Research Paper

Intelligent Irrigation Scheduling for Indian Ginseng (Withania somnifera): A High- Precision Fuzzy Logic-Based Approach

Shayesteh Tabatabaei[1*] , Bager Bahram Shotorban[2]

[1] Associate Professor, Faculty of Multimedia, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.
[2] Assistance Professor, Faculty of Multimedia, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.

10.22125/iwe.2026.559213.1907

Received:
November 12, 2025
Accepted:
January 30, 2026
Available online:
June 25, 2026

Keywords:
Smart irrigation, Fuzzy logic, Indian ginseng, Precision agriculture, Water saving, Arid regions, Saravan.

Abstract

Water scarcity is one of the most critical challenges facing agriculture in arid and semi-arid regions. This study designed and implemented a fuzzy logic-based smart irrigation system to accurately predict the water requirements of Indian ginseng (Ashwagandha). Fuzzy logic was selected due to its exceptional ability to handle uncertainty and model complex, nonlinear relationships among input variables, making it an ideal approach for irrigation optimization. Field experiments were conducted on a 400 m² plot in Saravan (Sistan and Baluchestan Province, Iran) during the 2025 growing season. Utilizing five environmental inputs (soil moisture, air temperature, relative humidity, wind speed, and plant age) and 243 Mamdani-type fuzzy rules, the system achieved a **41.9% reduction in water consumption** (from 336 to 195 L per season), a **16.3% increase in yield** (from 46 to 53.5 kg), and a **98.2% prediction accuracy** (R^2 = 0.982). Compared to traditional irrigation practices, the proposed system improved water use efficiency by **71.4%**.

1. Introduction

Water resources management in agriculture, especially in arid and semi-arid regions such as Sistan and Baluchestan Province is an important issue. Due to traditional irrigation systems not being effective, Saravan County (one of the most important areas for cultivation of medicinal plants) in Iran suffers from a serious water shortage. This research concentrates on designing a fuzzy logic based smart irrigation system that uses environmental data for optimising the time and amount of irrigation using soil moisture, air temperature, relative humidity, wind speed and a plant age parameters.This system aims to save the water needed for irrigation, grow crops better, reduce irrigation expenses and conduct monitoring of the field conditions with real-time feedback. Integrating smart technologies has the potential to optimise water use and promote sustainable agricultural development of medicinal plants at the level of these regions or areas with similar characteristics.

* **Corresponding Author:** Shayesteh Tabatabaei
Address: Faculty of Multimedia, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
Email: shtabatabaey@Tabriziau.ac.ir
Tel: Number

2. Methodology

In the present study, we designed and established a fuzzy logic-based smart irrigation system for growing Indian ginseng (Withania somnifera) in Saravan County of Sistan and Baluchestan Province of Iran. The system consists of Arduino Uno microcontroller connected with high-accuracy sensors for continuous monitoring of real-time environmental parameters such as soil moisture, air temperature, relative humidity and wind speed. Plant age is also incorporated as a biological variable within the decision-making process. Collected data are processed through a Mamdani fuzzy inference engine that dynamically simulates irrigation scheduling as well as the amount of water providing for crops. Field studies were carried out over the 400 m2 area during the growing season of 2025 and meteorological data were recorded from official Iranian Meteorological Organization stations within the Saravan region. Results revealed the average seasonal temperature of 34.8°C and cumulative evaporation over 1,800 mm figures that unmistakably reflect the execution conditions prevailing in this hot dry environment region.

3. Discussion and Conclusion

Collected data are processed through a Mamdani fuzzy inference engine that dynamically simulates irrigation scheduling as well as the amount of water providing for crops. Field studies were carried out over the 400 m2 area during the growing season of 2025 and meteorological data were recorded from official Iranian Meteorological Organization stations within the Saravan region. Results revealed the average seasonal temperature of 34.8°C and cumulative evaporation over 1,800 mm figures that unmistakably reflect the execution conditions prevailing in this hot dry environment region.In the proposed system, irrigation scheduling and the amount of water applied are adjusted dynamically in real time, drawing on data from soil moisture levels, air temperature, relative humidity, wind speed, and the plant's growth stage. All of this data flows through a Mamdani fuzzy inference engine, which keeps growing conditions on track while avoiding unnecessary water use. Field results showed the system holds up well under real conditions, making it a genuinely practical choice for farmers dealing with limited water supplies.

4. Results

Running the system through a full growing season on the 400-square-meter test plot in Saravan painted a clear picture of how well it holds up under real pressure with temperatures averaging 34.8°C and total evaporation pushing past 1,800 mm, the Mamdani inference engine kept pace with shifting conditions by continuously reading soil moisture, air temperature, humidity, wind speed, and plant age, then adjusting irrigation timing and volume accordingly, which kept soil moisture at healthy levels throughout the 2025 season while cutting water use well below what conventional methods would have required, and with the system handling most decisions on its own, the need for manual oversight dropped significantly a practical advantage that matters most in remote, water-scarce areas like Sistan and Baluchestan.

5. Six important references

1) Odone, G., Perulli, G. D., Mancuso, G., Lavrnić, S., & Toscano, A. (2024). A novel smart fertigation system for irrigation with treated wastewater: Effects on nutrient recovery, crop and soil. Agricultural Water Management, 297, 108832.

2) Veerachamy, R., Ramar, R., Balaji, S., & Sharmila, L. (2022). Autonomous application controls on smart irrigation. Computers and Electrical Engineering, 100, 107855.

3) Baradaran, A. A., & Tavazoei, M. S. (2022). Fuzzy system design for automatic irrigation of agricultural fields. Expert Systems with Applications, 210, 118602.

4) Rambabu, G. V., Bridjesh, P., Kishore, N. P., & Sai, N. S. (2023). Design and development of a drip irrigation system. Materials Today: Proceedings.

5) Benzaouia, M., Hajji, B., Mellit, A., & Rabhi, A. (2023). Fuzzy-IoT smart irrigation system for precision scheduling and monitoring. Computers and Electronics in Agriculture, 215, 108407.

Conflict of Interest

All of the authors declare that they have no conflict of interest.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال شانزدهم. شماره شصت و دو زمستان۱۴۰۴

زمان‌بندی هوشمند آبیاری گیاه جنسینگ هندی (Withania somnifera): رویکردی با دقت بالا مبتنی بر منطق فازی

شایسته طباطبائی[۱]، باقر بهرام شتربان[۲]

تاریخ ارسال:۴۰۴/۰۸/۲۱
تاریخ پذیرش:۱۴۰۴/۱۱/۱۰

مقاله پژوهشی

چکیده

کم‌آبی یکی از مهم‌ترین چالش‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در این پژوهش، یک سیستم هوشمند آبیاری مبتنی بر منطق فازی برای پیش‌بینی دقیق نیاز آبی گیاه جنسینگ هندی (اشواگاندا) طراحی و پیاده‌سازی شد. منطق فازی به دلیل توانایی استثنایی خود در مدیریت عدم قطعیت و مدل‌سازی روابط پیچیده و غیرخطی بین متغیرهای ورودی انتخاب شده است و آن را به روشی ایده‌آل برای بهینه‌سازی آبیاری تبدیل می‌کند. آزمایش میدانی در مزرعه ۴۰۰ متر مربعی شهرستان سراوان (سیستان و بلوچستان) در فصل رشد ۱۴۰۴ انجام گرفت. سیستم با بهره‌گیری از پنج متغیر محیطی (رطوبت خاک، دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و سن گیاه) و ۲۴۳ قاعده فازی ممدانی، موفق به کاهش ۴۱/۹٪ مصرف آب (از ۳۳۶ به ۱۹۵ لیتر در هر فصل)، افزایش ۱۶/۳٪ عملکرد محصول (از ۴۶ به ۵۳/۵ کیلوگرم) و دستیابی به دقت پیش‌بینی ۹۸/۲٪ (R^2=۰/۹۸۲) شد. نتایج نشان داد که این سیستم در مقایسه با روش سنتی آبیاری، بهره‌وری مصرف آب را ۷۱/۴٪ افزایش می‌دهد.

واژه های کلیدی: آبیاری هوشمند، منطق فازی، جنسینگ هندی، کشاورزی دقیق، صرفه‌جویی آب.

[۱]دانشیار دانشکده چندرسانه‌ای، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران ایمیل: shtabatabaey@yahoo.com(نویسنده مسول)
[۲] استادیار دانشکده چندرسانه‌ای، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران. ایمیل:shotorban.b@gmail.com

مقدمه

کمبود آب یکی از چالش‌های اساسی در کشاورزی مدرن، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. افزایش تقاضا برای منابع آبی به دلیل رشد جمعیت، تغییرات اقلیمی، و توسعه صنعتی، نیاز به روش‌های کارآمد و پایدار برای مدیریت مصرف آب را بیش از پیش ضروری ساخته است. در این میان، توسعه فناوری‌های هوشمند برای بهینه‌سازی فرآیند آبیاری می‌تواند تأثیر بسزایی در افزایش بهره‌وری کشاورزی و کاهش هدررفت منابع آبی داشته باشد.

یکی از گیاهان با ارزش دارویی که به دلیل شرایط رشد خاص خود نیاز به مدیریت دقیق آبیاری دارد، جنسینگ هندی است. این گیاه به دلیل کاربردهای گسترده در طب سنتی و صنعت داروسازی، در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان و کشاورزان قرار گرفته است. با این حال، مدیریت آبیاری آن به دلیل تأثیرپذیری از عوامل محیطی مختلف، از جمله دما، رطوبت خاک، رطوبت نسبی هوا، سرعت باد، و سن گیاه، با چالش‌هایی همراه است. ازاین‌رو، استفاده از سیستم‌های آبیاری هوشمند می‌تواند به بهبود عملکرد این گیاه و صرفه‌جویی در مصرف آب کمک کند. در حالی که تحقیقات و کاربردهای زیادی در زمینه آبیاری جنسینگ هندی صورت گرفته است، مطالعات مرتبط با استفاده از سیستم‌های آبیاری مبتنی بر منطق فازی در این مزارع نسبتاً محدود هستند. منطق فازی که به عنوان گسترشی از منطق بولی سنتی شناخته می‌شود، این امکان را فراهم می‌آورد که مقادیر منطقی بین صحیح و غلط بیان شوند و همچنین عدم قطعیت و غیرخطی بودن مسائل دنیای واقعی را توصیف کند. در مقایسه با روش‌های سنتی کنترل آبیاری، سیستم‌های مبتنی بر منطق فازی قادرند به‌طور پویا به شرایط محیطی واکنش نشان دهند و با استفاده از ورودی‌های حسی مختلف، میزان دقیق آبیاری را تعیین کنند (کریشنا و همکاران، ۲۰۲۰). روش‌های مرسوم کنترل آبیاری معمولاً مبتنی بر مدل‌های ریاضی هستند که ایجاد آن‌ها برای سیستم‌های پیچیده و غیرخطی مانند آبیاری کشاورزی دشوار است. در مقابل، کنترل‌کننده‌های فازی می‌توانند به عنوان جایگزینی برای مدل‌های ریاضی عمل کنند و با استفاده از یک مدل فازی مبتنی بر قواعد "اگر - آنگاه" که از دانش کارشناسان یا افراد خبره نشأت می‌گیرد، عملکرد بهتری ارائه دهند (راملی و همکاران، ۲۰۱۷). این سیستم‌ها قادرند شرایط مختلف خاک و آب‌وهوا را به‌طور مداوم رصد کرده و بر اساس تحلیل داده‌های حسگرها، تصمیم‌گیری بهینه‌ای برای آبیاری انجام دهند.

در این پژوهش، یک چارچوب هوشمند مبتنی بر منطق فازی توسعه داده شده است که به‌طور مؤثر شرایط مزرعه را زیر نظر گرفته و فرآیند آبیاری را مدیریت می‌کند. این راه‌حل پیشنهادی با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته، به کشاورزان اجازه می‌دهد تا تصمیمات آگاهانه‌ای درباره زمان و مقدار آب مورد نیاز گیاه اتخاذ کنند، که در نتیجه، از هدررفت آب جلوگیری شده و عملکرد محصول افزایش می‌یابد. به‌منظور بررسی عملکرد این سیستم، شبیه‌سازی آبیاری هوشمند برای کشت جنسینگ هندی در شرایط آب‌وهوایی شهرستان سراوان، واقع در استان سیستان و بلوچستان، انجام شده است. شهرستان سراوان به دلیل قرارگیری در منطقه‌ای گرم و خشک، با محدودیت‌های آبی روبه‌رو است و مدیریت بهینه منابع آب در این منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، اجرای یک سیستم آبیاری مبتنی بر منطق فازی در این منطقه می‌تواند به بهبود عملکرد زراعی و کاهش مصرف آب کمک کند. برای اولین بار در ایران، در این پژوهش یک سیستم آبیاری هوشمند فازی را به‌طور اختصاصی برای گیاه دارویی جنسینگ هندی در شرایط واقعی مزرعه سراوان پیاده‌سازی می‌شود.

از جمله ویژگی‌های کلیدی این سیستم آبیاری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

استفاده از حسگرهای میدانی برای پایش مداوم شرایط خاک و آب‌وهوا

تصمیم‌گیری هوشمند با استفاده از منطق فازی برای بهینه‌سازی فرآیند آبیاری

کاهش مصرف آب و انرژی با جلوگیری از آبیاری بیش از حد یا ناکافی

افزایش بهره‌وری محصول از طریق مدیریت دقیق رطوبت خاک و جلوگیری از تنش‌های آبی

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی می‌تواند یک راهکار مؤثر برای مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی ارائه دهد و گامی مهم در جهت توسعه سیستم‌های آبیاری هوشمند محسوب می‌شود.

ساختار مقاله به این ترتیب است که در بخش (۲)، کارهای مرتبط مرور می‌شود. در بخش (۳) روش پیشنهادی بیان شده و در بخش (۴) شبیه سازی روش پیشنهادی در نرم افزار متلب آورده شده و در بخش (۵) نتیجه گیری بیان شده است.

پیشینه پژوهش

تحقیقات متعددی در زمینه آبیاری هوشمند با استفاده از منطق فازی انجام شده است. در برخی مطالعات، سیستم‌های کنترل فازی برای بهینه‌سازی میزان آبیاری طراحی شده‌اند که منجر به افزایش کارایی مصرف آب شده است. همچنین، برخی مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از مدل‌های هوشمند مبتنی بر یادگیری ماشین می‌تواند در پیش‌بینی الگوی مصرف آب مؤثر باشد. با این حال، مطالعاتی که به‌طور خاص به مدیریت آبیاری گیاه جنسینگ هندی در شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک بپردازند، بسیار محدود هستند. این پژوهش با ارائه یک مدل مبتنی بر منطق فازی که برای شرایط اقلیمی شهرستان سراوان طراحی شده است، تلاش می‌کند تا دقت پیش‌بینی میزان آبیاری را افزایش داده و بهره‌وری کشاورزی را بهبود بخشد. در ادامه، به بررسی چندین پژوهش اخیر که در زمینه بهینه‌سازی مصرف آب انجام شده‌اند، می‌پردازیم.

بیسواس و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود به بررسی پیاده‌سازی یک سیستم آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) با هدف بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش بهره‌وری کشاورزی پرداخته‌اند. آن‌ها بر اهمیت روش‌های آبیاری کارآمد در مقابله با کمبود منابع آبی تأکید کرده و یک روش‌شناسی جامع برای ادغام حسگرهای رطوبت خاک، دما و رطوبت هوا با یک میکروکنترلر ارائه داده‌اند. این سیستم، فرآیند آبیاری را بر اساس داده‌های لحظه‌ای به‌صورت خودکار تنظیم می‌کند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که به‌کارگیری IoT در آبیاری نه‌تنها مصرف آب را کاهش می‌دهد، بلکه عملکرد و پایداری محصولات کشاورزی را نیز بهبود می‌بخشد. در نهایت، نویسندگان نتیجه می‌گیرند که استفاده از سیستم‌های آبیاری هوشمند می‌تواند بهینه‌سازی مصرف منابع، ارتقای پایداری زیست‌محیطی و افزایش کارایی کشاورزی را به همراه داشته باشد.

کریشنان و همکاران (۲۰۲۰) یک سیستم آبیاری هوشمند مبتنی بر منطق فازی و IoT را برای بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش بهره‌وری کشاورزی ارائه کردند. این سیستم با ادغام حسگرها و کنترل‌کننده‌های IoT، پارامترهای محیطی کلیدی مانند رطوبت خاک، دما و رطوبت هوا را به‌صورت لحظه‌ای پایش کرده و با استفاده از منطق فازی، میزان دقیق آب موردنیاز را تعیین می‌کند. هدف اصلی این روش، کاهش هدررفت آب و تأمین آبیاری در زمان‌های ضروری است.

راجک و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی پتانسیل فناوری‌های اینترنت اشیاء (IoT) و حسگرهای هوشمند برای افزایش بهره‌وری و پایداری کشاورزی پرداخته‌اند. این مطالعه کاربردهای کلیدی این فناوری‌ها را در زمینه‌های کشاورزی دقیق، نظارت لحظه‌ای بر سلامت محصول و مدیریت منابع شناسایی کرده و در عین حال به چالش‌هایی مانند امنیت داده‌ها، قابلیت تعامل و هزینه‌های بالای پیاده‌سازی اشاره می‌کند. روش‌شناسی تحقیق شامل مرور جامع ادبیات موجود و مطالعه‌های موردی به‌منظور ارزیابی وضعیت فعلی پذیرش IoT در کشاورزی و موانع پیش‌روی کشاورزان و ذینفعان است. نویسندگان نتیجه‌گیری می‌کنند که برای غلبه بر چالش‌ها و بهره‌برداری کامل از مزایای فناوری‌های IoT، همکاری میان پژوهشگران، سیاستگذاران و جامعه کشاورزی ضروری است.

بن یزا و همکاران (۲۰۲۱) یک سیستم آبیاری هوشمند مبتنی بر کنترل فازی و IoT را به منظور بهینه‌سازی مصرف آب در کشت گوجه‌فرنگی معرفی کردند. این سیستم با استفاده از حسگرهای بی‌سیم، داده‌های مربوط به رطوبت و دمای محیط گلخانه را جمع‌آوری کرده

و از طریق ارتباط رادیویی به سرور مرکزی ارسال می‌کند. سپس، کنترلر فازی داده‌ها را پردازش کرده و بر اساس آن تصمیمات بهینه‌ای برای مدیریت فرآیند آبیاری اتخاذ می‌کند. آزمایش این سامانه در شرایط واقعی نشان داد که مصرف آب و انرژی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

شیه و همکاران (۲۰۲۲) یک سیستم آبیاری هوشمند فازی مبتنی بر الگوریتم بهبودیافته PSO را برای بهینه‌سازی مصرف آب و بهبود عملکرد محصول در باغات لیچی معرفی کرده‌اند. این تحقیق عوامل کلیدی تأثیرگذار بر نیازهای آبیاری از جمله رطوبت خاک، دما، رطوبت هوا و مراحل رشد لیچی را شناسایی کرده و از ترکیب داده‌های حسگرها با الگوریتم‌های منطق فازی برای تعیین زمان‌بندی بهینه آبیاری استفاده می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که سیستم پیشنهادی باعث افزایش کارایی آبیاری، کاهش مصرف آب و بهبود کیفیت میوه در مقایسه با روش‌های سنتی می‌شود.

دی جنارو و همکاران (۲۰۲۴) یک سیستم آبیاری هوشمند کم‌هزینه را برای مدیریت پایدار آب در منطقه مدیترانه، به‌ویژه برای مزارع گوجه‌فرنگی و طالبی در توسکانی ایتالیا، توسعه دادند. این سیستم با بهره‌گیری از مدل‌های تبخیر-تعرق و شبکه‌های حسگر بی‌سیم، به پایش دقیق شرایط رطوبتی خاک و محیط کمک کرده و زمان‌بندی بهینه آبیاری را به‌صورت خودکار تعیین می‌کند. ارزیابی عملکرد طی سه فصل زراعی (۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳) نشان داد که این رویکرد در مقایسه با روش‌های سنتی، مصرف آب را تا ۵۰ درصد کاهش داده و تأثیر مثبتی بر بهره‌وری منابع داشته است.

یونس و همکاران (۲۰۲۴) در یک مطالعه مروری سیستماتیک، ادغام تکنیک‌های یادگیری ماشین در سیستم‌های آبیاری هوشمند را مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها با تحلیل ۵۵ مقاله منتشرشده بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳، ۹ مدل پرکاربرد یادگیری ماشین را شناسایی کرده و مطالعات را بر اساس نوع تکنیک، دقت پیش‌بینی، مقایسه مدل‌ها و زمینه‌های کاربردی دسته‌بندی کرده‌اند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از یادگیری ماشین در آبیاری هوشمند موجب بهبود بهره‌وری و کارایی در مقایسه با روش‌های سنتی شده است.

اودونه و همکاران (۲۰۲۴) یک سیستم هوشمند فرتیگیشن جدید برای استفاده از پساب تصفیه‌شده در آبیاری معرفی کرده‌اند که به‌طور خاص برای بهبود بازیابی مواد مغذی، عملکرد محصول و حفظ کیفیت خاک طراحی شده است. این سیستم با ترکیب نظارت لحظه‌ای و دوزبندی خودکار مواد مغذی، مصرف بهینه آب و کود را تضمین می‌کند. روش‌شناسی این تحقیق شامل آزمایش‌های میدانی است که در آن حسگرها به‌طور مداوم پارامترهای خاک، میزان مواد مغذی و وضعیت محصول را اندازه‌گیری می‌کنند، و داده‌های جمع‌آوری‌شده به سیستم کنترل ارسال می‌شود تا فرایند آبیاری به‌طور پویا تنظیم شود. نتایج نشان دادند که این سیستم موجب بهبود کارآیی مواد مغذی، کاهش مصرف آب شیرین و افزایش باروری خاک نسبت به روش‌های سنتی آبیاری می‌شود.

یافته‌های پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که به‌کارگیری الگوریتم‌های هوشمند، به‌ویژه منطق فازی، در سیستم‌های آبیاری هوشمند باعث ارتقای بهره‌وری و کارایی نسبت به روش‌های سنتی شده است. با این حال، چالش‌هایی نظیر کمبود داده‌های جامع و نیاز به تحقیقات بیشتر برای تقویت قابلیت تعمیم مدل‌ها همچنان وجود دارد. پژوهشگران بر اهمیت همکاری میان محققان و متخصصان صنعت برای رفع این موانع و توسعه راهکارهای بهینه تأکید کرده‌اند.

ویرچامی و همکاران (۲۰۲۲) در مقاله خود تحت عنوان "کنترل‌های خودکار در آبیاری هوشمند"، یک سیستم آبیاری هوشمند پیشرفته را معرفی کرده‌اند که هدف آن بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی از طریق مکانیزم‌های کنترل خودکار است. در این تحقیق، تمرکز اصلی بر ادغام حسگرها و فناوری‌های اینترنت اشیاء (IoT) قرار دارد تا شرایط محیطی مانند رطوبت خاک، وضعیت جوی و نیازهای گیاهی به‌طور لحظه‌ای پایش شوند. در این مطالعه، از یک سیستم مبتنی بر میکروکنترلر برای پردازش داده‌های جمع‌آوری‌شده از حسگرها استفاده می‌شود که به‌طور خودکار برنامه‌های آبیاری را تنظیم می‌کند. این

رویکرد موجب توزیع دقیق‌تر آب و کاهش هدررفت آن می‌شود. نتایج تحقیق نشان‌دهنده بهبود چشمگیر در صرفه‌جویی آب و افزایش بهره‌وری محصول است و به‌ویژه، این سیستم‌ها پتانسیل بالایی برای ارتقاء شیوه‌های کشاورزی پایدار دارند. نویسندگان در نهایت نتیجه‌گیری می‌کنند که پیاده‌سازی چنین سیستم‌های خودکاری می‌تواند به‌طور مؤثری به مدیریت بهینه منابع آبی و حل چالش‌های کمبود آب در بخش کشاورزی کمک کند.

برادران و توازوئی (۲۰۲۲) یک سیستم کنترل آبیاری مبتنی بر منطق فازی را معرفی کرده‌اند که هدف آن بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی است. این مطالعه بر لزوم مدیریت مؤثر آبیاری در شرایط کمبود منابع آبی تأکید دارد و سیستمی مبتنی بر استنتاج فازی ارائه می‌دهد که پارامترهای ورودی مختلفی مانند رطوبت خاک، رطوبت نسبی، دمای هوا، سرعت باد، نفوذپذیری خاک، بارش روزانه، پوشش گیاهی و آلودگی هوا را در نظر می‌گیرد. خروجی‌های فازی این سیستم شامل تبخیر و تعریق مرجع، تنش آب، وضعیت پمپ آب، مدت زمان عملکرد پمپ آب، حجم نیاز آبی محصولات، بهره‌وری آبیاری و هدررفت آب است که برای اتخاذ تصمیمات آبیاری دقیق و آگاهانه به‌کار می‌رود. روش‌شناسی تحقیق شامل طراحی یک کنترلر فازی است که این پارامترها را به‌طور مؤثر ارزیابی کرده و میزان بهینه آب مورد نیاز برای گیاهان را تعیین می‌کند تا از هدررفت آن جلوگیری شود. عملکرد این سیستم از طریق شبیه‌سازی‌ها اعتبارسنجی می‌شود و نتایج نشان‌دهنده اثربخشی آن در حفظ رطوبت خاک و بهبود کارایی آبیاری است. نویسندگان نتیجه‌گیری می‌کنند که سیستم‌های فازی می‌توانند به‌طور مؤثری در ارتقاء شیوه‌های آبیاری خودکار، ترویج کشاورزی پایدار و حل چالش‌های مرتبط با مدیریت منابع آبی نقش داشته باشند.

رمابو و همکاران (۲۰۲۳) به یک رویکرد جامع برای ایجاد یک سیستم آبیاری قطره‌ای کارآمد پرداخته‌اند که هدف آن بهینه‌سازی استفاده از منابع آب در کشاورزی است. این مطالعه بر اهمیت یافتن راه‌حل‌های پایدار برای آبیاری، به‌ویژه در مناطق کم‌آب، تأکید می‌کند. روش‌شناسی تحقیق شامل طراحی سیستمی با اجزای کلیدی مانند پخش‌کننده‌های قطره‌ای، فیلتراسیون و تنظیم فشار است که قابلیت راه‌اندازی آسان بدون نیاز به سیستم‌های لوله‌کشی پیچیده و نگهداری کمتری را دارد. این سیستم اطمینان حاصل می‌کند که گیاهان به طور منظم آبیاری و تغذیه شوند و همچنین امکان راه‌اندازی سیستم تحویل مواد مغذی را فراهم می‌آورد. نتایج آزمایش‌های ارزیابی عملکرد نشان می‌دهند که سیستم توسعه‌یافته به‌طور قابل‌توجهی ضایعات آب را کاهش داده و محصول را در مقایسه با روش‌های سنتی آبیاری افزایش می‌دهد. نویسندگان نتیجه‌گیری می‌کنند که سیستم آبیاری قطره‌ای پیشنهادی یک راه‌حل مؤثر برای بهبود کارایی مصرف آب در شیوه‌های کشاورزی است و از پذیرش آن در جوامع کشاورزی به‌منظور ترویج کشاورزی پایدار حمایت می‌کنند.

بنزاویا و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله خود یک سیستم آبیاری هوشمند مبتنی بر منطق فازی و اینترنت اشیاء (IoT) را برای زمان‌بندی و نظارت دقیق در کشاورزی معرفی کرده‌اند. این مطالعه بر اهمیت مدیریت بهینه منابع آب در مواجهه با افزایش تقاضاهای کشاورزی و محدودیت‌های منابع تأکید دارد. سیستم پیشنهادی با ترکیب منطق فازی و فناوری IoT، فرآیندهای تصمیم‌گیری آبیاری را به‌طور چشمگیری بهبود می‌بخشد. در این سیستم، حسگرهای مختلفی برای پایش رطوبت خاک، دما و شرایط محیطی به‌کار گرفته می‌شوند. روش‌شناسی تحقیق شامل طراحی یک سیستم استنباط فازی است که داده‌های جمع‌آوری‌شده از این حسگرها را پردازش کرده و زمان‌بندی آبیاری را بهینه می‌سازد، به‌طوری‌که مصرف آب کاهش می‌یابد. نتایج تحقیق نشان می‌دهند که این سیستم به‌طور قابل‌توجهی کارایی مصرف آب را افزایش داده و سلامت محصولات را حفظ می‌کند. نویسندگان نتیجه‌گیری می‌کنند که این رویکرد نوآورانه نه‌تنها چالش‌های مدرن آبیاری را حل می‌کند، بلکه پتانسیل زیادی برای استفاده در کشاورزی پایدار دارد.

۳. مواد و روش‌ها

در این تحقیق، برای پیش‌بینی دقیق میزان و مدت زمان آبیاری گیاه جنسینگ هندی از الگوریتم منطق فازی

استفاده شده است. ابتدا، داده‌های مورد نیاز از حسگرهای مختلف مستقر در مزرعه جمع‌آوری می‌شوند. این حسگرها شامل حسگرهای رطوبت خاک، دما، رطوبت هوا، سرعت باد و سن گیاه هستند. سپس، داده‌های جمع‌آوری‌شده به میکروکنترلر آردوینو ارسال می‌شوند که با پردازش آنها و اعمال الگوریتم منطق فازی، میزان و زمان آبیاری مورد نیاز گیاه پیش‌بینی می‌شود. برای اجرای سیستم، از یک پمپ آب و رله برای کنترل جریان آب به گیاه استفاده شده است. همچنین، سیستم به گونه‌ای طراحی شده که قابلیت به‌روزرسانی و تنظیمات پویا بر اساس شرایط محیطی را داشته باشد.

فرضیات تحقیق

استفاده از الگوریتم منطق فازی می‌تواند میزان و مدت زمان آبیاری گیاه جنسینگ هندی را با دقت بالا پیش‌بینی کند.

عوامل محیطی مانند رطوبت خاک، دما، رطوبت هوا، سرعت باد و سن گیاه تأثیر مستقیمی بر میزان و مدت زمان آبیاری گیاه جنسینگ هندی دارند.

مدل پیش‌بینی مبتنی بر منطق فازی می‌تواند در مقایسه با روش‌های سنتی آبیاری، مصرف آب را به طور قابل توجهی بهینه کرده و از هدررفت آن جلوگیری کند.

استفاده از الگوریتم منطق فازی برای پیش‌بینی آبیاری در گیاه جنسینگ هندی می‌تواند به کاهش تنش آبی و افزایش بازدهی محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک کند.

۳-۲. اهداف تحقیق

مهمترین هدف تحقیق طراحی سیستم آبیاری هوشمند با استفاده از منطق فازی است که به مدیریت، رساندن آب به مزارع گیاه دارویی جنسینگ هندی، تعیین زمان آبیاری، و کنترل مقدار آب مصرفی می‌پردازد و قادر است با تنظیم زمان دقیق آبیاری از تبخیر آب جلوگیری نماید. اهداف فرعی تحقیق شامل موارد زیر است:

- طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم پیش‌بینی دقیق برای تعیین میزان و مدت زمان آبیاری گیاه جنسینگ هندی با استفاده از الگوریتم منطق فازی.
- شناسایی و تحلیل تأثیر عوامل محیطی مختلف (مانند رطوبت خاک، دما، رطوبت هوا، سرعت باد و سن گیاه) بر نیاز آبی گیاه جنسینگ هندی.
- ارزیابی و بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی با استفاده از سیستم پیش‌بینی مبتنی بر منطق فازی برای جلوگیری از هدررفت منابع آبی.
- بررسی تأثیر استفاده از سیستم پیشنهادی در کاهش تنش آبی و بهبود بازدهی محصول گیاه جنسینگ هندی در مناطق خشک و نیمه‌خشک.
- توسعه مدل‌هایی برای بهینه‌سازی مدیریت آبیاری در کشاورزی با استفاده از تکنیک‌های هوشمند مانند منطق فازی برای دستیابی به بهره‌وری بیشتر و صرفه‌جویی در منابع آبی

اهداف و دامنه

هدف این تحقیق طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم پیش‌بینی دقیق برای میزان و مدت زمان آبیاری گیاه جنسینگ هندی با استفاده از الگوریتم منطق فازی است. این تحقیق به تحلیل تأثیر عوامل محیطی مانند رطوبت خاک، دما، رطوبت هوا، سرعت باد و سن گیاه بر نیاز آبی گیاه می‌پردازد. با استفاده از منطق فازی، سیستم پیشنهادی قادر به بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی بوده و می‌تواند از هدررفت منابع آبی جلوگیری کند. دامنه این تحقیق شامل کاربرد منطق فازی در مدیریت آبیاری گیاه جنسینگ هندی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است، جایی که بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش بهره‌وری محصول از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این تحقیق می‌تواند به کاهش تنش آبی و بهبود عملکرد محصول در این مناطق کمک کند. سیستم پیشنهادی به دلیل هزینه پایین، دقت بالای آبیاری، بهینه‌سازی مصرف آب و قابلیت دسترسی آسان به اجزای آن، می‌تواند راهکاری مؤثر برای آبیاری گیاه جنسینگ هندی باشد. برای ارزیابی دقت این سیستم، از یک میکروکنترلر مبتنی بر پلتفرم آردوینو استفاده شده است که مقادیر داده‌های محیطی را از طریق حسگرهای متصل به آن دریافت می‌کند. سپس، بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده، تصمیم‌گیری درباره روشن یا

خاموش کردن پمپ آب و مدت زمان روشن شدن پمپ (مدت آبیاری) به‌صورت خودکار انجام می‌شود.

اجزای سیستم

سیستم آبیاری پیشنهادی شامل دو بخش اصلی است که در شکل ۱ نمایش داده شده‌اند:

گره هماهنگ‌کننده: شامل میکروکنترلر آردوینو به‌عنوان واحد پردازشی مرکزی

گره دستگاه انتهایی: شامل اجزای زیر است:

پمپ آب ،جهت تأمین آب مورد نیاز مزرعه

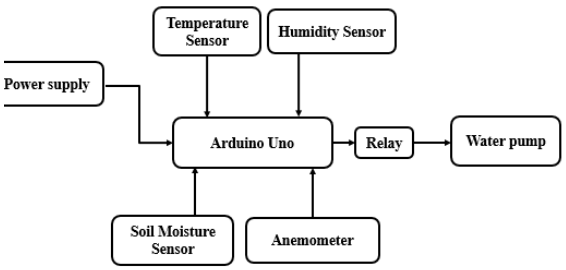
حسگر رطوبت خاک (Soil Moisture Sensor): برای اندازه‌گیری میزان رطوبت موجود در خاک

حسگر دما (Temperature Sensor): برای اندازه‌گیری دمای محیط

حسگر رطوبت هوا (Humidity Sensor): برای اندازه‌گیری میزان رطوبت نسبی هوا که بر تبخیر و نیاز آبی گیاه تأثیر می‌گذارد.

حسگر سرعت باد (Anemometer): برای اندازه‌گیری سرعت باد که می‌تواند بر تبخیر آب از سطح خاک و گیاه تأثیر بگذارد.

در این سیستم، میکروکنترلر آردوینو داده‌های محیطی را از طریق حسگرها دریافت و پردازش کرده و سپس بر اساس شرایط لحظه‌ای مزرعه، وضعیت پمپ آب و مدت زمان آبیاری را تنظیم می‌کند.



شکل(۱): اجزای اصلی سیستم آبیاری پیشنهادی

مکانیزم عملکرد سیستم

عملکرد سیستم به‌گونه‌ای طراحی شده است که پس از دریافت داده‌های محیطی، تصمیمات آبیاری بر اساس منطق فازی اتخاذ می‌شود. فرآیند کلی عملکرد سیستم به شرح زیر است:

فعال‌سازی سیستم: با روشن شدن منبع تغذیه، میکروکنترلر آردوینو فرآیند پردازش داده‌ها را آغاز می‌کند، که این داده‌ها از طریق حسگرهای نصب‌شده در مزرعه دریافت می‌شوند.

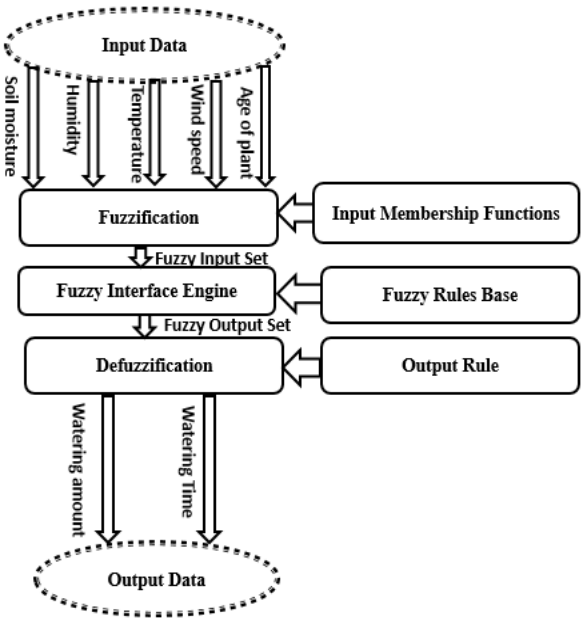
اتخاذ تصمیم بر اساس منطق فازی: میکروکنترلر بر اساس مقادیر ورودی و قوانین فازی، میزان نیاز به آبیاری و مدت زمان آبیاری را تعیین کرده و فرمان روشن یا خاموش شدن پمپ را ارسال می‌کند.

. استفاده از منطق فازی در تصمیم‌گیری

سیستم پیشنهادی از منطق فازی برای تحلیل داده‌های ورودی و اتخاذ تصمیمات بهینه استفاده می‌کند. این روش به‌ویژه در شرایطی که داده‌ها دارای عدم قطعیت هستند، عملکرد مناسبی دارد.

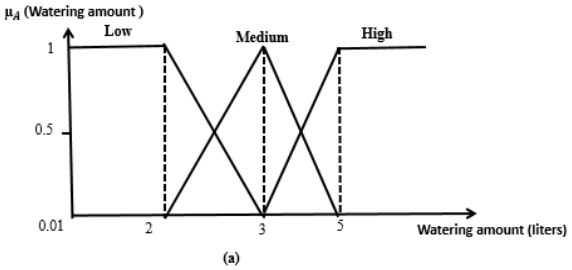
منطق فازی یک چارچوب ریاضی است که به کمک آن می‌توان مسائل پیچیده و با عدم قطعیت را مدل‌سازی کرد. برخلاف منطق کلاسیک که تنها از دو حالت صحیح و غلط استفاده می‌کند، منطق فازی توانایی مدل‌سازی وضعیت‌های مختلف و درجات متفاوت از صحت و نادرستی را دارد. این ویژگی به منطق فازی این امکان را می‌دهد که در شرایط پیچیده و غیرقطعی مانند سیستم‌های آبیاری هوشمند، به‌طور دقیق‌تری تصمیم‌گیری کند. به جای استفاده از داده‌های قطعی، در منطق فازی از قواعد و منطق نرم برای پردازش داده‌ها بهره‌برداری می‌شود که باعث می‌شود این روش قادر به شبیه‌سازی شرایط واقعی و تصمیم‌گیری در شرایط متغیر باشد. در روش پیشنهادی این مقاله، از منطق فازی برای بهینه‌سازی فرآیند آبیاری استفاده می‌شود. ورودی‌هایی مانند رطوبت خاک، دما و شرایط محیطی دیگر به‌طور پویا جمع‌آوری شده و توسط سیستم پردازش می‌شوند. در این سیستم، به جای تصمیم‌گیری بر اساس داده‌های دقیق، از الگوریتم‌های فازی برای پیش‌بینی و تعیین میزان آبیاری مورد نیاز گیاه دارویی جنسینگ هندی استفاده می‌شود. این رویکرد به‌ویژه زمانی که اطلاعات به‌طور کامل در دسترس نیست یا شرایط محیطی پیچیده و متغیر است، به افزایش کارایی سیستم و کاهش مصرف آب کمک شایانی می‌کند. اجزا تشکیل دهنده سیستم فازی در شکل ۲ نمایش داده شده است در

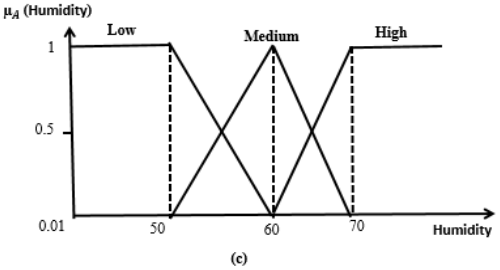
این سیستم فازی‌ساز وظیفه تبدیل داده‌های عددی ورودی به مجموعه‌های فازی را بر عهده دارد. این تبدیل از طریق توابع عضویت انجام می‌شود که به هر مقدار ورودی یک درجه عضویت در یک یا چند مجموعه فازی اختصاص می‌دهد. این مرحله اهمیت زیادی دارد زیرا داده‌های دنیای واقعی معمولاً غیرقطعی و نادقیق هستند و فازی‌سازی آن‌ها امکان پردازش مناسب‌تر را در سیستم فازی فراهم می‌کند. بخش موتور استنتاج فازی هسته اصلی سیستم فازی است که وظیفه پردازش داده‌های فازی‌شده را بر اساس مجموعه‌ای از قوانین فازی ذخیره‌شده در پایگاه دانش دارد. این قوانین به‌صورت عبارات IF-THEN تعریف می‌شوند و تعیین می‌کنند که چگونه مقادیر ورودی فازی‌شده به خروجی‌های فازی تبدیل شوند. موتور استنتاج از روش‌هایی مانند ممدانی یا سوگنو برای ترکیب قوانین و استخراج نتایج استفاده می‌کند. پس از پردازش ورودی‌ها در موتور استنتاج، خروجی‌های حاصل به‌صورت مجموعه‌های فازی هستند که برای استفاده در محیط واقعی باید به مقادیر عددی تبدیل شوند. این وظیفه بر عهده غیرفازی‌ساز است که با استفاده از روش‌هایی مانند مرکز ثقل یا میانگین بیشینه مقدار عددی نهایی را استخراج کرده و به‌عنوان خروجی سیستم ارائه می‌دهد. در روش پیشنهادی، پنج متغیر (رطوبت خاک، دما، رطوبت هوا، سرعت باد و سن گیاه) به عنوان ورودی و متغیرهای میزان آبیاری گیاه و زمان آبیاری به عنوان خروجی فازی در نظر گرفته می شود.

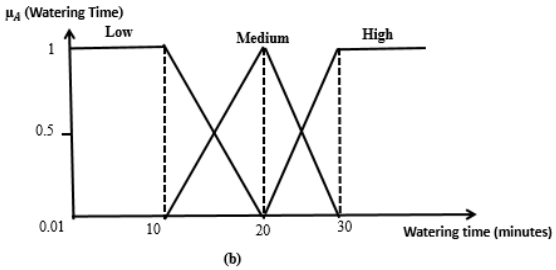


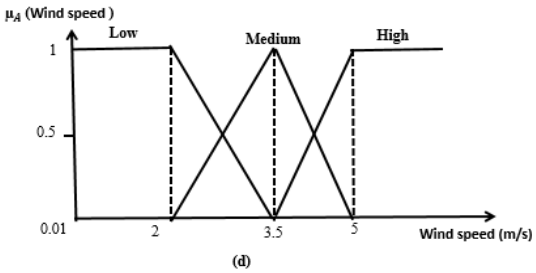
شکل (۲): بلوک دیاگرام سیستم منطق فازی

فازی ساز با استفاده از توابع عضویت، ورودی های نرمال شده را به متغیرهای فازی زبانی تبدیل می کند. توابع عضویت برای متغیرهای ورودی در شکل ۳ نمایش داده شده است. مجموعه های فازی استفاده شده برای فازی سازی هر متغیر ورودی را به سه تابع عضویت کم، زیاد و متوسط تقسیم می کند. در این فاز، مجموعه¬های فازی برای متغیرهای ورودی که شامل رطوبت خاک، دما، رطوبت هوا، سرعت باد و سن گیاه و خروجی فازی که میزان آبیاری گیاه و زمان آبیاری تعریف می‌شوند. توابع عضویت برای خروجی در شکل ۴ نمایش داده شده است. پس از فازی سازی، موتور استنتاج فازی سوگنو قوانین فازی از پیش تعیین شده را پردازش می کند.



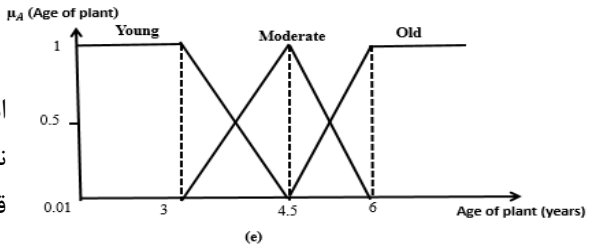


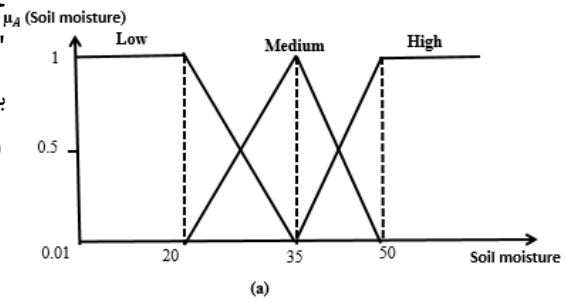


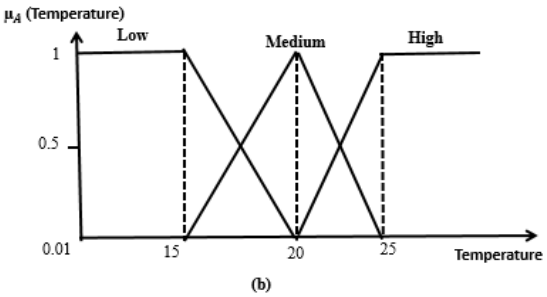


شکل (۴):توابع عضویت برای متغیر خروجی

در مرحله استنتاج، میزان آبیاری گیاه و زمان آبیاری با استفاده از قواعد فازی۱و با توجه به مقدار پارامترهای در نظر گرفته شده محاسبه می‌شود. هر قاعده فازی شامل دو قسمت است: یک قسمت مقدمه به صورت" اگر رطوبت خاک کم و دما بالا باشد " و یک قسمت نتیجه به صورت "آن‌گاه میزان آبیاری باید زیاد باشد ". خلاصه قواعد فازی برای میزان و زمان آبیاری گیاه جنسینگ هندی در جدول ۱ تعریف شده‌اند:







شکل (۳): توابع عضویت برای متغیرهای ورودی

[1] Fuzzy Rule

جدول(۱): پایگاه قواعد فازی

شماره	قانون
۱	اگر رطوبت خاک کم و دما بالا باشد، آنگاه میزان آبیاری باید زیاد باشد.
۲	اگر رطوبت خاک کم و رطوبت هوا کم باشد، آنگاه میزان آبیاری باید زیاد باشد.
۳	اگر رطوبت خاک متوسط و دما متوسط باشد، آنگاه میزان آبیاری باید متوسط باشد.
۴	اگر رطوبت خاک زیاد و رطوبت هوا زیاد باشد، آنگاه میزان آبیاری باید کم باشد.
۵	اگر رطوبت خاک کم و سن گیاه جوان باشد، آنگاه میزان آبیاری باید زیاد باشد.
۶	اگر رطوبت خاک متوسط و سن گیاه پیر باشد، آنگاه میزان آبیاری باید کم باشد.
۷	اگر رطوبت خاک کم و دما بالا باشد، آنگاه زمان آبیاری باید زیاد باشد.
۸	اگر رطوبت خاک متوسط و رطوبت هوا متوسط باشد، آنگاه زمان آبیاری باید متوسط باشد.
۹	اگر رطوبت خاک زیاد و سن گیاه جوان باشد، آنگاه زمان آبیاری باید کم باشد.
۱۰	اگر رطوبت خاک کم و سرعت باد زیاد باشد، آنگاه زمان آبیاری باید زیاد باشد.
۱۱	اگر سن گیاه متوسط و رطوبت خاک زیاد باشد، آنگاه زمان آبیاری باید کم باشد.

سپس، خروجی فازی برای هر قانون فعال شده محاسبه می شود. در نهایت غیرفازی ساز خروجی های فازی را تجمیع کرده و به یک مقدار واحد یعنی مدت زمان آبیاری و میزان آبیاری ، تبدیل می‌کند که در شکل ۴ نمایش داده شده است.

غیر فازی ساز: برای ترجمه خروجی فازی به مقدار عددی، از غیر فازی ساز استفاده می‌شود. در این مقاله از غیر فازی ساز میانگین مراکز استفاده شده است.

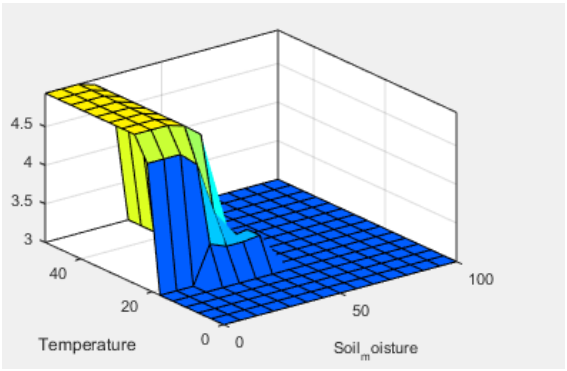
۴. شبیه سازی روش پیشنهادی

سیستم آبیاری از میکروکنترلر پلت فرم آردوینو تشکیل شده که برای بدست آوردن مقادیر داده‌های فیزیکی از سنسورهای متصل به برد آردوینو استفاده می‌شود سپس برد آردینو بوسیله کدی که در حافظه‌اش نوشته و ذخیره شده است بر حسب قوانین فازی تصمیم گیری می‌کند و میزان و زمان آبیاری را برای زمینی به مساحت در مزرعه ۴۰۰ متر مربعی (سه تکرار) در شهرستان سراوان را تعیین می‌کند داده‌های هواشناسی واقعی فصل رشد گیاه جنسینگ ۱۴۰۴ در جدول ۲ ارائه شده است. میانگین دمای فصل رشد ۳۴/۸درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۲۴٪/۸ و تبخیر کل ۱۸۰۰ میلی‌متر بود که نشان‌دهنده شرایط خشک و گرم منطقه است. همچنین ر روش پیشنهادی از سخت‌افزار Arduino Uno، سنسور رطوبت خاک FC-28 و سنسور DHT22 استفاده شد. روش پیشنهادی در نرم افزار متلب شبیه سازی شد.

جدول(۲): میانگین داده‌های هواشناسی شهرستان سراوان در فصل رشد جنسینگ هندی (فروردین تا مرداد ۱۴۰۴) اخذ شده از سازمان هواشناسی ایران

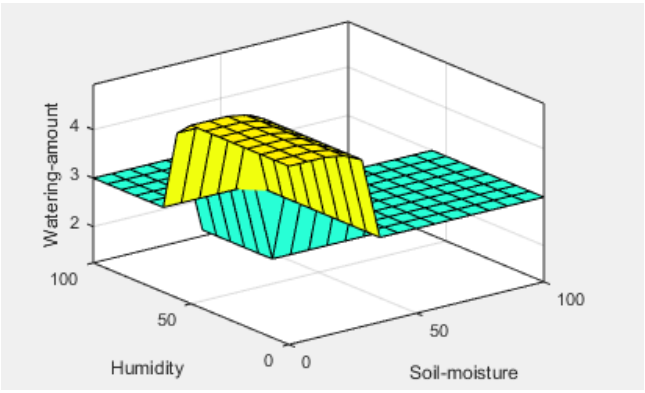
ماه	سرعت باد (m/s)	رطوبت نسبی (%)	بارش (mm)	تبخیر (mm)	میانگین دما (°C)
فروردین	۳/۸	۲۳	۲/۸	۲۶۸	۲۸/۴
اردیبهشت	۴/۵	۲۷	۵/۱	۴۲۳	۳۳/۱
خرداد	۵/۱	۲۱	۱/۳	۹۵۳	۳۶/۸
تیر	۵/۷	۰۲	۰/۸	۱۲۴	۳۸/۲
مرداد	۴/۹	۳۲	۱/۱	۸۰۳	۳۷/۵
میانگین فصل رشد	۴/۸	۲۴/۸	۱۶/۵	۸۰۰۱	۳۴/۸

همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، سطح نمودار نشان می‌دهد که با کاهش رطوبت خاک و افزایش دمای هوا، مدت میزان آبیاری افزایش می‌یابد.



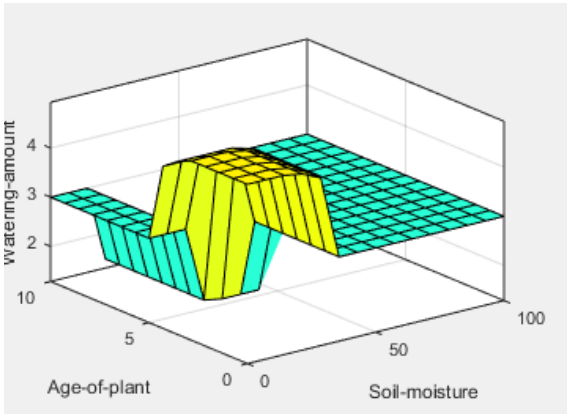
شکل (۵):. نمودار سطحی رابطه رطوبت خاک و دمای هوا با میزان آبیاری جنسینگ هندی

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، میزان آبیاری با کاهش رطوبت خاک و رطوبت هوا افزایش می‌یابد. این روند به‌طور دقیق مطابق با قوانین فازی طراحی‌شده برای سیستم آبیاری است که به‌طور خودکار میزان آبیاری را بر اساس شرایط محیطی تنظیم می‌کند. در سیستم‌های آبیاری هوشمند، یکی از مهم‌ترین پارامترها، رطوبت خاک است. کاهش رطوبت خاک نشان‌دهنده نیاز به آبیاری بیشتر است تا شرایط بهینه برای رشد گیاه حفظ شود. به‌طور مشابه، کاهش رطوبت هوا می‌تواند به معنای افزایش تبخیر و از دست دادن بیشتر رطوبت از سطح خاک باشد. در چنین شرایطی، سیستم فازی میزان آبیاری را به‌طور خودکار افزایش می‌دهد تا از خشکی گیاه جلوگیری شود. این نتایج به وضوح نشان‌دهنده صحت مدل فازی است که برای تنظیم دقیق میزان آبیاری در برابر تغییرات محیطی طراحی شده است. با توجه به اینکه رطوبت خاک و رطوبت هوا هر دو تأثیر مستقیمی بر نیاز آبی گیاه دارند، افزایش آبیاری در شرایط رطوبت پایین به‌طور طبیعی به گیاه کمک می‌کند تا از تنش‌های ناشی از کمبود آب محافظت شود.



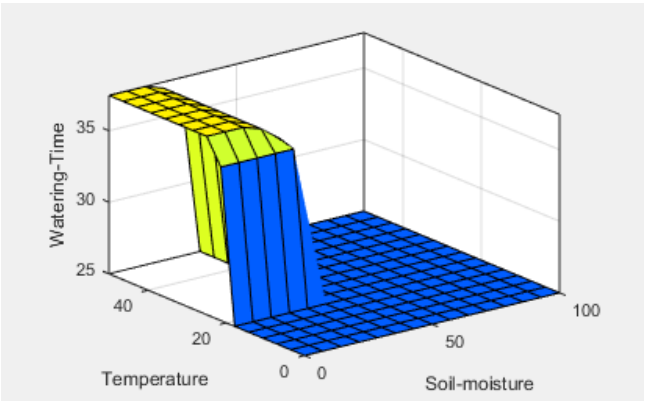
شکل (۶): نمودار سطحی رابطه رطوبت خاک و رطوبت هوا بامیزان آبیاری

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، این نمودار به وضوح نشان می‌دهد که با کاهش سن گیاه و کاهش رطوبت خاک، میزان آبیاری افزایش می‌یابد. این رابطه به‌ویژه در گیاهان جوان که رشد سریع‌تری دارند و در شرایطی که رطوبت خاک پایین است، قابل مشاهده است. به‌طور کلی، گیاهانی که سن کمتری دارند، به آب بیشتری برای رشد نیاز دارند و در شرایطی که رطوبت خاک کاهش می‌یابد، باید میزان آبیاری افزایش یابد تا نیاز آبی گیاه تأمین شود. همچنین، در شرایطی که رطوبت خاک پایین است، تبخیر آب از سطح خاک سریع‌تر اتفاق می‌افتد و این امر باعث می‌شود تا نیاز به آبیاری بیشتر گردد.در نقطه مقابل، اگر رطوبت خاک در وضعیت متوسط قرار داشته باشد و سن گیاه پیر باشد، میزان آبیاری باید کاهش یابد. گیاهان پیر معمولاً به دلیل کاهش فعالیت‌های متابولیک و کاهش سرعت رشد، به آب کمتری نیاز دارند. بنابراین، حتی در شرایطی که رطوبت خاک در حد متوسط باشد، سیستم آبیاری باید به‌طور هوشمندانه میزان آب مورد نیاز را کاهش دهد تا از هدررفت منابع آب جلوگیری شود.



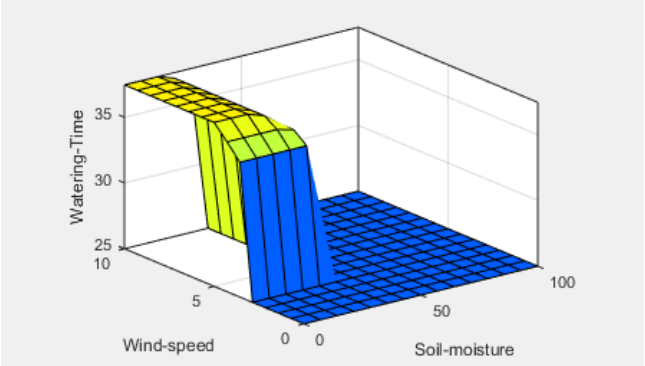
شکل (۷):نمودار سطحی رابطه رطوبت خاک و سن گیاه با میزان آبیاری

شکل ۸ مدت زمان آبیاری را در شرایط مختلف رطوبت خاک و دما نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، اگر رطوبت خاک کم باشد و دمای محیط بالا باشد، مدت زمان آبیاری باید بیشتر شود. این رابطه به‌طور مستقیم با نیاز آبی گیاهان در شرایط خشکسالی یا کمبود رطوبت خاک ارتباط دارد. در چنین شرایطی، گیاهان برای تأمین نیاز آبی خود به مدت بیشتری از آب نیاز دارند تا بتوانند رطوبت کافی را جذب کنند. علاوه بر این، دمای بالاتر موجب تبخیر سریع‌تر آب از سطح خاک می‌شود، که باعث کاهش سریع رطوبت خاک می‌شود و نیاز به آبیاری طولانی‌تر را ایجاد می‌کند. بنابراین، سیستم آبیاری به‌طور هوشمندانه و با توجه به دما و رطوبت خاک، زمان آبیاری را بهینه‌سازی می‌کند تا از هدررفت آب جلوگیری شود و در عین حال نیاز گیاه به آب به‌طور دقیق تأمین گردد. در سیستم فازی طراحی‌شده، این قانون به‌طور دقیق مدل‌سازی شده است تا در شرایطی که رطوبت خاک کم و دما بالا باشد، مدت زمان آبیاری افزایش یابد. این ویژگی کمک می‌کند که سیستم آبیاری در برابر تغییرات محیطی واکنش صحیح و بهینه‌ای داشته باشد و نیاز گیاه را به‌طور مؤثری تأمین کند.



شکل (۸): نمودار سطحی رابطه رطوبت خاک و دما با مدت زمان آبیاری

شکل ۹ ارتباط بین زمان آبیاری و ترکیب رطوبت خاک و سرعت باد را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، در شرایطی که رطوبت خاک کم و سرعت باد زیاد باشد، مدت زمان آبیاری باید افزایش یابد. این رابطه به‌ویژه در محیط‌های خشک و با وزش بادهای شدید، که موجب تبخیر سریع‌تر آب از سطح خاک می‌شود، از اهمیت بالایی برخوردار است. وقتی رطوبت خاک کم است، آب در خاک به‌سرعت تبخیر می‌شود و گیاهان برای تأمین نیاز آبی خود به مدت طولانی‌تری نیاز دارند. به‌علاوه، با افزایش سرعت باد، فرآیند تبخیر آب از سطح خاک سرعت می‌گیرد، که این مسئله باعث کاهش بیشتر رطوبت خاک می‌شود و بنابراین زمان بیشتری برای آبیاری ضروری خواهد بود.

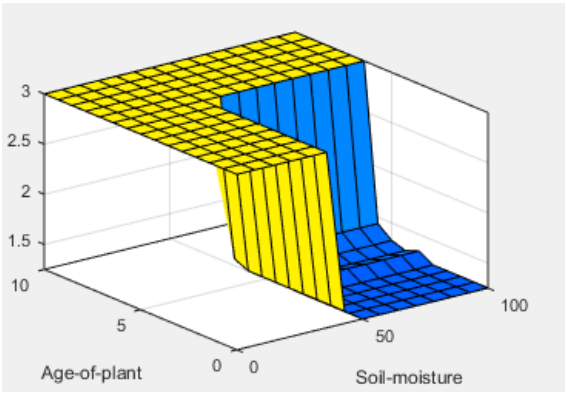


شکل (۹): نمودار سطحی رابطه رطوبت خاک و سرعت باد با مدت زمان آبیاری

شکل ۱۰ ارتباط بین مدت زمان آبیاری و ترکیب رطوبت خاک و سن گیاه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، در شرایطی که رطوبت خاک زیاد و سن گیاه جوان باشد، مدت زمان آبیاری باید کم

باشد. این رابطه به این دلیل است که گیاهان جوان معمولاً نیاز آبی کمتری دارند و رطوبت خاک زیاد به‌تنهایی برای تأمین نیاز آبی آنها کافی است، بنابراین نیازی به افزایش زمان آبیاری نیست. همچنین، در شرایطی که سن گیاه متوسط باشد و رطوبت خاک زیاد باشد، زمان آبیاری باید همچنان کم باشد. این به این دلیل است که گیاهان با سن متوسط معمولاً قادر به استفاده مؤثرتر از منابع آب موجود هستند و رطوبت زیاد خاک به‌اندازه کافی برای حفظ رشد و سلامت گیاه کافی است. این نمودار به‌وضوح نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت خاک و کاهش نیاز آبی گیاه (که در اینجا به سن گیاه مربوط است)، مدت زمان آبیاری کاهش می‌یابد. این ویژگی در سیستم فازی شبیه‌سازی شده است تا در شرایطی که رطوبت خاک زیاد و سن گیاه مناسب باشد، مدت زمان آبیاری به‌طور خودکار به حداقل مقدار ممکن کاهش یابد. این رویکرد به کاهش هدررفت آب کمک می‌کند و آبیاری بهینه را فراهم می‌آورد

.



شکل (۱۰): نمودار سطحی رابطه رطوبت خاک و سرعت باد با مدت زمان آبیاری

جدول ۳ مقایسه عملکرد سیستم فازی با روش سنتی آبیاری را نشان می‌دهد. سیستم پیشنهادی موفق به کاهش ۴۱٪/۹ مصرف آب و افزایش ۱۶/۳٪ عملکرد محصول شد.

جدول(۳): مقایسه عملکرد سیستم فازی هوشمند با روش سنتی آبیاری

پارامتر	روش سنتی (تجربی کشاورز)	سی ستم فازی	درصد بهبود٪
مصرف آب (لیتر/۴۰۰متر مربع/فصل)	۳۳۶	۱۹۵	۴۱/۹ ٪
عملکرد محصول (کیلوگرم)	۴۶/۰	۵/۵ ۳	۱۶/۳ ٪
بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم محصول/مترمکعب آب)	۰/۶۳	/۰۸ ۱	۷۱/۴ ٪
دقت پیش‌بینی (R^2)	-	۹۸۲ ۰/	۹۸/۲ ٪

نتیجه گیری

در این تحقیق، سیستم آبیاری هوشمند مبتنی بر منطق فازی برای گیاه جنسینگ هندی طراحی و پیاده‌سازی شد. این سیستم به‌طور خودکار میزان آبیاری و زمان آن را با توجه به متغیرهای مختلف محیطی و گیاهی تنظیم می‌کند. ورودی‌هایی همچون رطوبت خاک، دما، رطوبت هوا، سرعت باد و سن گیاه، به‌طور مؤثر در تنظیم آبیاری تأثیرگذار هستند. نتایج شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌ها نشان می‌دهند که با کاهش رطوبت خاک و افزایش دما، نیاز به آبیاری افزایش می‌یابد. این امر به‌ویژه در شرایطی که رطوبت خاک پایین باشد و دما افزایش یابد، مشهود است. از آنجا که جنسینگ هندی یک گیاه حساس به شرایط محیطی است، این رابطه باعث بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش عملکرد گیاه می‌شود. با توجه به این که جنسینگ هندی گیاهی با نیاز آبی خاص است، این سیستم به‌طور ویژه برای تنظیم آبیاری متناسب با نیازهای این گیاه طراحی شده است. به‌طور مثال، زمانی که سن گیاه کم است و رطوبت خاک بالا است، میزان آبیاری کاهش می‌یابد. این ویژگی باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و در عین حال حفظ سلامت گیاه می‌شود. علاوه بر این، تحلیل‌ها نشان می‌دهند که در شرایطی که سرعت باد زیاد باشد و رطوبت خاک کم باشد، زمان آبیاری به‌طور معناداری افزایش می‌یابد. این ویژگی به‌ویژه در مناطق با شرایط جوی متغیر مفید است

و می‌تواند به تنظیم دقیق‌تر آبیاری کمک کند. در نهایت، این تحقیق نشان می‌دهد که سیستم آبیاری هوشمند پیشنهادی می‌تواند به‌طور مؤثری مصرف آب را کاهش داده و به بهبود عملکرد گیاه جنسینگ هندی کمک کند. استفاده از منطق فازی در این سیستم، امکان تنظیم دقیق آبیاری بر اساس شرایط محیطی را فراهم می‌آورد، که در کشاورزی مدرن و برای گیاهانی همچون جنسینگ هندی می‌تواند راه‌حل مناسبی برای بهینه‌سازی منابع آبی باشد.

منابع

Baradaran, A. A., & Tavazoei, M. S. (2022). Fuzzy system design for automatic irrigation of agricultural fields. Expert Systems with Applications, 210, 118602.

Benyezza, H., Bouhedda, M., & Rebouh, S. (2021). Zoning irrigation smart system based on fuzzy control technology and IoT for water and energy saving. Journal of Cleaner production, 302, 127001

Benzaouia, M., Hajji, B., Mellit, A., & Rabhi, A. (2023). Fuzzy-IoT smart irrigation system for precision scheduling and monitoring. Computers and Electronics in Agriculture, 215, 108407.

Biswas, S., Sharma, L. K., Ranjan, R., Saha, S., Chakraborty, A., & Banerjee, J. S. (2021). Smart farming and water saving-based intelligent irrigation system implementation using the internet of things. In Recent trends in computational intelligence enabled research (pp. 339-354). Academic Press.

Di Gennaro, S. F., Cini, D., Berton, A., & Matese, A. (2024). Development of a low-cost smart irrigation system for Sustainable Water Management in the Mediterranean Region. Smart Agricultural Technology, 9, 100629.

Krishnan, R. S., Julie, E. G., Robinson, Y. H., Raja, S., Kumar, R., & Thong, P. H. (2020). Fuzzy logic based smart irrigation system using internet of things. Journal of Cleaner Production, 252, 119902.

Ramli, L., Mohamed, Z., Abdullahi, A. M., Jaafar, H. I., & Lazim, I. M. (2017). Control strategies for crane systems: A comprehensive review. Mechanical Systems and Signal Processing, 95, 1-23.

Krishnan, R. S., Julie, E. G., Robinson, Y. H., Raja, S., Kumar, R., & Thong, P. H. (2020). Fuzzy logic based smart irrigation system using internet of things. Journal of Cleaner Production, 252, 119902.

Odone, G., Perulli, G. D., Mancuso, G., Lavrnić, S., & Toscano, A. (2024). A novel smart fertigation system for irrigation with treated wastewater: Effects on nutrient recovery, crop and soil. Agricultural Water Management, 297, 108832.

Rajak, P., Ganguly, A., Adhikary, S., & Bhattacharya, S. (2023). Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges. Journal of Agriculture and Food Research, 14, 100776.

Rambabu, G. V., Bridjesh, P., Kishore, N. P., & Sai, N. S. (2023). Design and development of a drip irrigation system. Materials Today: Proceedings.

Veerachamy, R., Ramar, R., Balaji, S., & Sharmila, L. (2022). Autonomous application controls on smart irrigation. Computers and Electrical Engineering, 100, 107855.

.

Xie, J., Chen, Y., Gao, P., Sun, D., Xue, X., Yin, D., ... & Wang, W. (2022). Smart fuzzy irrigation system for litchi orchards. Computers and Electronics in Agriculture, 201, 107287.

Younes, A., Abou Elassad, Z. E., El Meslouhi, O., Abou Elassad, D. E., & Majid, E. D. A. (2024). The application of machine learning techniques for Smart Irrigation Systems: a systematic literature review. Smart Agricultural Technology, 100425.