https://doi.org/10.33261/jaaru.2025.32.1.004 *Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences (2025)32(1):26–34*

Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences

مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية

كلية الهندسة - جامعة بغداد

جمعية كليات الهندسة اعضاء اتحاد الجامعات العربية

تصميم وتنفيذ نظام تحكم قائم على بروتوكول LoRaWAN والمنطق الضبابي للتحكم بعمل مضخة ري

زين الدين محمود احمد [1] *

[1]كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، طرطوس، الجمهورية العربية السورية، zainahm94@gmail.com

* الباحث الممثل: زين الدين محمود احمد، zainahm94@gmail.com

*نشر في : 31 اذار 2025

الخلاصة –تستهلك طرق الري التقليدية كميات كبيرة من المياه، مما يؤدي إلى إهدار المياه والطاقة وتناقص مردود المحاصيل الزراعية. تم البحث عن تقنية مناسبة لاستخدامها في المجال الزراعي لأغراض الري وحل هذه المشكلة لذلك تم اختيار المنطق الضبابي لأغراض التحكم وتقنية LoRaWAN (Low Range wide-area network) من أجل تأمين اتصال لاسلكي ذو مسافات بعيدة وتوظيفه في تكنولوجيا انترنت الأشياء. حيث تم إضافة تكنولوجيا انترنت الأشياء من أجل مراقبة عمل النظام من أي مكان وسهولة وصول المستهلك للمعلومات التي يريدها. تم تصميم وتنفيذ متحكم يعتمد على المنطق الضبابي على برنامج ماتلاب للتحكم بعمل المضخة التي تقوم بعملية الري للمزروعات، يقوم بقراءة بارامترات التربة من خلال الحساسات. يهدف البحث بشكل عام إلى استخدام هذه التقنيات الحديثة لمساعدة المزارع على زيادة الكفاءة ومردود الإنتاج. تم تغذية النظام بالطاقة الكهربائية من خلال اللوح الكهروشمسي ودارة الشحن، تم تنفيذ التجربة وتدل النتائج على كفاءة النظام المصمم من ناحية التوفير في مياه الري الذي وصل إلى 15% مقارنة بحالة الري التقليدي وذلك يعود إلى استخدام الذكاء الاصطناعي في التحكم بعمل المضخة المخصصة للري، ويتبين أن استخدام تكنولوجيا انترنت الأشياء أدى إلى التوفير في كلفة أجور الأيدي العاملة بمقدار 50%.

الكلمات الرئيسية – LoRaWAN، منطق ضبابي، الأنظمة المدمجة، الذكاء الاصطناعي، انترنت الأشياء.

1. المقدمة

استخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي في شتى المجالات هو لحل مشكلة أو من أجل تطوير تقنية قديمة، يبحث عن طرق فعالة لمحاكاة الذكاء البشري رقميا وإيجاد السبل المثلى لفهم آلية عمل الدماغ، ومعالجته للمعلومات بسرعة وكفاءة عالية، وكيفية استجابته لمختلف الظروف والمواقف بمرونة كبيرة[17]، كما يعرف على أنه قدرة الآلات على القيام بالأشياء التي تتطلب ذكاء[3]، تحاول أبحاث الذكاء الاصطناعي اكتشاف ووصف جوانب الذكاء البشري التي يمكن محاكاتها بوساطة الآلات، وتهدف إلى زيادة قدرة الحواسيب على جمع المعلومات، والتعلم منها، وفهمها، واكتساب الخبرات من خلال التمييز الدقيق بين القضايا المختلفة، واستبعاد المعلومات غير المناسبة، والاختيار بين مجموعة من الخيارات، وذلك بدراسة مجموعة الاحتمالات المتعلقة بها، ومعرفة نتيجة كل احتمال، والنتائج المترتبة عنه، واختيار أفضل القرارات الممكنة التي توصل إلى النتائج المطلوبة.

يعتبر المنطق الضبابي فرعاً أساسياً من فروع الذكاء الاصطناعي، ظهر عام 1965 على يد العالم الأذربيجاني الأصل لطفي زاده Lutfi Zadeh [8]، في جامعة كاليفورنيا California University Berkeley، وهو أداة رياضية للتعامل مع عدم اليقين، والحوسبة الناعمة المعتمدة على الكلمات اللغوية، وقد لاقت تطبيقات المنطق الضبابي انتشاراً واسعاً جداً بعد دخوله مجال التحكم في عام 1974 على يد الدكتور مامداني Ebrahim Mamdani في تصميم مولد [8]، ومنذ ذلك الوقت وإلى الآن، ومجالات تطبيقات المنطق الضبابي في اتساع متزايد لكفاءته في معالجة المشكلات اللغوية المعقدة، التي يصعب إيجاد النموذج الرياضي الدقيق لها [16].

يعتبر انترنت الأشياء تكنولوجيا مهمة لسهولة الوصول إلى أي معلومة أو بارامتر مهم من أي مكان في العالم. ومن اجل استخدام تكنولوجيا انترنت الأشياء لمسافات بعيدة استخدمنا بروتوكول الاتصال LoRaWAN. يعتبر بروتوكول LoRaWAN [9] هو بروتوكول اتصال لشبكة واسعة النطاق منخفضة الطاقة (LPWAN-Low Power WAN). مواصفات بروتوكول LoRaWAN مفتوحة حتى يتمكن أي شخص من إعداد شبكة وتشغيلها. تعمل LoRa هي تقنية ترددات اتصال لاسلكية في نطاق ترددات راديوية بدون ترخيص. LoRa هو بروتوكول طبقة مادية يستخدم تعديل الطيف المنتشر ويدعم الاتصالات طويلة المدى على حساب النطاق الترددي الضيق. يستخدم شكل موجة ضيق النطاق مع تردد مركزي لإرسال البيانات، مما يجعله قويًا ضد التداخل.

خصائص تقنية LoRaWAN

- اتصالات طويلة المدى تصل إلى مئات الكيلومترات في خط البصر.
- انخفاض تكلفة الأجهزة والصيانة.
- طيف راديوي بدون ترخيص ولكن تنطبق اللوائح الخاصة بالمنطقة المستخدم بها.
- طاقة منخفضة ولكن معدل النقل محدود من 51 بايت إلى 241 بايت اعتمادًا على معدل البيانات. يمكن أن يتراوح معدل البيانات من 0,3 كيلوبت/ثانية إلى 27 كيلوبت/ثانية مع حجم حمولة أعظمي يبلغ 222 بايت.

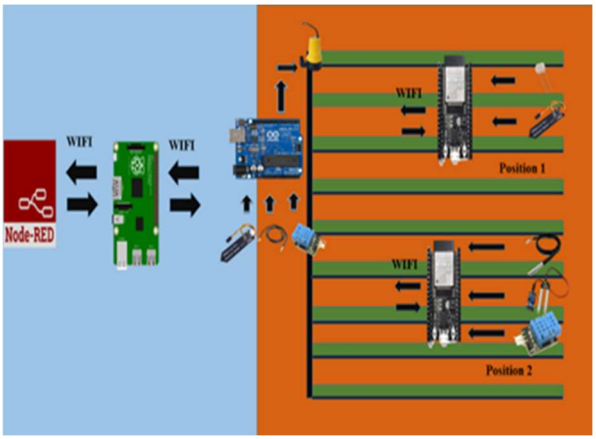
يوضح الجدول (1) الفرق بين تقنيتي LoRa وLoRaWAN.

1726-4081© 2025 The author(s). Published by Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences. This is an open access article under the CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

الجدول 1: الفرق بين LoRa وLoRaWAN.

الخصائص	LoRa	LoRaWAN
نوع التكنولوجيا	تقنية التعديل الخاصة	بروتوكول الاتصال الكامل
معمارية الشبكة	Point2point,mesh	Star topology
الأمان	آليات الأمان الاساسية	آليات الأمان المتقدمة
مصادقة الجهاز	مصادقة أساسية	مصادقة متقدمة
قابلية التوسع	غير مصممة للانتشار الكبير	مصممة للانتشار الكبير
تكلفة الانتشار	منخفضة	منخفضة

الشكل (1) يوضح البنية العامة للنظام المصمم حيث نلاحظ من جهة اليمين الحساسات في الحقل الزراعي متصلة مع المتحكمات القابلة للبرمجة التي بدورها ترسل البارمترات الخاصة بالحساسات إلى المخدم بواسطة بروتوكول Wifi المتصل مع الواجهة الخاصة بالمزارع.



الشكل 1: البنية العامة للنظام المصمم

تمت المقارنة مع بحث [6] قام به الباحثون عام 2021 بعنوان (نظام ري ذكي يعتمد على تقنية التحكم الضبابي وانترنت الأشياء لتوفير المياه و الطاقة) كما في الجدول (2)

الجدول 2: مقارنة مع بحث أخر

	النظام المصمم	البحث الذي تمت المقارنة معه
عدد قواعد المنطق الضبابي	اكثر بالتالي يعطي دقة اكبر للخرج	اقل
الاختلاف في دارة القيادة (المشغل)	تم الوصل على خرج المتحكم دارة قيادة ترانزستزرية لان الاشارة PWM لتأمين سرعة متغيرة للمضخة	الخرج عبارة عن صمامات بالتالي تعمل فقط تشغيل\ إيقاف من دون تغير بقوة الضخ
الحساسات	1. حساس رطوبة التربة 2.حساس حرارة التربة 3. حساس رطوبة الهواء	1. حساس رطوبة التربة 2.حساس حرارة التربة
طريقة الاتصال	WIFI LoRa WAN	WIFI
واجهة المستخدم	Platform (NodeRed)	Platform (NodeRed)
المتحكمات	1. Raspberry PI 4 2. ESP32 3. Arduino UNO	1. Raspberry PI 4 2. Arduino nano
النتائج	تم اجراء تجربة لحساب قيم التوفير المياه وتم ذكر قيم دقيقة لقيم التوفير وكانت 15% بالمقارنة مع النظام التقليدي	لم يتم ذكر قيم دقيقة للتوفير في المياه ولايوجد رقم يدل على نسبة التوفير

2. الدراسات السابقة.

[4] قام kamel وجماعته عام 2013 ببحث وتصميم نظام يتكون من متحكم منطق ضبابي ذو تغذية عكسية يسجل بارمترات الحقل الرئيسية من خلال حساسات محددة ومنصة قاعدة بيانات Zigbee-GPRS للمراقبة عن بُعد، هذا النظام سهل التنفيذ في أنظمة الري بالتنقيط دون التعديل عليها. أظهرت البيانات النموذجية في الصيف والشتاء أن المتحكم يضمن الحفاظ على رطوبة التربة فوق قيمة محددة مسبقاً مع تذبذبات غير متقطعة، يعوض النظام كمية المياه الضائعة من خلال التبخر. وخلص البحث على أن تنفيذ التحكم الضبابي بجانب تسجيل البيانات عن بُعد من شأنه أن يعزز إدارة أفضل لموارد الري والمياه في الأراضي شديدة الجفاف مثل قطر.

[1] قام الباحث Imteaj وجماعته عام 2016 بتصميم نظام مؤتمت لتزويد المياه في الأراضي الزراعية باستخدام raspberry pi 3 و Arduino ووحدة WIFI ووسيلة اتصال GSM وعدة حساسات. يمكن للنظام اكتشاف الوقت المناسب لإمداد المياه للأشجار ويمكنه أيضاً تتبع مستوى المياه لمنع تراكم المياه حول جذور الشتلات. وخلص البحث إلى أن النظام يضمن اتباع نهج علمي في العناية بالنباتات والذي يمكن أن يحسن الإنتاجية بشكل كبير. سيساعد النظام في استخدام الموارد المائية بحكمة وتقليل الجهد البشري في الحفاظ على المحاصيل.

[12] قام الباحث Nageswara وجماعته عام 2018 بإيجاد طريقة تهدف إلى جعل الزراعة ذكية باستخدام تقنيات الأتمتة وإنترنت الأشياء. اقترح نظام IOT للري الآلي المستند إلى Raspberry Pi. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تنمية المحاصيل بكميات قليلة من استهلاك المياه في الأوقات المناسبة. أثبتت جميع الملاحظات والاختبارات التجريبية أن النظام المقترح هو حل كامل للأنشطة الميدانية ومشاكل الري ويساعد في تحسين مجال المحاصيل والإنتاج الكلي.

[2] قام الباحث Abul Bashar وجماعته عام 2019 ببحث واستخدموا تطبيق android لأتمتة الآلات المستخدمة في الزراعة بمساعدة إنترنت الأشياء، تم استخدام تقنية الاتصال عن بعد zigbee لتوسيع الاتصال بين الآلات ووحدة التحكم. يتم استخدام الإنترنت لنقل المعلومات من وحدة التحكم إلى المزارع من خلال تطبيق android. تم استخدام الحساسات في مراقبة رطوبة التربة، ورطوبة الهواء، وكمية المياه، وخلص البحث إلى أن النظام المقترح يعزز إنتاجية المحاصيل دون تدخل المزارعين.

[13] قام Raja واخرون عام 2020 ببحث واقتراح نظام ري ذكي يساعد المزارعين على ري حقولهم الزراعية باستخدام تقنيات حديثة مثل GSM وذلك بعد الأخذ بعين الاعتبار التكلفة والجدوى الاقتصادية. تستخدم وحدة التحكم المنطقية الضبابية لمعالجة بارمترات الدخل (مثل رطوبة التربة ودرجة الحرارة والرطوبة) ولإنتاج حالة الخرج والممثل بالمضخة. وقد خلص البحث على أنه يمكن تحقيق نتائج ممتازة مثل انخفاض تكلفة العمالة اليدوية والاستخدام الفعال لمياه الري.

3. منهجية البحث

3. 1 مواد وطرق البحث

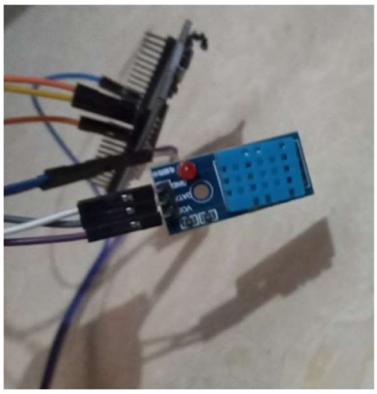
1.1.3 حاسب Raspberry PI:

احتجنا في النظام المقترح إلى سيرفر خاص ببروتوكول الاتصال لذلك اخترنا حاسب مصغر له إمكانيات كبيرة وهو Raspberry PI، يمكن برمجته بأغلب لغات البرمجة المعروفة التي تعمل على نظام التشغيل لينكس Linux الشهير [13]. تستخدم Raspberry PI معالجات ARM Cortex،[10]. حيث تم استخدام Raspberry PI في بحثنا كمخدم مركزي متصل بالإنترنت تتصل به جميع المتحكمات الموزعة في الحقل الزراعي، تم اختيار Raspberry PI 4 ليعمل كمخدم (server) لأن Raspberry PI يتميز بسرعة معالجة عالية حيث يحتوي على وحدة معالجة تعمل بتردد عالي، ويدعم تقنية ال Wifi وله ذاكرة وصول عشوائية مناسبة تصل إلى 4 غيغا بايت مما يتيح لنا التخزين المؤقت للمعلومات القادمة من العقد الفرعية ويمكنه إرسالها عبر الانترنت لأنه متصل براوتر **الشكل (2)** يوضح لوح Raspberry PI 4 الذي تم برمجته مسبقاً ببروتوكول خاص بانترنت الأشياء لكي يتصل مع منصة NodeRed.

الشكل 2: لوحة Raspberry Pi 4.

2.1.3 حساس رطوبة الهواء DHT11:

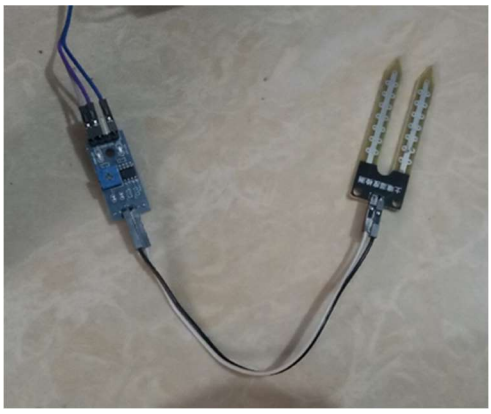
تعتبر حسّاسات DHT11 [20] كما هي موضحة في الشكل (3) وسيلة لقياس درجة الحرارة والرّطوبة للهواء.مجال قياس درجة الحرارة من 0 إلى 50 ومجال قياس درجة الرطوبة من (90-20) %.



الشكل 3: الحساس DHT11

3.1.3 حساس رطوبة التربة [8]:

تم استخدام حساسات تعتمد على طريقتين لقياس رطوبة التربة الطريقة الأولى تعتمد على الطبيعة الاومية والأخرى تعتمد على السعوية، الحساس الأول نوع أومي كما في الشكل (4).



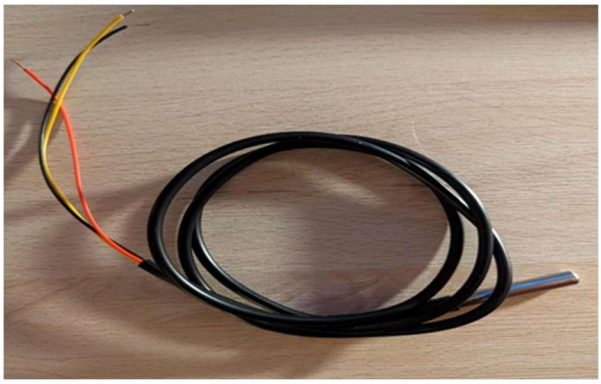
الشكل 4: حساس رطوبة التربة الأومي

يوضح الشكل (5) حساس رطوبة التربة السعوي والذي لاحظنا عدم تغير الحساس فيزيائياً مع الزمن حيث الحساس ذو الطبيعة الأومية تعرض للتلف على طرفيه ذو الطبيعة المعدنية.

الشكل 5: حساس رطوبة التربة السعوي

4.1.3 حساس الحرارة DS18B20 [14]:

يحتوي هذه الحساس على غلاف معدني يمكنه من قياس الحرارة في التربة الرطبة بوجود الماء، مجال قياس درجة الحرارة من-55 إلى 125.



الشكل 6: الحساس DS18B20 بوجود الغلاف

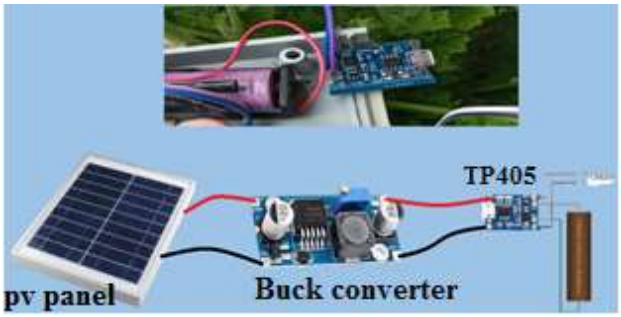
5.1.3 بطاريات الليثيوم أيون بوليمير LiPo 18650 [7]:

هي بطاريات قابلة لإعادة الشحن حيث تمكننا من إعادة شحنها من خلال الدارة الموضحة في الشكل (8) والتي سنشرحها لاحقاً، يوضح الشكل (7) البطارية المستخدمة.

الشكل 7: البطارية 18650

6.1.3 دارة شحن بطاريات الليثيوم TP4056 LiPo[18] :

هي دارة مخصصة لشحن هذا النوع من البطاريات، يوضح **الشكل (8)** شكل دارة الشحن **TP405** على اليمين وألية توصيلها مع المقطع تيار المستمر (Buck converter) واللوح الكهروشمسي وتوصيلها أيضا مع البطارية. حيث خرج المقطع المستمر 5 فولط وهو دخل دارة الشحن **TP405**.



الشكل 8: يوضح دارة شحن بطاريات الليثيوم TP4056 LiPo من اللوح الكهروشمسي

7.1.3 المتحكم Esp32 [10]:

هو متحكم قابل للبرمجة مدمج معه تقنية اتصال wifi وبالتالي هو مناسب لتكنولوجيا انترنت الاشياء، تمت تغذية هذه المتحكمات خلال بحثنا من بطاريات ليثيوم أيون بجهد عمل 3,7 فولط حيث نلاحظ من الشكل (9) أن المتحكم يحتوي على منظم جهد على الدخل لذلك تعتبر بطاريات الليثيوم أيون مناسبة.

الشكل 9: المتحكم Esp32.

8.1.3 مضخة المياه المستخدمة ودارة القيادة:

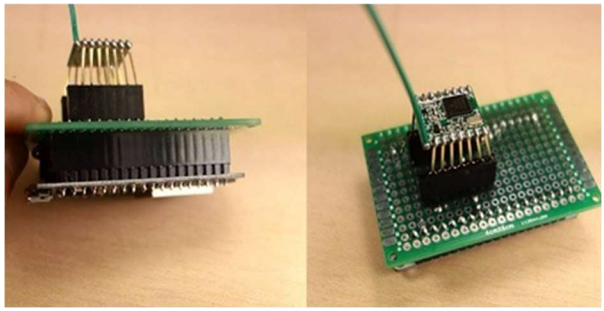
تم استخدام مضخة مياه تيار مستمر [6] تعمل بجهد مستمر 12 فولط وباستطاعة تصل حتى 54 واط كما في الشكل (10). تم استخدام دارة قيادة ترانزستوريه كما في الشكل (10) [18] تعتمد على تقنية PWM (Pulse width modulation) متصلة مع خرج المتحكم الضبابي.

الشكل 10: مضخة المياه المستخدمة ودارة القيادة.

2.3 الجزء العملي:

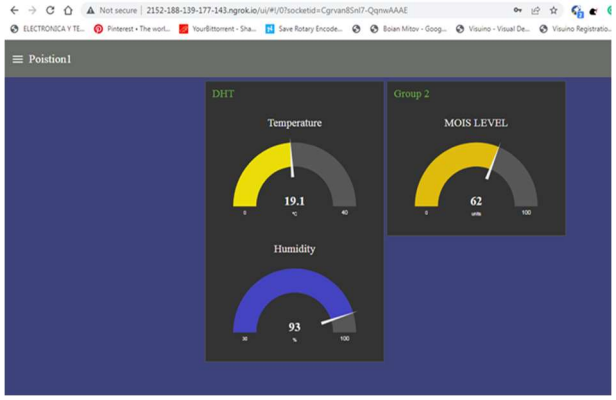
النظام يتألف من عدة متحكمات تدعم تقنيات LoRaWAN تم توزيعها بطريقة تغطي مساحة معينة من الحقل الزراعي المدروس وتم تغذيتها من خلال بطاريات ليثيوم يتم شحنها من اللوح الكهروشمسي، تم استخدام متحكمات esp32 متصل معها شرائح LoRa كما في الشكل (11)، وتم

ربطها مع حساسات مثل قياس رطوبة التربة ورطوبة الهواء وحرارة التربة حيث تم توزيعها ضمن الحقل بطريقة معينة، وتم ربط هذه الحساسات مع متحكمات esp32 واتصالها عبر تقنية الاتصال LoRaWAN مع السيرفر الرئيسي (4 Raspberry PI) المتصل بالانترنت عبر الرواتر حيث يعمل السيرفر الرئيسي كمركز لتنظيم الرسائل وفلترتها ضمن بروتوكول MQTT الخاص بانترنت الاشياء. وبعدها يتم ارسال المعلومات من المركز الرئيسي إلى منصة التحكم والمراقبة NodeRed كما في الشكل (12). يوضح الشكل (11) دارة LoRaWAN المستخدمة في النظام تم شرحها بشكل مفصل في المقدمة وماهو دورها في النظام، يتم وصلها مع المتحكم Esp32 لكي تساعده على ارسال واستقبال الإشارات من مسافات ابعد مما هو مصمم عليها، تحتوي على شريحة الكترونية SX1278 من شركة SEMTECH.

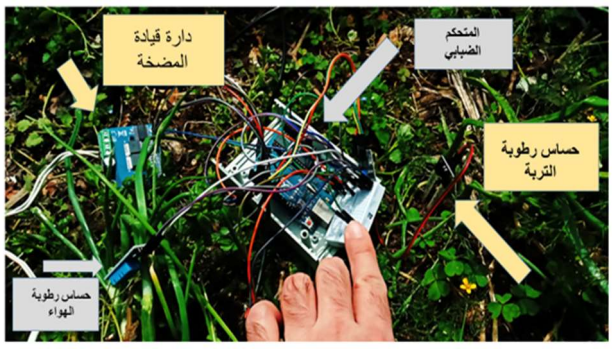


الشكل 11: دارة LoRaWAN.

الشكل (12) يوضح واجهة المراقبة الخاصة بالمنصة المستخدمة والتي سوف تظهر للمزارع من أي مكان يريده. الشكل (13) يوضح المتحكم الذي تمت برمجته باستخدام المنطق الضبابي وهو متصل مع الحساسات على أرض الواقع في الحقل الزراعي. يوضح الشكل (14) المتحكم مع الحساسات والمشغل.

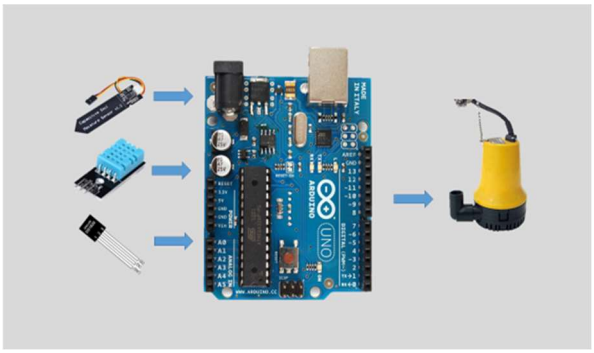


الشكل 12: واجهة المراقبة بالنسبة للمستخدم.

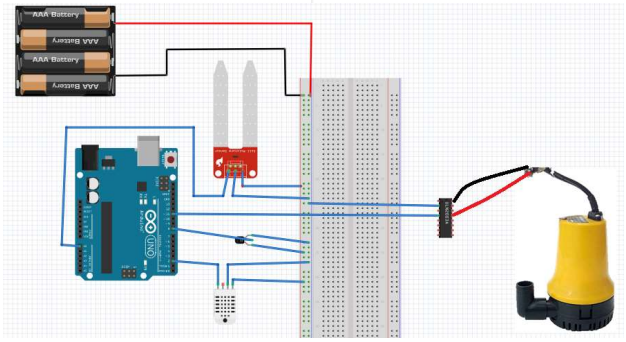


الشكل 13: المتحكم الضبابي مع الحساسات ودارة قيادة المضخة.

الدارة الموضحة في الشكل (13) تم رسم الدارة الالكترونية لها كما في الشكل (15).



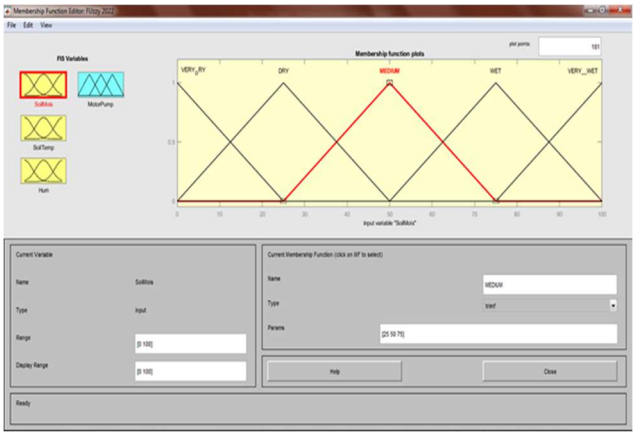
الشكل 14: البنية العملية للمتحكم الضبابي



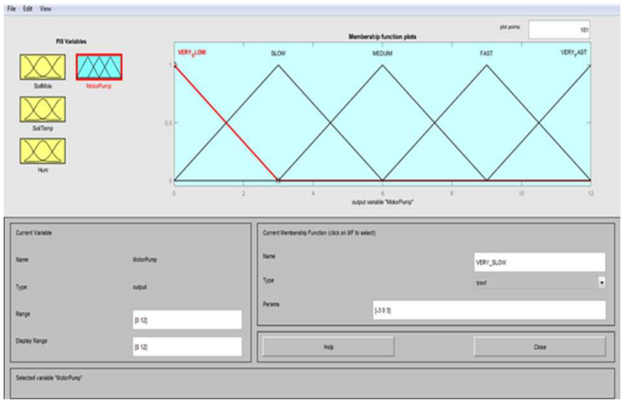
الشكل 15: الدائرة الالكترونية للتحكم وقيادة المضخة

3.3 برنامج المتحكم الضبابي:

في البداية تم دراسة تقنية الذكاء الاصطناعي الأكثر ملائمة لبحثنا حيث تم اختيار تقنية المنطق الضبابي لذلك تم دراسة هذا المنطق، وتم برمجة وتصميم متحكم ضبابي من خلال برنامج ماتلاب وأداة fuzzy logic tool حيث تم تعريف ثلاث مداخل وهي الحساسات التالية حساس رطوبة التربة وحرارة التربة ورطوبة الهواء، وتم تحديد التوابع العضوية الضبابية لكل دخل حيث يبين الشكل (16) التوابع العضوية الضبابية الخاصة لحساس رطوبة التربة، ويبين الشكل (17) التوابع العضوية للخرج (المضخة). بعدها تم كتابة القواعد الضبابية وتجريبها والتعديل عليها ومحاكاتها حتى وصلنا إلى القواعد الأفضل التي تلائم بحثنا بعد العديد من التجارب على تشكيل هذه التوابع [5].

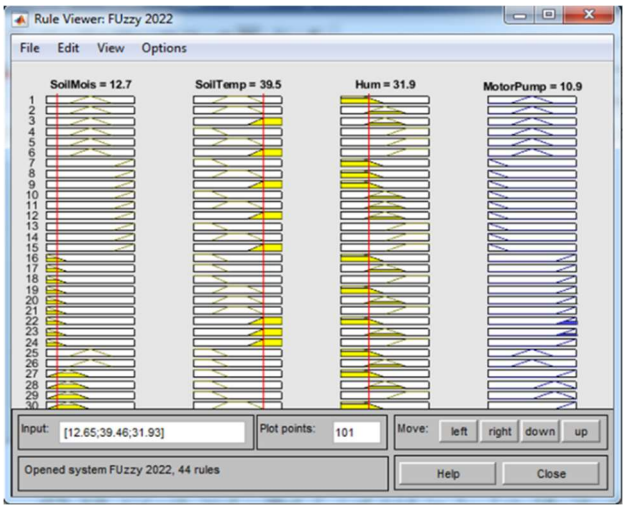


الشكل 16: التوابع العضوية لدخل حساس رطوبة التربة



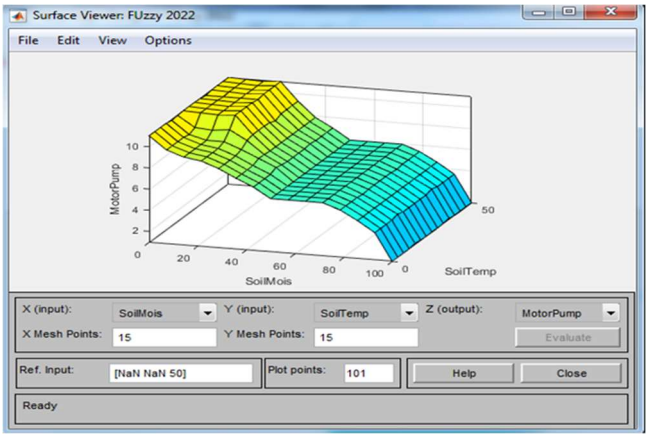
الشكل 17: التوابع العضوية للخرج (المضخة)

يحتوي محرك الاستدلال الضبابي على 44 قاعدة ضبابية بصيغ لغوية تنظم عمل المتحكم حيث يتم تعديل خرج المتحكم بناءً على هذه القواعد وحسب قيم الحساسات الواردة حيث أن بيئة عمل الماتلاب تتيح لنا محاكاة وتجريب المتحكم بعد تصميمه واختبار ومراقبة عمل المتحكم ومعرفة كيفية تغيير الخرج عند تغير دخل أي قيمة من قيم الحساسات كما في الشكل (18).



الشكل 18: محاكاة نتائج النظام التحكم الضبابي برمجياً

كما أنه يمكننا مراقبة سطح أو مجال عمل المتحكم الضبابي أي العلاقة بين المداخل والخرج كما في الشكل (19).



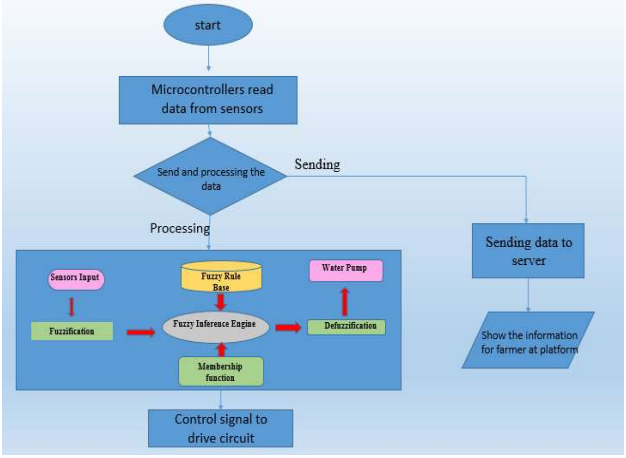
الشكل 19: العلاقة بين المداخل والخرج للمتحكم الضبابي

4.3 برمجة المتحكم الضبابي إلى لغة C:

احتجنا من أجل استخدام المنطق الضبابي كعتاد صلب فيزيائي في التجربة العملية تحويل البرنامج الذي قمنا بتصميمه على برنامج الماتلاب إلى كود برمجي بلغة C خاص بمتحكم الأردوينو، في البداية تم تعريف المكتبات التي نريدها ثم تعريف عدد المداخل لنظام الاستدلال الضبابي وكذلك تعريف عدد المخارج وعدد القواعد الضبابية.

بالنسبة للحساسات تؤثر كل منها على حدا على الخرج حسب القواعد الضبابية وهذا التأثير عبارة عن تغيير في الجهد الكهربائي المغذي لمضخة المياه عبر دارة القيادة بالتالي تغير في سرعة ضخ المياه، ونعتبر حساس قياس رطوبة التربة هو الأكثر تأثيراً على الخرج حيث يتم قياسها على شكل نسبة مئوية، عندما تقل النسبة المئوية للرطوبة يزداد قيمة الخرج وتتم الزيادة بناءً على برمجة القواعد الضبابية.

يوضح الشكل (20) المخطط التدفقي الأساسي للنظام المقترح، في البداية تقوم المتحكمات بقراءة البيانات من الحساسات المنتشرة في الحقل، ومن ثم تقوم المتحكمات بإرسال المعلومات للمنصة لعرضها، وفي نفس الوقت يقوم المتحكم الضبابي بمعالجة هذه البيانات بناءاً على خوارزمية المنطق الضبابي ومن ثم إعطاء أمر لتشغيل المضخة.

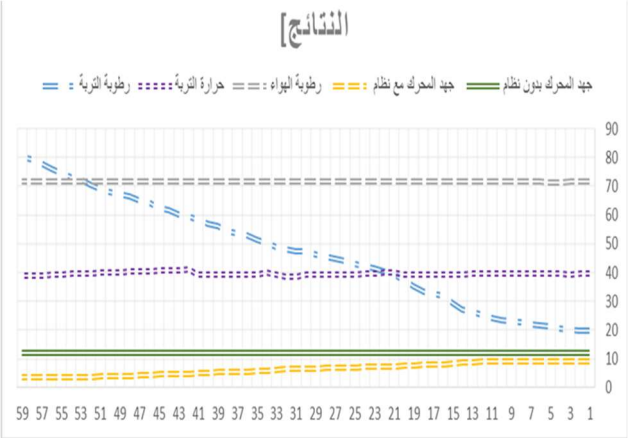


الشكل 20: المخطط الأساسي للنظام المقترح

4. النتائج:

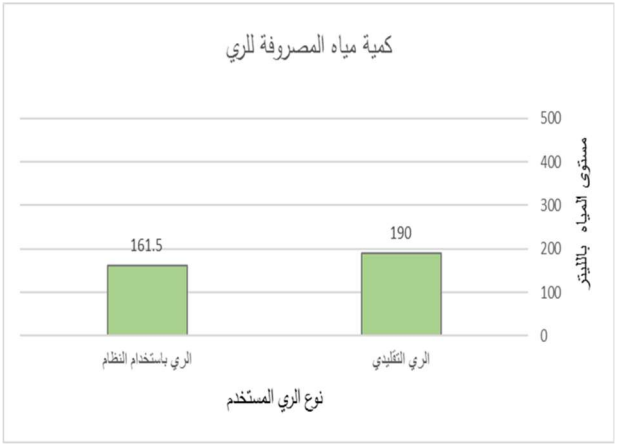
تم اجراء التجارب على النظام خلال فصل الربيع على مرحلتين، طلبنا من المزارع أن يروي المحصول من خزان معلوم الحجم 550 ليتر وهو عبارة عن نبات الفاصولياء زُرع على شكل بذور وتمت عملية الري لمدة ساعة من دون استخدام أي نظام تحكم أي بشكل يدوي من قبل المزارع من خلال الري السطحي، قياس كمية المياه التي تم صرفها للري وبعدها تشغيل النظام عند نفس الشروط السابقة في المرحلة الأولى لكن بعد تشغيل النظام الخاص بنا حيث قمنا بالعديد من التجارب وتمت المقارنة بين تجربتين لهما نفس شروط الاختبار (درجة حرارة التربة – رطوبة الهواء – رطوبة التربة)، وبعد اجراء التجارب حصلنا على النتائج الموضحة من خلال المنحنيات حيث نلاحظ ثلاث منحنيات مسؤولة عن قيم الحساسات (درجة حرارة التربة – رطوبة الهواء – رطوبة التربة) التي تم تحصيلها خلال ساعة من الزمن وحصلنا على 60 عينة، نلاحظ من النتائج أن في البداية كانت قيمة رطوبة التربة حوالي 19.5% وبعد تشغيل مضخة الري عند جهد 9 فولط نلاحظ زيادة رطوبة التربة وانخفاض جهد التغذية للمضخة، **حيث في الشكل (21)** يمثل المنحني باللون **الازرق** رطوبة التربة التي تزداد مع الزمن بسبب بدء ضخ المياه والمنحني باللون **الاصفر** يمثل جهد التغذية للمضخة بحيث يتم تغذيتها من قبل دارة القيادة الموصولة على خرج المتحكم الضبابي أم باقي المنحنيات تمثل درجة حرارة التربة المنحني باللون **البنفسجي** كانت تقريباً 40 درجة سيليوس و رطوبة الهواء المنحني باللون **الرمادي** وكانت حوالي 70% ونلاحظ أنها لا تتغير بشكل ملاحظ مع الزمن والمنحني باللون **الأخضر** يمثل جهد المضخة من دون توصيل النظام نلاحظ بأنه ثابت على

الجهد 12 فولط خلال فترة التوصـيل. من خلال مراقبة وتحصـيل قيم نظام المتحكم الضـبابي على برنامج اكسـل لاحظنا كمية التوفير في المياه التي كانت 15% كما هو موضح في الشكل (22)،



الشكل 21: يوضح نتائج التجربة

حيث يوضح الشكل (22) مقدار المياه المصروفة للري وألية الري المستخدم حيث نلاحظ في حالة استخدام الري التقليدي من قبل المزارع تستهلك عملية الري 190 ليتر في السـاعة، ومع اسـتخدام نظام الري الذكي كانت كمية الاسـتهلاك أقل 28.5 ليتر أي تم اسـتهلاك مياه اثناء عملية الري باسـتخدام النظام المصمم 161.5 ليتر بالتالي مما سبق نستنتج انه تم توفير 15% من كمية المياه. أدى ادخال تقنية انترنت الأشياء الى النظام لتوفير في كلفة أجور الأيدي العاملة بمقدار 50% حيث يمكننا الاستغناء عن العمال لمراقبة عملية الري أي تم تخفيض عدد العمال إلى النصـف حيث في حالة الري التقليدي احتجنا إلى عاملين، أم في حالة الري باستخدام النظام احتجنا إلى عامل واحد فقط بالإضافة استفدنا من تقليل الأجهزة وذلك يعود إلى تقنية LoRaWAN ذات مدى الاتصال البعيد.



الشكل 22: يوضح كمية المياه المستهلكة بين الوضعين

5. الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

أثبتت التجارب أن استخدام متحكم يعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي من أجل قيادة مضخة الري يمكننا من مايلي:

- توفير في كمية المياه المخصـصـة للري تبلغ حوالي 15% من كمية المياه المصروفة في حالة الري التقليدي.
- يتيح استخدام تكنولوجيا LoRaWAN في المجال الزراعي من مايلي:
  - توفير في كلفة أجور الأيدي العاملة بمقدار 50% من خلال توفير اتصـال ذو مسـافات طويلة تغطي مساحات زراعية كبيرة بالتالي تأمين مراقبتها بفعالية جيدة.
  - توفير في عدد الأجهزة اللازمة وذلك بسـبب طول مدى الاتصـال الراديوي وبالتالي تغطية مسـاحات زراعية كبيرة بعدد قليل من المعدات.

التوصيات

1. استخدام حساسات خاصة من أجل قراءة قيم البوتاسيوم والفوسفور وغيرها من العناصر المنحلة في التربة.
2. استخدام **خوارزميات تعليم الألة** لاتخاذ القرارات بناءً على التنبؤات باحتياجات المحاصيل من المياه والمواد العضوية حيث من الممكن تدريب النظام من أجل التعامل مع ظروف جوية متغيرة واتخاذ القرار المناسـب من أجل تشـغيل مضـخة الري أو ايقافها، ومن الممكن ربط النظام مع مواقع التنبؤ بالمناخ الجوي لمسـاعدته في اتخاذ القرار المناسب.

المصادر

[1] A. Imteaj, T. Rahman, M. K. Hossain, and S. Zaman, “IoT based autonomous percipient irrigation system using raspberry Pi,” in *2016 19th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)*, IEEE, 2016, pp. 563–568. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7860260/

[2] D. A. Bashar, “Agricultural machine automation using iot through android,” *Journal of Electrical Engineering and Automation*, vol. 1, no. 2, pp. 83–92, 2019.

[3] E. Charniak and D. McDermott, “Introduction to artificial intelligence, 1985.” Addison-Wesley, Reading.

[4] F. Touati, M. Al-Hitmi, K. Benhmed, and R. Tabish, “A fuzzy logic based irrigation system enhanced with wireless data logging applied to the state of Qatar,” *Computers and electronics in agriculture*, vol. 98, pp. 233–241, 2013.

[5] H. Benyezza, M. Bouhedda, and S. Rebouh, “Zoning irrigation smart system based on fuzzy control technology and IoT for water and energy saving,” *Journal of Cleaner production*, vol. 302, p. 127001, 2021.

[6] K. A. Sado, L. H. Hassan, and M. Moghavvemi, “Design of a PV-powered DC water pump system

[15] S. McManus and M. Cook, *Raspberry Pi for dummies*. John Wiley & Sons, 2021.

[16] S. N. Sivanandam, S. Sumathi, and S. N. Deepa, *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*, vol. 1. Springer, 2007.

[17] S. Russell and P. Norvig, "Artificial intelligence: a modern approach," 2002.

[18] S. Syukriyadin, S. Syahrizal, G. Mansur, and H. P. Ramadhan, "Permanent magnet DC motor control by using arduino and motor drive module BTS7960," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2018, p. 012023.

https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/352/1/012023/meta

[19] T. J. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. John Wiley & Sons, 2005.

[20] W. Gay, "DHT11 Sensor," in *Advanced Raspberry Pi*, Berkeley, CA: Apress, 2018, pp. 399–418. Doi: 10.1007/978-1-4842-3948-3_22.

for irrigation: a case study," in *2018 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, IEEE, 2018, pp. 1–6. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8542072/

[7] K. Chang, P. Rammos, S. A. Wilkerson, M. Bundy, and S. A. Gadsden, "LiPo battery energy studies for improved flight performance of unmanned aerial systems," in *Unmanned Systems Technology XVIII*, SPIE, 2016, pp. 288–297.https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/9837/98370W/LiPo-battery-energy-studies-for-improved-flight-performance-of-unmanned/10.1117/12.2223352.short

[8] L. Yu *et al.*, "Review of research progress on soil moisture sensor technology," 2021, https://oa.tib.eu/renate/handle/123456789/11011

[9] M. A. Ertürk, M. A. Aydın, M. T. Büyükakkaşlar, and H. Evirgen, "A survey on LoRaWAN architecture, protocol and technologies," *Future internet*, vol. 11, no. 10, p. 216, 2019.

[10] M. Babiuch, P. Foltỳnek, and P. Smutnỳ, "Using the ESP32 microcontroller for data processing," in *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, IEEE, 2019, pp. 1–6. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8765944/

[11] N. K. Raghavendra and K. Padmavathi, "Solar charge controller for lithium-ion battery," in *2018 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, IEEE, 2018, pp. 1–5. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8707743/

[12] R. N. Rao and B. Sridhar, "IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system," in *2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, IEEE, 2018, pp. 478–483. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8399118/

[13] R. S. Krishnan, E. G. Julie, Y. H. Robinson, S. Raja, R. Kumar, and P. H. Thong, "Fuzzy logic based smart irrigation system using internet of things," *Journal of Cleaner Production*, vol. 252, p. 119902, 2020.

[14] R. Saha, S. Biswas, S. Sarmah, S. Karmakar, and P. Das, "A Working Prototype Using DS18B20 Temperature Sensor and Arduino for Health Monitoring," *SN COMPUT. SCI.*, vol. 2, no. 1, p. 33, Feb. 2021, doi: 10.1007/s42979-020-00434-2.

Design and implementation of a control system based on the LoRaWAN protocol and fuzzy logic to control the operation of an irrigation pump.

***Zain Aldein Mahmoud Ahmad*[1, *]**

[1] *Faculty of Technical Engineering, University of Tartous, Tartous, Syria Arab Republic, zainahm94@gmail.com*

**Corresponding author:Zain aldein Mahmoud Ahmad, email: zainahm94@gmail.com*

Published online: 31 March 2025

Abstract— Traditional irrigation methods consume large amounts of water, leading to wastage of water, energy and decreased yields of agricultural crops. A suitable technology was searched for use in the agricultural field for irrigation purposes and to solve this problem. Therefore, fuzzy logic approach was chosen for control purposes and LoRaWAN technology (Low Range wide-area network) in order to secure long-distance wireless communication and employ it in Internet of Things technology. Internet of Things technology has been added in order to monitor the system's operation from anywhere and facilitate the consumer's access to the information he wants. A controller based on fuzzy logic was designed and implemented on the MATLAB software to control the operation of the pump that irrigate the crops. It reads soil parameters through sensors. The research generally aims to use these modern technologies to help farms increase efficiency and production yields. The system was powered with electrical energy through the solar panel and the charging circuit. The experiment was implemented and the results indicate the efficiency of the designed system in terms of saving irrigation water, which reached 15% compared to the case of traditional irrigation. This is due to the use of artificial intelligence in controlling the operation of the pump designated for irrigation. It turns out that the use of Internet of Things technology has led to a savings in the cost of labor wages by 50%.

Keywords— LoRaWAN, Fuzzy logic, Embedded systems, Artificial intelligence, Internet of Things.