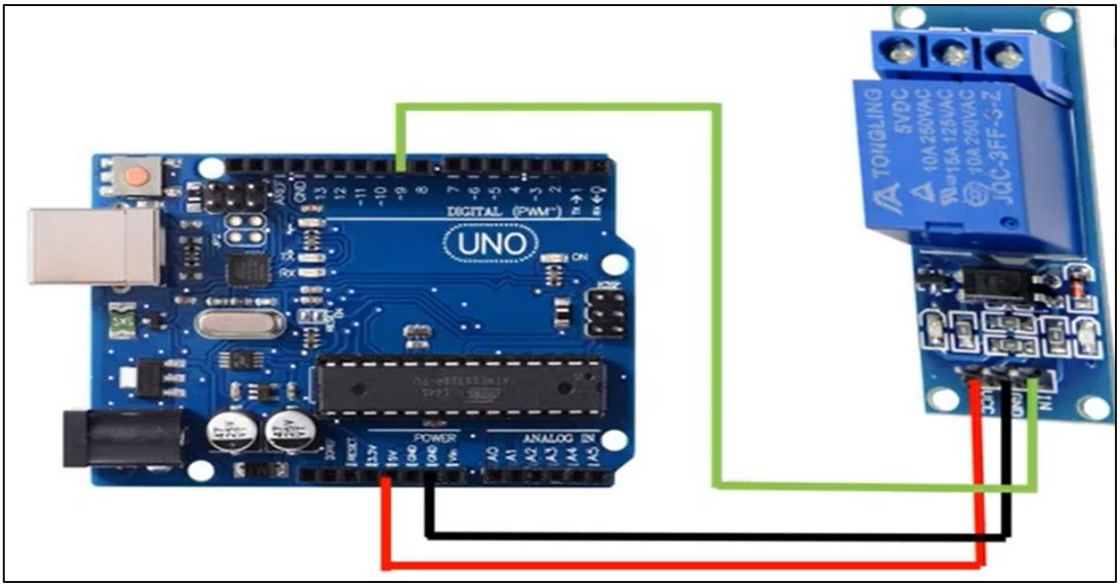


الشكل (2) يبين توصيل وحدة الـ RTC مع لوحة الأردوينو Uno .

3.6. توصيل وحدة الريلاي مع لوحة الأردوينو Uno

يوضح الشكل (3) توصيل وحدة الريلاي (Relay) بلوحة Arduino Uno . يسمح هذا التوصيل للنظام بالتحكم المباشر في تشغيل الأحمال الكهربائية المتصلة بالريلاي، مثل المضخة، ضمن أوقات محددة تعتمد على بيانات الوقت القادمة من وحدة RTC. هذا التحكم يعزز دقة التشغيل ويقلل الهدر في الطاقة.

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



الشكل (3) يبين توصيل وحدة الريلاي مع لوحة الأردوينو Uno .

4.6. شرح آلية عمل الكود البرمجي

يعتمد النظام على المتحكم الدقيق Arduino Uno المتصل بوحدة التوقيت الحقيقي RTC. يقوم الكود البرمجي بقراءة الوقت الفعلي بدقة متناهية (اليوم، الساعة، الدقيقة، والثانية)، ثم مقارنته بمجموعة من الشروط الزمنية المُعرّفة مسبقاً داخل البرنامج. بناءً على هذه المقارنة، يقوم النظام بتشغيل أو إيقاف المضخة تلقائياً دون أي تدخل بشري، مما يضمن تنفيذ عمليات ري دقيقة ومجدولة.

1. قراءة الوقت من وحدة RTC

في بداية كل دورة تنفيذ (Loop)، يستدعي الكود الوقت الحالي من وحدة RTC. يتم الحصول على المعطيات التالية:

- اليوم (Saturday, Sunday, Monday... إلخ).
- الساعة (0–23).
- الدقيقة (0–59).
- الثانية (0–59).

تمثل هذه القراءة الدقيقة الأساس الذي تُبنى عليه جميع عمليات المقارنة الزمنية والتحكم بالمضخة.

2. آلية المقارنة الزمنية (Time Conditions)

يعتمد تشغيل المضخة على سلسلة من الشروط المنطقية (If–Else) التي تتحقق مما إذا كان الوقت الحالي يقع ضمن فترة الري المبرمجة.

المثال التوضيحي (1): تشغيل المضخة من يوم الاثنين 13:15:00 إلى 13:15:30.

يتم بناء شرطين رئيسيين:

- شرط التشغيل (Relay = ON): إذا كان اليوم = الاثنين، والوقت 13:15:00مساءًا.
- شرط الإيقاف (Relay = OFF): إذا كان اليوم = الاثنين، والوقت 13:15:30 مساءًا.

يضمن البرنامج تشغيل المضخة بدقة على مدار الفترة المحددة (30 ثانية) بالاعتماد على المقارنة المترابطة بين اليوم والساعة والدقائق والثواني.

المثال التوضيحي (2): تشغيل المضخة من يوم الاثنين 13:15:30 إلى 13:16:00.

يعتمد البرنامج على مقارنة زمنية محددة:

- شرط التشغيل: اليوم = الاثنين، والوقت ≥ 13:15:30 مساءًا.
- شرط الإيقاف: اليوم = الاثنين، والوقت 13:16:00 مساءًا.

يوضح هذا قدرة الكود على إدارة فترات تشغيل دقيقة تتقاطع بين ثواني مختلفة.

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

3. التحكم بالدقائق والثواني

من أبرز مزايا الكود أنه لا يقتصر على مقارنة اليوم والساعة فحسب، بل يعتمد على قراءة وقت RTC الكامل حتى مستوى الدقيقة والثانية. يسمح هذا بتنفيذ عمليات تشغيل للمضخة بدقة عالية جداً، مثل تشغيل المضخة لمدة 5 ثوانٍ فقط ثم إيقافها تلقائياً. يتم ذلك عن طريق تعريف شرط يبدأ عند وقت محدد (مثل 14:30:00) وينتهي عند (14:30:05)، مما يضمن التزام الكود بهذه الحدود الزمنية بدقة.

4.خوارزمية التحكم (Control Algorithm)

تتبع آلية اتخاذ القرار في الكود الخطوات التالية:

1. قراءة الوقت الحالي من RTC.
2. مقارنة الوقت بمجموعة من الفترات الزمنية المخزنة داخل البرنامج.
3. تحديد ما إذا كان الوقت يقع ضمن فترة الري المبرمجة.
4. تفعيل أو إلغاء تفعيل المضخة تلقائياً.
5. تكرار العملية بشكل لحظي داخل حلقة Loop.

تضمن هذه الخوارزمية عمل النظام بشكل مستمر ومراقب طوال 24 ساعة في اليوم، دون الحاجة لإعادة التشغيل أو التدخل اليدوي.

5. الاستجابة التلقائية في الوقت الحقيقي

بما أن وحدة RTC تحافظ على الوقت حتى أثناء انقطاع التيار الكهربائي:

- الجدول الزمني لا يضيع.
- المضخة تعود للعمل تلقائياً وفق البرنامج بمجرد عودة الطاقة.
- لا حاجة لإعادة ضبط النظام يدوياً.

وهذا يعزز مصداقية النظام وموثوقيته التشغيلية.

7- مقارنة استهلاك الطاقة بين نظام الري التقليدي والنظام الذكي: تجربة عملية

لتقييم فعالية النظام الذكي المقترح، أُجريت تجربة عملية باستخدام مضخة في موقع ري حقيقي، حيث تم قياس استهلاك الطاقة بدقة باستخدام جهاز Power Meter. تضمنت التجربة استخدام مضخة صغيرة بقدرة 1 حصان (0.746 kW)، وتم تشغيلها لمدة 3 ساعات يومياً على مدار أسبوع كامل. سُجل استهلاك الطاقة الفعلي عند استخدام النظام التقليدي (التشغيل اليدوي)، ثم قُورنت هذه القيم مع النظام الذكي الذي يعمل تلقائياً وفق جدول زمني محدد مسبقاً.

نتائج المقارنة:

أظهرت النتائج أن النظام التقليدي (اليدوي) كان يسجل استهلاكاً يومياً قدره 2.2 kWh/day، بينما انخفض هذا الاستهلاك في النظام الذكي ليصبح 1.8 kWh/day، بالرغم من أن كلاهما استخدم مضخة بنفس القدرة ولفترة تشغيل متساوية (3 ساعات يومياً). ويعود الفرق إلى أن النظام الذكي يضمن تشغيلاً محدداً بدقة، مما يحد من أي هدر كهربائي ناتج عن التشغيل غير الضروري أو العشوائي الذي قد يحدث في التشغيل اليدوي.

نوع النظام	النظام اليدوي(تقليدي)	النظام الذكي
المضخة	1 حصان	1حصان
القدرة (KW)	0.746 kw	0.746 kw
عدد ساعات التشغيل اليومية	3ساعات	3ساعات
عدد المضخات	1	1
استهلاك الطاقة اليومي	2.2 kWh/day	1.8 kWh/day

جدول (1) يبين المقارنة بين النظام اليدوي والنظام الذكي.

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

حساب التوفير في الطاقة:

بناءً على هذا الفرق في الاستهلاك اليومي:

حساب الاستهلاك السنوي للطاقة الكهربائية

أ- النظام التقليدي

أجمالي الاستهلاك اليومي = 2.2 kwh/day

الاستهلاك السنوي Wf

$$Wf = 2.2 \times 365 = 803 kwh/year$$

ب- النظام الذكي

أجمالي الاستهلاك اليومي = 1.8 kwh/day

الاستهلاك السنوي Wl

$$Wl = 1.8 \times 365 = 657\ kwh/year$$

ج- حساب التوفير السنوي في الطاقة الكهربائية Wy

$$Wy = Wf - Wl$$

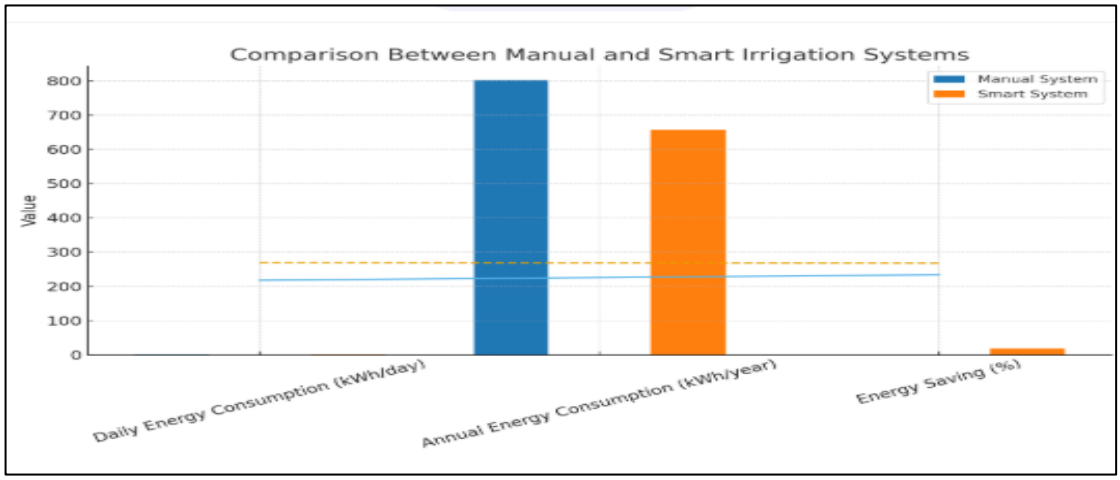
$$Wy = 803 - 657 = 146 kwh/year$$

نسبة التوفير في الطاقة Wn

$$Wn = \frac{146}{803} \times 100 = 18\ \%$$

المعيار	النظام اليدوي(التقليدي)	النظام الذكي
القدرة الاسمية للمضخة الواحدة	0.746 kW	0.746 kW
عدد ساعات التشغيل اليومية	3ساعات	3ساعات
عدد المضخات	1	1
استهلاك الطاقة اليومي	2.2 kWh/day	1.8 kWh/day
نسبة التوفير في الطاقة	—	18%
الاستهلاك السنوي للطاقة	$803 kwh/year$	$657\ kwh/year$

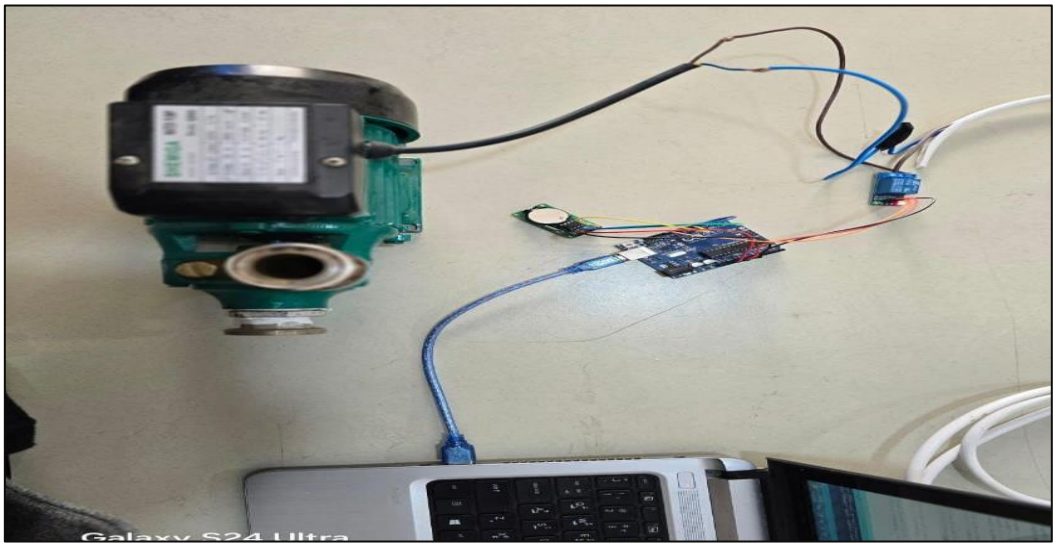
جدول (2) المقارنة بين النظام اليدوي والنظام الذكي.



الشكل رقم (4) المقارنة بين النظام اليدوي والنظام الذكي.

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

8.الشكل النهائي للنظام (توصيل الدائرة الكهربائية)



الشكل (5) يوضح الدائرة الكهربائية والتكوين النهائي للنظام.

7.النتائج:

توضح هذه النتائج مدى كفاءة النظام الذكي في تقليل استهلاك الطاقة، حيث ساهمت الجدولة الدقيقة في تحقيق توفير سنوي في الطاقة بلغ 146 kWh/year وبنسبة تحسين تزيد عن 18% في كفاءة إدارة عمليات الري.

أظهرت نتائج البحث والتطبيق العملي للنظام الذكي المقترح نجاحاً متكاملاً في تحقيق الأهداف المرجوة من تصميم نظام الري الآلي. فقد حقق النظام القائم على المتحكم Arduino Uno ووحدة التوقيت الحقيقي (RTC) دقة متناهية في جدولة عمليات الري، حيث أظهر التزاماً تاماً بالأوقات المبرمجة والتي تشمل الأيام والساعات والدقائق والثواني دون أي تدخل بشري، مما يؤكد الموثوقية العالية لوحدة RTC في الحفاظ على التوقيت حتى في حالات انقطاع التيار الكهربائي. وعلى الصعيد الاقتصادي والتشغيلي، أثبتت التجربة العملية كفاءة ملحوظة للنظام في تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية؛ إذ انخفض الاستهلاك اليومي من 2.2 kWh في النظام التقليدي إلى 1.8 kWh عند استخدام النظام الذكي، مما أسفر عن توفير سنوي في الطاقة بلغ 146 kWh/year وبنسبة تحسين إجمالية في الكفاءة تعادل 18%. وقد ساهمت هذه الدقة في الجدولة في تحسين إدارة الموارد المائية من خلال ضبط فترات تشغيل المضخة وإلغاء التشغيل العشوائي أو المفرط، مما أدى إلى ري أكثر انتظاماً وتقليل الفاقد المائي مقارنة بالتشغيل اليدوي. كما حقق النظام أتمتة كاملة لعملية الري طوال فترة الاختبار، مما أدى إلى خفض كبير في الجهد البشري وإلغاء الحاجة إلى المتابعة المستمرة والتشغيل اليدوي اليومي للمضخة. ومن الناحية التصميمية، أظهر النموذج كلفة منخفضة وسهولة فائقة في التركيب والتطوير، الأمر الذي يجعله حلاً عملياً ومناسباً للتطبيق في البيوت الزراعية، الحدائق المنزلية، والمزارع الصغيرة، مع إمكانية دمجه مستقبلاً وبسهولة مع حساسات رطوبة التربة أو أنظمة إنترنت الأشياء (IoT) لتعزيز كفاءته. بالإضافة إلى ذلك، أتاح النظام مرونة عالية للمستخدمين في تخصيص الجدول الأسبوعي، حيث أمكن برمجة أيام محددة للتشغيل (مثل الاثنين والأربعاء) مع التحكم الدقيق في فترات التشغيل حتى مستوى الثواني، وهو ما شمل القدرة على الإيقاف التلقائي ومنع تداخل الجداول الزمنية. وأخيراً، أثبتت التجربة أن خوارزمية التحكم كانت قادرة على الحفاظ على استقرار التشغيل للمضخة بقدرة 1 حصان لمدة ثلاثة ساعات يومياً على مدار أسبوع كامل دون تسجيل أي حالات فشل أو توقف غير متوقع، مما عزز القيمة الفنية والاقتصادية لعمليات الري من خلال تقليل الهدر في الطاقة والمياه، ويجعله حلاً عملياً وداعماً للاستدامة وتحسين كفاءة التشغيل في البيئات الزراعية الحديثة.

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

8. التوصيات

بناءً على النتائج التي توصل إليها هذا البحث، يقدم الباحثون مجموعة من التوصيات التي تهدف إلى تطوير كفاءة النظام المقترح وتوسيع نطاق تطبيقه. أولاً، يوصى بتطوير النظام بإضافة حساسات رطوبة التربة؛ بحيث تتم عملية الري بناءً على الحاجة الفعلية للتربة وليس فقط على الجدولة الزمنية، مما يؤدي إلى رفع كفاءة استخدام المياه وتقليل الهدر والري غير الضروري. ثانياً، ينبغي دمج النظام مع تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) لتمكين التحكم عن بُعد عبر الهاتف الذكي أو لوحة تحكم سحابية، مما يزيد من مستوى الذكاء والمرونة في إدارة الري وتتبع الأداء. ثالثاً، لتقييم أداء النظام في بيئات متنوعة وتحديد حدود قدرته التشغيلية، يوصى بتوسيع الدراسة لتشمل أحمالاً زراعية مختلفة ومساحات أكبر .كما يقترح رابعاً، إضافة نظام إنذار أو إشعارات يقوم بتنبيه المستخدم فوراً في حال حدوث أعطال في المضخة، أو انخفاض منسوب المياه، أو انقطاع التيار الكهربائي لفترات طويلة. ومن الناحية الاقتصادية، يوصى بتحسين كفاءة الطاقة بشكل أكبر من خلال استخدام مضخات ذات كفاءة عالية أو دمج النظام مع مصادر الطاقة المتجددة مثل الألواح الشمسية، مما يقلل الكلفة التشغيلية السنوية على المدى الطويل. وعلى الصعيد الزراعي، يُنصح بإجراء دراسات مقارنة طويلة المدى لقياس تأثير النظام الذكي على الإنتاجية الزراعية وجودة المحاصيل، بهدف تقييم الفوائد الزراعية إلى جانب الفوائد التشغيلية. كما تُعتبر عملية تعميم النظام على المزارع الصغيرة والمتوسطة ضرورية، باعتباره حلاً منخفض التكلفة وسهل التنفيذ، وبما يساهم في دعم الأمن الغذائي وتعزيز الاستدامة المائية في البيئات ذات الموارد المحدودة. وأخيراً، يوصى باعتماد واجهة استخدام سهلة للمزارعين لتمكين غير المتخصصين من ضبط الجداول الزمنية وتغييرها دون الحاجة لخبرة تقنية متقدمة.

قائمة المراجع

1. أسعد، ع. م.، سليمان، ع. ص.، فتحي، ف. ه.، خليل، ك. م. ف.، عبدالله، ك.، بدر، م. س.، و أحمد، ه. ت. (2025). إدارة المياه في الزراعة الذكية: دراسة حول أساليب إدارة المياه باستخدام التكنولوجيا الحديثة وتأثير ذلك على استدامة الموارد المائية والزراعة. البحوث التطبيقية في العلوم والإنسانيات.
2. الجمل، ط.، و فرج، ح. (2017). تقييم تأثير مشاريع تطوير الري على توفير المياه وتكلفة الطاقة. مجلة العلوم التطبيقية، 35(11)، 140-155.
3. الرشيد، أ.، الحربي، م.، و الجبري، ف. (2020). مقارنة بين أنظمة التحكم التقليدية والذكية في تطبيقات المنازل الذكية. المجلة العربية للهندسة والتقنية، 7(2)، 34-45.
4. الشيخ، أ. ع. م. ع.، محمد، ح. أ.، عثمان، ر. م. ع.، و سليمان، ع. م. ح. (2022). تصميم وتنفيذ منظومة الري الذكي باستخدام إنترنت الأشياء (IoT) (رسالة جامعية). جامعة الشيخ عبدالله البدري.
5. عبد الحكيم، أ.، و هالل، س. (2022). جدولة نظام الزراعة المائية الذكي لرفع كفاءة استخدام المياه. مجلة الهندسة الزراعية المصرية.
6. العمري، ع.، و الغامدي، م. (2023). دور الوحدات الزمنية القابلة للبرمجة في تعزيز أمان أنظمة المنازل الذكية. في وقائع المؤتمر الدولي للأنظمة الذكية وتكنولوجيا التحكم (ص ص. 120-135). جدة.
7. لزعر، م. أ. (2023). إدارة الموارد المائية وتنمية الزراعة المستدامة في الدول العربية. المجلة المصرية للتنمية والتخطيط، 31(1).

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **SJPHRT** and/or the editor(s). **SJPHRT** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).