

ISSN 1306-0007  
e-ISSN 2651-4230

# TARIM MAKİNALARI BİLİMİ DERGİSİ

Journal of Agricultural Machinery Science



2024

CİLT  
VOLUME

20

SAYI  
NUMBER

1

Tarım Makinaları Derneği Yayınıdır  
*Published by Agricultural Machinery Association*

YIL (YEAR) 2024

CİLT (VOLUME) 20

SAYI (ISSUE) 1

**Sahibi (President)**

**Tarım Makinaları Derneği Adına**  
(On Behalf of Agricultural Machinery Association)

**Can ERTEKİN**

*Akdeniz University, Antalya, TÜRKİYE*

**Editör Kurulu (Editorial Board)**

**Sayı Editörü (Issue Editor)**

**Türkan AKTAŞ**

*Tekirdag Namık Kemal University, TÜRKİYE*

**Editörler (Editors)**

**Türkan AKTAŞ**

*Tekirdag Namık Kemal University, TÜRKİYE*

**İlknur ALİBAŞ**

*Bursa Uludag University, TÜRKİYE*

**Anıl ÇAY**

*Canakkale Onsekiz Mart University, TÜRKİYE*

**Alan Editörleri (Field Editors)**

**Yüksel AYDOĞAN**

*Aydın Adnan Menderes University, TÜRKİYE*

**Shoojin JUN**

*Hawaii University, USA*

**Aslı AYHAN ARSLAN**

*Bursa Uludag University, TÜRKİYE*

**Seher Yusnieva KADİROVA**

*University of Ruse "Angel Kanchev", BULGARIA*

**Heinz BERNHARDT**

*Technical University of Munich, GERMANY*

**Engin ÖZGÖZ**

*Tokat Gaziosmanpasa University, TÜRKİYE*

**Sorin-Stefan BIRIS**

*Politehnica University of Bucharest, ROMANIA*

**Gülden ÖZGÜNALTAY ERTUĞRUL**

*Kırşehir Ahi Evran University, TÜRKİYE*

**Zeynep DUMANOĞLU**

*Bingol University, TÜRKİYE*

**Bahadır SAYINCI**

*Bilecik Şeyh Edebali University, TÜRKİYE*

**Ömer EREN**

*Hatay Mustafa Kemal University, TÜRKİYE*

**Bernhard STREIT**

*Bern University of Applied Sciences, SWITZERLAND*

**Gürkan Alp Kağan GÜRDİL**

*Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE*

**Shuichi YAMAMOTO**

*Yamaguchi University, JAPAN*

**Mizanpaj Editörü (Layout Editor)**

**Ersen OKUR**

*Tekirdag Namık Kemal University, TÜRKİYE*

**Dil Editörü (Language Editor)**

**Ömer ERTUĞRUL**

*Kırşehir Ahi Evran University, TÜRKİYE*

### Dergi Hakkında (About Journal)

**Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, Tarım Makinaları Derneği'nin bir yayınıdır.  
Tarım Makinaları Bilimi Dergisi yılda üç sayı olarak yayınlanır.**

(Journal of Agricultural Machinery Science is published three times in a year by  
Agricultural Machinery Association.)

### Yayın Hakları (Copyright Policies)

**Bu derginin yayın hakları Tarım Makinaları Derneği'ne aittir. Derginin hiç bir  
bölümü, yayıncının izni olmaksızın, herhangi bir şekilde çoğaltılamaz.**

(All rights reserved. No part of this publication may be reproduced in any form without the  
prior permission of the publisher.)

### Tarandığı İndeksler (Indexing)



**ROOT  
INDEXING**



**Google  
Scholar**



**Academic  
Journal  
Index**



**Eurasian  
Scientific  
Journal Index**



**ASOS  
INDEX**



**CiteFactor**  
Academic Scientific Journals



**Academic  
Resource  
Index**  
ResearchBib

### Tarım Makinaları Derneği (TARMAKDER)

**Yazışma Adresi (Correspondence Address)**

Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve  
Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye  
ertekin@akdeniz.edu.tr +90 505 257 90 80

**Dernek Adresi (Association Address)**

1462. Sok. No:33  
Alsancak - İzmir / Türkiye  
<https://www.tarmakder.org.tr>

## İçindekiler (Contents)

### Araştırma Makaleleri (Research Articles)

Sayfa (Page)

#### Telescopic Boom Design for Field Sprayers

Tarla Pülverizatörleri İçin Teleskopik Bum Tasarımı  
Hasan Berk ÖZYURT, İlker Hüseyin ÇELEN

1-14

#### Michele Palieri Sofralık Üzüm Çeşidinin Hasat ve Hasat Sonrası Bazı Mühendislik ve Kalite Özellikleri

Some Harvest and Postharvest Engineering and Quality Characteristics of Michele Palieri Table Grape Variety  
Esra Nur GÜL, Ebubekir ALTUNTAŞ, Türkan KÜSMEZ, Adem YAĞCI

15-24

#### Calculating Greenhouse Heating Capacities under Egypt's Climate Conditions: Using a Computational Program

Sera Isıtma Kapasitelerinin Mısır İklim Koşullarında Hesaplanması: Bir Bilgisayar Programı Kullanımı  
Nashwa A. GHALY, Gürkan A. K. GÜRDİL, Hüseyin DURAN, Bahadır DEMİREL

25-40

### Derleme Makaleleri (Review Articles)

Sayfa (Page)

#### Tarımsal Akıllı Sulama Sistemlerinde Yapay Zekâ, Derin Öğrenme ve Nesnelerin İnterneti Uygulamaları

Artificial Intelligence, Deep Learning, and Internet of Things Applications in Agricultural Smart Irrigation Systems  
Hasan ŞAHİN

41-60

## Telescopic Boom Design for Field Sprayers

### Tarla Pülverizatörleri İçin Teleskopik Bum Tasarımı

Hasan Berk Özyurt<sup>1,\*</sup> , İlker Hüseyin Çelen<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye.

\* Corresponding author (Sorumlu Yazar): H.B. Özyurt, e-mail (e-posta): berkozyurt@nku.edu.tr

#### Article Info

Received date : 28.12.2023  
Revised date : 07.04.2024  
Accepted date : 24.04.2024

#### Keywords:

Sprayer boom  
Field sprayer  
Telescopic motion  
3-D modelling  
Finite element analysis

Özyurt, H.B., Çelen, İ.H., (2024). "Telescopic Boom Design for Field Sprayers", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 20(1): 1-14.

#### ABSTRACT

The efficiency of pesticide applications has become an important issue with the increasing amount of pesticide usage in agriculture around the world. One of the most vital components of pesticide applications is the sprayer. Sprayers are used to spray the pesticides over the target organism homogenously. The sprayer boom is a crucial component of field sprayers in terms of spray homogeneity. To eliminate the yaw and roll moments on the sprayer booms, the design of those components is crucial. For that reason, a telescopically foldable sprayer boom consisting of 5 parts that hold 24 flat fan nozzles was designed. The materials used in the boom design were St-37 square welded and St-52 bent sheet steels. The relative motion of the boom parts was provided by the wheels that were beared on radial ball bearings. The propulsion was created with the rack-pinion mechanism and a DC motor. In order to examine the strength of the design, static structural analysis was carried out in the Solidworks simulation module by using the Finite Element Method (FEM). All boom parts, wheels, and boom-chassis support points are investigated individually. All forces affected on the boom parts on both the XY and YZ planes were calculated with the help of the free-body diagrams. Support points, gravity, and external forces were applied before the analysis is carried out. Then, meshes were created. After the mesh creation, the analysis was carried out and Von-Mises stress and displacement graphs were created. According to the graphical results, critical zones on the boom parts were identified and design improvements were performed when necessary.

#### Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 28.12.2023  
Düzeltilme tarihi : 07.04.2024  
Kabul tarihi : 24.04.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Pülverizatör bumu  
Tarla pülverizatörü  
Teleskopik hareket  
3-D modelleme  
Sonlu elemanlar analizi

#### Atf için:

Özyurt, H.B., Çelen, İ.H., (2024). "Tarla Pülverizatörleri İçin Teleskopik Bum Tasarımı", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(1): 1-14

#### ÖZET

Dünya genelinde tarımda pestisit kullanımının artmasıyla birlikte pestisit uygulamalarının verimliliği de önemli bir konu haline gelmiştir. Pestisit uygulamalarının en hayati bileşenlerinden biri pülverizatördür. Püskürtme bumu, püskürtme homojenliği açısından tarla pülverizatörlerinin önemli bir bileşenidir. Pülverizatör bumlarındaki esneme ve yuvarlanma momentlerini ortadan kaldırmak için bu bileşenlerin tasarımı çok önemlidir. Bu nedenle, teleskopik olarak katlanabilen, 24 yelpaze hüzmeli püskürtme memesini taşıyan 5 parçadan oluşan bir pülverizatör bumu tasarlanmıştır. Bum tasarımında kullanılan malzemeler St-37 kare profil ve St-52 bükümlü sac levhadır. Bum parçalarının doğrusal hareketleri radyal bilyalı rulmanlar ile yataklanmış tekerlekler ile sağlanmaktadır. Tahrik, kremayer-pinyon mekanizması ve bir DC motor ile mümkün kılınmıştır. Tasarımın mukavemetini incelemek için Solidworks Simulation modülünde Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) kullanılarak statik yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Tüm bum parçaları, tekerlekler ve bum-şasi destek noktaları ayrı ayrı incelenmiştir. Bum parçalarına hem X-Y hem de Y-Z düzlemlerinde etki eden tüm kuvvetler serbest cisim diyagramları yardımıyla hesaplanmıştır. Analiz yapılmadan önce destek noktaları, yerçekimi ve dış kuvvetler uygulanmıştır. Daha sonra meshler oluşturup analizler yürütülerek Von-Mises gerilme ve yer değiştirme grafikleri oluşturulmuştur. Grafik sonuçlarına göre, bum parçaları üzerindeki kritik bölgeler belirlenmiş ve gerektiğinde tasarım iyileştirmesi yapılmıştır.

## 1. INTRODUCTION

Pesticide applications are vital in agriculture and rank among the foremost inputs following mechanization (Demir and Çelen, 2006). Globally, approximately 3 million liters of pesticides are utilized, with Türkiye accounting for about 53,098 liters as of 2020 (Şık and Oyman, 2021). Among the machinery used for plant protection in agriculture, tractor-mounted field sprayers stand as the most preferred type (Bayat and İtmeç, 2018). Türkiye currently registers 365,171 PTO-triggered field sprayers officially (TUIK, 2019).

These sprayers employ a system referred to as a 'spray bar,' 'sprayer booms,' or simply 'boom,' consisting of various foldable parts designed for transport convenience. Hydraulic actuators or manual means are utilized to fold the middle and outer parts over the central boom frame for transport purposes. Typically, these boom parts are constructed from square welded steel materials, which are cut and welded together to form the boom structure (Fig. 1).



Figure 1. Example of field sprayer booms (Badilli Agricultural Machinery)

The design and operational dynamics of the boom play a pivotal role in achieving spray uniformity and preventing drift. Variations in the horizontal and vertical positions of the boom during spraying, caused by vibrations due to uneven field terrain or contact of the tractor/sprayer with the ground, significantly impact spray consistency (Ooms et al., 2003). During operation, the sprayer boom undergoes roll and yaw moments along two axes, a well-documented occurrence in relevant literature (Fig. 2). The influence of momentary forces on the horizontal axis can abruptly nullify the relative speed between the sprayer's boom and the ground, potentially resulting in increased pesticide dosage on specific treated areas (Matthews, 2008).



Figure 2. (a) Roll moment, (b) Yaw moment (Bjornson et al., 2013)

A prevailing issue with sprayers in Türkiye stems from the small and irregularly shaped fields. Operators have to readjust the sprayer boom when entering a field and then return it to the transport position when the field work is completed, which requires frequent dismounting from the tractor. This process is time-consuming. While the development of hydraulically foldable booms has alleviated this issue, the preference for these booms among farmers is hindered by the costliness of hydraulic actuators and hoses, which also add excess weight to the sprayer (Özyurt et al., 2020).

Moreover, spray applications typically follow tramlines. In uneven or irregular areas, starting spraying from a straight edge may result in unfinished tramlines or untargeted areas narrower than the sprayer's working width. Additionally, certain field areas may contain obstacles like electrical poles, telephone or natural gas pipeline markers, old wells, irrigation pump sites, trees, and bushes. These obstacles could lead to overlapping spray or unintentional application on non-targets if all nozzles remain open. In cases where pesticide rates are finely calibrated, an overdose might harm primary plants or beneficial organisms within the field.

Research on field sprayer booms focuses on analyzing their behavior under dynamic conditions, strain assessment in both dynamic and static settings, understanding the impact of design on spray distribution, and exploring folding mechanisms. Fujita and Sugiyama (2012) conducted dynamic analyses of sliding supports in telescopic cranes using the absolute node coordinate formulation, highlighting that stress points and axes shift as the crane's length changes over time. Similarly, Raftoyiannis and Michaltsos (2013) studied the dynamic behavior of telescopic crane arms, developing a model for their dynamic analysis. Their findings revealed minimal dynamic deformations in the moving part during folding, substantially higher deformations during folding compared to the resting state, and reduced deformations at higher folding speeds. In parallel, studies by Lupea et al. (2009) and Manea et al. (2018) simulated the boom structure of field sprayers under dynamic conditions. Utilizing 3D models and finite element analysis software, they examined boom behavior statically and dynamically, optimizing its structure. Their simulations indicated vibrations at the boom tip with small wavelengths, causing significant displacements. However, they found no risk of material failure or deformation, as the Von Mises maximum equivalent stress remained below the yield strength of the boom parts. Additionally, Zhang et al. (2019) determined natural frequency values under dynamic conditions, identifying these as critical design parameters for future boom designs.

In this study, it is aimed to design a linear moving boom system with an alternative design and folding mechanism to conventional booms, which can meet the application efficacy criteria and expectations of farmers. In addition, static structural analyses were performed to achieve the most resilient and lightweight design.

## **2. MATERIALS AND METHODS**

In this study, a solution-oriented design for the boom section of a traditional field sprayer was developed, addressing prevalent issues. The newly designed boom replaces the original one on a sprayer featuring a chassis constructed by 60x60 mm welded squares and equipped with a 1000-liter polyethylene tank. The original boom, consisting of 40x40 and 80x40 welded squares, is manually folded into five parts along the horizontal axis. It supports 24 spray nozzles at 50 cm intervals, providing a total working width of 12 meters for the sprayer. A diaphragm pump with a maximum pressure of 50 bar and a flow rate of 200 l min<sup>-1</sup> is attached to the sprayer.

Commonly, modern sprayer manufacturers opt for steel materials due to their availability, cost-effectiveness, and ease of processing (Khalifeh et al., 2018). For systems like sprayer booms, which experience high effective moments at distant endpoints from support, additional materials and a robust frame design are necessary to ensure durability. Although St37 (S235), the prevalent structural steel in agricultural machinery, has been the preferred choice, there has been a recent shift towards St52 (S355) due to its higher tensile strength, better machinability, and reduced cost, making it more affordable. These two materials differ in their elemental compositions, resulting in distinct mechanical properties as outlined in Table 1.

Table 1. Mechanical properties of St37 and St52 steels (Seitl et al., 2020)

| <b>Properties</b>              | <b>St37 (S235)</b> | <b>St52 (S355)</b> |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Young Modulus (GPa)</b>     | 208.2±4.1          | 205.4 ±7.4         |
| <b>Yield Strength (MPa)</b>    | 276.87±0.31        | 381.94±6.22        |
| <b>Tensile Strength (MPa)</b>  | 423.86±1.49        | 554.41±1.62        |
| <b>Elongation at break (%)</b> | 21.99±0.22         | 34.22 ±1.54        |
| <b>Poisson ratio (-)</b>       | 0.3                | 0.3                |

## 2.1. Materials Used in the Design

The designed sprayer boom utilizes St37 profiles and St52 steel sheet material as its primary structural components. Comprising four outer boom parts—two on each side—and a central chassis carrying these parts, the boom transitions between transport and field positions. During transport, the outer boom parts fold onto the central chassis, while in the field position, they extend telescopically to the sides. Facilitating telescopic movement, a gear driven by a position-controlled servoelectric motor propels the rack gear, enabling linear movement of the boom part. A linear rail system, propelled by a specially shaped ball bearing wheel, supports and guides this linear movement, ensuring a controlled motion between the boom's parts. Each side of the boom hosts five nozzles, while the central chassis holds six.

## 2.2. Method

The primary design criterion for the sprayer boom was to achieve 12 meters working width, aligning with the preferred width in the Thrace region and accommodating 24 flat fan nozzles at 50 cm intervals. St52 material, valued for its ductility, ease of bending, and high yield strength, was chosen for the bent sheet metal used in the design. The Solidworks software facilitated the assembly of all boom parts and fasteners. A telescopic design was incorporated, integrating linear rail and wheel configurations to minimize friction between boom parts during movement. Careful selection of wheels and bearings was based on radial load considerations, fatigue strength due to the boom's opening and closing frequency, and material durability. Following the preliminary design, thorough static analysis using Solidworks' Simulation module pinpointed critical stress areas in separate boom parts. Reinforcement and design modifications were strategically implemented in these stress-exposed regions. Material removal from non-stressed areas aimed to optimize the design, resulting in a robust yet lightweight configuration based on the structural analyses conducted.

### 2.2.1. Telescopic Folding Mechanism

The folding mechanism of the boom operates on a telescopic structure that moves in a linear fashion, employing machine components specifically crafted for linear motion. Electric motors situated close to



the central frame drive this linear motion through a combination of spur gears and rack gears. This setup facilitates relative movements among the boom sections, enabling smooth transitions between transport and operational positions. To achieve this functionality, four servo electric motors, each responsible for controlling a distinct part of the boom, are employed. These motors are adaptable for both manual and automatic control from the driver's cabin. They were chosen for their compatibility with a 12V (5.2A) battery voltage, a rotational speed of 60 rpm, and a cost-effectiveness akin to the wiper motors found in cars. The rack gears, with specifications of  $n=3$  module and a width of 20 mm, cover distances of 2800 mm on the central boom section and 2400 mm on the middle boom part. They are designed to stop just before reaching the last tooth, ensuring precise control over the working width. Additionally, a linear rail system has been integrated into the central frame and middle boom part using shaped sheets, facilitating smooth linear movement and extending the lifespan of the motors. This system incorporates four wheels, two positioned at the top and two at the bottom, which glide along these rails, allowing the boom sections to move over each other seamlessly, similar to a drawer.

Moreover, to prevent deformation when the boom tips encounter obstacles or the ground, the outer boom parts are constructed in two segments with a torsion spring mechanism between them (Fig. 3). This design enables the outer boom parts to elongate upon contact with external forces, safeguarding other components of the boom mechanism from potential damage.



Figure 3. Torsion spring

Solidworks software (Dassault Systems, 2018) served as the primary tool for designing, modifying, and translating technical drawings for machine operators. Structural analyses, aiming for maximum strength with minimal material usage, were conducted using Solidworks' simulation module. Firstly the support points were determined, then the weight and external forces were defined. Von-Mises stresses (Manea et al, 2018; Han et al., 2013) and displacement graphs were generated when the analyses were carried out after the mesh creation process in Solidworks Simulation Module. According to the results of the analyses, the regions with critical stresses were determined and design improvements were made where necessary.

### 2.2.2. Load Calculations

The telescopic boom system faces two primary critical loadings: the weight of the boom parts and the vertical accelerations encountered on rough terrain during field operations. Our study focused on the static load, which is gravity and all structural analysis is carried out on static forces. The static load exert forces in both the X-Y and Y-Z planes, necessitating a free-body diagram to determine their direction and magnitude. The analysis focuses on the working position, where the boom system

experiences maximum stress. Mass distances from support points in the X-Y plane and wheel placements are illustrated in Figure 4. Additionally, Figure 5 displays the outer boom, middle boom, and main frame, respectively. Lastly, all the force and distance values are given in Table 2. Due to the symmetrical nature of the right and left boom groups in the Y-Z plane, calculations performed for one direction in the force analysis apply equally to the other side.

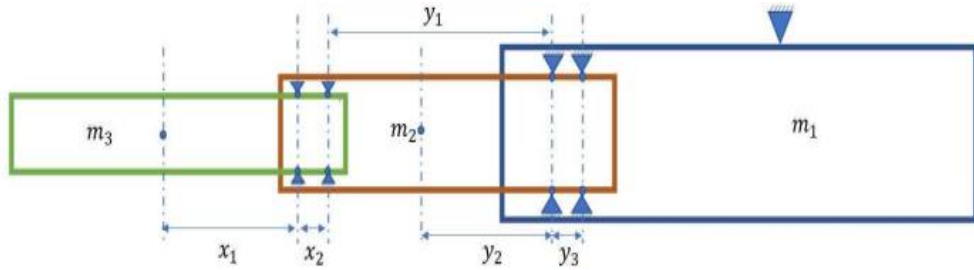


Figure 4. The distance of the centre of gravity of the boom part from the support points on the X-Y plane

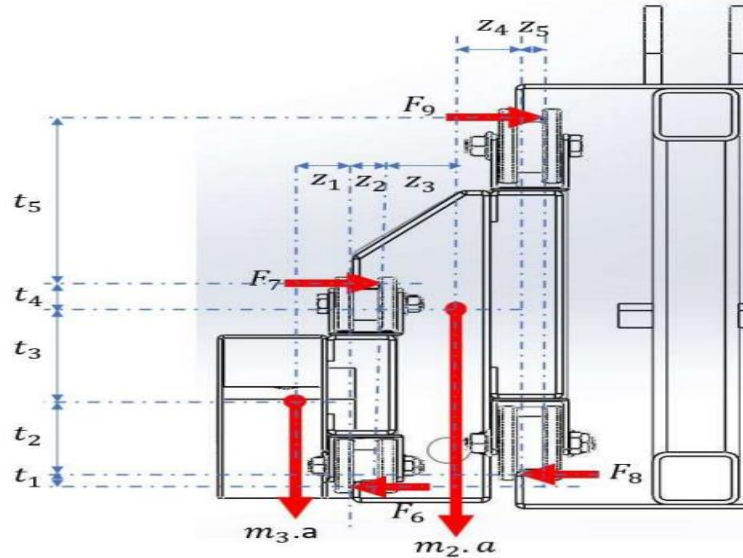


Figure 5. Distance of the centre of gravity of the boom part from the support points and forces on the Y-Z plane

Table 2. Force and distance values

| <i>Symbol</i> | <i>Unit</i> | <i>Value</i> | <i>Symbol</i> | <i>Unit</i> | <i>Value</i> |
|---------------|-------------|--------------|---------------|-------------|--------------|
| $X_1$         | mm          | 895.46       | $Z_5$         | mm          | 15           |
| $X_2$         | mm          | 130          | $T_1$         | mm          | 12           |
| $y_1$         | mm          | 2072.5       | $T_2$         | mm          | 56.89        |
| $Y_2$         | mm          | 973.5        | $T_3$         | mm          | 81.55        |
| $Y_3$         | mm          | 165          | $T_4$         | mm          | 36.06        |
| $Z_1$         | mm          | 27.62        | $T_5$         | mm          | 162          |
| $Z_2$         | mm          | 15           | $M_1$         | kg          | 20           |
| $Z_3$         | mm          | 57.76        | $M_2$         | kg          | 58           |
| $Z_4$         | mm          | 22.74        | $M_3$         | kg          | 95           |

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The main frame, situated centrally within the boom mechanism, remains fixed during both transport and operational phases. Its design combines welded square and bent sheet metal elements. Welded squares serve as support for carrying the middle and outer boom parts, forming a foundational framework for the entire boom structure. Horizontal 50x50x4 mm welded squares, evenly spaced in the vertical direction, support the top and bottom sections. Meanwhile, 4 mm-thick bent sheet metal, welded to these profiles, reinforces the framework, preventing bending during operational and transport loads. Sheet metal plates on the right and left sides further fortify this structure. Moving to the middle boom, it achieves field position through linear movement along the main frame, while the third element carries the outer boom. The middle boom, composed of spot-welded 4 mm sheet metal sheets shaped in a 'C,' integrates wheels along its inner side for linear movement. Laser cutting removes low-stress sections, reducing overall boom weight. Wheels, placed at 165 mm intervals on the upper and lower surfaces, balance forces from the outer boom's weight. Two M12 bolts fasten each wheel. The outer boom, positioned at the boom's end, also moves linearly on the middle boom. It comprises spot-welded 3 mm sheet metal sheets, shaped similarly in a 'C,' reducing load on the middle boom and minimizing extra weight. Wheels on the inner side facilitate linear movement, placed at 130 mm intervals on the upper and lower surfaces after laser cutting removes low-stress areas (Fig. 6).

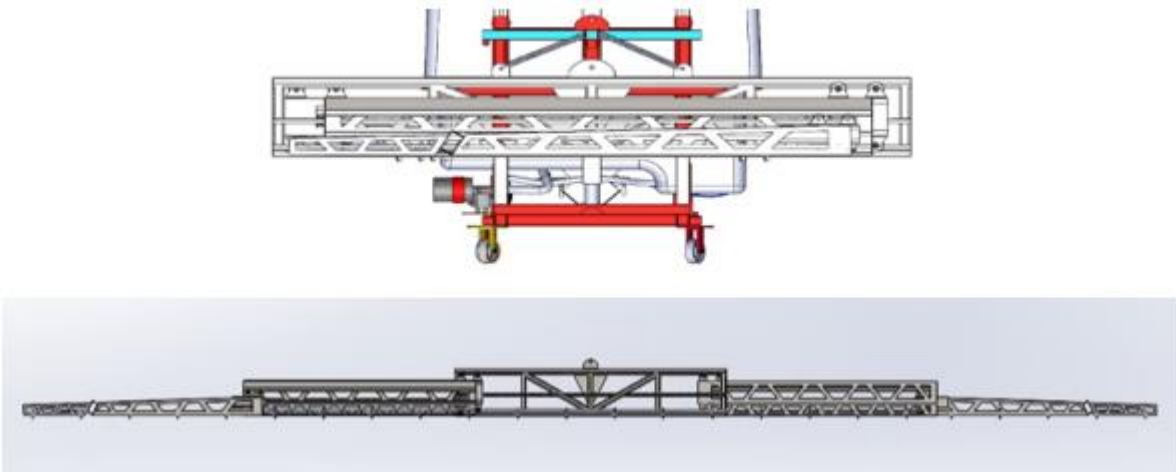


Figure 6. 3D Modelling of the boom

#### 3.1. Von-Misses Stress Analysis of the Outer Boom Part

The structural analysis focused on the outer boom part, employing a finite element method with 12,912 elements and 28,404 nodal points, as depicted in Figure 7. Green arrow indicators denote fixed support locations, while the red arrow represents the center of gravity exerting a force of 196.2 N on the boom. This analysis aims to assess stress distribution and structural behavior within the outer boom section.

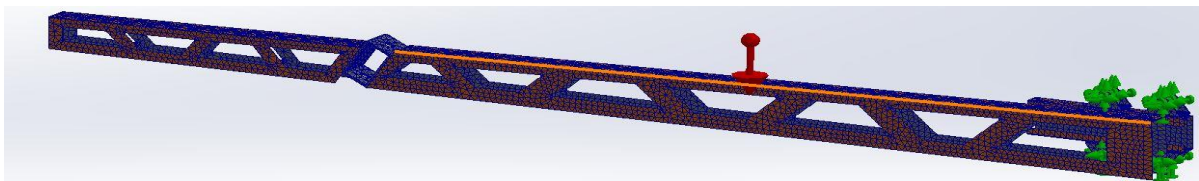


Figure 7. Meshes on the outer boom part

During the simulation, Von-Mises stresses, depicted in Figure 8, were observed after establishing supports, force, and mesh configurations. The color-coded diagram illustrates stress levels across the structure. Predominantly, minimal stresses were evident throughout the boom, with a maximum stress of 48 MPa identified. Notably, this value is 7.9 times lower than the yield strength of St52 Steel, which stands at 381 MPa (Seitl et al., 2020). This calculation indicates a safety factor of 7.9 for the outer boom part.

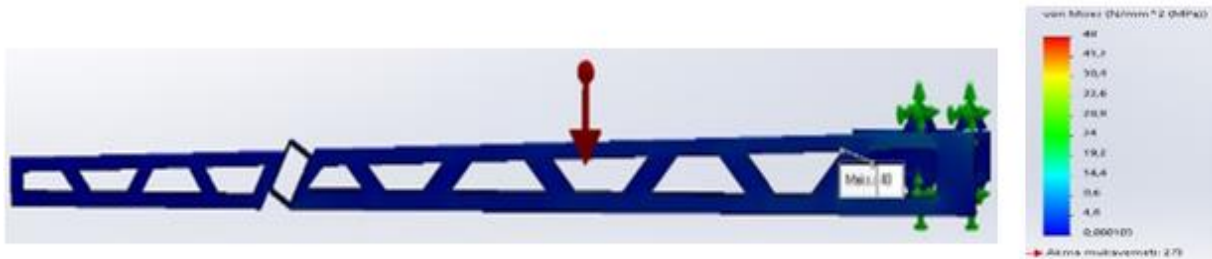


Figure 8. Von Misses Stress Analysis of the outer Boom Part

The bending stress experienced on the outer boom caused slight deformation of the sheet metal, as shown by displacement graphs in the analyses (Fig. 9). These displacements show increasing vertical deviations from the support points toward the boom tip. The maximum measured displacement was 2.21 mm. Considering that the distance between the spraying nozzle tip and the top leaves of the plant is 500 mm, this deformation appears negligible and does not pose a risk to spraying uniformity.

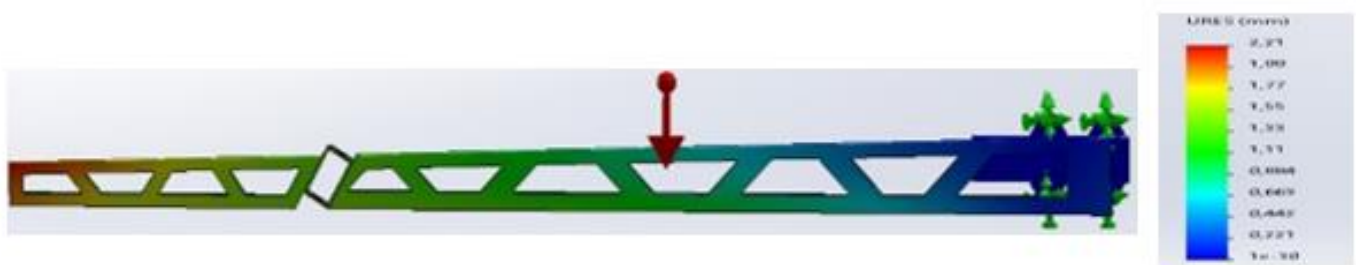


Figure 9. Displacement Analysis in the outer boom part

### 3.2. Von-Misses Stress Analysis of the Inner Boom Part

In the examination of the middle boom part, the boom was affixed to the wheel hub, considering boom weight as an external load, and applying forces acting on the outer boom part's wheels to contact points on the inner boom. Mesh creation resulted in 13,119 finite elements and 29,028 nodal points on the outer boom part. Figure 10 displays the mesh configuration, support points, and external loads for this analysis.

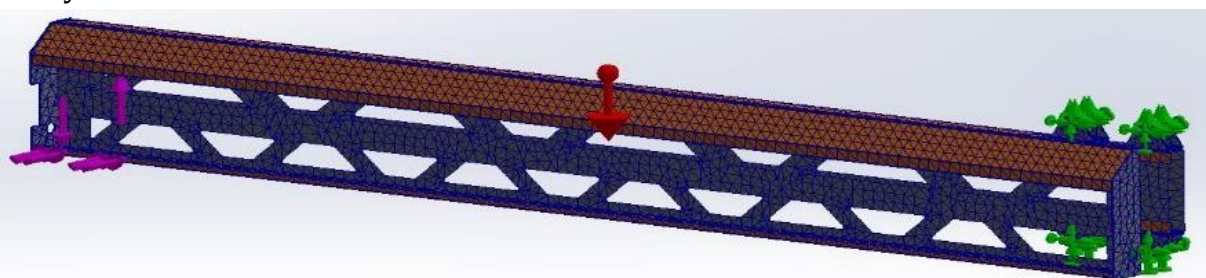


Figure 10. Meshes, support points, and external forces on the middle boom part

In the analysis following the establishment of support points, forces, and mesh, Von-Mises stresses were represented in the graph (Fig. 11). Although predominantly low stresses were observed across the outer boom part, the maximum stress measured was 148 MPa. This value stands at 2.57 times lower than the yield strength of St52 steel, specified at 381 MPa (Seitl et al., 2020). Consequently, the safety factor calculated for the outer boom part is 2.57.

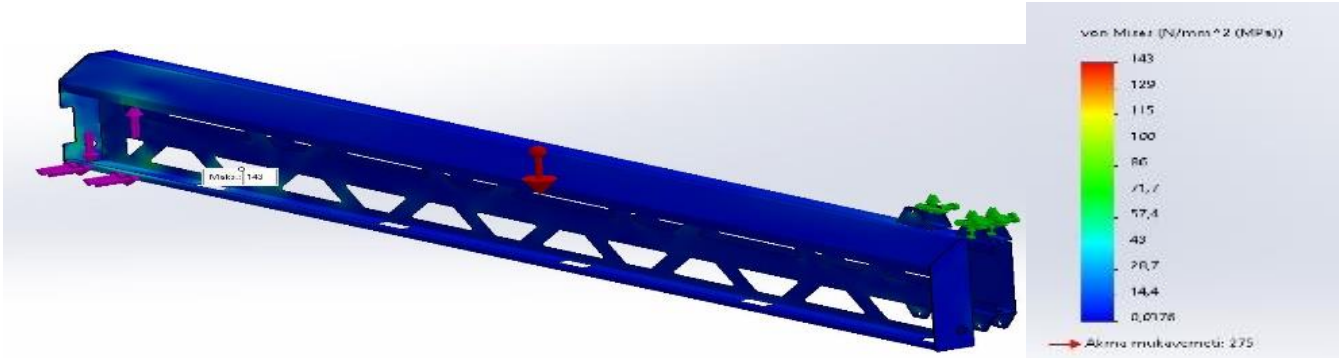


Figure 11. Von Misses Stress Analysis of the middle boom part

The bending stress experienced on the middle boom part caused deformation of the sheet metal, evident in the displacement graph (Fig. 12). These vertical displacements progressively increase from the support points toward the boom tip. The maximum measured displacement was 1.6 mm on the sheets where the outer boom part's wheels rest. Considering this value and its minimal impact on the outer boom's linearity, along with a nozzle tip-to-plant-top distance of 500 mm in spraying applications, this displacement remains inconsequential and poses no risk to spraying uniformity.

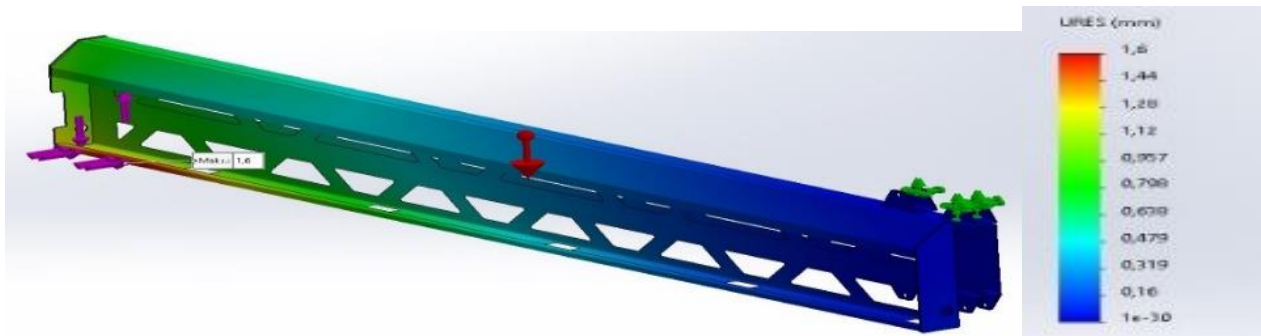


Figure 12. Displacement Analysis in the outer boom part

### 3.3. Von-Misses Stress Analysis of the Main Frame

During the examination of the primary boom frame, it was affixed to the sprayer chassis at specified connection spots. External forces considered comprised the frame's weight and forces derived from the middle boom parts, applied following free body diagrams. As a result, meshing generated 43,371 finite elements and 87,375 nodal points across the main frame. Figure 13 depicts the mesh layout, support junctures, and the weight load considered within this analysis.

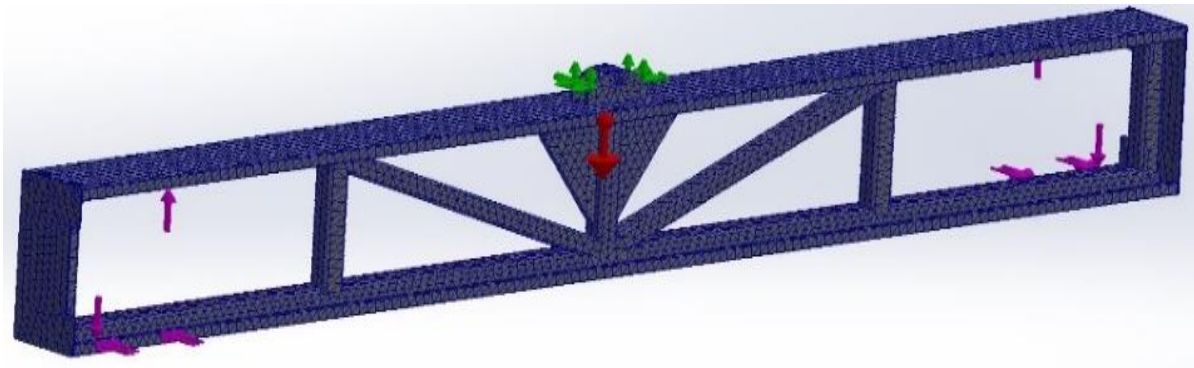


Figure 13. Meshes, support points, and external forces on the middle boom part

In Figure 13, components denoted by green arrows are designated as fixed supports in the simulation. The red arrow signifies the boom's weight, measured at 931.95 N, while the pink arrows represent the forces exerted on the middle boom part. Following the establishment of support points, forces, and mesh, Von-Mises stresses are depicted in the graph (Fig. 14).

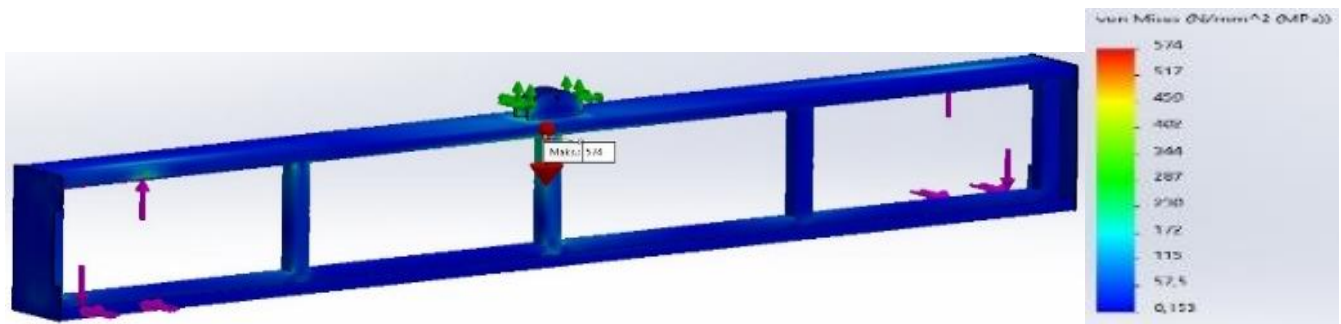


Figure 14. Von Mises Stress Analysis of the main frame

In Figure 14, the simulation revealed significantly high stresses resulting from the forces acting on the middle boom part, with a maximum stress calculated at 574 MPa. This tension, observed in the St-37 profile, exceeds twice the yield strength of 276 MPa. Consequently, the current design of the main frame is deemed structurally inadequate and susceptible to breakage in production. To address this issue, initial design enhancements were proposed. One suggestion involves welding a 15 mm thick bar on both sides of the upper horizontal profile and the junction of the middle vertical profile in the main frame. Upon re-running the analysis with these modifications, stress distributions shown in Figure 15 are observed.

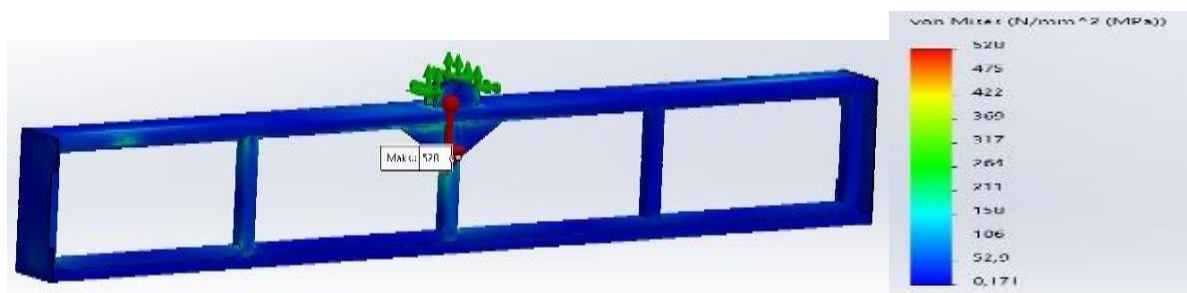


Figure 15. Von Misses Stress Analysis of the main frame after two support plates added

Figure 15 indicates a reduction in the maximum stress value (529 MPa); however, the area with the highest stress persisted above the triangular bar, surpassing the yield strength. As a second design alteration, two support profiles were introduced diagonally from the upper horizontal profile to the lower horizontal profile to augment the inter-profile support. Moreover, enhancing the triangular support plate's vertical dimensions aimed to diffuse stress concentration. Upon re-running the analysis following these enhancements, the resulting stress distribution is depicted in Figure 16.

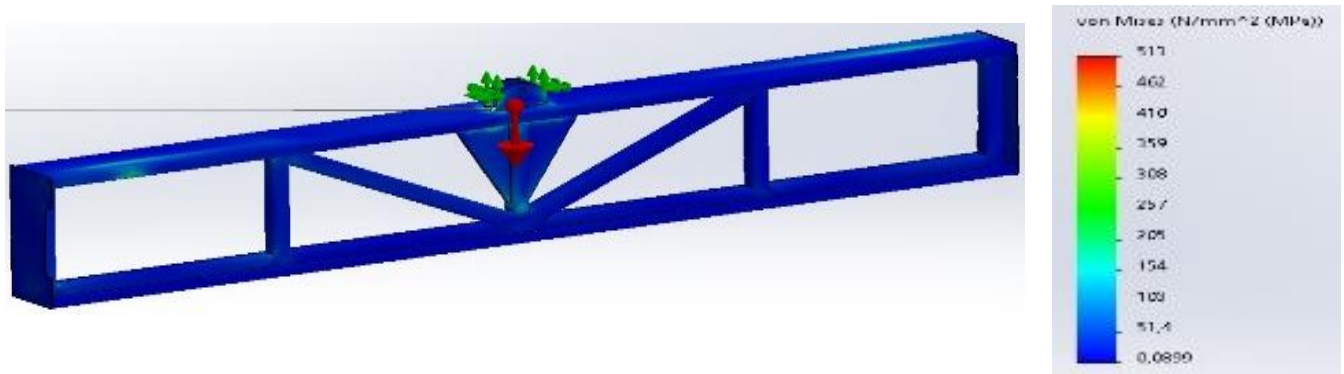


Figure 16. Von-Mises Stress Analysis of the main frame after two bigger support plates and support profiles added

In the depicted graph, following the implemented enhancements, the highest stress point, reaching 513 MPa, was identified at a support point external to the frame. Figure 17 illustrates the maximum stress experienced by the frame itself.

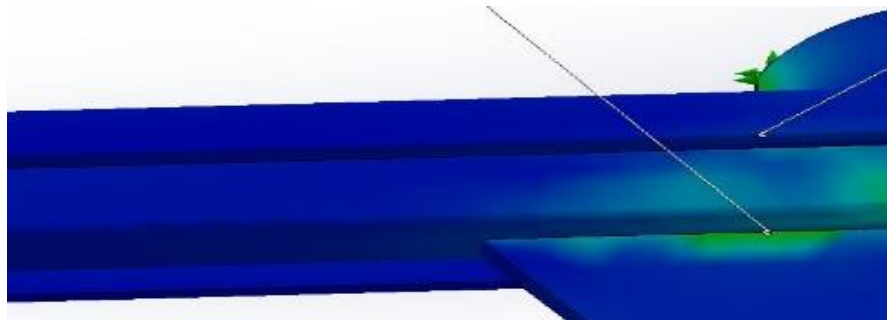


Figure 17. Maximum stress area on the main frame

The graph illustrates that the recent enhancements resulted in a peak stress of 277 MPa within the support frames. These frames, constructed from St52 material boasting a yield strength of 381 MPa, now exhibit stress levels below the yield strength threshold. Additionally, the displacement graph resulting from the analysis, displaying the integration of cross-support profiles as shown in Figure 18, aligns closely with the expected outcomes.

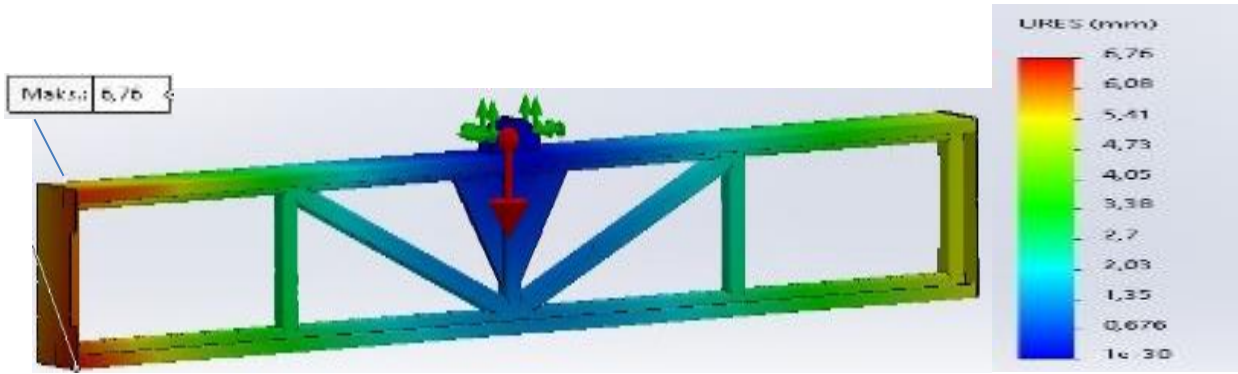


Figure 18. Displacement Analysis on the main frame

A displacement of 6.7 mm is within acceptable parameters for this design. However, further enhancements can be considered once all the boom parts are assembled during the production phase, specifically targeting improvements in the main frame.

#### 4. CONCLUSION

The study introduces a telescopic foldable boom design tailored for field sprayers used in crop protection. This system comprises five parts, boasting 12 meters working width and 24 fan spray nozzles spaced at 50 cm intervals. The design allows for transport without surpassing the allowable working width on public roads. Among these five parts, one serves as the central support for the remaining four, organized in pairs on the right and left, capable of relative linear movement for transitioning between operational and transport configurations. This telescopic folding boom system spans 11,702 mm in the operational position and 2,800 mm while on the road, with a total mass of 275 kg. Despite a comparable mass, this design showcases enhanced structural safety and stability compared to conventional sprayer booms. Utilizing Solidworks' simulation module, static structural analyses were conducted employing finite element methodology. The assessment involved determining forces acting on the boom and support points through free-body diagrams, followed by integrating these forces into the analysis. The analyses affirmed the safety of the outer and middle boom parts, whereas the initial design of the central mainframe raised safety concerns. Subsequent enhancements, incorporating additional profiles and support plates, resulted in a structurally sound boom. This innovative boom system offers several advantages over conventional spraying equipment. Symmetrical opening and closing between transport and working positions prevent shifts in the boom's center of gravity. Moreover, electronic control from the tractor cabin allows the boom part facing potential collisions with obstacles like poles or trees to move closer to the transport position, averting collisions. In contrast, conventional sprayers require the tractor to maneuver around obstacles. Lastly, internal placement of the spray nozzles within the boom frame shields them from external impacts.

#### REFERENCES

- Badilli Agricultural Machinery (2021, Mayıs 2021). *Transport and working position of a field sprayer*. Badilli Company. [https://www.badilli.com.tr/tr/urunler-2/cobra\\_600\\_tarla\\_ilaclama-69.html](https://www.badilli.com.tr/tr/urunler-2/cobra_600_tarla_ilaclama-69.html) (erişim tarihi: 04.05.2021)
- Bayat, A., Itmec, M. (2018). The current state of sprayer manufacturers in Turkey and some strategies for the future. *Scientific Papers-series A. Agronomy*, 61(2), 105-108. [https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2018/issue\\_2/Art18.pdf](https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2018/issue_2/Art18.pdf)



- Dassault Systèmes SE (2018). Solidworks 2018 Vélizy-Villacoublay, France.
- Demir, C., Çelen, İ. H. (2006). Tekirdağ ilindeki tarımsal işletmelerdeki pülverizatörlerin durumu ve sorunları üzerine bir araştırma. *Journal of Agricultural Sciences*, 12(01). <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2693511>
- Fujita, H., Sugiyama, H. (2012). Development of flexible telescopic boom model using absolute nodal coordinate formulation sliding joint constraints with lugre friction. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 2(6), 063005. <https://doi.org/10.1063/2.1206305>
- Han, H., Chen, S., Shao, J., Yao, Y., and Chen, G. (2013). Lightweight design of chassis frame for motor boom sprayer. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 29(3), 47-53.
- Jeon, H.Y., Womac, A.R., and Gunn, J. (2004). Sprayer boom dynamic effects on application uniformity. *Transactions of the ASAE*, 47(3), 647-658.
- Khalifeh, A. R., Banaraki, A. D., Manesh, H. D., Banaraki, M. D. (2018). Investigating of the tensile mechanical properties of structural steels at high strain rates. *Materials Science and Engineering: A*, 712, 232-239.
- Lupea, I., Tudose, L., Stanescu, C. M., Lupea, M. (2009). Dynamic symulation and experimenton a sprayer boom structure. B. Katalinic (Editör), *20<sup>th</sup> DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*, 1541-1542.
- Manea, D., Gidea, M., Marin, E., Mateescu, M. (2018). Simulation of mechanical parameters of sprayer boom. *Engineering for Rural Development*, 17, 45-51. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N048>
- Matthews, G. (2008). *Pesticide application methods* (3. Baskı). John Wiley & Sons.
- Ooms, D., Ruter, R., Lebeau, F., and Destain, M. F. (2003). Impact of the horizontal movements of a sprayer boom on the longitudinal spray distribution in field conditions. *Crop protection*, 22(6), 813-820.
- Ozyurt, H. B., Onler, E., and Celen, İ. H. (2020). Determination of the field sprayers and their problems in Thrace Region, Turkey. *International Journal of Innovation Engineering and Science Research*, 4(6), 68-73.
- Raftoyiannis, I. G., Michaltsos, G. T. (2013). Dynamic behavior of telescopic cranes boom. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 13(1). <https://doi.org/10.1142/S0219455413500107>
- Seitl, S., Pokorný, P., Miarka, P., Klusák, J., Kala, Z., and Kunz, L. (2020). Comparison of fatigue crack propagation behaviour in two steel grades S235, S355 and a steel from old crane way. *MATEC Web of Conferences (Vol. 310) 2019 (1-6)*. K. Kotrasová, E. Kormaníková and S. Kmet' (Editörler). EDP Sciences.
- Şık, B., Ayman, O., 2021. *Zehirsiz sofralar*. Sistemik Dijital Kitap Atelyesi, Buğday Ekolojik Yaşamı Destekleme Derneği, AB Projesi, Kitap. [www.zehirsizsofralar.org](http://www.zehirsizsofralar.org)
- Turkish Statistical Institute (TUİK), (2019). Number of Field Sprayers. Retrieved from: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>
- Zhang, J., Wang, X., and Li, S. (2019). Finite element modeling and robust control of plant protection machine boom. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 6(4), 257-262. <https://doi.org/10.18178/joaat.6.4.257-262>

## Authors' Biography



### Hasan Berk ÖZYURT

08.06.1994 yılında Tekirdağ'da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Tekirdağ'ın Muratlı ilçesinde tamamladı. 2012 yılında Tekirdağ Belediyesi Anadolu Öğretmen Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde lisans hayatına başladı. Lisans hayatı boyunca Türk Traktör Ziraat Makineleri A.Ş., Claas, Hema Endüstri A.Ş. firmalarında stajyer mühendis olarak görev yaptı. 2017 yılında İ.T.Ü. Makine Mühendisliği'nden mezun oldu. Aynı yıl Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2020 yılından beri Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Tarımda Makine Sistemleri Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Şu ana kadar yayınladığı 4 makale, 2 kitap bölümü, 4 kongre bildirisi bulunmaktadır.

#### İletişim

berkozyurt@nku.edu.tr

#### ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0003-0775-1723>



### Prof. Dr. İlker Hüseyin ÇELEN

08.03.1971 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Hatay İskenderun ilçesinde tamamladı. 1992 yılında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünden Ziraat Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı Bölümde 1995 yılında Yüksek Lisans Eğitimini tamamladı. 1994 yılında Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve aynı Bölümde 1999 yılında Doktora eğitimini bitirdi. 2000 yılında Yardımcı Doçent olarak Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümüne atandı. 2011 de Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümüne Doçent olarak atandı ve aynı Bölümde 2018 yılında Profesör oldu. Tarım Makinaları ve özellikle Bitki Koruma Makinaları ve otomasyonu konusunda çalışmalar yapan araştırmacı konusunda birçok kongrede bildiri sunmuş, yurt içi ve yurt dışı birçok makalesi yayınlamıştır. Birçok projede görev alarak 3 adet patent sahibi olmuştur. Ayrıca yayınladığı 2 kitap ve bölüm yazarlıkları vardır.

#### İletişim

icelen@nku.edu.tr

#### ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0003-1652-379X>

## Michele Palieri Sofralık Üzüm Çeşidinin Hasat ve Hasat Sonrası Bazı Mühendislik ve Kalite Özellikleri

### Some Harvest and Postharvest Engineering and Quality Characteristics of Michele Palieri Table Grape Variety

Esra Nur Gül<sup>1\*</sup>, Ebubekir Altuntaş<sup>2</sup>, Türkan Küsmez<sup>2</sup>, Adem Yağcı<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tokat, Türkiye,

<sup>2</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye

<sup>3</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tokat, Türkiye

\* Corresponding author (Sorumlu Yazar): E.N. Gül, e-mail (e-posta): [gulesranur1@gmail.com](mailto:gulesranur1@gmail.com)

#### Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 27.03.2024  
Düzeltilme tarihi : 16.04.2024  
Kabul tarihi : 24.04.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Michele Palieri  
Sofralık Üzüm  
Mühendislik Özellikleri  
Kalite

#### Atf için:

Gül, E.N., Altuntaş, E., Küsmez, T., Yağcı, A. (2024). "Michele Palieri Sofralık Üzüm Çeşidinin Hasat ve Hasat Sonrası Bazı Mühendislik ve Kalite Özellikleri", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(1): 15-24.

#### ÖZET

Bu çalışmada, Michele Palieri sofralık üzüm çeşidinin bazı mühendislik özelliklerinin ve kalite parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda fiziksel özelliklerden; geometrik ve hacimsel özellikler, meyve kabuğu ve meyve etinde renk karakteristikleri, statik sürtünme katsayısı, kopma direnci, mekanik özellikler ve şıra özellikleri (pH, titrasyon asitliği, ŞÇKM, olgunluk indisi) belirlenmiştir. Meyve örneklerinin nem içeriği %72.63 (% y.b.) olarak tespit edilmiştir. Meyvelerin ortalama kalınlık, genişlik ve uzunluk değerleri sırasıyla 20.62 mm, 21.26 mm ve 23.66 mm olarak belirlenmiştir. Bu değerlerden hesaplanan ortalama küresellik ve geometrik ortalama çap değerleri ise sırasıyla %91.93 ve 21.71 mm olarak saptanmıştır. Hacimsel özelliklerden tane ağırlığı ortalama 7.28 g, salkım ağırlığı 424.95 g, yüz tane ağırlığı 748.66 g olarak belirlenmiştir. Maksimum sürtünme PVC yüzeyde belirlenirken minimum sürtünme ise galvanizli sac yüzeyde tespit edilmiştir. Üzüm meyvelerinin saptan kopma direnci ise 0.36 N olarak bulunmuştur. Meyvelerin L\*, a\*, b\* renk değerleri meyve kabuğu için sırası ile 33.41, 2.45 ve 0.59 olarak belirlenmiş olup meyve eti için bu değerler 28.28, 0.87 ve 3.22 olarak ölçülmüştür. Hasat zamanında belirlenen şıra pH, titrasyon asitliği, ŞÇKM ve olgunluk indisi ortalama değerlerinin sırasıyla 3.45, 0.245 g 100 ml<sup>-1</sup>, %15.9 ve 64.90 olduğu görülmüştür. Hasat edilmiş üzüm için en büyük sıkıntılarından biri olan nakliye ve depolama hassasiyeti, çeşitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile kalite parametreleri gibi mühendislik karakteristiklerini belirlemenin gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır.

#### Article Info

Received date : 27.03.2024  
Revised date : 16.04.2024  
Accepted date : 24.04.2024

#### Keywords:

Michele Palieri  
Table Grape  
Engineering Characteristics  
Quality

Gül, E.N., Altuntaş, E., Küsmez, T., Yağcı, A. (2024). "Some Harvest and Postharvest Engineering and Quality Characteristics of Michele Palieri Table Grape Variety", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 20(1): 15-24

#### ABSTRACT

In this research, it was aimed to determine some engineering properties and quality parameters of the Michele Palieri table grape variety. In this context, from the physical properties; geometric and volumetric properties, color characteristics of fruit peel and fruit flesh, static friction coefficient, rupture resistance, mechanical properties and must properties (pH, titratable acidity, brix, ripeness index) were determined. The moisture content of fruit samples was determined to be 72.63% (w.b.). The average thickness, width and length values of the fruits were detected to be 20.62 mm, 21.26 mm and 23.66 mm, respectively. The calculated average sphericity and geometric average diameter values were determined to be 91.93% and 21.71 mm respectively. Among the volumetric characteristics, the average fruit weight was determined as 7.28 g, cluster weight as 424.95 g, hundred grain weight as 748.66 g, respectively. While the maximum friction was determined on the PVC surface, the minimum friction was detected on the galvanized sheet surface. The breaking strength of grape fruits from the stem was found to be 0.36 N. The L\*, a\*, b\* color values of the fruits were measured as 33.41, 2.45 and 0.59 for the fruit skin, and 28.28, 0.87 and 3.22 for the pulp, respectively. The average values of pH, titratable acidity, brix and maturity index of grape must determined at harvesting time were found to be 3.45, 0.245 g 100 ml<sup>-1</sup>, 15.9% and 64.90, respectively. The necessity of determining engineering characteristics such as physical and mechanical properties and quality parameters of varieties highlights the transportation and storage sensitivity, which is one of the biggest challenges of harvested grapes.

## 1. GİRİŞ

Üzüm asmağiller (*Vitaceae*) familyasının *Vitis* cinsine ait çiçekli bir bitkinin meyvesidir. Dünya tarihinde kültürü yapılan en eski tarım ürünlerinden biri olan üzüm, insanlık tarihinde tarımın yapıldığı dönemden günümüze kadar üretilen meyve türlerinden biridir (İşçi, 2007; Gazioğlu Şensoy ve Tutuş, 2017). Üzümlerin bileşiminde karbonhidrat, protein ve minerallere ek olarak flavonol, antosiyanin, kateşin, fenolik asit, kuersetin, resveratrol ve kaffeik asit gibi polifenoller ve fenollerin dışında proantosiyanidinler, flavonoidler ve antosiyanidinlerde bulunmaktadır (Xia vd., 2010; Lim, 2012).

Üretim yapılan çeşitler genel olarak sofralık, kurutmalık ve şaraplık olmak üzere değerlendirilmektedir. Bunların haricinde, sucuk, şıra, pestil, pekmez gibi yan ürünlerin yapımında da üzümünden faydalanılmaktadır (Özdemir ve Karataş, 2008). Türkiye bağ alanı bakımından dünyada 5. sırada iken toplam yaş üzüm üretim miktarı açısından ise 6. Sırada yer almaktadır (Anonim, 2012). TÜİK 2023 yılı verilerine göre, sofralık çekirdekli üzüm üretim miktarı, Tokat için 7078 ton iken, Türkiye geneli için bu rakamın 1.376.067 ton olduğu görülmüştür. Tokat ili ve Türkiye için verim ise sırasıyla 550 ve 843 kg da<sup>-1</sup> olarak kaydedilmiştir (TÜİK, 2024).

Hasat edilmiş üzümlerin en büyük sıkıntılarından biri olan nakliye ve depolamaya hassasiyeti, çeşitlerin mühendislik karakteristikleri olarak fiziksel ve mekanik özellikleri ile kalite parametrelerini belirlemenin gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi ile nakliye ve depolamaya uygunlukları hakkında fikir edinilmektedir (Aydın, 2009). Sofralık üzümler, hasattan sonra olgunlaşamadıkları için yeme olumunda hasat edilmektedir (Özer ve Işık, 2002). Tanenin diri ve sert olması sofralık tüketilen üzümler için önemli bir mühendislik ve kalite kriteridir. Tarımsal ürünlerin mühendislik özelliklerinin bilinmesi, hasadın ardından uygulanacak işlemlerde kullanılan sistem ve makinelerin iş randımanının artmasını sağlayacaktır (Saracoglu ve Altuntaş, 2021). Sofralık üzümlerde orta ve geçici çeşitlerde %17-18 suda çözünebilir kuru madde miktarı (SÇKM), erkenci çeşitlerde ise %12-13'lük SÇKM miktarı hasat için yeterli olarak görülmektedir. Çeşitlerin asitlik, renk parametreleri, aroma ve tat gibi kriterleri beraber değerlendirilerek optimum olgunluk dönemine karar verilmektedir (Cangi ve Altun, 2015).

Türkiye'de bağcılık sektörünü birçok yönlüyle ele alan çalışmaların sayısı oldukça fazla olmasına rağmen, üzüm meyvelerinin mühendislik özellikleri olarak fizikomekanik özelliklerine ağırlık veren çalışmaların sayısı tatminkâr düzeyde değildir. Bu çalışmada, Michele Palieri sofralık üzüm çeşidinin bazı mühendislik ve kalite parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda mühendislik özellikler olarak; fiziksel özelliklerden geometrik ve hacimsel özellikler, statik sürtünme katsayısı, kopma direnci, mekanik özellikler (kabuk delinme kuvveti, deformasyon, enerji, sertlik ve güç) ve kalite özellikleri olarak meyve kabuğu ve meyve etinde renk karakteristikleri ile şıra özellikleri (pH, titrasyon asitliği, SÇKM, olgunluk indisi) belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Ülke ekonomisine önemli ölçüde katkı sağlayan ve tarımsal üretimde önemli bir yer tutan bağcılıkta öne çıkan çeşitlerden olan ve sofralık olarak da değerlendirilen Michele Palieri çeşidi (Şekil 1) üzüm örnekleri araştırma materyali olarak kullanılmış olup, TOGÜ Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü (GUTAM)'ne ait araştırma arazisinde yetiştirilmiştir. Araştırmada, TOGÜ Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümüne ait Biyolojik Malzeme Laboratuvarından ve kimyasal özelliklerle ilgili analizler için ise Bahçe Bitkileri Bölümüne ait Bağcılık

Laboratuvarından faydalanılmıştır. Üzümlerin olgunlaşması sıcaklık, yağış ve güneşlenme süresi gibi değişik iklim faktörlerinin etkisi altındadır (Winkler vd., 1974). İlin 1929 – 2023 yılları arası iklim verilerine göre ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri sırası ile 12.5, 18.8 ve 7.2°C iken, aylık toplam yağış miktarı ortalaması 435 mm, ve ortalama güneşlenme süresi ise 5.8 h' tir (MGM, 2024). Araştırmada kullanılan meyve örneklerinin ortalama nem içeriği yaş baz esas alınarak %72.63 (% y.b.) olarak kaydedilmiştir (Suthar ve Das, 1996).



Şekil 1. Araştırmada kullanılan Michele Palieri çeşidi üzüm meyveleri

Hasat ile birlikte Michele Palieri çeşidinden tesadüfi seçilen 10 üzüm salkımı üzerinden mühendislik ve kalite özellikleri belirlenmiştir. Mühendislik ve kalite parametreleri aşağıdaki açıklandığı şekliyle incelenmiştir:

Mühendislik parametrelerinden fiziksel özellikler olan uzunluk, genişlik ve kalınlık değerleri dijital kumpas ile belirlenerek mm cinsinden kaydedilmiştir. Tane ağırlığı ve salkım ağırlığı elektronik terazi yardımıyla belirlenerek g cinsinden kaydedilmiştir. Uzunluk, genişlik, kalınlık ve tane ağırlık ölçümleri 300 adet meyve üzerinden yapılmıştır. Meyvelerin geometrik ortalama çap (mm), küresellik (%), yüzey alanı (mm<sup>2</sup>) ve hacim (mm<sup>3</sup>) hesaplamaları için Mohsenin (1980)'in eşitliklerden yararlanılmıştır. Gerçek hacim ağırlığı Mohsenin (1980)'e göre saf su kullanılarak sıvı yer değiştirme metoduyla belirlenirken, yığın hacim ağırlığının belirlenmesinde ise hektolitre yöntemi kullanılmıştır.

Meyvelerin mekanik özellikleri olarak kuvvet karşısındaki davranışları, biyolojik materyal test cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Uzunluk ekseninde, genel olarak biyolojik malzemelerde uygulanan yükleme hızı olan 20 mm min<sup>-1</sup> yükleme hızında (Şahin vd., 2020) delme için gerekli güç, sertlik, absorbe edilen enerji, deformasyon ve kuvvet değerleri belirlenmiştir (Mohsenin, 1980). Deneyler, 0.1 N hassasiyetli bir çeki dinamometresi (Sundoo, SH-500, Çin) ile gerçekleştirilmiştir. Delme testi için 1.2 mm çapında çelik iğne uç kullanılmıştır.

Biyolojik malzemelerde farklı malzeme üzerinde sürtünme katsayısı ölçümleri yapılmaktadır. Ancak, literatürlerde farklı yüzeylerin kullanıldığı görülmekte olup, kontrplak, sunta, cam, laminant vb. yüzeyler kullanılabilir. Bu çalışmada da statik sürtünme katsayısı, eğimli düzende PVC, galvanizli sac ve laminant olmak üzere üç farklı sürtünme yüzeyinde hesaplanmıştır. Tanenin saptan ayrılma kuvveti (N) dijital göstergeli dinamometre ile belirlenmiştir.

Renk parametreleri olan  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  değerleri bir renk ölçer (Konica Minolta, CR-400, Japonya) kullanılarak tespit edilmiştir. Ölçümlerde 10 adet meyve örneği kullanılmıştır. Kroma değeri ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmiştir (McGuire, 1992).

$$KROMA = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$$

Tanelerin sıkılması ile elde edilen şıranın, pH, titrasyon asitliği (g 100 ml<sup>-1</sup>), SÇKM (%) ve olgunluk indisi (SÇKM/Asitlik) ölçülmüştür. pH, titrasyon asitliği ve SÇKM değerleri Cemeroğlu (2010)'a, olgunluk indisi değeri ise Kamiloğlu ve Üstün (2014)'e göre belirlenmiştir. Üzerinde durulan parametreler bakımından tanımlayıcı istatistikler ortalama, standart sapma, minimum, maksimum ve varyasyon katsayısı olarak verilmiştir.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Üzüm örneklerinin biyoteknolojik özellikleri kapsamında, hacimsel ve geometrik özelliklerine ait değerler ortalama, minimum, maksimum ve varyasyon katsayısı ile birlikte Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Üzüm meyvelerine ait bazı fiziksel özellikler

| Özellikler                           | Ortalama       | Minimum | Maksimum | Varyasyon katsayısı |
|--------------------------------------|----------------|---------|----------|---------------------|
| <b>Geometrik</b>                     |                |         |          |                     |
| U (mm)                               | 23.66±1.37     | 21.61   | 26.88    | 5.81                |
| G (mm)                               | 21.26±1.16     | 19.66   | 23.65    | 5.47                |
| K (mm)                               | 20.62±1.21     | 19.03   | 23.08    | 5.87                |
| G <sub>c</sub> (mm)                  | 21.71±1.21     | 20.22   | 24.40    | 5.59                |
| K <sub>r</sub> (%)                   | 91.93±1.81     | 88.62   | 94.28    | 1.97                |
| Y <sub>a</sub> (mm <sup>2</sup> )    | 1499.62±165.15 | 1301.59 | 1873.43  | 11.01               |
| A (g)                                | 7.28±0.92      | 6.15    | 9.14     | 12.58               |
| S <sub>a</sub> (g)                   | 424.95±85.17   | 283.55  | 530.71   | 20.04               |
| Y <sub>ta</sub> (g)                  | 748.66±42.01   | 704.66  | 799.79   | 5.61                |
| <b>Hacimsel</b>                      |                |         |          |                     |
| H <sub>t</sub> (mm <sup>3</sup> )    | 5604.79±914.61 | 4539.70 | 7721.50  | 16.32               |
| H <sub>y</sub> (kg m <sup>-3</sup> ) | 571.92±10.24   | 560.22  | 588.30   | 1.79                |
| H <sub>g</sub> (kg m <sup>-3</sup> ) | 963.06±47.70   | 845.90  | 1033.06  | 4.95                |
| P <sub>r</sub> (%)                   | 40.46±3.64     | 31.02   | 44.67    | 8.99                |

U: Uzunluk (mm), G: Genişlik (mm) K: Kalınlık (mm), G<sub>c</sub>: Geometrik ortalama çap (mm), K<sub>r</sub>: Küresellik (%), Y<sub>a</sub>: Yüzey Alanı(mm<sup>2</sup>), A: Tek tane ağırlık (g), S<sub>a</sub>: Salkım ağırlığı (g), Y<sub>ta</sub>: Yüz tane ağırlığı (g), H<sub>t</sub>: Hacim (mm<sup>3</sup>), H<sub>y</sub>: Yığın hacim ağırlığı (kg m<sup>-3</sup>), H<sub>g</sub>: Meyve hacim ağırlığı (kg m<sup>-3</sup>), P<sub>r</sub>: Porozite (%).

Meyvelerin ortalama kalınlık, genişlik ve uzunluk değerleri sırasıyla 20.62, 21.26 ve 23.66 mm olarak belirlenmiştir. Bu değerlerden hesaplanarak belirlenen ortalama küresellik ve geometrik ortalama çap değerleri ise sırasıyla %91.93 ve 21.71 mm olarak tespit edilmiştir. Hacimsel özelliklerden ortalama tane, salkım ve yüz tane ağırlıkları sırasıyla 7.28, 424.95 ve 748.66 g iken, meyve hacim ağırlığı ve yığın hacim ağırlığı değerleri ise, sırasıyla 963.06 ve 571.92 kg m<sup>-3</sup> olarak saptanmıştır.

Cangi ve Altun (2015) Michele Palieri üzüm çeşidinde 2013 ve 2014 yılında ortalama salkım ağırlığını sırasıyla 452 ve 316 g ve 100 tane ağırlığını ise sırasıyla 800 ve 754 g olarak bildirmişlerdir. Alço (2019), kontrol uygulamalarında tane enini 1.46-1.51 cm aralığında belirlemiştir. Mert (2023), Yeşil Tiryaki, Recep Sert ve Alibeyli üzümlerinin salkım ağırlıklarını sırası ile 392.5, 410 ve 650 g olarak tespit etmiştir. Ayrıca söz konusu çalışmada minimum tane ağırlığı değeri Böğrül çeşidinde 3.05 g olarak kaydedilirken, maksimum tane ağırlığı değerleri ise Kartal Çavuş çeşidinde 5.33 g olarak bildirmiştir. Özdemir ve Bayhan (2018), bazı sofralık üzüm çeşitlerinin tane ağırlık değerlerini 3.56 -7.48 g, tane eni değerlerini 12.03-16.22 mm ve tane boyu değerlerini 14.35-21.17 mm aralığında bildirmişlerdir.

Üzüm meyvelerinin farklı yüzeylerde elde edilen statik sürtünme katsayısı ve saptan kopma direnci değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Maksimum sürtünme PVC yüzeyde belirlenirken, minimum sürtünme galvanizli sac yüzeyde ölçülmüştür. Üzüm meyvelerinin saptan kopma direnci ise 0.36 N

olarak saptanmıştır. Aydın (2009) tane-sap bağlantılarının durumu ile tanenin dayanıklılığı arasında doğrusal bir bağlantı olduğunu bildirmiştir. Yıldız vd. (2018), saptan kopma kuvvetini Horoz karası, Mevlana, Pembe Gemre (klon 11), Razaki (klon 16), Red Globe çeşitleri için sırasıyla 0.62, 0.40, 0.31, 0.57 ve 0.74 g olarak belirlemişlerdir. Çalışmada bulunan saptan kopma direnç değerleri, literatür değerlerine göre daha düşük değerde bulunmuştur. Bu durumun nedeninin çeşit özellikleri ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Tablo 2. Üzüm meyvelerine ait statik sürtünme katsayısı ve saptan kopma direnci değerleri

| Sürtünme yüzeyleri       | Ortalama | Minimum | Maksimum | Standart sapma | Varyasyon katsayısı |
|--------------------------|----------|---------|----------|----------------|---------------------|
| PVC                      | 0.217    | 0.176   | 0.287    | 0.049          | 22.767              |
| Galvanizli sac           | 0.088    | 0.035   | 0.141    | 0.037          | 42.635              |
| Laminant                 | 0.130    | 0.105   | 0.158    | 0.020          | 15.589              |
| Saptan kopma direnci (N) | 0.360    | 0.21    | 0.46     | 0.07           | 18.90               |

PVC: Polivinilklorür

Üzüm meyvelerinin mekanik özelliklerinden kuvvet karşısındaki davranışlarına ait ortalama değerler Tablo 3' te verilmiştir. Ortalama kabuk delinme kuvveti, deformasyon, enerji, sertlik ve güç değerleri sırasıyla 7.97 N, 6.61 mm, 26.41 N mm, 1.20 N mm<sup>-1</sup> ve 0.001 W olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Üzüm meyvelerinin mekanik özellikleri

|                               | Ortalama | Minimum | Maksimum | Standart sapma | Varyasyon katsayısı |
|-------------------------------|----------|---------|----------|----------------|---------------------|
| Kabuk delinme kuvveti (N)     | 7.97     | 6.50    | 9.00     | 1.31           | 16.38               |
| Deformasyon (mm)              | 6.61     | 6.42    | 6.96     | 0.31           | 4.63                |
| Enerji (N mm)                 | 26.41    | 20.87   | 31.32    | 5.26           | 19.90               |
| Sertlik (N mm <sup>-1</sup> ) | 1.20     | 1.01    | 1.30     | 0.17           | 13.74               |
| Güç (W)                       | 0.001    | 0.001   | 0.002    | 0.0002         | 16.38               |

Hasat sonrası üzüm meyvelerinin meyve kabuğu ve meyve etinde belirlenen renk karakteristiklerine ait tanımlayıcı değerler Tablo 4'te görülmektedir. Meyve kabuğu için  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  renk karakteristikleri sırası ile 33.41, 2.45 ve 0.59 olarak belirlenmiştir. Bu değerler meyve eti için sırasıyla 28.28, 0.87 ve 3.22 olarak bulunmuştur.

Tablo 4. Üzüm meyvelerinin kabuk yüzeyi ve meyve etinin renk karakteristikleri

| Renk karakteristikleri |           | Ortalama  | Minimum | Maksimum | Standart sapma | Varyasyon katsayısı |
|------------------------|-----------|-----------|---------|----------|----------------|---------------------|
| Meyve kabuğu           | $L^*$     | 33.41     | 32.05   | 35.08    | 0.93           | 2.77                |
|                        | $a^*$     | 2.45      | 1.75    | 5.46     | 1.11           | 45.27               |
|                        | $b^*$     | 0.59      | 0.40    | 1.17     | 0.21           | 36.12               |
|                        | $C$       | 2.52      | 1.81    | 5.58     | 1.12           | 44.53               |
|                        | $h^\circ$ | 0.25      | 0.17    | 0.33     | 0.05           | 19.74               |
| Meyve eti              | $L^*$     | 28.28     | 24.11   | 31.22    | 2.75           | 9.71                |
|                        | $a^*$     | 0.87      | -0.33   | 1.59     | 0.71           | 82.21               |
|                        | $b^*$     | 3.22±1.05 | 2.24    | 4.98     | 1.05           | 32.65               |
|                        | $C$       | 3.43±0.91 | 2.75    | 4.99     | 0.91           | 26.56               |
|                        | $h^\circ$ | 0.63±1.20 | -1.50   | 1.26     | 1.20           | 190.14              |

Hasat zamanında belirlenen sıra pH'sı, titrasyon asitliği ve suda çözünür kuru maddeye ait değerler Tablo 5'te verilmektedir. Tablo 5 incelendiğinde, bu değerlerin ortalamaları sırasıyla 3.45, 0,245 g 100 ml<sup>-1</sup>, %15.9 olduğu görülmektedir. Suda çözünebilir kuru madde miktarının titrasyon asitliğine bölünmesi ile belirlenen olgunluk indisi değeri ise 64.90 olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Üzüm meyvelerinin sıra özelliklerine ait değerler

| Şıra özellikleri | Ortalama | Standart sapma | Varyasyon katsayısı |
|------------------|----------|----------------|---------------------|
| pH               | 3.45     | 0.08           | 2.37                |
| TA               | 0.245    | 0.08           | 3.64                |
| SÇKM             | 15.9     | 0.20           | 0.70                |

TA: Titrasyon asitliği, SÇKM: Suda çözünen kuru madde

TSE standartlarına göre çekirdekli sofralık üzüm çeşitlerinde suda çözünebilir kuru madde (Briks) değerinin minimum 13 olması beklenmektedir (Anonim, 2024a). Bu çalışmada ele alınan üzüm çeşidi bu kritere uymaktadır. Dünyada sofralık üzümlerin dış satımında ve ülke içinde tüketiminde, olgunluğu tanımlayıcı standart olarak "Olgunluk İndisi" yaygın olarak kullanılmaktadır (Anonim, 2024b). Hasat olgunluğunun belirlenmesinde kullanılacak kriterlerden bir tanesi olan olgunluk indisinin geçici özellik gösteren çeşitlerde 30-35; orta mevsim çeşitlerinde 25; erkenci çeşitlerde 20 değerlerinde olması yeterlidir (Karaçalı, 2006). Mert (2023), yöresel üzüm çeşitlerinin olgunluk indisi değerlerinin, 82.31 değeri ile maksimum Kartal Çavuş çeşidinde ve 50.16 değeri ile, minimum Eski Kara üzüm çeşidinde belirlemiştir.

Özdemir ve Bayhan (2018), Abderi ve Şire çeşitlerinde maksimum SÇKM miktarının %24.20 olduğunu buna karşın, Tahannebi çeşidinde ise bu değer %16.40 olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, maksimum pH değerinin Abderi çeşidinde 4.25 olarak ölçülürken, minimum pH değerinin ise Trakya İlkeren çeşidinde 3.05 olduğunu saptamışlardır. Aynı çalışmada, maksimum olgunluk indisi 67.54 değeri ile Abderi çeşidinde ve minimum olgunluk indisi ise 27.78 değeri ile Tahannebi çeşidinde saptanmıştır. Cangi ve Altun (2015) Michele Palieri üzüm çeşidinde 2013 ve 2014 yılında, SÇKM değerlerinin sırasıyla 18.2 ve 18.1, pH değerlerinin 3.25 ve 3.70, toplam asitlik miktarlarının 4.5 ve 4.01 g l<sup>-1</sup> ve olgunluk indisi değerlerinin ise 40.04 ve 45.13 olduğunu bildirmişlerdir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, Michele Palieri sofralık üzüm çeşidinin bazı mühendislik ve kalite parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda fiziksel özelliklerden geometrik ve hacimsel özellikleri, meyve kabuğu ve meyve etinde renk karakteristikleri, statik sürtünme katsayısı, kopma direnci, mekanik özellikler ve sıra özellikleri (pH, titrasyon asitliği, SÇKM, olgunluk indisi) belirlenmiştir. Meyve örneklerinin nem içeriği %72.63 (% y.b.) olarak tespit edilmiştir. Meyvelerin ortalama kalınlık, genişlik ve uzunluk, değerleri sırasıyla 20.62 mm, 21.26 mm ve 23.66 mm olarak belirlenmiştir. Bu değerlerden hesaplanarak belirlenen ortalama küresellik ve geometrik ortalama çap değerleri ise sırasıyla %91.93 ve 21.71 mm olarak tespit edilmiştir. Hacimsel özelliklerden tane ağırlığı ortalama 7.28 g, salkım ağırlığı 424.95 g ve yüz tane ağırlığı 748.66 g olarak belirlenmiştir. Maksimum sürtünme PVC yüzeyde belirlenirken, minimum sürtünme galvanizli sac yüzeyde oluşmuştur. Üzüm meyvelerinin saptan kopma direnci ise 0.36 N olarak bulunmuştur. Üzüm meyvelerinin kalite özellikleri olarak, L\*, a\*, b\* renk değerleri meyve kabuğu için sırasıyla 33.41, 2.45 ve 0.59 olarak belirlenmiştir. Meyve eti için bu değerler sırasıyla 28.28, 0.87 ve 3.22 olarak tespit edilmiştir. Hasat zamanında belirlenen sıra pH'sı, titrasyon asitliği, SÇKM ve olgunluk indisi ortalama değerlerinin sırasıyla 3.45, 0.245 g 100 ml<sup>-1</sup>, %15.9 ve 64.90 olduğu görülmektedir. Hasat edilmiş üzümlerin en büyük sıkıntılarından biri olan nakliye ve depolamaya hassasiyet, çeşitlerin mühendislik karakteristikleri olarak fiziksel ve mekanik özellikleri ile kalite parametrelerini belirlemenin gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi ile üzümlerin nakliye ve depolama işlemlerine uygunlukları hakkında fikir edinilmiştir. Sofralık



üzümlerde hasattan sonra olgunluk devam etmediği için, yeme olumunda hasat edilmekte olan tanenin diri ve sert olması, özellikle sofralık tüketilen üzümler için önemli bir kalite kriteri olarak öne çıkarken, renk özellikleri ve şıra özellikleri de bu anlamda önem arz etmektedir.

## KAYNAKLAR

- Alço, T. (2019). *Gamay üzüm çeşidinde farklı dönemlerde yapılan yaprak alma uygulamalarının önolojik olgunluğa etkileri*. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), 155 s.
- Anonim (2012). *Vizyon 2023 Çalıştay belgesi*. [https://arastirma.tarimorman.gov.tr/bagcilik/Belgeler/VIZYON\\_2023\\_CALISTAY.pdf](https://arastirma.tarimorman.gov.tr/bagcilik/Belgeler/VIZYON_2023_CALISTAY.pdf)
- Anonim (2024a). *Sofralık üzüm*. <https://resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/06/TS%20101%20SOFRALIK%20%C3%9CZ%C3%9CM%20STANDARDI.doc> Erişim tarihi: 24.03.2024.
- Anonim (2024b). *Üzümlerde olgunluk, hasat ve muhafaza*. [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/14652/mod\\_resource/content/0/%C3%9CZ%C3%9CMLERDE%20OLGUNLUK%20HASAT.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/14652/mod_resource/content/0/%C3%9CZ%C3%9CMLERDE%20OLGUNLUK%20HASAT.pdf)
- Aydın, S. (2009). *Bazı sofralık üzüm çeşitlerinde tane fiziksel özelliklerinin belirlenmesi*. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), 30 s.
- Cangi, R., ve Altun M.A. (2015). Bazı önemli sofralık üzüm çeşitlerinin Sakarya/Taraklı ekolojisine adaptasyonu. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 8(2), 35-39. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/413292>
- Cemeroğlu, B. (2010). *Gıda analizleri*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No:34, Ankara, s. 657.
- Gazioğlu Şensoy, R. İ., ve Tutuş, A. (2017). Tarih boyunca Van ili ve çevresinde bağcılık kültürü. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 56-63. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/326620>
- İşçi, B. (2007). *Asma (Vitis vinifera L.)' da genom haritalaması: Önemli morfolojik karakterlere ve fungal kökenli hastalıklara yönelik AFLP ve SSR Linkage gruplarının oluşturulması*. EÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Doktora tezi (Yayımlanmamış), İzmir.
- Kamiloğlu, Ö., ve Üstün, D. (2014). Bazı şaraplık üzüm çeşitlerinin hasat sonrası kalite özellikleri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(3), 361-368.
- Karaçalı, İ. (2006). *Bahçe Ürünlerinin muhafaza ve pazarlanması*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 494 (5. Baskı), İzmir, s. 481.
- Lim, T.K. (2012). *Edible medicinal and non-medicinal plants*. Springer Science and Business Media Dordrecht. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-90-481-8661-7>
- McGuire, R.G. (1992). Reporting of objective colour measurements. *HortScience*, 27 (12): 1254-1255.
- MGM (2024). T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=TOKAT>
- Mert, E. (2023). *Bilecik'te yetiştirilen bazı yöresel üzüm çeşitlerinin fenolik madde içeriklerinin belirlenmesi*. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış)., Bilecik 46 s.

- Mohsenin, N.N. (1980). *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 758 p.
- Özdemir, G., Karataş, H. (2008). Diyarbakır İli bağcılığı. *Ulusal Bağcılık-Şarap Sempozyumu ve Sergisi*. 2008 (405-413).  
[https://www.researchgate.net/publication/291697871\\_Diyarbakir\\_Ili\\_Bagciligi](https://www.researchgate.net/publication/291697871_Diyarbakir_Ili_Bagciligi)
- Özdemir, G., ve Bayhan, Y.D. (2018). Bazı sofralık üzüm çeşitlerinin Diyarbakır ekolojik koşullarındaki salkım, tane ve şıra özelliklerinin belirlenmesi. *International Congress on Agriculture and Animal Sciences 2018* (815-820).
- Özer, C., ve Işık, H. (2002). Soğukta muhafazaya uygun sofralık üzüm çeşitlerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *II. Bahçe Ürünlerinde Muhafaza ve Pazarlama Sempozyumu*. 2002 (291-294).
- Saracoglu, O., ve Altuntas, E. (2021). Assessment of some biotechnical characteristics of japanese crabapple depending on fruit size and maturity stage. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 36(1), 21-26.
- Suthar, S.H., ve Das, S.K. (1996). Some physical properties of karingda [*Citrus lanatus* (thumb) mansf] grains. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 65(1),15-22.
- Şahin, G., Altuntaş, E., Polatçı, H. (2020). Mersin (*Myrtuscommunis* L.) meyvesinin fiziksel, mekanik, renk ve kimyasal özellikleri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(1), 59-68.
- TÜİK (2024). Üzüm. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> Erişim tarihi:22.03.2024.
- Winkler, A.J., Cook, J.A., Klieber, W.M., ve Lider, L.A. (1974). *General viticulture* (2. Baskı). UC Press. Berkeley. <https://www.ucpress.edu/book/9780520025912/general-viticulture>
- Xia, E.Q., Deng G.F., Guo, Y.J., ve Li, H.B. (2010). Biological activities of polyphenols from grapes. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(2), 622-646.
- Yıldız, N., Dilli, Y., ve Toprak Özcan, E. (2018). Bazı sofralık üzüm çeşitleri ve klonlarında tane kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Meyve Bilimi*, 5(2), 57-61.  
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/622951>

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction and Research Questions & Purpose

Although the number of studies addressing the viticulture sector in many aspects in Türkiye is quite high, the number of studies focusing on the physico-mechanical properties of grape fruits is not at a satisfactory level. In this research, it was aimed to determine some quality parameters of the Michele Palieri table grape variety. In this context, physical properties such as geometric and volumetric properties, color characteristics of fruit peel and fruit flesh, static friction coefficient, rupture resistance, mechanical properties and must properties (pH, titratable acidity, brix, ripeness index) were determined.

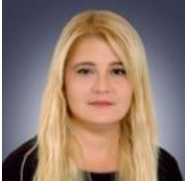
### Methodology

With harvest, different parameters of quality were determined on 10 randomly selected bunches. The parameters were examined as described below: Length, width and thickness values digital caliper with 0.01 mm precision; Grain weight (g) and cluster weight (g) were determined with the help of a digital precision electronic scale with an accuracy of 0.001 g. Mohsenin's (1980) equations were used to calculate the geometric mean diameter (mm), sphericity (%), surface area (mm<sup>2</sup>) and volume (mm<sup>3</sup>) of the fruits. In color analysis, the L\*a\*b\* values were determined using a Minolta model CR-400 (Tokyo, Japan) device. The static friction coefficient was calculated on three different friction surfaces (PVC, galvanized sheet and laminate) in the inclined device. The behavior of fruits against mechanical force was determined using a biological material testing device. pH, titratable acidity (g 100 ml<sup>-1</sup>), brix (%) and ripeness index (Brix/Acidity) were determined from the must obtained by squeezing the grains. Descriptive statistics for the parameters considered are given as mean, standard deviation, minimum, maximum, coefficient of variation and standard error.

### Results and Conclusions

The average length, width and thickness values of the fruits were determined as 23.66 mm, 21.26 mm and 20.62 mm, respectively. The average geometric mean diameter and sphericity values calculated from these values were determined as 21.71 mm and 91.93%, respectively. Among the volumetric characteristics, the average fruit weight was determined as 7.28 g, cluster weight as 424.95 g, and hundred grain weight as 748.66 g. The L\*, a\*, b\* color values for fruit peel were determined as 33.41, 2.45 and 0.59, respectively. For fruit flesh, these values were found to be 28.28, 0.87 and 3.22, respectively. While the maximum friction was determined on the PVC surface, the minimum friction was determined on the galvanized sheet surface. It is seen that the average values of must pH, titratable acidity, brix and maturity index determined at harvest time are 3.33, 0.245 g 100 ml<sup>-1</sup>, 15.9% and 64.90, respectively.

## Yazarların Biyografisi

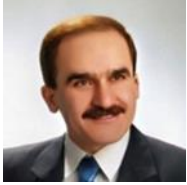


### Esra Nur GÜL

1989 yılında Adana'da doğdu. İlk orta ve lise eğitimini Mersin'de yaptı. Lisans eğitimini 2007-2012 yılları arasında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümünde tamamladı. Yüksek lisans eğitimini 2012-2017 yılları arasında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalında tamamladı. Doktora eğitimine Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü /100/2000 Sürdürülebilir Tarım alanında devam etmektedir. Birçok bilimsel ve akademik çalışma ve faaliyetlerde görev almıştır.

**İletişim** gulesranur1@gmail.com

**ORCID Adresi** <https://orcid.org/0000-0002-9865-1228>



### Ebubekir ALTUNTAŞ

1967 yılında Sivas'ta doğdu. İlk orta ve lise eğitimini Sivas'ta yaptı. Lisans eğitimini 1985-1989 yılları arasında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümünde tamamladı. Yüksek lisans eğitimini 1992-1994 yılları arasında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalında; doktora eğitimini ise 1994-1998 yılları arasında Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalında tamamladı. 1993 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Aynı bölüme 2000 yılında Yardımcı Doçent, 2006 yılında Doçent olarak ve 2012 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Tarımda Makine Sistemleri bilim dalına Profesör olarak atandı. Halen Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölüm Başkanı ve Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Turhal Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dekanı olarak görev yapmaktadır. Birçok bilimsel ve akademik çalışma ve faaliyetlerde görev almış olup, 120'nin üzerinde bilimsel makale ve yayını bulunmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

**İletişim** ebubekir.altuntas@gop.edu.tr

**ORCID Adresi** <https://orcid.org/0000-0003-3835-1538>



### Türkan KÜSMEZ

2000 yılında Bartın'da doğdu. İlk orta ve lise eğitimini Karabük'te tamamladı. Lisans eğitimine Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümünde 4. Sınıf olarak devam etmektedir.

**İletişim** turkan.kusmez4020@gop.edu.tr

**ORCID Adresi** <https://orcid.org/0009-0005-3860-4998>



### Adem YAĞCI

1969 yılında Sivas'ta doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. Lisans eğitimini 1991-1995 yılları arasında Cumhuriyet Üniversitesi Tokat Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünde tamamladı. 1998 yılında Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünde Doçent Doktor olarak görev yapmaktadır. Birçok bilimsel ve akademik çalışma ve faaliyetlerde görev almıştır.

**İletişim** adem.yagci@gop.edu.tr

**ORCID Adresi** <https://orcid.org/0000-0002-3650-4679>

## Calculating Greenhouse Heating Capacities under Egypt's Climate Conditions: Using a Computational Program

### Sera Isıtma Kapasitelerinin Mısır İklim Koşullarında Hesaplanması: Bir Bilgisayar Programı Kullanımı

Nashwa A. Ghaly<sup>1</sup>, Gürkan A. K. Gürdil<sup>1\*</sup>, Hüseyin Duran<sup>1</sup>, Bahadır Demirel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machines and Technologies Engineering, Samsun, Türkiye

<sup>2</sup>Erciyes University, Faculty of Agriculture, Department of Biosystems Engineering, Kayseri, Türkiye

\*Corresponding author (sorumlu yazar), G Gürdil, email: ggurdil@omu.edu.tr

#### Article Info

Received date : 28.03.2024  
Revised date : 22.04.2024  
Accepted date : 24.04.2024

#### Keywords:

Agriculture  
Greenhouse  
Heating Capacity  
Computational Program  
Egypt

#### How to Cite:

Ghaly, N., Gürdil, G.A.K., Duran, H., Demirel, B. (2024). "Calculating Greenhouse Heating Capacities under Egypt's Climate Conditions: Using a Computational Program", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 20(1): 25-40.

#### ABSTRACT

According to recent projections, the world's population is anticipated to reach 9.8 billion by 2050, posing significant challenges to global food security and the availability of freshwater resources. The sector of protected cultivation in Egypt plays a pivotal role in ensuring food security, as it supplies wholesale markets with fresh leafy vegetables and fruits during the winter season, offering adequate quantities at reasonable prices. The effective management of greenhouses and protected cultivation necessitates a thorough understanding of climate dynamics and the optimal environmental conditions for cultivated crops. To implement sound management practices for greenhouses, it is imperative to comprehend the influence of climate variables on plant growth and production throughout various seasons. Heating and cooling systems represent significant expenses in greenhouse production. The inadequacy of heating systems has detrimental consequences on the quality, yield, cultivation duration, and quantity of greenhouse products. Therefore, the accurate calculation of the heating costs is critical to decrease the operating costs. In this study, a computer program was developed to calculate heating requirements for glasshouses according to geographical location, product type, cover material, heating system type, and the greenhouse's ground area size. The results reveal that Dakahlia and Behara governorates exhibited the highest heating requirements, with values of 37.31 kW for strawberry, 27.8 kW for pepper, 50.89 kW for strawberry, and 40.62 kW for pepper, respectively. Conversely, Giza, Gharbia, Nubaria, Sharkia, Ismailia, Menoufia, Damietta, Kafr El-Sheikh, and Suez governorates did not require heating inside the greenhouses.

#### Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 28.03.2024  
Düzeltilme tarihi : 22.04.2024  
Kabul tarihi : 24.04.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Tarım  
Sera  
Isıtma Kapasitesi  
Bilgisayar programı  
Mısır

#### Atf için:

Ghaly, N., Gürdil, G.A.K., Duran, H., Demirel, B. (2024). "Sera Isıtma Kapasitelerinin Mısır İklim Koşullarında Hesaplanması: Bir Bilgisayar Programı Kullanımı", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(1): 25-40.

#### ÖZET

Son nüfus projeksiyonlarına göre, dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9,8 milyara ulaşması ve bunun da küresel gıda güvenliği ve tatlı su kaynaklarının mevcudiyeti açısından önemli zorluklar yaratması beklenmektedir. Mısır'daki korumalı yetiştiricilik sektörü, kış mevsiminde toptan satış pazarlarına taze yapraklı sebze ve meyve tedarik ederek makul fiyatlarla yeterli miktarda ürün sunduğu için gıda güvenliğinin sağlanmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Seraların ve korumalı yetiştiriciliğin etkin yönetimi, iklim dinamiklerinin ve yetiştirilen ürünler için en uygun çevre koşullarının tam olarak anlaşılmasını gerektirir. Seralarda sağlam yönetim uygulamalarının hayata geçirilmesi için iklim değişkenlerinin çeşitli mevsimler boyunca bitki büyümesi ve üretimi üzerindeki etkisinin anlaşılması zorunludur. Isıtma ve soğutma sistemleri sera üretiminde önemli giderleri temsil etmektedir. Isıtma sistemlerinin yetersizliği, sera ürünlerinin kalitesi, verimi, yetiştirme süresi ve miktarı üzerinde zararlı sonuçlara yol açmaktadır. Bu nedenle, ısıtma maliyetlerinin doğru bir şekilde hesaplanması, işletme maliyetlerinin azaltılması için kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, seranın coğrafi konumu, ürün tipi, örtü malzemesi, ısıtma sistemi tipi ve seranın toprak alanı büyüklüğü gibi çeşitli faktörler dikkate alınarak seraların ısıtma taleplerini belirlemeyi amaçlayan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Sonuçlar, Dakahlia ve Behara valiliklerinin sırasıyla çilek için 37.31 kW, biber için 27.8 kW ve çilek için 50.89 kW, biber için 40.62 kW olmak üzere en yüksek ısıtma ihtiyaçlarına sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, Giza, Gharbia, Nubaria, Sharkia, Ismailia, Menoufia, Damietta, Kafr El-Sheikh ve Suez valiliklerinde sera içinde ısıtma gereksinimi bulunmamaktadır.

## **1. INTRODUCTION**

The rise in global population and energy consumption has prompted researchers and scientists to explore alternative sources for meeting the demand for both food production and energy generation. Additionally, the challenges posed by climate change and limited water resources underscore the increasing preference for protected greenhouse cultivation as a means of advancing the agriculture sector. Greenhouse production optimizes favorable environmental conditions, such as air temperature, and relative humidity (Beyhan et al., 2013).

Protected cropping was introduced in Egypt as a production technique in 1980 and has experienced significant growth over the past three decades. The primary objectives behind this expansion were to augment off-season production of vegetables and fruits, achieve earlier harvests compared to open field crops, and enhance both the yield and quality of agricultural products (Abdrabbo et al., 2019).

Greenhouses serve as a vital component of contemporary agriculture, enabling the cultivation of crops within controlled settings independent of external weather conditions. Nevertheless, the operation of greenhouses entails substantial energy consumption, particularly in heating, cooling, and artificial lighting. Modern greenhouse structures, in particular, are characterized by limited thermal mass and inadequate insulation, frequently resulting in heightened energy requirements for heating and increased emissions of greenhouse gases (Munoz et al., 2022).

Energy expenditure is the most substantial operational cost in cultivating greenhouse crops in temperate climates. Furthermore, the initial expenses of fossil fuels and conventional energy sources have significantly escalated. Given the adverse environmental consequences, finite fossil fuel reserves, and elevated energy demand in both the agricultural and food sectors, there has been a surge in the quest for solar energy as an environmentally responsible and sustainable alternative (Hassanien et al., 2016).

Solar energy stands out as a primary renewable energy source, offering worldwide availability during daylight hours and sustainability. Nevertheless, the management of greenhouse environments necessitates energy input to ensure the provision of optimal growth conditions for plants (Gorjian et al., 2021).

In greenhouse operations, the primary energy consumers are the cooling and heating systems. CO<sub>2</sub> emissions and heating expenses can be decreased by using solar energy for greenhouse heating (Hassanien et al., 2018).

Energy expenses typically account for approximately 15% to 40% of the total production costs in commercial greenhouse operations, with heating costs representing roughly 30% of the greenhouse's overall operational expenditures (Heidari and Omid, 2011).

The design of greenhouses in Egypt must address the challenge of coping with elevated daytime temperatures in summer, low nighttime air temperatures in winter, and consistently low air humidity, particularly in the southern regions of Egypt, which experience higher temperatures throughout the year (El-Afandi and Abdrabbo, 2015).

The practice of protected cultivation for horticultural crops in Egypt has undergone substantial advancements in various domains. The ambitious national initiative aimed at establishing 100,000 greenhouses has played a pivotal role in driving enhancements within the protected cultivation sector in recent years. Furthermore, extensive trials have been conducted in both the commercial and

research sectors, focusing on the enhancement of greenhouse production and the integration of innovative technologies, including large-scale adoption of soilless cultivation methods (Abdrabbo et al., 2019).

Research has validated that the growth, yield, and quality of greenhouse plants are influenced when exposed to temperatures below 12°C or above 30°C. The most favorable temperature range for greenhouse plants lies between 22 to 28°C during the daytime and 15 to 20°C at night (Castilla and Hernandez, 2006).

The expansion of greenhouse cultivation has resulted in a combination of advantages and disadvantages concerning food security and the environment. On the positive side, greenhouse production has brought about enhanced efficiency and increased yields due to its capacity to control the microclimate and reduce the risk of excessive insect and pest infestations. This enhanced efficiency and higher yields have been particularly evident in the cultivation of crops such as capsicum, tomatoes, and various other vegetables (Hossard et al., 2014; Zhao et al., 2021). Multiple interconnected factors can impact the environmental control system within greenhouses. These factors include the greenhouse's dimensions, geographical location, choice of covering materials, heat retention techniques, materials' quantity and quality, cultivation method, target day and night temperature, as well as external environmental conditions. Sustainable energy sources, such as heat pumps, solar collectors, and energy storage, have proven effective in heating and cooling systems (Yıldız et al., 2012).

The primary objective of agricultural greenhouses is to enhance crop yield during off-seasons by consistently maintaining optimal temperatures throughout each growth stage (Sethi et al., 2008).

Heating is typically achieved through the combustion of fossil fuels like diesel, fuel oil, and liquid petroleum, resulting in increased emissions of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), or by employing electric heaters, which exhibit higher energy consumption (Chai et al., 2012).

Attar et al. (2013) stated that the implementation of a flat plate solar collector (FPC) combined with a capillary polypropylene heat exchanger for greenhouse heating in Tunisia resulted in a substantial 51.8% reduction in heating costs for a 1000 m<sup>3</sup> greenhouse during April. Furthermore, this system was found to elevate the internal air temperature of the greenhouse by 5°C. Nonetheless, the accumulated solar energy alone proved insufficient to fully satisfy the heating demands (Attar and Farhat, 2015). It was observed that the influence of reduced temperatures has a significant impact on plant growth, and adjusting the heating temperature set point downward could potentially postpone the initial harvest (Kläring et al., 2015).

In Egypt, there are approximately 1350 hectares of polyethylene greenhouses, 50000 hectares of walk-in tunnels, and an additional 10 hectares dedicated to hydroponic systems. The utilization of these greenhouse systems serves the purpose of fulfilling domestic market demands for both vegetables and ornamental plants. Beyond catering to local needs, it is essential to underscore the significant value of greenhouse production for its export potential, as it plays a pivotal role in contributing to the foreign trade balance of numerous national economies in Egypt (El-Gayar et al., 2019). The geographical distribution of greenhouses, cultivated area (km<sup>2</sup>), production (ton), and the percentage for all governorates in Egypt (2016-2019) is shown in Table 1.

In Egypt, there is an expanding use of polyethylene greenhouses for the early cultivation of warm-season vegetables, fruits, and flowers, making it an effective application of solar energy for space heating and plant cultivation. Furthermore, greenhouse production typically outperforms field

production in terms of productivity per unit area, consistently delivering the highest product quality. In general, maintaining climate control is of paramount significance in greenhouse agriculture to achieve both high crop yields and top-quality produce that aligns with consumer demands while also ensuring cost-effective production (Gao, 2012).

Table 1. The geographical distribution of greenhouses in Egypt (2016-2019)

| <i>Location</i>           | <i>Cultivated area (km<sup>2</sup>)</i> | <i>Percentage (%)</i> | <i>Production (ton)</i> | <i>Number of Greenhouses</i> |
|---------------------------|---|-----------------------|-------------------------|------------------------------|
| <i>Dakahlia</i>           | 13.20                                   | 49.0                  | 104 849                 | 39 705                       |
| <i>Giza</i>               | 2.00                                    | 7.30                  | 23 600                  | 6 024                        |
| <i>Gharbia</i>            | 1.50                                    | 5.80                  | 20 833                  | 4 752                        |
| <i>Nubariya</i>           | 1.70                                    | 6.40                  | 25 174                  | 3 438                        |
| <i>Sharkia</i>            | 2.00                                    | 7.40                  | 14 462                  | 3 171                        |
| <i>Ismailia</i>           | 1.20                                    | 4.40                  | 13 792                  | 3 083                        |
| <i>Menoufia</i>           | 0.98                                    | 3.30                  | 7 423                   | 2 579                        |
| <i>Damietta</i>           | 0.87                                    | 3.30                  | 6 876                   | 2 244                        |
| <i>Kafr ElSheikh</i>      | 0.53                                    | 2.00                  | 6 983                   | 1 661                        |
| <i>Suez</i>               | 0.57                                    | 2.10                  | 3 869                   | 1 507                        |
| <i>Behara</i>             | 1.10                                    | 3.80                  | 19 923                  | 1 307                        |
| <i>Other governorates</i> | 1.40                                    | 5.20                  | 8 891                   | 3 449                        |
| <i>Total</i>              | 27.05                                   | 100                   | 256 675                 | 72 920                       |

Source: Ministry of Agriculture and Land Reclamation (In Arabic 2019).

Heating in greenhouses is a critical and indispensable element for optimal growth, particularly during the coldest periods, such as chilly nights. However, in composite climates characterized by the need for greenhouse heating during winter nights and cooling during hot summer days, a single system is insufficient to address the demands of such climatic variations. Therefore, the concept and implementation of an air conditioning system have been proposed to directly manage the meteorological conditions encountered. Furthermore, greenhouse heating can be achieved through either passive or active methods (Sethi and Sharma, 2008).

In this research, the heat balance within a greenhouse can be determined through a comprehensive analysis, which considers various parameters including the greenhouse's geographical location, the type of crops cultivated, the material used for the greenhouse cover, the heating technique employed, and the dimensions of the greenhouse. A computer program has been created, with the expectation that it will offer utility to farmers, agricultural engineers, and individuals interested in these matters.



## 2. MATERIALS AND METHODS

The materials used in greenhouses in the research were regulated according to the thickness and conduction resistances of some materials as shown in Table 2.

Table 2. Thermal conduction resistances of some materials used in greenhouses, arranged according to their thickness (EP, 2004)

| <i>Type of cover material</i>                       | <i>Thickness (mm)</i> | <i>Thermal conductivity (<math>W m^{-2} °C^{-1}</math>)</i> |
|---|-----------------------|---|
| <i>Glass</i>  | 3.18                  | 6.3   |
| <i>A layer of fiberglass</i>                        | 1.02                  | 5.7   |
| <i>Ultraviolet stabilized polyethylene film, PE</i> | 0.0003                | 6.3   |
| <i>Polyethylene film IR absorbing</i>               | 0.0003                | 5.7   |
| <i>Polyvinyl fluoride film PVF</i>                  | 0.0008                | 5.7   |
| <i>Glass-double pane</i>                            | 25.4                  | 3.0   |
| <i>Polycarbonate structured sheets</i>              | 6.8                   | 3.5   |

Some meteorological data that can be used in calculating the heating loads of greenhouses that can be established in various regions of Egypt are given in Table 3 (Abdelaty, 2015; Noreldin et al., 2016; Rizk, 1987; Maheswara et al., 2014).

Table 3. Long term average climatological parameters (temperature, average wind speed, and solar energy) in some governorates of Egypt

| <i>Location</i>      | <i>Average Temperature (°C)</i> | <i>Average Wind Speed (<math>m s^{-1}</math>)</i> | <i>Solar Energy (<math>kW m^{-2}.day^{-1}</math>)</i> |
|----------------------|---------------------------------|---|---|
| <i>Dakahlia</i>      | 16.90                           | 2.30  | 5.5-6.3   |
| <i>Giza</i>          | 21.25                           | 2.65  | 7.0-7.3   |
| <i>Gharbia</i>       | 21.70                           | 2.68  | 6.3-6.6   |
| <i>Nubariya</i>      | 19.15                           | 3.57  | 5.5-6.3   |
| <i>Sharkia</i>       | 21.81                           | 2.61  | 6.6-7.0   |
| <i>Ismailia</i>      | 21.30                           | 3.70  | 6.6-7.0   |
| <i>Menoufia</i>      | 21.80                           | 2.61  | 6.3-6.6   |
| <i>Damietta</i>      | 21.30                           | 3.29  | 5.5-6.3   |
| <i>Kafr ElSheikh</i> | 21.01                           | 2.61  | 5.5-6.3   |
| <i>Suez</i>          | 21.08                           | 2.50  | 7.3-7.7   |
| <i>Behara</i>        | 20.99                           | 2.72  | 6.3-6.5   |

The optimal temperature ranges for promoting plant growth within greenhouse environments are outlined in Table 4.

Table 4. Climate requirements for selected greenhouse crops in hot and arid regions

| <i>Crops</i>      | <i>Optimal T (°C)</i> |              | <i>Optimal RH (%)</i> | <i>Reference</i>          |
|-------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|---------------------------|
|                   | <i>Day</i>            | <i>Night</i> |                       |                           |
| <i>Lettuce</i>    | 24-28                 | 13-16        | 60-80                 | (Ponce et al., 2014)      |
| <i>Pepper</i>     | 22-30                 | 14-16        | 50-70                 | (Rabbi et al., 2019)      |
| <i>Cabbage</i>    | 15-16                 | 2            | 70-80                 | (Tazawa, 1999)            |
| <i>Tomato</i>     | 23-27                 | 13-16        | 50-80                 | (Ponce et al., 2014)      |
| <i>Cucumber</i>   | 25-30                 | 16-18        | 70-90                 | (Somerville et al., 2014) |
| <i>Strawberry</i> | 20-26                 | 13-16        | 50-65                 | (Soussi et al., 2022)     |

The calculation of heating capacities in greenhouses and the flowchart of the program have been developed as shown in Figure 1.

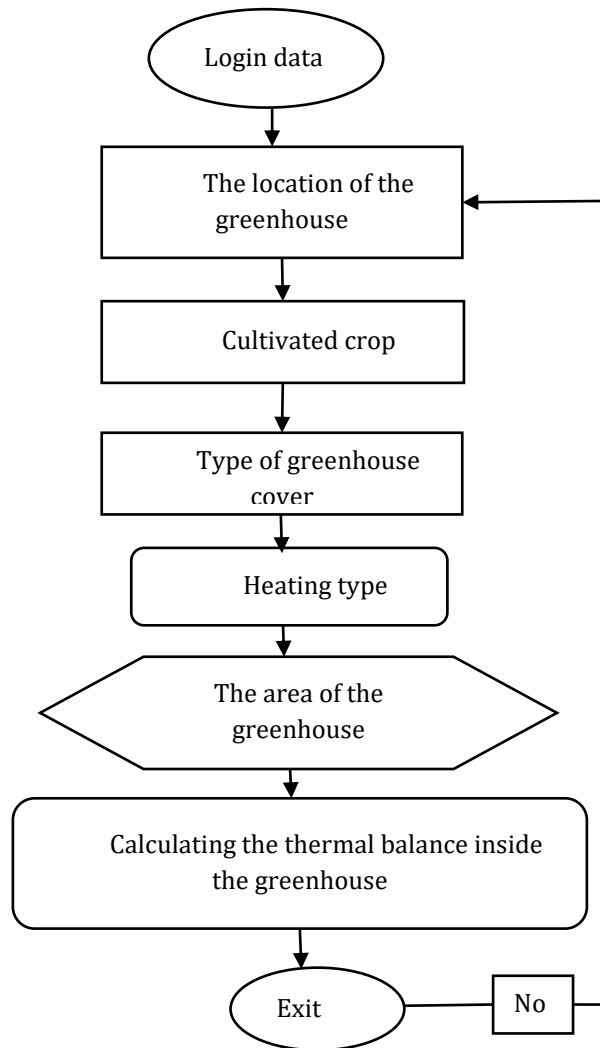


Figure 1. Diagram of the calculation program

The program adjusts the greenhouse heating capacity as follows: calculations according to equations (Yavuzcan, 1995; Anonymous, 2009).

The current requirements for greenhouse heating are determined by assessing the heat losses and gains within the greenhouse, and this calculation is based on the disparity between these factors (Eqs. 1, 2).

|                 |     |
|-----------------|-----|
| $Q = Q_1 - Q_2$ | (1) |
|-----------------|-----|

Where:

Q : Greenhouse heat current requirement, (W)

Q<sub>1</sub> : Total heat flow lost from the greenhouse, (W)

Q<sub>2</sub> : Heat gained from solar energy in the greenhouse, (W)

The heat loss from the greenhouse can be quantified using the following equation:

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| $Q_1 = A * K * (T_i - T_d)$ | (2) |
|-----------------------------|-----|

Where:

A : Total area of glass or plastic, (m<sup>2</sup>)

K : The coefficient of the total heat transfer, (W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>)

T<sub>i</sub> : Temperature inside the greenhouse, (K)

T<sub>d</sub> : External temperature, (K)

The cumulative heat transfer coefficient from the greenhouse to the atmosphere, encompassing both the total heat transfer and ventilation heat, is the summation of convection coefficients (Eqs. 3-8).

|                 |     |
|-----------------|-----|
| $K = K_1 + K_2$ | (3) |
|-----------------|-----|

|   |     |
|---|-----|
| $K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_d}}$ | (4) |
|---|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| $K_2 = 0.19 * v$ | (5) |
|------------------|-----|

Where:

K<sub>1</sub> : Total heat transfer coefficient from the greenhouse to the atmosphere, (W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>)

K<sub>2</sub> : Heat convection that meets the ventilation temperature coefficient, (W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>)

α<sub>i</sub> : Heat transfer coefficient inside the greenhouse, (W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>)

$d$  : Thickness of the used cover material, (m)

$\lambda$  : Thermal conduction coefficient of the used cover material, ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ )

$\alpha_d$  : External heat transfer coefficient from the cover surface to the atmosphere, ( $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ )

In Egypt, greenhouses commonly employ pneumatic and tubular heaters. Nonetheless, when considering the initial investment and operational expenses, particularly in the context of higher energy costs and central heating systems, air-type heaters are typically the preferred choice for greenhouse heating.

|  |     |
|--|-----|
| $\alpha_i = \alpha_h + \alpha_{t\ddot{o}}$ | (6) |
|--|-----|

|  |     |
|--|-----|
| $\alpha_{t\ddot{o}} = \frac{Q_{t\ddot{o}}}{A_{t\ddot{o}} * (T_i - T_{\ddot{o}i})}$ | (7) |
|--|-----|

|  |     |
|--|-----|
| $Q_{t\ddot{o}} = C_t * A_t * \left[ \left( \frac{T_t}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\ddot{o}i}}{100} \right)^4 \right]$ | (8) |
|--|-----|

Where:

$\alpha_h$  : Heat transfer coefficient between hot air and greenhouse air, ( $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ )

$\alpha_{t\ddot{o}}$  : Heat transfer coefficient of the heat carried from the soil to the inner surface of the cover, ( $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ )

$Q_{t\ddot{o}}$  : Heat flow radiating from the soil to the inner surface of the cover, (W)

$A_{t\ddot{o}}$  : Greenhouse cover surface area hitting the soil surface, ( $\text{m}^2$ )

$T_{\ddot{o}i}$  : Inner surface temperature of the greenhouse cover, (K)

$C_t$  : Thermal radiation coefficient of the upper surface of the soil, ( $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$ )

$A_t$  : Top surface area of soil, ( $\text{m}^2$ )

$T_t$  : Temperature of the upper soil surface (K)

The inner surface temperature of the greenhouse cover can be determined using the following equation:

|  |     |
|--|-----|
| $T_{\ddot{o}i} = 0.43 * (T_i - T_d) + T_d$ | (9) |
|--|-----|

When calculating the total heat transfer coefficient from the greenhouse to the atmosphere, the convection coefficient for external heat transfer from the cover surface to the atmosphere is determined as follows.

|  |      |
|--|------|
| $\alpha_d = \alpha_{r\ddot{u}} + \alpha_{\ddot{o}t}$ | (10) |
|--|------|

Where:

$\alpha_{r\ddot{u}}$  : External heat transfer coefficient caused by wind, ( $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ )

$\alpha_{\ddot{o}t}$  : Heat transfer coefficient from the cover surface to the atmosphere ( $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ )

The amount of heat gained in the greenhouse environment can be calculated from the following equation:

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| $Q_2 = I_0 * A_{\zeta a} * \eta$ | (11) |
|----------------------------------|------|

Where:

$I_0$  : Average daily solar radiation intensity, ( $W\ m^{-2}\ day$ )

$A_{\zeta a}$  : The surface area of the greenhouse ( $m^2$ )

$\eta$  : The percentage of solar energy coming to the greenhouse that is converted into useful form in the greenhouse (%).

The calculation of heating capacities in greenhouses is performed through a computer program developed using MS Visual Basic 6.0 programming language.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

During cold seasons, maintaining specific internal temperatures within greenhouses is essential for optimal plant growth. Nonetheless, this practice leads to escalated heating expenses attributable to the surge in global energy prices. The heating demands for greenhouses across numerous Egyptian governorates have been calculated, given their extensive utilization for cultivating both winter and summer crops.

Using the developed computer program, the required heating quantity for strawberry and pepper greenhouses in the selected governorates was calculated. The obtained results are presented in Table 5. Through result analysis, it became evident that governorates such as Giza, Gharbia, Nubaria, Sharqia, Ismailia, Menoufia, Damietta, Kafr El-Sheikh, and Suez do not require heating inside the agricultural greenhouses. Instead, they require ventilation, attributed to the high daytime temperatures.

Table 5. The total amount of required heat for strawberry and pepper greenhouses in some regions in Egypt

| <i>Location</i>      | <i>Product</i> | <i>Q<sub>1</sub> (kW)</i> | <i>Q<sub>2</sub> (kW)</i> | <i>Q (kW)</i>                  |
|----------------------|----------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| <b>Dakahlia</b>      | Strawberry     | 69.61                     | 31.9                      | 37.71                          |
|                      | Pepper         | 58.98                     | 31.9                      | 27.08                          |
| <b>Giza</b>          | Strawberry     | 6.41                      | 40.60                     | -34.18<br>Ventilation required |
|                      | Pepper         | 40.87                     | 40.60                     | 0.27                           |
| <b>Gharbia</b>       | Strawberry     | 2.57                      | 36.54                     | -33.96<br>Ventilation required |
|                      | Pepper         | 37.10                     | 36.54                     | 0.56                           |
| <b>Nubariya</b>      | Strawberry     | 26.04                     | 31.90                     | -5.86<br>Ventilation required  |
|                      | Pepper         | 62.99                     | 31.90                     | 31.09                          |
| <b>Sharkia</b>       | Strawberry     | 1.619                     | 38.28                     | -36.66<br>Ventilation required |
|                      | Pepper         | 35.95                     | 38.28                     | -2.33<br>Ventilation required  |
| <b>Ismailia</b>      | Strawberry     | 6.46                      | 38.28                     | -31.83<br>Ventilation required |
|                      | Pepper         | 43.66                     | 38.28                     | 5.38                           |
| <b>Menoufia</b>      | Strawberry     | 1.70                      | 36.54                     | -34.84<br>Ventilation required |
|                      | Pepper         | 36.04                     | 36.54                     | -0.50<br>Ventilation required  |
| <b>Damietta</b>      | Strawberry     | 6.28                      | 31.90                     | -25.62<br>Ventilation required |
|                      | Pepper         | 42.46                     | 31.90                     | 10.56                          |
| <b>Kafr ElSheikh</b> | Strawberry     | 8.44                      | 31.90                     | -23.46<br>Ventilation required |
|                      | Pepper         | 42.79                     | 31.90                     | 10.89                          |
| <b>Suez</b>          | Strawberry     | 7.77                      | 42.34                     | -34.57<br>Ventilation required |
|                      | Pepper         | 41.80                     | 42.34                     | -0.53<br>Ventilation required  |
| <b>Behara</b>        | Strawberry     | 87.43                     | 36.54                     | 50.89                          |
|                      | Pepper         | 77.16                     | 36.54                     | 40.62                          |

Based on the climate data for Dakahlia, where the average temperature during December, January, February, and March was recorded as 16.90 °C (Table 3), it becomes evident that temperatures often drop below the critical threshold of 16°C during these months. Consequently, there arises a necessity to implement heating systems within greenhouses, particularly during daylight hours, in order to maintain conducive growing conditions for crops. As a result, greenhouse growers are inclined to utilize heating systems to ensure optimal growth conditions for their plants. Moreover, the computer program developed has provided illustrative sample calculations, as shown in Figures 2 and 3.

Figure 2 shows a specific case study involving a glass-covered strawberry house covering an area of 1000 m<sup>2</sup> in the Dakahlia region of Egypt, wherein a heating capacity of 37.71 kW was determined. Additionally, the program conducted another computational example focusing on pepper plants with similar specifications, revealing a heating capacity requirement of 27.8 kW for greenhouses in the same region (Fig. 3).



Figure 2. The calculation of the heating capacity required for a 1000 m<sup>2</sup> fiberglass greenhouse for strawberries in the Dakahlia region



Figure 3. The calculation of the heating capacity needed for a pepper greenhouse established in the Dakahlia region

Using identical specifications as the computer program applied for strawberry and pepper plants, the amount of heating required for an agricultural greenhouse covered with fiberglass in Behara

Governorate was 50.89 kilowatts for strawberries and 40.62 kilowatts for pepper plants as shown in Figures 4 and 5 this is attributed to the low temperatures during the daytime.

The main reason why greenhouse cultivation does not develop in these regions is that greenhouse cultivation is no longer a profitable production branch due to high heating costs. In many regions, low winter temperatures pose a significant challenge to agricultural productivity. Therefore, utilizing heating within greenhouses serves as a means to ensure productivity continuity and achieve desired crop yields regardless of external weather fluctuations. Hence, there is a belief that accurately and practically calculating the costs associated with greenhouse heating using this developed program will benefit individuals engaged in this sector.



Figure 4. The calculation of the heating capacity required for a greenhouse for strawberries in the Behara region

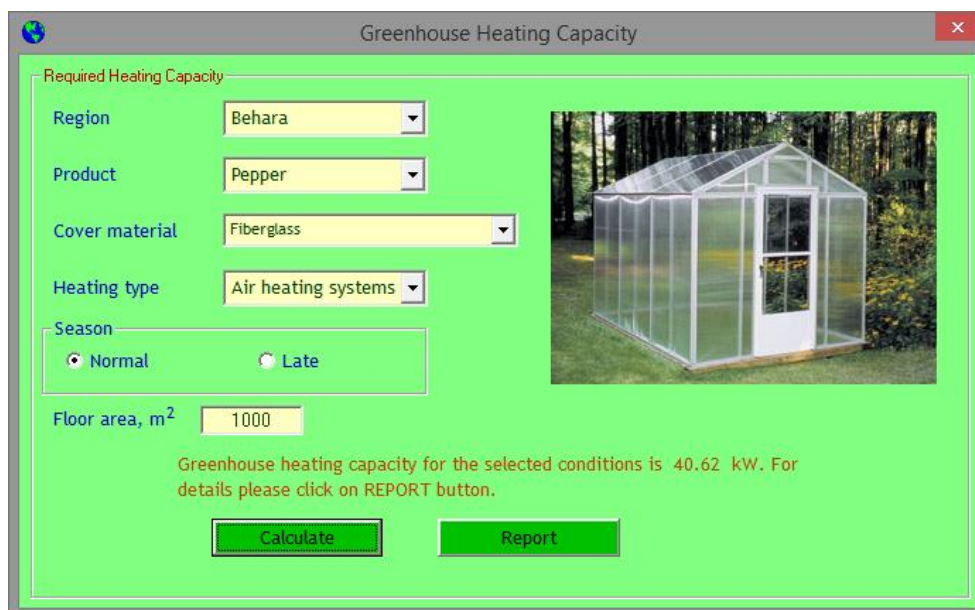


Figure 5. The computation of the heating capacity required for a greenhouse for pepper in the Behara region



#### 4. CONCLUSION

Determining the heat energy requirements is essential for conducting greenhouse feasibility studies, designing heating systems, and strategizing production plans. These requirements vary based on factors such as the type of greenhouse, cultivated plants, greenhouse components, and climatic conditions. Focusing on the location of greenhouse production, the governorates that need the highest values for heating requirements are Dakahlia (37.31 kW for strawberry and 27.8 kW for pepper) and Behara (50.89 kW for strawberry and 40.62 kW for pepper) respectively. Whereas the governorates that do not need heating inside greenhouses are Giza, Gharbia, Nubaria, Sharqia, Ismailia, Menoufia, Damietta, Kafr El-Sheikh, and Suez, due to the high temperatures during the day. The proposed program was found to be effective in calculating the heat requirements for greenhouses in certain regions of Egypt. More specifically, the most important factors affecting annual greenhouse heating requirements are, in order of importance: the average temperature during plant growth, the type of greenhouse covering, and the crop type under cultivation. The expansion of greenhouse cultivation represents a burgeoning segment within the agricultural industry. Minimizing energy consumption in greenhouses is intricately linked to mitigating production expenses and the impact of greenhouse farming on the environment.

#### REFERENCES

- Abdelaty, E. F. (2015). GIS-Mapping aridity and rainfall water deficit of Egypt. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 14(2), 17-40.
- Abdrabbo, M. A. A., Negm, A., Fath, H. E., and Javadi, A. (2019). Greenhouse management and best practice in Egypt. *International Water Technology Journal*, 9(4), 118-201.
- Anonymous, (2009). Greenhouse heating and venting. <http://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/greenhouse/bng01s04.html>, (Accessed: March, 2024).
- Attar, I., and Farhat, A. (2015). Efficiency evaluation of a solar water heating system applied to the greenhouse climate. *Solar Energy*, 119, 212-224. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.06.040>
- Attar, I., Naili, N., Khalifa, N., Hazami, M., and Farhat, A. (2013). Parametric and numerical study of a solar system for heating a greenhouse equipped with a buried exchanger. *Energy Conversion and Management*, 70, 163-173. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.02.017>
- Beyhan, B., Paksoy, H., and Daşgan, Y. (2013). Root zone temperature control with thermal energy storage in phase change materials for soilless greenhouse applications. *Energy Conversion and Management*, 74, 446-453. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.047>
- Castilla, N., and Hernandez, J. (2006). Greenhouse technological packages for high-quality crop production. In *XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: International Symposium on Advances in Environmental Control, Automation 2006* (285-297) <https://doi.org/10.17660/actahortic.2007.761>

- Chai, L., Ma, C., and Ni, J. Q. (2012). Performance evaluation of ground source heat pump system for greenhouse heating in Northern China. *Biosystems Engineering*, 111(1), 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.11.002>
- El Afandi, G., and Abdrabbo, M. (2015). Evaluation of reference evapotranspiration equations under current climate conditions of Egypt. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 3(10), 819-825. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v3i10.819-825.481>
- El-Gayar, Safya, A. M. Negm and M. A. A. Abdrabbo (2019). Greenhouse operation and management in Egypt. *Handbook of Environmental Chemistry: Volume 74*, 2019, Pages 489-560. [https://doi.org/10.1007/698\\_2017\\_230](https://doi.org/10.1007/698_2017_230)
- EP460, A. S. A. E. (2004). Commercial greenhouse design and layout. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=45686>
- Gao, Z. (2012). *Dehumidification of greenhouses in cold regions*. University of Saskatchewan Saskatoon, Department of Chemical and Biological Engineering, Master Thesis. <https://doi.org/10.13031/2013.41322>
- Gorjian, S., Calise, F., Kant, K., Ahamed, M. S., Copertaro, B., Najafi, G., Zhang, X., Aghael, M. and Shamshiri, R. R. (2021). A Review on opportunities for implementation of solar energy technologies in agricultural greenhouses. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124807. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124807>
- Hassanien, R. H. E., Li, M., and Lin, W. D. (2016). Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 989-1001. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.095>
- Hassanien, R. H. E., Li, M., and Tang, Y. (2018). The evacuated tube solar collector assisted heat pump for heating greenhouses. *Energy and Buildings*, 169, 305-318. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.072>
- Heidari, M. D., and Omid, M. (2011). Energy use patterns and econometric models of major greenhouse vegetable productions in Iran. *Energy*, 36(1), 220-225. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.10.048>
- Hossard, L., Philibert, A., Bertrand, M., Colnenne-David, C., Debaeke, P., Munier-Jolain, N., and Makowski, D. (2014). Effects of halving pesticide use on wheat production. *Scientific reports*, 4(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/srep04405>
- Kläring, H. P., Klopotek, Y., Krumbein, A., and Schwarz, D. (2015). The effect of reducing the heating set point on the photosynthesis, growth, yield and fruit quality in greenhouse tomato production. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214, 178-188. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.250>
- Maheswara, R. K., Ananth, D. V. N., Mary, K. A., and Kumar, K. S. (2014). Performance evaluation of characteristics of DC motor based on MPPT solar pv system with battery storage system. *Advances in Electronic and Electric Engineering*, 4(1), 1-16.

- MALR. (2019). Ministry of Agriculture and Land Reclamation (Egypt) n.d.<<http://www.agr-egypt.gov.eg/>>. (Accessed: 20 November 2023).
- Munoz-Liesa, J., Royapoor, M., Cuerva, E., Gassó-Domingo, S., Gabarrell, X., and Josa, A. (2022). Building-integrated greenhouses raise energy co-benefits through active ventilation systems. *Building and Environment*, 208, 108585. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108585>
- Noreldin, T., Ouda, S., and Amer, A. (2016). Agro-climatic zoning in Egypt to improve irrigation water management. *Journal of Water and Land Development*, 31(1), 113-117. <https://doi.org/10.1515/jwld-2016-0041>
- Ponce, P., Molina, A., Cepeda, P., Lugo, E., and MacCleery, B. (2014). *Greenhouse design and control*. Boca Raton, FL, USA: CRC press. <https://doi.org/10.1201/b17391>
- Rabbi, B., Chen, Z. H., and Sethuvenkatraman, S. (2019). Protected cropping in warm climates: A review of humidity control and cooling methods. *Energies*, 12(14), 2737. <https://doi.org/10.3390/en12142737>
- Rizk, M. (1987). Wind characteristics and the available wind energy in Egypt. *Solar & Wind Technology*, 4(4), 491-499. [https://doi.org/10.1016/0741-983x\(87\)90026-9](https://doi.org/10.1016/0741-983x(87)90026-9)
- Sethi, V. P., and Sharma, S. K. (2008). Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Solar Energy*, 82(9), 832-859. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.02.010>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., and Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. <https://openknowledge.fao.org/bitstreams/2ca21047-390f-42cd-bd1d-0c2ebc9c1df2/download>
- Soussi, M., Chaibi, M. T., Buchholz, M., and Saghrouni, Z. (2022). Comprehensive review on climate control and cooling systems in greenhouses under hot and arid conditions. *Agronomy*, 12(3), 626. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030626>
- Tazawa, S. (1999). Effects of various radiant sources on plant growth (Part 1). *Japan Agricultural Research Quarterly*, 33, 163-176.
- Yavuzcan, G. (1995). *İçsel tarım mekanizasyonu*. Ankara Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Yayınları No: 1416. Ders Kitabı No: 409.
- Yıldız, A., Ozgener, O., and Ozgener, L. (2012). Energetic performance analysis of a solar photovoltaic cell (pv) assisted closed loop earth-to-air heat exchanger for solar greenhouse cooling: An experimental study for low energy architecture in Aegean Region. *Renewable energy*, 44, 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.091>
- Zhao, C., Chavan, S., He, X., Zhou, M., Cazzonelli, C. I., Chen, Z. H., and Ghannoum, O. (2021). Smart glass impacts stomatal sensitivity of greenhouse capsicum through altered light. *Journal of Experimental Botany*, 72(8), 3235-3248. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab028>

## Authors' Biography

### Nashwa A. GHALY



Cairo Üniversitesinden mezun oldu. 2023 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı ve halen devam etmektedir. Tarımda enerji uygulamaları, akıllı tarım sistemleri konularında çalışmalar yapmaktadır.

İletişim

[nashwa.saied@agr.cu.edu.eg](mailto:nashwa.saied@agr.cu.edu.eg)

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0009-0001-5002-0494>

### Gürkan Alp Kağan GÜRDİL



1994 yılında Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda 1997 yılında yüksek lisans eğitimini, Çek Tarım Üniversitesi'nde 2002 yılında doktora eğitimini, 2003 yılında Çukurova Üniversitesinde doktora eğitimini tamamladı. 2004 yılında Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesinde Yrd. Doç. Dr. olarak atandı. 2012 yılında aynı üniversite Doçenti, 2021 yılında ise Profesör unvan ve yetkisini aldı. Halen Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Tarımda enerji, Yenilenebilir enerji, İçsel Tarım Mekanizasyonu, Tarımda bilgi teknolojileri konularında çalışmaktadır.

İletişim

[ggurdil@omu.edu.tr](mailto:ggurdil@omu.edu.tr), [ggurdil73@gmail.com](mailto:ggurdil73@gmail.com)

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0001-7764-3977>

### Hüseyin DURAN



1992 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda 2002 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2012 yılında Ankara Üniversitesinde doktora eğitimini tamamladı. 2016 yılında Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesinde Yrd. Doç. Dr. olarak atandı. Halen Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Pestisit uygulama teknikleri ve bitki koruma makinaları konularında çalışmaktadır.

İletişim

[huseyin.duran@omu.edu.tr](mailto:huseyin.duran@omu.edu.tr)

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-2740-8941>

### Bahadır DEMİREL



2004 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda 2008 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2015 yılında aynı üniversitede doktora eğitimini tamamladı. 2017 yılında Erciyes Üniversitesinde Yrd. Doç. Dr. olarak atandı. Halen bu üniversitede Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Tarımda enerji uygulamaları, yenilenebilir enerji, akıllı tarım konularında çalışmaktadır.

İletişim


[bahdem@erciyes.edu.tr](mailto:bahdem@erciyes.edu.tr)

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-2650-1167>

## Tarımsal Akıllı Sulama Sistemlerinde Yapay Zekâ, Derin Öğrenme ve Nesnelerin İnterneti Uygulamaları

### Artificial Intelligence, Deep Learning, and Internet of Things Applications in Agricultural Smart Irrigation Systems

Hasan Şahin<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Harran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye.

\* Corresponding author (Sorumlu Yazar): H. Şahin, e-mail (e-posta): hsahin@harran.edu.tr

#### Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 14.03.2024  
Düzeltilme tarihi : 02.04.2024  
Kabul tarihi : 24.04.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Akıllı Sulama  
Su Temini  
Yapay Zekâ  
Tarım

#### Atf için:

Şahin, H., (2024). "Tarımsal Akıllı Sulama Sistemlerinde Yapay Zekâ, Derin Öğrenme ve Nesnelerin İnterneti Uygulamaları", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(1): 41-60.

#### ÖZET

Tarımsal sulamada su yönetimi, şüphesiz en önemli başlıklardan birisidir. Tarımsal sulama amaçlı su tedarikinin, gündemde olan iklim değişikliği, küresel ısınma ve su krizi gibi hususlar da göz önüne alındığında, ileriki zamanlarda çok daha önemli bir sorun olarak karşımıza çıkacağı tahmin edilmektedir. Bu yüzden, tarımsal sulamada su kullanımının optimizasyonu ile su kaybının en aza indirilmesi gerekmektedir. Son zamanlarda, bu endişelerle, tarımsal sulamada yapay zekâ (AI) yönetimi, derin öğrenme (DL) teknikleri ve nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarından faydalanılmaktadır. Akıllı sulama sistemleri orta ölçekli çiftçiler için de önerilebilmektedir ancak sistemin verimliliği; sulanan tarım alanının büyüklüğü, arazi topoğrafyası, ürün çeşidi, su kaynağı, çevresel faktörler gibi farklı parametrelere bağlıdır. Büyük ölçekli tarım alanları için akıllı sulama sistemlerinin kullanımı, su kaynaklarının azalmasından dolayı daha da zorunlu hale gelmektedir. Büyük ölçekli tarımsal alanların etkili, doğru ve optimum bir şekilde sulanabilmesi için farklı sensörler, uydu görüntüleri, hava tahmin değerleri ve otomatik kontrol elemanlarından oluşan sistemlerin kullanımı önerilmektedir. Ancak, akıllı sulama sistemleri ve diğer yeni tarım teknolojilerinin kullanımı özendirilirken, çiftçilerin de ilgili kurumlar tarafından bilgilendirilerek yanlış teknolojilere yatırım yapmalarının önlenmesi konusu unutulmaması gereken önemli bir husustur. Yeni tarım teknolojilerinde ithalat yerine, yerli üretimin teşvik edilmesi ve kamu kurumlarının koordinasyonu sağlanmalıdır.

#### Article Info

Received date : 14.03.2024  
Revised date : 02.04.2024  
Accepted date : 24.04.2024

#### Keywords:

Smart Irrigation  
Water Supply  
Artificial Intelligence  
Agriculture

#### How to Cite:

Şahin, H., (2024). "Artificial Intelligence, Deep Learning, Internet of Things Applications in Agricultural Smart Irrigation Systems", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 20(1): 41-60.

#### ABSTRACT

Water management in agricultural irrigation is undoubtedly one of the most important topics. Considering the current issues such as climate change, global warming, and the water crisis, water supply for agricultural irrigation purposes is expected to emerge as a much more important problem in the future. Therefore, water loss should be minimized by optimizing water use in agricultural irrigation. Recently, with these concerns, Artificial Intelligence (AI) management, Deep Learning (DL) techniques, and Internet of Things (IoT) applications have been utilized in agricultural irrigation. Smart irrigation systems can also be recommended for medium-scale farmers however the efficiency of the system depends on different parameters, such as the size of the irrigated agricultural area, land topography, product type, water source, and environmental factors. The use of smart irrigation systems for large-scale agricultural areas is becoming more necessary due to the decrease in water resources. To irrigate large agricultural areas effectively, accurately, and optimally, it is recommended to use a system consisting of different sensors, satellite images, weather forecast data, and automatic control systems. However, while promoting the use of smart irrigation systems and other new agricultural technologies, it is important issue that not to overlook the need to inform farmers by relevant institutions to prevent them from investing in the wrong technologies. Instead of importing new agricultural technologies, promoting domestic production and ensuring coordination among public institutions should be facilitated.

## 1. GİRİŞ

Su yönetimi, günümüz uluslararası toplumun en önemli tartışma konularından biridir. Su temini ve geri kazanımı, yaklaşmakta olan küresel su krizi yönetiminin en önemli başlığıdır. Kuraklıklar ve seller, küresel gıda güvenliği açısından yıkıcı sonuçlar doğurarak ekosistemimizi zorlamaktadır. Küresel tatlı su tüketiminin %72'sini oluşturan tarım, tüm sektörlerin içinde bu küresel krizin çözümünde kilit rol oynamaktadır. Tarım için küresel su talebinin, 2050 yılına kadar %35 daha artması beklenmektedir (FAO, 2018; Perez-Blanco vd., 2020). Bu çok yönlü zorlukların üstesinden gelmek için tarıma yönelik su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanımının güvence altına alınması çok önemlidir. Dünya nüfusu arttıkça ve kentleşme hızlandıkça, tamamı suya bağımlı olan farklı ekonomik sektörler arasındaki su temini rekabeti daha da kritik hale gelecektir (Bhatti vd., 2019; UN, 2020). Tarımsal su kullanımı uygulamalarında, aşırı, gereksiz, hatta zararlı su tüketimini azaltmak için yeni sulama teknolojilerinin kullanımı kaçınılmazdır.

Tatlı su kıtlığı, özellikle Akdeniz ülkeleri veya Hindistan gibi Güney Asya ülkelerinde artan bir endişe kaynağıdır. Avrupa ülkeleri arasında Akdeniz ülkeleri kuraklıktan en fazla etkilenen ülkeler olarak kabul edilmektedir. İklim politikaları ile su yönetimi birbirinden bağımsız konular değildir. Su yönetimi, farklı sektörlerden gelen su talebi veya belirli derecelerdeki ısınmanın hidrolojik kaynaklar üzerindeki sonuçları gibi farklı değişkenlerden etkilenebilmektedir (Muthuminal ve Priya, 2023). Küresel ısınmanın olası sonuçları, gıda üretimi ve insanlar için suyun kullanılabilirliğini sağlamak ve ekosistemleri korumak için su adaptasyon önlemlerinin yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır (Phasinam vd., 2022).

Tarımsal sulama sistemlerinden; damla, yağmurlama, pivot ve akıllı sulama sistemleri sıralaması aynı zamanda sulama teknolojilerinin bir kronolojisidir. Tekrarlanan tarımsal aktivitelerin otomasyonunun geleneksel işçi veya makine yaklaşımından daha verimli ve etkili olduğunu bilinmektedir (Şahin, 2022). Özellikle, hali hazırda kullanılmakta olan akıllı sulama sistemleri, yapay zekâ ve nesnelerin interneti uygulamalarıyla adeta bir iş birliğine giderek çok şaşırtıcı ve hızlı bir şekilde kullanım alanı bulmaya devam etmektedir.

Akıllı sulama sistemleri; bitkiye doğru zamanda yeterli miktarda su verilmesi için geliştirilmiş akıllı vana, sensör kontrolü ile arazi ve bitki durumu ölçümlerini karşılaştırarak sulama çözümü sunan sistemlerdir. Etkili dağıtım, koruma ve su kalitesi standartlarını sürdürmek için akıllı su yönetimi uygulamasına ciddi bir ihtiyaç vardır (AlZu'bi vd., 2019; Hachimi vd., 2023). Son zamanlarda, atık su geri dönüşümünde, su dağıtımında, yağmur suyu hasadı ve tarımsal sulamada yapay zeka (AI) yönetimi modelleri uygulanmaktadır. Bu uygulamalar, akıllı su yönetimi sistemlerinin gelecekte nasıl yaygınlaşacağını işaretlerini vermektedir (Bouali vd., 2022; Jain, 2023; Jiménez vd., 2022; Khriji vd., 2021; Ndunagu vd., 2022).

Tarımsal sulamanın tarihsel özetine bakıldığında, "akıllı sulama sistemi" temellerinin aslında 70'li yıllara dayandığı görülmektedir. Akıllı izleme sistemlerinin uygulamaya konulmasını takiben, 1970'ten 1980'li yılların sonuna kadar, sulamada "su kısıtlamaları" ile ilgili çok sayıda araştırma yapıldığı görülmektedir. Nüfusla birlikte su talebinin de artmaya başladığı 1970'lerden itibaren artan talep, doğal kaynakların tükenme tehlikesini gündeme getirerek, tarımsal sulama senaryolarının iyileştirilmesini zorunlu hale getirmiştir (Murgabayev vd., 2022; Ugli, 2022).

Dünyanın en kalabalık nüfusunu barındıran Çin'de sulu tarım, ülkenin toplam su kaynaklarının %60'ına yakını tüketmektedir. Bununla birlikte, nüfus artışı, hızlı sanayileşme ve iklim değişikliğinin olumsuz etkileri, sorunu daha da ağırlaştırmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı, Çin son birkaç yılda su tasarrufuna yönelik ulusal yatırımları önemli ölçüde artırarak, çiftçileri ve yerel su yöneticilerini su tasarrufu konusunda teşvik ederek su tasarrufu yapmaya çalışmaktadır (Zeng vd., 2023).

Teknolojik yeniliklerin artmasıyla tarımsal üretimde daha yüksek verim elde etmek mümkün hale gelmiştir. Benzer şekilde, tarımsal alanların durumunu kontrol etmek ve izlemek için nesnelerin interneti çok başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Tarımsal sulamada dağıtılan suyu kontrol etmek için akıllı telefon aracılığıyla kontrol edilebilen akıllı sulama sistemi ile ilgili çalışmalarda yüksek başarılar elde edilmektedir. Olatunji vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, sulama süreci akıllı telefon, bilgisayar programlama ve mikro hesaplamayla otomatikleştirilerek yapılmıştır. Bu araştırma; mikro bilgisayar, internet sürücüsü, su boruları, denetleyiciler ve sensörler kullanılarak gerçekleştirilmiş olup kullanıcı arayüz tasarımında Virtuino ile C++ programlama dili kullanılmıştır. Sistem test edilmiş ve %95,5 verim elde edilmiştir. Benzer çalışmalarda da yüksek verim değerleri elde edilmiştir (Abdelmoamen Ahmed vd., 2021; Lakshmiprabha ve Govindaraju, 2023; Sasi Kumar vd., 2023).

İnternetin kamuya açık hale geldiği 1989'dan sonra, internete ve web tabanlı veri depolamaya dayalı kontrol sistemlerinin gelişimi, nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarına zemin hazırlamıştır. Tarımsal üretimde kullanılmak üzere kablosuz sensör ağı (Wireless Sensor Network-WSN) uygulaması için geliştirilen aktüatörler ve sensörlerin kullanımı da hızla yaygınlaşmaktadır. Tarımsal sulama, gübreleme, zararlı yönetimi, yabancı ot kontrolü ve hastalık tespiti gibi ihtiyaçlar da araştırmacıları teşvik ederek, tarımda ileri teknoloji kullanımının yolunu açmıştır. Bu nedenle günümüzde tarımsal üretimde artık sadece büyük değil, küçük ve orta ölçekli tarım işletmelerinde de makine öğrenmesi (ML), yapay zekâ (AI), insansız hava araçları (İHA) ve nesnelerin interneti (IoT) gibi ileri teknoloji uygulamaları sıkça görülmektedir (Abernethy, 2010; Aubriot, 2022; Bouali vd., 2022; Fathy ve Ali, 2023; Jain, 2023; Jiménez vd., 2022; Khashiboun vd., 2007; Khrijji vd., 2021; Ndunagu vd., 2022; Otavio vd., 2016; Sharma vd., 2018; Stolojescu-Crisan vd., 2022).

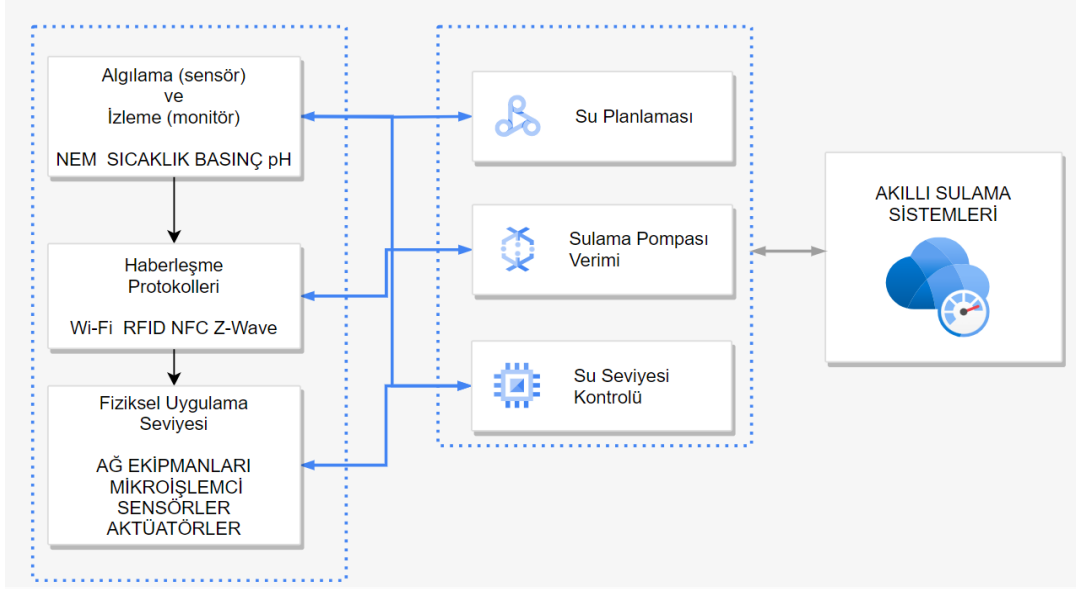
Küresel ısınmanın olası sonuçları, gıda üretimi ve insanlar için suyun kullanılabilirliğini sağlamak ve ekosistemleri korumak için su adaptasyon önlemlerinin yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır (Bojago ve Abrham, 2023; Phasinam vd., 2022). İklim değişikliğinin olası riskleri arasında; su kıtlığının artması, su kalitesinin düşmesi, su ve toprak tuzluluğunun artması, biyolojik çeşitlilik kaybı, sulama gereksinimlerinin artması, acil durum ve iyileştirme eylemlerinin olası maliyetleri de yer almaktadır (Ahansal vd., 2022; Alves vd., 2023; Bhardwaj vd., 2022; Bjornlund vd., 2020; Khachatryan vd., 2020).

## **2. AKILLI SULAMA SİSTEMLERİNİN TEMEL ELEMANLARI**

Akıllı sulama sistemleri, genellikle tarım ve peyzaj uygulamalarında su kullanımını optimize etmek için kullanılan ileri teknolojik sistemlerdir. Temel bir akıllı sulama sistemi; sensörler, kontrolörler, iletişim sistemleri, vanalar ve yağmurlama sistemleri, hava durumu istasyonları ve veri analitiği yazılımından meydana gelmektedir (Şekil 1). Bu bileşenler, su kullanımını optimize etmek, kaynakları korumak, tarım ve peyzaj uygulamalarında sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak amacıyla birlikte kullanılmaktadır. Akıllı su teknolojisinde sulama sistemine entegre edilen akıllı su vanaları,

oransal sulamaya imkân sağlayarak, su tüketiminin uzaktan kontrol edilmesine de olanak tanımaktadır.

Sistemde kullanılan akıllı su vanası; bir vana kontrolörü, bir akış ölçer, kablosuz bağlantı ve bir güç kaynağı içermektedir. Akıllı vana, sulama hatlarındaki su akışını ölçen akış ölçerlerden veri almaktadır. Daha sonra bu bilgiyi kablosuz bağlantı aracılığıyla bulut tarafından yönetilen bir yazılım platformuna göndermektedir. Buradan su kullanım verilerine akıllı telefonda veya bilgisayar erişilerek ayarlamalar yapılmaktadır.



Şekil 1. Akıllı sulama sistemlerinin temel bileşenleri

Akıllı sulama sistemleri şu temel elemanlardan meydana gelmektedir;

## 2.1. Sensörler

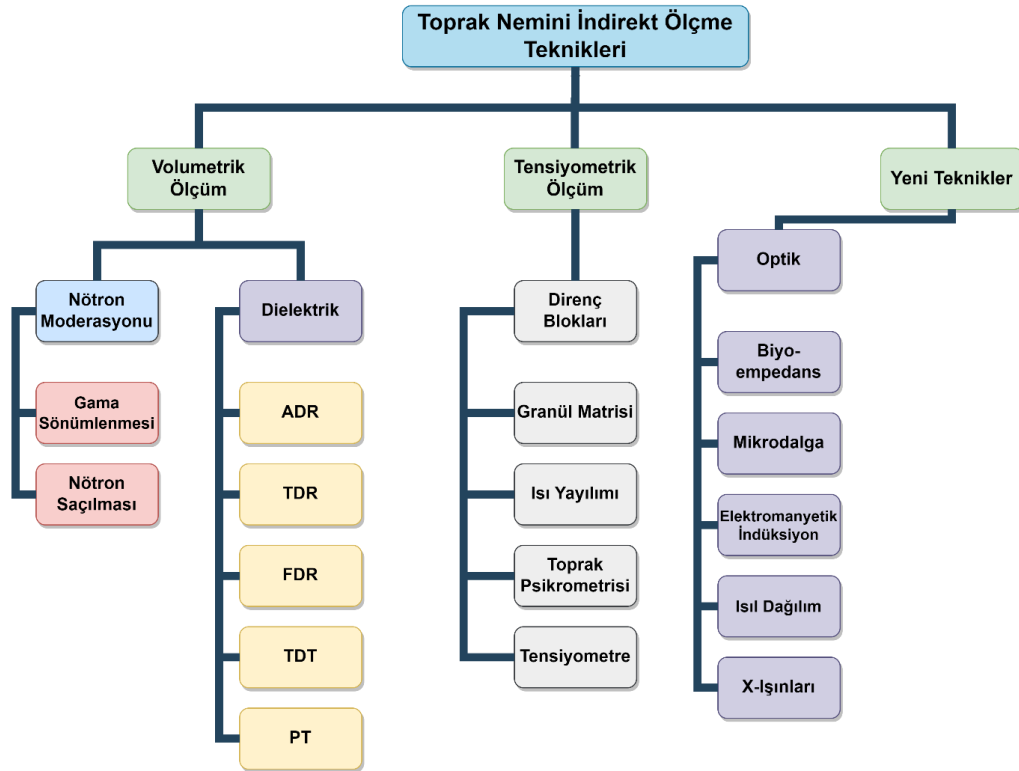
Sensörler, toprak nemi, sıcaklık, nem ve yağış gibi çevresel koşullara ilişkin verileri toplayarak akıllı sulama sisteminde su kullanımının planlanmasını sağlamaktadır. Bu sensörler, gerçek zamanlı bilgi sağlamak, hassas sulama planlamasına olanak tanımak ve aşırı sulamayı veya su altında kalmayı önlemek için tarlada veya bahçede uygun lokasyonlara yerleştirilmektedir. Özellikle toprak nemi ölçümünde son dönemlerde farklı teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. Suyun toprakta geçici olarak depolanması, toprak nemi olarak ifade edilmektedir. Su stresinin tespit edilmesi ve sulamanın yönetilmesi açısından toprak nemi kritik öneme sahiptir. Toprak nemi verileri aynı zamanda kuraklık gibi doğal afetleri tahmin etmek için de kullanılmaktadır. Toprak nemi ölçümünde daha çok indirekt yöntemler tercih edilmektedir (Şekil 2). Bu yöntemler volümetrik teknikler olarak da bilinen tekniklerdir. Bu yöntemlerde, toprak profilindeki bazı değişkenleri ölçerek dolaylı olarak toprak nem içeriği belirlenmekte olup gerçek zamanlı sulama yönetimi kararları için daha doğru sonuçlar elde edilmektedir. Toprak neminin mekânsal ve zamansal değişimi, iklim, topografya, toprak özellikleri, bitki örtüsü ve arazi kullanımı gibi beş önemli faktörden etkilenmektedir. Örneğin, güneş radyasyonu ve sıcaklık faktörleri toprak nemi üzerinde dolaylı bir etkiye neden olurken, buharlaşma, terleme ve yağış ise doğrudan bir etkiye sahiptir (Haziq vd., 2022; Rasheed vd., 2022; Singh vd., 2019; Srivastava vd., 2016; Susha Lekshmi vd., 2014; Walker vd., 2004). Toprak nemi sensörleri mevcut bir sulama sistemine de entegre edilebilmektedir. Sensör, planlanmış bir sulama eyleminden önce kök bölgesindeki toprak nemini ölçmekte ve toprak nemi belirli bir eşiğin



üzerindeyse döngüyü atlamaktadır. Uygulamalarda farklı tipte toprak nemi sensörleri mevcut olsa da seçilen sensörün sisteme uyumlu olması gerekmektedir. Bazı toprak nemi sensörleri ise hava sıcaklığının sıfırın altına düşmesi durumunda sulama döngüsünü kesebilecek bir toprak donma sensörünü de içermektedir.

Toprak nemi sensörleri, kablolu veya kablosuz sistemler olarak kullanılmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda, toprak nemi sensör sistemlerinin nispeten yağışlı veya normal hava koşullarında sulama suyu tasarrufu sağladığı ifade edilmiştir (Cardenas-Lailhacar vd., 2008, 2010). Bu tip akıllı sulama sistemi konfigürasyonlarında genellikle bir zaman-yağmur sensörü veya sensörsüz tabanlı sulama programı kullanılmaktadır (Krishnan vd., 2020).

Akıllı sulama uygulamalarında en yaygın kullanılan sensörler dielektrik sensörlerdir. Dielektrik sensörler toprağın dielektrik sabitini belirleyerek çalışmaktadır. İletken olmayan bir malzemenin elektromanyetik dalgaları veya pulsları (darbe) iletme yeteneğini ölçmektedir. Kuru toprağın dielektrik sabiti suyunkinden daha düşük olduğundan, toprak miktarındaki küçük değişiklikler bile toprak suyunun elektromanyetik özelliklerini büyük ölçüde etkileyebilmektedir. Çevredeki ortamda dielektrik sensörler tarafından alternatif bir elektrik alanı oluşturan dielektrik sensörler, çıkış sinyaline bağlı olarak sınıflandırılmaktadır (Arias vd., 2023; Kaur vd., 2007; Raffelli vd., 2017; Wu vd., 2022).



Şekil 2. Toprak nemini indirekt ölçme teknikleri

Toprak nemini indirekt ölçme yöntemlerinden en yaygın olanları şöyledir;

*Nötron Saçılma Yöntemi:*

Nötron saçılması tekniğinde, hızlı nötronları (ortalama enerji 5 MeV, mega elektron volt) toprağa saçan radyoaktif bir kaynak kullanılmaktadır. Bu hızlı nötronlar toprak su molekülündeki hidrojen çekirdeklerinin çarpışmasıyla yavaşlamaktadırlar. Bu sensörlerde, 1-2 dakikalık tepki süresiyle çeşitli derinliklerde ve hacimlerde toprak nemi ölçülmesinde en doğru sonuçlar elde

edilmektedir. Ancak, bu yöntemin toprak yüzeyine yakın derinliklerde ( $\leq 0,3$  m) duyarsızlık, yüksek kurulum maliyeti, taşıma zorluğu, radyasyon riski ve dış etkenlere maruz kalma gibi önemli dezavantajları bulunmaktadır.

#### *Zaman Alanı Reflektometri (TDR) Sensörü:*

TDR sensörü, iletilen sinyalin bir uçtan diğerine gitmesi için gereken süreyi ölçmektedir. TDR, yüksek zamansal çözünürlüğü, başarı hızı, tekrarlanabilir tahmin yeteneği ve toprak dokusundan, tuz konsantrasyonundan ve sıcaklıktan bağımsız olması nedeniyle uzun vadeli yerinde ölçümler ve otomasyon için kullanışlıdır. TDR yöntemi, toprak dokusundan, tuz içeriğinden ve sıcaklıktan bağımsız olduğundan toprak kalibrasyonuna gerek duyulmamaktadır. TDR, gama ve nötron sondaları gibi radyasyon yayan kaynaklar olmadan, tahribatsız, yerinde izleme sağlamaktadır. Ancak cihazların ilk kurulum maliyetinin daha yüksek olmasının yanı sıra aşırı tuzlu toprakta yansımayı kaybedip toprak kütlesi ıslakken iletkenliği artırarak hatalara yol açabilmektedir.

#### *Kapasitans sensörü ve Frekans Alanı Reflektometrisi (FDR):*

Kapasitans sensörü ve FDR, bir ortamın dielektrik sabitini, o ortamdaki bir kapasitörün aldığı şarj süresini belirleyerek tahmin sağlamaktadır. Yöntemin sonucu toprak özelliklerine göre değiştiğinden, uygulama sırasında sık sık kalibrasyon yapılması gerekmektedir. İlk kurulumun maliyeti TDR'den nispeten daha düşük olup, bu yöntem frekans alanı analizi, toprağın nem içeriğini tahmin etmede zaman alanı reflektometri yöntemlerine göre daha fazla umut vaat etmektedir.

#### *Direnç Sensörü:*

Direnç sensörü, toprak nem içeriği ile toprak özdirenci arasındaki ters bağıntı prensibini kullanarak çalışmaktadır. Toprak nem içeriğindeki artışlar toprak özdirencinde bir azalmaya neden olmaktadır. Toprak direnci topraktaki elektrotlar arasındaki direnç veya malzemenin dengedeki direnci kullanılarak her iki şekilde de ölçülebilmektedir. Dirençli sensörler tüm sensörler arasında maliyeti en düşük sensörler olmasına karşın, güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği daha düşük olan sensörlerdir. Bu ölçüm tekniği bireysel kalibrasyon gerektirmekte ve tuzlu toprak ölçümlerinde başarısız sonuçlara neden olmaktadır.

#### *Gama Zayıflaması Yöntemi:*

Diğer bir ölçüm tekniği olan gama ışını zayıflaması, radyo sinyallerine dayanmaktadır. Bu teknik, saha ve laboratuvar araştırmalarında toprak su içeriğini 25 mm veya daha az toprak derinliğine kadar yüksek çözünürlükle ölçme yeteneğine sahiptir. Ayrıca tahribatsız yapısı, aynı sahadaki fiziksel toprak parametrelerinin çeşitli dönemlerde tekrar tekrar değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu teknik, toprak kütle yoğunluğu değişikliklerine ve yüzey toprak nemine (SSM-Surface Soil Moisture) duyarlıdır.

## **2.2.Kontrolörler (Denetleyiciler)**

Denetleyiciler, akıllı bir sulama sisteminin beyni görevini yürütmektedir. Akıllı sulama sistemleri, su kullanımını optimize etmek için genellikle sensörler, kontrolörler (denetleyiciler) ve iletişim teknolojilerinden oluşan çeşitli cihazlar kullanmaktadır. Kontrolörler (denetleyiciler), sensörlerden ve diğer kaynaklardan gelen verilere göre sulama sisteminde gerekli ayarlamalar yaparak sistemi yöneten elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Piyasada her biri belirli uygulamalar için tasarlanmış çeşitli mikro denetleyiciler bulunmaktadır. Yaygın mikro denetleyici türleri ve kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir.

**32-bit Mikro denetleyiciler:** Bu mikro denetleyiciler 16-bit olanlardan daha güçlü olup, endüstriyel kontrol, otomotiv ve tıbbi ekipman gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

**ARM Mikro denetleyiciler:** ARM, mikro denetleyicilerde kullanılan popüler bir mimaridir. Cep telefonu, tablet ve gömülü sistemler dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.

**AVR Mikro denetleyicileri:** AVR mikro denetleyicileri tüketici elektroniği, otomotiv sistemleri ve tıbbi cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

**Raspberry Pi Mikro denetleyicileri:** Raspberry Pi, robotik, ev otomasyonu ve IoT cihazlarını içeren birçok uygulamada kullanılan popüler bir mikro denetleyicidir.

**Arduino Mikro denetleyicileri:** Hobi elektroniği meraklılarının ev otomasyonu ve robotik gibi çeşitli projeler için kullandığı popüler bir mikro denetleyici grubudur.

### **2.3. İletişim Sistemleri**

İletişim sistemleri, sensörler, kontrolörler ve akıllı sulama sisteminin diğer bileşenleri arasında veri alışverişini sağlamaktadır. Bu işlem kesintisiz bilgi aktarımına imkân veren kablolu veya kablosuz ağlar vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. İletişim sistemleri ayrıca uzaktan izleme ve kontrolü (mobil, akıllı telefon, PC ile) kolaylaştırarak, kullanıcıların sulama sistemine her yerden erişmesine ve yönetmesine olanak tanımaktadır.

### **2.4. Vanalar ve Yağmurlama Elemanları**

Vanalar ve yağmurlama sistemi elemanları, tarım ürünlerine su dağıtmaktan sorumludur. Akıllı bir sulama sisteminde bu bileşenler; akış kontrolü, basınç regülasyonu, bölge kontrolü gibi gelişmiş özelliklerle donatılmıştır. Bu elemanlar, su dağıtımını hassas bir şekilde yaparak, su israfını en aza indirmekte ve her bitkinin yeterli miktarda su almasını sağlamaktadır.

### **2.5. Meteoroloji Hava Tahmin İstasyonları**

Sıcaklık, nem, rüzgar hızı ve güneş radyasyonunu gibi meteorolojik verileri toplamak için meteoroloji istasyonları akıllı sulama sistemlerine entegre edilmektedir. Sistem, hava durumu bilgileri ile doğal yağış, buharlaşma ve terleme oranlarını da dikkate alarak sulama programlarını ayarlamaktadır. Bu veriler, gereksiz sulamanın önlenmesine ve su kaynaklarının korunmasına yardımcı olmaktadır.

### **2.6. Veri Analizi ve Yazılım**

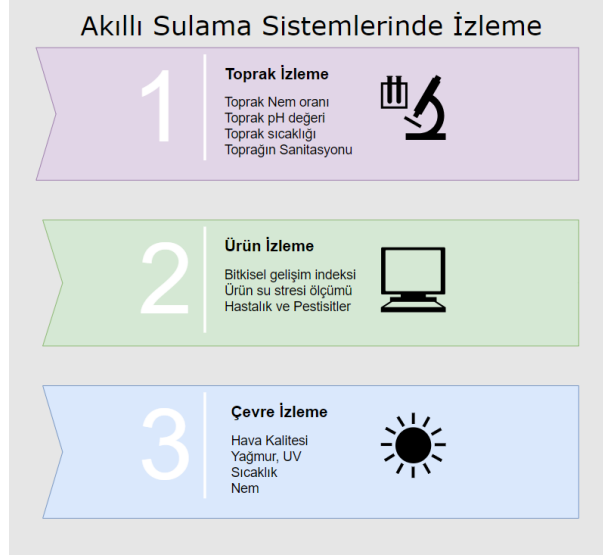
Veri analizi ve yazılım, toplanan verileri işleyip yorumlayan akıllı bir sulama sisteminin temel bileşenleridir. Gelişmiş algoritmalar ve yazılım uygulamaları, öneriler oluşturmak için sensör verilerini, hava durumu bilgilerini ve diğer ilgili faktörleri analiz etmektedir. Bu analizler ve yazılım, kullanıcıların sulama yönetimi konusunda daha doğru kararlar almasına imkân vererek, verimli su kullanımı ve sürdürülebilirliği desteklemektedir.

Genellikle, halihazırda kullanılmakta olan bir sulama sisteminin akıllı sulama sistemine dönüştürülmesi tavsiye edilmemektedir. Bunun yerine; toprak nemi, yağmur, rüzgar veya don sensörü gibi sensörlerle desteklenen yeni bir akıllı sulama sistemi tercih edilmelidir. Bazı üreticiler tek bir aparat kullanarak birden fazla çevresel unsuru ölçebilen sensörlerle donatılmış paket cihazlarda üretmektedir.

Su kullanım verimliliğini artırmak için bitki gelişimini ve büyümesini etkileyen belirli faktörlerin takip edilmesi gerekmektedir. Akıllı sulama sistemlerinde izleme; toprak izleme (nem, sıcaklık, pH,

ve sanitasyon), ürün izleme (bitkisel gelişim indeksi, su stresi, hastalık ve pestisitler) ve çevre (nem, sıcaklık, UV) izleme olmak üzere üç alanda yapılmaktadır (Şekil 3).

Akıllı sulamanın bağlamsal izlenmesi, en son iletişim teknolojileri aracılığıyla toprak durumu, bitki sağlığı ve ekilen bölgedeki iklim değişkenleri hakkında gerçek verilerin toplanmasını gerektirmektedir (Abioye vd., 2020).



Şekil 3. Akıllı sulama sistemlerinde izleme teknikleri

### 3. AKILLI SULAMA SİSTEMLERİNDE DERİN ÖĞRENME VE MAKİNE ÖĞRENMESİ

Makine öğrenmesi (Machine Learning-ML) bilgiyi bilgisayarlara kodlamak yerine, örneklerden ve gözlemlerden anlamlı ilişkileri ve kalıpları otomatik olarak öğrenmeyi amaçlamaktadır. Bu alandaki ilerlemeler, iş ve kişisel yaşama nüfuz eden ve elektronik pazarlardaki ağ bağlantılı etkileşimleri şekillendiren, insan benzeri bilişsel kapasiteye sahip akıllı sistemlerin son zamanlarda yükselişine de imkân vermiştir (Şekil 4). Hatta büyük şirketler üretkenlik, katılım ve çalışanlara yönelik karar alma süreçlerinde de bu teknolojilerden faydalanmaktadır (Fischer vd., 2020; Shrestha vd., 2021).



Şekil 4. Makine öğrenmesi kavramları ve sınıfları Venn şeması (Goodfellow, 2016)

Derin öğrenme (DL) ve makine öğrenmesine (ML) dayalı sistemler genellikle yapay zekâ (AI) olarak adlandırılan gelişmiş problem çözme kapasitesi, tahminler, kurallar, cevaplar, öneriler veya benzer sonuçlar üretebilen analitik modeller üzerine inşa edilmektedir. Yeni programlama çerçevelerinin uygulanabilirliği, veri kullanılabilirliği ve gerekli bilgi işlem gücüne geniş erişim ile desteklenen analitik modeller, günümüzde genel olarak makine öğrenmesi diye adlandırılan teknikle oluşturulmaktadır (Ransbotham vd., 2017; Ruiz-Real vd., 2021; Wang vd., 2022).

Makine öğrenmesi aslında, problem çözmek için programlanmaya ihtiyaç duymadan, algoritmalar kullanan bir yapay zekâ biçimidir. Bu yaklaşım genellikle geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve daha etkilidir. Makine öğrenmesinin en yararlı olduğu alanlardan biri de toprak nemi ölçümü ve dolayısıyla akıllı sulama sistemleridir. Makine öğrenmesi, toprağın nem içeriğini doğru bir şekilde tahmin edebilen ve daha sonra sulama veya başka amaçlar için kullanılacak yeni algoritmalar geliştirme yeteneğine sahiptir (Abdulla ve Marhoon, 2023; Ahmad vd., 2010; Sami vd., 2022). Uzaktan algılanan verileri kullanarak toprak nemini tahmin etmek için makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri birçok araştırmada başarıyla uygulanmıştır (Wang vd., 2022; Abdulla ve Marhoon, 2023; Kurtulmuş vd., 2022; Yonbawi vd., 2023). Derin öğrenme (DL) ve makine öğrenmesi (ML), hava, toprak ve ürün parametreleriyle birleştirilmiş farklı bitki örtüsü indeksleri ve spektral bant yaklaşımını kullanarak toprak yüzey nemini (SSM-Surface Soil Moisture) tahmin etmeye çalışmaktadır. Son yıllarda yapay sinir ağları (ANN-Artificial Neural Networks) ve evrişimli sinir ağları (CNN- Convolutional Neural Networks) gibi makine öğrenmesi algoritmaları bu amaçla başarıyla kullanılmaktadır (Chen vd., 2020; Mateo-Sanchis vd., 2021; Vij vd., 2020). Bu teknik, hava koşullarından etkilenmeden uzun süreler boyunca yüksek performanslı toprak nemi sensörleri geliştirmek için de uygulanmaktadır. Bu da çiftçilerin kurak bölgelerde değerli bir kaynak olan sulama suyundan tasarruf etmelerine yardımcı olmaktadır (Wang vd., 2022; Li vd., 2022; Xie vd., 2021).

Tarımsal sulamada su israfı önlemenin en önemli yolu, sulama sürecinde su kaybının en aza indirilmesidir. Geleneksel sulama yöntemlerinde, büyük miktarda su kullanımına ihtiyaç duyduğundan, makine öğrenmesi (ML) ve nesnelerin interneti (IoT) gibi son teknolojilerin yardımıyla tasarlanan “akıllı tarımsal sulama sistemleri” ile daha az su kullanımı mümkün hale gelmektedir. Yapılan çalışmalarda, IoT destekli, derin öğrenme özellikli akıllı sulama sistemi (IoTDL-SIS) tekniği denemelerinde başarılar elde edilmiştir (Abdulla ve Marhoon, 2023; Hadidi vd., 2022; Jain, 2023; Kavyashree T ve Shreedhara KS, 2021; Khriji vd., 2021; Stolojescu-Crisan vd., 2022). IoTDL-SIS tekniğinde asıl amaç, daha az insan müdahalesi ile etkili ve gerektiği kadar su kullanımını sağlamaktır. IoTDL-SIS tekniğinde, veri toplama amacıyla toprak nemi, sıcaklık, hava sıcaklığı ve nemi gibi farklı sensörler kullanılmaktadır. Sensör verileri Arduino modülüne iletilmekte ve bu modül de daha sonra sensör verilerini sonraki işlemler için bulut sunucusuna iletmektedir. Bulut sunucusu, veri analizi sürecini regresyon, kümeleme ve ikili sınıflandırma olmak üzere üç farklı işlemi kullanarak gerçekleştirmektedir. Atmosferik basınç, yağış, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı gibi toprak ve çevresel parametrelerin önceden tahmin edilmesi için Derin Destek Vektör Makinesi (DSVM-Deep Support Vector Machine) tabanlı regresyondan yararlanılmaktadır (Suresh vd., 2022).

#### **4. TARIMSAL AKILLI SULAMA SİSTEMLERİNİN ZORLUKLARI VE DEZAVANTAJLARI**

Tarımsal akıllı sulama sistemlerinin de diğer yüksek teknolojik ve elektronik sistemler gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajların bir kısmı sistemden kaynaklanmakta ise de büyük

bir kısmı da; kullanıcı (çiftçi), tarla büyüklüğü, arazi topoğrafyası, ürün çeşidi, su kaynağı, çevresel faktörler gibi parametrelere bağlıdır.

- **Başlangıç Maliyeti:** Akıllı sulama sistemlerinin temel zorluklarından biri ilk yatırım maliyetidir. Bu sistemler genellikle sensörler, kontrolörler, yazılımlar, motor ve sulama ekipmanından oluşmaktadır. Tüm bu elemanların maliyeti ilk yatırım için yüksek olabilmektedir. Bu maliyet, akıllı sulama teknolojisini benimsemek isteyen küçük ve orta ölçekli çiftçiler için bir engel teşkil edebilmektedir (Gbodji vd., 2023; Serote vd., 2021; Zhang ve Khachatryan, 2019).
- **Sistemin Karmaşıklığı:** Akıllı sulama sistemlerinin kurulumu, bakımı ve onarımı her bireyin kendi kendine yapamayacağı kadar karmaşık olabilmektedir. Bakım ve onarım gibi işler ancak yetkili uzmanlar tarafından yapılmakta ve bu da maliyetli olabilmektedir. Sensör yerleştirme, kontrolörleri programlama ve yazılım arayüzünü anlama gibi konular, bilgi sahibi olmayı gerektirmektedir. Çiftçiler veya teknik uzmanlığı olmayan kullanıcılar, akıllı sulama sistemlerini kurmakta ve sorunlarını gidermekte zorlanabilmektedir (Serote vd., 2021).
- **Teknolojiye Bağımlılık:** Akıllı sulama sistemleri büyük ölçüde sensörler, kontrolörler ve yazılım gibi ileri teknolojik elemanlardan meydana gelmektedir. Sistemdeki herhangi bir arıza veya aksaklık, sistem arızalarına veya su dağıtımında büyük hatalara yol açabilmektedir. Ayrıca, enerji kesintileri veya bağlantı sorunları akıllı sulama sistemlerinin işlevselliğini olumsuz etkileyecektir (Suh vd., 2017).
- **Veri Doğruluğu ve Yorumlanması:** Akıllı sulama sistemleri, toprağın nem seviyesini, hava durumunu ve bitkinin su gereksinimini belirlemek için sensörler vasıtasıyla veri toplamaktadır. Ancak bu verilerin doğruluğu sensör kalibrasyonu, çevre koşulları ve toprak değişkenliği gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilmektedir. Verilerin yorumlanması ve sulama programlarının buna göre ayarlanması, sürekli izleme ve ayarlama gerekliliği gibi zorluklar barındırmaktadır (Bhardwaj vd., 2022; Vallejo-Gómez vd., 2023).
- **Bakım ve Onarım Gereksinimleri:** Her teknolojik sistem gibi akıllı sulama sistemleri de düzgün çalışabilmesi için düzenli bakım gerektirmektedir. Bunlar, sensörlerin kalibrasyonu, yazılım güncellenmesi, akü/pil değiştirilmesi ve arızalı bileşenlerin onarılması veya değiştirilmesi gibi iş ve işlemlerdir. Sistemin bakımının zamanında yapılmaması verimin düşmesine ve gereksiz su tüketimine yol açabilmektedir.
- **Uyumluluk ve Entegrasyon:** Akıllı sulama sistemlerini mevcut sulama altyapısına veya tarımsal uygulamalara entegre etmek çok kolay olmamaktadır. Farklı bileşenler veya yazılım platformları arasında uyum sorunları ortaya çıkabilmekte ve çözülmesi için ek zaman ve maliyet gerekebilmektedir.
- **Veri Gizliliği ve Güvenliği:** Bilindiği gibi, akıllı sulama sistemleri, su kullanımı, mahsul verimi ve hava koşulları hakkında bilgiler de dahil olmak üzere çok sayıda hassas veriyi toplamakta ve saklamaktadır. Veri gizliliğinin ve güvenliğinin sağlanması, bu bilgilere yetkisiz kişilerin erişiminin engellenmesi için önlem almak gerekmektedir (Ilyas vd., 2022; Khachatryan vd., 2019; Masseroni vd., 2020; Muthuminal ve Priya, 2023).

Bunlara ek olarak, tarımsal akıllı sulama sistemlerinin tasarımı, işlevselliği ve kullanılabilirliği geliştirmek için sürekli araştırma, geliştirme ve eğitime ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, politika

yapıcıların ve paydaşların zorlukları aşmak ve sürdürülebilir sulama uygulamalarını teşvik etmek için iş birliği yapması gerekmektedir.

## **5. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Ortalama bir çiftçi için akıllı bir sulama sisteminin tavsiye edilip edilemeyeceği, çiftçinin ihtiyaçları, kaynakları ve tarımsal faaliyetlerin özel koşulları dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır. Tarımsal amaçlı bir akıllı sulama sisteminin bir çiftçiye veya çiftliğe uygun olup olmadığının belirlenmesinde göz önüne alınması gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır (Bjornlund vd., 2020; Bojago ve Abrham, 2023; Dyantyi ve Njenga, 2022):

*Kaynak kullanılabilirliği:* Akıllı sulama sistemleri genellikle sensörler, kontrolörler, yazılım ve kurulum maliyetleri açısından önemli bir başlangıç yatırımına ihtiyaç duyulmaktadır. Sıradan çiftçilerin bu teknolojiye yatırım yapacak mali kaynaklara sahip olup olmadıklarını tespit etmek için bir fizibilite çalışması yapması/yaptırması gerekmektedir.

*Teknik bilgi ve beceri:* Akıllı bir sulama sisteminin işletilmesi ve bakımı belirli düzeyde teknik bilgi ve beceriye ihtiyaç duyulmaktadır. Çiftçilerin sistemi etkili bir şekilde kurma, kalibre etme ve sorun giderme konusunda uzmanlığa sahip olmaları veya etkin bir servis ağında yardım almaları gerekmektedir.

*Çiftlik büyüklüğü ve karmaşıklığı:* Çiftliğin büyüklüğü ve karmaşıklığı akıllı sulama sisteminin uygunluğunu etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Çeşitli mahsullere ve değişken toprak koşullarına sahip daha büyük çiftlikler, akıllı sistemlerin sunduğu hassas sulama özelliklerinden daha fazla yararlanabilmektedir. Buna karşın, daha basit sulama ihtiyaçları olan daha küçük çiftlikler ise geleneksel yöntemleri daha pratik ve uygun maliyetli uygulama imkanına sahiptir.

*Çevresel koşullar:* Yerel iklim, toprak türü ve hava koşulları akıllı sulama sistemlerinin etkinliğini etkilemektedir. Çiftçiler, bölgelerindeki çevresel koşulların sensörlerin ve kontrolörlerin güvenilir çalışmasını destekleyip desteklemediğini dikkate almalıdır. Şiddetli yağmur veya kuraklık gibi aşırı hava olayları, sulama planlama algoritmalarının doğruluğunu etkileyebilmektedir.

*Amortisman:* Çiftçiler, akıllı bir sulama sisteminin uygulanmasıyla bağlantılı potansiyel yatırım getirisini iyi değerlendirmelidir. Peşin maliyetler önemli olsa da su tasarrufu, artan mahsul verimi ve iş gücü verimliliği gibi uzun vadeli faydalar, zaman içinde ilk yatırımdan daha ağır basabilmektedir. Maliyet-fayda (ekonomik fizibilite) analizi yapmak, çiftçilerin akıllı sulama teknolojilerini doğru değerlendirmesine yardımcı olacaktır.

Özetle, akıllı sulama sistemleri su yönetimi ve bitkisel üretim için gelişmiş imkanlar sunarken, sıradan çiftçilere uygunluğu çeşitli faktörlere bağlıdır. Çiftçiler akıllı sulama teknolojisine yatırım yapıp yapmayacağına karar vermeden önce ihtiyaçlarını, kaynaklarını ve hedeflerini dikkatle değerlendirmelidir. Tarım uzmanları, tedarikçiler ve meslektaşlarıyla iş birliği yapmak, çiftçilerin bilinçli kararlar almasına ve akıllı sulama sistemlerinin potansiyel faydalarını en üst düzeye çıkarmasına yardımcı olacaktır.

Sulanması planlanan tarımsal alanın büyüklüğü, akıllı sulama sistemi seçerken dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. Küçük arazi veya bahçe sulamaları için, akıllı sulama sistemleri faydalı olabilmektedir. Ancak, bu kullanıcılar temel sensör tabanlı sistemleri veya manuel kontrollü damla sulama gibi daha basit çözümleri tercih edebilmektedir.

Orta ölçekli sulama ihtiyacı olan çiftlikler, daha geniş alanlarda su kullanımını optimize etmek için sensör ağları, hava durumu verileri ve daha gelişmiş kontrolörlerden oluşan akıllı sulama

sistemlerini tercih etmelidir. Büyük ölçekli tarımsal operasyonlar için akıllı sulama sistemlerinin kullanımı kaçınılmazdır. Bu çiftlikler genellikle geniş bir sulama alanına sahiptir. Ayrıca gelişmiş akıllı sulama teknolojilerinin sunduğu hassasiyet ve verimlilikten büyük ölçüde yararlanabilmektedir. Geniş alanlardaki sulamayı etkili bir şekilde yönetmek için sensörler, uydu görüntüleri ve otomatik kontrol sistemlerinden oluşan bir akıllı sulama sistemi kombinasyonu kullanmaları önerilmektedir.

Akıllı sulama sistemleri farklı operasyon ölçeklerindeki çiftlikler için önerilebilirken, karmaşıklık düzeyi ve gereken yatırım, sulanan tarım alanının büyüklüğüne, mevcut kaynaklara ve kullanıcıların teknik uzmanlığına bağlı olarak değişecektir.

Akıllı sulama sistemleri ve diğer yeni tarım teknolojilerinin satışı, projelendirilmesi ve ithalatının, ilgili kamu kurumları tarafından mutlaka denetim altına alınması, gerekiyorsa yeni yasal düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Yeni tarım teknolojilerinde ithalat yerine, yerli üretimin teşvik edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, savunma sanayinde olduğu gibi büyük bir kamusal hassasiyet ve gayretle kurumların koordinasyonu gerekmektedir. Aksi halde, “yeni tarım teknolojileri” adı altında ülkemize birçok ülkeden ithal edilen düşük kaliteli ve yanlış ürünler, ekonomik kaynakların israfına yol açacaktır.

#### KAYNAKLAR

- Abdelmoamen Ahmed, A., Al Omari, S., Awal, R., Fares, A., ve Chouikha, M. (2021). A distributed system for supporting smart irrigation using Internet of Things technology. *Engineering Reports*, 3(7), e12352. <https://doi.org/10.1002/eng2.12352>
- Abdulla, M., ve Marhoon, A. (2023). Deep learning and IoT for monitoring tomato plant. *Iraqi Journal for Electrical and Electronic Engineering*, 19(1), 70-78. <https://doi.org/10.37917/ijeec.19.1.9>
- Abernethy, C. L. (2010). Governance of irrigation systems: Does history offer lessons for today? *Irrigation and Drainage*, 59(1), 31-39. <https://doi.org/10.1002/ird.552>
- Abioye, E. A., Abidin, M. S. Z., Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., Ishak, M. H. I., Rahman, M. K. I. A., Otuoze, A. O., Onotu, P., ve Ramli, M. S. A. (2020). A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105441. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105441>
- Ahansal, Y., Bouziani, M., Yaagoubi, R., Sebari, I., Sebari, K., ve Kenny, L. (2022). Towards smart irrigation: A literature review on the use of geospatial technologies and machine learning in the management of water resources in arboriculture. *Agronomy*, 12(2), 297. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020297>
- Ahmad, S., Kalra, A., ve Stephen, H. (2010). Estimating soil moisture using remote sensing data: A machine learning approach. *Advances in Water Resources*, 33(1), 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2009.10.008>
- Alves, R. G., Maia, R. F., ve Lima, F. (2023). Development of a Digital Twin for smart farming: Irrigation management system for water saving. *Journal of Cleaner Production*, 388, 135920. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135920>
- AlZu'bi, S., Hawashin, B., Mujahed, M., Jararweh, Y., ve Gupta, B. B. (2019). An efficient employment of internet of multimedia things in smart and future agriculture. *Multimedia Tools and Applications*, 78(20), 29581-29605. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-7367-0>



- Arias, M., Notarnicola, C., Campo-Bescós, M. Á., Arregui, L. M., ve Álvarez-Mozos, J. (2023). Evaluation of soil moisture estimation techniques based on Sentinel-1 observations over wheat fields. *Agricultural Water Management*, 287, 108422. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108422>
- Aubriot, O. (2022). The history and politics of communal irrigation: A Review. *Water alternatives*, 15(2), 307-340.
- Bhardwaj, A., Kumar, M., Alshehri, M., Keshta, I., Abugabah, A., ve Sharma, S. K. (2022). Smart water management framework for irrigation in agriculture. *Environmental Technology*, 45(12), 2320-2334. <https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2039783>
- Bhatti, E. U. H., Khan, M. M., Shah, S. A. R., Raza, S. S., Shoab, M., ve Adnan, M. (2019). Dynamics of water quality: Impact assessment process for water resource management. *Processes*, 7(2), 102. <https://doi.org/10.3390/pr7020102>
- Bjornlund, H., van Rooyen, A., Pittock, J., Parry, K., Moyo, M., Mdemu, M., ve de Sousa, W. (2020). Institutional innovation and smart water management technologies in small-scale irrigation schemes in southern Africa. *Water International*, 45(6), 621-650. <https://doi.org/10.1080/02508060.2020.1804715>
- Bojago, E., ve Abrham, Y. (2023). Small-scale irrigation (SSI) farming as a climate-smart agriculture (CSA) practice and its influence on livelihood improvement in Offa District, Southern Ethiopia. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12, 100534. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100534>
- Bouali, E. T., Abid, M. R., Boufounas, E. M., Hamed, T. A., ve Benhaddou, D. (2022). Renewable energy integration into cloud IoT-based smart agriculture. *IEEE Access*, 10, 1-17. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3138160>
- Cardenas-Lailhacar, B., Dukes, M. D., ve Miller, G. L. (2008). Sensor-based automation of irrigation on bermudagrass, during wet weather conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(2), 120-128. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2008\)134:2\(120\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2008)134:2(120))
- Cardenas-Lailhacar, B., Dukes, M. D., ve Miller, G. L. (2010). Sensor-based automation of irrigation on bermudagrass during dry weather conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(3), 184-193. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000153](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000153)
- Chen, H., Chen, A., Xu, L., Xie, H., Qiao, H., Lin, Q., ve Cai, K. (2020). A deep learning CNN architecture applied in smart near-infrared analysis of water pollution for agricultural irrigation resources. *Agricultural Water Management*, 240, 106303. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106303>
- Dyanty, O., ve Njenga, J. (2022). Awareness and perceptions of smart irrigation technologies by small scale farmers in Rural South Africa. *2022 IST-Africa Conference, IST-Africa 2022*. <https://doi.org/10.23919/IST-Africa56635.2022.9845613>
- FAO, ve FAO <http://www.fao.org/nr/water>. (2018). CROPWAT 8.0. *Land and Water, Databases and Software, CropWat*.
- Fathy, C., ve Ali, H. M. (2023). A secure IoT-based irrigation system for precision agriculture using the expeditious cipher. *Sensors*, 23(4), 2091. <https://doi.org/10.3390/s23042091>
- Fischer, M., Heim, D., Hofmann, A., Janiesch, C., Klima, C., ve Winkelmann, A. (2020). A taxonomy and archetypes of smart services for smart living. *Electronic Markets*, 30(1), 131-149. <https://doi.org/10.1007/s12525-019-00384-5>

- Gbodji, K. K., Quarmin, W., ve Minh, T. T. (2023). Effective demand for climate-smart adaptation: A case of solar technologies for cocoa irrigation in Ghana. *Sustainable Environment*, 9(1), 2258472. <https://doi.org/10.1080/27658511.2023.2258472>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., ve Courville, A. (2016). Deep learning. The MIT Press, ISBN: 9780262337373. <https://mitpress.mit.edu/9780262035613/deep-learning/>.
- Hachimi, C. El, Belaqziz, S., Khabba, S., Sebbar, B., Dhiba, D., ve Chehbouni, A. (2023). Smart weather data management based on artificial intelligence and big data analytics for precision agriculture. *Agriculture*, 13(1), 95. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010095>
- Hadidi, A., Saba, D., ve Sahli, Y. (2022). Smart irrigation system for smart agricultural using IoT: Concepts, architecture, and applications. R. Bhatnagar, N. K. Tripathi, N. Bhatnagar, ve C. K. Panda (Editörler), *The Digital Agricultural Revolution: Innovations and Challenges in Agriculture through Technology Disruptions*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119823469.ch7>
- Haziq, M., Pang, W. L., Chan, K. Y., Lee, I. E., Chung, G. C., ve Wong, S. K. (2022). High-efficiency low-cost smart IoT agriculture irrigation, soil's fertility and moisture controlling system. *Universal Journal of Agricultural Research*, 10(6), 785-793. <https://doi.org/10.13189/ujar.2022.100616>
- Ilyas, A., Parkinson, S., Vinca, A., Byers, E., Manzoor, T., Riahi, K., Willaarts, B., Siddiqi, A., ve Muhammad, A. (2022). Balancing smart irrigation and hydropower investments for sustainable water conservation in the Indus basin. *Environmental Science and Policy*, 135, 147-161. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.04.012>
- Jain, R. K. (2023). Experimental performance of smart IoT-enabled drip irrigation system using and controlled through web-based applications. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100215. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100215>
- Jiménez, A. F., Cárdenas, P. F., ve Jiménez, F. (2022). Intelligent IoT-multiagent precision irrigation approach for improving water use efficiency in irrigation systems at farm and district scales. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 106635. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106635>
- Kaur, K., Mahajan, R., Bagai, D., ve Student, M. E. (2007). A review of various soil moisture measurement techniques. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5(4), 5774-5778.
- Kavyashree T, ve Shreedhara KS. (2021). Intelligent IoT based smart irrigation system. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 9(2), 2709-2722.
- Khachatryan, H., Rihn, A., Suh, D. H., ve Dukes, M. (2020). Homeowners' preferences for smart irrigation systems and features. *EDIS*, 2020(5), FE1080. <https://doi.org/10.32473/edis-fe1080-2020>
- Khachatryan, H., Suh, D. H., Xu, W., Useche, P., ve Dukes, M. D. (2019). Towards sustainable water management: Preferences and willingness to pay for smart landscape irrigation technologies. *Land Use Policy*, 85, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.03.014>
- Khashiboun, K., Zilberman, A., Shaviv, A., Starosvetsky, J., ve Armon, R. (2007). The fate of *Cryptosporidium parvum* oocysts in reclaimed water irrigation-history and non-history soils irrigated with various effluent qualities. *Water, Air, and Soil Pollution*, 185, 33-41. <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9420-2>
- Khriji, S., El Houssaini, D., Kammoun, I., ve Kanoun, O. (2021). Precision irrigation: An IoT-enabled Wireless Sensor Network for smart irrigation systems. S. Khriji, D. El Houssaini, I. Kammoun, ve

- O. Kanoun (Editörler). Women in Precision Agriculture. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49244-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49244-1_6)
- Krishnan, R. S., Julie, E. G., Robinson, Y. H., Raja, S., Kumar, R., Thong, P. H., ve Son, L. H. (2020). Fuzzy Logic based smart irrigation system using Internet of Things. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119902. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119902>
- Kurtulmuş, E., Arslan, B., ve Kurtulmuş, F. (2022). Deep learning for proximal soil sensor development towards smart irrigation. *Expert Systems with Applications*, 198, 116812. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116812>
- Lakshmiprabha, K. E., ve Govindaraju, C. (2023). Hydroponic-based smart irrigation system using Internet of Things. *International Journal of Communication Systems*, 36(12), e4071. <https://doi.org/10.1002/dac.4071>
- Li, X., Wang, Y., Hu, Y., Zhou, C., ve Zhang, H. (2022). Numerical investigation on stratum and surface deformation in underground phosphorite mining under different mining methods. *Frontiers in Earth Science*, 10, 831856. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.831856>
- Masseroni, D., Arbat, G., ve de Lima, I. P. (2020). Editorial-managing and planning water resources for irrigation: Smart-irrigation systems for providing sustainable agriculture and maintaining ecosystem services. *Water*, 12(1), 263. <https://doi.org/10.3390/w12010263>
- Mateo-Sanchis, A., Piles, M., Amorós-López, J., Muñoz-Marí, J., Adsua, J. E., Moreno-Martínez, Á., ve Camps-Valls, G. (2021). Learning main drivers of crop progress and failure in Europe with interpretable machine learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 104, 102574. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102574>
- Murgabayev, S. S., Maldybekova, L. D., Bakhtybaev, M. M., Zhetybaev, K. M., Gursoy, M., ve Sizdikov, B. S. (2022). History of the syganak irrigation. *Povolzhskaya Arkheologiya*, 2(40), 206-214. <https://doi.org/10.24852/PA2022.2.40.206.214>
- Muthuminal, R., ve Priya, R. M. (2023). An outlook over smart irrigation system for sustainable rural development. R. Muthuminal, ve R. M. Priya (Editörler). *Smart village infrastructure and sustainable rural communities*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-6418-2.ch008>
- Ndunagu, J. N., Ukhurebor, K. E., Akaaza, M., ve Onyanha, R. B. (2022). Development of a wireless sensor network and IoT-based smart irrigation system. *Applied and Environmental Soil Science*, 2022, 7678570. <https://doi.org/10.1155/2022/7678570>
- Olatunji, K. A. , Oguntimilehin A. ve Adeyemo O. A (2020). A mobile phone controllable smart irrigation system. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(1), 279-284. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/42912020>
- Otavio, N. A. S., Marcos, V. F., Bruno, P. L., Jefferson, V. J., Eder, D. F. J., Joao, P. F., Irineu, P. de S. A., ve Renata, A. S. (2016). Irrigation history and pruning effect on growth and yield of jatropa on a plantation in southeastern Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, 11(50), 5080-5091. <https://doi.org/10.5897/ajar2016.11696>
- Perez-Blanco, C. D., Hrast-Essenfelder, A., ve Perry, C. (2020). Irrigation technology and water conservation: A review of the theory and evidence. *Review of Environmental Economics and Policy*, 14(2), 216-239. <https://doi.org/10.1093/REEP/REAA004>
- Phasinam, K., Kassanuk, T., Shinde, P. P., Thakar, C. M., Sharma, D. K., Mohiddin, M. K., ve Rahmani, A. W. (2022). Application of IoT and Cloud Computing in automation of agriculture irrigation. *Journal of Food Quality*, 2022, 8285969. <https://doi.org/10.1155/2022/8285969>

- Raffelli, G., Previati, M., Canone, D., Gisolo, D., Bevilacqua, I., Capello, G., Biddoccu, M., Cavallo, E., Deiana, R., Cassiani, G., ve Ferraris, S. (2017). Local- and plot-scale measurements of soil moisture: Time and spatially resolved field techniques in plain, hill and mountain sites. *Water*, 9(9), 706. <https://doi.org/10.3390/w9090706>
- Ransbotham, S., Kiron, D., Gerbert, P., ve Reeves, M. (2017). Reshaping business with Artificial Intelligence: Closing the gap between ambition and action. *MIT Sloan Management Review*, 59(1), 59181.
- Rasheed, M. W., Tang, J., Sarwar, A., Shah, S., Saddique, N., Khan, M. U., Imran Khan, M., Nawaz, S., Shamshiri, R. R., Aziz, M., ve Sultan, M. (2022). Soil moisture measuring techniques and factors affecting the moisture dynamics: A comprehensive review. *Sustainability*, 14(18), 11538. <https://doi.org/10.3390/su141811538>
- Ruiz-Real, J. L., Uribe-Toril, J., Torres, J. A., ve Pablo, J. D. E. (2021). Artificial intelligence in business and economics research: Trends and future. *Journal of Business Economics and Management*, 22(1), 98-117. <https://doi.org/10.3846/jbem.2020.13641>
- Şahin, H. (2022). Digital Agriculture , Agriculture 4 . 0 , Intelligent Agriculture , Robotic Applications and autonomous. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* 18, 68–83.
- Sami, M., Khan, S. Q., Khurram, M., Farooq, M. U., Anjum, R., Aziz, S., Qureshi, R., ve Sadak, F. (2022). A deep learning-based sensor modeling for smart irrigation system. *Agronomy*, 12(1), 212. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010212>
- Sasi Kumar, G., Nagaraju, G., Rohith, D., ve Vasudevarao, A. (2023). Design and development of smart irrigation system using Internet of Things (IoT) - A case study. *Nature Environment and Pollution Technology*, 22(1), 523-526. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2023.v22i01.052>
- Serote, B., Mokgehle, S., Plooy, C. Du, Mpandeli, S., Nhamo, L., ve Senyolo, G. (2021). Factors influencing the adoption of climate-smart irrigation technologies for sustainable crop productivity by smallholder farmers in arid areas of South Africa. *Agriculture*, 11(12), 1222. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121222>
- Sharma, A. K., Hubert-Moy, L., Buvaneshwari, S., Sekhar, M., Ruiz, L., Bandyopadhyay, S., ve Corgne, S. (2018). Irrigation history estimation using multitemporal landsat satellite images: Application to an intensive groundwater irrigated agricultural watershed in India. *Remote Sensing*, 10(6), 893. <https://doi.org/10.3390/rs10060893>
- Shrestha, Y. R., Krishna, V., ve von Krogh, G. (2021). Augmenting organizational decision-making with deep learning algorithms: Principles, promises, and challenges. *Journal of Business Research*, 123, 588-603. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.068>
- Singh, A. K., Bhardwaj, A. K., Verma, C. L., ve Mishra, V. K. (2019). Soil moisture sensing techniques for scheduling irrigation. *Journal of Soil Salinity and Water Quality*, 11(1), 68-76.
- Srivastava, P. K., Petropoulos, G. P., ve Kerr, Y. H. (2016). Satellite soil moisture retrieval: Techniques and applications. P. K. Srivastava (Editör). *Satellite soil moisture retrieval: Techniques and applications*. Elsevier.
- Stolojescu-Crisan, C., Butunoi, B. P., ve Crisan, C. (2022). An IoT based smart irrigation system. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 11(3), 50-58. <https://doi.org/10.1109/MCE.2021.3084123>
- Suh, D. H., Khachatryan, H., Rihn, A., ve Dukes, M. (2017). Relating knowledge and perceptions of sustainable water management to preferences for smart irrigation technology. *Sustainability*, 9(4), 607. <https://doi.org/10.3390/su9040607>

- Suresh, P., Aswathy, R. H., Arumugam, S., Albraikan, A. A., Al-Wesabi, F. N., Hilal, A. M., ve Alamgeer, M. (2022). IoT with evolutionary algorithm based deep learning for smart irrigation system. *Computers, Materials and Continua*, 71(1), 1713-1728. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.021789>
- Susha Lekshmi, S. U., Singh, D. N., ve Shojaei Baghini, M. (2014). A critical review of soil moisture measurement. In *Measurement: Journal of the International Measurement*, 54, 92-105. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.04.007>
- Ugli, A. M. I. (2022). History of irrigation in the Fergana Valley. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(4), 157-159. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.40960>
- UN. (2020). Goal 11: Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable. *United Nations*.
- Vallejo-Gómez, D., Osorio, M., ve Hincapié, C. A. (2023). Smart irrigation systems in agriculture: A systematic review. *Agronomy*, 13(2), 342. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020342>
- Vij, A., Vijendra, S., Jain, A., Bajaj, S., Bassi, A., ve Sharma, A. (2020). IoT and Machine Learning Approaches for Automation of Farm Irrigation System. *Procedia Computer Science*, 167, 1250-1257. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.440>
- Walker, J. P., Willgoose, G. R., ve Kalma, J. D. (2004). In situ measurement of soil moisture: A comparison of techniques. *Journal of Hydrology*, 293(1-4), 85-99. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.008>
- Wang, Z., Li, M., Lu, J., ve Cheng, X. (2022). Business innovation based on artificial intelligence and Blockchain technology. *Information Processing and Management*, 59(1), 102759. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102759>
- Wang A, Y., G., Hu, P., Lai, X., Xue, B., ve Fang, Q. (2022). Root-zone soil moisture estimation based on remote sensing data and deep learning. *Environmental Research*, 212, 113178. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113278>
- Wu, X., Walker, J. P., Jonard, F., ve Ye, N. (2022). Inter-comparison of proximal near-surface soil moisture measurement techniques. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 2370-2378. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3156878>
- Xie, W., Li, X., Jian, W., Yang, Y., Liu, H., Robledo, L. F., ve Nie, W. (2021). A novel hybrid method for landslide susceptibility mapping-based geodetector and machine learning cluster: A case of Xiaojin County, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 93. <https://doi.org/10.3390/ijgi10020093>
- Yonbawi, S., Alahmari, S., Raju, B. R. S. S., Rao, C. H. G., Ishak, M. K., Alkahtani, H. K., Varela-Aldás, J., ve Mostafa, S. M. (2023). Modeling of sensor enabled irrigation management for Intelligent Agriculture using Hybrid Deep Belief Network. *Computer Systems Science and Engineering*, 46(2), 2319-2335. <https://doi.org/10.32604/csse.2023.036721>
- Zeng, W., Ao, C., ve Lei, G. (2023). History of irrigation in China: Schedule and Method Development. S. Eslamian, ve F. Eslamian (Editörler). *Handbook of Irrigation Hydrology and Management: Irrigation Case Studies*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003353928-12>
- Zhang, X., ve Khachatryan, H. (2019). Investigating homeowners' preferences for smart irrigation technology features. *Water*, 11(10), 1996. <https://doi.org/10.3390/w11101996>

## **EXTENDED ABSTRACT**

### **Introduction and Research Questions & Purpose**

Agricultural water use and management is one of the most important issues in today's world. Current discussions such as water consumption, wastewater management, and utilization of rainwater are actually a harbinger of the upcoming water crisis. The way to successfully manage this crisis is to use advanced technologies in water consumption and evaluation. In agricultural water use, it has become a necessity to choose "Smart Irrigation Systems" where Artificial Intelligence (AI), Deep Learning (DL) and Internet of Things (IoT) applications are used together to prevent water waste. The sequence of drip irrigation, sprinkler irrigation, pivot and smart irrigation systems that have begun to replace traditional irrigation systems is also a technological irrigation chronology.

Recently, Artificial Intelligence (AI) management, Deep Learning (DL) and Internet of Things (IoT) applications in wastewater recycling, water distribution, rainwater harvesting and agricultural irrigation show signs of how they will become widespread in the future.

The aim of this study is to introduce smart irrigation systems in general terms, their usage areas and the technologies used in these systems. Additionally, the issues that farmers should know before investing in these technologies are mentioned. By including the latest studies in the literature, an attempt has been made to shed light on the development process of smart irrigation systems in the world. It has been emphasized that higher efficiency in agricultural production can be achieved by using smart irrigation technologies.

### **Methodology**

Nowadays, when agricultural irrigation and domestic water consumption increases, preventing water waste is of great importance. Nearly 300 national and international articles published in recent years (2020-2023) on new technologies such as smart water systems, artificial intelligence, and the internet of things were examined and evaluated. In the articles, smart irrigation system technologies, application methods, results and warnings and recommendations are taken into consideration.

Another purpose of the study is to shed some light on our farmers by trying to determine the current situation of new agricultural technologies in the world and in our country. It is thought that the content and bibliography of this study will be useful to researchers interested in the subject and working on similar subjects. For this reason, current studies published in indexed journals were cited as much as possible.

### **Results and Conclusions**

Whether a smart irrigation system is recommended for an ordinary farmer depends on several factors, including the farmer's needs, resources and the specific conditions of agricultural operations. These;

Issues such as resource availability, technical knowledge and skills, farm size and complexity, environmental conditions, return on investment. Farmers should carefully consider their needs, resources, and goals before deciding whether to invest in smart irrigation technology. Collaborating with agricultural experts, suppliers and colleagues will help farmers make informed decisions and maximize the potential benefits of smart irrigation systems. Moreover, while smart irrigation systems can be recommended for ordinary farmers at different scales of operation, the level of complexity and investment required will vary depending on the size of the irrigated agricultural

area, available resources and technical expertise of the users. It is important to consider factors such as cost effectiveness, scalability, convenience.

It is urgent that the sale, project design and import of smart irrigation systems and other new agricultural technologies be controlled by the relevant public institutions and, if necessary, new legal regulations be made. Instead of importing new agricultural technologies, domestic production should be encouraged and institutions should be coordinated with great public sensitivity and effort, just like the defense industry. Otherwise, our economic resources will be wasted with low quality and wrong products imported to our country under the name of "new agricultural technologies".

## Yazarın Biyografisi



### Doç. Dr. Hasan ŞAHİN

ODTÜ Gaziantep Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümünde bir süre okuduktan sonra, Lisans ve Yüksek Lisans derecesini, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde tamamladı. Doktora derecesini ise aynı üniversitede Tarım Makineleri Anabilim Dalında tamamladı. Araştırma konuları; mikrodalga ve elektrik akımı ile yabancı ot kontrolü, tarımsal mekatronik uygulamalar, güneş enerjisinin tarımsal uygulamaları, tarımsal iş sağlığı ve güvenliği, ısıtma soğutma havalandırma sistemleridir. Halen Elektronik ve Otomasyon Bölümü Mekatronik Programında görev yapmaktadır.

**İletişim** hsahin@harran.edu.tr

**ORCID Adresi** <https://orcid.org/0000-0002-3977-4252>