



# Uzaktan Algılama, Yapay Zekâ ve Geleceğin Akıllı Tarım Teknolojisi Trendleri

Muhammet Fatih Çakmakçı<sup>1</sup>, Ramazan Çakmakçı<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8035-0278), [202151075005@ogr.akdeniz.edu.tr](mailto:202151075005@ogr.akdeniz.edu.tr)

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1354-1995), [rcakmakci@comu.edu.tr](mailto:rcakmakci@comu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 31 Temmuz 2023 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10439935)

**ATIF/REFERENCE:** Çakmakçı, M.F. & Çakmakçı, R. (2023). Uzaktan Algılama, Yapay Zeka ve Geleceğin Akıllı Tarım Teknolojisi Trendleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 234-246.

## Öz

Gelecek vadeden bir sektör olarak dijital tarım ve teknolojiler; verimliliği ve üretkenliği iyileştirmeye, biyolojik çeşitliliğin ve toprağın korunmasına, gıda güvenliğinin iyileştirilmesine, sağlık ve beslenmeye, iklim değişikliği ile mücadelede ve kıt kaynaklar üzerindeki baskının azaltılmasına yardımcı olabilir. Akıllı tarımda nesnelerin interneti (Nİ), kablosuz sensör ağları (KSA), uzaktan algılama (UA), insansız hava araçları (İHA), büyük veri analitiği, makine öğrenmesi (MÖ), derin öğrenme (DÖ) ve yapay zekâ (YZ) kullanımı, tarım ve endüstrinin uzun ömürlü ve sürdürülebilir olması için kritik öneme sahiptir. Tarımda YZ ve MÖ, öncelikle verim tahmini, yabancı ot, hastalık, azot ve su stresi tespiti, ürün kalite özelliklerinin tespiti ve sınıflandırılması, bitki türlerinin tanımlanması ve sınıflandırılması gibi bitki yönetimi alanlarında kullanılacağı gibi evapotranspirasyon ve sıcaklık tahmini, toprak kurummasının değerlendirilmesi, toprak sıcaklığı, toprak nemi, sulama zamanı, miktarı ve optimizasyonunun belirlenmesi, toprakta karbon ve azot tahmini gibi toprak ve su yönetiminde öneriler sunabilir. Bu derlemede, tarımı daha verimli hale getirme ve sürdürülebilirlik için KSA, Nİ, YZ ve MÖ gibi temel teknolojiler kullanılarak bilginin algılanması, izlenmesi, toplanması, analiz edilmesi ve bilgilerden anlamlı öngörüler çıkarılarak tarımsal faaliyetlerde uygulanabilirliği tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay zekâ (YZ), Makine öğrenmesi (MÖ), Nesnelerin interneti (Nİ), Tarımsal uzaktan algılama (UA), Hassas tarım (HT).

## Remote Sensing, Artificial Intelligence and Smart Agriculture Technology Trends of the Future

### Abstract

As a promising sector, digital agriculture and technologies can help improve efficiency, productivity, and food security, protect biodiversity and soil, while also helping to improve food security, nutrition and health, combat climate change and reduce pressure on scarce resources. The use of the internet of things (IoT), wireless sensor networks (WSN), remote sensing (RS), unmanned aerial vehicles (UAVs), big data analytics (BDA), machine learning (ML), deep learning (DL) and artificial intelligence (AI) in smart agriculture is critical for the long-term viability and sustainability of agriculture and industry. In agricultural terms, AI and ML can be used in crop management areas such as yield prediction, weed, disease, nitrogen, and water stress detection, detection and classification of crop quality characteristics, and classification of plant species, as well as suggestions and insights can provided on water management and soil management such as estimation of evapotranspiration and temperature, evaluation of soil drying, estimation of soil temperature and soil moisture, determination of irrigation time, amount and optimization, and prediction of soil carbon and total nitrogen. In this review, its applicability in agricultural activities such as sensing, monitoring, collecting, analysing, and extracting meaningful insights from information by using basic technologies such as WSN, IoT, AI and ML to make agriculture more efficient and sustainable is discussed.

**Keywords:** Artificial Intelligence (AI), Machine Learning (ML), Internet of Things (IoT), Agricultural remote sensing (RS), Precision agriculture (PA).

\* Sorumlu Yazar: [rcakmakci@comu.edu.tr](mailto:rcakmakci@comu.edu.tr)

## 1. Giriş

Tarım sektörünün verimli ve sürdürülebilir olması, dolayısıyla gıda güvenliğinin sağlanması; tarımın geçirdiği üçüncü ve dördüncü sanayi devrimi dönemlerinden sonra daha önemli hale gelmiştir. Nüfus artışıyla birlikte gıda talebi, girdi maliyeti, iklim ve çevresel baskı artmakta, su arzı düşmekte, biyolojik çeşitlilik azalmakta, beslenme ve gıda güvenliği sorunları ve bozulan ekilebilir arazilerin restorasyon ihtiyacı oluşmaktadır. Tarım ve gıda üretimi fazla suya ihtiyaç göstermekte ve bilinçsizce kullanılan bitki besin maddeleri (Kılıç, 2020), ilaçlar ve benzeri girdiler su kirliliğini artırmaktadır. Yeraltı sularındaki nitrat, azot ve fosfor kirliliğinin artması, toprağın sağlık ve üretkenliğinin bozulması gibi sorunlar girdi kullanımını azaltan teknolojilerin tarımda kullanımını zorunlu hale getirmektedir (Çakmakçı, 2019).

Avrupa Birliği (AB), biyolojik esaslara dayalı bir ekonomi önermekte, çiftlikten çatala (F2F) stratejisiyle gıda sisteminin iklim değişikliğine karşı direncini artırmak, tarımsal girdilerin daha verimli kullanılması için dijital teknolojilerin önemine ve spesifik strateji olarak biyolojik gübreler, biyoenerji ve biyokimyasalların geliştirilmesine vurgu yapmaktadır (EC, 2020). Geleceğin tarım stratejilerinde iklim değişikliğine uyum, hassas teknolojilerle kaynak kullanım etkinliğinin artırılması, dijital teknolojilerin teşviki, hassas tarım (HT), yapay zekâ (YZ) uygulamalarının yaygınlaştırılması, toprak işleme, gübreleme ve bitki koruma için yenilikçi teknolojiler geliştirilmesi/uygulanması gerektiği vurgulanmaktadır (MacPherson vd., 2022). Biyoçeşitliliğin ve ekosistemlerin pestisit kullanımı ve gübre kaynaklı aşırı besin birikimi ile olumsuz etkilendiğini öngören AB, bunların korunması kapsamında 2030 yılına kadar pestisit kullanımını %50, AB nitrat direktifi uyarınca, düşük girdili tarım ve HT ile gübre kaynaklı besin maddelerinin %20 azaltılacağını öngörmektedir (EC, 2020).

Tarımda YZ ve YZ'nin sunduğu tahmine dayalı analitik ve bağlantılı sensörler; bitki verimiyle birlikte su, bitki besin maddeleri ve diğer girdilerin kullanım etkinliğini artırabilmektedir. Uzaktan algılama teknolojileri, veri toplama, analizi, depolama, yönetimi, aktarımı ve paylaşımı, iletişim ve işleme teknolojisi alanlarındaki gelişmeler, çok fazla verinin transferini ve analitik süreçleri otomatikleştirme yeteneğini artırmıştır. Yüksek verimli ve sürdürülebilir tarım için uzaktan algılama sistemlerinin tarıma entegre edilmesi, gelişmiş algoritmaların, sensörlerin, YZ ve büyük verilerin kullanımı vazgeçilmez hale gelmiştir (Martos vd., 2021).

Günümüzde veri toplama, analiz ve değerlendirme, üretimin optimizasyonu, ticaret ve akıllı tarım uygulamalarında uzaktan algılama (UA), nesnelerin interneti (Nİ), insansız hava araçları (İHA), bulut bilişim teknolojisi, akıllı sensörler, blok zinciri, robotik, karar destek sistemleri (KDS), geniş alan ağları (GAA), kablosuz sensör ağları (KSA), derin sinir ağları (DSA), yapay zekâ (YZ), düşük güçlü geniş alan ağları (LPWAN), uzun menzilli geniş alan ağları (LoRaWAN), büyük veri analitiği (BVA), makine öğrenimi (MÖ) ve derin öğrenme (DÖ) algoritmaları gibi teknolojilerin farklı kombinasyonları umut verici gelişmeler olarak tarımda başarıyla uygulanmaktadır (Pivoto vd., 2018; Das vd., 2019; Boursianis vd., 2022; Javaid vd., 2022; MacPherson vd., 2022). Su ve gübre gibi girdi maliyeti ve kayıplarını azaltan, bitkisel verim, kalite ve kaynak kullanım etkinliğini artıran teknolojik yenilikler ile ekonomik, sosyal ve çevresel birçok sorunun çözülebileceği tahmin edilmektedir (Dayıoğlu ve Türker, 2021).

Yapay zeka, bir veri analiz yöntemi olan MÖ ve MÖ'nün alt kümesi olan ve insan beyni işlevlerini taklit eden yapay sinir ağlarından oluşan derin öğrenmeyi içermektedir. YZ, insan beyni gibi çalışan bir teknoloji geliştirmekte, düşünme ve öğrenmeden, problem çözmeye kadar birçok işlevi tasarlamakta ve uygulamaktadır. Geçmiş verilerden problemi öğrenip geleceği tahmin etme bilimi olan YZ'nin temel parçalarından biri MÖ olup programlamadan birşey öğrenme yeteneği, diğeri ise DÖ olup, DSA aracılığıyla verilerin öğrenilmesidir (Kodali ve Sahu, 2016; Sukhadia vd., 2020). Ayrıca YZ'nin önemli bir ayağı olan sinir ağları, DÖ algoritmalarının esasını oluşturur (Gu vd., 2018). YZ, MÖ, bilgisayarla görme, derin öğrenme, görüntü işleme ve sinir ağları gibi birçok alanı kapsamakta (Patrício ve Rieder, 2018; Kale ve Patil, 2019); toprak sağlığı, bitki verimi ve herbisit direnci gibi birçok tarımsal sorunu çözmeye ve verimi artırmaya yardımcı olmaktadır. Sürdürülebilirlik ilkelerine ulaşmak için, YZ ile birleştirilmiş uydu görüntüleme, İHA gibi uzaktan algılama teknolojileri, arazi kullanım değişimlerini izleme (Ferreira vd., 2020) ve değişken oranlı teknolojilerle gübre kaynaklı nitroz oksit, pestisit kalıntısı ile olan toksisite ve besin dengesizliğinin azaltılması gerekmektedir (Lieder ve Schröter-Schlaack, 2021).

YZ, bilgisayarların görsel algılama, konuşma tanıma ve karar verme gibi zekâ gerektiren insana özgü görevleri karşılamak için etkileşime girmesine, akıl yürütme ve öğrenmesine yardımcı olur. DÖ, nesneleri algılama, hareketleri izleme, eylem tanıma, poz tahmini ve anlamsal segmentasyon gibi çeşitli bilgisayar görme problemlerinde büyük gelişmeler sağlarken (Voulodimos vd., 2018), Nİ sensörler ve cihazlar kullanarak veri toplama ve alışverişi sağlamakta ve YZ'nin çıkarımlar yapmasını sağlayan büyük veri üretebilmektedir. Akıllı sistemler; çalışmak ve öğrenmek için bulut bilişim, makineler arası iletişim, büyük veri analitiği ve Nİ kombinasyonunu kullanmaktadır. Diğer endüstrilerin gerisinde kalmasına ve az dijitalleşmesine rağmen; tarımda YZ araştırmaları, bitki ve toprak izleme sistemleri, bilgisayarlı görme algoritmaları, otonom robotlar ve akıllı karar destek sistemleri giderek daha fazla önem ve ivme kazanmaktadır.

## 2. Tarım ve Gıda için Dijital Teknolojiler

Tarım sektörünün dijitalleşmesini gerektiren çiftlik içi ve dışı itici faktörler arasında; tarımsal verimlilik ve sürdürülebilirliğin geliştirilmesi, iklim değişikliğine uyum ve etkilerinin azaltılması, pazarlara erişimin ve iyi yönetimin temini, değer zinciri yönetimi, ticaret gereksinimleri ve tüketici talebi bulunmaktadır. Dijital tarımın gıda sistemlerinde sürdürülebilirliğe yönelik iyileştirmeler sağlayabildiği; değişken oran teknolojileri (VRT), Nİ, bulut bilişim, verim haritalama, dijital toprak haritalama, sensörler ve İHA gibi teknolojilerin tarımsal hedeflerin çoğuna ve çeşitli sürdürülebilirlik ilkelerine ulaşmak için uygun olduğu; uydu görüntüleri, YZ gibi teknolojilerin biyokütle üretimi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve iklim değişikliğini azaltma için önemli olduğu belirtilmektedir (MacPherson vd., 2022). Tarımda uyduya, drona ve insanlı araca monteli veri toplama teknolojileri, izleme ve uzaktan algılama sistemleri giderek artmaktadır. Başta su ve hava kalite sensörleri, nem içeriği, elektrik iletkenlik sensörleri, ot arayıcı sensörler, sıcaklık,

rüzgâr hızı ve pH ölçüm sensörleri, su akış sensörleri, yerinde toprak, bitki, hayvan, biyoçeşitlilik, haşere ve istilacı tür monitörleri gibi dijital algılama teknolojileri tarım ve gıda alanında yaygınlaşmaktadır. Birçok Nİ teknolojisi, özellikle sulama ve su kalitesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Araştırmalar sonucunda bitki kök bölgesi toprağı görüntülerinden su içeriğini optik olarak tahmin eden otomatik sulama sistemi (Javaid vd., 2022) ve bir işlemci tarafından çalıştırılan ve tamamen insansız kontrol edilen damla sulama sistemi geliştirilebilmiştir (Kavianand vd., 2016). Nİ teknolojileri kullanılarak buğdayda hastalık, zararlı ve yabancı otların izlenmesi, tahmini ve kontrolü için öneri sistemi oluşturulmuştur. (Zhang vd., 2014). Veriye dayalı teknolojilerden yararlanan dijital tarım, sadece verimliliğı, üretkenliğı ve gıda güvenliğini iyileştirmeyip biyolojik çeşitliliğın ve toprağın korunması ve insan sağılığı açısından da önemlidir.

Veri analiz teknolojileri arasında, veri temizleme ve büyük veri analiz algoritmaları, MÖ ve tahmine dayalı analitik gibi DÖ uygulamaları ile bulut depolama, gizli bilgi işlem ve sanal veri merkezleri gibi veri toplama teknolojileri giderek önem kazanmaktadır. Veriler, üretim süreçlerinde bilgi ve tavsiye oluşturma ve faaliyetleri otomatikleştirme amacıyla kullanılmaktadır. Veri yönetimi, aktarımı ve paylaşımı teknolojileri, makine destekli dijital iletişim, görüntü tabanlı kontrol, ticaret, ödeme, hizmet ve veri görselleştirme teknolojileri gelecekte gıda ve tarım için faydalı olacaktır. Tarımsal alandaki bu yenilikler makinelerin ve sistemlerin bilgi edinme, uygulama ve akıllı davranış yeteneğı olarak tanımlanabilen YZ sayesinde gelişmektedir. Geleceğı uygun şekilde tahmin etmek, değiştirmek, iyileştirmek, onarmak için geçmiş deneyim ve verileri kullanan MÖ sürdürülebilir toprak ve tarım yönetiminde oldukça fazla uygulama alanı bulmuştur.

Tarımda dijital veri ve teknolojiler, çiftliklerin iyi yönetiminden üretkenlik ve kaynak kullanımına, düşük teknolojik çözümlerden saha içi sensör ve Nİ, büyük veri analitiğı, süreçlerin otomasyonu, robotik ve YZ'ye kadar birçok alanda kullanılmaktadır (OECD, 2022). Tarım sistemlerinde YZ tabanlı robotik ekim, ilaçlama, biçme, toplama, kontrol, hasat, ürün ayırma ve paketleme gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Ancak, robotik teknolojilerin tarımda kullanımını yavaş ilerlemektedir. Kullanımın yaygınlaşması, hız ve doğruluklarının artırılmasına bağlıdır. Birçok faydalı yönüne rağmen dijital teknolojilerin yaygınlaşmasının önündeki engeller olarak yüksek yatırım maliyetleri (Rose ve Chilvers 2018) ve eğitim hizmetlerinin yetersizliğı (Paustian ve Theuvsen, 2017) söylenebilir. Geleceğın tarımında daha önemli olacak verilerin kontrolü büyük tarım şirketlerinin eline geçtiğinde, bunun sürdürülebilirlik ilkelerine uygun kullanılıp kullanılmayacağı konusu belirsizdir.

### **3. Tarımsal Uzaktan Algılama**

Uzaktan algılama (UA), bitkileri tahrip etmeden uzaktan büyük ölçekte izlenmesine olanak sağlar. UA, insansız kara araçlarına, uyduya veya saha robotlarına monte edilmiş bitkilerden yansıyan elektromanyetik radyasyondan bilgi üretilen işleyebilen sensörleri içerir. Günümüz tarımında en önemli teknolojilerden biri olan UA'nın temelini, çevrenin ve bitkinin tüm bilgilerini sağılayan yer tabanlı, uzay ve hava kaynaklı sensörler oluşturur. Sistem biyokimyasal, morfolojik, fenolojik ve fizyolojik fonksiyonel özellikler olarak tanımlanan (Weiss vd., 2020) ve bitkinin performans ve uygunluğunu belirleyen özelliklerden veri ve çözüm üretmeye yöneliktir. UA tarafından sunulan bitki yoğunluğu, yaprak alanı, yaprak içeriğı ve işlevleri, bitki örtüsü, toprak sıcaklığı ve nemi gibi bilgiler işlenip, bitki sağılığı, besin eksikliğı, sulama süresi ve miktarı ve verim tahmininde kullanılmaktadır (Weiss vd., 2020; Martos vd., 2021). Tarımda UA uygulamaları; HT, iyi çeşitlerin tanılanması, bitki yönetiminin optimizasyonu, tarım fenolojisi, biyoçeşitlilik taraması, üretim tahmini, toprak ve su kaynakları hizmetleri, bitki ve arazi izleme gibi avantajlara sahiptir (Sishodia vd., 2020; Weiss vd., 2020; Zheng vd., 2021). Tarımsal UA'nın önemli alanlarından biri stres tespittir.

Tarımda bitki sınıflama, gelişmeyi izleme, toprak nemi, geometrik özelliklerin tahmini, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerin belirlenmesi, klorofil ve azot içeriğı, yaprak alanı, bitki sağılığı, su ve bitki sayımı ve erozyon analizi benzeri amaçlarla yakın kızılötesi, sentetik açıklıklı radar, floresan spektroskopisi ve görüntüleme, ışık algılama, multispektral, hiperspektral ve görünür kırmızı, yeşil ve mavi (KYM) bitki örtüsü endeksleri sensörleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Mishra vd., 2017; Steele-Dunne vd., 2017; Ahmad vd., 2021; Martos vd., 2021; Zheng vd., 2021; Javiaid vd., 2022). Yer tabanlı sensörler uzun zamandan beri kullanılmakta olup kablosuz sensörler, KSA ve frekans tanımlamaları ve küçük algılama cihazları ise yakın zamanda gelişmeye başlamıştır. Kablosuz sensör teknolojileri ve KSA özellikle hayvancılıkta, seralarda ve toprak nemi, sıcaklığı ve iletkenliğı gibi parametrelerin ölçümünde kullanılmaktadır (Martos vd., 2021). Sensör verilerini korumak ve güvenlik konularında giderek artan bazı sorunlar olsa da tarım, dronların interneti dönemine giriyor gibi gözükmektedir.

Verim, hastalık ve otomasyon konularında YZ esaslı araştırmalar, KSA ve kontrol otomasyonu kullanımı giderek artmaktadır. Ayrıca bitki gelişmesi ve izlenmesi, hastalık teşhisi, toprak ve arazi analizi, sulama ve gübreleme, ürün hasadı, yabancı ot yönetimi, mekanik tozlaşma, hayvancılık ve ürün sigortası gibi tarımsal uygulamalarda uzaktan kumandalı uçaklar kullanılabilmektedir (Natu ve Kulkarni, 2016; Rani vd., 2019; Devi vd., 2020; Ren vd., 2020; Song vd., 2020; Sun vd., 2020; Ahmad vd., 2021; Saranya vd., 2023).

### **4. Sürdürülebilir Tarımda Yapay Zekâ (YZ) ve Nesnelerin İnterneti (Nİ)**

YZ, akıllı davranışı otomatikleştiren ve hesaplamalı programlama kullanarak belli bir zekâ düzeyine ulaşan ve akılcı çıktılar üreten bir sistemdir. Yeni ve gelişmekte olmasına rağmen YZ teknolojilerinin verim, ürün izleme, sulama, toprak içeriğinin algılanması, ürün ayıklama, ürün oluşturma gibi tarımın birçok alanında önemli potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır. YZ ilerledikçe tarımda giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır (Shaikh vd., 2022). Avrupa komisyonu tarafından; endüstri 5.0 döneminin başladığı ve günümüz tarımının, beşinci devrim olarak uzaktan algılamaya, yapay zekâyâ ve bulut bilişimine dayandığı bildirilmiştir (Martos vd., 2021). YZ'nın tarım sektörüne en önemli katkıları, görüntü tanıma ve algılama, çıkırtıyı en üst düzeye çıkarma, becerileri artırma ve işgücüdür (Subeesh ve Mehta, 2021). YZ; görme, öğrenme, anlama, planlama, hareket etme ve iletişim gibi görevleri insanlara benzer şekilde gerçekleştirebilen bir zekâ biçimi olarak; hastalık, toprak yönetimi, haşere ve yabancı ot yönetimi, bitki yönetimi, su kullanımı yönetimi,

besin eksikliğinin belirlenmesi, ürün analizi ve çevresel etkilerin takip ve tahmin edilmesinde kullanılabilen tahmine dayalı analitik kategorileri kapsar ve sürdürülebilir üretime hizmet eder (Ryan vd., 2023). Tarımda Nİ ve YZ, sensör verilerini daha iyi kullanma, ürün kalitesini ve miktarını iyileştirme, dahili süreçleri daha iyi yönetme, iş verimliliğini artırma, israfı ve maliyetleri azaltma potansiyeline sahip olup (Alreshidi, 2019), akıllı tarım; YZ ve Nİ kullanımına dayanan bir teknolojidir (Shaikh vd., 2022).

Nİ, gerçekleştireceği görev için makineden makineye ve insandan makineye etkileşim gerektirmeden ağ üzerinden veri aktarabilen bir sitemdir. Nİ veri bloklarını uzaktan algılama, izleme ve geçici olarak depolamak için benzersiz kimliklere ve yeteneklere sahip cihazlardır (Ray, 2018). Nİ ve sensörlerinin kapsam, verimlilik, maliyet, dayanıklılık, bellek, taşınabilirlik, güç verimliliği, güvenilirlik, yaşam kolaylığı, üretkenlik, izleme, kaynak optimizasyonu, akıllı sulama, ürün ve haşere izleme, kontrol, hasat ve ürün kalitesini koruma özelliklerinden dolayı akıllı tarımda kullanımları giderek artmaktadır (Qureshi vd., 2022). Nİ sensör bileşenleri teknolojisi, ortam faktör ve değişkenlerini toplamak ve ölçmek için kullanılmaktadır (Gómez vd., 2017). Nİ uygulamalarının çoğunluğu kablosuz veri iletimine dayandığından, Nİ teknolojisinde KSA'nın rolü büyüktür. Tarım süreçleri giderek Nİ cihazlarından elde edilecek verilere bağlanmaktadır. Nİ uygulamalarında, jeo-uzamsal ve zamansal haritalama ve örnekleme, su stresi değerlendirmeleri, zararlı ve yabancı ot yönetimi, bitki örtüsü indeksleri, verim değerlendirme ve hassas gübreleme öne çıkmaktadır. Ayrıca Nİ teknolojileri; hava durumuna ayarlı bitki ve toprak stres düzeyine bağlı akıllı sulama sistemlerinde (Keswani vd., 2019), görüntü işleme ve erken teşhisle hastalık ve zararlıların kontrolünde (Dhanaraju vd., 2022), hasadın planlanmasında (Goedde vd., 2020) ve optimum besin ihtiyacının tahmininde (Suganya vd., 2019) başarıyla kullanılabilir. Nİ uygulamalarının genel olarak tarımsal kaynak kullanım etkinliğini artırma (Abioye vd., 2020; Tao vd., 2021; Pincheira vd., 2021), hastalık ve zararlıları azaltma (Bischoff vd., 2021), enerji kullanımını ve CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltma (Maraveas vd., 2022) potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Uygulayan firmaların birinci hedefi olmasa da Nİ teknolojisi tarımın sürdürülebilir üretim sistemine dönüşmesine katkı sağlamaktadır (Wolfert ve Isakhanyan, 2022).

Araştırmalarda elma, buğday, mısır, çeltik, çilek, domates, biber, asma ve kahvede DÖ ilkeleri kullanılarak biyotik ve abiyotik stres sınıflandırılması (DeChant vd., 2017; Fuentes vd., 2017; Liu vd., 2018; An vd., 2019; Cruz vd., 2019; Liang vd., 2019; Nie vd., 2019; Esgario vd., 2020; Lin vd., 2020), bitki fenotipleme (Jung vd., 2021), verim tahmini (Fu vd., 2020), meyve ve yabancı ot tespiti (Apolo-Apolo vd., 2020; Huang vd., 2018) yapılabilmektedir. YZ ve MÖ, toprakların çoraklaşmasına yol açan aşırı kimyasal kullanımının önlenmesi (Elahi vd., 2019) amacıyla kullanılabilir. YZ ve zekâ gerektiren olayları nasıl gerçekleştireceğini öğrenen makineler, çiftçilerin düşük girdilerle yüksek çıktı elde etmelerine yardımcı olma, ilaç kullanmadan yabancı ot kontrolü, verim ve talebi doğru tahmin ederek israf ve bozulmayı azaltma potansiyeline sahiptir (Bu ve Wang, 2019; Sparrow vd., 2021).

Nİ ve sensör teknolojisindeki gelişmelerle birlikte DÖ teknolojisi birleştirildiğinde, bitki fenolojisi, toprak ve bitki örtüsü haritalama, hava ve verim tahmini, bitki kanopi ve yüksekliği, gübrelerin etkisi, su stresi, yeraltı suyu ve kuraklık koşullarının tespiti, yabancı ot, haşere ve hastalık tespiti ve yönetimi, seraların izlenmesi ve yönetiminde yardımcı olabilmektedir (Kamilaris ve Prenafeta-Boldú, 2018; Quazi vd., 2022). YZ uzaktan algılama araçlarını da kullanarak iklim verilerinin ve bitki kalitesinin izlenmesi (Manogaran ve Lopez, 2018), otomatik iklim kontrollü seralar (Hemming vd., 2019), tahmine dayalı analiz, dijital bitki sağlığı teşhis uygulamaları, çiftlik yönetimi (Chen vd., 2022) ve hayvancılık yönetiminde yaygın olarak kullanılabilir (Bhagat vd., 2022). Sulama, besin ve ürün kalitesi yönetimi, sıcaklık, toprak nemi, su akışı, CO<sub>2</sub> ve ışık radyasyonunun kontrolü gibi seracılık ihtiyaçlarının iyileştirilmesi, uzaktan algılama destekli kontrol sistemleri, MÖ ve Nİ teknolojileri kullanılarak sağlanabilmektedir (Zhou vd., 2022).

## 5. Tarımda İnsansız Hava Araçları (İHA) ve Dronlar

Dünya genelinde giderek artan uzaktan algılama, dron ve İHA'ların kullanımının ana hedefi bitki ve yabancı ot tespiti, bitki izleme, haritalama, biyokütle değerlendirmesi ve verim tahminidir. Uzaktan algılamaya dayalı verim tahmini için de MÖ yöntemleri geliştirilmektedir. Uzaktan kumandalı İHA'lar veya dronlar püskürtme, ekim, iyi yönetim, zamansal değişimlerin izlenmesi, anormallik ve olası sorunların belirlenmesi, analiz etme ve gerçek zamanlı verileri diğer ekipman ve tesislere taşımak için bilgisayar vizyonunu kullanabilir. Farklı izleme sistemleriyle toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel özellikleri izlenerek, toprak kalitesinin geliştirilmesi için önlemler alınabilmektedir.

Ürün kalitesinin ve sulama ekipmanlarının izlenmesi, gübre uygulama, yabancı ot tanımlama, sürü ve yaban hayatı izleme ve afet yönetiminde dronlar kullanılmaktadır (Veroustraete, 2015; Natu ve Kulkarni, 2016; Ahirwar vd., 2019). İHA teknolojileri; belli bir alanda bulunan çiçek sayısı, nektar miktarı ve bal arısı için habitat potansiyelinin belirlenmesinden, tarımsal girdi israfının önlenmesi ve kuş imdat veya yırtıcı hayvan sesiyle kuş zararının önlenmesine kadar birçok karmaşık sorunun çözümünde sürdürülebilir tarım için önemli bir yardımcıdır. Robotik, bilgi işlem, YZ, Nİ, bilgi ve iletişim teknolojilerinin bileşimi olan İHA teknolojisi pratikte hava, bulut, yer şekilleri, engebeler nedeniyle uydu üzerinden algılama ve görüntüleme sınırlamasını ortadan kaldırabilmektedir (Qureshi vd., 2022). Nitekim, geliştirilen evrimsel sinir ağları (ESA) İHA'lardan alınan KYM verilerini kullanarak arpa ve buğday verim tahmininde başarılı olmuş ve ESA modelinin KYM verileriyle, bitki örtüsü indeks değerlerinden daha iyi performans gösterdiği vurgulanmıştır (Nevavuori vd., 2019). Nİ ve İHA'ların geleneksel tarımı hassas veya akıllı tarıma dönüştüren ve akıllı tarım için en önemli teknolojiler olduğu (Saranya vd., 2023), HT'da akıllı sensörler İHA kullanılarak entegre edilebildiği (Boursianis vd., 2022) ve sürdürülebilir HT uygulamalarında İHA teknolojisinin genişlemeye devam edeceği (Maes ve Steppe, 2019) bildirilmiştir. HT'da ürün izleme ve pestisit benzeri uygulamalarda İHA kullanılmaktadır (Talaviya vd., 2020).

İHA'lar toprak ve bitki örnekleme ve haritalama (Saranya vd., 2023), bitki gelişme parametrelerinin takibi (Chang vd., 2017), verim tahmini (Hassan vd., 2019), zararlı ve hastalık tespiti (Vanegas vd., 2018), yabancı ot tespiti (Huang vd., 2018), toprak ve bitki stres yorumu (Park vd., 2017; Ivushkin vd., 2019) ve yaprak alan indeksinin tespiti (Roth vd., 2018) gibi izleme aşamaları ile ekim (Diwate vd., 2018), herbisit (Castaldi vd., 2017), pestisit (Faiçal vd., 2017) ve gübre uygulama (Muhammad vd., 2019) aşamasında kullanılabilir. İHA tarafından sağlanan spektral ve dijital görüntülere dayalı bitki örtü indeksleri kullanılarak çeltikte tane verimi tahmini yapılabilmektedir (Zhou vd., 2017) ve kışlık buğdayın gelişim aşamaları izlenebilmiştir (Zhang vd., 2019). Hassas bağcılıkta, gerçek



zamanlı ölçümler için İHA ve KSA entegrasyonu ile toplanan yüksek çözünürlüklü veriler kullanılarak; asma üretim, verim, kalite ve karlılığını etkileyen parametreler ile üretim verimliliği uygun girdi maliyetiyle optimize edilmiştir (Spachos ve Gregori, 2019). İHA ve görüntülerden bir derin evrimsel sinir ağı kullanılarak arpada azot gübrelemesi ve verim tahmini yapılabilmektedir (Escalante vd., 2019). İHA tabanlı UA kullanımı ile HT gittikçe gelişmektedir.

## **6. Hassas Tarım (HS) ve Tarım 4.0 ve 5.0.**

Günümüzün yeni teknolojilerini kullanan akıllı tarımsal üretim sistemlerini tanımlamak için, “hassas tarım”, “hassas yaklaşım”, “akıllı tarım”, “uzaktan algılama”, “sayısal tarım”, “bilgi yoğun tarım”, “değişken oranlı tarım”, “sahaya özel ürün yönetimi”, “tarım 4.0 ve 5.0” ve “dijital tarım veya çiftçilik” gibi birbirleriyle değiştirilebilir kavramlar ortaya çıkmıştır (Martos vd., 2021). Son yıllarda ortaya çıkan “tarım 5.0” kavramının YZ ve robotiklerin veriye dayalı sürdürülebilir tarım kapsamına alınmasını kapsayan bir kavram olduğu vurgulanmıştır (Saiz-Rubio ve Rovira-Más, 2020). Akıllı tarım veya tarım 4.0 çevresel sensörlerin ve tahmin teknolojilerinin entegrasyonu esasına dayalı birçok güncel teknolojiyi içermekte, daha az doğal kaynak kullanarak daha fazla üretkenlik amaçlamaktadır (Shaikh vd., 2022).

HT zamansal, mekânsal ve bireysel verileri toplayan, işleyen ve analiz eden, kaynak verimliliğini, üretkenliğini, kalitesini, karlılığını ve sürdürülebilirliğini geliştirme stratejisidir. HT, verilerin toplanması, işlenmesi, analiz edilmesi ve uygulanması için bilgi teknolojilerini kullanmakta, tarımsal gıda sistemlerinin dönüşümünde dijital teknolojilerin entegrasyonundan yararlanmakta ve sonuçta da kaynakların etkin kullanımını, üretkenliği, karlılığı, kaliteyi ve tarımsal üretimin çevresel etkilerini azaltabilmekte ve sürdürülebilirliğine katkı yapmaktadır (Çakmakçı vd., 2023). Tarımda dijital verilerin kullanımının verim artışı sağlama özelliği, HT uygulamaları ile ortaya konulmuştur. HT, geleceğin sürdürülebilir verimli gıda sistemlerini oluşturmak için uydu teknolojilerini kullanmakta, bitkinin gerçek ihtiyaçlarının dikkate alınması, kaynak kullanımı için iyi zaman yönetimi, çevresel etkilerin azaltılması ve verim etkinliğinin artırılması gibi bakış açılarını benimsemektedir. Kullandığı teknolojiler; yönlendirme, bilgi yönetimi, uygulama ve veri analiz teknolojileri olarak dört aşamada özetlenebilir. Yönlendirme teknolojileri donanım ve yazılıma dayalı her türlü otomatik yönlendirmeyi kapsarken, uygulama teknolojileri yazılıma dayalı geliştirilen besin maddeleri, sulama, tohum ekimi, bitki koruma maddeleri, yabancı ot kontrolü için değişken oranlı sulama gibi uygulamaları kapsamaktadır (Dayıoğlu ve Türker, 2021). Akıllı tarım, DÖ, YZ, Nİ ve bulut bilişim gibi en son teknolojileri entegre ederek, bilgi ve birikim yardımıyla tarım sektörünün otomatik olarak takibi, izlemesini, akıllı bir şekilde kontrol edilmesini ve kararlar almasını sağlayan bir yönetim stratejisidir (Saranya vd., 2023). Akıllı tarım, çevresel koşullar, büyüme durumu, toprak durumu, sulama suyu, gübreler, yabancı ot yönetimi ve sera üretimi gibi uygulamaların girdilerini optimize etmek ve ayrıca maliyetleri azaltma ve tarımsal verimliliği artırmayı hedeflemektedir.

Tarım 4.0 teknolojileri; izleme, kontrol, tahmin ve lojistik uygulamalarını içermektedir. Tarım 4.0 kapsamında hava ve sera, bitki, toprak, su ve hayvan izleme uygulamalarının yanı sıra akıllı seralar, gübreleme sistemleri, sulama sistemleri, yabancı ot, zararlı ve hastalık kontrolü, hasat ve benzeri kontrol uygulamaları bulunmaktadır (Araújo vd., 2021). İzleme, hızlı ve doğru karar verme, zamanında müdahale, zaman ve maliyetlerden tasarruf sağlamaktadır. Tarım 4.0 ana yönlerinden biri akıllı telefonlar ve kameralar gibi mobil cihazların tarlada doğrudan kullanılarak izleme ve veri toplama yoluyla hastalıkların tanınmasıdır (Megeto vd., 2020).

Araştırmalar, Nİ ve YZ gibi dijital teknolojilerin sürdürülebilir tarımı geliştirmek için kilit teknolojiler olduğunu göstermektedir (Jung vd., 2021; Wolfert ve Isakhanyan, 2022). Nİ teknolojileri veri depolama, veri yönetim ve analitiği sağlamakta; her türlü kaynaktan gelen veriyi filtreleyebilmekte, kullanabilmekte ve akıllı tarımda yaygın olarak uygulanabilmektedir. Değişken oranlı uygulamaları esas alan HT ve akıllı tarım teknolojileri sadece girdi maliyetini düşürmekle kalmayıp, üretimin verim ve kalitesini de artırabilmektedir (Wolfert vd., 2017; Boursianis vd., 2022). Nİ kullanılarak HT’de doğal kaynakların verimli kullanımı, çevrenin korunması için toprak ve bitki değişimlerini ölçmek ve yorumlamak, değişkenliği mekansal ve zamansal olarak yönetmek ve sonuçları izlemek esas alınmaktadır (Mahmood vd., 2013). HT, Nİ, sensör, bilgi ve iletişim teknolojileri kullanılarak gerçek zamanlı verilerden karlılık ve sürdürülebilirlik sağlanırken (Mohanraj vd., 2016), bu sistemleri kullanan akıllı seralarda iklim ve gelişme koşulları izlenerek istenildiğinde ısıtma, soğutma, sulama gibi müdahaleler yapılabilmekte (Öztürk vd., 2021) ve en az insanla, gerekli önlemler zamanında alınabilmekte ve bitki yetiştirilebilmektedir (Bibri, 2018). Sera çiftliği, HT’ye benzemekle birlikte kapalı ve izole ortamda yürütüldüğü ve akıllı sistemler tarafından kontrol edildiği için farklıdır. Bu sistemde Nİ ve akıllı sistemler sayesinde izleme ve kontrol ve geleneksel yöntemlerden daha fazla üretim sağlamaktadır. Sera çiftliği uygulamalarıyla sürdürülebilir çiftlik için çöl alanlarının bile kullanılabilceği vurgulanmıştır (Qureshi vd., 2022).

Algılama ve iletişim yoluyla izleme ve karar desteği sağlayan İHA sistemleri tarımda çığır açan teknolojiler olarak değerlendirilmekte (Zhang ve Kovacs, 2012), İHA teknolojileri geliştikçe akıllı tarımda kullanılan önemli teknolojilerden biri olan uzaktan algılamanın giderek yaygınlaşacağı öngörülmektedir (Maes ve Steppe, 2019). Hassas tarımda, İHA teknolojisi kullanımının en faydalı alanlarından biri yabancı ot tespit ve yönetimidir. İHA ve DÖ teknikleriyle bitki ve yabancı otlar ayrı ayrı tanımlanabilmiş (Barrero vd., 2018; Sa vd., 2018), İHA sistemiyle elde edilen yüksek çözünürlüklü KYM görüntülerden yabancı ot tespiti yaklaşımı geliştirilmiştir (Mateen ve Qingsheng, 2019). HT’de İHA; bitki modelleme, verim yönetimi, nihai verim tahmini, spektral görüntü, akıllı sensör entegrasyonu, fenotipleme ve bitkisel indeks hazırlama alanlarında kullanılmaktadır (Boursianis vd., 2022). YZ, hassas tarımı giderek daha uygun ve uygulanabilir hale getirirken; geleneksel tarımı hassas/akıllı tarıma dönüştüren dijital ve bilgisayar destekli tarım teknolojileri kaçınılmaz olmaktadır.

## **7. Hassas Tarım Teknolojilerinin Tipik Uygulama Alanları**

HT’de akıllı teknolojilerin başlıca uygulama alanları zararlı yönetimi, yabancı ot kontrolü, tarımsal ürünlerin izlenmesi, depolama yönetimi, bitki hastalıkları yönetimi ve mücadelesi, hava tahmini ve izlenmesi, sulama yönetimi, verim tahmini, toprak bileşimi ve

yönetimi ve tarım makineleri yönetimidir. Tarımsal üretim tedarik zincirinin yönetimi, toprak değişkenlerinin ölçümü, tarımsal üretim ve yönetiminin geliştirilmesi, kaynak kullanımının azaltılması, su tüketiminin izlenmesi, tarımsal işlemlerin iyileştirilmesi, tarımsal risk ve tehlikelerin belirlenmesi ve kararların optimizasyonu tarım teknolojilerinin önemli uygulama alanlarıdır.

## 7.1. Bitki İzleme

Günümüzde tarımda; optik, mekanik, elektrokimyasal, hava akışı ve konum sensörleri kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Görüntü tanıma en önemli alanlardan biridir. Sensörler, çiftçilerin uygun zamanda doğru ve daha bilinçli karar almaları ile hastalık ve zararlı konusunda erken uyarılmaları için görüntüler sağlayabilirken akıllı izleme; hasadın optimizasyonu, bitki kalite özellikleri bakımından izleme ve geliri artırabilme olanağı vermektedir (Goedde vd., 2020). Son yıllarda tarımsal verileri toplama, işleme ve analiz etme kapasitesini artıran yenilikler arasında; veri ve süreçlerin okunabilir formata dönüştürülmesini sağlayan sayısallaştırma ve ayrıca gerçek zamanlı izleme ve tahmine dayalı analize izin veren, süreç ve faaliyetleri izleyebilen, takip, analiz ve optimize edilebilen veriler üreten verileştirme öne çıkmaktadır. Günümüzdeki dijital teknolojiler, tarım ve gıda sistemlerinin sürdürülebilirliğini ve üretkenliğini geliştirmek, maliyeti düşürmek ve hızı artırmak için tarımsal ve diğer verilerin dijital formatta oluşturulması, kullanılması, birleştirilmesi, yönetilmesi, analizi ve paylaşımına odaklanmaktadır.

Gıda ve hammadde talebini karşılamak ve verimliliği sürdürülebilir bir şekilde artırmak için, ekimden ürünün dağıtımına kadar bitki yönetiminin optimizasyonu esastır. Bu bakımdan otomatik izleme sistemleri, çiftçinin uygun zamanda hızlı ve doğru kararlar almasını ve uygulamasını sağlayan akıllı dijital tarım konseptinin önemli bir adımıdır. Hassas ve dijital tarımda, hava ve sera gazı izleme, bitki izleme, toprak izleme, su kalitesi ve sulama parametreleri ile sıcaklık, nem, iletkenlik, pH değeri ve besin içeriği gibi toprak parametrelerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve ölçümü, sürdürülebilir tarım yönetimi için önemlidir. Bu parametreleri gerçek zamanlı olarak ölçmek için Nİ sensörleri, veri analizi için YZ ve KDS birleştirilerek tarım daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilebilir.

İHA teknolojileri bitki gelişme parametrelerinin izlenmesine imkân sağlamakta, sulama ve gübreleme gibi tarımsal işlemlerde kullanılabilir. YZ, tarımda bitkisel üretimi artırmış, izleme, hasat, işleme ve pazarlamayı geliştirmiştir. Uzaktan algılama ve izleme teknolojileri ile su kalitesinin değerlendirilebildiği (Gholizadeh vd., 2016), toprak haritalarının çıkarılabildiği (Gómez vd., 2016), biyolojik çeşitliliğin izlenebildiği (Hodgson vd., 2018) belirtilmiştir. MÖ, DSA ve yapay sinir ağları veya tekrarlayan sinir ağları gibi YZ araçları ile buğday (Bali ve Singla, 2021), sorgum (Zannou ve Houndji, 2019), soya (Maimaitijiang vd., 2020), çeltik (Lingwal vd., 2022), domates (Yamamoto vd., 2014), biber (Gholipoor ve Nadali, 2019), kayısı (Blagojević vd., 2016) ve elmada (Ji vd., 2021) verim tahmini yapılmıştır. Bilgisayar teknolojileriyle iklim faktörlerinin etki dereceleri ve cevizde verim potansiyelinin matematiksel olarak tahmini (Aslantaş ve Olgun, 1999), sinir ağı algoritması ile elmalarda meyve nitelikleri kullanılarak erken verim tahmini (Cheng vd., 2017) ve DSA ve İHA görüntülerinden çilekte çiçek sayısı kullanılarak verim tahmin edilebilmiştir (Chen vd., 2019). İHA'lerden alınan verilerle bitki verimini tahmin edebilen derin ESA geliştirilebilmiştir (Nevavuori vd., 2019).

İHA'lardaki gelişmeler HT'de bitki gelişimini izleme maliyetini azaltmakta ve düşük verimli ve hastalıklı alanların belirlenmesini sağlamakta; havadan uzaktan algılama ve izleme teknolojileri ise yüksek çözünürlüklü haritalama, yaban hayatı sayımları ve biyolojik çeşitlilik izleme etkinliğini artırmaktadır. Tarımda MÖ, makine görüşü, verim tahmini, haşere ve hastalık tespiti, stres faktörlerinin izlenmesi, navigasyon ve optimizasyon gibi alanlarda kullanılmaktadır. Gelişmiş YZ teknolojileri verimliliği artırabilir, işçilik süresini kısaltıp iş gücü sıkıntısını hafifletebilir, tedarik basamaklarında gıda ürünü izleme ve test etme, ürün geliştirme, uygun pazarlama analizi ve ürünün tüm aşamalarının takibini iyileştirebilir. Verim haritalama ve izleme, don zararları oluşumu ve analizi, rotasyonların değerlendirilmesi, verim hesaplama ve kalibrasyonu gelişmiş sensörler ve görüntüleme uygulamalarıyla gerçekleştirilmektedir (Aslantaş vd., 2010; Pantazi vd., 2016; Song vd., 2022).

## 7.2. Hayvan İzleme

Büyük ölçekli hayvancılık yönetiminde; çevresel sensörler ve vücut sensörlerinin kullanılması, sıcaklık, nabız ve konum izleme ile hastalık ve salgınların önlenmesi ve tehlikelerin tespiti, hava ve ısıtmanın ayarlanması ile hayvan yaşam koşulları iyileştirebilir (Goedde vd., 2020). MÖ algoritmaları kullanılarak sığırlarda kızgınlık ve çiftleşme davranışları (Tsai ve Huang, 2014), hasta etlik piliç tespiti (Zhuang vd., 2018) gibi bireysel hayvan analizleri gerçekleştirilebilmiştir. Verilerin toplanma ve analizini amaçlayan izleme sistemleriyle hassas hayvancılıkta; çiftçinin ihtiyaç duyduğu sıcaklık, davranış, sağlık ve beslenme içgörülerini sağlanmakta; hayvan üretkenliği artırılmakta, hayvan aktivitesi, sağlık sorunları ve refahı değerlendirilebilmekte ve hayvan sağlığı korunabilmektedir (Schillings vd., 2021). Hayvan refahını izleme ve anormallik durumunda erken müdahaleye imkan sağlayan sensör, kamera ve bilgisayar gibi akıllı teknolojileri kullanan sistemler geliştirilirken (Rose ve Chilvers, 2018; Norton vd., 2019), çiftçiyi destekleme amacıyla tasarlanmakta olan hassas hayvancılık teknolojileri, sağlık ve refah parametrelerinde olduğu gibi hayvanların verimliliğini ve çevresel etkileri de kontrol edebilmektedir (Berckmans, 2014). Ayrıca MÖ ve YZ; süt işletme yönetimi, üretim tahmini ve hayvancılık uygulamalarında kullanılabilir (Shine vd., 2018; García vd., 2020; Nguyen vd., 2020).

## 7.3. Bitki Fenotipleme, Doğal Kaynakların Keşfi ve İzlenmesi

YZ ve MÖ uygulamaları spektroskopik verileri ve uydu görüntülerini de kullanarak; toprak verilerini analiz etme (Padarian vd., 2020), çeşit sınıflandırma (Duysak vd., 2020), bitki fenotipleme (Boursianis vd., 2022), karbon fraksiyonlarının haritalanması (Keskin vd., 2019), karbon stok tahmini (Pham vd., 2021), iklime duyarlı toprak haritalama (McNicol vd., 2019), organik karbon değişiminin modellenmesi (Heuvelink vd., 2021) ve toprak sağlığı göstergelerinin tahmininde (Morellos vd., 2016; Ng vd., 2019; Sanderman vd., 2019) kullanılabilir. DÖ ve ESA modelleri, kullandıkları görüntü işleme ve MÖ algoritmalarıyla, görüntü tabanlı bitki fenotipleme, görüntü sınıflandırma, regresyon ve nesne algılama konularında etkindir. ESA kullanılarak bitki türlerinin teşhis edilebileceği ve derin ESA'ların gelecekte tohum ve bitki etken maddelerini ve kontamine olma durumlarını belirleyebileceği söylenebilir.

## **7.4. Kontrol**

Verileri toplamak, depolamak ve iletmek; akıllı seralar, sulama, gübreleme, hastalık ve zararlıları kontrol etmek; gübreleme tekniklerini daha sürdürülebilir hale getirmek ve gelişmiş algılama yeteneklerine sahip otonom sistemler oluşturmak için Nİ, sensörler, robotik ve YZ tabanlı teknik ve veri analizine dayalı çözümler önerilmiştir. Çevre, toprak ve bitki parametrelerinin izlenebildiği ve süreçlerin otomatikleştirilebildiği akıllı seralarda tarımsal sürdürülebilirlik için akıllı sulama ve gübreleme, haşere ve hastalık kontrolü, iç ortam ve sıcaklık kontrolü gibi HT uygulamaları geliştirilmektedir (Araújo vd., 2021).

## **7.5. Sulama, Pestisit, Herbisit ve Gübre Kullanımının Optimizasyonu**

Akıllı tarım, akıllı cihazlarla sulama, gübreleme veya haşere kontrolü gibi süreçleri otomatik hale getirebilmekte, gerektiği yerde ve gerektiği kadar sulama uygulayan Nİ ve akıllı sistemler kullanılarak su kullanımı azaltılabilmektedir. YZ teknolojileri; kullandığı diğer araç ve uygulamalarla birlikte pestisit, aşırı su ve herbisit kullanımından tasarruf sağlarken, toprak verimliliğini korumakta, üretim ve kaliteyi artırmaktadır (Talaviya vd., 2020). Tarımda robot kullanımı, toprağın verimliliğini ve su kaynağının etkin kullanımını sağlamakta, toprak verimliliğini belirlemektedir. Tarımda; sunucu ve bulut iletişimi ve ağlar üzerinden veri paylaşımı destekli robotlar ve YZ ve Nİ teknolojilerinin kullanılması sonucu toprak nem ve sıcaklığının tespiti (Shekhar vd., 2017), nesnelere tanıma ve mobil sulama/ilaçlama (Özgen ve Turan, 2021), sulamada insan gücü ve zaman kaybının azaltılması (Jha vd., 2019), su kaynaklarının optimizasyonu (Pincheira vd., 2021), sulama ve gübreleme (Rani vd., 2019; Ren vd., 2020), kuraklığın tahmini ve sulama sistemlerinin verimliliğini artırılması (Savitha ve UmaMaheshwari, 2018) sağlanmıştır. Nitekim Nİ tabanlı akıllı sulama sistemleri kullanılarak sadece mevcut su kaynakları korunmakla kalmayıp sulama süreçlerinin verimliliği artırılmakta ve su kayıpları azaltılmaktadır (Patricio ve Rieder, 2018).

Nİ ve akıllı sistemler; bitki hastalık, zararlı ve yabancı otları erken aşamalarda değerlendirebilir ve çiftçiyi bilgilendirebilir, aynı zamanda akıllı araçlar kullanılarak hassas hedefleme ile zararlı ve patojenler ortadan kaldırılabilmektedir. Bilgisayar görüşü ve YZ kullanımı ile otonom ayıklama, hassas ot yönetimi, yabancı ot tespiti, ot kontrol ve önleme, robotik kollar, akıllı püskürtme, sıra içi ayıklama gibi yabancı otların ayıklanması işlemleri yapılabilmektedir (Natu ve Kulkarni, 2016; Sujaritha vd., 2017; Partel vd., 2019). YZ ve MÖ, damla sulama sistemi optimizasyonu (Klyushin ve Tymoshenko, 2021) ve sulama, herbisit ve pestisit kullanımının uygun hale getirilmesinde kullanılmıştır (Talaviya vd., 2020).

## **7.6. Hasat Sistemleri**

Akıllı sensörler, robotik, bölge tabanlı evrişimli sinir ağları (R-ESA), İHA'lar ve Nİ cihazları, YZ ve MÖ tabanlı bilgisayarla görme teknikleri gibi teknolojileri kullanan akıllı hasat sistemleri daha düşük maliyetli üretim, daha az işçilik ve daha düşük hasat maliyeti, verim optimizasyonu ve artan üretkenlik ile sürdürülebilir üretime yardımcı olabilmektedir (Hornig vd., 2020; Zhang vd., 2020; Sharma vd., 2021).

## **8. Akıllı Tarım Teknolojilerinin Benimsenmesinde Bazı Zorluklar ve Başarı Faktörleri**

Bazı zorluklara ve yüksek ilk yatırım maliyetlerine rağmen HT, çiftlik verimliliğini artırabilecek, çevresel etkiyi azaltabilecek, gıda güvenliği ve sürdürülebilir üretime katkıda bulunabilecek deneyim ve uzmanlık gerektiren, giderek büyüyen ve benimsenen bir endüstridir (Masi vd., 2022). Ancak yatırım düzeyine rağmen HT teknolojilerine yönelik uygulamalardaki artış yavaş ve sınırlıdır. Ayrıca ölçeklenebilirlik, erişilebilirlik ve kullanılabilirlik uygulamaları gelişme aşamasında olduğu için tamamıyla yerine getirilmemektedir (Megeto vd., 2020). Kullanıcı algıları, teknik uzmanlık eksikliği, verilerin kullanılabilirliği, kalitesi ve maliyeti, bilgi ve teknolojik boşluklar, alt yapı ve kurumsal kısıtlamalar, gizlilik ve güven ile ilgili endişeler, tarımsal zorluklar, karlılık sorunu, beceri eksikliği, maliyet ve güvenlik sorunları, faydacılık algısı ve teknik zorluklar HT'nin önündeki engellerdir. Çiftçilerin bilgi eksikliği ve bakış açıları, farklı teknolojiler arasındaki ara bağlantı eksikliği ve karı sürdürülebilirliğe göre önceliklendirme eğilimi; yenilikçi hassas dijital teknolojilerin benimsenmesinin önündeki engellerdir. Makine, ekipman ve uygulama satın alma maliyeti, yetersiz mali imkanlar, küçük tarımsal alan ve ekipmanların uyumsuzluğu nedeniyle yatırımın ekonomik olarak uygulanabilir olmaması, kırsal alanlarda bağlantı sorunları/veya yokluğu ana sorunlar olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, dijital tarımın ekosistem hizmetlerini, tarımsal üretimi ve gıda sistemlerini nasıl etkileyeceği ve geleceğinin nasıl olacağı hala belirsiz olmakla birlikte; teknolojilerin ucuzlaması, daha hızlı bağlantılar, modelleme kapasitesi ve verilerin modellere entegrasyonu gelecekte dijital ve HT'nin benimsenme oranını artırabilecektir (Çakmakçı vd., 2023).

Derin öğrenmede; aşırı öğrenme, uzun eğitim süresi ve kaybolan ve yok olan gradyan problemleri önemli sorunlardır. Aşırı öğrenme sorununun ağ hacmini ve eğitim veri kapasitesini genişleterek; doğruluk kaybını azaltmak için veri artırma ve düzenleme gibi teknikler ve eğitim süresini azaltmak için toplu normalleştirme, bırakma ve girdi görüntü boyutları azaltılabilir (Saranya vd., 2023). Kullanılan veri miktarı ne kadar fazla olursa DÖ modelleri o kadar iyi performans gösterir (Khalil, 2021). Ancak tarımın birçok alanında veri sıkıntısı vardır ve veri tabanı oluşturma maliyetinin yüksek olması DÖ yaklaşımının geliştirilmesini engellediği vurgulanmıştır (Megeto vd., 2020). Bu nedenle veri artırma teknikleri ve transfer öğrenme yöntemlerinin uygulanması, veri taşıma ve depolama ihtiyaçlarının azaltılması için DÖ algoritmalarının uygun şekilde değiştirilip geliştirilmesi gereklidir (Saranya vd., 2023).

HT'de Nİ'nin geliştirilmesi ve kullanılmasıyla ilgili ve entegrasyonu için; yüksek başlangıç maliyeti özellikle birden fazla cihazın konuşlandırılması ve bağlanması gibi birçok sorun vardır (Duncan ve diğerleri, 2021; Qazi ve diğerleri, 2022). Kullanılan ekipmanlar yağmur, aşırı nem, yüksek sıcaklık, kuvvetli rüzgârlar gibi olumsuz iklim koşullarına ve elektronik devrelere zarar verebilecek tehlikelere doğrudan maruz kalabilmektedir. Bazı durumlarda yetersiz pil kaynağına dayalı donanım arızaları düzenli çalışmaları engelleyebilmekte; açık alanda pilin değiştirilmesi zor ve kablolu Nİ sisteminin kurulması ve yeniden yapılandırılması pahalı olabilmektedir. Ayrıca YZ teknolojilerinin; teknolojinin aracılık ettiği işsizlik ve işleri makinelerin devralması, toprak ve sermaye

sahipliğinin artması, sömürü ve gözetim olasılığı, veri zengini ve fakiri arasında ayırım oluşturma, bilgisayar korsanlığına karşı güvenlik açığı, yerli ve küçük çiftçilere yetersiz hizmet, kırsal ve kentsel ilişkilerin dönüşümü, ekonomik kırılganlık, monokültürün yayılması ve doğal dünyadan kopma ve yabancılaşma gibi sonuçları ve karşılaşılabilecek riskleri olduğu belirtilmiştir (Sparrow vd., 2021).

Ölçeklenebilirlik sorunu için; ağ oluşturma, kablosuz iletişim, daha iyi iletişim hizmeti için doğru arayüzü teknolojisinin seçimi, mobilite, düşük enerji harcayan cihazlar, servis kalitesi, birlikte çalışabilirlik hizmeti, iyi tanımlanmış mimari ve cihazlar ve iletişim için güvenlik tarımsal Nİ zorlukları için alınacak önlemlerdir (Saranya vd., 2023). Ayrıca, yeni teknolojilerin tarım endüstrisine daha fazla entegrasyonu, ekipman ve altyapı maliyetleri, sermaye yatırımı, heterojenlik, uyumluluk, büyük miktarda verinin yönetim ve işlenmesi, tarımsal birimler arasında veri aktarımı, mahremiyet kaybı, teknolojik uyumsuzluk, kaynakların korunması ve siber güvenlik gibi sorunların çözülmesini gerektirmektedir (Duncan vd., 2021; Javaid vd., 2022; Shaikh vd., 2022).

Dijital teknolojilerin yaygınlaşması ve başarısı için yeni teknolojilerin benimsenmesi, zamansal ve mekânsal verilerin bir araya getirilmesi, disiplinlerarası yaklaşım, devlet ve özel sektör destekleri, eğitim programları ve yüksek kaliteli veri güvencesi gerekli görülmektedir. Küçük ve yerel çiftçiler için düşük maliyetli uygun makinelerin üretilmesi, büyük ölçekli çiftçiler için sensörlü sürücüsüz traktörlerin geliştirilmesi, farklı teknolojilerin tek bir sürece entegrasyonu gibi HT yönetimi faaliyetleri geliştirilmelidir. Mali kısıtlamaların önlenmesiyle birlikte, makine ve girdiler için kredi eksikliğinin giderilmesi çiftçilerin HT'yi benimsemelerini teşvik edebilir.

## 9. Sonuç

Tarımda karşılaşılan ve gelecekte daha artacak olan zorluklarla başa çıkmak ve verimliliği artırmak için bilimsel ve teknolojik gelişmelere her zamankinden daha fazla ihtiyaç vardır. Son yıllarda geliştirilen/geliştirilmekte olan yeni teknolojiler süreçleri daha verimli hale getirebilir, doğru karar verme, güvenli, kaliteli ve sürdürülebilir gıda üretimine katkı sağlayabilir. Bu teknolojiler verim ve kaliteyi iyileştirebilir, maliyetleri azaltabilir, toprak tuzluluğunu azaltıcı hassas sulama ve bitki besin maddesi kullanım etkinliğini artırabilirler. Ayrıca verimli rasyonel gübreleme ve pestisit kullanımından kaynaklanan kirliliği azaltabilir. Gelecekte tüm bitkilerde temel özelliklerin makine ve derin öğrenme modellerinin seçimi önerilebilir. Biyosensörlerin bitkilere dahil edilmesi; bitki moleküler süreçleri, besin asimilasyonu, antioksidan üretimi, meyve olgunlaşmasını gösteren etilen seviyesi ve diğer önemli parametreleri ölçmede etkili olabilecektir. Geçmiş ve güncel tarla verileri toprak verimliliğinin tahmininde kullanılabilirken, belli bir alanda yetersiz beslenen bitkiler tuz ve kuraklık stresi gibi koşulların göstergesi olabilir. Uzaktan algılama teknolojilerinin maliyet sorunları çözülerek tarıma dahil edilmesi gıda sektörünün sürdürülebilirliğini kolaylaştırabilir.

Bu derlemede, YZ teknolojilerinin; arazi kalitesi, hava durumu, tarımsal verilerin çıkarılması, projeksiyon ve verim tahmini, yeraltı suyu, ürün döngüsü, yabancı ot, hastalık ve haşere gibi alanlarda faydalı olacağı açıkça görülmüştür. Yeni teknolojiler hayvancılık sistemlerinde optimum çevre koşullarının sağlanması ve sağlık sorunlarının erken teşhisinde yardımcı olabilmektedir. Tüm bu olumlu gelişmelere rağmen veri gizliliği, güvenlik açığı, tekelleşme, tarihsel haritalama eksikliği, yavaş veri işleme, sensörlerin maliyeti, doğal dünyadan kopma, işleme karmaşıklığı ve eğitim gibi zorlukları aşmak; YZ, Nİ, her şeyin interneti (IoE), dronların interneti (IoD), İHA ve MÖ gibi yenilikçi verim, kalite ve kar artışı sağlayan teknolojilerin yayılma ve benimsenmesine katkı yapabilir. Geleceğin tarımı, özellikle su kaynağı kıtlığı, sıcaklık değişimleri, gıda kıtlığı ve israfi gibi zorlukların çözümünü uygun maliyetle bulmalı ve üstesinden gelmelidir. Bu durum, kirlilik düzeyinin azaltılması ve enerji üretkenliğinin artırılması, risklerin uygun yönetimi, çevre ve ekolojik varlıkların korunması, çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik için yeni teknolojilerin geliştirilmesiyle mümkün olabilecektir. Tarım teknolojisi sürdürülebilirliği esas almalı, girdi ihtiyacını azaltmalı, uygulamaları kolaylaştırmalı, tarımsal biyolojiyi yüksek oranda kullanmalı, doğaya, insana, toprak, çevre ve su gibi kaynaklara saygılı ve güven verici olmalıdır. Bu derlemenin, tarımda sürdürülebilirlik, izlenebilirlik, verim, kalite ve daha birçok yönüyle yararlı olacağı düşünülmektedir.

## Kaynakça

- 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., & Ramli, M.S.A. (2020). A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105441.
- Ahirwar, S., Swarnkar, R., Bhukya, S., & Namwade, G. (2019). Application of drone in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(1), 2500–2505.
- Ahmad, A., Ordoñez, J., Cartujo, P., & Martos, V. (2021). Remotely piloted aircraft (RPA) in agriculture: A pursuit of sustainability. *Agronomy*, 11(1), 7.
- Alreshidi, E. (2019). Smart sustainable agriculture (SSA) solution underpinned by internet of Things (IoT) and artificial intelligence (AI). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(5), 93-102.
- An, J., Li, W., Li, M., Cui, S., & Yue, H. (2019). Identification and classification of maize drought stress using deep convolutional neural network. *Symmetry*, 11(2), 256.
- 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.
- Araújo, S.O., Peres, R. S., Barata, J., Lidon, F., & Ramalho, J.C. (2021). Characterising the agriculture 4.0 landscape-emerging trends, challenges and opportunities. *Agronomy*, 11 (4), 667.
- Aslantaş, R., & Olgun, M. (1999). İklim verilerinden faydalanarak çoruh vadisinde yetişen cevizlerde verim tahmini ve modellemesi. *Türkiye III. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi*, Ankara, 305–309.
- Aslantaş, R., Karakurt, H., & Karakurt, Y. (2010). Bitkilerin düşük sıcaklıklara dayanımında hücrel ve moleküler mekanizmalar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41 (2), 157-167.



- Bali, N., & Singla, A. (2021). Deep learning based wheat crop yield prediction model in Punjab Region of North India. *Applied Artificial Intelligence*, 35(15), 1304–1328.
- Barrero O., & Perdomo S.A. (2018). RGB and multispectral UAV image fusion for Gramineae weed detection in rice fields. *Precision Agriculture*, 19(5), 809–822.
- Berckmans, D. (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Revue Scientifique et Technique*, 33, 189–196.
- Bhagat, P.R., Naz, F., & Magda, R. (2022). Artificial intelligence solutions enabling sustainable agriculture: A bibliometric analysis. *PLoS One*, 17(6), e0268989.
- Bibri, S.E. (2018). The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 38, 230–253.
- Bischoff, V., Farias, K., Menzen, J.P., & Pessin, G. (2021). Technological support for detection and prediction of plant diseases: A systematic mapping study. *Computers and Electronics in Agriculture*, 181, 105922.
- Blagojević, M., Blagojević, M., & Ličina, V. (2016). Web-based intelligent system for predicting apricot yields using artificial neural networks. *Scientia Horticulturae*, 213, 125–131.
- Boursianis, A.D., Papadopoulou, M.S., Diamantoulakis, P., Liopa-Tsakalidi, A., Barouchas, P., Salahas G., Karagiannidis, G., Wan, S., & Goudos, S.K. (2022). Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. *Internet of Things*, 18, 100187.
- Bu, F., & Wang, X. (2019). A smart agriculture IoT system based on deep reinforcement learning. *Future Generation Computer Systems*, 99, 500–507.
- Castaldi, F., Pelosi, F., Pascucci, S., & Casa, R. (2017). Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize. *Precision Agriculture*, 18(1), 76–94.
- Chang, A., Jung, J., Maeda, M. M., & Landivar, J. (2017). Crop height monitoring with digital imagery from unmanned aerial system (UAS). *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 232 – 237.
- Chen, Q., Li, L., Chong, C., & Wang, X. (2022). AI-enhanced soil management and smart farming. *Soil Use and Management*, 38(1), 7–13.
- Chen, Y., Lee, W. S., Gan, H., Peres, N., Fraisse, C., Zhang, Y., & He, Y. (2019). Strawberry yield prediction based on a deep neural network using high-resolution aerial orthoimages. *Remote Sensing*, 11(13), 1584.
- Cheng, H., Damerow, L., Sun, Y., & Blanke, M. (2017). Early yield prediction using image analysis of apple fruit and tree canopy features with neural networks. *Journal of Imaging*, 3(1), 6.
- Cruz, A., Ampatzidis, Y., Pierro, R., Materazzi, A., Panattoni, A., De Bellis, L., & Luvisi, A. (2019). Detection of grapevine yellows symptoms in *Vitis vinifera* L. with artificial intelligence. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 63–76.
- Çakmakçı, R., (2019). A Review of biological fertilizers current use, new approaches, and future perspectives. *International Journal of Innovative Studies in Sciences and Engineering Technology (IJISSET)*, 5(7), 83–92.
- Çakmakçı, R., Salık, M.A., Çakmakçı, S. (2023). Assessment and principles of environmentally sustainable food and agriculture systems. *Agriculture*, 13, 1073.
- Das, J.V., Sharma, S., & Kaushik, A. (2019). Views of Irish farmers on smart farming technologies: An observational study. *AgriEngineering*, 1(2), 164–187.
- Dayioğlu, M.A., & Türker, U. (2021). Digital transformation for sustainable future- agriculture 4.0: A review. *Journal of Agricultural Science*, 27(4), 373–399.
- DeChant, C., Wiesner-Hanks, T., Chen, S., Stewart, E.L., Yosinski, J., Gore, M.A., Nelson, R.J., & Lipson, H. (2017). Automated identification of northern leaf blight-infected maize plants from field imagery using deep learning. *Phytopathology*, 107, 1426–1432.
- Devi, G., Sowmiya, N., Yasoda, K., Muthulakshmi, K., & Balasubramanian, K. (2020). Review on application of drones for crop health monitoring and spraying pesticides and fertilizer. *Journal of Critical Reviews*, 7, 667–672.
- Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., & Kaliaperumal, R. (2022). Smart farming: Internet of things (IoT)-based sustainable agriculture. *Agriculture*, 12(10), 1745.
- Diwate, S., Nitnaware, V., & Argulwar, K. (2018). Design and development of application specific drone machine for seed sowing. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(5), 4003–4007.
- Duncan, E., Glaros, A., Ross, D.Z., & Nost, E. (2021). New but for whom? Discourses of innovation in precision agriculture. *Agriculture and Human Values*, 38, 1181–1199.
- Duysak, H., Özkaya, U., Yiğit, E. (2020). Grain surface classification via machine learning methods. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı, 54–59.
- EC, (2020). European Commission, Farm to fork strategy: For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. <https://food.ec.europa.eu/system/files/2020>.
- Elahi, E., Weijun, C., Zhang, H., & Nazeer, M. (2019). Agricultural intensification and damages to human health in relation to agrochemicals: Application of artificial intelligence. *Land Use Policy*, 83, 461–474.
- Escalante, H. J., Rodriguez-Snchez, S., Jimnez-Lizrraga, M., Morales-Reyes, A. Calleja, J. D. L., & Vazquez, R. (2019). Barley yield and fertilization analysis from UAV imagery: A deep learning approach. *International Journal of Remote Sensing*, 40(7), 2493–2516.
- Esgario, J.G. Krohling, R.A., & Ventura, J.A. (2020). Deep learning for classification and severity estimation of coffee leaf biotic stress. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105162.

- Faiçal, B.S., Freitas, H., Gomes, P.H., Mano, L.Y., Pessin, G., de Carvalho, A.C.P.L.F., Krishnamachari, B., & Ueyama, J. (2017). An adaptive approach for UAV-based pesticide spraying in dynamic environments, *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 210–223.
- Ferreira, B., Iten, M., & Silva, R.G. (2020). Monitoring sustainable development by means of earth observation data and machine learning: a review. *Environmental Sciences Europe*, 32,120.
- Fu, Z., Jiang, J., Gao, Y., Krienke, B., Wang, M., Zhong, K., Cao, Q., Tian, Y., Zhu, Y., Cao, W., & Liu, X. (2020). Wheat growth monitoring and yield estimation based on multi-rotor unmanned aerial vehicle. *Remote Sensing*, 12(3), 508.
- Fuentes, A., Yoon, S., Kim, S.C., & Park, D.S. (2017). A robust deep-learning-based detector for real-time tomato plant diseases and pests recognition. *Sensors*, 17, 2022.
- García, R., Aguilar, J., Toro, M., Pinto, A., & Rodríguez, P. (2020). A systematic literature review on the use of machine learning in precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179, 105826.
- Gholipour, M., & Nadali, F. (2019). Fruit yield prediction of pepper using artificial neural network. *Scientia Horticulturae*, 250, 249-253.
- Gholizadeh, M., Melesse, A., & Reddi, L. (2016). Spaceborne and airborne sensors in water quality assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 37, 3143-3180.
- Goedde, L., Katz, J., Ménard, A., & Revellat, J. (2020). Agriculture's connected future: How technology can yield new growth. McKinsey and Company, <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture>.
- Gómez, C., White, J., & Wulder, M. (2016). Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116, 55-72.
- Gómez, J.E., Marcollo, F.R., Triana, F.L., Gallo, V.T., Oviedo, B.W., & Hernández, V.L. (2017). IoT for environmental variables in urban areas. *Procedia Computer Science*, 109, 67-74.
- Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., Liu, T., Wang, X., Wang, G., & Cai, J. (2018). Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*, 77, 354–377.
- Hassan M.A., Yang, M., Rasheed A., Yang, G., Reynolds, M., Xia, X., Xiao, Y., & He, Z. (2019). A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. *Plant Science*, 282, 95–103.
- Hemming, S., de Zwart, F., Elings, A., Righini, I., & Petropoulou, A. (2019). Remote control of greenhouse vegetable production with artificial intelligence—greenhouse climate, irrigation, and crop production. *Sensors*, 19(8), 1807.
- Heuvelink, G.B.M., Angelini, M.E., Poggio, L., Bai, Z., Batjes, N.H., van den Bosch, R., Bossio, D., Estella, S., Lehmann, J., Olmedo, G.F., & Sanderman, J. (2021). Machine learning in space and time for modelling soil organic carbon change. *European Journal of Soil Science*, 72, 1607–1623.
- Hodgson, J.C., Mott, R., Baylis, S.M., Pham, T.T., Wotherspoon, S., Kilpatrick, A.D., Segaran, R.R., Reid, L., Terauds, A., & Koh, L.P. (2018). Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(5), 1160-1167.
- Hong, G.-J., Liu, M.-X., & Chen, C.-C. (2020). The smart image recognition mechanism for crop harvesting system in intelligent agriculture. *IEEE Sensors Journal*, 20, 2766-2781.
- Huang, H., Deng, J., Lan, Y., Yang, A., Deng, X., & Zhang, L. (2018). A fully convolutional network for weed mapping of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *PLoS One*, 13 (4), e0196302.
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt A.K., Pulatov, A., Franceschini, M.H:D., Kramer, H., van Loo, E.N., Roman, V.J., & Finkers, R. (2019). UAV based soil salinity assessment of cropland. *Geoderma*, 338, 502–512.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., & Suman, R. (2022). Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*, 3, 150–164.
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P., & Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2, 1–12.
- Ji, J., Zhu, X., Ma, H., Wang, H., Jin, X., & Zhao, K. (2021). Apple fruit recognition based on a deep learning algorithm using an improved lightweight network. *Applied Engineering in Agriculture*, 37(1), 123-134.
- Jung, J., Maeda, M., Chang, A., Bhandari, M., Ashapure, A., & Landivar-Bowles, J. (2021). The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. *Current Opinion in Biotechnology*, 70, 15–22.
- Kale, S.S., & Patil, P.S. (2019). Data mining technology with fuzzy logic, neural networks and machine learning for agriculture. In V. Balas, N. Sharma, & A. Chakrabarti (Eds.), *Data management, analytics and innovation* (pp.79-87), Springer, Singapore.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F.X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90, 2018.
- Kavianand, M., Nivas, V.M., Kiruthika R., & Lalitha, S. (2016). Smart drip irrigation system for sustainable agriculture. 2016 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), Chennai, India, pp. 19–22.
- Keskin, H., Grunwald, S., & Harris, W.G. (2019). Digital mapping of soil carbon fractions with machine learning. *Geoderma*, 339, 40–58.
- Keswani, B., Mohapatra, A.G., Mohanty, A., Khanna, A., Rodrigues, J.J.P.C., Gupta, D., & de Albuquerque, V.H.C. (2019). Adapting weather conditions based IoT enabled smart irrigation technique in precision agriculture mechanisms. *Neural Computing and Applications*, 31, 277–292.
- Khalil, R.A., Saeed, N., Masood, M., Fard, Y.M., Alouini, M.S., & Al-Naffouri, T.Y. (2021). Deep learning in the industrial internet of things: Potentials, challenges, and emerging applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 8 (14), 11016–11040.
- Kılıç, Z. (2020). The importance of water and conscious use of water. *International Journal of Hydrology*, 4(5), 239-241.

- Klyushin, D., & Tymoshenko, A. (2021). Optimization of drip irrigation systems using artificial intelligence methods for sustainable agriculture and environment. In: AE. Hassanien, R. Bhatnagar, & A. Darwish (Eds.). *Artificial intelligence for sustainable development: Theory, practice and future applications* (pp. 3-17). Springer International Publishing.
- Kodali, R.K., & Sahu, A. (2016). An IoT based soil moisture monitoring on Losant platform. 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics. IEEE, pp. 764–768.
- Liang, W., Zhang, H., Zhang, G., & Cao, H. (2019). Rice blast disease recognition using a deep convolutional neural network. *Scientific Report*, 9, 1–10.
- Lieder, S., & Schröter-Schlaack, C. (2021). Smart farming technologies in arable farming: towards a holistic assessment of opportunities and risks. *Sustainability*, 13, 6783.
- Lin, T.-L., Chang, H.-Y., & Chen, K.-H. (2020). The pest and disease identification in the growth of sweet peppers using faster R-CNN and mask R-CNN. *Journal of Internet Technology*, 21, 605–614.
- Lingwal, S., Bhatia, K.K., & Singh, M. (2022). A novel machine learning approach for rice yield estimation. *Journal of Experimental Theoretical Artificial Intelligence*, <https://doi.org/10.1080/0952813X.2022.2062458>
- Liu, B., Zhang, Y., He, D., & Li, Y. (2018). Identification of apple leaf diseases based on deep convolutional neural networks. *Symmetry*, 10, 11.
- MacPherson, J., Voglhuber-Slavinsky, A., Olbrisch, M., Schöbel, P., Dönitz, E., Mouratiadou, I., & Helming, K. (2022). Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, 70.
- Maes, W.H., & Steppe, K. (2019). Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Trends in Plant Science*, 24 (2), 152-164.
- Mahmood, H.S., Ahmad, M., Ahmad, T., Saeed, M.A., & Iqbal, M. (2013). Potentials and prospects of precision agriculture in Pakistan—a review. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 26(2), 151–167.
- Maimaitijiang, M., Sagan, V., Sidike, P., Hartling, S., Esposito, F., & Fritschi, F.B. (2020). Soybean yield prediction from UAV using multimodal data fusion and deep learning. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111599.
- Manogaran, G., & Lopez, D. (2018). Disease surveillance system for big climate data processing and dengue transmission. In *Climate Change and Environmental Concerns: Breakthroughs in Research and Practice* (pp. 427-446). IGI Global.
- Maraveas, C., Piromalis, D., Arvanitis, K.G., Bartzanas, T., & Loukatos, D. (2022). Applications of IoT for optimized greenhouse environment and resources management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 106993.
- Martos, V., Ahmad, A., Cartujo, P., & Ordoñez, J. (2021). Ensuring agricultural sustainability through remote sensing in the era of agriculture 5.0. *Applied Sciences*, 11, 5911.
- Masi, M., De Rosa, M., Vecchio, Y., Bartoli, L., & Adinolfi, F. (2022). The long way to innovation adoption: Insights from precision agriculture. *Agricultural and Food Economics*, 10, 27.
- Mateen, A., & Qingsheng, Z. (2019). Legion based weed extraction from UAV imagery. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 56(4), 1057–1064.
- McNicol, G., Bulmer, C., D’Amore, D., Sanborn, P., Saunders, S., Giesbrecht, I., Arriola, S. G., Bidlack, A., Butman, D., & Buma, B. (2019). Large, climate-sensitive soil carbon stocks mapped with pedology-informed machine learning in the North Pacific coastal temperate rainforest. *Environmental Research Letters*, 14(1), 14004.
- Megeto, G.A.S., da Silva, A.G., Bulgarelli, R.F., Bublitz, C.F., Valente, A.C., & da Costa, D.A.G. (2020). Artificial intelligence applications in the agriculture 4.0. *Revista Ciência Agronômica*, 51, Special Agriculture 4.0, e20207701.
- Mishra, P., Asaari, M.S.M., Herrero-Langreo, A., Lohumi, S., Diezma, B., & Scheunders, P. (2017). Close range hyperspectral imaging of plants: A review. *Biosystems Engineering*, 164, 49–67.
- Mohanraj, I., Ashokumar, K., & Naren, J. (2016). Field monitoring and automation using IoT in agriculture domain. *Procedia Computer Science*, 93, 931-939.
- Morellos, A., Pantazi, X.-E., Moshou, D., Alexandridis, T., Whetton, R., Tziotziou, G., Wiebensohn, J., Bill, R., & Mouazen, A.M. (2016). Machine learning based prediction of soil total nitrogen, organic carbon and moisture content by using VIS-NIR spectroscopy. *Biosystems Engineering*, 152, 104–116.
- Muhammad, M.N., Wayayok, A., Shariff, A.R.M., Abdullah, A.F., & Husin, E.M. (2019). Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude UAV aerial spraying in rice cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 167, 105045.
- Natu, A.S., & Kulkarni, S. (2016). Adoption and utilization of drones for advanced precision farming: A review. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 4, 563–565.
- Nevavuori, P., Narra, N., & Lipping, T. (2019). Crop yield prediction with deep convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104859.
- Ng, W., Minasny, B., Montazerolghaem, M., Padarian, J., Ferguson, R., Bailey, S., & McBratney, A.B. (2019). Convolutional neural network for simultaneous prediction of several soil properties using visible/near-infrared, mid-infrared, and their combined spectra. *Geoderma*, 352, 251–267.
- Nguyen, Q.T., Fouchereau, R., Frénod, E., Gerard, C., & Sincholle, V. (2020). Comparison of forecast models of production of dairy cows combining animal and diet parameters. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105258.
- Nie, X., Wang, L., Ding, H., & Xu, M. (2019). Strawberry verticillium wilt detection network based on multi-task learning and attention. *IEEE Access*, 7, 170003–170011.
- Norton, T., Chen, C., Larsen, M.L.V., & Berckmans, D. (2019). Review: precision livestock farming: building “digital representations” to bring the animals closer to the farmer. *Animal*, 3, 3009–3017.
- OECD, (2022). Digital innovations and the growing importance of agricultural data. OECD Publishing, Paris.



- Özgen, H., & Turan M. (2021). Sulama/ilaçlama robotu için nesne tanıma çalışmaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 25-33.
- Öztürk, E., Çelik, Y., & Kırıcı, P. (2021). Akıllı tarımda sensör uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28, 1279-1282.
- Padarian, J., Minasny, B., & McBratney, A.B. (2020). Machine learning and soil sciences: a review aided by machine learning tools. *Soil*, 6(1), 35–52.
- Park, S., Ryu, D., Fuentes, S., Chung, H., Hernández-Montes, E., & O’Connell, M. (2017). Adaptive estimation of crop water stress in nectarine and peach orchards using high-resolution imagery from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 9(8), 828.
- Partel, V., Kakarla, S.C. & Ampatzidis, Y. (2019). Development and evaluation of a low-cost and smart technology for precision weed management utilizing artificial intelligence. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 339–350.
- Patrício, D.I., & Rieder, R. (2018). Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 69-81.
- Paustian, M., & Theuvsen, L. (2017). Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. *Precision Agriculture*, 18, 701–716.
- Pham, T.D., Yokoya, N., Nguyen, T.T.T., Le, N.N., Ha, N.T., Xia, J., Takeuchi, W., & Pham, T.D. (2021). Improvement of mangrove soil carbon stocks estimation in North Vietnam using Sentinel-2 data and machine learning approach. *GIScience and Remote Sensing*, 58(1), 68–87.
- Pincheira, M., Vecchio, M., Giaffreda, R., & Kanhere, S.S. (2021). Cost-effective IoT devices as trustworthy data sources for a blockchain-based water management system in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105889.
- Pivoto, D., Waquil, P.D., Talamini, E., Finocchio, C.P.S., Corte, V.F.D., & de Vargas Mores, G. (2018). Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), 21-32.
- Qazi, S., Khawaja, B.A., & Farooq, Q.U. (2022). IoT-equipped and AI-enabled next generation smart agriculture: A critical review, current challenges and future trends. *IEEE Access*, 10, 21219-21235.
- Qureshi, T., Saeed, M., Ahsan, K., & Malik, A.A. (2022). Smart agriculture for sustainable food security using internet of Things (IoT). *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, 9608394.
- Rani, A., Chaudhary, A., Sinha, N., Mohanty, M., & Chaudhary, R. (2019). Drone: The green technology for future agriculture. *Harit Dhara*, 2, 3–6.
- Ray, P. (2018). A survey on internet of things architectures. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 30(3), 291-319.
- Ren, Q., Zhang, R., Cai, W., Sun, X., & Cao, L. (2020). Application and development of new drones in agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 440(5), 052041.
- Rose, D.C., & Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 87.
- Roth, L., Aasen, H., Walter, A., & Liebisch, F. (2018). Extracting leaf area index using viewing geometry effects- A new perspective on high-resolution unmanned aerial system photography. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 141, 161-175.
- Ryan, M., Isakhanyan, G., Tekinerdogan, B. (2023). An interdisciplinary approach to artificial intelligence in agriculture. *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*, 95, 2168568.
- Sa, I., Chen Z., Popovi, M., Khanna, R., Liebisch, F., Nieto, J., & Siegwart, R. (2018). WeedNet: Dense semantic weed classification using multispectral images and mav for smart farming. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3 (1), 588–595.
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(207), 1–21.
- Sanderman, J., Savage, K., & Dangal, S.R.S. (2019). Mid-infrared spectroscopy for prediction of soil health indicators in the United States. *Soil Science Society of America Journal*, 84, 251–261.
- Saranya, T., Deisy, C., Sridevi, S., & Anbananthen, K.S.M. (2023). A comparative study of deep learning and Internet of Things for precision agriculture. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 122, 106034.
- Savitha, M., & UmaMaheshwari, O.P. (2018). Smart crop field irrigation in IOT architecture using sensors. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 9(1), 302–306.
- Schillings, J., Bennett, R., & Rose, D.C. (2021). Exploring the potential of precision livestock farming technologies to help address farm animal welfare. *Frontiers in Animal Science*, 2, 639678.
- Shaikh, T.A., Rasool, T., & Lone, F.R. (2022). Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision agriculture and smart farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107119.
- Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., Chowdary, V. (2021). Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review. *IEEE Access*, 9, 4843-4873.
- Shekhar, Y., Dagur, E., Mishra, S., Tom, R.J., Veeramanikandan, M., & Sankaranarayanan, S. (2017). Intelligent IoT based automated irrigation system. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(18), 7306–7320.
- Shine, P., Murphy, M.D., Upton, J., & Scully, T. (2018). Machine-learning algorithms for predicting on-farm direct water and electricity consumption on pasture based dairy farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 150, 74–87.
- Sishodia, R.P., Ray, R.L., & Singh, S.K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote Sensing*, 12, 3136.
- Song, X.P., Li, H., Potapov, P., & Hansen, M.C. (2022). Annual 30 m soybean yield mapping in Brazil using long-term satellite observations, climate data and machine learning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 326, 109186.
- Song, X.-P., Liang, Y.-J., Zhang, X.-Q., Qin, Z.-Q., Wei, J.-J., Li, Y.-R., & Wu, J.-M. (2020). Intrusion of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in sugarcane and its control by drone in China. *Sugar Tech*, 22, 734–737.



- Spachos, P., & Gregori, S. (2019). Integration of wireless sensor networks and smart UAVs for precision viticulture. *IEEE Internet Computing*, 23(3), 8-16.
- Sparrow, R., Howard, M., & Degeling, C. (2021). Managing the risks of artificial intelligence in agriculture. *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*, 93(1), 172-196.
- Steele-Dunne, S.C., McNairn, H., Monsivais-Huertero, A., Judge, J., Liu, P.-W., & Papathanassiou, K. (2017). Radar remote sensing of agricultural canopies: A review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10, 2249–2273.
- Subeesh, A., & Mehta, C.R. (2021). Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5, 278-291.
- Suganya, E., Sountharajan, S., Shandilya, S.K., & Karthiga, M. (2019). Chapter 5- IoT in agriculture investigation on plant diseases and nutrient level using image analysis techniques. In V.E. Balas, L.H. Son, S. Jha, M. Khari, R. Kumar (Eds.), *Internet of Things in biomedical engineering* (pp.117–130). Academic Press.
- Sujaritha, M., Annadurai, S., Satheeshkumar, J., Kowshik Sharan, S., & Mahesh, L. (2017). Weed detecting robot in sugarcane fields using fuzzy real time classifier. *Computers and Electronics in Agriculture*, 134, 160–171.
- Sukhadia, A., Upadhyay, K., Gundeti, M., Shah, S., & Shah, M. (2020). Optimization of smart traffic governance system using artificial intelligence. *Augmented Human Research*, 5, 13.
- Sun, Y., Yi, S., Hou, F., Luo, D., Hu, J., & Zhou, Z. (2020). Quantifying the dynamics of livestock distribution by unmanned aerial vehicles (UAVs): A case study of yak grazing at the household scale. *Rangeland Ecology and Management*, 73, 642–648.
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58–73.
- Tao, W., Zhao, L., Wang, G., & Liang, R. (2021). Review of the internet of things communication technologies in smart agriculture and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189, 106352.
- Tsai, D.M., & Huang, C.Y. (2014). A motion and image analysis method for automatic detection of estrus and mating behavior in cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 104, 25–31.
- Vanegas, F., Bratanov, D., Powell, K., Weiss, J., & Gonzalez, F. (2018). A novel methodology for improving plant pest surveillance in vineyards and crops using UAV-based hyperspectral and spatial data. *Sensors*, 18(1), 260, 2018.
- Veroustraete, F. (2015). The rise of the drones in agriculture. *Ecronicon*, 2 (2), 1–3.
- Voulodimos, A., Doulamis, N., Doulamis, A., & Protopapadakis, E. (2018). Deep learning for computer vision: A brief review. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2018, 7068349.
- Weiss, M., Jacob, F., & Duveiller, G. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111402.
- Wolfert, S., & Isakhanyan, G. (2022). Sustainable agriculture by the Internet of Things – A practitioner’s approach to monitor sustainability progress. *Computers and Electronics in Agriculture*, 200, 107226.
- Yamamoto, K., Guo, W., Yoshioka, Y., & Ninomiya, S. (2014). On plant detection of intact tomato fruits using image analysis and machine learning methods. *Sensors*, 14(7), 12191-
- Zannou, J.G.N., & Houndji, V.R. (2019). *Sorghum yield prediction using machine learning*. 3rd International Conference on Bio-engineering for Smart Technologies, 24-26 April 2019, Paris, France.
- Zhang, C., & Kovacs, J.M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712.
- Zhang, S. Chen, X., & Wang, S. (2014). Research on the monitoring system of wheat diseases, pests and weeds based on IoT. 9th International Conference on Computer Science Education, 22-24 August 2014, Vancouver, BC, Canada, pp. 981–985.
- Zhang, T., Su, J., Liu, C., & Chen, W.-H. (2019). Bayesian calibration of AquaCrop model for winter wheat by assimilating UAV multi-spectral images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 167, 105052.
- Zhang, J., Karkee, M., Zhang, Q., Zhang, X., Yaqoob, M., Fu, L., & Wang, S. (2020). Multi-class object detection using faster R-CNN and estimation of shaking locations for automated shake-and-catch apple harvesting. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105384.
- Zheng, C., Abd-Elrahman, A., & Whitaker, V. (2021). Remote sensing and machine learning in crop phenotyping and management, with an emphasis on applications in strawberry farming. *Remote Sensing*, 13, 531.
- Zhou, X., Zheng, H., Xu, X., He, J., Ge, X., Yao, X., Cheng, T., Zhu, Y., Cao, W., & Tian, Y. (2017). Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 246 – 255.
- Zhou, Y., Xia, Q., Zhang, Z., Quan, M., & Li, H. (2022). Artificial intelligence and machine learning for the green development of agriculture in the emerging manufacturing industry in the IoT platform. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 72 (1), 284-299.
- Zhuang, X., Bi, M., Guo, J., Wu, S., & Zhang, T. (2018). Development of an early warning algorithm to detect sick broilers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 144, 102–113.