
AKADEMİK PERSPEKTİFTEN TARLA BİTKİLERİ YETİŞTİRME VE ISLAHI

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Tahsin BEYÇİOĞLU



yaz
yayınları

Akademik Perspektiften Tarla Bitkileri Yetiştirme ve Islahı

Editör

Dr.Öğr.Üyesi Tahsin BEYÇİOĞLU

yaz
yayınları

2025

**Akademik Perspektiften Tarla Bitkileri
Yetiştirme ve Islahı**

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Tahsin BEYÇİÖĞLU

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-5838-13-1

Haziran 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Smart Technologies for Sustainable Agriculture: Carbon Sequestration and Precision Nutrient Management	1
<i>Neşe OKUT</i>	
Keten (Linum usitatissimum L.) Tohumu: Çok Amaçlı Gıda Olarak Kullanılması ve Önemi.....	23
<i>Mehmet Zeki KOÇAK</i>	
Modern Tarımın Yeni Aracı Dronların Gelişimi ve Uygulama Olanakları.....	34
<i>Birol TAŞ</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

SMART TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE: CARBON SEQUESTRATION AND PRECISION NUTRIENT MANAGEMENT

Neşe OKUT¹

1. INTRODUCTION

There are also several other factors which challenge the system like climate change, shortage of water, soil degradation and greenhouse gas emissions. Conventional agricultural practices which have always focused on increasing productivity have ignored the longer-term impacts like soil organic carbon depletion, nutrient runoff, soil fertility loss, and many others. Nonetheless, the development of smart technologies opens new opportunities to balance an ever-increasing productivity targets and caring for nature. This chapter combines the latest developments in smart technologies for agriculture such as the enhancement of soil carbon sequestration, precision nutrient delivery systems, and the steps mitigation techniques are taken through their mechanisms, applications, limitations, and future prospects.

¹ Assoc. Prof. Dr. Nese Okut, Department of Crop Science, Faculty of Agriculture, University of Yuzuncu Yil, Van-Turkey, neseokut@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7721-6369.

The urgent need of addressing climate change while promoting sustainable agriculture has highlighted the importance of soil management practices in increasing the carbon sequestration and lowering the greenhouse gas emissions Kaur, et al., 2024 Climate change is among the primary determining factors for the productivity of agriculture globally as it affects the health and fertility of soils and also intensifies the loss of organic carbon in soils due to the degradation of soils. On the other hand, there is great potential for mitigating climate change by capturing excess carbon in the soils (Teimoory and Arasalan, 2024). Technologies need to be developed which aim at enhancing agricultural production, reducing the impacts of climate change, and sustaining food security in a changing climate scenario (Tadesse and Ahmed 2023).

2. TECHNOLOGICAL FOUNDATIONS OF SMART AGRICULTURE

2.1. Sensor Technologies and IoT Integration

The creation of an Internet of Things (IoT) Ecosystem has remarkably advanced the methods used for data harvesting in agricultural settings. For instance, modern capacitance and thermos- resistive sensors allow remote monitoring of soil moisture, temperature, pH, electrical conductivity, and even nutrient levels on a spatial and a temporal basis. Multi-sensor systems that are remotely controlled, miniaturized, and low-power drain optimized are becoming the norm. Such possibilities allow sensor placement in diverse types of agricultural regions to form temporally and spatially resolved datasets that assist in effective management. In the context of IoT ecosystems, these devices can send their intelligence through IoT plots to be processed and analyzed, including automatically (Reza, et al., 2025).

The evaluation of soil nutrition and its value is crucial for increased agricultural output and productivity. The use of Internet of Things (IoT) technology, which enables real-time measurements, has enabled the impressive advancement of measuring and carrying out tasks in smart farming (Fauziah, et al., 2024).

To assess and examine the gaps, including the potential future scope of IoT integration for nutrient management smart farming, Fauziah, et al. (2024) conducted a systematic review. It was evident from their research that many nutritional management strategies are still in the experimental design and prototype stages before undergoing rigorous plant trial testing and agricultural validation.

2.2. Imaging Technologies and Remote Sensing

New imaging technologies have greatly enhanced the capacity to assess crop and soil health at a variety of spatial scales. Proximal sensing platforms, including hyperspectral and multispectral cameras, provide for the early detection of plant stress indicators and nutrient deficiencies prior to visible symptoms. Satellite remote sensing complements these techniques by providing large-scale vegetation indices and soil moisture levels. Unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with specialty cameras bridge the sensing gap between proximal and satellite sensing through the delivery of high-resolution imaging at the field scale. Agrahari, et al. (2021) describe how the imaging technologies make it possible to detect plant biomarkers that indicate nutrient status, facilitating site-specific application of fertilizers.

Remote sensing data-based time series analysis, i.e., the Normalized Difference Water Index (NDWI), will show higher soil moisture content under climate-smart agriculture treatment compared to the control (Tadesse and Ahmed, 2023). These

technologies derive useful information regarding the effect of management practice on soil condition through landscapes and in time.

2.3. Data Analytics and Machine Learning

Advanced analysis is required to process the vast and varied volumes of data produced by farm sensors and imagery. Machine learning algorithms are effective means of extracting useful knowledge from agricultural data. Supervised learning algorithms can predict crop yields from historical data and current conditions, whereas unsupervised learning algorithms identify trends and anomalies in crop and soil parameters (Soussi, et al., 2024). Disease and crop classification via image analysis is a perfect task for convolutional neural networks and other deep learning models. Reza, et al. (2025) explain that such digital procedures grant decision-making systems access to raw data for effective management and planning of intervention.

Reza, et al. (2025) highlight the significance of machine learning (ML) and artificial intelligence (AI) in supplementing predictive modeling of nutrient management. These higher-order analysis procedures enable complex environmental data processing to be translated into beneficial information for farmers, with a view to enabling better-informed decision-making in open-field and hydroponic crop production systems (Figure 1).

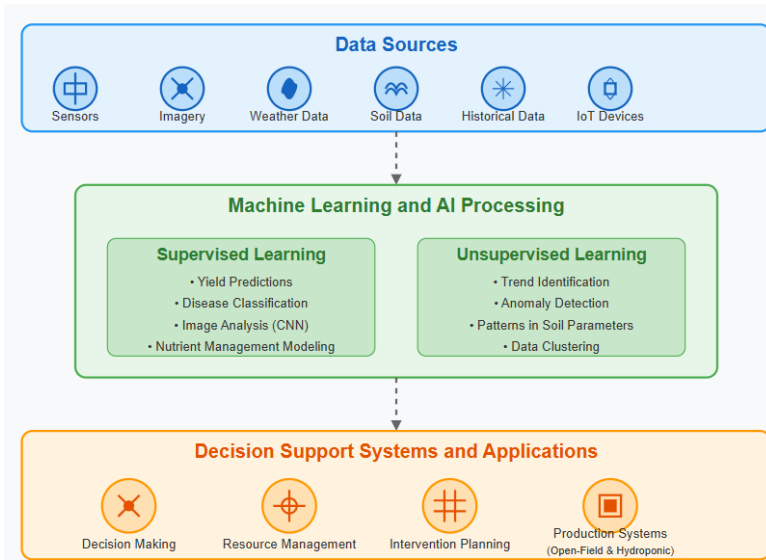


Figure 1. Data Analysis and AI Applications in Agriculture

3. SMART APPROACHES TO SOIL CARBON SEQUESTRATION

3.1. Monitoring Soil Organic Carbon Dynamics

Smart technologies enhance monitoring capabilities of Soil Organic Carbon (SOC) level in real time, unlike in past centuries. SOC levels can now be evaluated more quickly and easier through methods like Infrared (IR) Spectroscopy and Middle Infrared (MIR) Spectroscopy. Along with machine learning algorithms, these techniques can produce high-resolution SOC maps that target specific zones with unique management plans (Figure 2). Additionally, advanced isotopic techniques help in tracking the carbon fluxes, illuminating the processes that govern the carbon sequestration and the release in agricultural systems. Using monitoring technologies with Process-Based Models assists in predicting the changes in SOC

due to various management actions or climate changes toward SOC (Elbasiouny, et al, 2022).

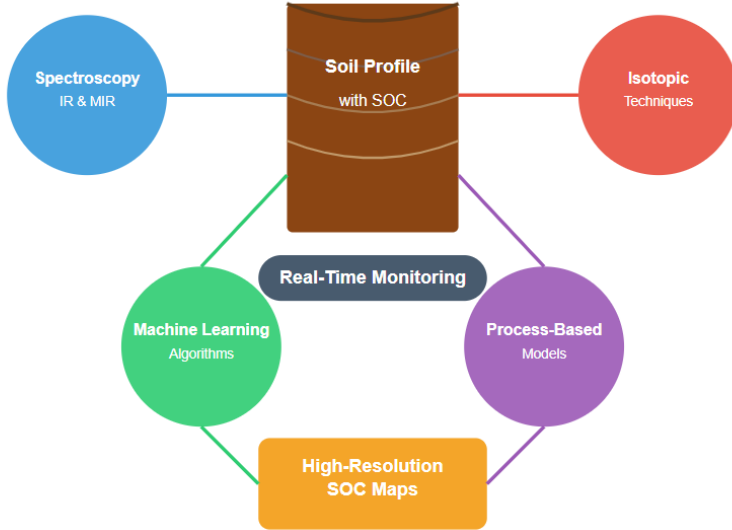


Figure 2. Smart Technologies for Soil Organic Carbon (SOC) Monitoring

For Kaur, et al., the focus in 2024 reached to include the accurate measurement and assessment of carbon sequestration potential of various soil management practices such as chemical-free cultivation of soil organic matter. This particular SOC research consists of multidisciplinary approaches with field experiments of various agroecological zones that are analyzed for their type of soil, agricultural systems and other management methods for SOC level impacts and greenhouse gas emissions. This research adopts an interdisciplinary approach and conducts field experiments in several agroecological zones with different soil and crop systems to assess the impact of varied practices on soil organic carbon concentration, greenhouse gas emission, soil health indicators, and crop yields.

4. SMART MANAGEMENT PRACTICES FOR ENHANCED CARBON SEQUESTRATION

Technological advancement has enabled the optimization and scaling-up of management practices favoring soil carbon sequestration. Precision conservation agriculture, involving reduced tillage, multiple rotations, and cover crops, is optimized by smart technologies that adjust the timing and application of these practices (Figure 3). For instance, sensor-based systems are able to compute optimal dates of cover crop termination based on soil moisture and temperature regimes. Similarly, variable-rate technology offers the chance for organic amendments to be applied to low-SOC fields. Blockchain-based carbon markets are in development as means to promote and verify carbon sequestration in agricultural soils via the use of smart technologies for tracking and measurement of sequestration impacts (Elbasiouny, et al., 2022).

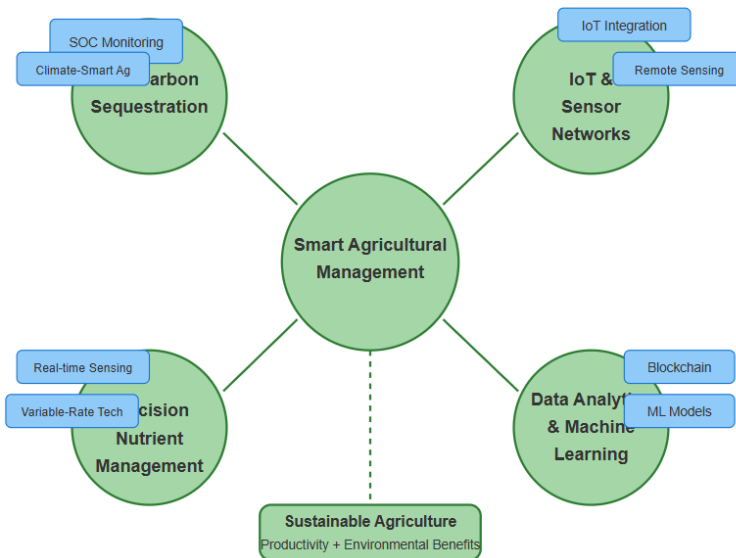


Figure 3. Conceptual Framework of Smart Technologies for Sustainable Agriculture

Teimoory and Arasalan (2024) established that climate-resilient soil management practices such as conservation agriculture and agroforestry have been adopted on a large scale to increase soil organic carbon sequestration and reduce greenhouse gas emissions in an attempt to enhance crop productivity. Similarly, Tadesse and Ahmed (2023) demonstrated that the implementation of climate-smart agriculture practices such as soil and water conservation practices and biological control practices, hedgerow planting, residue management, grassland management, crop rotation, and perennial crop-based agroforestry system increases more carbon sequestration in soils compared to traditional farming practices. Their study found that carbon stock at a 1-meter soil depth was between three and seven times greater beneath climate-smart agricultural landscapes than in control areas.

4.1. Climate-Smart Agriculture and Carbon Sequestration

The term "climate-smart agriculture" describes practices that boost productivity, reduce greenhouse gas emissions, and strengthen resilience to climate change. Smart technologies are crucial to operationalizing this concept because they provide the data and analytical tools needed to optimize management decisions. For example, integrated sensor networks can monitor soil moisture and temperature to inform irrigation scheduling that maximizes agricultural productivity while consuming the least amount of water. Similarly, remote sensing methods can be used to track vegetation indicators that indicate crop health and carbon uptake. These technologies enable adaptive management strategies that respond to changing climatic circumstances while maintaining or enhancing soil carbon sequestration capacity (Elbasiouny, et al., 2022).

Tadesse and Ahmed (2023) investigated the effects of integrating different climate-smart agricultural practices on crop production, soil fertility, and carbon sequestration after being practiced continuously for up to 10 years. Their results showed that wheat yields were 30-45% higher under climate-smart agriculture practices than under conventional farmers' practices. Furthermore, their practices moderately improved soil pH and indicated 2.2-2.6 and 1.7-2.7 times higher total nitrogen and plant-available phosphorus content, respectively, than in the control locations. These findings show the high potential for integrating climate-smart agriculture practices to improve climate change resilience among poor farmers by increasing crop yield, reducing nutrient depletion, and mitigating greenhouse gas emissions through soil carbon sequestration.

5. PRECISION NUTRIENT MANAGEMENT

5.1. Real-Time Nutrient Sensing and Monitoring

The development of real-time nutrient-sensing technologies has transformed the precision with which fertilizers are being applied in agronomic systems. Ion-selective electrodes, spectrophotometric sensors, and biosensors provide continuous measurements of nutrient concentrations in soil solutions and plant tissues (Bacenetti, et al. 2020 and Bulacio Fischer, et al. 2025). Upendra, et al. (2021) highlight the requirement for sensor-based approaches for estimation of soil fertility, particularly for key nutrients like nitrogen, phosphorus, and potassium. Such sensor technologies, merged with IoT platforms, provide dynamic reports on nutrients' availability to utilize in precision fertilizer applications (Figure 4). Real-time observational monitoring systems are of utmost relevance in hydroponics and Controlled Environment Agriculture (CEA) where nutrient solution is recurrently manipulated in a bid to

enhance growth at a minimal level of wastage (Reza, et al., 2025).

Efficient soil nutrient management is essential in order to maximize crop production, sustainable agriculture, and solving the pressures caused by population growth and environmental degradation. Reza, et al. (2025) emphasize that smart agriculture, by adopting high-technology developments, has an important role to play in these endeavors since it makes real-time monitoring and precise control of nutrients possible. For open-field cultivation of soil, local spatial heterogeneity of the properties of soil requires site-specific nutrient management coupled with variable-rate technology to enhance fertilizer application to the maximum extent, reduce losses of nutrients to a minimum, and ensure optimum crop yields. For hydroponic solution growth, careful control and monitoring of nutrient solutions to supply optimal growth conditions to plants is required efficiently using water and fertilizers.

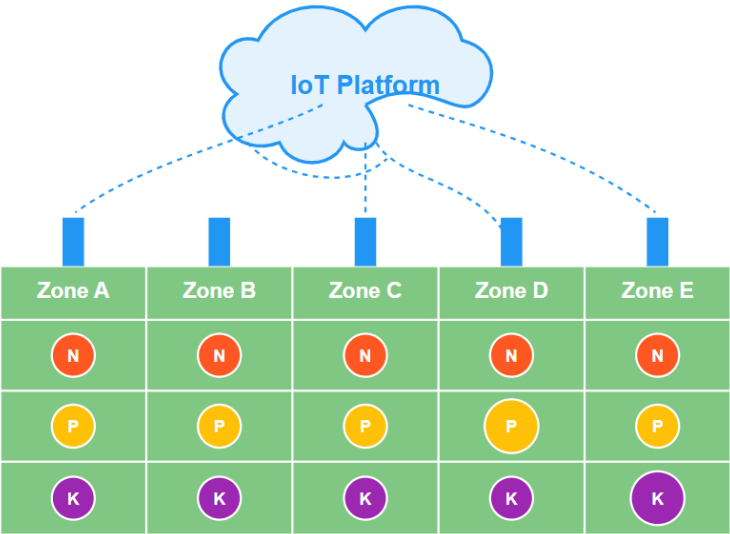


Figure 4. Precision Nutrient Management System Architecture

Variable-rate technology (VRT) allows fertilizers and amendments to be applied in rates that are proportional to specific soil or crop requirements across fields (Figure 4). It is made more effective through smart technologies by providing high-resolution spatial data on soil properties and crop conditions. For instance, proximal soil sensors generate high-resolution maps of soil organic matter and texture that determine the availability and retention of nutrients. Similarly, imaging technology has the capacity to detect changes in crop vigor resulting from deficiencies or excesses of nutrients. When coupled with GPS guidance systems, the said technologies allow an individual to pinpoint nutrients exactly where they are needed most, with minimal fertilizer consumption overall and in maintaining or even enhancing crop yield (Agrahari, et al., 2021).

Kaur, et al., 2024 research highlights precision agriculture as a key practice being researched to optimize carbon sequestration without sacrificing farm production. It involves extensive soil sampling, greenhouse gas flux assessments, evaluation of soil health and soil property measurements, and crop yield monitoring over multiple seasons of crops to ascertain rates of carbon sequestration and estimate the net environmental and agronomic benefit of various regimes of soil management.

5.2. Machine Learning for Nutrient Recommendation Systems

The algorithms for machine learning are increasingly better at nutrient advice systems. In conjunction with such different data sets like soil testing results, crop growth models, weather predictions, and yield histories, the systems offer fertilizer recommendations considering interdependence of climatic, soil, and crop parameters. Reinforcement models of learning are capable to tune recommendations in view of what

happened, iterating for optimal management of nutrients. In addition, ensemble techniques integrating multiple prediction models are more accurate than single-model-based methods in heterogeneous agricultural environments. Such data-driven advisory platforms supplement conventional soil testing techniques in being dynamic and contextual in supporting nutrient management choices (Reza, et al., 2025). Recent research have used statistical and modeling techniques to quantify the rate of carbon sequestration, the effects of treatment on soil quality and greenhouse gas emission, and the agronomic and environmental value of soil management practices (Kaur, et al., 2024). In order to increase the adoption of sustainable soil management practices that retain soil carbon while preserving or enhancing agricultural productivity, these data-intensive approaches provide crucial input into evidence-based solutions.

5.3. Blockchain and Traceability in Nutrient Management

Blockchain technology holds promising possibilities in nutrient management with enhanced traceability and verification potential. Distributed ledgers allow tracing of the use and source of fertilizers, with transparent and unalterable records of the application of nutrients. Traceability supports sustainability certification schemes and compliance verification for environmental policy. Blockchain-based smart contracts can also enable automation of transactions across fertilizer supply chains, potentially reducing costs and enhancing efficiency. Although blockchain use in agriculture is still in its infancy, it is an area of frontier innovation in digitizing nutrient management approaches with potential to increase accountability and sustainability throughout the industry (Reza, et al., 2025).

Reza, et al. (2025) specifically call blockchain technology a new technology to promote transparency and

traceability of nutrient management, promoting environmental regulation compliance and sustainable management. The technology can provide an untampered record of uses of nutrients such that authentication of sustainable management activities and carbon market entry can be facilitated.

6. INTEGRATION OF CARBON SEQUESTRATION AND NUTRIENT MANAGEMENT

6.1. Synergies and Trade-offs

The union of precision nutrient management and sequestration targets for soil carbon has synergies and trade-offs that smart technologies can manage. Soil organic matter construction practices such as the use of crop residues and organic amendment applications have the tendency to promote nutrient retention and cycling. Intensive tillage practices, which would yield available nutrients in the short term, have the capability to enhance organic matter decomposition and carbon loss on the other hand. Smart monitoring systems that track both carbon and nutrient dynamics enable producers to choose management practices that optimize both objectives. For instance, sensor networks that monitor both soil carbon stores and nutrient availability simultaneously can enable practices that optimize carbon sequestration without lowering the availability of nutrients to crops (Elbasiouny, et al., 2022).

These synergies were demonstrated by Tadesse and Ahmed (2023) in their long-term climate-smart agriculture management experiment. They recorded that management treatments for enhancing soil carbon sequestration also increased indices of soil fertility, including total nitrogen and phosphorus content available to plants. This indicates the

potential of using integrated approaches in solving a wide range of agro-environmental issues concurrently.

6.2. Decision Support Systems for Integrated Management

Integrated carbon and nutrient management issues built into holistic decision support systems (DSS) are a future of intelligent agriculture. These systems integrate several streams of information, from soil sensor readings to weather forecasts and crop growth model predictions to economic indicators, and generate recommendations for management to accomplish multiple goals. Advanced DSS platforms include scenario analysis capabilities that allow farmers to estimate the prospective impact of multiple management strategies on soil carbon, nutrient use efficiency, crop yields, and profitability. By articulating interacting linkages between agroecosystem performance and management choices, such platforms facilitate farmers to make decisions that support productivity as well as sustainability goals (Agrahari, et al., 2021; Reza, et al., 2025) (Figure 5).

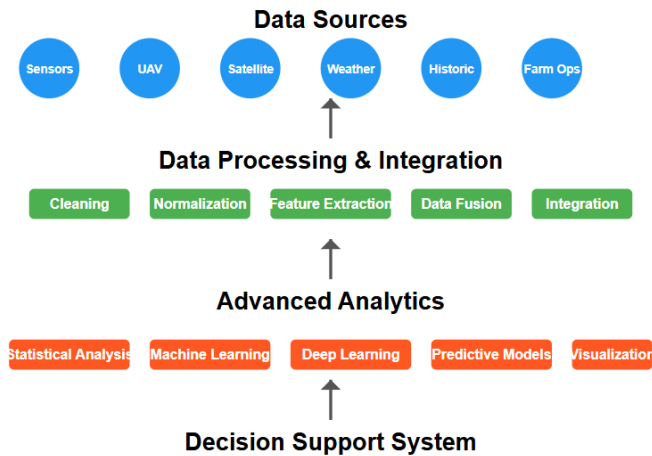


Figure 5. Data Analytics Pipeline for Agricultural Decision Support Systems

Kaur, et al., research in 2024 aims at offering beneficial details on evidence-based practices that could ensure optimum carbon sequestration in sustainable management of soil in a way that neither jeopardizes nor maximizes agricultural productivity. The research directs agricultural policy, informs farm management, and directs climate-smart agriculture research. By situating a figure on the carbon sequestration potential of different soil management systems, this research is contributing to the general mission of achieving climate resilience, environmental sustainability, and food security in food systems.

7. CHALLENGES AND FUTURE DIRECTIONS

7.1. Technical Challenges

The complications tied to the practical use of smart technology for managing carbon and nutrients still retain a considerable barrier to overcome even with all the advancements made. Mechanical, thermal, and moisture saturation conditions of an agricultural environment have temperature controlling challenges constrained surface per desiccation and sensor endurance. Moreover, experience and effort work is performed like calibrating and validating sensors in soils of different types and conditions. Issues with sensor integration also stem from lack of uniformity regarding format, resolution, quality benchmarks, and other sensing systems within a single platform. Self-contained sophistication of analytical processes pose an additional burden to resources available for most agribusiness firms. Sensors, data handling methodology, and analysis software design present red flag challenges that still need sculpting to enable solution (Upendra, et al., 2021).

According to systematic review by Fauziah, et. Al (2024), most nutritional management IoT systems reside under

the prototyping and experimental design phases. These new technologies are void of large-scale agricultural plant trials and traditional agricultural experimental design techniques. This makes the transition from laboratory innovation to field application extremely challenging. In addition to achieving such robust sensor design. This makes scaling up such innovations from the lab to the field extremely difficult. Furthermore, creating robust sensors that accurately measure complex soil properties in a variety of field circumstances is still a difficult technological task that calls for interdisciplinary cooperation among data specialists, engineers, and soil scientists.

7.2. Implementation Barriers

Cultural, educational, infrastructural, and socioeconomic factors slow the uptake of smart technologies in agriculture. The majority of smallholder farmers in developing regions economically struggle to afford the costs related to sensor networks, imaging systems, and analytical platforms. Even where funding exists, gaps in knowledge regarding the operation, maintenance, and data interpretation of the technology may hinder adoption. Furthermore, rural areas with insufficient infrastructural facilities pose additional drawbacks for IoT-systems reliant on continuous data flow. The development of dedicated policies aimed at encouraging technological adoption, investment in industrial and basic research pilot projects, knowledge dissemination programs, and publicly funded digital infrastructure development could alleviate the barriers to rural smallholder farmers improving access to agricultural smart technologies (Agrahari, et al., 2021; Elbasiouny, et al., 2022).

Though Tadesse and Ahmed (2023) study climate-smart agricultural practices and their impacts on crop yield, soil fertility, and carbon sequestration, adoption remains complex

due to several barriers. The document identifies the limited-access resources available to smallholder farmers, insufficient technical knowledge, and little to no extension services as the major hindering factors for scaling climate-smart agricultural practices. Besides, the waiting period between practice implementation and apparent benefits poses another barrier because farmers will be unwilling to adopt practices where returns are not evident as soon as investments are made. Overcoming such barriers demands targeted policy measures, innovative financing arrangements, and comprehensive capacity-building programs cognizant of the diverse environments and needs of farming communities.

7.3. Future Research Directions

New directions in smart agriculture include the integration of edge computing capabilities that enable on-site data processing, reducing connectivity requirements and enhancing system responsiveness. Advances in nanotechnology can lead to more sensitive and discriminating nutrient sensors, and biodegradable electronics can assist in reducing sensor disposal and environmental pollution issues. Quantum computing for agriculture modeling can enhance the capacity to simulate complex soil-plant-atmosphere dynamics to a greater degree. Second, the integration of sensor technology with synthetic biology will make new biosensors using genetically engineered microorganisms quantitate soil parameters with unprecedented sensitivity and selectivity. These technologies are groundbreaking and possess the potential to revolutionize soil carbon sequestration and fertilizer management practices (Reza, et al., 2025).

Kaur, et al., (2024) study emphasizes the necessity of long-term and multidisciplinary research to fully quantify the carbon sequestration capacity of different soil management

systems. Future research needs to follow this up by developing standardised protocols for measuring and tracking soil carbon across different agroecological zones so that there is greater comparability and synthesis of findings across studies. Moreover, Teimoory and Arasalan (2024) advocate for the development of technologies and practices that, on one hand, enhance farm productivity, mitigate the impacts of climate change, and enhance food security under a changed environment. This necessitates research that bridges the gap between technological innovation and practical application, with particular emphasis on adaptability to diverse farming systems and socioeconomic contexts.

8. CONCLUSION

The intersection of smart technologies with precision nutrient management and soil carbon sequestration is a paradigm shift in agricultural management that reconciles productivity imperative with environmental sustainability. Through enabling real-time monitoring, data-driven decision-making, and precise application of resources, the technologies enhance the effectiveness and efficiency of management interventions. The complementary implementation of carbon sequestration and nutrient management strategies, facilitated by emerging sensing and analytical technologies, opens pathways to agricultural systems that are simultaneously productive, resilient, and ecologically sustainable.

The evidence synthesized in this chapter demonstrates the huge potential of integrated climate-smart agricultural practices in enhancing both environmental sustainability and agricultural productivity. Tadesse and Ahmed (2023) provide strong evidence that climate-smart agricultural practices can increase wheat yields by 30-45% compared to conventional

practices while, simultaneously, enhancing soil fertility indicators and carbon sequestration. These findings emphasize the capacity of agricultural systems to serve as large carbon sinks without diminishing, and even increasing, productivity, thereby contributing to climate change mitigation while sustaining food security.

The multidisciplinary research approach emphasized in the Kaur, et al., (2024) stresses the requirement for comprehensive assessment techniques that involve soil sampling, measurement of greenhouse gas fluxes, analysis of soil health, and monitoring of crop yield. Such integrated approaches enable measurement of rates of carbon sequestration and establishment of overall environmental and agronomic benefits associated with various soil management approaches. The conclusions that come from these holistic assessments can inform agricultural policy, drive farm-level management decisions, and climate-smart agriculture research.

However, to unlock the full potential of smart agricultural technologies, technical barriers, adoption hurdles, and knowledge gaps need to be addressed. Together with researchers, technology developers, farmers, and policy makers, collective action is required to spur innovation, trigger uptake, and enable equitable access to these game-changing tools. While the world's agriculture is challenged on two fronts of supporting an increasingly large global populace and being among the tools needed to reduce the effects of climate change, wise technology for carbon sequestration in soil and precision management of fertilizers will remain instrumental to advancing sustainable food systems.

The confluence of sensor networks, digital technologies, and analytical platforms, Reza, et al. (2025) contend, hold unprecedented possibilities for optimizing nutrient use and

sequestering soil carbon. As the technologies enhance and become cheaper, they stand the chance of transforming agricultural systems to higher levels of sustainability, resilience, and productivity. By embracing these innovations and surmounting the resultant challenges through multi-disciplinary and collaborative interventions, the agricultural industry can be in a position to make a substantial contribution to global climate change mitigation while feeding current and future generations.

REFERENCES

- Agrahari, R. K., Kobayashi, Y., Tanaka, T. S. T., Panda, S. K., & Koyama, H. (2021). Smart fertilizer management: the progress of imaging technologies and possible implementation of plant biomarkers in agriculture. *Soil Science and Plant Nutrition*, 67(3), 248-258.
- Elbasiouny, H., El-Ramady, H., Elbehiry, F., Rajput, V. D., Minkina, T., & Mandzhieva, S. (2022). Plant nutrition under climate change and soil carbon sequestration. *Sustainability*, 14(2), 914.
- Fauziah, N. O., Fitriatin, B. N., Fakhurroja, H., & Simarmata, T. (2024). Enhancing Soil Nutritional Status in Smart Farming: The Role of IoT-Based Management for Meeting Plant Requirements. *International Journal of Agronomy*, 2024(1), 8874325.
- Kaur, M., Nagabhooshanam, N., Sharma, P., Singh, S., & Krishna, R. V. V. (2024). Quantifying the carbon sequestration potential of different soil management practices aimed at increasing organic content in soil and reducing the usage of chemical inputs. *GLOBAL NEST JOURNAL*, 26(7).
- Reza, M. N., Lee, K. H., Karim, M. R., Haque, M. A., Bicamumakuba, E., Dey, P. K., ... & Chung, S. O. (2025). Trends of Soil and Solution Nutrient Sensing for Open Field and Hydroponic Cultivation in Facilitated Smart Agriculture. *Sensors*, 25(2), 453.
- Bacenetti, J., Paleari, L., Tartarini, S., Vesely, F. M., Foi, M., Movedi, E., ... & Confalonieri, R. (2020). May smart technologies reduce the environmental impact of nitrogen fertilization? A case study for paddy rice. *Science of The Total Environment*, 715, 136956.

- Bulacio Fischer, P. T., Carella, A., Massenti, R., Fadhilah, R., & Lo Bianco, R. (2025). Advances in Monitoring Crop and Soil Nutrient Status: Proximal and Remote Sensing Techniques. *Horticulturae*, 11(2).
- Soussi, A., Zero, E., Sacile, R., Trincherro, D., & Fossa, M. (2024). Smart sensors and smart data for precision agriculture: a review. *Sensors*, 24(8), 2647.
- Teimoory, N., & Arasalan, T. B. (2024). Assessment of Smart Strategies for Mitigating Climate Change Impacts on agricultural Soils. *Nangarhar University International Journal of Biosciences*, 511-514.
- Tadesse, B., & Ahmed, M. (2023). Impact of adoption of climate smart agricultural practices to minimize production risk in Ethiopia: a systematic review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 13, 100655.
- Upendra, R. S., Ahmed, M. R., Omkar, A. V., Goyal, J., Chaitra, V., Muskan, H., ... & Akash, K. T. (2021, December). Smart Approaches to Measure Soil Fertility for Sustainable Agriculture. In *2021 Second International Conference on Smart Technologies in Computing, Electrical and Electronics (ICSTCEE)* (pp. 1-6). IEEE.

KETEN (*Linum usitatissimum* L.) TOHUMU: ÇOK AMAÇLI GIDA OLARAK KULLANILMASI VE ÖNEMİ

Mehmet Zeki KOÇAK¹

1. GİRİŞ

Diğer bir adıyla linseed olan leten tohumu, Linaceae familyasına ait olup yaklaşık 60-100 cm boylanabilen tek yıllık, otsu bitki olan keten (*Linum usitatissimum*) bitkisinin tohumudur. Latince adı “en faydalı” anlamına gelen keten bitkinin tohumları kahverengi ve sarı olmak üzere iki farklı renkte bulunur. Keten tohumu genellikle üç farklı şekilde tüketilmektedir: bütün tohum, öğütülmüş toz ya da yağ formunda. Bunun yanı sıra ilk kez Mısır’da kültüre alınmış olmakla birlikte, günümüzde başta Hindistan, Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Etiyopya ve Kanada olmak üzere dünyanın birçok yerinde yetiştirilmektedir. Ticari olarak, 1990’lı yıllara kadar kâğıt ve keten gibi tekstil ürünlerinin üretiminde kullanılmış; ayrıca keten tohumu yağı ve yan ürünleri hayvan yemlerinde değerlendirilmiştir (Nag ve ark., 2015; Koçak, 2024). Keten tohumu, insanlık tarihi boyunca tüketilen bir besin olmuştur. Ancak, içerdiği bazı biyoaktif bileşenlerin sağlığa olan önemli katkıları nedeniyle son 30 yılda beslenme ve hastalıkların araştırılması alanlarında yeniden ilgi odağı haline gelmiştir (Mueed ve ark., 2022).

Yaklaşık %40–50 oranında yağ içeren keten tohumunun bu yağı, büyük ölçüde faydalı çoklu doymamış yağ asitlerinden oluşmaktadır. Omega-3 yağ asitleri, çözünür ve çözünmez lifler,

¹ Doç. Dr. Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye. mehmetzekikocak@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8368-2478.

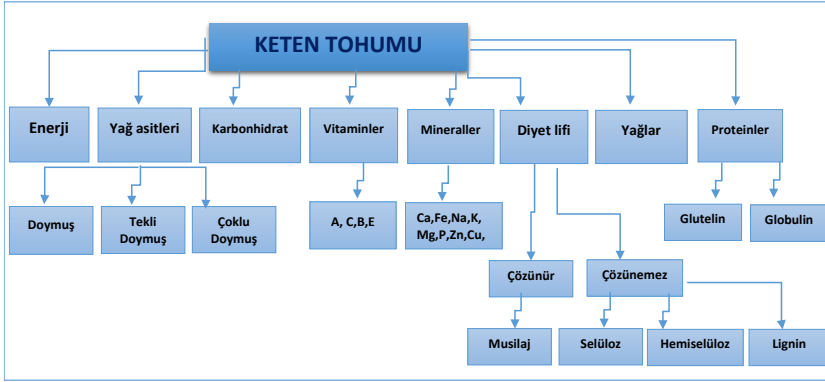
fitoöstrojenik lignanlar, proteinler ve antioksidanlar gibi çeşitli besin öğeleri bakımından oldukça zengindir. Vejetaryen bireylerin beslenmesinde alfa-linolenik asit açısından potansiyel bir kaynak olarak öne çıkmaktadır (Al-Madhagy ve ark., 2023).

Keten tohumu; yağ (%41), diyet lifi (%28), protein (%20), su (%8) ve kül içeriği (%3) olmak üzere çeşitli besin öğeleri içermektedir. Keten tohumu, 100 gramda 37–45 gram arasında değişen lipid ve 25–30 gram arasında değişen karbonhidrat içeriğine sahiptir. Glutamin, Arginin, Valin, Lösin, Tirozin ve Fenilalanin gibi amino asitler ile selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi çözünmeyen lif bileşenleri keten tohumu, keten tohumu küspesi ve izole proteinlerinde bol miktarda bulunmaktadır. Çözünür lifler ise büyük oranda musilaj (suyla çözünebilir polisakkaritler) yapısındadır. Keten tohumu musilajı, yüksek su tutma kapasitesi ve guar gamına benzer fizikokimyasal özellikler göstermesiyle dikkat çekmektedir (Pramanik ve ark., 2023)

Keten tohumu, üç ana fenolik bileşik grubunu içerir: fenolik asitler, flavonoidler ve lignanlar. Yağı alınmış keten tohumunda en yaygın bulunan fenolik asitler ferulik asit, klorojenik asit ve gallik asittir. Flavonoidler arasında en çok Flavon C- ve Flavon O-glikozitleri bulunur. Keten tohumunda en baskın lignan bileşiği ise seksoizolaricirezinol diglikozittir (SDG) (Mueed ve ark., 2022). Toplam lipid içeriğinin yaklaşık %53'ü alfa-linolenik asitten (ALA) oluşurken, %17'si linoleik asit, %19'u oleik asit, %3'ü stearik asit ve %5'i palmitik asitten oluşmaktadır. Bu nedenle, keten tohumundaki n-6/n-3 yağ asidi oranı genellikle 0.3:1 düzeyindedir (McCullough ve ark., 2011).

Ayrıca keten tohumu, fosfor (P), magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca), demir (Fe), çinko (Zn) ve düşük düzeyde sodyum (Na) gibi mineraller ile A, C, tiamin (B1), riboflavin (B2), niasin (B3), B6 ve E vitaminlerini içermektedir. Şekil 1'de keten tohumunun besin bileşimi detaylı bir şekilde sunulmaktadır

(Egbuonu, 2015). Faydalı fitokimyasalların yanı sıra, keten tohumu antinutrient bileşikler de içermektedir. Bunlar arasında fitik asit, linatin ve siyanojenik glikozitler yer almaktadır. Ayrıca, bu bitkinin topraktan kadmiyumu absorbe etme ve tiol içeren bitki proteinleriyle şelatlar oluşturma yeteneği önemli bir sorun teşkil etmektedir. Ancak, keten tohumu tüketimine bağlı olarak literatürde herhangi bir gıda zehirlenmesi ya da toksik etkiye rastlanmamıştır (Talwar ve ark., 2025).



Şekil 1. Keten tohumunun besin profili

Keten tohumu, dislipidemi, obezite, diabetes mellitus, çeşitli kanser türleri, böbrek yetmezliği, irritabl bağırsak sendromu, bağışıklık fonksiyonları gibi çok sayıda fizyolojik rahatsızlık ve bulaşıcı olmayan hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde etkili olan birçok biyolojik olarak aktif bileşen içermektedir. Keten tohumunun sağlık üzerine olumlu etkileri büyük ölçüde içerdiği omega-3 yağ asitleri, lignanlar ve diyet liflerinden kaynaklanmaktadır (Mueed ve ark., 2022).

Bitki kaynaklı alfa-linolenik asit (ALA) yağ asitlerinin inme riskini azaltma ile ilişkili olduğu ve kalp sağlığını iyileştirdiği gösterilmiştir. Antioksidan ve östrojenik özelliklere sahip lignanlar ise diyabet, meme ve prostat kanseri başta olmak üzere çeşitli kanser türlerinin önlenmesinde fayda sağlayabilir. Tohum musilajının ağızdan gastrointestinal yolla alımının;

yemek sonrası glisemik ve insülin yanıtlarının düzenlenmesi, hiperlipidemi önlenmesi, tokluk hissinin artırılması ve bağırsak mikrobiyotasının işlevinin düzenlenmesi gibi çeşitli sağlık yararları ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Talwar ve ark., 2025). Son yirmi yılda, sağlık üzerinde olumlu etkiler sağlayarak kronik hastalıkların riskini azaltabilen fonksiyonel gıdalara olan ilgi önemli ölçüde artmıştır. “Fonksiyonel gıdalar” terimi, tıbbi faydaları bilimsel olarak kanıtlanmış gıdaları tanımlamak için ortaya atılmıştır. Araştırmacılar, son yıllarda diabetes mellitusun çeşitli yönlerinin yönetiminde fonksiyonel gıdalarda bulunan biyoaktif bileşiklerin özelliklerine odaklanmış; bu bileşiklerin bazı terapötik potansiyelleri üzerine hem in vitro hem de in vivo çalışmalar yürütülmüş ve birçok analitik çalışma bu etkileri diyabet hastalarında doğrulamıştır. Pek çok fonksiyonel gıdada hipoglisemik ve hipolipidemik özellikler tespit edilmiştir (Essa ve ark., 2023).

Fonksiyonel bir gıda olan keten tohumunun da hipoglisemik ve hipolipidemik etkiler gösterdiği ve bu sayede tüketildiği gıdaların glisemik indeksini düşürdüğü çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur. Yüksek oranda diyet lifi, omega-3 yağ asitleri ve antioksidanlar içermesi; buna karşılık düşük karbonhidrat içeriğiyle diyabet karşıtı bir gıda niteliğindedir. Bu nedenle, keten tohumunun çeşitli gıda ürünlerine eklenmesi, diyabet hastalarının biyokimyasal profillerinde olumlu değişiklikler oluşturarak metabolik durumlarını iyileştirmektedir (Mueed ve ark., 2022; Duarte ve ark., 2025).

2. KETEN TOHUMU İLE HAZIRLANAN KATMA DEĞERİ YÜKSEK GIDA ÜRÜNLERİ

Yüzyıllar boyunca doğal bir tedavi edici olarak kullanılan keten tohumu, günümüzde fonksiyonel gıdalar alanında yeniden ön plana çıkmış ve geniş klinik faydalar sunan potansiyel bir

fonksiyonel bileşen olarak değerlendirilmektedir. Keten tohumu ilavesiyle üretilen gıda ürünleri, yüksek düzeyde doymamış yağ asitleri, protein, çözünebilir lif ve fitobesinler içermeleri nedeniyle giderek daha popüler hale gelmektedir. Keten tohumu; kavrulmuş ve öğütülmüş tohum formunda kullanılabileceği gibi, yağı da bitkisel yağ, stabil emülsiyonlar ve mikroenkapsüle toz formunda çeşitli gıda formülasyonlarında değerlendirilebilmektedir (Arslanoglu ve Aytaç, 2020; Koçak ve ark., 2023).

Fonksiyonel içecekler ve atıştırmalık ürünlerinde keten tohumu yağı veya ekstraktlarının kullanımı, antioksidan kapasitenin artırılmasına ve metabolik fonksiyonların desteklenmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, keten tohumu bileşenlerinin et ürünlerinde bağlayıcı ve besin değeri artırıcı özellikleri, hem geleneksel hem de bitkisel bazlı alternatif ürünlerin geliştirilmesinde önemli bir avantaj sunmaktadır. Keten tohumu, zengin besin içerikleri ve biyolojik aktif bileşenleri nedeniyle gıda teknolojisi alanında katma değeri yüksek, fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Gelecek çalışmalarda keten tohumunun biyoyararlanımının artırılması ve farklı gıda matrislerinde kullanımının optimize edilmesi, sektördeki uygulamalarının yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır (Ayelign ve Alemu, 2016).

3. KETEN TOHUMUNUN KARŞILAŞTIĞI ZORLUKLAR

Bölgedeki insanlar daha sağlıklı yaşam tarzlarını benimsemekte olup, bu durum çeşitli sağlık yararları ile ilişkilendirilen keten tohumuna olan talebin artmasında önemli etkenlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, keten tohumu göz ardı edilemeyecek bazı zorluklarla da karşı karşıyadır. Chia tohumu, pazarda keten tohumuna alternatif

olarak öne çıkan bitkisel kaynaklardan biridir. Besin içeriği ve sağlık faydaları açısından benzerlik gösterdiğinden, chia tohumları keten tohumlarına yakın bir ikame ürün olarak değerlendirilmektedir. Her iki tohum da besin öğeleri bakımından zengindir ve kan şekeri seviyelerinin düşürülmesi, kalp sağlığının desteklenmesi ve kanser riskinin azaltılması gibi sağlıkla ilişkili olumlu etkilerle ilişkilendirilmektedir. Keten tohumları ile karşılaştırıldığında, chia tohumları besin isteğini azaltmada daha etkili olup aynı zamanda yüksek lif içeriğine sahiptir (Essa ve ark., 2023; Koçak ve ark., 2023).

4. GELECEKTEKİ YÖNELİM

Yağlık ve lifli bir bitki olan keten (*Linum usitatissimum* L.), 6000 yılı aşkın süredir insanlar tarafından kullanılmakta olup, evcilleştirilen ilk bitkilerden biri olmuştur. Ancak günümüzde keten tohumu, yüksek besin değeri nedeniyle, bireylerin sağlık faydaları ve gıda endüstrisindeki kullanım alanları konusunda bilinçlenmesiyle birlikte nutrasötik (besin destekleri) alanında giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bununla birlikte, bu alanda hâlâ yeterince araştırılmamış bazı yönler bulunmaktadır. Bu makalede, söz konusu eksik kalan noktalara da ışık tutulmaya çalışılmıştır (Jhala ve Hall, 2010). Günümüzde insanlar, beslenme ile sağlık arasındaki önemli ilişkinin farkındadır. “Gıdan ilacın olsun” ilkesine inanan bireylerin sayısı artmaktadır. Bu nedenle fonksiyonel gıdalara olan talep arttıkça, bu ürünlerin üretimiyle birlikte oluşan atık miktarı da artmaktadır. Bu atıkların uygun şekilde bertaraf edilmemesi durumunda çevreye zarar verebilir, ayrıca beslenme ve ekonomik açıdan da olumsuz etkiler yaratabilir. Bu nedenle bu yönün de dikkate alınması gerekmektedir (Daliri ve Lee, 2015).

Ancak, yağ çıkarımı sonrası elde edilen keten tohumu küspesinde doğal olarak bulunan anti-besin bileşikler, özellikle

siyanojenik glikozitlerin varlığı, bu yan ürünün gıda ve yem olarak kullanımını sınırlamaktadır. Bu anti-besin bileşiklerini azaltmaya yönelik birçok laboratuvar ölçekli yöntem geliştirilmiştir. Bunlar arasında suda kaynatma, mikrodalga kavurma, ıslak otoklavlama, asit ile muamele ve ekstrüzyon pişirme gibi teknikler yer almaktadır. Bu yöntemler keten tohumu küspesindeki siyanojenik bileşikleri etkili bir şekilde azaltabilse de, aynı zamanda lignan gibi faydalı polar bileşikler üzerinde de önemli ölçüde olumsuz etki yaratmaktadır (Huang ve ark., 2023). Soęuk preslenmiş keten tohumu küspesi, siyanür içeriğinin azaltılmasıyla birlikte protein, yaę, lif ve lignanlar gibi faydalı bileşenlerin korunması açısından uygun bir sečenek olabilir. Yapılan bir çalışmada, soğuk presleme yöntemiyle elde edilen keten tohumu küspesi, düşük yağlı salata sosu formülasyonunda yağ ikamesi olarak kullanılmıştır. Bu yaklaşım, atıktan değere (waste-to-wealth) dönüştürme stratejisine örnek teşkil etmektedir (Imran ve ark., 2013).

Eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA) insan vücudu tarafından sentezlenemediği için dışarıdan alınmalı ya da omega-3 yağ asitlerinden, özellikle linolenik asitten, metabolik yollarla elde edilmelidir. Günümüz beslenme alışkanlıkları, günlük omega-3 yağ asidi alımının önerilen seviyelerin altına düşmesine yol açmıştır. Bu da, omega-3 yağ asitleriyle zenginleştirilmiş gıdalara olan gereksinimi artırmıştır. Güncel sağlık stratejilerinden biri, omega-3 yağ asitlerinin medikal ve sağlık odaklı yeni ürünlere entegre edilmesidir (Qin ve ark., 2023).

Ancak alfa-linolenik asidin (ALA) bazı dezavantajları mevcuttur: Isıya karşı son derece hassas olup, oksijen ve metal iyonlarına karşı reaktiftir. İşleme ve depolama sırasında acılaşmaya neden olan bileşiklerin oluşumuna yol açar. Bu nedenle keten tohumu yağı, doğası gereği, gıda ve süt ürünleri

endüstrisinde kullanım açısından kısıtlamalara sahiptir (Bush ve ark., 2019).

Son yıllarda çeşitli araştırmacılar, keten tohumu yağının stabilizasyonuna yönelik olarak ultrasonikasyon ve mikrokapsülasyon gibi teknolojiler üzerinde çalışmakta, ayrıca emülsiyon ve mikrokapsül geliştirme yollarını araştırmaktadır. Bununla birlikte, kapsülleme işleminin maliyeti, omega-3 bileşeninin maliyetinin iki katından fazla olabilmektedir. Ayrıca, depolama süresince ALA içeriği kolaylıkla azalabilmektedir. Bu nedenle, ALA'nın gıdalara eklendikten sonraki stabilitesini artırmak ve miktarının doğru şekilde belirlenmesini sağlamak amacıyla daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır (Tontul ve Topuz, 2014; Hamed ve ark., 2022).

5. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, keten tohumunun fırıncılık ürünleri, süt ürünleri, ekstrüde ürünler ve atıştırmalıklar da dâhil olmak üzere çeşitli gıdaların zenginleştirilmesinde kullanımını özetlemek ve diyabet hastaları üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Keten tohumu, gıdalardaki tuz, şeker ve doymuş yağ içeriğini azaltırken; omega-3 yağ asitleri ve diğer biyoaktif bileşenlerin içeriğini artırarak besin değerini yükseltmekte ve bu sayede sağlıklı alternatiflerin geliştirilmesine katkı sağlayabilmektedir. Bu biyoaktif bileşenlerin diyabet hastalarının hastalıklarını yönetmelerine yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Ancak, keten tohumu yan ürünlerinden biyoaktif bileşenlerin elde edilmesine yönelik çevre dostu ve maliyet etkin teknolojilerin geliştirilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Ayrıca, alfa-linolenik asidin (ALA) değer katılmış keten tohumu ile zenginleştirilmiş ürünlerin geliştirilmesi sürecindeki stabilizasyonuna yönelik uygulamalar, gıda endüstrisi için umut verici bir yaklaşım olacaktır.

KAYNAKÇA

- Al-Madhagy, S., Ashmawy, N. S., Mamdouh, A., Eldahshan, O. A., & Farag, M. A. (2023). A comprehensive review of the health benefits of flaxseed oil in relation to its chemical composition and comparison with other omega-3-rich oils. *European journal of medical research*, 28(1), 240.
- Arslanoglu, S. F., & Aytac, S. (2020). The important of flax (*Linum usitatissimum* L.) in terms of health. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 3(1), 95-107.
- Ayelign, A., & Alemu, T. (2016). The functional nutrients of flaxseed and their effect on human health: a review. *European Journal of Nutrition and Food Safety*, 6(2), 83-92.
- Bush, L., Stevenson, L., & Lane, K. E. (2019). The oxidative stability of omega-3 oil-in-water nanoemulsion systems suitable for functional food enrichment: A systematic review of the literature. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(7), 1154-1168.
- Daliri, E. B. M., & Lee, B. H. (2015). Current trends and future perspectives on functional foods and nutraceuticals. In *Beneficial microorganisms in food and nutraceuticals* (pp. 221-244). Cham: Springer International Publishing.
- Duarte, S., Shah, M. A., & Sanches Silva, A. (2025). Flaxseed in Diet: A Comprehensive Look at Pros and Cons. *Molecules*, 30(6), 1335.
- Egbonu, A. C. C. (2015). Comparative assessment of some mineral, amino acid and vitamin compositions of watermelon (*Citrullus lanatus*) rind and seed. *Asian J. Biochem*, 10(5), 230-236.

- Essa, M. M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S. B., Al-Balushi, B., Hamdan, H., & Qoronfleh, M. W. (2023). Functional foods and their impact on health. *Journal of Food Science and Technology*, 1-15.
- Hamed, S. F., Hashim, A. F., Abdel Hay, H., Abd-Elsalam, K. A., & El-Sherbiny, I. M. (2022). Microencapsulation of omega-3 rich flaxseed and fish oils. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(2), 623-638.
- Huang, C., Timothy, J. T., Purdy, S. K., Chicilo, F., Shen, J., Meda, V., & Reaney, M. J. (2023). Depletion of cyanogenic glycosides in whole flaxseed via *Lactobacillaceae* fermentation. *Food Chemistry*, 403, 134441.
- Imran, M., Anjum, F. M., Butt, M. S., Siddiq, M., & Sheikh, M. A. (2013). Reduction of cyanogenic compounds in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) meal using thermal treatment. *International Journal of Food Properties*, 16(8), 1809-1818.
- Jhala, A. J., & Hall, L. M. (2010). Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications. *Aust. J. Basic Appl. Sci*, 4(9), 4304-4312.
- Koçak, M. Z., Kumlay, A. M., & Alma, M. H. (2023). Morphological and molecular characterization of flax (*Linum usitatissimum* L.) accessions obtained from different locations in Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 70(8), 2235-2261.
- Koçak, M. Z. (2024). How growing conditions are influential on the agronomic attributes and fiber-related quality parameters of flax (*Linum usitatissimum* L.) fibers: A seismomorphogenesis approach. *International Journal of*

Agriculture Environment and Food Sciences, 8(1), 220-234.

- McCullough, R. S., Edel, A. L., Bassett, C. M., LaVallée, R. K., Dibrov, E., Blackwood, D. P., & Pierce, G. N. (2011). The alpha linolenic acid content of flaxseed is associated with an induction of adipose leptin expression. *Lipids*, 46, 1043-1052.
- Mueed, A., Shibli, S., Korma, S. A., Madjirebaye, P., Esatbeyoglu, T., & Deng, Z. (2022). Flaxseed bioactive compounds: Chemical composition, functional properties, food applications and health benefits-related gut microbes. *Foods*, 11(20), 3307.
- Nag, S., Mitra, J., & Karmakar, P. G. (2015). An overview on flax (*Linum usitatissimum* L.) and its genetic diversity. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 8(4), 805-817.
- Qin, J., Kurt, E., LBassi, T., Sa, L., & Xie, D. (2023). Biotechnological production of omega-3 fatty acids: Current status and future perspectives. *Frontiers in microbiology*, 14, 1280296.
- Pramanik, J., Kumar, A., & Prajapati, B. (2023). A review on flaxseeds: Nutritional profile, health benefits, value added products, and toxicity. *eFood* 4 (5), e114.
- Talwar, B., Chopra, R., Taneja, N. K., Chand, M., Homroy, S., Dhiman, A., & Chaudhary, S. (2025). Use of flaxseed cake as a source of nutrients in the food industry and possible health benefits-a review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 7(1), 22.
- Tontul, I., & Topuz, A. (2014). Influence of emulsion composition and ultrasonication time on flaxseed oil powder properties. *Powder technology*, 264, 54-60.

MODERN TARIMIN YENİ ARACI DRONLARIN GELİŞİMİ VE UYGULAMA OLANAKLARI

Birol TAŞ¹

1. GİRİŞ

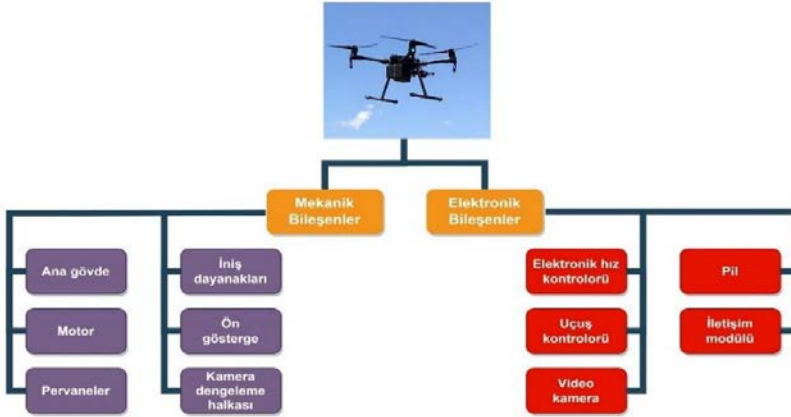
Tarımsal üretim, bir ülkenin ekonomik kalkınmasında ve gıda güvenliğinin sağlanmasında stratejik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, tarım sektörünün temel hedefi; bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetlerinde ekonomik verimlilik, sürdürülebilirlik ve üretkenliğe dayalı işletme modellerinin geliştirilmesidir. Bu bağlamda tarımda dijital teknolojilerin kullanımı giderek yaygınlaşmakta, özellikle dron teknolojisi bu teknolojik gelişmelerin neredeyse en başında gelmektedir (Dutta ve Goswami, 2020). Dron teknolojisi, son yıllarda tarımsal üretim süreçlerini dönüştüren devrim niteliğinde bir araç haline gelmiştir. Bu yenilikçi teknolojiler, tarım sektörü için verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek, ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak bakımından büyük bir potansiyel taşımaktadır. Dronlar, kameralar, multispektral ve termal sensörler, GPS, yapay zeka algoritmaları ve uzaktan kontrol sistemleri ile donatılmış insansız hava araçlarıdır. Dronlar geniş alanlarda hızlı veri toplama, yüksek hassasiyetle analiz yapma ve müdahale planlama kabiliyeti sayesinde modern tarımın dijital dönüşümünde stratejik bir rol üstlenmektedir (Ojaca ve ark.,2016) Dronlar ile elde edilen veriler, tarımsal karar alma süreçlerinde büyük değer taşırken, veri analitiği ve yapay zeka ile desteklenen çözüm önerileri,

¹ Prof. Dr., Bursa Uludağ Üni. Ziraat Fak. Tarla Bit. Blm., Bursa, Türkiye, biroltas@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4975-0278.

tarımın geleceğine yön veren stratejileri geliştirmede yardımcı olmaktadır (Demiryürek ve Ceyhan, 2020).

2. DRONUN BİLEŞENLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Dronun temel bileşenleri, mekanik ve elektronik bileşenler olmak üzere ikiye ayrılmakta olup, bu bileşenler Şekil 1’de gösterilmiştir. Tüm bu bileşenler, dronun herhangi bir yönde uçabilmesi, manevra kabiliyeti artırması ve stabilitesinin sağlanması, düşük hızlarda uçabilmesi gibi birçok yönden sağladığı avantajlar ile dronun daha hızlı, ekonomik ve daha verimli çalışmasını sağlamaktadır.



Şekil 1. Dronun Temel Bileşenleri

3. TARIMSAL UYGULAMALARDA DRON TEKNOLOJİSİNİN GELİŞİMİ VE KULLANIM ALANLARI

Dron teknolojisi, tarımsal üretimde ilk olarak 1990–1995 yılları arasında Japonya’da kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemde Yamaha markasına ait uzaktan kumanda ile kontrol

edilen helikopter tipi hava araçları, özellikle geniş çeltik tarlalarında ilaçlama amacıyla kullanılmıştır. 2009–2012 yılları arasında dron teknolojisinde yaşanan ilerlemeler sonucunda, elektrikle çalışan ve “quadrotor” olarak adlandırılan dört kollu döner kanatlı dronlar geliştirilmiştir. Bu yeni nesil dronların tarımsal amaçlarla kullanımı ilk olarak 2012–2013 yıllarında görülmüş; özellikle Çin ve diğer Uzak Doğu ülkelerinde hem üretim hem de kullanım açısından hızlı bir artış göstermiştir (Tripicchio ve ark., 2015).

Tarım sektöründe dron teknolojisinin yaygın olarak kullanılmaya başlanması, çok çeşitli uygulama alanlarının önünü açmıştır. Bu teknolojinin sunduğu olanaklar sayesinde, bitki hastalıklarının ve zararlı organizmaların tespitinden pestisit ile gübre uygulamalarına, yabancı otların haritalanmasından ürün verim tahminine kadar birçok tarımsal faaliyet daha verimli ve hassas biçimde yürütülebilmektedir. Ayrıca, bitki stres düzeylerinin belirlenmesi, fenolojik gelişim evrelerinin izlenmesi, tür ayrımı, otomatik tohum ekimi, su kaynaklarının etkin yönetimi ve hayvancılıkta sürü takibi gibi konularda da dronlardan etkin biçimde yararlanılmaktadır.

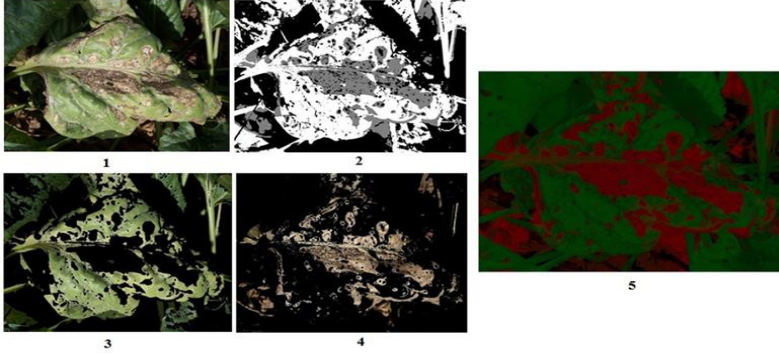
3.1. Bitki Hastalıkları ve Zararlılarının Erken Tespitinde Dronlar

Tarım arazilerinde bitki sağlığını izlemek amacıyla dronlara entegre edilen hiperspektral ve RGB kameralar sayesinde, hastalık ve zararlı etkenlerin neden olduğu belirtiler henüz gözle görülür hâle gelmeden önce saptanabilmektedir. Bu sayede müdahaleler hem zamanında hem de yalnızca gerekli alanlarda uygulanarak kimyasal kullanım miktarı azaltılabilmektedir (Bendig ve ark., 2014).

Dronların kullanımıyla elde edilen veriler, çeşitli spektral indekslerin hesaplanmasına da olanak tanımaktadır. Örneğin NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), GNDVI

(Green NDVI) ve PRI (Photochemical Reflectance Index) gibi indeksler kullanılarak bitki örtüsündeki farklılıklar analiz edilmekte ve hastalık ya da zararlı kaynaklı stres belirtileri tespit edilebilmektedir (Dutta ve Goswami, 2020).

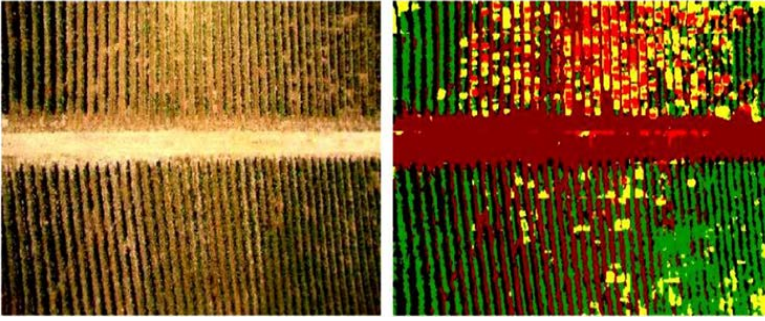
Altaş ve çalışma arkadaşları (2018), şeker pancarı tarlalarında yürüttükleri araştırmada, dronlar aracılığıyla elde ettikleri görüntüleri özel olarak geliştirilen görüntü işleme algoritmaları ile analiz etmişlerdir. Bu sayede, yaprak lekesi hastalığına (*Cercospora beticola* Sacc.) ilişkin belirtiler başarıyla tespit edilmiş; hastalığın varlığı ve şiddet seviyesi ortaya konmuştur (Şekil 2).



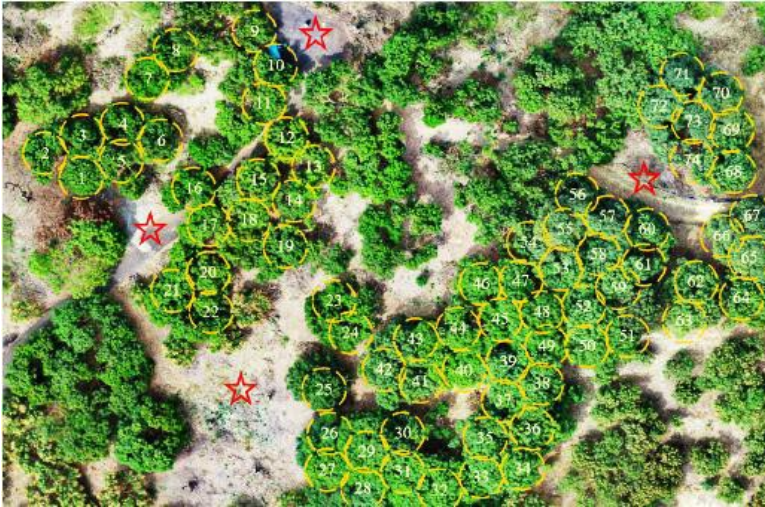
Şekil 2. Yaprak Leke Hastalığı Tespiti 1: Orijinal görüntü, 2: Piksel etiketleme, 3: Yeşil segment, 4: Kahverengi segment, 5: Kontrast geliştirme (Altaş ve ark., 2018).

Kerkech ve ekibi (2020) ise, bağ alanlarında mildiyö hastalığının teşhisinde dronlara entegre edilen RGB ve multispektral kameraları kullanmışlardır. Elde ettikleri görüntülerde piksel renkleri farklı yüzey özelliklerini temsil etmektedir: yeşil pikseler sağlıklı bitki alanlarını, kahverengi pikseler toprak yüzeyini ve siyah pikseler gölge bölgeleri ifade etmektedir. Hastalık semptomları ise; RGB görüntülerde sarı, kıızılötesi spektrumda ise turuncu pikselerle belirlenmiş, bu iki rengin kesiştiği alanlar kırmızıyla gösterilerek mildiyö etkisinin yoğunlaştığı bölgeler tanımlanmıştır (Şekil 3).

Chen ve arkadaşlarının (2021) gerçekleştirdiği çalışmada ise, meyve ağaçlarında zararlı organizmaların bulunduğu bölgeler dronlar yardımıyla belirlenmiş ve bu veriler doğrultusunda en uygun pestisit uygulama güzergâhı oluşturulmuştur. Zararlıların tespit edildiği noktaların çevresinde, 5 metrelik yarıçaplar içinde pestisit uygulaması gereken alanlar sarı noktalı dairelerle işaretlenmiş, dronların her uçuşta konum doğruluğunu sağlamak için kullanılan referans koordinat noktaları ise kırmızı yıldızlarla gösterilmiştir(Şekil 4).



Şekil 3. Mildiyö Hastalık Haritası (Kerkech ve ark., 2020)



Şekil 4. Pestisit Uygulanacak Alanlar (Chen ve ark., 2021)

3.2. Tarımsal İlaçlama ve Gübrelemede Dron Kullanımı

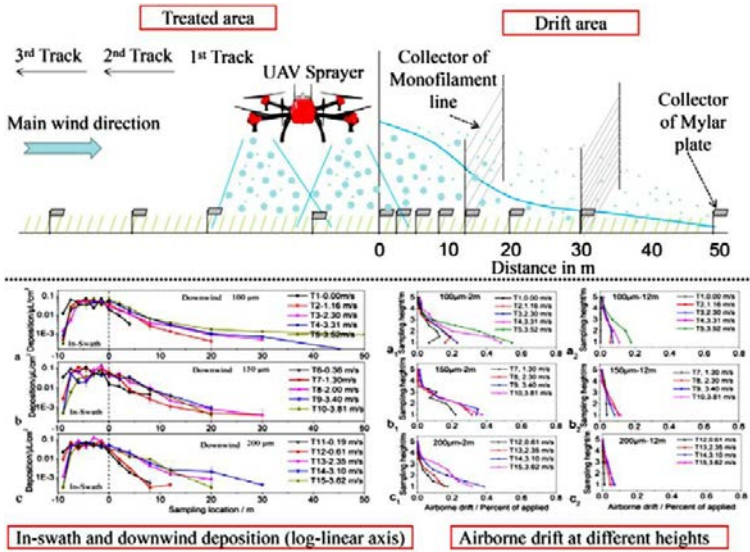
Tarımsal üretimde dronların en sık kullanıldığı alanlardan biri bitki koruma uygulamalarıdır. Modern dron sistemleri, özellikle erişilmesi güç veya eğimli arazilerde hızlı, homojen ve hassas ilaçlama yapabilme kabiliyeti sayesinde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu teknolojiler, tarım ilaçlarının daha etkili ve verimli kullanımını desteklemekte; çevresel etkileri azaltarak sürdürülebilir tarımı teşvik etmektedir (Oljaça ve ark., 2016).

İlaçlama dronlarının etkin bir şekilde kullanılabilmesi için bazı teknik ve uygulama esaslarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlar şu şekilde özetlenebilir:

- Etkili bir ilaçlama için, hedef yüzeye ilacın yeterli dozda ulaşması sağlanmalıdır. Bu doğrultuda damlacık çapı, uygulama dozu, damla yoğunluğu, damlacığın temas açısı ve kaplama oranı gibi parametreler büyük önem taşır.
- Uygulamanın verimli olabilmesi için püskürtme sistemi uygun şekilde yapılandırılmalıdır. Bu, meme sayısı ve tipi, püskürtme biçimi (boş konik, dolu konik, düz yelpaze gibi), memeler arası mesafe, eğim açısı, hüzme açısı, basınç seviyesi ve meme yüksekliğinin doğru ayarlanması ile mümkündür.
- Damlacıkların düzgün ve homojen bir şekilde dağılması sağlanmalı; uygulama boyunca dozda dalgalanma olmamalıdır.
- İlaçlama zamanlaması da başarıyı doğrudan etkileyen bir faktördür. Rüzgarsız, serin hava koşulları tercih edilmeli; sabah erken saatlerde ya da akşam serinliğinde uygulama yapılmalıdır. Ayrıca uygulamaya başlamadan önce uygun bir ilerleme hızı belirlenmelidir.

- İlaçlama kararı, ihtiyaç doğrultusunda verilmelidir. Kullanılacak ilaç türü, dozu ve karışımın homojenliği dikkatle değerlendirilmelidir. Hazırlanan karışım iyice karıştırılarak uygulamaya hazır hale getirilmelidir.

Wang ve arkadaşları (2020), düşük hacimli dron uygulamalarında tercih edilen ince ve çok ince damlacık boyutlarının, kullanım kolaylığı ve yüksek operasyonel verimlilik gibi avantajlarıyla öne çıktığını bildirmişlerdir. Yaptıkları deneylerde, santrifüj memelere sahip ticari bir kuadkopter kullanılarak farklı rüzgâr hızlarında 100, 150 ve 200 mikrometre hacimsel medyan çapına sahip damlacıkların sürüklenme potansiyelleri karşılaştırılmıştır (Şekil 5). Sonuçlar, rüzgâr hızının artması ve damlacık çapının küçülmesiyle birlikte sürüklenme miktarının da önemli ölçüde arttığını göstermiştir.



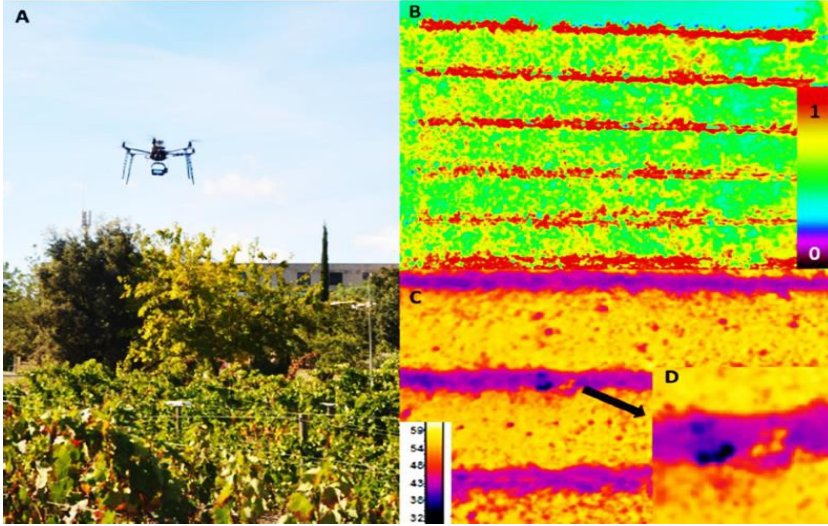
Şekil 5. İHA ile Tarımsal İlaçlamada Sürüklenmenin Belirlenmesi Çalışmasının Sonuçları (Wang ve ark., 2020)

3.3. Bitki Gelişimini İzlemede Dron Kullanımı

NDVI, GNDVI ve PRI gibi çeşitli spektral indeksler kullanılarak, bitkilerde su yetersizliği ya da besin eksikliğine

bağlı stres belirtileri henüz erken aşamalarda belirlenebilmektedir (Dutta ve Goswami, 2020). Ayrıca, termal görüntüleme sensörleriyle donatılan dronlar sayesinde bitki yüzey sıcaklıkları ölçülerek evapotranspirasyon düzeyleri analiz edilebilmektedir. Bu tür veriler, özellikle hassas sulama yönetimi açısından son derece değerlidir (Zhang ve Kovacs, 2012). Sınırlı su kaynaklarının sürdürülebilir biçimde kullanılmasının gerektiği kurak iklimlerde, bu teknolojiler vazgeçilmez bir tarımsal araç haline gelmiştir.

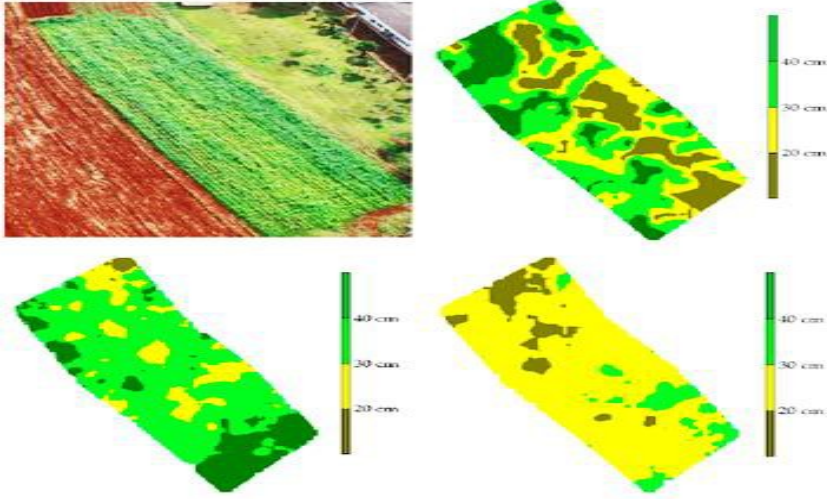
Gago ve ark. (2015) tarafından bağ alanlarında su stresi yönetimi için yapılan çalışmada, dron ile bir bağdan çeşitli yansıtma indeksleri elde edilmiştir. Bu yansıtma indekslerin su potansiyeli ve stoma iletkenliği gibi su stresi göstergeleriyle ilgili pozitif korelasyonlar gösterdiği bildirilmiştir. Şekil 6'daki sarı alanlar su stresinin olduğu bölgeleri göstermektedir .



Şekil 6. Su Stresinin Belirlenmesi (Gago ve ark., 2015)

Ore ve ark. (2020) tarafından mısır bitkisinin büyüme tahmini için model oluşturulması ve büyüme haritasının hazırlandığı çalışmada, SAR ile donatılmış dron kullanılmıştır. SAR, aynı uçuş yolunu takip eden farklı zamanlarda iki uçuş

arasındaki arazi yüksekliği yer değiştirmesi hakkında bilgi sağlamıştır. Araştırmacılar, SAR ile veri toplama işleminde öncelikle zemin ve radyometrik kalibrasyon için test alanına üç köşe reflektörü monte etmişlerdir. Üç farklı tarih aralığında elde edilen mısır bitkisi büyüme haritaları Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Mısır Bitkisi Büyüme Haritaları (Ore ve ark., 2020)

Toprak ve tarla analiz dronları, daha sonra sürprizlerin ortaya çıkmasını önlemek için büyüme sezonu boyunca toprak ve bitki yoğunluğunun izlenmesine yardımcı olabilir. Bu proaktif ve öngörücü izleme, çiftçilerin beklenmeyen sorunların önünde kalmasına, gerektiğinde değişiklikler yapmasına (örneğin, azotlu gübre ekleme, sulamayı ayarlama vb.) yardımcı olarak ürün sağlığını en üst düzeye çıkarabilir (Tsouros ve ark., 2019).

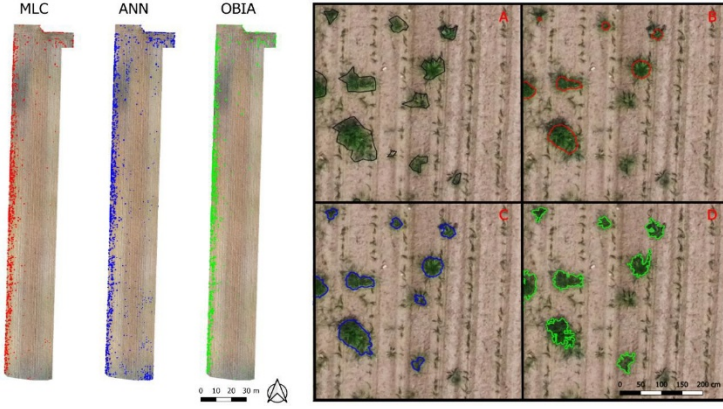
3.4. Yabancı Otların Belirlenmesinde Dron Teknolojisinin Kullanımı

Yabancı otlar, özellikle tahıllar, baklagiller ve endüstriyel bitkiler gibi ekonomik öneme sahip ürünlerde önemli düzeyde verim kayıplarına yol açabilmektedir. Geleneksel mücadele yöntemlerinde çoğu zaman geniş spektrumlu herbisitler rastgele şekilde uygulanmakta, bu durum hem çevresel olumsuzluklara

hem de artan üretim maliyetlerine neden olmaktadır (Christensen ve ark., 2009). Son yıllarda uzaktan algılama teknolojilerinin tarımsal uygulamalara entegrasyonu ile birlikte, dronlar yabancı otların erken teşhisi ve detaylı haritalanmasında etkili bir araç haline gelmiştir (Lottes ve ark., 2017).

Nesne tabanlı görüntü analizine (OBIA) dayanan yöntemlerle, yabancı otlarla kültür bitkileri arasındaki morfolojik farklılıklar değerlendirilebilmektedir. Ayrıca, derin öğrenme algoritmaları, özellikle Evrişimli Sinir Ağı (CNN) gibi modeller kullanılarak, görüntüler üzerinde yüksek doğrulukla yabancı ot sınıflandırması yapılabilmektedir (Dos Santos Ferreira ve ark. 2017). Elde edilen analiz sonuçları doğrultusunda tarladaki yabancı ot yoğunlukları haritalandırılır. Bu haritalar sayesinde, gerek traktör gerekse dron tabanlı ilaçlama sistemleri kullanılarak yalnızca gerekli alanlara müdahale edilmesi sağlanır. Böylelikle hem üretim maliyetleri düşürülür hem de çevreye olan kimyasal baskı azaltılır (Dutta ve Goswami, 2020).

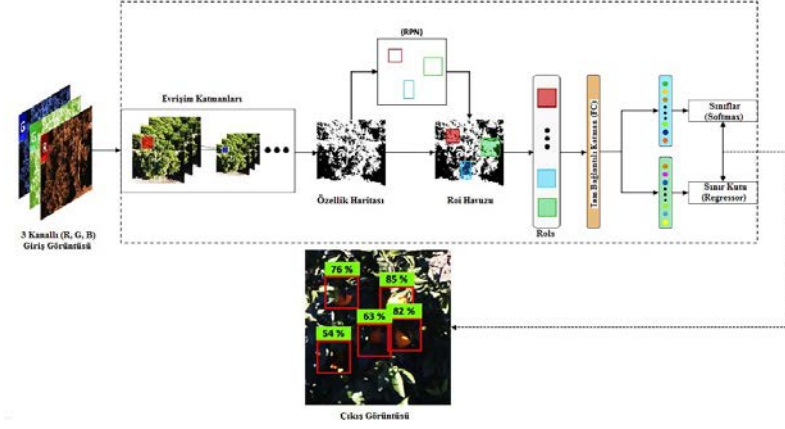
Mattivi ve ark. (2021) mısır bitkisinde yabancı otun mekânsal dağılımını belirlemek ve haritalamak amacıyla yaptıkları çalışmada yer seviyesinden 35 m yükseklikten 120 coğrafi referanslı fotoğraf elde etmişlerdir. Araştırmacılar, elde edilen görüntüleri yabancı otun tespit edilmesi için üç farklı yöntemle işlemişlerdir. Bu yöntemler Maksimum Olabilirlik Sınıflandırıcısı (MLC), SAGA GIS'de uygulanan OpenCV kütüphânesinin Yapay Sinir Ağı modeli (ANN), Nesne Tabanlı Görüntü Analizi (OBIA)'dır. Şekil 8'de bu üç yöntem ile elde edilen yabancı ot haritaları gösterilmiştir.



Şekil 8. Solda; MLC, ANN ve OBIA Yöntemi ile Elde Edilen Yabancı Ot Haritaları ve Sağda; Haritaların Detayı Referans Verileri, B) MLC, C) ANN, D) OBIA (Mattivi ve ark., 2021).

3.5. Meyve Verim Tahmini

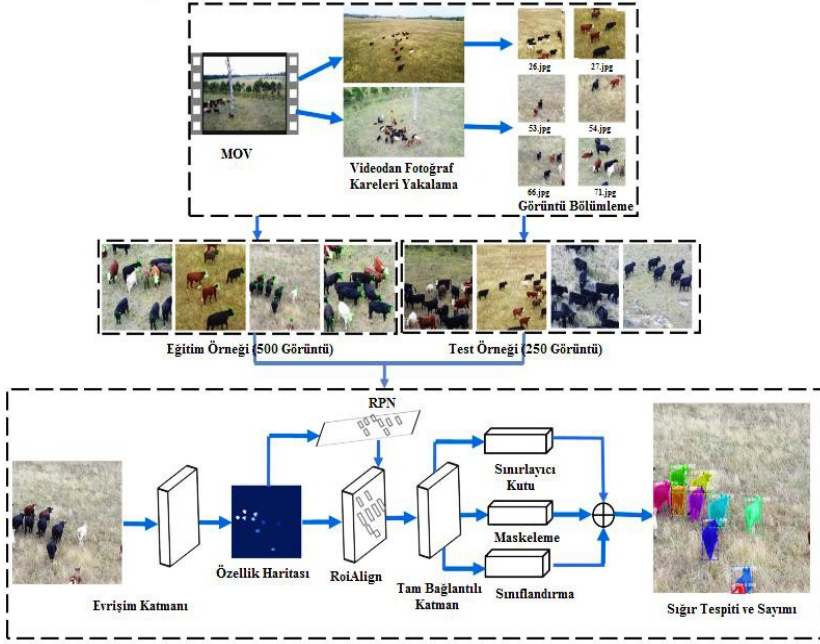
Multispektral görüntüler kullanılarak bitkinin genel sağlığı değerlendirilebilir. Sağlıklı bitkilerde meyve verimi genellikle daha yüksektir. Derin öğrenme modelleri (ör. YOLO, Faster R-CNN) kullanılarak meyveler tespit edilir ve sayılır. Ağaçların hacmi ve yaprak yoğunluğu gibi yapısal özellikleri, meyve yoğunluğu ile ilişkilendirilebilir. Bu işlem, özellikle LIDAR ya da fotogrametri ile 3B modellemelerde etkilidir. Farklı renk/ebatlara göre sınıflandırma yapılabilir. Toplanan veriler, geçmiş yıl verimleriyle ve yerden yapılan örnekleme (kalibrasyon) çalışmalarıyla ilişkilendirilerek makine öğrenmesi modelleri (örneğin regresyon analizi, yapay sinir ağları) eğitilir (Şekil 9). Bu modeller, farklı ağaçlarda gözlenen benzer özelliklerden yola çıkarak tüm bahçe veya tarlanın tahmini verimini hesaplar. Ticari olarak Pix4Dfields, DroneDeploy, Agremo, Plantix gibi yazılımlar bu uygulamayı destekler (Apolo-Apolo ve ark. 2020)



Şekil 9. Faster R-CNN Mimarisi (Apolo-Apolo ve ark., 2020)

3.6. Sürü Yönetimi

Günümüzde tarım ve hayvancılıkta dijitalleşmenin artmasıyla birlikte, verimliliği artırmak ve maliyetleri azaltmak amacıyla çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Bu teknolojilerden biri olan insansız hava araçları (İHA), özellikle sürü yönetiminde önemli avantajlar sağlamaktadır (Yallop ve ark., 2021). Geniş alanlarda hayvan takibini kolaylaştıran dronlar, hem yer iş gücünü azaltmakta hem de hayvan refahını izlemek için önemli bir araç haline gelmektedir. Sürü yönetimi amacıyla kullanılan dronlar genellikle yüksek çözünürlüklü RGB kameralar, termal görüntüleme sistemleri, GPS modülleri ve bazı durumlarda hoparlör sistemleriyle donatılmıştır (Barwick ve ark., 2020). Bu ekipman sayesinde hayvanların yerinin tespiti, sağlık durumlarının izlenmesi ve yönlendirilmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 10. Sığır Bulma ve Sayma Algoritmasının Yapısı (Xu ve ark., 2020)

Dronlar ile sürü yönetimi, özellikle büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık yapan işletmelerde hayvanların izlenmesi, yönlendirilmesi, sağlıklarının değerlendirilmesi ve güvenliklerinin sağlanması için kullanılan modern bir teknolojidir. Bu uygulama, özellikle geniş mera alanlarında ya da ulaşılması zor bölgelerde verimliliği artırmakta ve iş gücü ihtiyacını azaltmaktadır. Dronlar, sürü içerisindeki bireylerin otomatik olarak sayılmasını ve yerlerinin belirlenmesini sağlar. Termal kameralar, özellikle gece veya yoğun bitki örtüsü bulunan bölgelerde kayıp ya da saklanan hayvanların tespiti için kullanılır (Anderson ve Gaston, 2013). Görüntü işleme algoritmalarıyla hayvanların türlerine, büyüklüklerine göre sınıflandırılması da mümkündür. Bazı dron modelleri, sürüye sesli uyarılar göndererek yönlendirme yapabilir. Çoban köpeği sesi, düdük sesi veya insan komutları, hayvanların belli bir istikamete doğru ilerlemesini sağlar (Barwick ve ark., 2020). Ayrıca yapay zekâ

destekli dronlar, sürünün davranış kalıplarına göre otonom manevralar gerçekleştirebilir.(Şekil 10)

4. DRON TEKNOLOJİSİNİN TARIMSAL UYGULAMALARDA YAYGINLAŞMASININ ÖNÜNDEKİ ENGELLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

4.1. Ekonomik Erişim ve Teşvik Politikaları

Dron teknolojisinin tarımsal alanda yaygınlaştırılmasının önündeki temel engellerden biri, ilk yatırım maliyetlerinin yüksekliğidir. Bu durum, özellikle küçük ve orta ölçekli tarım işletmeleri açısından teknolojinin benimsenmesini zorlaştırmaktadır. Bu engelin aşılabilmesi için düşük faizli finansman seçenekleri, doğrudan devlet destekleri ve sübvansiyonlar gibi teşvik mekanizmalarının oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca, tarım kooperatifleri ve üretici birlikleri aracılığıyla ortak ekipman kullanımı gibi modellerin yaygınlaştırılması da teknolojiye erişimi kolaylaştıracaktır (Akkamış, 2020; Ercan ve ark., 2019).

4.2. Eğitim ve Teknik Kapasite Artırımı

Dronların etkin bir biçimde kullanılması, kullanıcıların bu alandaki teknik bilgi düzeyine doğrudan bağlıdır. Ancak pek çok bölgede çiftçilerin yeterli bilgiye sahip olmadığı görülmektedir. Bu nedenle, üniversiteler, kamu kurumları ve özel sektör iş birliğiyle uygulamalı ve sertifikalı eğitim programlarının hayata geçirilmesi, bu teknolojinin verimli kullanımını destekleyecektir

4.3. Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler

Tarım amaçlı dron kullanımının yaygınlaştırılması için, uçuş izinleri ve lisanslandırma süreçlerinin sadeleştirilmesi önem taşımaktadır. Hava sahasıyla ilgili

mevcut kısıtlamaların yeniden gözden geçirilmesi, kullanım alanlarının genişletilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca, dronlar aracılığıyla elde edilen tarımsal verilerin gizliliğini korumaya yönelik yasal düzenlemelerin oluşturulması da gereklidir (Akkamış, 2020).

4.4. Ar-Ge Yatırımlarının Desteklenmesi

Tarımda dron teknolojisinin daha etkin kullanılabilmesi için, teknik kapasiteyi artırmaya yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetlerine öncelik verilmelidir. Daha dayanıklı, geniş taşıma kapasiteli ve uzun ömürlü dron modellerine duyulan ihtiyaç devam etmektedir (Türkseven, Göksoy ve Yağanoğlu, 2016). Aynı zamanda, yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi ileri düzey teknolojilerin entegrasyonu, veri işleme ve analiz yeteneklerini geliştirerek karar destek sistemlerini güçlendirecektir.

4.5. Çevresel Etkiler ve Geri Dönüşüm

Dronların yaygın kullanımı ile birlikte elektronik atık yönetimi de önem kazanmaktadır. Kullanım ömrü sona eren parçalara ilişkin geri dönüşüm altyapılarının oluşturulması ve çevre dostu geri kazanım yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Buna ek olarak, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan çevreci dron modelleri geliştirilerek karbon salımı azaltılabilir (Akkamış, 2020).

4.6. Hizmet ve Paylaşım Dayalı Modeller

Teknolojinin daha geniş kitlelere ulaşabilmesi için kiralama ve hizmet tabanlı kullanım modelleri hayata geçirilmelidir. Dron hizmeti sunan firmaların sayısının artırılması, özellikle küçük ölçekli işletmeler için ekonomik erişimi mümkün kılacaktır (Türkseven ark., 2016).

4.7. Stratejik Planlama ve Uluslararası İş Birlikleri

Dron teknolojisinin tarımsal alana entegrasyonu, sadece teknolojik bir yenilik olarak değil; aynı zamanda tarımsal üretim, gıda güvenliği, kırsal kalkınma ve çevresel sürdürülebilirliği kapsayan stratejik bir yaklaşım olarak ele alınmalıdır. Bu doğrultuda, ulusal düzeyde uzun vadeli politikalar geliştirilmeli, aynı zamanda uluslararası düzeyde bilgi ve deneyim paylaşımını içeren iş birlikleri teşvik edilmelidir (Ercan ve ark., 2019; Türkseven ark., 2016).

KAYNAKLAR

- Akkamış, M., & Çalışkan, S. (2020). İnsansız hava araçları ve tarımsal uygulamalarda kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*.
- Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138–146.
- Apolo-Apolo, O. E., Martínez-Guanter, J., Egea, G., Raja, P., & Pérez-Ruiz, M. (2020). Deep learning techniques for estimation of the yield and size of citrus fruits using a UAV. *European Journal of Agronomy*, 115, 126030.
- Barwick, J., Lamb, D. W., Dobos, R., Welch, M., & Trotter, M. (2020). Categorising sheep activity using movement sensors. *Agricultural Systems*, 178, 102738.
- Bendig, J., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Eichfuss, S., & Bareth, G. (2014). Estimating biomass of barley using crop surface models (CSMs) derived from UAV-based RGB imaging. *Remote Sensing*, 6(11), 10395–10412.
- Böhler, J. E., Schaepman, M. E., & Kneubühler, M. (2020). Crop separability from individual and combined airborne imaging spectroscopy and UAV multispectral data. *Remote Sensing*, 12(8), 1256.
- Chen, C. J., Huang, Y. Y., Lu, Y. S., Chen, Y. C., Chang, C. Y., & Huang, Y. M. (2021). Identification of fruit tree pests with deep learning on embedded drone to achieve accurate pesticide spraying. *IEEE Access*, 9, 21986–21997.
- Christensen, S., Søgaaard, H. T., Kudsk, P., Nørremark, M., Lund, I., Nadimi, E. S., & Jørgensen, R. (2009). Site-specific weed control technologies. *Weed Research*, 49(3), 233–241.

- Dos Santos Ferreira, A., Freitas, D. M., da Silva, G. G., Pistori, H., & Folhes, M. T. (2017). Weed detection in soybean crops using ConvNet. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 314–324.
- Dutta, G., & Goswami, P. (2020). Application of drone in agriculture: A review. *International Journal of Chemical Studies*, SP-8(5), 181–187.
- Ercan, Ş., Türkseven, S., & Kaya, H. (2019). Tarım 4.0 ve Türkiye’de uygulanabilirliği. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 35(2), 101–114.
- Gago, J., Douthe, C., Coopman, R. E., Gallego, P. P., Ribas-Carbo, M., Flexas, J., Escalona, J., & Medrano, H. (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*, 153, 9–19.
- Kerkech, M., Hafiane, A., & Canals, R. (2020). Vine disease detection in UAV multispectral images using optimized image registration and deep learning segmentation approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 105446.
- Li, X., & Xing, L. (2019). Reactive deployment of autonomous drones for livestock monitoring based on density-based clustering. *2019 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 19283603.
- Lottes, P., Khanna, R., Pfeifer, J., Siegwart, R., & Stachniss, C. (2017). UAV-based crop and weed classification for smart farming. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 3024–3031.
- Mattivi, P., Pappalardo, S. E., Nikolic, N., Mandolesi, L., Persichetti, A., Marchi, M. D., & Masin, R. (2021). Can commercial low-cost drones and open-source GIS

technologies be suitable for semi-automatic weed mapping for smart farming? A case study in Italy. *Remote Sensing*, 13(10), 1869.

- Oljača, M. V., Gligorević, K., Pajić, M., Zlatanović, I., Dražić, M., Radojičić, D., & Dimitrovski, Z. (2016). Application of drone in agriculture. *18th Scientific Conference on Agricultural Engineering, University of Belgrade*, 89–93.
- Ore, G., Alcântara, M. S., Góes, J. A., Oliveira, L. P., Yepes, J., Teruel, B., ... & Hernandez-Figueroa, H. E. (2020). Crop growth monitoring with drone-borne DInSAR. *Remote Sensing*, 12, 615.
- Tao, H., Feng, H., Xu, L., Miao, M., Yang, G., Yang, X., & Fan, L. (2020). Estimation of the yield and plant height of winter wheat using UAV-based hyperspectral images. *Sensors*, 20, 1231.
- Tripicchio, P., Satler, M., Dabisias, G., Ruffaldi, E., & Avizzano, C. A. (2015). Towards smart farming and sustainable agriculture with drones. In *2015 International Conference on Intelligent Environments* (pp. 140–143).
- Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349.
- Türkseven, S., Güçlü, M., & Aydın, Z. (2016). Tarımda dijital dönüşüm ve insansız hava araçları. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12(3), 45–59.
- Wang, G., Han, Y., Li, X., Andaloro, J., Chen, P., Hoffmann, W., Han, X., Chen, S., & Lan, Y. (2020). Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. *Science of the Total Environment*, 737, 139793.

- Xu, B., Wang, W., Falzon, G., Kwan, P., Guo, L., Chen, G., Teit, A., & Schneider, D. (2020). Automated cattle counting using Mask R-CNN in quadcopter vision system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171, 105300.
- Yallop, A. R., Boinot, S., & Dufour, A. (2021). Unmanned aerial systems for monitoring grazing livestock. *Remote Sensing in Agriculture and Forestry*, 12(9), 1537.
- Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712.

AKADEMİK PERSPEKTİFTEN
TARLA BİTKİLERİ YETİŞTİRME VE ISLAHI

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com