

أتمتة عمليات الري باستخدام تقنية المنطق الضبابي

د. علي احمد محمود *

م. زين الدين محمود احمد **

(تاريخ الإيداع 2022/ 6/7 . قُبل للنشر في 2022/ 9/ 25)

□ ملخص □

تمكن الذكاء الاصطناعي من فرض نفسه في جميع مجالات الحياة، لما له أهمية وفائدة كبيرة لا يمكن تجاهلها، وبما أن الإنتاج الزراعي من إحدى دعائم الاقتصاد كان لابد من تطوير عمليات الإنتاج في القطاع الزراعي، وخاصة في ظل ما يعانيه بلدنا في هذه الظروف والحاجة الكبيرة لدعم الاقتصاد الوطني بزيادة وتطوير الإنتاج الزراعي من خلال تنظيم وترشيد عمليات الري وذلك باستخدام تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي في مراقبة عملية الإنتاج الزراعي والتركيز على عملية الري، وهذا النظام يناسب جميع أنواع الحقول الزراعية ، في البداية تم تصميم متحكم ضبابي باستخدام برنامج الماتلاب بحيث يتحكم بعملية الري عن طريق متحكم مبرمج بتقنية المنطق الضبابي متصل معه ثلاثة حساسات تزوده ببارمترات الحقل الزراعي، وبناءً على القواعد الضبابية يتم اتخاذ القرار لعمل مضخة الري بسرعات متغيرة متناسبة مع القواعد الضبابية.

تم تأمين الطاقة الكهربائية المشغلة للنظام عن طريق التغذية من النظام الكهروضوئي، وتنفيذ التجربة وقراءة النتائج والمنحنيات، فلو حظ أن كمية التوفير في المياه كانت تقريباً ربع الكمية المستهلكة.
الكلمات المفتاحية: الري الذكي، منطق ضبابي، توفير المياه، الذكاء الاصطناعي.

* استاذ في كلية الهندسة التقنية، قسم هندسة الأتمتة الصناعية، جامعة طرطوس.

** طالب دراسات عليا (ماجستير) في كلية الهندسة التقنية، قسم هندسة الأتمتة الصناعية، جامعة طرطوس.

Automation of agricultural production processes using artificial intelligence techniques

Dr. Ali Ahmad Mahmoud*
Eng. Zain Al-dein Ahmad**

(Received 7/6/ 2022 . Accepted 25/9/ 2022)

□ ABSTRACT

Artificial intelligence has been able to impose itself in all areas of life because of its importance and great benefit that cannot be ignored, and since agricultural production is one of the pillars of the economy, it was necessary to develop production processes in the agricultural sector, especially in light of what our country suffers from in these circumstances and the great need to support the national economy by increasing and developing production The agricultural system through organizing and rationalizing irrigation operations using artificial intelligence technology to monitor the agricultural production process and focus on the irrigation process, and this system is suitable for all types of agricultural fields. Connected with it are three sensors that provide it with the parameters of the agricultural field, and based on the fuzzy rules, a decision is made to operate the irrigation pump at variable speeds commensurate with the fuzzy rules.

The electrical energy running the system was fed by feeding from the photovoltaic system, the experiment was carried out and the results and curves were read, and it was noted that the amount of water saving was approximately a quarter of the amount consumed.

Keywords: Smart irrigation, Fuzzy Logic, water saving, Artificial Intelligence.

* Professor at the Faculty of Technical Engineering, Department of Industrial Automation, Tartous University.

** Postgraduate Student (Master) at the Faculty of Technical Engineering, Department of Industrial Automation, Tartous University.

1. المقدمة:

كان لابد من البحث في أساليب الزراعة الحديثة التي حلت مكان الزراعة التقليدية، وساهمت في إيجاد الحلول لبعض المشاكل، لذلك حاولنا استخدام أنظمة الزراعة الذكية التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي، حيث الذكاء الاصطناعي علم حديث، يبحث عن طرق فعالة لمحاكاة الذكاء البشري رقمياً، وإيجاد السبل المثلى لفهم آلية عمل الدماغ، ومعالجته للمعلومات بسرعة وكفاءة عالية، وكيفية استجابته لمختلف الظروف والمواقف بمرونة كبيرة [1]، كما يعرف على أنه قدرة الآلات على القيام بالأشياء التي تتطلب ذكاء [2]، أبحاث الذكاء الاصطناعي تحاول 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، بالإضافة إلى استنباط القوانين العامة من خلال مجموعة من الأمثلة الواردة إلى الجهاز الآلي، وبناء المعرفة الذاتية، بحيث تكون الآلة في النهاية قادرة على الاستجابة للمتغيرات المختلفة بمرونة تامة، وبتوقيت وزمن جيد في مختلف المواقف والظروف المحيطة [3]. يعتبر المنطق الضبابي فرعاً أساسياً من فروع الذكاء الصناعي، ظهر عام 1965 على يد العالم الأذربيجاني الأصل لطفي زاده Lutfi Zadeh، 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 بخار في إعدادات المختبر [4]، 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 [5].

2. أهمية البحث، وأهدافه :

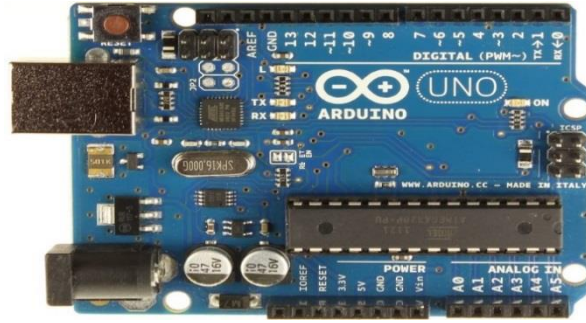
إن التقدم التكنولوجي في عصرنا الحالي يتجه نحو زيادة وتحسين الذكاء في الآلات وتطويرها لكي تحاكي آلية تفكير الإنسان وقدرتها على التكيف مع ظروف التشغيل واتخاذ القرار المناسب وإنجاز المهام المطلوبة بكفاءة عالية، أهمية البحث تكمن في استخدام الذكاء الاصطناعي في مجال الإنتاج الزراعي ودراسة المردود الاقتصادي والفوائد من هذه التقنيات الحديثة.

يهدف بحثنا على تصميم وتنفيذ نظام تحكم ذكي يعتمد تقنية التحكم الضبابي من خلال متحكم أريدينو تم برمجته بدقة لكي يقوم بعمله بطريقة ذكية و تحصيل ومراقبة البارامترات مثل رطوبة التربة ودرجة حرارة ورطوبة الهواء ودرجة حرارة التربة، وإيجاد طريقة معينة لألية توزيع الحساسات. استخدم المتحكم الضبابي قواعد ضبابية معينة لكي يتخذ القرار المناسب والزمن المناسب لتشغيل المضخة لري المزروعات. إن تصميم وتنفيذ هذا النظام الذكي يوفر الكثير من الطاقة والمياه.

3. مواد البحث

لوحة الأردوينو ARDUINO:

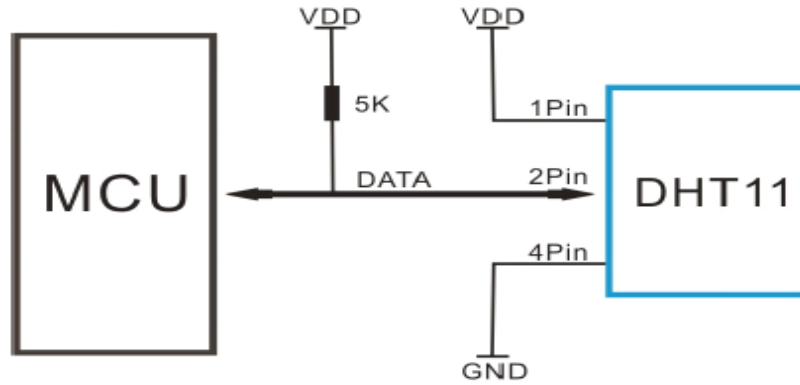
هو عبارة عن لوح إلكتروني مفتوح المصدر الشكل (1) يحتوي على متحكم دقيق قابل لإعادة البرمجة باستخدام بيئة برمجية تعتمد على لغة السي (C Language) تسمى البيئة Arduino IDE، حيث يمكن كتابة البرنامج المطلوب من ثم إرساله إلى الأردوينو. يمكن استخدام الأردوينو في شتى مجالات الحياة، حيث يمكن استخدام الحساسات بشتى أشكالها وقياس كافة البارامترات الفيزيائية من حرارة وضوء ورطوبة وتحولها إلى إشارة كهربائية يتم إرسالها من الحساسات إلى المتحكمات مثل الأردوينو وغيرها للاستفادة منها وتحولها إلى معلومات يمكن للمستخدم الاستفادة منها.



الشكل (1): لوحة الأردوينو Arduino

حساس الحرارة والرطوبة DHT11:

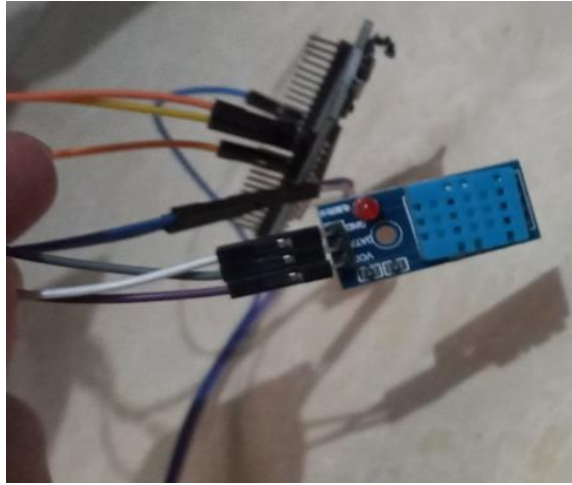
تُعتبر الحساسات DHT11 من أشهر العناصر المتعددة الاستعمال في الأردوينو كونها تُعتبر وسيلة غير مكلفة لقياس درجة الحرارة والرطوبة للهواء، وتحتوي هذه الحساسات على شريحة تقوم بتحويل القيم التناظرية إلى رقمية، وتعطي على خرجها إشارة رقمية توافق درجة الحرارة والرطوبة، وتكون هذه الإشارات سهلة القراءة من قبل أي متحكم (MCU, Micro Controller Unit) يُبين الشكل (2) مخططاً عاماً لوصول الحساس مع متحكم MCU.



الشكل (2): مخطط لوصول الحساس مع المتحكم

يتم إرسال إشارة رقمية تحمل بيانات حرارة ورطوبة الهواء، ويتم استقبالها من قبل المتحكم التي يفهمها عن طريق مكتبة برمجية خاصة لهذا النوع من الحساسات. مجال قياس درجة الحرارة من 0 إلى 50 ومجال

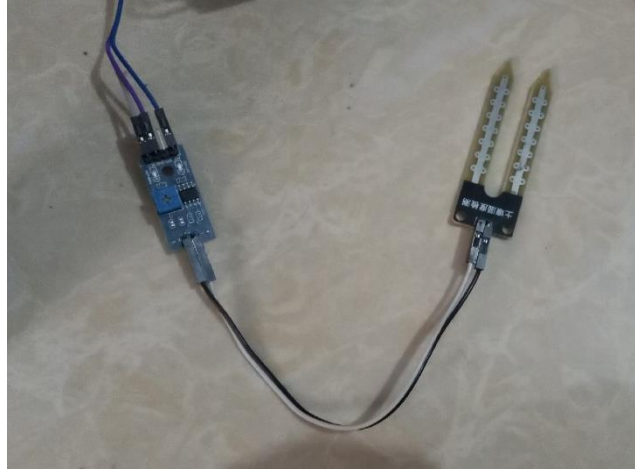
قياس درجة الرطوبة من (20-90) %، ويتألف هذا الحساس من مقياس رطوبة نوع أومي ومقياس حراري ذي معامل حراري سالب NTC، والشكل (3) يوضح شكل الحساس DHT11.



الشكل (3): شكل يوضح التركيب الداخلي للحساس DHT11

حساس رطوبة التربة:

لقد استخدمنا نوعين من الحساسات لقياس رطوبة التربة، الحساس الأول نوع أومي، كما في الشكل (4)، يعتمد على قيمة المقاومة بين طرفيه، حيث يتألف من طرفي معدن قابل لنقل الإشارة الكهربائية عند وضعه في وسط رطب، وبنية الدارة الالكترونية للحساس تعمل على تحويل الإشارة القادمة من طرفي الحساس إلى إشارة رقمية وتشابهيية حسب حاجة المستخدم باستخدام مضخم إشارة ومقاومة متغيرة.

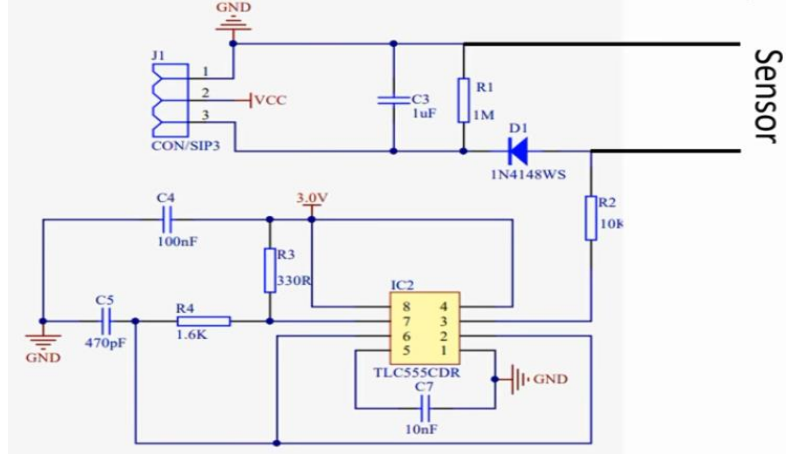


الشكل (4): حساس رطوبة التربة الأومي

حساس رطوبة التربة السعودي الشكل (5) يتألف من طرف طويل نسبياً يمثل لوحى المكثف، بحيث تتغير قيمة سعة المكثف حسب المادة الموجودة بين لوحى المكثف، ودارة الكترونية مدمجة معه لملائمة الإشارة القادمة ولتحويلها إلى إشارة مناسبة للمتحكم الشكل (6) وعند وضع طرف الحساس في الوسط الرطب المراد قياسه تتغير سعة المكثف بسبب تغير الوسط العازل بين لبوسي المكثف بحيث يصبح وسطاً مادياً وليس الهواء.



الشكل (5): حساس رطوبة التربة السعوي



الشكل (6): بنية الدارة الالكترونية المدمجة مع لبوسي المكثف

بعد تجربة كلا النوعين من الحساسات الأومي والسعوي لوحظ أن النوع الأومي يتعرض المعدن المصنوع منه للتآكل بسبب الماء والعوامل البيئية المحيطة، كما في الشكل (7)، لذلك يعتبر عمره قصيراً نسبياً وبالتالي يؤدي إلى تغيير قيمة القراءة مع الزمن. ولوحظ أن الحساس ذا النوع السعوي يحافظ على بنيته، وبالتالي يحافظ على حساسيته ويعطي قراءة ثابتة مع مرور الزمن.



الشكل (7): تآكل الحساس الأومي

حساس الحرارة DS18B20:

تم استخدام هذا النوع من الحساسات لقياس درجة حرارة التربة، وله ثلاثة أسلاك اثنين منها للتغذية وسلك آخر لنقل البيانات عبر رسالة رقمية مشفرة من الحساس، يتم التعرف عليها من قبل المتحكم عن طريق مكتبة برمجية خاصة تصممها الشركة المصنعة للحساس، الشكل (8) يوضح شكل الحساس، وهو مغلف

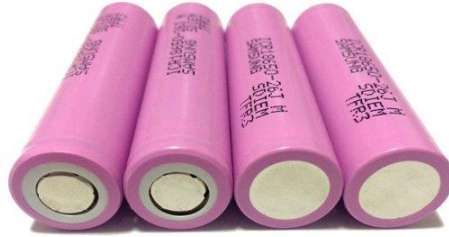
بغلاف معدني لكي يمكّن الحساس من العمل في الوسط السائل. ومجال قياس درجة الحرارة من -55 إلى 125.



الشكل (8): الحساس DS18B20 بوجود الغلاف

بطاريات الليثيوم أيون بوليمير 18650 LiPo:

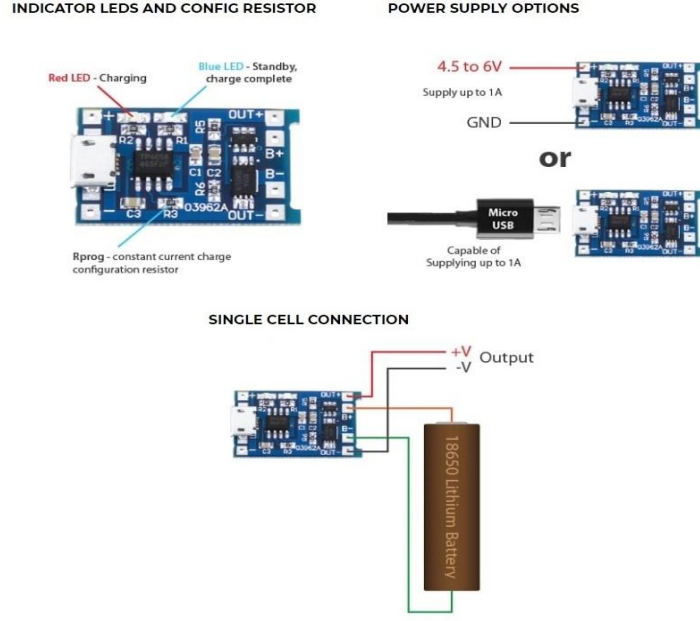
هي بطاريات قابلة لإعادة الشحن وتتميز بعمق تفريغ جيد وسعة تخزين جيدة، ولها أشكال وأحجام متنوعة، وجهد معياري اسمي هو 3,7 فولت وسعات مختلفة تتراوح من (1000 إلى 6000 mAh)، ويوضح الشكل (9) البطارية. وجهد الشحن الخاص بها هو 4,2 فولت وتيار الشحن الموصى به هو 1 أمبير.



الشكل (9): البطارية 18650

دائرة شحن بطاريات الليثيوم TP4056 LiPo:

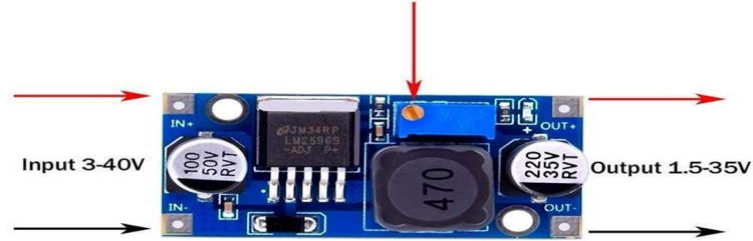
هي دائرة مخصصة لشحن هذا النوع من البطاريات، يتم الشحن بطريقة تيار ثابت وجهد ثابت constant-current/constant-voltage (CC/CV) ، يؤمن الحماية المطلوبة لبطاريات الليثيوم عن طريق شحن آمن، حيث تقوم بالحماية من التفريغ الزائد عند وصول جهد البطارية إلى 2,4 فولت، بحيث تفصل الخرج وتقوم بإعادة الشحن حتى يصل جهد البطارية إلى 3 فولت، وكذلك تقوم بالحماية من الشحن الزائد، حيث تقوم بقطع تيار الشحن عن البطارية عندما يصل جهدها إلى 4,2 فولت، وكذلك تحمي من تيار القصر. الشكل (10) يوضح شكل دائرة الشحن وألية توصيلها مع التغذية وتوصيلها أيضاً مع البطارية. يتم تغذية الدارة من منبع تغذية تيار مستمر جهده حوالي 5 فولت.



الشكل (10) يوضح دارة شحن بطاريات الليثيوم TP4056 LiPo وألية عمله

دارة مقطع التيار المستمر LM2596S:

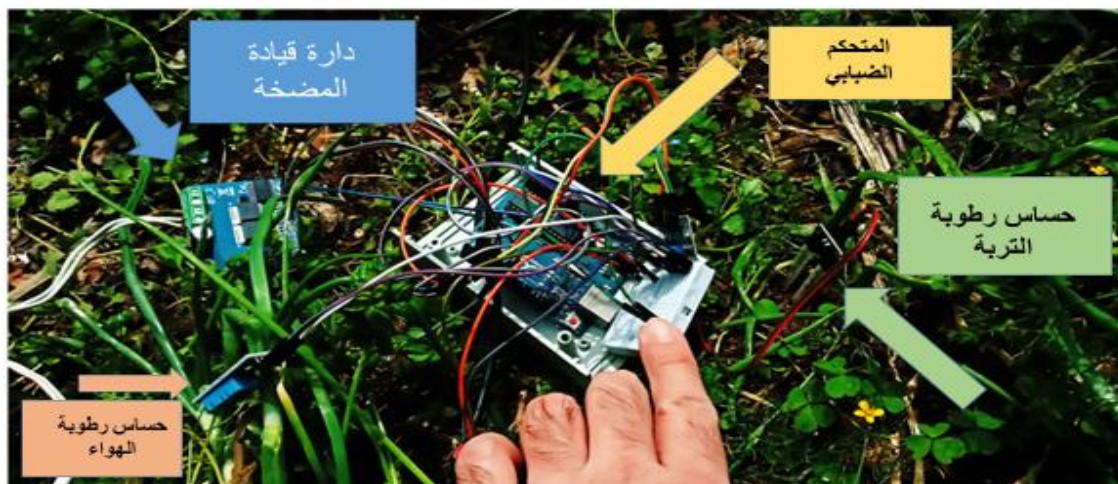
هي دارة مقطع تخفيض عالي الدقة، تحوي على مقاومة متغيرة تقوم بتغيير جهد الخرج ضمن مجال من (1,5 – 37) فولت، وتستطيع أن تغذي حمل يصل إلى 2 أمبير كحد أقصى، ويوضح الشكل (11) كيفية عمل الدارة وألية توصيلها.



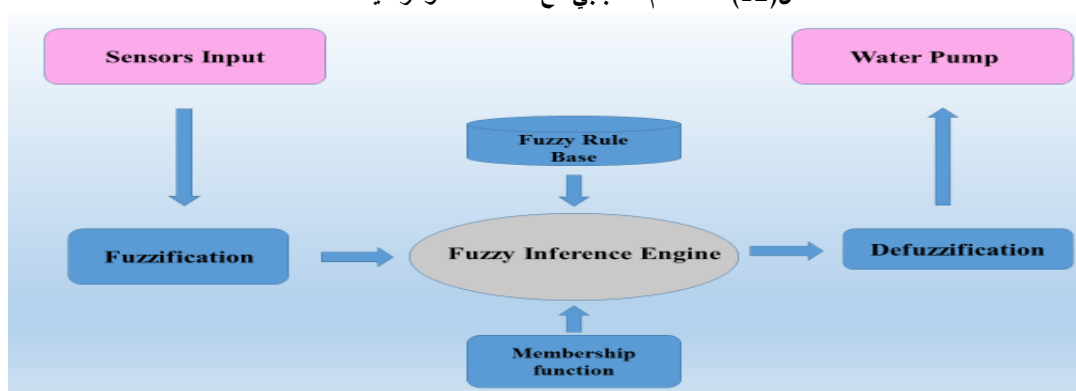
الشكل (11) دارة مقطع التيار المستمر LM2596S

4. طرق البحث:

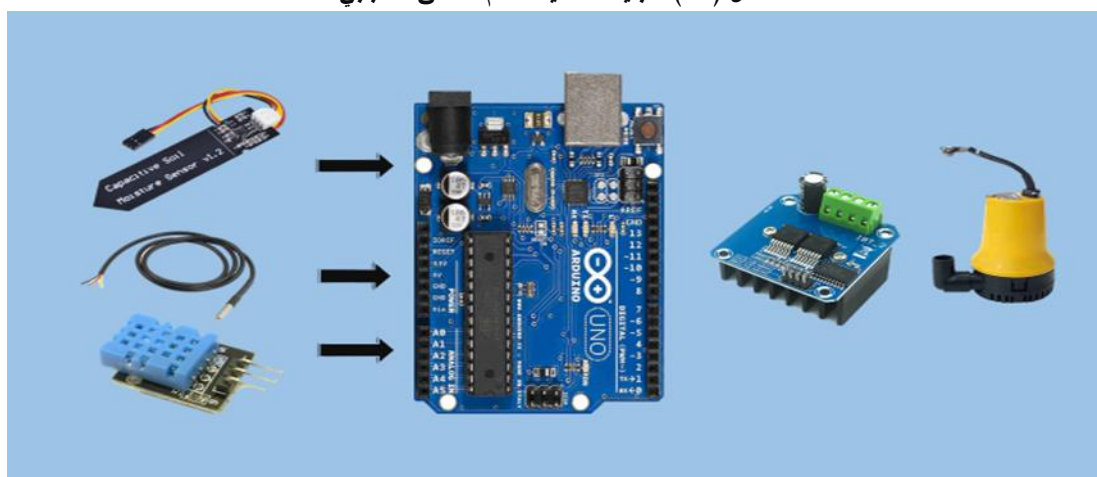
لقد تم استخدام المنطق التجريبي لاجراء البحث، وتم تصميم النظام الذكي عن طريق حزم برمجية خاصة بالمنطق الضبابي، وبعدها تم اجراء محاكاة باستخدام برنامج MATLAB/SIMULINK وتم تنفيذ النظام، تم استخدام المنطق الضبابي للتحكم بعمل المضخة الأشكال(12،13،14) درست تقنيات الذكاء الاصطناعي، تم تحديد مساحة الحقل المراد تطبيق النظام عليه وكانت المساحة حوالي(2*4) متر مربع، وتم اجراء عدة تجارب حيث تم ري الحقل بدون النظام ومعرفة كمية الاستهلاك من المياه، وتم ري الحقل مع نظام الري الذكي، وقياس كمية الاستهلاك من المياه، وتحديد نسبة التوفير.



الشكل (12): المتحكم الضبابي مع الحساسات ودائرة قيادة المضخة



الشكل (13): البنية الداخلية لنظام المنطق الضبابي

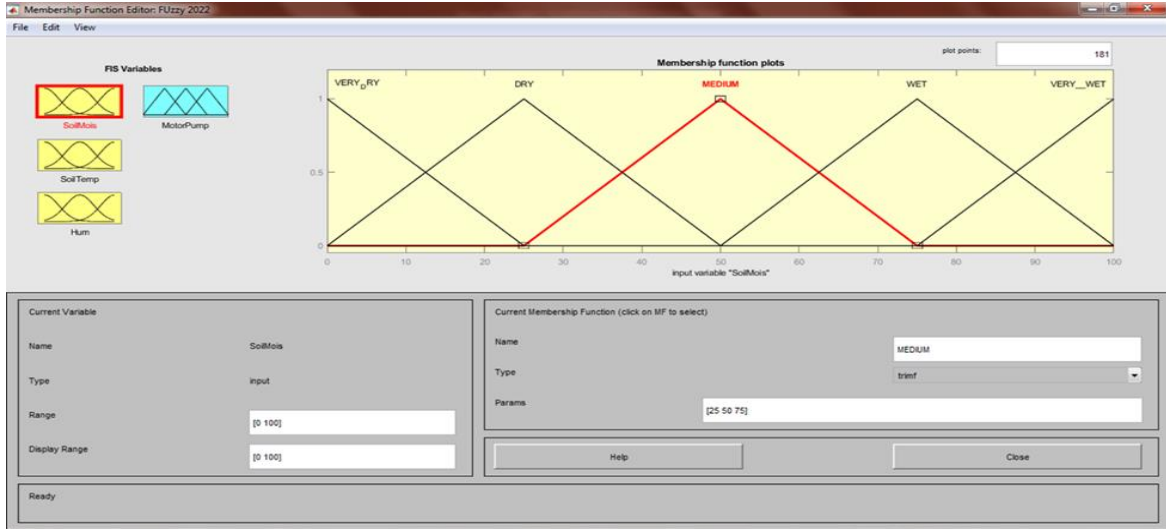


الشكل (14): البنية العملية للمتكم الضبابي

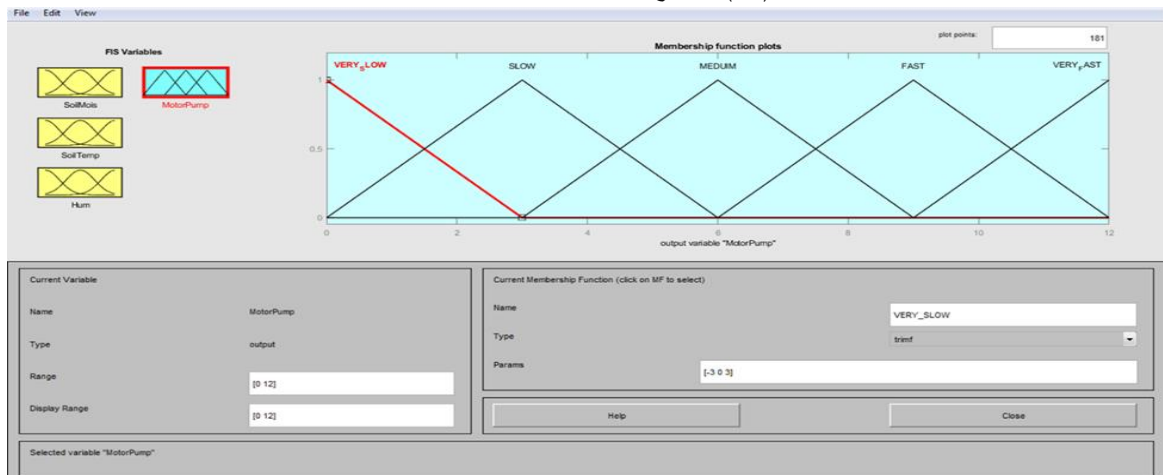
برنامج المتحكم الضبابي:

في البداية تم دراسة تقنية الذكاء الصناعي الأكثر ملائمة للبحث، حيث تم اختيار تقنية المنطق الضبابي، وتم برمجة وتصميم متحكم ضبابي من خلال برنامج ماتلاب وأداة fuzzy logic tool، وتم تعريف ثلاثة مدخلات وهي الحساسات التالية حساس رطوبة التربة وحرارة التربة ورطوبة الهواء، وتم تحديد التتابع العضوية الضبابية لكل

مدخل، حيث يبين الشكل(15) التوابع العضوية الضبابية الخاصة لحساس رطوبة التربة، ويبين الشكل(16) التوابع العضوية للمخرج(المضخة). وبعدها تم كتابة القواعد الضبابية وتجريبها والتعديل عليها ومحاكاتها حتى الوصول إلى القواعد الأفضل التي تلائم البحث بعد العديد من التجارب على تشكيل هذه التوابع[4].

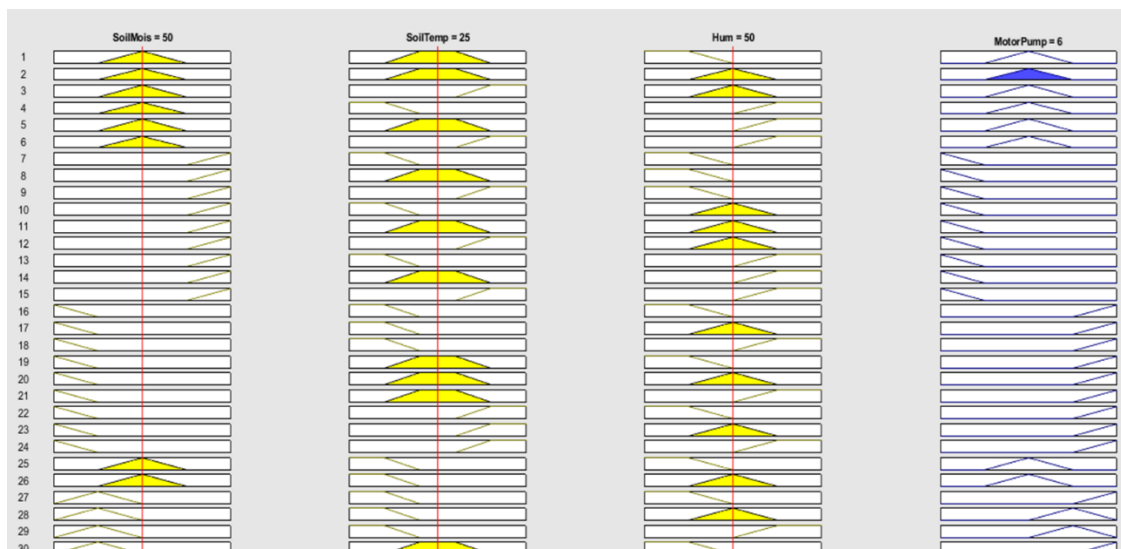


الشكل (15): التوابع العضوية لدخل حساس رطوبة التربة



الشكل (16): التوابع العضوية للمخرج (المضخة)

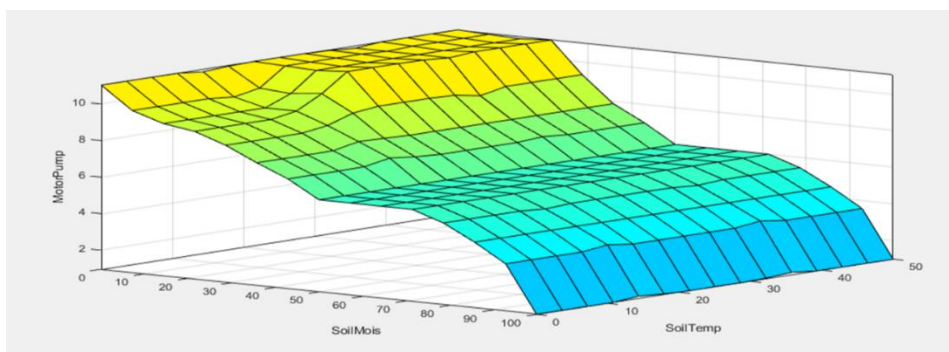
يحتوي محرك الاستدلال الضبابي على 44 قاعدة ضبابية بصيغ لغوية تنظم عمل المتحكم، حيث يتم تعديل مخرج المتحكم بناءً على هذه القواعد وحسب قيم الحساسات الواردة، حيث أن بيئة عمل الماتلاب تتيح لنا محاكاة وتجريب المتحكم بعد تصميمه واختبار ومراقبة عمل المتحكم ومعرفة كيفية تغيير المخرج عند تغير دخل أي قيمة من قيم الحساسات كما في الشكل (17).



الشكل (17): محاكاة نتائج النظام التحكم الضبابي برمجياً

كما أنه يمكننا مراقبة سطح أو مجال عمل المتحكم الضبابي أي العلاقة بين المدخلات والمخرجات كما في

الشكل (18).



الشكل (18): العلاقة بين المداخل والمخرجات للمتحكم الضبابي

برمجة المتحكم الضبابي إلى لغة C:

من أجل استخدام المنطق الضبابي كعتاد صلب فيزيائي في التجربة العملية احتجنا تحويل البرنامج الذي قمنا بتصميمه على برنامج الماتلاب إلى كود برمجي بلغة C خاص بمتحكم الأردوينو، وفي البداية تم تعريف المكتبات التي نريدها ثم تعريف عدد المداخل لنظام الاستدلال الضبابي وكذلك تعريف عدد المخرجات وعدد القواعد الضبابية. بالنسبة للحساسات تؤثر كل منها على حدة على المخرج 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 المخرج حيث يتم قياسها على شكل نسبة مئوية، وعندما تقل النسبة المئوية للرطوبة يزداد قيمة المخرج وتتم الزيادة بناءً على برمجة القواعد الضبابية. تم تصميم متحكم أردوينو يحتوي على نظام تحكم منطق ضبابي حيث تم تصميم ومحاكاة نظام المنطق الضبابي على برنامج ماتلاب ومن ثم تحويل النظام إلى لغة C الخاصة بمتحكم الأردوينو لكي يتحكم بسرعة المضخة، حيث وضعت ثلاثة حساسات تتحكم بعمل مضخة الري هي حساس رطوبة التربة وحساس حرارة التربة وحساس رطوبة الهواء، وأصبح لدينا متحكم منطق ضبابي قادر على قراءة قيم الحساسات ومعالجة هذه القيم حسب القواعد الضبابية التي تم وضعها أثناء البرمجة، ومن ثم إعطاء أمر لعمل

المضخة بسرعة معينة. تم تغذية كامل النظام من خلال اللوح الشمسي ومقطع التيار المستمر ودارة الشحن بطارية الليثيوم، كما في الشكل (19) والشكل (20).



الشكل (19): يوضح اللوح الكهروضمسي على ارض الواقع



الشكل (20): بنية النظام الكهروضمسي المستخدم لتغذية النظام الري

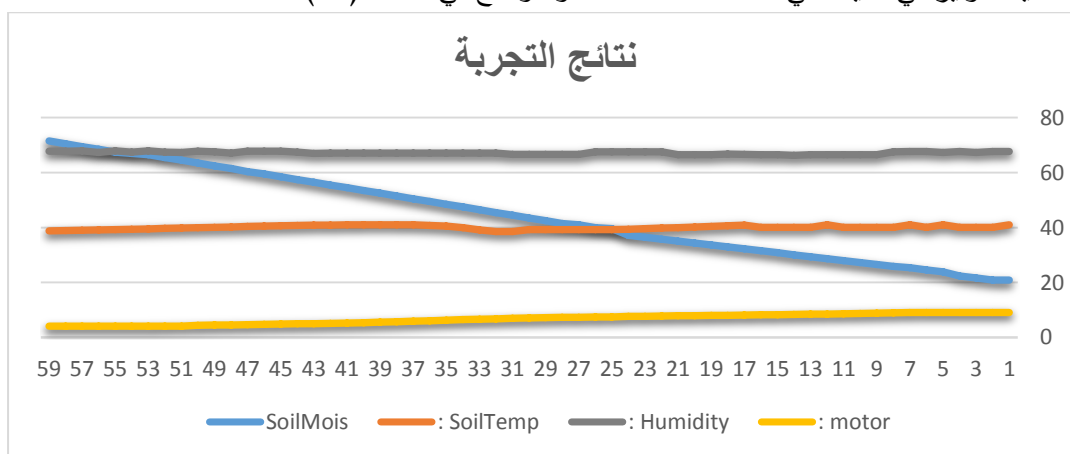
5. النتائج والمناقشة

بعد تصميم وتنفيذ نظام التحكم القائم على المتحكم الضبابي تم إجراء التجربة العملية على مرحلتين، في البداية قمنا خلال الشهر الرابع تحديد مساحة الحقل المراد تزويده بالري، وتم الطلب من المزارع أن يروي المحصول من خزان معلوم الحجم 550 ليتر والمحصول هو عبارة عن نبات الفاصولياء تم زرعها على شكل بذور الشكل (21)، وتمت عملية الري لمدة ساعة من دون استخدام أي نظام تحكم أي بشكل يدوي من قبل المزارع، وتم قياس كمية المياه التي تم صرفها للري، وبعدها تم تشغيل النظام عند نفس الشروط السابقة في المرحلة الأولى لكن بعد تشغيل النظام الخاص حيث قمنا بالعديد من التجارب وتمت المقارنة بين تجربتين لهما نفس شروط الاختبار (درجة حرارة التربة - رطوبة الهواء - رطوبة التربة)، هنا لم نتطرق إلى أمور خاصة نوع وحالة التربة وكيفية الزراعة لأنها أمور خاصة بالمزارعين وغرضنا هنا فقط استخدام المنطق الضبابي للتحكم بالمضخة المياه، وبعد إجراء التجارب حصلنا على النتائج الموضحة من خلال المنحنيات حيث نلاحظ ثلاثة منحنيات مسؤولة عن قيم الحساسات (درجة حرارة التربة - رطوبة الهواء - رطوبة التربة) التي تم تحصيلها خلال ساعة من الزمن وذلك لاختبار النظام ومراقبة البارامترات التي يقوم بتحصيلها فقط وحصلنا على 60 عينة،



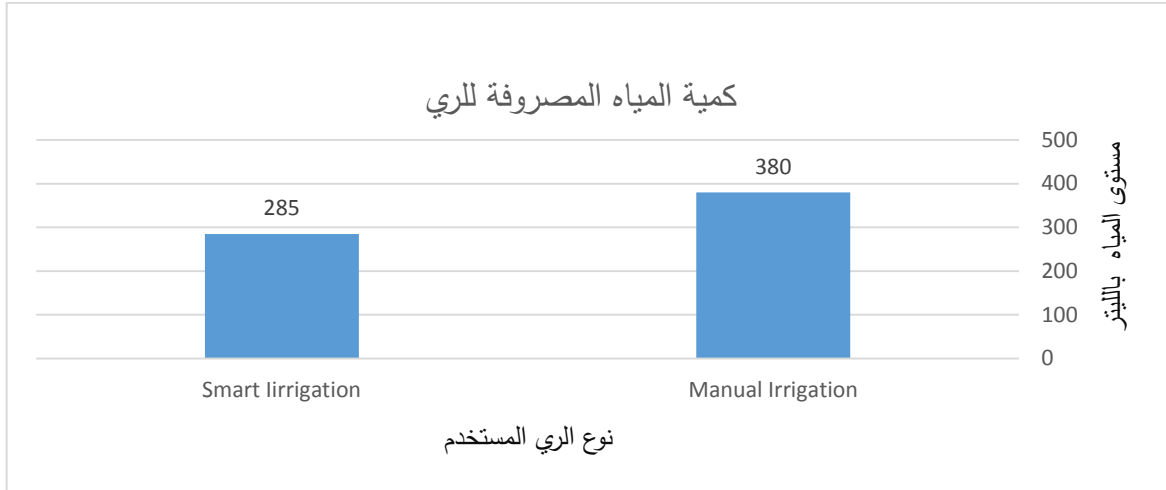
الشكل(21): يوضح نبات الفاصولياء

نلاحظ من النتائج أن في البداية كانت قيمة رطوبة التربة حوالي 20% وبعد تشغيل مضخة الري عند جهد 10 فولط نلاحظ زيادة رطوبة التربة وانخفاض جهد التغذية للمضخة، حيث في الشكل (22) يمثل المنحني باللون الأزرق رطوبة التربة التي تزداد مع الزمن والمنحني باللون الأصفر يمثل جهد التغذية للمضخة بحيث يتم تغذيتها من قبل دائرة القيادة الموصولة على خرج المتحكم الضبابي أم باقي المنحنيات تمثل درجة حرارة التربة و رطوبة الهواء ونلاحظ أنها لا تتغير بشكل ملاحظ مع الزمن. من خلال مراقبة وتحصيل قيم نظام المتحكم الضبابي على برنامج اكسل لاحظنا كمية التوفير في المياه التي كانت 25 %، كما هو موضح في الشكل (23)



الشكل (22): يوضح نتائج التجربة

الشكل (23) يوضح مقدار المياه المصروفة للري وألية الري المستخدم حيث نلاحظ في حالة استخدام الري اليدوي من قبل المزارع تستهلك عملية الري حوالي 380 ليتر في الساعة، ومع استخدام نظام الري الذكي كانت كمية الاستهلاك أقل حوالي 95 ليتر.



الشكل (23): يوضح كمية المياه المستهلكة بين الوضعين

6. التوصيات والمقترحات:

بعد الدراسة والتحليل نوصي بما يلي:

1. إمكانية تطوير النظام في مجال الإنتاج الزراعي ومراعاة ناحية التسميد خلال عملية الري وإضافة السماد إلى خزان الري وقياس نسبة المواد الكيميائية من خلال حساسات خاصة.
2. نوصي باستخدام تقنيات وخوارزميات أخرى للكفاءة الصناعي وخوارزميات تعليم الآلة Machine learning في مجال الإنتاج الزراعي.

المراجع :

- [1] S. Russell and P. Norvig, “*Artificial intelligence: a modern approach*,” 2002.
- [2] Jackson C. P., Jr., *Introduction to Artificial Intelligence*, vol. 2nd., Inc., New York, 1985, 513.
- [3] Mueller, P.; MASSARON, L, *Artificial Intelligence for Dummies*, 2018th, 412th ed. John Wiley & Sons, New Jersey.
- [4] S. N. Sivanandam, S. Sumathi, and S. N. Deepa, *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*, vol. 1. Springer, 2007.
- [5] T. J. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. John Wiley & Sons, 2005.
- [6] 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)*, 2016, pp. 563–568.
- [7] 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)*, 2018, pp. 478–483.
- [8] A. R. Al-Ali, A. Al Nabulsi, S. Mukhopadhyay, M. S. Awal, S. Fernandes, and K. Ailabouni, “IoT-solar energy powered smart farm irrigation system,” *J. Electron. Sci. Technol.*, vol. 17, no. 4, p. 100017, 2019.