

---

---

# *ABSTRACT*

**AN IOT BASED AUTOMATION SYSTEM FOR GREENHOUSE  
CULTIVATION**

*by*

**SIDDHARAM**

**(2020-28-006)**

**ABSTRACT**

**Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of**

**DOCTOR OF PHILOSOPHY**

**IN**

**AGRICULTURAL ENGINEERING**

**(Soil and Water Conservation Engineering)**

**Faculty of Agricultural Engineering and Technology**

**Kerala Agricultural University**



**DEPARTMENT OF SOIL AND WATER CONSERVATION ENGINEERING  
KELAPPAJI COLLEGE OF AGRICULTURAL ENGINEERING AND FOOD  
TECHNOLOGY, TAVANUR - 679 573**

**KERALA, INDIA**

**2026**

## ABSTRACT

The escalating challenge of water scarcity and the inherent inefficiencies of traditional agricultural management necessitate the adoption of robust precision technologies. This study details the development, validation, and comprehensive two-season evaluation of a low-cost IoT automation system designed for the integrated control of drip irrigation, sensor-driven fertigation, and microclimate regulation in salad cucumber (*Cucumis sativus*) cultivation. The primary objective was to quantify the technical performance, resource efficiency, and economic viability of the IoT framework against a conventional, non-automated control system. The methodology utilized a Completely Randomized Design (CRD) with five treatments (I<sub>1</sub> to I<sub>5</sub>), where four treatments (I<sub>1</sub>-I<sub>4</sub>) implemented the IoT closed-loop control and I<sub>5</sub> served as the non-automation. The system was validated using high-fidelity sensors, which demonstrated high accuracy and precision (DHT22  $R^2=0.985$ , NPK ( $\sigma= \pm 1\text{ppm}$ ), confirming the suitability of the low-cost components for scientific application. The statistical rigor was enhanced by time-series correlation analysis using MATLAB, which quantified the cumulative, time-lagged impact of microclimate variables (Temperature, RH, Light) on subsequent yield. The results unequivocally validate the superior efficacy of the low cost IoT system across all metrics. The IoT -automated treatments successfully enforced and maintained four distinct soil moisture regimes over both seasons, demonstrating high precision. This precise control translated into significant yield gains: the automated treatments clustered in the highest statistical group for total yield, averaging approximately 95 t/ha versus 80.5 t/ha for the non-automated control. Furthermore, the low-cost automation achieved a maximum WUE of 382.5 kg/ha-mm and a superior FUE of 109.87 compared to 94.06 non-automation, underscoring its role as a resource optimizer. The system also achieved high control over microclimate, evidenced by low MAE values for temperature and successful decoupling from external fluctuation MAE of temperature 4.90°C vs. Non-Automation 6.28°C. The economic analysis confirms the commercial viability of the IoT investment. The automated system yielded a sustained BCR of 2.22 across the first four years, driven by an Annual Gross Revenue significantly higher than the manual system's BCR of 1.86. In conclusion, this research establishes that the

developed low-cost IoT automation system is a scientifically sound, technologically robust, and financially compelling solution for enhancing productivity and ensuring resource sustainability in modern greenhouse agriculture.

## സംഗ്രഹം

വർദ്ധിച്ചുവരുന്ന ജലക്ഷാമവും പരമ്പരാഗത കാർഷിക മാനേജ്മെന്റിലെ പോരായ്മകളും കൃത്യതയാർന്ന സാങ്കേതികവിദ്യകൾ (precision technologies) നടപ്പിലാക്കേണ്ടതിന്റെ ആവശ്യകത വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നു. സാലഡ് വെള്ളരി (Cucumis sativus) കൃഷിയിൽ തുള്ളിനന (drip irrigation), സെൻസർ അധിഷ്ഠിത വളപ്രയോഗം (fertigation), സൂക്ഷ്മ കാലാവസ്ഥാ നിയന്ത്രണം (microclimate regulation) എന്നിവ സംയോജിതമായി നിയന്ത്രിക്കുന്നതിനായി വികസിപ്പിച്ചെടുത്ത കുറഞ്ഞ ചെലവിലുള്ള ഒരു ഐ.ഒ.ടി (IoT) ഓട്ടോമേഷൻ സിസ്റ്റത്തിന്റെ വികസനം, മൂല്യനിർണ്ണയം, രണ്ട് സീസണുകളിലായുള്ള സമഗ്രമായ പരിശോധന എന്നിവ ഈ പഠനം വിവരിക്കുന്നു. ഒരു സാധാരണ നിയന്ത്രണ സംവിധാനവുമായി (non-automated system) താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ, ഐ.ഒ.ടി ചട്ടക്കൂടിന്റെ സാങ്കേതിക പ്രകടനം, വിഭവ കാര്യക്ഷമത, സാമ്പത്തിക ലാഭക്ഷമത എന്നിവ അളക്കുക എന്നതായിരുന്നു പ്രധാന ലക്ഷ്യം.

അഞ്ച് സൂക്ഷ്മ പരിശോധനകൾ (11 മുതൽ 15 വരെ) ഉൾപ്പെടുത്തിയ 'കമ്പ്യൂട്ടർ റിസെൻസ് ഡിസൈൻ' (CRD) ആണ് ഈ ഗവേഷണ രീതിയിൽ ഉപയോഗിച്ചത്. ഇതിൽ നാല് സൂക്ഷ്മപരിശോധനകളിൽ (11-14) ഐ.ഒ.ടി ക്ലോസ്ഡ്-ലൂപ്പ് നിയന്ത്രണം നടപ്പിലാക്കി, 15 ഓട്ടോമേഷൻ ഇല്ലാത്ത നിയന്ത്രണ വിഭാഗമായി പ്രവർത്തിച്ചു. ഉയർന്ന നിലവാരമുള്ള സെൻസറുകൾ ഉപയോഗിച്ച് ഈ സംവിധാനം സാങ്കേതികമായി ശരിയാണെന്ന് ഉറപ്പുവരുത്തി (DHT22  $R^2=0.985$ , NPK  $\sigma = \pm 1\text{ppm}$ ). കുറഞ്ഞ ചെലവിലുള്ള ഘടകങ്ങൾ ശാസ്ത്രീയമായ ആവശ്യങ്ങൾക്ക് അനുയോജ്യമാണെന്ന് ഇത് സ്ഥിരീകരിച്ചു. മൊബൈൽ ആപ്ലിക്കേഷനായ 'മാറ്റ്ലാബ്' (MATLAB) ഉപയോഗിച്ചുള്ള ടെം-സീരീസ് കോറിലേഷൻ വിശകലനം വഴി,

സൂക്ഷ്മ കാലാവസ്ഥാ വ്യതിയാനങ്ങൾ (താപനില, ഈർപ്പം, പ്രകാശം) വിളവിനെ എങ്ങനെ ബാധിക്കുന്നു എന്ന് കൃത്യമായി കണക്കാക്കി ഗവേഷണത്തിന്റെ ശാസ്ത്രീയ കൃത്യത വർദ്ധിപ്പിച്ചു.

എല്ലാ മാനദണ്ഡങ്ങളിലും കുറഞ്ഞ ചെലവിലുള്ള ഈ ഐ.ഒ.ടി സിസ്റ്റം മികച്ചതാണെന്ന് ഫലങ്ങൾ നിസംശയം തെളിയിക്കുന്നു. ഐ.ഒ.ടി ഓട്ടോമേറ്റഡ് ചികിത്സകൾ രണ്ട് സീസണുകളിലും മണ്ണിലെ ഈർപ്പത്തിന്റെ അളവ് കൃത്യമായി നിലനിർത്തുന്നതിൽ വിജയിച്ചു. ഈ കൃത്യമായ നിയന്ത്രണം വിളവിൽ ഗണ്യമായ വർദ്ധനവിന് കാരണമായി: ഓട്ടോമേറ്റഡ് വിഭാഗത്തിൽ ശരാശരി 95 t/ha വിളവ് ലഭിച്ചപ്പോൾ, ഓട്ടോമേഷൻ ഇല്ലാത്ത വിഭാഗത്തിൽ ഇത് 80.5 t/ha മാത്രമായിരുന്നു. കൂടാതെ, ഈ സംവിധാനം പരമാവധി ജല ഉപയോഗക്ഷമത (WUE) 382.5 kg/ha-mm ഉം, വള ഉപയോഗക്ഷമത (FUE) 109.87 ഉം കൈവരിച്ചു (സാധാരണ രീതിയിൽ ഇത് 94.06 ആയിരുന്നു).

സൂക്ഷ്മ കാലാവസ്ഥാ നിയന്ത്രണത്തിലും ഈ സംവിധാനം മികച്ച പ്രകടനം കാഴ്ചവെച്ചു. സാമ്പത്തിക വിശകലനമനുസരിച്ച്, ഐ.ഒ.ടി നിക്ഷേപം വാണിജ്യപരമായി ലാഭകരമാണെന്ന് സ്ഥിരീകരിച്ചു. ഓട്ടോമേറ്റഡ് സിസ്റ്റം ആദ്യ നാല് വർഷങ്ങളിൽ 2.22 ബി.സി.ആർ (BCR) കൈവരിച്ചപ്പോൾ, മാനുവൽ സിസ്റ്റത്തിന്റേത് 1.86 മാത്രമായിരുന്നു. ഉപസംഹാരമായി, ആധുനിക ഗ്രീൻഹൗസ് കൃഷിയിൽ ഉൽപ്പാദനക്ഷമത വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നതിനും വിഭവങ്ങളുടെ സുസ്ഥിരത ഉറപ്പാക്കുന്നതിനും ഈ കുറഞ്ഞ ചെലവിലുള്ള ഐ.ഒ.ടി ഓട്ടോമേഷൻ സിസ്റ്റം ശാസ്ത്രീയമായും സാമ്പത്തികമായും മികച്ചൊരു പരിഹാരമാണെന്ന് ഈ ഗവേഷണം സ്ഥാപിക്കുന്നു.