



**Yapay Zekâ ve Tarım:**  
**Tarım Sektöründe**  
**Teknolojik Dönüşüm Fırsatları**





# YAPAY ZEKÂ ve TARIM: TARIM SEKTÖRÜNDE TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜM FIRSATLARI



1882  
KONYA TİCARET ODASI  
KONYA CHAMBER OF COMMERCE



KTO KARATAY  
ÜNİVERSİTESİ

# YAPAY ZEKÂ ve TARIM: TARIM SEKTÖRÜNDE TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜM FIRSATLARI

## İmtiyaz Sahibi

Kalkınma Odaklı Stratejik Araştırmalar Merkezi adına  
Lütfi Can BAŞARAN

## Editör

Dr. Ahmet ÇELİK

## Hazırlayan

Doç. Dr. Ali Yavuz ŞEFLEK  
Dr. Öğr. Üyesi Keziban Yalçın DOKUMACI  
Zülfiye KAYNAR KARAARSLAN

## Kapak

Nevzat PEKKARPUZ

## Baskı Yeri, Yılı

Konya, 2025

## E-ISBN

978-625-97303-7-0

## KOSAM

Akabe Mah. Alaaddin Kap Cad.  
No:130 42020 Karatay / Konya  
[www.kosam.org](http://www.kosam.org)

KTO Karatay Üniversitesi Yayınları  
Temmuz 2025

Bu yayının tüm hakları KOSAM'a aittir. KOSAM'ın izni olmadan yayının tümünün veya bir kısmının elektronik veya mekanik (fotokopi, kayıt ve bilgi depolama vd.) yollarla basımı, yayımı, çoğaltılması veya dağıtımı yapılamaz. KTO Karatay Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) kapsamında desteklenen bu çalışmadan, kaynak göstermek sureti ile alıntı yapılabilir.

## **ÖNSÖZ**

Tarım, yüzyıllardır insanlığın temel geçim kaynağı ve stratejik önceliği olmayı sürdürmektedir. Ancak 21. yüzyılda hızla değişen iklim koşulları, artan nüfus ve sınırlı kaynaklar, bu kadim sektörde köklü dönüşümleri zorunlu kılmaktadır. Kalkınma Odaklı Stratejik Araştırmalar Merkezi (KOSAM) olarak, tarım sektöründe teknolojik dönüşümün destekleyici gücü olan yapay zekâ teknolojilerini odağımıza aldığımız **“Yapay Zekâ ve Tarım: Tarım Sektöründe Teknolojik Dönüşüm Fırsatları”** başlıklı bu raporu kamuoyuyla paylaşmaktan gurur duyuyoruz.

KOSAM olarak hazırladığımız bu çalışma, yapay zekânın tarımda sunduğu yenilikçi çözümleri kapsamlı bir şekilde incelemekte; veri analitiği, makine öğrenmesi, drone teknolojileri, akıllı sulama sistemleri ve otonom tarım ekipmanlarının sektöre entegrasyonunu değerlendirmektedir.

Raporumuz, sadece mevcut durumu ortaya koymakla kalmamakta; aynı zamanda Türkiye tarımı için somut öneriler, yol haritaları ve stratejik yönelimler sunmaktadır. ISOBUS gibi ileri teknolojilere ilişkin teknik detaylar ve uluslararası uygulama örnekleriyle desteklenen bu çalışma, ülkemizin tarımsal rekabet gücünü artırma potansiyelini gözler önüne sermektedir.

KOSAM olarak sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada teknolojinin dönüştürücü gücüne güveniyor; bu raporun, tarım politikalarının şekillenmesine katkı sunacağına, karar alıcılara, yatırımcılara ve tüm paydaşlara yol gösterici olacağına inanıyoruz.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖNSÖZ .....                                                                                      | i   |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                                 | ii  |
| ŞEKİLLER .....                                                                                   | iii |
| TABLolar.....                                                                                    | iii |
| YÖNETİCİ ÖZETİ .....                                                                             | 1   |
| GİRİŞ .....                                                                                      | 4   |
| <b>1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE ve TARIMDA YAPAY ZEKÂ KULLANIMININ TARİHSEL GELİŞİMİ</b> .....           | 7   |
| 1.1. Tarım 3.0 Temel Bileşenleri .....                                                           | 9   |
| 1.2. Tarım 4.0 Temel Bileşenleri .....                                                           | 12  |
| 1.3. Tarım 5.0 Temel Bileşenleri .....                                                           | 14  |
| <b>2. YAPAY ZEKÂ ve TARIMDA UYGULAMA ALANLARI</b> .....                                          | 19  |
| <b>3. YAPAY ZEKÂ ve TARIMDA KULLANIMI</b> .....                                                  | 21  |
| 3.1. Tarımda Yapay Zekâ Alanında Küresel Eğilimler ve Yenilikler .....                           | 23  |
| 3.2. Yapay Zekâ ile Hassas Tarım ve Ürün Takibi.....                                             | 24  |
| 3.3. Yapay Zekâ Destekli Bilgisayarlı Görü, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Teknikleri.....    | 24  |
| 3.4. Yapay Zekâ ile Zararlılarla ve Hastalıklarla Mücadele .....                                 | 26  |
| 3.5. Yapay Zekâ ile Tarımda Sürdürülebilirlik ve Verimlilik İyileştirmeleri .....                | 26  |
| 3.6. ISOBUS Uygulamaları ve Yapay Zekâ .....                                                     | 27  |
| 3.6.1. ISOBUS Terminali (ISOBUS UT) .....                                                        | 27  |
| 3.6.2. ISOBUS Traktör Elektronik Kontrol Ünitesi (TECU).....                                     | 28  |
| 3.6.3. ISOBUS İş Bilgisayarı ve Bağlantı Konnektörleri .....                                     | 29  |
| 3.6.4. ISOBUS Görev Denetleyici (ISOBUS TC) .....                                                | 29  |
| 3.6.5. Veri Toplama Mekanizmaları.....                                                           | 31  |
| 3.6.6. Karar Destek Sistemleri (DSS) .....                                                       | 33  |
| 3.6.7. ISOBUS Uygulamalarında Yapay Zekânın Rolü .....                                           | 34  |
| <b>4. TARIMDA YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARINDA SWOT ANALİZİ</b> .....                                  | 37  |
| 4.1. SWOT Analizi.....                                                                           | 38  |
| 4.2. Vaka Çalışmaları.....                                                                       | 42  |
| 4.3. Disiplinler Arası İş Birliği ve Politika Desteği Çağrısı .....                              | 44  |
| <b>5. TÜRKİYE TARIMINDA YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI, YOL HARİTASI ve DÖNÜŞÜM İÇİN ÖNERİLER</b> ..... | 45  |
| 5.1. Yapay Zekâ Kullanımının Benimsenmesinde Karşılaşılan Genel Zorluklar.....                   | 48  |
| <b>6. SONUÇ</b> .....                                                                            | 52  |
| <b>KAYNAKÇA</b> .....                                                                            | 54  |

## **ŞEKİLLER**

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1: Sanayi ve Tarım Devriminin Tarihsel Gelişimi .....                                                                      | 6  |
| Şekil 2: Endüstriyel Devrimin Tarihsel Gelişimi (Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım 4.0) .....                                       | 8  |
| Şekil 3: Yapay Zekâ Tarihi .....                                                                                                 | 9  |
| Şekil 4: Tarım 3.0'ın Şematik Olarak Açıklanması .....                                                                           | 11 |
| Şekil 5: Akıllı Tarım Uygulamaları .....                                                                                         | 14 |
| Şekil 6: Tarımda Yapay Zekâ Destekli Otonom Robotlar .....                                                                       | 15 |
| Şekil 7: Dijital Çağ.....                                                                                                        | 15 |
| Şekil 8: Yapay Zekâ ve Uygulama Alanları .....                                                                                   | 20 |
| Şekil 9: Bitkisel Üretimde Yapay Zekâ Kullanımı.....                                                                             | 22 |
| Şekil 10: İlaçlama Makinelerinde Yapay Zekâ Kullanımı.....                                                                       | 25 |
| Şekil 11: Yapay Zekâ ile Sürü Yönetimi .....                                                                                     | 25 |
| Şekil 12: ISOBUS Sistemi .....                                                                                                   | 27 |
| Şekil 13: ARAG Firmasına Ait Bir ISOBUS Terminali (ISOBUS-UT).....                                                               | 28 |
| Şekil 14: Dizel Bir Motora Ait Elektronik Kontrol Ünitesi .....                                                                  | 28 |
| Şekil 15: ARAG Firmasına Ait Bir ISOBUS İş Bilgisayarı (ISOBUS-Elektronik Kontrol Ünitesi - ECU) ve Bağlantı Konnektörleri ..... | 29 |
| Şekil 16: TC-SC İlaçlama Makinelerinde Kısmi Kontrol Uygulaması .....                                                            | 30 |

## **TABLolar**

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1: Tarımda Yapay Zekâ Uygulamaları İçin SWOT Analizi ..... | 37 |
|------------------------------------------------------------------|----|

## **YÖNETİCİ ÖZETİ**

Tarım sektörü, küresel çapta artan nüfus, sınırlı doğal kaynaklar, iklim değişikliği ve üretim maliyetlerindeki artış gibi çok boyutlu zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum, daha verimli, sürdürülebilir ve akıllı tarım uygulamalarına duyulan ihtiyacı artırmıştır. Yapay zekâ (YZ), büyük veri analitiği, makine öğrenmesi, derin öğrenme ve robotik otomasyon gibi yenilikçi teknolojilerle, bu zorlukların üstesinden gelmede önemli bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. YZ'nin tarım sektörüne entegrasyonu, üretkenliği artırmanın yanı sıra kaynak yönetiminde optimizasyon, çevresel etkilerin azaltılması ve gıda güvenliğinin sağlanmasında da kritik bir rol oynamaktadır.

Bu rapor, YZ'nin tarımdaki tarihsel gelişimini ve endüstriyel devrimlerle olan ilişkisini ele almaktadır. Tarım 3.0, mekanizasyon ve hassas tarım uygulamalarını içerirken; Tarım 4.0, dijitalleşme ve veri odaklı sistemlerin devreye alınmasıyla tarımsal üretimde önemli bir dönüm noktası olmuştur. Günümüzde Tarım 5.0 konsepti, insan odaklı otomasyon, sürdürülebilirlik ve entegre sistemlerin geliştirilmesi ile tarımın geleceğini şekillendirmektedir. Bu süreçte yapay zekâ; hassas tarım, veri analitiği, drone ve robotik uygulamalar, akıllı sulama sistemleri ve genomik iyileştirmeler gibi alanlarda etkin çözümler sunmaktadır.

YZ teknolojileri, tarımda birçok alanda devrim niteliğinde değişimler yapmıştır. YZ destekli hassas tarım uygulamaları, çiftçilerin su, gübre ve pestisit kullanımını optimize etmesine olanak sağlamakta; bu da üretkenliği artırırken çevresel etkileri azaltmaktadır. Makine öğrenmesi ve bilgisayarla görme gibi YZ teknikleri, bitki sağlığını izleme, zararlıların tespiti ve hastalıkların erken teşhisi gibi kritik konularda kullanılmaktadır. Otonom traktörler ve robotlar ise, ekimden hasada kadar geniş bir yelpazede tarımsal faaliyetlerin etkinliğini artırırken, fiziksel iş gücüne olan bağımlılığı azaltmayı hedeflemektedir.

Drone teknolojileri, hava görüntüleme sistemleriyle tarla koşullarını ve ürün sağlığını izlerken, blockchain (blok zinciri) ve IoT (Nesnelerin İnterneti) gibi teknolojiler, gıda tedarik zincirinde şeffaflık ve güvenliği artırmıştır. Bununla birlikte, yapay zekâ destekli karar destek sistemleri (DSS), çiftçilere gerçek zamanlı içgörüler sunarak bilinçli karar alma süreçlerini kolaylaştırmayı amaçlamaktadır.

Raporda, YZ'nin küresel tarım uygulamalarında nasıl bir dönüşüm oluşturduğuna dair başarılı vaka çalışmalarına yer verilmiştir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde YZ

destekli drone uygulamaları, pestisit kullanımını azaltmış; Hindistan'da IoT ve YZ entegrasyonu, küçük ölçekli çiftçiler için su tasarrufunu artırmıştır. Benzer şekilde, gelişmiş ülkelerdeki çiftlikler, YZ destekli otomasyon ve robotik sistemlerle üretim süreçlerini daha verimli hale getirmiştir.

Türkiye özelinde yapılan değerlendirmeler, tarımda YZ uygulamalarının hâlâ sınırlı olduğunu göstermektedir. Yüksek maliyetler, teknik altyapı eksiklikleri ve küçük ölçekli çiftçilerin teknolojiye erişimindeki zorluklar, YZ'nin yaygınlaşmasının önündeki başlıca engellerdir. Bununla birlikte, Türkiye'nin tarım makinesi üretiminde önemli bir kapasiteye sahip olduğu ve ISOBUS gibi sistemlere entegrasyon veya yerel düzeyde benzer sistemlerin geliştirilmesiyle bu engellerin aşılabileceği belirtilmiştir.

Tarım makinelerinde kullanılan ISOBUS sistemlerinin YZ uygulamalarını destekleyen altyapıyı nasıl sağladığı raporda detaylı olarak ele alınmıştır. ISOBUS uyumlu makineler, sensörler aracılığıyla toplanan verileri analiz ederek çiftçilere doğru ve etkili bilgiler sunmaktadır. Bu sistemler, karar destek mekanizmaları ve otonom uygulamaların entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır. Türkiye'de ISOBUS benzeri sistemlerin yerli olarak geliştirilmesi veya mevcut ISOBUS sistemine ülkemizde faaliyet gösteren tarım makineleri imalatçı firmaların entegrasyonunun daha kolay hale getirilmesi, teknoloji maliyetlerini düşürmek ve çiftçilerin bu sistemlere erişimini artırmak açısından kritik bir fırsat olarak değerlendirilmektedir.

YZ'nin tarım sektöründe adaptasyonu, teknolojik maliyetler, veri gizliliği endişeleri ve uzmanlık gereklilikleri gibi çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Ayrıca, kırsal bölgelerde altyapı eksiklikleri ve küçük aile işletmesi niteliğindeki çiftçilerin bu teknolojilere erişimindeki sosyo-ekonomik engeller, YZ uygulamalarının yaygınlaşmasını sınırlandırmaktadır. Bu zorlukların aşılması için:

**Politika Desteği ve Teşvikler:** Kamu politikalarının YZ uygulamalarını teşvik etmesi ve çiftçilere maddi destek sağlaması gerekmektedir.

**Eğitim ve Farkındalık:** Çiftçilerimizin YZ teknolojilerini anlaması ve etkin bir şekilde kullanması için eğitim programları düzenlenmelidir. Genel anlamda tarımla uğraşan çiftçilerimizin yaş ortalamalarının 55'in üzerinde olması ve genç nüfusun tarıma kazandırılması açısından yapay zekâ odaklı tarımsal uygulamaların tarımı daha cazip hale getireceği de unutulmamalıdır.

**Yerel Çözümler:** Türkiye'nin tarım makineleri sektöründe geliştirdiği kapasite, veri toplamaya yönelik sistemlerin geliştirilmesi ve uygun maliyetli çözümler üretilmesi için kullanılmalıdır.

**Disiplinler Arası İş Birliği:** Araştırmacılar, teknoloji geliştiriciler ve çiftçiler arasında iş birliği sağlanarak YZ'nin adaptasyonu hızlandırılabilir.

### **Sonuç ve Gelecek Perspektifleri**

Bu rapor, yapay zekânın tarımdaki mevcut ve gelecekteki potansiyelini değerlendirerek, sürdürülebilir ve verimli bir tarımsal ekosistem oluşturulmasına yönelik bir yol haritası sunmaktadır. Tarımda YZ'nin başarılı bir şekilde uygulanması, sadece üretkenliği artırmakla kalmayacak, aynı zamanda çevresel etkileri azaltarak daha sürdürülebilir bir gelecek oluşturacaktır. Türkiye'nin tarım sektöründe yapay zekâ odaklı bir dönüşümü gerçekleştirmesi, teknolojiye dayalı rekabet gücünü artırmak ve küresel tarım pazarında daha güçlü bir konum elde etmek için kritik öneme sahiptir. Üniversitelerimizde, araştırma kurumlarımızda ve özel sektörümüzde yapay zekâ odaklı birçok çalışma yürütülmektedir. Ancak bunlar arasında gerekli koordinasyon yeteri düzeyde sağlanamamıştır. Verilerin belirlenen bir formatta ve belli merkezlerde toplanması tekerrür eden çalışmalara bağlı zaman kayıplarının önüne geçecektir. Bu hedeflere ulaşılması için; çiftçiler, politika yapıcılar, akademisyenler, araştırma kurumları ve teknoloji geliştiricilerin iş birliği içinde çalışması gerekmektedir. Bu amaçla belirlenen bir hedefe yönelik görev dağılımları yapılarak bir yol haritası belirlenmeli ve sağlanan iş birlikleri çerçevesinde gerekli altyapı çalışmaları yapılmalıdır.

## **GİRİŞ**

Tarım, insanların temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla bitkisel ve hayvansal ürünlerin üretimi, yetiştirilmesi ve işlenmesi süreçlerini içeren ekonomik ve sosyal bir faaliyettir (FAO, 2014). Toprak hazırlama, ekim, dikim, sulama, gübreleme, zararlılarla mücadele, hasat ve ürün işleme gibi bir dizi aşamayı kapsar. Tarım, gıda üretiminin yanı sıra tekstil, ilaç, enerji gibi birçok endüstriye hammadde sağlayarak küresel ekonomide kritik bir rol oynar (World Bank, 2018).

Aynı zamanda tarım, çevresel sürdürülebilirlik, biyolojik çeşitliliğin korunması ve iklim değişikliği ile mücadele açısından da hayati öneme sahiptir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024). Geleneksel yöntemlerden modern teknolojilere kadar uzanan çeşitli uygulamalarla tarım, dünya nüfusunun artan gıda talebini karşılamayı hedeflemektedir. Modern tarım uygulamaları arasında mekanizasyon, hassas tarım, biyoteknoloji ve yapay zekâ gibi yenilikçi teknolojiler öne çıkmaktadır.

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO) göre, dünya nüfusu 2050 yılına kadar 10 milyara ulaşacaktır. Bu artan nüfusun gıda taleplerini karşılamak için tarımsal üretimin iki katına çıkarılması gerekecek, bu da yaklaşık %70 oranında bir gıda üretimi artışı anlamına gelmektedir. Ancak, 2050 yılına kadar yalnızca %4 oranında ek tarım arazisi sağlanabilecektir. Bu nedenle, çiftlik işletmelerinin bu zorluklarla başa çıkmak ve bunları aşmak için yeni ve yenilikçi teknolojilere ihtiyaç duyduğu açıktır. Yapay zekâ kullanılarak bu zorlukların üstesinden gelinmesi mümkün hale gelebilir.

En eski ve en temel insan faaliyetlerinden biri olan tarım, modern çağda nüfus artışı, iklim değişikliği, artan girdi maliyetleri ve sınırlı doğal kaynaklar nedeniyle önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Tüm bu zorluklar tarımsal sistemlerde verimliliği, üretkenliği ve sürdürülebilirliği artıracak bir dönüşümü zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda tüm bu mecburiyetlere yanıt olarak yapay zekâ (AI), tarımsal uygulamalarda devrim oluşturma potansiyeline sahip, dönüştürücü bir teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır. Büyük veri analitiği (Big Data Analytics), makine öğrenmesi (Machine Learning), derin öğrenme teknikleri (Deep Learning) ve otomasyonu içeren yapay zekâ teknolojileri, tarımsal süreçleri otomatikleştirerek optimize edebilen, üretkenliği artırabilen ve çevresel etkiyi en aza indirebilen yenilikçi çözümler sunmaktadır (Wolfert vd., 2017).

Yapay zekânın tarıma entegrasyonu, genellikle "akıllı tarım" (Smart Agriculture) olarak adlandırılmaktadır. Akıllı tarım; hava istasyonları, toprak sensörleri ve ürün izleme sistemleri gibi çeşitli kaynaklardan çok miktarda veri toplamak ve analiz etmek için gelişmiş araçların kullanılmasını içermektedir. Bu veriye dayalı tahminlemeler ve içgörüler, çiftçilerin üretim yönetimi, zararlı (haşere) kontrolü ve kaynak tahsisi hakkında daha bilinçli kararlar

almasına olanak tanımaktadır (Kamilaris vd., 2017). Yapılan birçok bilimsel araştırma, su, gübre ve pestisitlerin optimize edilmesine olanak sağlayan yapay zekâ tabanlı hassas tarım uygulamalarının; tarımsal ürünlerin verim ve kalitesini arttırırken kayıpları azalttığını göstermektedir (Zhang & Kovacs, 2012).

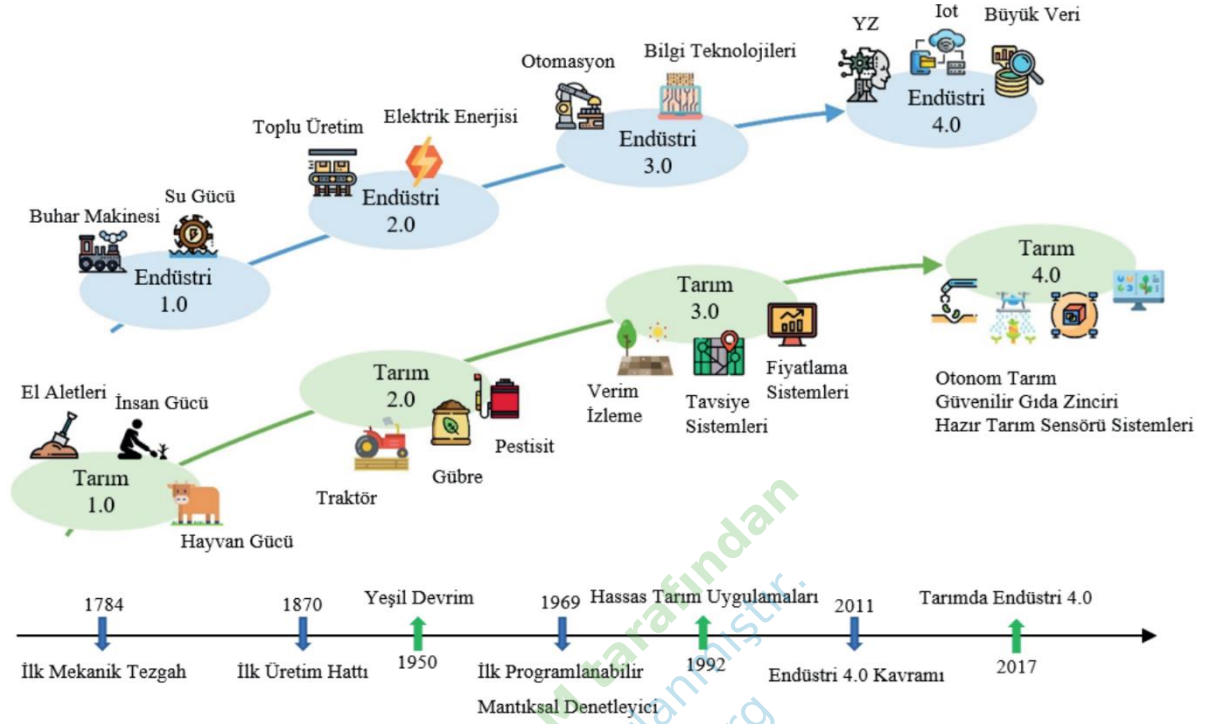
Ayrıca yapay zekâ destekli robotik ve otomasyon; ekim, yabancı otlar ile mücadele ve hasat gibi yoğun işgücü gerektiren tarımsal faaliyetlerde önemli avantajlar sağlamaktadır. Yapay zekâ teknolojilerinin sadece verimliliği artırmakla kalmayıp, aynı zamanda işgücü gereksinimlerini giderdiği ve çiftçilerin üzerindeki fiziksel yükü azaltmaya yönelik katkılarının bulunduğunu da bilinmektedir. Yapay zekânın tahmin yetenekleri tarımda da paha biçilemezdir; bitki hastalıklarının ve zararlılarının erken tespitine olanak tanımakta ve böylece büyük ölçekli ürün kayıplarını önleyerek gıda güvenliğini artırmaktadır (Pantazi vd., 2016).

Sağladığı önemli avantajlara rağmen, yapay zekânın tarımda benimsenmesi birtakım zorlukları da beraberinde getirmektedir. Veri gizliliği, teknolojinin yüksek maliyeti ve teknik uzmanlığa ihtiyaç duyulması gibi sorunlar, yaygın uygulamanın önünde önemli engeller oluşturmaktadır. Ayrıca yapay zekânın küçük ölçekli çiftçiler ve kırsal topluluklar üzerindeki sosyo-ekonomik etkisine ilişkin endişeler bulunmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek, yapay zekâ odaklı ilerlemelerin tüm paydaşlar için erişilebilir ve faydalı olmasını sağlamak için çiftçiler, araştırmacılar, politika yapıcılar ve teknoloji geliştiriciler arasında işbirlikçi bir çaba gerekmektedir.

Rapor, yapay zekânın tarımdaki uygulamaları ve faydaları hakkında kapsamlı bir genel bakış sunmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, benimsenmesiyle ilgili zorlukları tartışacak ve tarım sektöründe yapay zekâ odaklı yeniliklerin gelecekteki potansiyelini araştırmaya yönelik bir çalışma niteliğinde olacaktır. Bu kapsamda, yapay zekânın dönüştürücü potansiyeli incelenerek, yapay zekânın 21. yüzyılın tarımsal taleplerini karşılamadaki kritik rolünün belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Endüstriyel devrim aşamalarını ve tarımın bu süreçlerdeki gelişimini ele alacak olursak, Tarım 3.0 dönemi, hassas tarım teknolojilerinin uygulanmasını kapsamaktadır. Aşağıda, genel bir bakış açısıyla Tarım 3.0, Tarım 4.0 ve yapay zekânın etkin şekilde kullanılmasının beklendiği Tarım 5.0 başlıklar halinde detaylarıyla incelenmiştir.

**Şekil 1: Sanayi ve Tarım Devriminin Tarihsel Gelişimi**



**Kaynak:** Aceto vd., 2019; Güzel vd., 2022.

## **1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE ve TARIMDA YAPAY ZEKÂ KULLANIMININ TARİHSEL GELİŞİMİ**

Tarım, insanların beslenme, giyim, barınma gibi temel ihtiyaçlarını karşılamak için bitkisel ve hayvansal üretim süreçlerini içeren bir faaliyettir. Bu süreç, toprak hazırlama, ekim ve dikim, sulama, gübreleme, zararlı kontrolü, hasat ve ürünlerin işlenmesi gibi bir dizi aşamayı kapsar (FAO, 2014). Tarım aynı zamanda ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik için kritik bir sektördür. Modern tarım uygulamaları; mekanizasyon, biyoteknoloji, sürdürülebilir üretim teknikleri ve dijital tarım teknolojileri ile birleştirilerek verimlilik ve kaynak yönetiminde iyileştirmeler sağlar.

Tarım, farklı alt sektörlerle ayrılır. Tarla bitkileri yetiştiriciliği (örneğin, buğday, mısır), bahçe bitkileri yetiştiriciliği (meyve ve sebzeler), hayvancılık (sığır, koyun), orman ve su ürünleri yetiştiriciliği gibi alanlar, tarımın ana dallarını oluşturmaktadır. Her biri, iklim, toprak tipi ve ekonomik koşullara göre farklı teknikler ve yöntemlerle uygulanır (World Bank, 2018).

Tarımda sürdürülebilirlik kavramı son yıllarda önem kazanmıştır. Özellikle çevresel etkileri azaltmak için organik tarım, akıllı tarım teknolojileri ve iklim dostu üretim yöntemleri yaygınlaşmıştır. Örneğin, teknoloji destekli damla sulama gibi sistemler, su kullanımını minimize ederken verimi artırmaktadır (FAO, 2014).

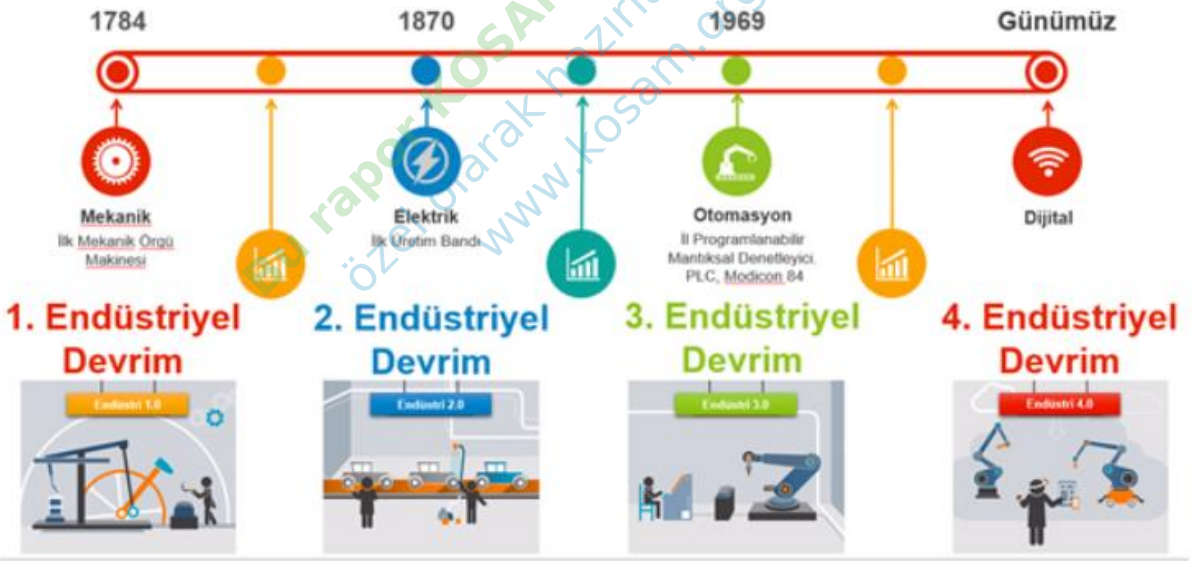
Yapay zekâ (YZ), makinelerin insan zekasına benzer şekilde öğrenme, akıl yürütme, karar alma ve problem çözme becerilerini geliştirmesi anlamına gelir. YZ, veri analitiği ve otomasyonu birleştirerek, çeşitli sektörlerde karmaşık görevlerin üstesinden gelmek için tasarlanmıştır. Makine öğrenmesi, derin öğrenme, doğal dil işleme ve robotik ve otomasyon YZ'nin temel bileşenlerini oluşturmaktadır.

Tarımda yapay zekâ uygulamaları; verimlilik artışı ve kaynak yönetimi hastalık ve zararlı tespiti, otonom tarım makineleri, ürün takibi ve izlenmesi (Goodfellow vd., 2016), tahmin ve modelleme gibi çok çeşitli alanlarda kullanıldığı ifade edilmektedir (World Bank, 2018).

Şekil 2: Endüstriyel Devrimin Tarihsel Gelişimi (Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım 4.0)

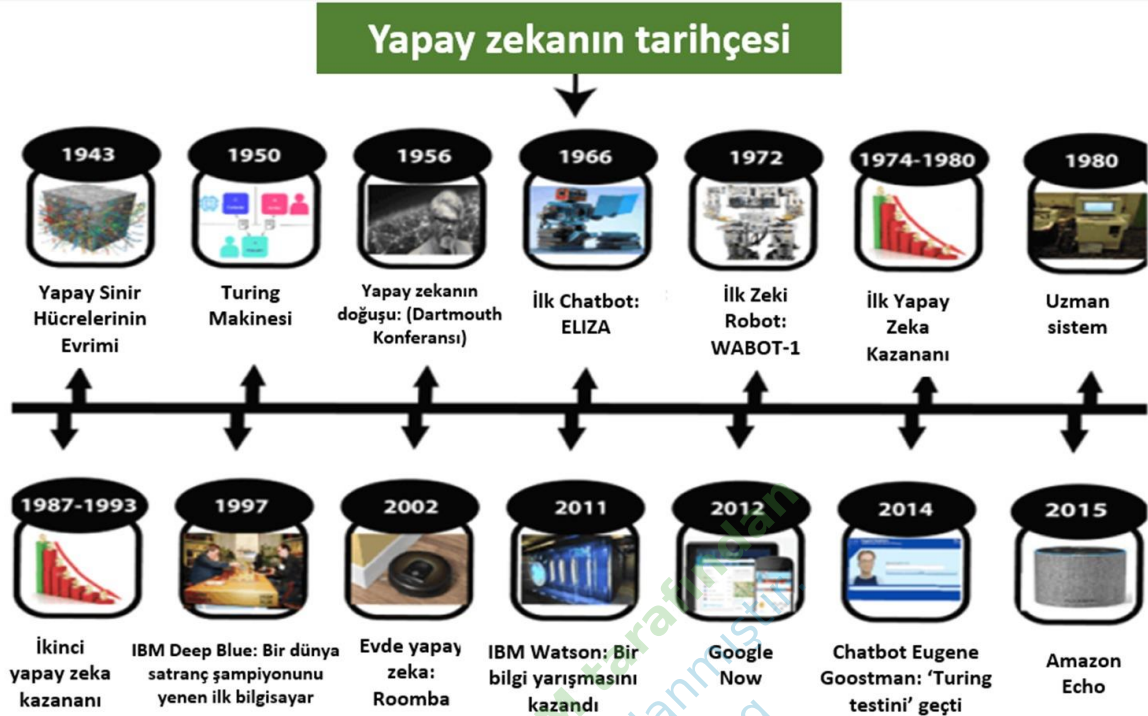
#### Endüstri 1.0'dan 4.0'a Doğru

- **Mekanik Üretim Tesislerinin Uygulanması (18. Yüzyıl)**
  - 1712 Buhar Makinesinin İcadı
  - 1784 İlk **Mekanik Örgü Makinesi**
- **Elektrik ve İş Bölümüne Dayalı Seri Üretime Geçilmesi**
  - (19. Yüzyıl) 1840 Telgraf ve 1880 Telefon İcatları
  - 1920 **Taylorizm** (Bilimsel yönetim)
- **Üretim Süreçlerinin Otomasyonu (20. Yüzyıl)**
  - 1971 İlk mikro bilgisayar (Altair 8800)
  - 1976 Apple I (S. Jobs ve S. Wozniak)
- **Otonom Makineler ve Sanal Ortamlar (21. Yüzyıl)**
  - 1988 AutoIDLab. (MIT)
  - 2000 Nesnelerin İnterneti
  - 2010 Hücresel Taşıma Sistemi
  - 2020 Otonom Etkileşim ve Sanallaştırma



Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024.

Şekil 3: Yapay Zekâ Tarihi



### 1.1. Tarım 3.0 Temel Bileşenleri

Tarım 3.0, üretkenliği, verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmak amacıyla hassas tarım, otomasyon ve veri analitiği gibi ileri teknolojilerin entegrasyonu ile gerçekleştirilen tarımsal uygulamalardaki üçüncü büyük evrimi ifade eder.

#### Hassas Tarım

Hassas tarım, tarımsal ürünleri yüksek doğrulukla izlemek ve yönetmek için GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi), farklı sensörler, dronlar ve uydu görüntülerinin kullanılmasını içerir. Çiftçilerin su, gübre ve pestisit gibi girdileri daha hassas bir şekilde uygulamasını sağlayarak israfı azaltmakta ve verimi artırmaktadır (Zhang & Kovacs, 2012). Temel teknolojiler arasında GPS güdümlü traktörler, VRA (Variable Rate Applications- Değişken Oranlı Uygulamalar), uzaktan algılama ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) yer almaktadır.

#### Otomasyon ve Robotik

Tarımda otomasyon; ekim, hasat, yabancı ot temizleme ve diğer tekrarlanan görevler için robotların ve otomatik makinelerin kullanımını içerir. Bu teknolojiler verimliliği artırır ve el emeği ihtiyacını azaltır. İlgili teknolojiler arasında otonom traktörler, robotik hasat makineleri, ormanlar için geliştirilen ekim dronları (UAVSS), ilaçlama (UASS) için insansız hava araçları ve otomatik sulama sistemleri yer almaktadır.

### **Veri Analitiği ve Büyük Veri**

Büyük veri analitiğinin kullanımı, hava istasyonları, toprak sensörleri ve ürün izleme sistemleri gibi çeşitli kaynaklardan büyük miktarda verinin toplanmasını ve analiz edilmesini içermektedir. Bu veriler çiftçilerin bilinçli kararlar almasına ve tarım uygulamalarını optimize etmesine yardımcı olur (Wolfert vd., 2017). İlgili teknolojiler arasında bulut bilişimi, makine öğrenimi algoritmaları, IoT (Nesnelerin İnterneti) cihazları ve veri analizi platformları yer alır.

### **Akıllı Sulama Sistemleri**

Akıllı sulama sistemleri, su kullanımını daha verimli bir şekilde yönetmek için sensörler ve otomatik kontroller kullanır bu sayede tarımsal ürünlere doğru zamanda doğru miktarda su verilmesi sağlanır. Bu teknolojiler arasında toprak nem sensörleri, otomatik damla sulama sistemleri ve hava durumuna dayalı sulama kontrolcüler bulunur. Özellikle ülkemizde son yıllarda yeraltı su kaynaklarına erişim seviyelerinin düşmesi, yeraltı su kaynaklarımızın azaldığının önemli bir göstergesi olurken daha derinden çıkarılan suyun enerji maliyetleri de toplam girdi maliyetleri içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu çerçevede üretimi yapılan tarımsal ürünlerin ihtiyaç duydukları suyun ihtiyaç duydukları zamanda ve ihtiyaç duydukları miktarda verilmesi için karar destek sistemli akıllı sulama sistemlerinin kullanımı büyük önem arz etmektedir.

### **Genomik ve Biyoteknoloji**

Genomik ve biyoteknolojideki ilerlemeler, zararlılara, hastalıklara ve çevresel streslere karşı daha dayanıklı tarımsal ürünlerin geliştirilmesinin yanı sıra, verim ve besin kalitesinin iyileştirilmesine de olanak tanır. Bu alanda genetik mühendisliği, CRISPR gen düzenleme, işaretleyici destekli seçim gibi teknolojiler ön plana çıkmaktadır.

### **Sürdürülebilir Uygulamalar**

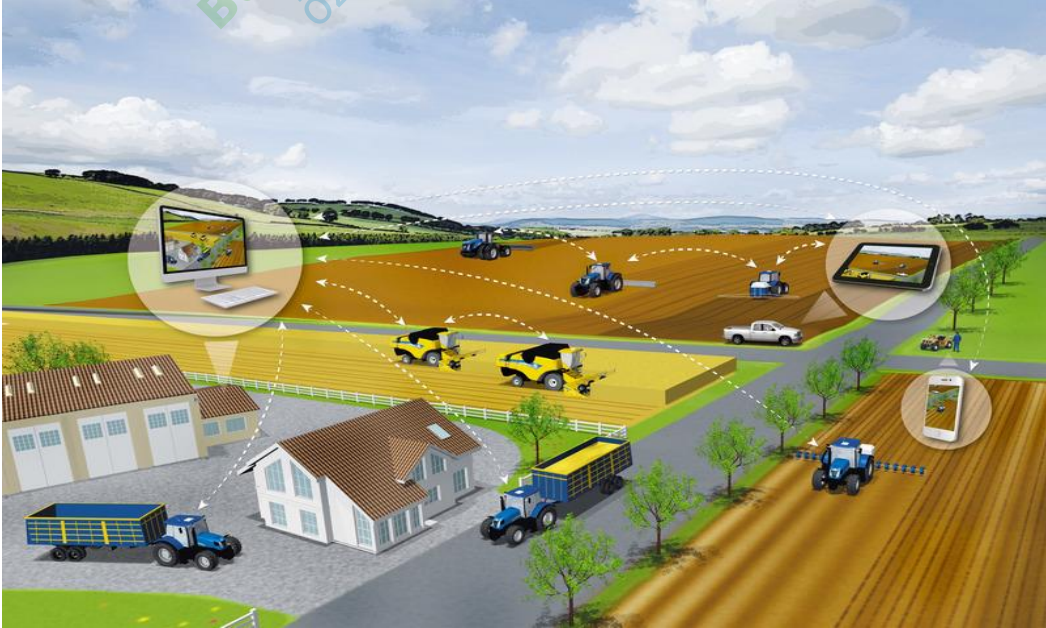
Tarım 3.0, çevresel etkiyi en aza indiren ve toprak sağlığını artıran sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik eder. Buna ürün rotasyonu, örtü altı yetiştiriciliği ve entegre haşere yönetimi gibi uygulamalar dahildir. Bu uygulamaları destekleyen teknolojiler arasında organik tarım teknikleri, tarımsal ormancılık ve koruyucu toprak işleme yer almaktadır. Tarımsal ormancılık hem sürdürülebilir tarım hem de verimli arazi kullanımı için önemlidir. Tarımsal ormancılığın bir diğer faydası, ağaçların, ekili alanları ve ürünleri rüzgâr ve şiddetli yağmurlardan korumasının yanı sıra, uygun sıcaklık ve toprak nemini sağlayarak elverişli bir mikro iklim oluşturmaktır.

### **Tedarik Zinciri Entegrasyonu**

Tedarik zincirindeki gelişmiş bağlantılar ve şeffaflık, ürünlerin çiftlikten sofraya kadar daha iyi izlenmesini sağlar, israfı azaltır ve gıda güvenliğini artırır. Tedarik zincirlerinin şeffaflığını mümkün kılacak teknolojiler, her aşamada verileri otomatik olarak toplayıp bu bilgileri yüksek kaliteyle ve güvenli bir şekilde aktarabilen araçlardır. RFID (Radyo Frekansı ile Tanımlama) ve blockchain teknolojileri (Verilerin dijital ortamda şifrelenerek kaydedildiği kayıt listeleri) kaliteli verilere güvenilir erişim sağlayan teknolojilerdir. RFID, ürünlere eşsiz kimlik tanımlaması yaparak, iletişimi kolaylaştırarak ve gerçek zamanlı bilgi sunarak tedarik zinciri yönetimine katkı sunar. Blockchain teknolojisi ise, ürünler tedarik zinciri boyunca hareket ederken verilerin güvenli bir şekilde kaydedilmesini sağlar. Blockchain, tedarik zincirlerinde bilgiye erişim, orijinalliğin doğrulanması, yetkilendirme ve güvenliği sağlamada önemli bir rol oynar.

Tarım 3.0, hassas tarım ve otomasyon yoluyla üretkenliğin artmasını, daha yüksek ürün verimini ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Otomasyonun işgücü maliyetlerini azaltması ve su ile gübre gibi girdi kullanımını en aza indirerek maliyetleri düşürmesi bir diğer önemli etkisidir. Sürdürülebilir uygulamalar ve akıllı sulama sistemlerinin kullanımı, çevrenin korunmasına ve karbon ayak izinin azaltılmasına katkıda bulunur. Son olarak veri analitiği, çiftçilere eyleme geçirilebilir doğru bilgiler sağlayarak, tarımsal üretim yönetimi hakkında bilinçli kararlar almalarına yardımcı olur.

**Şekil 4:** Tarım 3.0'ın Şematik Olarak Açıklanması



**Kaynak:** Green European Journal

## **1.2. Tarım 4.0 Temel Bileşenleri**

Tarım 4.0, daha verimli, sürdürülebilir ve veriye dayalı akıllı tarım sistemleri oluşturmak için en son teknolojilerin benimsenmesiyle desteklenen tarımsal uygulamaların evrimindeki en son aşamayı temsil etmektedir. Tarım 3.0'daki gelişmelere dayanan bu aşama daha da karmaşık araç ve teknolojiler içermektedir.

### **Nesnelerin İnterneti (IoT)**

Tarımda IoT, verileri gerçek zamanlı olarak toplamak ve paylaşmak için tarımsal üretim sistemleri içerisinde çeşitli cihaz ve sensörlerin entegrasyonlarını içerir. Böylelikle tarımsal süreçlerin hassas bir şekilde izlenmesine ve yönetilmesine olanak sağlanır. Teknolojiler arasında bitkisel üretimde; toprak nemi, bitki gelişimi, ürün takibi (gelişim, hastalık, zararlı, verim ve hasat zamanı vb.) ve seralarda iklim kontrolü gibi uygulamalar örnek olarak gösterilebilir. Hayvansal üretimde, sürü yönetim sistemleri (ağırlık takibi, hastalık belirleme, kızgınlık zamanı, süt verimi vb.) ve yem rasyonlarının oluşturulması, otomatik yemleme, sağım robotları gibi çiftlik yönetim sistemlerinin uygulamaları; akıllı sensörler, görüntü işleme teknolojileri, bağlantılı cihazlar, elektronik kontrol üniteleri ve IoT platformları ile sağlanmaktadır.

### **Yapay Zekâ (AI) ve Makine Öğrenimi (ML)**

Yapay Zekâ (AI) ve Makine Öğrenmesi (ML) algoritmaları, büyük miktarda veriyi analiz ederek eyleme geçirilebilir içgörüler, tahmine dayalı analizler ve otomasyon sağlar. Tarımsal ürünlerin hastalık ve verim tahmininde, otonom makinelerde ve tarımsal analizlerde; yapay zekâ destekli platformlar, makine öğrenimi algoritmaları ve bilgisayar görüşü uygulamaları kullanılmaktadır (Wolfert vd., 2017).

### **Büyük Veri Analizi**

Büyük veri kümelerinin toplanması, depolanması ve analizi, tarım operasyonlarını ve karar almayı optimize eder. Teknolojiler arasında; bulut bilişim, veri analizi yazılımı ve büyük veri platformları yer almaktadır. Uygulamalar tahmine dayalı bakım, kaynak optimizasyonu ve pazar trendlerini kapsamaktadır (Kamilaris vd., 2017).

### **Blockchain Teknolojisi**

Blockchain, tarım ürünlerinin tedarik zincirindeki yolculuğunu takip etmek için güvenli ve şeffaf bir yol sağlar. Teknolojiler; verilerin, bir ağ üzerinde bulunan birden fazla alanda erişilebilir, güncellenebilir, doğrulanabilir olmasına imkân sağlayan, merkeziyetsiz, teknolojik altyapı olan dağıtılmış defter teknolojisini (DLT; Distributed Ledger Technology) içermektedir.

### **Drone'lar ve Hava Görüntüleri**

Yüksek çözünürlüklü kameralar ve sensörlerle donatılmış dronlar, tarımsal ürün sağlığını, stresini ve tarla koşullarını izlemek için ayrıntılı hava görüntüleri yakalar. Teknolojiler arasında, ürün keşfi, tarla haritalaması ve değişken oranlı uygulamalar gibi alanlarda multispektral ve hiperspektral kameralarla donatılmış dronlar yer almaktadır (Zhang & Kovacs, 2012). Multispektral görüntüler, bitki örtüsü türlerini, toprakları, suyu ve insan yapımı yapıları ayırt etmek için kullanılmaktadır. Hiperspektral görüntüler ise daha yüksek spektral çözünürlükleri sayesinde, özelliklerin daha ince ölçekli bir şekilde ayırt edilmesini sağlar. Hiperspektral görüntüler, multispektral sensörler tarafından tespit edilemeyen spektral ayrıntıları ortaya çıkarmak için daha etkin kullanım avantajı sağlamaktadır. Bunların yanı sıra tarımsal ilaçlama alanında kullanılan ilaçlama dronları (UASSs) da dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

### **Robotik ve Otomasyon**

Gelişmiş robotik ve otomasyon teknolojileri, çeşitli tarım görevlerini yüksek hassasiyet ve verimlilikle gerçekleştirir. Teknolojiler, bitkisel üretimde; ekim, hasat, yabancı otların temizlenmesi ve ürün izlemede uygulanan otonom traktörleri, robotik biçerdöverleri ve otomatik yabancı ot temizleme sistemlerini içerir. Hayvansal üretimde ise çiftlik yönetim sistemleri, sürü takibi, otonom süt sağım ve yem dağıtma robotları gibi teknolojileri içermektedir.

### **İleri Biyoteknoloji**

Tarımda Biyoteknoloji 4.0, mahsul çeşitleri geliştirmek için genetik modifikasyonu, sentetik biyolojiyi ve CRISPR teknolojisini içerir. Teknolojiler arasında kuraklığa dayanıklı, haşerelere dayanıklı ve yüksek verimli mahsul çeşitlerinin geliştirilmesinde uygulanan CRISPR-Cas9, genetik mühendisliği ve sentetik biyoloji araçları bulunmaktadır (Pantazi vd., 2016).

### **Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Sanal Gerçeklik (VR)**

AR ve VR teknolojileri, çiftlik operasyonlarının eğitimi, izlenmesi ve yönetimi için sürükleyici deneyimler sağlar. Teknolojiler arasında; tarım işçilerinin eğitiminde, uzaktan yardımda ve sanal çiftlik turlarında uygulanan AR gözlükler, VR gözlükler ve simülasyon yazılımları yer almaktadır. Traktör ve kendi yürür tarım makineleri simülatörleri, operatör eğitimleri amacıyla kullanılabilir.

Tarım 4.0, otomasyon ve veriye dayalı karar alma yoluyla verimliliğin artmasını sağlayarak işgücü ve kaynak maliyetlerini azaltır. Hassas tarım ve kaynak optimizasyon tekniklerini teşvik ederek ve çevresel etkiyi en aza indirerek sürdürülebilirliği artırır. Gıda güvenliğini ve tüketici güvenliğini artıran blockchain teknolojisi sayesinde iyileştirilmiş izlenebilirlik ve

şeffaflık elde edilir. Gelişmiş biyoteknoloji ve yapay zekâ odaklı içgörüler sayesinde daha yüksek verim ve kalite elde edilir, bu da daha yüksek mahsul verimine ve daha kaliteli üretime yol açar. Son olarak, çiftçilerin gerçek zamanlı verilere ve tahmine dayalı analitiklere erişim yoluyla güçlendirilmesi, bilinçli karar almaya ve üretkenliğin artmasına olanak tanır (Wolfert vd., 2017; Kamilaris vd., 2017).

**Şekil 5: Akıllı Tarım Uygulamaları**



Kaynak: Techinside

### **1.3. Tarım 5.0 Temel Bileşenleri**

Tarım 5.0, tamamen entegre, sürdürülebilir ve akıllı bir tarım sistemi oluşturmak için ileri teknoloji ve uygulamaları bir araya getirerek çiftçiliğin geleceğini temsil etmektedir. Bu evrim, Tarım 4.0'ın yeniliklerine dayanmakta, daha çok insan odaklı ve sürdürülebilir yaklaşımlara odaklanmaktadır. Tarım 5.0'ın temel bileşenleri ve özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

**Şekil 6:** Tarımda Yapay Zekâ Destekli Otonom Robotlar



Kaynak: Webagron

**Şekil 7:** Dijital Çağ



Kaynak: DigitalAge

### **İnsan Odaklı Otomasyon**

İnsan emeğinin yerine büyük ölçüde otomasyona dayanan önceki aşamaların aksine Tarım 5.0, insanlar ve makineler arasında sinerji oluşturmaya odaklanmaktadır. Bu, insan yeteneklerini desteklemek ve geliştirmek amacıyla robot teknolojilerinin ve yapay zekânın kullanılmasını içerir. İşgücü verimliliğini artıran, işçiler üzerindeki fiziksel gerilimi azaltan ve güvenliği iyileştiren işbirlikçi robotlar; insanlarla ortak çalışma alanlarında yan yana güvenli bir şekilde etkileşime girebilen robotlar (kolaboratif robotlar), giyilebilir teknolojiler ve dış iskeletler bu teknolojilere örnek olarak gösterilebilir.

### **Gelişmiş Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi**

Yapay zekâ ve makine öğrenimi, daha kesin, bağlama duyarlı karar verme araçları, tahmine dayalı analizler ve otomasyon süreçleri sağlamak üzere daha da geliştirilmiştir. Teknolojiler derin öğrenmeyi, sinir ağlarını ve gelişmiş veri analitiğini içermektedir. Bunlar, gerçek zamanlı ürün izleme, kişiselleştirilmiş tarım önerileri ve otonom karar verme sistemlerinde kullanılır (Wolfert vd., 2017).

### **Sürdürülebilirlik ve İklim Direnci**

Sürdürülebilirliğe ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığa odaklanmak, çevresel etkiyi en aza indiren ve iklim değişikliğine uyum sağlayan tarımsal uygulamaların (karbon tutma, su tasarrufu ve biyolojik çeşitliliğin korunması) ve teknolojilerin geliştirilmesini kapsar. Bu teknolojik uygulamalar arasında iklim dostu tarım, yenilenebilir tarım ve sürdürülebilir kaynak yönetimi sistemleri yer almaktadır.

### **Entegre Gıda Sistemleri**

Üretimden tüketime kadar gıda tedarik zincirinin farklı bölümleri arasında kusursuz bir entegrasyon oluşturmak şeffaflığı, verimliliği ve sürdürülebilirliği sağlar. Teknolojiler arasında blockchain, IoT ve gelişmiş lojistik sistemleri yer almaktadır. Bu uygulamalarla gelişmiş izlenebilirlik, azaltılan gıda israfı ve gıda güvenliği sağlanabilir.

### **Kişiyeye Özel Beslenme ve Gıda Üretimi**

Gıda üretimini ve beslenmeyi bireylerin ve toplulukların özel ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde uyarlamak için teknolojiyi kullanmak önemli bir özelliktir. Teknolojiler arasında, özelleştirilmiş ve besin açısından zengin gıdaların üretilmesine, diyet eksikliklerinin giderilmesine ve sağlık ile sağlıklı yaşamın desteklenmesine yardımcı olan hassas fermantasyon, hücresel tarım ve biyo-güçlendirme yer almaktadır.

Hücresel tarım, geleneksel tarımdan elde edilen protein, yağ ve dokuları üretmek için yeni yöntemler oluşturmayı ve tasarlamayı amaçlayan bir yaklaşımdır.

### **Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Hizmetleri**

Biyoçeşitliliği destekleyen tarımsal uygulamaların teşvik edilmesi ve ekosistem hizmetlerinin sağlanması hayati önem taşımaktadır. Teknolojiler arasında tarımsal ekoloji, permakültür ve polikültür sistemleri bulunmaktadır. Bu uygulamalar toprak sağlığını, tozlaşma hizmetlerini ve doğal haşere kontrolünü geliştirir.

### **Gelişmiş Bağlantı ve Dijital Platformlar**

Daha iyi iş birliği ve bilgi paylaşımı için çiftçileri, tüketicileri ve paydaşları birbirine bağlamak amacıyla gelişmiş bağlantı ve dijital platformlardan yararlanmak büyük önem taşımaktadır. Teknolojiler arasında gerçek zamanlı iletişim, uzaktan çiftlik yönetimi ve tarım ürünleri için e-ticareti mümkün kılan 5G, bulut bilişim ve dijital pazar yerleri bulunmaktadır (Kamilaris, vd., 2017).

**Gelişmiş İnsan-Makine İş Birliği:** İnsanlar ve gelişmiş makineler arasındaki sinerjik iş birliği, işgücü verimliliğinin ve işçi güvenliğinin artmasını sağlar.

**Sürdürülebilir ve İklim Dirençli Uygulamalar:** Sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesi çevresel etkiyi azaltır ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artırır.

**Kişiselleştirilmiş ve Sağlık Odaklı Gıda Üretimi:** Özelleştirilmiş, besleyici gıdaların üretimi, belirli beslenme ihtiyaçlarını karşılar, sağlık ve sağlıklı yaşamı destekler.

**Kusursuz Gıda Tedarik Zinciri Entegrasyonu:** Çiftlikten sofraya kadar gıda tedarik zincirinde artan şeffaflık, verimlilik ve sürdürülebilirliktir.

**Biyoçeşitliliğe ve Ekosistemlere Destek:** Tarımsal uygulamalar biyolojik çeşitliliği artırır ve ekosistem hizmetlerini destekleyerek genel çevre sağlığına katkıda bulunur.

**Veri Toplama ve Yönetimi:** Tarım alanlarında sensörler, dronlar ve uydu görüntüleri gibi teknolojiler kullanılarak toprak, bitki ve hava durumu gibi verilerin toplanmasıdır.

**Büyük Veri ve Analitik:** Toplanan verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi için büyük veri teknolojileri ve yapay zekâ algoritmaları gereklidir. Bu sayede, tarım süreçleri optimize edilebilir ve verimlilik artırılabilir.

**Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme:** Bitki sağlığı, zararlı tespiti, ürün ve verim tahmini gibi konularda makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarının kullanılmasıdır.

**Otonom Sistemler:** Otonom traktörler ve robotlar, ekim, gübreleme ve hasat gibi işlemleri daha verimli ve hassas bir şekilde gerçekleştirebilir.

**Bulut Bilişim:** Verilerin depolanması ve işlenmesi için bulut bilişim altyapısı önemlidir. Bu, çiftçilerin verilerine her yerden erişebilmesini sağlar.

**Eğitim ve Destek:** Çiftçilerin bu teknolojileri etkin bir şekilde kullanabilmesi için eğitim ve teknik destek sağlanmalıdır.

Bu rapor KOSAM tarafından  
özel olarak hazırlanmıştır.  
[www.kosam.org](http://www.kosam.org)

## **2. YAPAY ZEKÂ ve TARIMDA UYGULAMA ALANLARI**

Yapay Zekâ (YZ), modern toplumun çeşitli endüstrilerini ve yönlerini yeniden şekillendiren dönüştürücü bir teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır. Yapay zekâ, öğrenme, problem çözme, karar verme ve algılama gibi geleneksel olarak insan zekâsı gerektiren görevleri yerine getirebilen bilgisayar sistemlerinin geliştirilmesini ifade eder (Chatterjee vd., 2024; Zuhair vd., 2024; Al-Kuwaiti vd., 2023; Omotunde ve Mouhamed, 2023). YZ teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, sağlık hizmetlerinden finansa, ulaşımdan üretime kadar birçok alanda bir devrime yol açmıştır.

YZ'nin önemi, çok çeşitli uygulamalarda verimliliği, doğruluğu ve üretkenliği artırma yeteneğinde yatmaktadır. YZ destekli sistemler, büyük miktarda veriyi işleyebilir ve analiz edebilir, sınırları belirleyebilir ve bilinçli kararlar verebilir (Bali & Bali 2020; Mudgal vd. 2022). Böylece, karmaşık zorlukları ele alan, süreçleri optimize eden ve genel sonuçları iyileştiren yenilikçi çözümlerin geliştirilmesine imkân sağlanır (Navath, 2023; Francis vd. 2023; Islam, 2024).

YZ'nin özünde, makinelerin insan bilişsel yeteneklerini taklit etmesini sağlayan çeşitli metodolojiler ve teknolojiler yer almaktadır. Bunlar arasında makine öğrenimi, derin öğrenme, doğal dil işleme, bilgisayarlı görü ve robotik yer almaktadır (Gou vd. 2024; Thakur vd. 2020; Rahman vd. 2024). Örneğin, makine öğrenimi algoritmaları sistemlerin verilerden öğrenmesine ve açıkça programlanmadan tahminlerde bulunmasına olanak tanır (Abukhadajah & Nashwan; 2024; Kitsios vd. 2023; Esmaeilzadeh, 2024). Makine öğreniminin bir alt kümesi olan derin öğrenme, karmaşık verileri işlemek ve analiz etmek için yapay sinir ağlarını kullanır ve görüntü tanıma, dil anlama gibi alanlarda dikkate değer bir performans sergiler (Yin vd., 2021; Choudhary vd., 2023; Stamate vd., 2024).

Yapay zekâ teknolojilerinin entegrasyonu, çok sayıda endüstri üzerinde derin bir etki oluşturmuş (Nagarajan vd. 2019) ve kuruluşların çalışma, karar alma (Singhal vd. 2023) ve müşterilerle etkileşim kurma biçimlerini dönüştürmüştür (Khan vd. 2024). Sağlık sektöründe, yapay zekâ tıbbi görüntüleme analizini, hastalık tahminini ve kişiselleştirilmiş tedavi planlamasını devrim niteliğinde değiştirmektedir (Chatterjee vd., 2024; Zuhair vd., 2024; Al-Kuwaiti vd., 2023; Omotunde & Mouhamed, 2023). Finans sektöründe, yapay zekâ destekli sistemler dolandırıcılık tespitini, risk yönetimini ve yatırım stratejilerini geliştirmektedir (Jain, 2023; Tyagi vd., 2022). Benzer şekilde, YZ, ulaşım, imalat ve tarım gibi sektörlerde ilerlemeleri yönlendirmekte; süreçleri optimize ederek ve güvenliği iyileştirerek üretkenliği artırmaktadır (Tang vd., 2022; Filatov vd., 2022; Jindal vd., 2021).

YZ'nin modern toplumdaki yaygınlığı, dönüştürücü bir teknoloji olarak önemini göstermektedir. YZ, gelişmeye ve daha karmaşık hale gelmeye devam ettikçe,



### **3. YAPAY ZEKÂ ve TARIMDA KULLANIMI**

Yapay zekâ (YZ), hassas ürün yönetiminden verimli kaynak kullanımına kadar çiftçiliğin çeşitli yönlerinde devrim niteliği taşıyarak tarım sektöründe dönüştürücü bir güç olarak ortaya çıkmıştır (Chatterjee vd., 2024; Zuhair vd., 2024; Al-Kuwaiti vd., 2023; Omotunde & Mouhamed, 2023). Gelişmiş YZ tekniklerinin entegrasyonu, tarım uygulayıcılarının üretkenliği artırmasını, çevresel etkiyi azaltmasını ve gıda güvenliğine yönelik artan küresel talebi ele almasını sağlamıştır (Lippi vd. 2024; Kumar vd., 2023; Wu vd., 2024).

Tarım sektörü, dünya çapında tarım uygulamalarında devrim niteliğindeki yenilikçi yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin entegrasyonu ile dönüşümsel bir değişim geçirmektedir. Yapay zekâ, gıda güvenliği endişelerinden çevresel sürdürülebilirliğe kadar küresel tarım ortamının karşı karşıya olduğu zorlukların ele alınmasında güçlü bir araç olarak ortaya çıkmaktadır (Kulykovets, 2023). Bu teknolojik devrimin özünde, yapay zekânın tarımsal üretkenliği, kaynak yönetimini ve genel çiftlik verimliliğini önemli ölçüde artırabileceğinin giderek daha fazla kabul görmesi yer almaktadır (Kulykovets, 2023). Yapay zekâ destekli sistemler, makine öğrenimi, bilgisayarla görme ve doğal dil işleme yeteneklerinden yararlanarak çiftçilerin daha bilinçli ve veriye dayalı kararlar almasını sağlamaktadır (Nie vd., 2022).

Küresel tarımsal zorlukların başında, artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarını karşılamak için gıda üretimine yönelik artan talep gelmektedir. Birleşmiş Milletler, 2050 yılına kadar öngörülen talebi karşılamak için küresel gıda üretiminin %70'e kadar artması gerektiğini tahmin etmektedir (Ahmad vd., 2024; Tzachor vd., 2022; Talebi & Nezhad, 2024). İklim değişikliği ve çevresel bozulmanın etkisiyle birleşen bu talep artışı, sürdürülebilir gıda üretimini sağlamak için yenilikçi çözümlerin benimsenmesini gerektirmiştir (Ryan vd., 2023; Rajwar vd., 2024; Zhang vd., 2023).

Yapay zekâ teknolojileri, bu zorlukların üstesinden gelmede çok önemli bir araç olarak ortaya çıkmıştır ve tarımsal manzarayı dönüştürebilecek bir dizi fayda sunmaktadır. Kaynak tahsisini optimize eden hassas tarım tekniklerinden mahsul verimini artıran gelişmiş tahmine dayalı analitiklere kadar, yapay zekâ odaklı çözümler tarımsal üretkenliği ve verimliliği artırmada önemli bir rol oynamaktadır (Kumar vd., 2023; Eissa, 2024).

YZ'nin tarımdaki başlıca avantajlarından biri su, gübre ve pestisit gibi kaynak kullanımlarını optimize etme kabiliyetidir (Gupta vd., 2023; Louta vd., 2024; Kaur vd., 2024). Sensör verilerinden, uydu görüntülerinden ve makine öğrenimi algoritmalarından yararlanan yapay zekâ destekli sistemler, toprak koşulları, tarımsal ürün sağlığı ve çevresel faktörler hakkında gerçek zamanlı bilgiler sağlayarak çiftçilerin kaynak yönetimi konusunda daha

bilinçli kararlar almasını sağlamaktadır (Adli vd., 2023; Bačiulienė vd., 2023; Malekolkalami & Hassanzadeh, 2021).

Ayrıca, yapay zekâ odaklı otomasyon ve robotik, ekimden hasada, haşere yönetiminden hasat sonrası işlemeye kadar çeşitli tarımsal görevleri dönüştürmektedir (Sharma vd., 2023; Senoo vd., 2024; Ampatzidis vd., 2017). Bu gelişmeler yalnızca verimliliği artırmakla kalmayıp aynı zamanda işgücü eksikliğini gidermekte ve çiftçilerin çalışma koşullarını iyileştirmektedir (Yépez-Ponce vd., 2023; Wolfert vd., 2017; Das, 2024).

**Şekil 9:** Bitkisel Üretimde Yapay Zekâ Kullanımı



**Kaynak:** tarimsalteknoloji.com

Ayrıca YZ, çiftçilerin tarımsal ürünlerin gelişimini takip etme ve yönetme biçiminde devrim oluşturarak bitki hastalıklarını, zararlıları ve diğer stres faktörlerini erken tespit etmelerini sağlamaktadır (Küçüktopçu vd., 2023; Wang vd., 2022). Yapay zekâ destekli sistemler, bilgisayarlı görü ve derin öğrenme algoritmalarını entegre ederek yaprak ve bitki örtüsü sağlığı gibi çeşitli bitki özelliklerini analiz edebilir. Bu sistemler, zamanında ve doğru teşhisler sağlayarak hedeflenen bölgelere istenilen oranlarda müdahale edilmesine olanak tanır; böylece kalite ve verim artışı sağlanır (Araújo vd., 2021; Alkhafaji vd., 2024).

YZ'nin tarımdaki potansiyel faydaları iyi belgelenmiş olsa da bu teknolojilerin küresel olarak benimsenmesi, teknolojik engeller, veri kullanılabilirliği ve sosyo-ekonomik faktörler de dahil olmak üzere çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır (Rotaru vd., 2021; Wolfert vd., 2017). Bu zorlukların ele alınması, yapay zekânın tarım sektörüne sorumlu ve adil bir şekilde entegrasyonunu sağlamak için teknoloji geliştiricileri, politika yapıcılar ve tarım uzmanları gibi paydaşlar arasında iş birliğine dayalı bir çaba gerektirmektedir (Ryan vd., 2023).

Tarım sektörü gelişmeye devam ederken, yapay zekâ teknolojilerinin stratejik olarak uygulanması; küresel gıda güvenliğini artırma, çevresel sürdürülebilirliği iyileştirme ve daha dirençli, üretken bir tarımsal ürün desenini teşvik etme konusunda büyük umut vaat etmektedir (Kulykovets, 2023; Jalal vd., 2024).

### **3.1. Tarımda Yapay Zekâ Alanında Küresel Eğilimler ve Yenilikler**

Tarım sektörü, gıda üretimi için artan küresel talebi karşılama zorluğuyla mücadele ederken, yapay zekâ, dünya çapında tarım uygulamalarını yeniden şekillendiren dönüştürücü bir güç olarak ortaya çıkmıştır (Kulykovets, 2023). YZ teknolojilerinin hassas tarıma entegrasyonu, kaynak kullanımını optimize eden, mahsul verimini artıran ve genel tarımsal sürdürülebilirliği geliştiren yenilikçi çözümler geliştirilmesini sağlamıştır (Kumar vd., 2023; Eissa, 2024).

YZ'nin önemli bir etki sağladığı kilit alanlardan biri de hassas tarım teknikleridir. Yapay zekâ destekli sistemler, makine öğrenimi algoritmalarını kullanarak sensör ağları, uydu görüntüleri ve hava durumu verileri gibi çeşitli kaynaklardan gelen büyük miktarda veriyi analiz edebilir ve çiftçilere gerçek zamanlı içgörüler ile eyleme geçirilebilir öneriler sunabilir (Adli vd., 2023; Bačiulienė vd., 2023; Malekolkalami & Hassanzadeh, 2021). Bu sayede, su, gübre ve zirai ilaç gibi kaynakların en uygun şekilde tahsisi konusunda daha bilinçli kararlar alınarak verimlilik artar ve çevresel etki azalır (Gupta vd., 2023; Louta vd., 2024; Kaur vd., 2024).

Tarımda YZ uygulamasına dair başarılı vaka çalışmaları ve bu teknolojilerin dönüştürücü potansiyelini vurgulayan dünya çapındaki araştırmalarda bulunmaktadır. Örneğin; Amerika Birleşik Devletleri'nde, mahsul sağlığını izlemek ve hedeflenen tedavi gerektiren alanları belirlemek için yapay zekâ destekli dronlar kullanılmakta, bu da pestisit ve su kullanımında önemli tasarruf sağlamaktadır (Sharma vd., 2023; Holzinger vd., 2022). Benzer şekilde, Hindistan'da IoT (Nesnelerin İnterneti) ve yapay zekânın entegrasyonu, küçük ölçekli çiftçilerin sulama uygulamalarını optimize etmelerini sağlayarak verimi artırmakta ve kaynak tüketimini azaltmaktadır (Soussi vd., 2024; Thangam vd., 2023).

Küresel olarak, YZ'nin sürdürülebilir tarım uygulamaları üzerindeki etkisi giderek daha belirgin hale gelmektedir. YZ teknolojileri, çeşitli tarımsal görevleri otomatikleştirerek emek yoğun işleri azaltmakta ve tarım operasyonlarının çevresel ayak izini en aza indirmektedir (Yépez-Ponce vd., 2023; Wolfert vd., 2017). Ayrıca, yapay zekâ tarafından desteklenen tahmine dayalı analitik ve karar destek sistemlerinin kullanımı, çiftçilerin iklim değişikliğinin zorluklarına uyum sağlamalarına yardımcı olarak ürün seçimi, ekim programları ve kaynak yönetimi hakkında daha bilinçli kararlar alınmasına olanak sağlamaktadır.

Başarılı vaka çalışmalarından elde edilen içgörüler ve yapay zekâ destekli hassas tarımda ortaya çıkan eğilimler, bu teknolojilerin dünya çapında tarım uygulamalarında devrim sağlama potansiyelinin altını çizmektedir. Bununla birlikte, YZ'nin tarımda küresel ölçekte benimsenmesi, teknolojik engeller, veri kullanılabilirliği ve sosyo-ekonomik faktörler gibi, paydaşlar arasında ele alınması gereken ortak çabayı gerektiren çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır (Rotaru vd., 2021; Wolfert vd., 2017; Baryshnikova vd., 2022).

### **3.2. Yapay Zekâ ile Hassas Tarım ve Ürün Takibi**

Yapay zekânın tarımdaki temel uygulamalarından biri, yetiştirme uygulamalarını optimize etmek ve ürün verimini artırmak için YZ destekli teknolojilerden yararlanan hassas çiftçiliktir. YZ destekli sistemler, çiftçilere toprak koşulları, ürün sağlığı ve çevresel faktörler hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlamak amacıyla sensörler, uydu görüntüleri ve hava durumu tahminleri gibi çeşitli kaynaklardan toplanan büyük miktarda veriyi analiz edebilir. Bu veri odaklı yaklaşım, çiftçilerin gübre, su ve pestisitleri hassas bir şekilde uygulayarak bilinçli kararlar almasına olanak tanır; böylece atık azaltılır ve kaynak verimliliği artırılır (Lippi vd. 2024; Kumar vd., 2023; Wu vd., 2024).

Yapay zekâ destekli bilgisayarlı görü ve makine öğrenmesi teknikleri, özellikle ürün izleme ve hastalık tespitinde dönüştürücü olmuştur. Yapay zekâ algoritmaları, bitkilerin yüksek çözünürlüklü görüntülerini işleyip yorumlayarak, zararlıların, hastalıkların ve besin eksikliklerinin erken belirtilerini tespit edebilir. Bu sayede, çiftçilerin sorunları proaktif bir şekilde ele alması ve olası ürün kayıplarını azaltması sağlanabilir. Bu gelişmiş izleme yeteneği, daha hedeflenmiş ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını mümkün kılarak, geniş spektrumlu pestisitlere olan bağımlılığı azaltabilir ve çevre dostu çiftçilik yöntemlerine teşvik edebilir (Wu vd. 2024).

### **3.3. Yapay Zekâ Destekli Bilgisayarlı Görü, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Teknikleri**

Dünyanın önde gelen tarım makineleri firmaları, herbisit kullanımını en aza indirmek amacıyla, yapay zekâ destekli ve derin öğrenme algoritmalarıyla çalışan, yabancı otları algılayıp ilaçlama yapan makineler geliştirmiştir. Bu makineler, gör ve ilaçla mantığıyla, tespit ettikleri yabancı otlara herbisit uygulayarak, insan sağlığını koruma, çevreyi iyileştirme ve sürdürülebilir tarımı destekleme amacıyla kimyasal ilaç kullanımını en aza indirmeyi hedeflemektedir.

Yapay zekâ destekli sürü yönetimi yazılımları; hayvanların sağlık durumu, beslenme ve süt verimi gibi verileri analiz ederek, her bir hayvan için en uygun bakım ve beslenme programını belirlemektedir. Bu, süt üretiminin verimliliğini artırmakta ve hayvanların izlenmesi hastalıkların erken tespitine yardımcı olmaktadır.

**Şekil 10:** İlaçlama Makinelerinde Yapay Zekâ Kullanımı



**Kaynak:** Deere & Company, 2024

**Şekil 11:** Yapay Zekâ ile Sürü Yönetimi



**Kaynak:** IoT-Enhanced Dairy Farm

YZ sayesinde hayvan yetiştiriciliğinde, hayvan davranışları, beslenme alışkanlıkları, süt verimlerinin kontrolü ve sürü yönetimi gibi pek çok alanda insan müdahale ve hatası ortadan kaldırılmaktadır.

### **3.4. Yapay Zekâ ile Zararlılarla ve Hastalıklarla Mücadele**

Hassas tarım uygulamalarının yanı sıra, yapay zekâ, tarımda zararlı kontrolü ve kaynak yönetimi gibi zorlukların çözülmesinde de son derece değerli bir araç olmuştur. Yapay zekâ destekli sistemler, zararlıların ve hastalıkların salgınlarını tahmin etmek için geçmiş verileri ve gerçek zamanlı sensör bilgilerini analiz edebilmekte; çiftçilerin önleyici tedbirler almasını ve hedefe yönelik zararlı kontrol stratejileri uygulamasını sağlayabilmektedir. Bu, sürdürülebilir ve çevre dostu tarım uygulamalarına yönelik artan tüketici talebiyle beraber zararlı pestisitlerin kullanımında önemli bir azalma yaşanacağı düşünülmektedir.

Ayrıca, yapay zekâ algoritmaları hava tahminlerini, toprak nem verilerini ve ürün büyüme modellerini entegre ederek su ve enerji gibi kritik tarım kaynaklarının yönetimini optimize edebilir. Bu, iyileştirilmiş sulama verimliliği, azaltılmış su tüketimi ve daha etkili enerji kullanımıyla sonuçlanarak nihayetinde tarım sistemlerinin genel sürdürülebilirliğine katkıda bulunacaktır (Lippi vd. 2024; Kumar vd., 2023; Wu vd., 2024).

### **3.5. Yapay Zekâ ile Tarımda Sürdürülebilirlik ve Verimlilik İyileştirmeleri**

Yapay zekânın tarıma entegrasyonu, sektör genelinde sürdürülebilirlik ve verimlilikte önemli iyileştirmeler sağlama potansiyeline sahiptir. Çiftçiler, yapay zekâ destekli teknolojilerden yararlanarak ürün verimini artırabilir, kaynak tüketimini azaltabilir ve tarım uygulamalarının çevresel etkisini hafifletebilir.

Yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleri, hava desenleri, toprak koşulları ve geçmiş ürün verimleri dahil olmak üzere çeşitli veri kaynaklarını analiz ederek çiftçilere ekim, sulama ve hasat için optimize edilmiş öneriler sunabilir. Bu, daha verimli kaynak kullanımına, azaltılmış atıklara ve artan üretkenliğe yol açabilir ve nihayetinde tarım sistemlerinin uzun vadeli sürdürülebilirliğine katkıda bulunabilir.

Dahası, yapay zekâ destekli otomasyon ve robotik, tohum ekme, ot ayıklama ve hasat gibi tarımsal görevlerde devrim sağlayarak manuel emeğe olan bağımlılığı azaltır ve verimliliği artırır. Bu gelişmeler yalnızca üretkenliği artırmakla kalmayıp aynı zamanda işçi güvenliğini de iyileştirebilir ve geleneksel tarım uygulamalarıyla ilişkili çevresel etkiyi azaltabilir.

Yapay zekâ evrimleşip daha karmaşık hale geldikçe, tarımın farklı alanlarına entegrasyonunun genişlemesi; hassas çiftçilik, kaynak yönetimi ve sürdürülebilir tarım uygulamalarında önemli ilerlemeler sağlaması beklenmektedir. Yapay zekânın tarımda başarılı bir şekilde uygulanması, çiftçiler, araştırmacılar ve politika yapıcılar arasındaki iş birliğine dayanmaktadır. Bu sayede, teknolojinin zorlukları ele alınarak, küresel gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından dönüştürücü potansiyelinden faydalanılabilecektir.

### 3.6. ISOBUS Uygulamaları ve Yapay Zekâ

Modern tarım makinelerinin geliştirilmesi, otomasyona, veri odaklı karar almaya ve yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin entegrasyonuna doğru önemli bir dönüşüme gereksinim duymaktadır. Bu dönüşümün merkezinde, tarım ekipmanlarında veri iletişimi ve kontrolü için önemli bir protokol olan ISOBUS (ISO 11783) standardı yer almaktadır (Türker vd., 2016).

ISOBUS sistemleri ve bu sistemlerin ana bileşenleri; ISOBUS terminali, traktör elektronik kontrol ünitesi, iş bilgisayarı, bağlantı konektörleri ve görev denetleyicisi olarak sıralanabilir. Bu bileşenler hakkında kısaca bilgi vermek gerekirse;

**Şekil 12:** ISOBUS Sistemi



#### 3.6.1. ISOBUS Terminali (ISOBUS UT)

ISOBUS Universal Terminali, traktöre bağlı ISOBUS uyumlu makinelerin iş bilgisayarlarının bağlandığı bir kullanıcı arayüzüdür. ISOBUS uyumlu bir tarım makinesi, traktöre özel bir konnektör aracılığıyla bağlandıktan sonra CANBUS (Otomotiv Elektronik İletişim Protokolü) üzerinden kendini ISOBUS terminaline tanıtır ve makine bilgilerini terminale yükler. Bu bağlantıyla birlikte traktör kabinindeki terminal, bağlanan makine için bir kullanıcı arayüzüne dönüşür. Operatör, makine üzerindeki tüm ayarları bu terminal üzerinden yapabilir ve makinenin çalışması sırasında meydana gelebilecek arıza ve hatalardan haberdar olabilir (Türker vd., 2016).

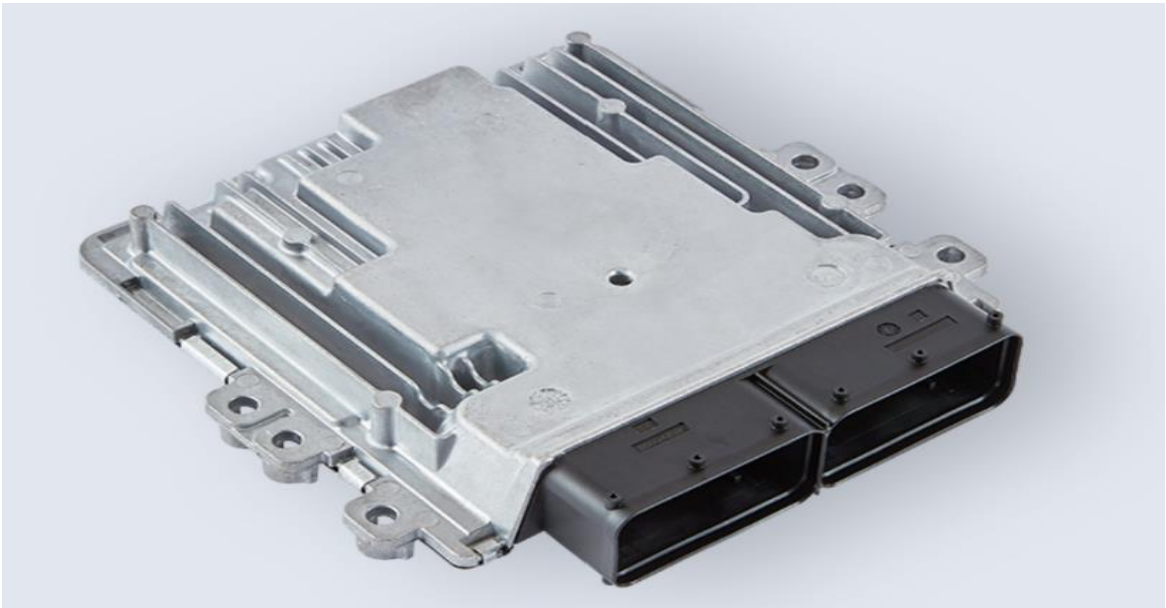
**Şekil 13:** ARAG Firmasına Ait Bir ISOBUS Terminali (ISOBUS-UT)



### 3.6.2. ISOBUS Traktör Elektronik Kontrol Ünitesi (TECU)

Traktör elektronik kontrol ünitesi (TECU) traktörün iş bilgisayarıdır. TECU traktörün ilerleme hızı, kuyruk mili devir sayısı ve üç nokta askı sisteminin konumu gibi bilgileri ISOBUS sisteminde bulunan diğer kontrol ünitelerine ve ISOBUS terminaline iletir (Türker vd., 2016). Böylece traktörden alınan tüm bilgiler ISOBUS sisteminin traktör ve makine arasında entegrasyonu sağlanabilmesi için kullanılır. Traktör hızındaki değişimlere rağmen birim alana uygulanacak gübre miktarının sabit tutulması bu duruma bir örnek olarak gösterilebilir.

**Şekil 14:** Dizel Bir Motora Ait Elektronik Kontrol Ünitesi



### 3.6.3. ISOBUS İş Bilgisayarı ve Bağlantı Konnektörleri

ISOBUS iş bilgisayarı tarım makinesinin elektronik kontrol ünitesidir. Bu kontrol ünitesi, traktör kontrol ünitesi (TECU) ve ISOBUS terminali ile özel konnektörler aracılığıyla bağlantı kurarak, tarım makinesi üzerindeki çeşitli sensörlerden gelen bilgileri işler ve makinelerin kontrol fonksiyonlarını etkinleştirir. Şekil 15'te ARAG firmasına ait bir ISOBUS kontrol ünitesi ve traktör – makine bağlantı konnektörü verilmiştir (Türker vd., 2016).

**Şekil 15:** ARAG Firmasına Ait Bir ISOBUS İş Bilgisayarı (ISOBUS-Elektronik Kontrol Ünitesi -ECU) ve Bağlantı Konnektörleri



Kaynak: Arag, 2024

### 3.6.4. ISOBUS Görev Denetleyici (ISOBUS TC)

ISOBUS görev denetleyicisi, ISOBUS sisteminin ISOBUS uyumlu makinelerle yapılan tarımsal faaliyetlerin planlanması, yürütülmesi ve belgelenmesini düzenleyen bir bölümdür. ISOBUS görev denetleyicisi TC-BAS, TC-GEO ve TC-SC olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır (Türker vd., 2016).

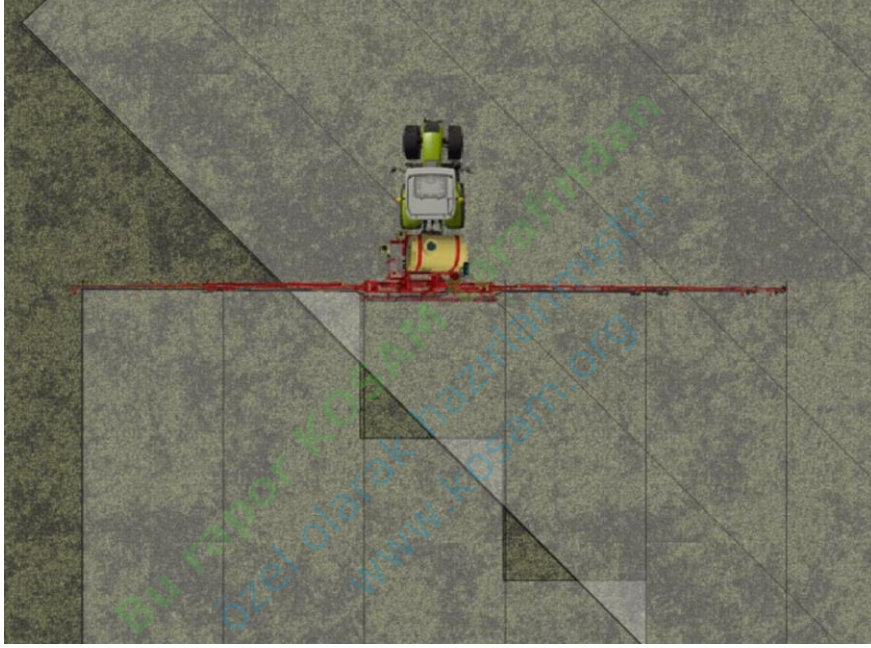
**TC-BAS**, genel anlamda tarlada gerçekleştirilen toprak işleme, ekim gübreleme, ilaçlama ve hasat gibi faaliyetlerin kayıt altına alınması sağlamaktadır. Yapılan tüm uygulamalarda operatör ve kullanılan ekipmanlara ait bilgiler ve çalışma parametreleri kaydedilir. Ayrıca kullanılan bir çiftlik yönetim programı varsa daha önceden belirlenen görevler ve çalışma parametreleri taşınabilir bir disk ile ISOBUS terminaline tanıtılabilir. Böylece yapılacak tarımsal faaliyete ait bilgiler sisteme aktarılır. Sonuç olarak, gerçekleştirilen tüm tarımsal faaliyetler sonrasında, uygulama yapılan toplam alan, kullanılan materyallerin miktarı (tohum, gübre ve ilaç), işin toplam süresi ve çalışma yapılan alanların GPS konumları kayıt altına alınır ve USB disk ile çiftlik yönetim programına aktarılır. Depolanan tüm bu veriler karar alma süreçlerinde kullanılır (Türker vd., 2016).

**TC-GEO**, yapılacak tarımsal faaliyetler için uygulama haritası bilgilerinin tutulduğu ve işlendiği bir bölümdür. Örneğin, verim haritası çıkarılmış bir tarlada, verim düşük olan

bölgelere daha fazla, diğer bölgelere ise daha az gübre uygulanarak önemli ölçüde gübre tasarrufu sağlanabilir (Türker vd., 2016).

**TC-SC** ise ISOBUS görev denetleyicisinin yüksek hassasiyetli GPS konum bilgilerini kullanarak tarım makinelerinin bölümlerinin otomatik olarak açılıp kapanmasını sağlayan sistemdir. Örneğin, ilaç uygulamaları sırasında makine kolları, daha önce uygulama yapılmış alanlarda veya komşu tarlalarda taşma durumunda kısmi olarak kapatılarak ilaç tasarrufu sağlanmasına olanak tanır (Türker vd., 2016).

**Şekil 16:** TC-SC İlaçlama Makinelerinde Kısmi Kontrol Uygulaması



**Kaynak:** Section control

Genel olarak, yukarıda belirtildiği gibi, yapay zekânın tarımsal üretim faaliyetlerinde kullanılması ve karar destek sistemlerinin oluşturulması, öncelikle önceden kazanılmış bilgi ve becerilere dayanır. Bu bağlamda, yapay zekâ tabanlı bir çiftlik yönetim sisteminin kurulabilmesi, ancak veri toplanarak mümkün olabilir. Bu verilerin toplanması ise ISOBUS gibi sistemlerle sağlanabilir.

Ülkemizde, ISOBUS kullanım oranı, bazı özel ve büyük işletmeler dışında neredeyse yok denecek kadar azdır. Makine imalatçılarımızın, ürettikleri makineleri ISOBUS sistemine uyumlu hale getirebilmeleri için, daha önce sertifikalandırılmış yurtdışı menşeli firmalardan bahsedilen sistem bileşenlerini (ISOBUS terminali, makine kontrol ünitesi, bağlantı konnektörleri vb.) satın alıp makinelerine uyarlamaları gerekmektedir. Ancak, ISOBUS sisteminin maliyeti bazı durumlarda makine maliyetiyle neredeyse eşdeğer olabilmekte, hatta bazen geçebilmektedir. Daralan pazarlar ve artan rekabet koşulları altında, firmalar kendi bünyelerinde ISOBUS benzeri daha basit sistemler geliştirmeye çalışmakta ve bu

süreçte önemli zaman ve maliyet kayıpları yaşamaktadır. Bu bağlamda, yerli makine imalatçılarının ISOBUS sistemine daha uygun ve düşük maliyetlerle entegrasyon sağlaması veya ülkemiz için yerli bir ISOBUS sistemi geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Traktör ve makine imalatında önemli bir mesafe kat eden ülkemizde, ISOBUS benzeri bir sistemin ulusal düzeyde geliştirilmesi için gerekli fizibilite çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Ancak bu şekilde bir standardizasyon sağlanabilir. Ayrıca, firmaların kendi çabalarıyla geliştirmeye çalıştıkları elektronik ve kontrol tabanlı sistemler için harcadıkları zaman ve maliyet kayıpları da sona erecektir.

ISOBUS teknolojisi, traktörler, ekipmanlar ve çeşitli elektronik kontrol üniteleri (ECU'lar) arasında kesintisiz iletişim ve veri alışverişini kolaylaştırarak tarım makinelerinin evriminde bir mihenk taşı haline gelmiştir. Denetleyici Alan Ağı (CAN) protokolüne dayanan bu standart veri aktarım yolu, tarım ekipmanlarında otomatik ve otonom işlevlerin oluşturulmasını sağlar. ISOBUS'ın yaygın olarak benimsenmesi, farklı üreticilerden çeşitli bileşenlerin entegrasyonuna olanak tanıyan gelişmiş birlikte çalışabilirliğin önünü açmıştır.

Modern hassas tarımda doğru ve zamanında veri toplama çok önemlidir. Sensör teknolojisi, büyüme koşulları, gübreleme, sulama, bitki koruma ve hasat dahil olmak üzere mahsul üretiminin çeşitli yönleri hakkında yüksek çözünürlüklü mekânsal ve zamansal veri toplama yeteneğinde devrim sağlamıştır. Bu sensörlerin ISOBUS uyumlu makinelerle entegrasyonu, çiftçilik kararlarını ve uygulamalarını iyileştirmek için kullanılabilecek çok sayıda veriyle sonuçlanmıştır (Ostermeier vd., 2003).

Karar destek sistemleri (DSS) ve yapay zekâ tekniklerinin entegrasyonu, tarımsal operasyonları optimize etmede kritik bir bileşen olarak ortaya çıkmıştır. ISOBUS özellikli makineler aracılığıyla toplanan verileri işleyerek ve analiz ederek, DSS ve YZ algoritmaları çiftçilere gerçek zamanlı içgörüler, öneriler ve otomatik kontrol yetenekleri sağlayabilir [Ostermeier vd., (2003); Ostermeier & Auernhammer, (2007)]. Bu veri odaklı yaklaşım, verimi artırma, kaynak verimliliğini iyileştirme, çevresel etkiyi azaltma potansiyeline sahiptir ve nihayetinde tarımsal uygulamaların sürdürülebilirliğine katkıda bulunur.

### **3.6.5. Veri Toplama Mekanizmaları**

ISOBUS teknolojisinin modern tarım makinelerine entegrasyonu, karar destek sistemlerinin bilgilendirilmesi ve yapay zekâ tekniklerinden faydalanılması açısından önemli olan kapsamlı veri toplama yeteneklerini büyük ölçüde artırmıştır. Araştırmacılar, literatürde ISO 11783 standardı tarafından tanımlanan iletişim protokollerinden faydalanarak çeşitli veri türlerini ve toplama yöntemlerini incelemişlerdir.

ISOBUS uygulamalarıyla toplanan birincil veri türlerinden biri, tarım ekipmanlarına entegre edilen çeşitli sensörlerden alınan verilerdir. Sensör ölçümleriyle saha içi faaliyetleri

denetleyebilen, kontrol edebilen ve belgelendirebilen sistemlerin geliştirilmesi, temel odak alanlarından biri olmuştur. Bu sistemler, çevre koşullarını, toprak özelliklerini ve bitki büyüme parametrelerini izleyerek yüksek çözünürlüklü mekânsal ve zamansal verileri toplamak için çevrimiçi sensörleri entegre eder.

Araştırmacılar, standart CAN veri yolu verilerinin ötesinde, yardımcı sensör verilerinin ISOBUS çerçevesine entegrasyonunu da incelemişlerdir. Örneğin, Sensör CAN Ağ Geçidi sistemi, verileri ISOBUS ağı üzerinden ileterek, özel olarak geliştirilen sensörlerden alınan ek parametrelerin kaydedilmesine olanak tanır. Bu genişletilmiş veri toplama yeteneği, tarım sistemlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlar ve karar destek sistemleri ile yapay zekâ uygulamaları için daha kapsamlı bir veri kümesi sunar.

ISOBUS özellikli makineler aracılığıyla toplanan verilerin doğruluğu ve güvenilirliği de bir araştırma konusu olmuştur. Çalışmalar, CAN veri yolundan gelen SAE J1939 standart mesajları ile gerçek ölçülen değerler arasındaki tutarsızlıkları incelemiş ve etkili karar alma için veri kalitesinin sağlanmasının önemini vurgulamıştır. Bu çalışmalardan elde edilen bulgular, hassas tarım uygulamalarında kullanılan verilerin güvenilirliğini artırmak için iyileştirilmiş veri toplama yöntemlerine ve doğrulama süreçlerine ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Sensör verilerine ek olarak, ISOBUS teknolojisi tarım makinelerinden çeşitli operasyonel ve performans ölçümlerinin toplanmasını sağlamıştır. Motor devri, ilerleme hızı, hidrolik sistem durumu ve yakıt tüketimi gibi parametreler CAN veri yolu teknolojileri aracılığıyla izlenmiş ve çiftçilik operasyonlarının verimliliği ve optimizasyonu hakkında değerli bilgiler sağlanmıştır.

Bu veri toplama mekanizmalarının ISOBUS çerçevesiyle bütünleştirilmesi kapsamlı veri yönetimi ve analiz platformlarının geliştirilmesini kolaylaştırmıştır. Örneğin, kablosuz sensör ağlarının ve bilgi işleme platformlarının uygulanması, sıcaklık, nem, ışık ve CO<sub>2</sub> seviyeleri gibi çevresel verilerin gerçek zamanlı toplanmasını, depolanmasını ve görselleştirilmesini sağlamıştır. Bu veri odaklı yaklaşımlar, mahsul izleme ve optimizasyonu için bilimsel karar alma ve yönetim süreçlerini destekler.

Literatürde, CAN veri yolu teknolojisinin kullanımının, operasyonel ölçümlerin manuel olarak yapılmasına olan ihtiyacı azalttığı, veri toplamayı kolaylaştırdığı ve karar alma süreçlerinde verimliliği artırdığı belirtilmektedir. Elektronik teknoloji ve CAN bus gibi iletişim sistemlerindeki gelişmeler, toplanan verilerin yorumlanmasını ve bunlara göre hareket edilmesini sağlayacak yapay zekâ tekniklerinin entegrasyonuna da olanak tanımıştır.

Genel olarak, tarım makinelerinde ISOBUS uygulamaları aracılığıyla etkinleştirilen veri toplama mekanizmaları; sensör verileri, operasyonel ölçümler ve çevresel parametreler gibi çeşitli unsurları kapsamaktadır. Bu bilgi zenginliğini toplama yeteneği, karar destek sistemlerinin entegrasyonu ve yapay zekâ tekniklerinin uygulanması için bir temel oluşturmuştur; bu konu, aşağıdaki bölümlerde daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

### **3.6.6. Karar Destek Sistemleri (DSS)**

ISOBUS teknolojisinin modern tarım makinelerine entegrasyonu, çiftçilik operasyonlarını ve karar alma süreçlerini iyileştirmek amacıyla sofistike Karar Destek Sistemlerinin (DSS) geliştirilmesi ve benimsenmesinin önünü açmıştır. Bu veri odaklı sistemler, çiftçilere gerçek zamanlı içgörüler, öneriler ve otomatik kontrol yetenekleri sağlamak için ISOBUS uygulamaları aracılığıyla toplanan bilgi zenginliğinden yararlanır.

Tarımda DSS'nin özünde, ISOBUS uyumlu makinelere entegre edilmiş çeşitli sensörlerden ve sistemlerden büyük miktarda veri toplama ve analiz etme yeteneği yer alır. Önceki bölümde tartışıldığı gibi, ISO 11783 tarafından tanımlanan standart iletişim protokolü, sensörlerin, kontrol ünitelerinin ve diğer elektronik bileşenlerin farklı tarım ekipmanları arasında sorunsuz bir şekilde entegrasyonunu sağlamıştır. Bu veri toplama yeteneği, gelişmiş analizler ve optimizasyon algoritmalarına gerekli verileri sağladığı için, karar destek sistemlerinin etkin çalışabilmesi adına büyük önem taşımaktadır.

Tarım bağlamında, DSS'nin temel hedeflerinden biri, çiftçilerin ürün yönetimini, kaynak kullanımını ve genel çiftlik üretkenliğini iyileştirmek için bilinçli ve veri odaklı kararlar almalarını desteklemektir. ISOBUS özellikli makinelerle toplanan verilerin işlenmesi ve analiz edilmesiyle, DSS, çiftçilere operasyonlarının farklı yönlerine dair gerçek zamanlı içgörüler ve öneriler sunabilir. Örneğin, çevrimiçi sensörler ve uzman sistemlerin entegre edildiği bir saha içi kontrol cihazının geliştirilmesi, hassas tarım uygulamalarında DSS'nin potansiyelini gözler önüne sermektedir. Bu sistem, sensör verilerine dayanarak saha içi faaliyetleri denetleyebilir, kontrol edebilir, belgelendirebilir ve gerçek zamanlı karar alma ile süreç optimizasyonuna olanak tanır. Saha içi kontrol cihazında bilgi formülasyonu ve uzman kurallarının entegrasyonu, karar destek yeteneklerini daha da geliştirerek sistemin çiftçilere uygulanabilir içgörüler sunmasını sağlar.

Benzer şekilde, Sensör CAN Ağ Geçidi sistemi tarafından gösterildiği gibi, yardımcı sensör verilerinin ISOBUS çerçevesine dahil edilmesi, veri toplama yeteneklerini ve dolayısıyla daha kapsamlı karar desteği potansiyelini genişletir. Bu sistem, özel sensör verilerini ISOBUS ağına entegre ederek daha geniş bir parametre aralığının kaydedilmesini mümkün kılar ve tarımsal ortam ile operasyonlar hakkında daha kapsamlı bir anlayış sağlar. Bu geliştirilmiş

veri toplama, gelişmiş karar destek algoritmalarına aktarılabilir ve çiftçilerin daha bilinçli ve hassas karar almasını sağlar.

Ayrıca literatür, karar destek sistemleri bağlamında veri doğruluğu ve güvenilirliğinin önemini vurgulamaktadır. Çalışmalar, CAN veri yolu aracılığıyla toplanan veriler ile gerçek ölçülen değerler arasındaki tutarsızlıkları incelemiş ve karar almada kullanılan bilgilerin güvenilirliğini sağlamak için titiz veri doğrulama süreçlerine olan ihtiyacı vurgulamıştır. Veri kalitesine gösterilen bu dikkat, tarımsal uygulamalarda güvenilir ve etkili DSS'nin geliştirilmesi için çok önemlidir.

Gerçek zamanlı karar alma yeteneklerinin ötesinde, tarımsal DSS, uzun vadeli stratejik planlama ve optimizasyona da katkı sağlayabilir. ISOBUS özellikli makinelerden toplanan verilerin, çevresel veri tabanları ve geçmiş kayıtlar gibi diğer veri kaynaklarıyla entegrasyonu, tahmine dayalı modeller ve simülasyon araçlarının geliştirilmesine olanak tanır. Bu gelişmiş analizler, çiftçilere olası zorlukları öngörme, kaynak tahsisini optimize etme ve operasyonlarının verimliliğini artırma konusunda yardımcı olabilir.

Literatür, CAN veri yolu gibi elektronik teknolojiler ve iletişim sistemlerindeki ilerlemelerin, telematik ve uzaktan izleme gibi yeni teknolojilerle karar destek sistemlerinin entegrasyonunu kolaylaştırdığını belirtmektedir. Bu entegre sistemler, operasyonel verilerin sorunsuz bir şekilde toplanmasını, analiz edilmesini ve paylaşılmasını sağlayarak çiftçilerin daha bilinçli kararlar almasını ve çiftçilik uygulamalarını optimize etmesini sağlar.

Özetle, tarım makinelerindeki ISOBUS uygulamaları tarafından etkinleştirilen karar destek sistemleri (DSS), çeşitli sensörler ve sistemler aracılığıyla toplanan veri zenginliğinden yararlanmada önemli bir rol oynar. Bu veri odaklı sistemler, çiftçilere gerçek zamanlı içgörüler, öneriler ve otomatik kontrol yetenekleri sağlayarak bilinçli karar almayı destekler ve çiftçilik operasyonlarının genel verimliliğini ve üretkenliğini artırır. DSS'nin tarım sektöründe sürekli geliştirilmesi ve entegrasyonu, veri toplama ve iletişim teknolojilerindeki ilerlemelerle birleştiğinde, sürdürülebilir ve veri odaklı çiftçilik uygulamalarının geleceği için büyük önem taşımaktadır.

### **3.6.7. ISOBUS Uygulamalarında Yapay Zekânın Rolü**

Yapay zekâ (YZ) tekniklerinin ISOBUS uygulamaları ve veri toplama bağlamında entegrasyonu, tarımsal operasyonları optimize etmede ve karar alma süreçlerini geliştirmede kritik bir bileşen olarak ortaya çıkmıştır. ISOBUS özellikli makineler aracılığıyla toplanan veri zenginliğinden yararlanarak, YZ algoritmaları çiftçilere gerçek zamanlı içgörüler, öneriler ve otomatik kontrol yetenekleri sağlayabilir ve nihayetinde çiftçilik uygulamalarının sürdürülebilirliğine ve verimliliğine katkıda bulunabilir.

Bu alandaki YZ'nin temel uygulamalarından biri, ISOBUS sistemleri aracılığıyla toplanan muazzam miktardaki veriyi analiz etmek için makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmalarının kullanılmasıdır. Sensör verileri, operasyonel ölçümler ve çevresel parametreler, insan uzmanların ayırt etmesinin zor olacağı kalıpları, eğilimleri ve anormallikleri ortaya çıkarmak için YZ odaklı modeller tarafından işlenebilir ve yorumlanabilir (Peppes vd., 2021; Hofstee & Goense, 1999). Örneğin, araştırmacılar CAN veri yolu sensörlerinden toplanan verilere dayanarak, tarım araçlarında sürüş davranışını sınıflandırmak için kümeleme tekniklerinin uygulanmasını incelemişlerdir. Hız, ivme ve yakıt tüketimi gibi parametreleri analiz eden yapay zekâ algoritmaları, çevre dostu ve çevre dostu olmayan sürüş kalıplarını ayırt edebilir ve bu sayede operasyonel verimliliği artırarak çevresel etkiyi azaltmaya yönelik değerli içgörüler sunabilir (Peppes vd., 2021).

Benzer şekilde, yapay zekâ destekli veri birleştirme tekniklerinin entegrasyonu, tarımsal uygulamalarda karar destek sistemlerinin geliştirilmesi amacıyla araştırılmıştır. Araştırmacılar, Kalman filtreleme yöntemini kullanarak çeşitli sensörlerden gelen verileri birleştirip araç dinamiklerini doğru bir şekilde tahmin edebilen ve sürüş simülasyonları ile otonom sürüş için kritik parametreleri belirleyebilen sistemler geliştirmiştir. Veri işleme ve analizindeki bu ilerlemeler, hassas tarımda karar alma süreçlerine doğrudan katkı sağlayabilecek niteliktedir (Girbés vd., 2019). Ayrıca literatürde, YZ destekli bilgi çıkarım motorlarının, işleme endüstrisinde dijital ikiz modellerini zenginleştirme potansiyeli üzerinde durulmakta olup, bu yaklaşım tarımsal uygulamalara da uyarlanabilir. Resmi iş kuralları ve uzman bilgisinin bir araya getirilmesiyle bu bilgi tabanlı dijital ikizler, fiziksel sistemlerin gerçek davranışını daha doğru bir şekilde yansıtabilir; böylece daha bilinçli karar alma süreçlerine ve tarım operasyonlarının optimizasyonuna katkı sağlayabilir (Hofstee & Goense, 1999).

Veri analizinin ötesinde, yapay zekâ teknikleri, ISOBUS çerçevesindeki iletişim ve kontrol sistemlerini geliştirme potansiyelini de ortaya koymuştur. Araştırmacılar, otonom ISOBUS özellikli makinelerin güvenli ve güvenilir çalışmasını sağlamak amacıyla, YZ teknolojilerini kullanarak güvenlik açısından kritik iletişim protokolleri ve risk değerlendirme süreçleri geliştirmeyi incelemişlerdir (Al-Aani, 2020).

Vaka çalışmaları, YZ destekli karar destek sistemlerinin çiftçilik verimliliğini ve üretkenliğini iyileştirmedeki etkisini gözler önüne sermektedir. Örneğin, çevrimiçi sensörleri ve uzman sistemleri entegre eden bir saha kontrol cihazının, gerçek zamanlı olarak saha faaliyetlerini etkili şekilde izleyip kontrol ettiği ve belgelediği gösterilmiştir. Sensör verilerini YZ destekli bilgi çıkarımı ve kural tabanlı karar mekanizmalarıyla birleştiren bu sistemler, çiftçilere uygulanabilir içgörüler ve otomatik kontrol yetenekleri sunarak kaynak kullanımını optimize edebilir ve ürün verimini artırabilir (Ladj vd., 2021).

Benzer şekilde, YZ destekli tanılama ve veri yönetimi araçlarının ISOBUS ekosistemine entegrasyonu araştırılmıştır. Bu araçlar, ISOBUS ağlarının izlenmesini ve sorunların giderilmesini kolaylaştırarak, sistem davranışının daha iyi anlaşılmasına ve tarım makinelerinin yönetiminde karar alma süreçlerinin desteklenmesine katkıda bulunur. ISOBUS uygulamalarıyla toplanan verileri doğru yorumlama ve bu verilere dayalı eylemler gerçekleştirme yeteneği, hassas tarımda yapay zekâdan yararlanmanın temel unsurlarındandır (Ronkainen, 2010).

Tarım teknolojisi alanı geliştikçe, yapay zekânın karar alma süreçlerini iyileştirme, kaynak verimliliğini artırma ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını yönlendirme rolü giderek daha belirgin hale gelecektir. ISOBUS veri toplama mekanizmalarının, gelişmiş YZ algoritmalarıyla entegrasyonu, tarım endüstrisinde yeni optimizasyon ve otomasyon seviyelerinin açılmasına olanak tanıyacaktır.

Bu rapor KOSAM tarafından  
özel olarak hazırlanmıştır.  
www.kosam.org

#### 4. TARIMDA YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARINDA SWOT ANALİZİ

Yapay zekâ (YZ), tarım da dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde geniş kapsamlı etkileri olan dönüştürücü bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. Çiftçiler ve araştırmacılar gıda güvenliği, kaynak kıtlığı ve çevresel sürdürülebilirlik gibi büyüyen zorlukları ele almaya çalıştıkça, YZ'nin tarım sektöründeki uygulaması son yıllarda önemli ilgi görmüştür. Özünde YZ, makinelerin geleneksel olarak insan zekâsı gerektiren görevleri yerine getirmesini sağlayan çeşitli teknoloji ve teknikleri kapsar; örneğin, problem çözme, karar verme ve desen tanıma gibi. Tarım bağlamında, YZ destekli sistemler, çeşitli çiftçilik operasyonlarında üretkenliği, verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmak için kullanılmaktadır (Anbarasan, 2022; Eli-Chukwu, 2019).

Küresel nüfus ve buna bağlı olarak gıda talebindeki artış devam ettikçe, tarımsal uygulamaları iyileştirmek için yenilikçi ve teknoloji odaklı çözümlere olan ihtiyaç giderek daha kritik hale gelmiştir. Yapay zekâ tabanlı teknolojiler, kaynak tahsisini optimize etme, yoğun emek ve işgücü gerektiren görevleri otomatikleştirme ve bilinçli karar almayı desteklemek için veri odaklı içgörüler sağlama potansiyeli sunar. Yapay zekânın tarımdaki rolünü kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için SWOT (Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar ve Tehditler) analiz çerçevesi kullanılabilir (Tablo 1). Bu analitik yaklaşım, tarım sektöründe yapay zekâ teknolojilerinin benimsenmesini ve uygulanmasını etkileyen iç ve dış faktörleri değerlendirmek için yapılandırılmış bir araç sağlar.

Tablo 1: Tarımda Yapay Zekâ Uygulamaları İçin SWOT Analizi

| GÜÇLÜ YÖNLER (STRENGTHS)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ZAYIF YÖNLER (WEAKNESSES)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>✓ <b>Verimlilik Artışı:</b> Hassas tarım ve veri odaklı karar destek sistemleri ile tarımsal üretkenliği artırır.</li><li>✓ <b>Otomasyon ve Zaman Tasarrufu:</b> YZ destekli otomasyon, ekim, ilaçlama ve hasat gibi işgücü gerektiren görevleri etkin şekilde yönetir.</li><li>✓ <b>Kaynak Yönetimi:</b> Su, gübre ve pestisit kullanımını optimize ederek sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik eder.</li><li>✓ <b>Hastalık ve Zararlı Yönetimi:</b> YZ destekli sistemlerle bitki hastalıkları ve zararlıların erken tespiti sağlanır.</li><li>✓ <b>İşgücü Maliyetlerinin Azaltılması:</b> Otonom sistemler iş gücüne olan bağımlılığı azaltır ve maliyet tasarrufu sağlar.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ <b>Yüksek İlk Yatırım Maliyetleri:</b> Otonom sistemler, sensör ağları ve yapay zekâ destekli cihazların uygulanması büyük sermaye gerektirir.</li><li>✓ <b>Teknolojik Bağımlılık:</b> Çiftçiler, teknolojiye bağımlı hale gelerek geleneksel yöntemlerden uzaklaşabilir.</li><li>✓ <b>Veri Gizliliği ve Güvenlik Endişeleri:</b> Büyük miktarda verinin toplanması, yetkisiz erişim ve kötüye kullanım riski taşır.</li><li>✓ <b>Küçük Çiftliklerin Uyumu:</b> Küçük ölçekli çiftliklerin yüksek maliyetli yapay zekâ sistemlerini benimsemesi zor olabilir.</li><li>✓ <b>Teknik Uzmanlık Gereksinimi:</b> YZ teknolojilerinin kullanımı, teknik bilgi ve eğitim gerektirir.</li></ul> |
| FIRSATLAR (OPPORTUNITIES)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | TEHDİTLER (THREATS)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <ul style="list-style-type: none"><li>✓ <b>Artan Gıda Talebine Yanıt:</b> Küresel nüfus artışıyla birlikte gıda üretimini artırma potansiyeli sunar.</li><li>✓ <b>Sürdürülebilir Tarım:</b> Kaynak kullanımını</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ <b>Geleneksel Çiftçilik Direnci:</b> Çiftçiler ve tarım toplulukları yeni teknolojilere direnç gösterebilir.</li><li>✓ <b>İş Kaybı ve Sosyoekonomik Etkiler:</b></li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|                                                                                                                                            |                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| azaltarak çevresel ayak izini küçültür.                                                                                                    | Otomasyon, tarım işçilerinin iş kaybına uğramasına neden olabilir.                                                                                   |
| ✓ <b>Araştırma ve Geliştirme Yatırımları:</b> Hükümetler ve özel sektör tarafından artırılan yatırımlar, yenilikçi çözümler oluşturabilir. | ✓ <b>Siber Güvenlik Riskleri:</b> Veri ihlalleri, siber saldırılar ve hassas bilgilerin kötüye kullanılması riski taşır.                             |
| ✓ <b>Yeni Teknolojilerin Entegrasyonu:</b> IoT, robotik ve blockchain gibi teknolojilerle entegrasyon sağlanabilir.                        | ✓ <b>Düzenleyici ve Etik Sorunlar:</b> Yapay zekânın tarımdaki uygulamaları ile ilgili etik ve yasal düzenlemelerin eksikliği sorun teşkil edebilir. |
| ✓ <b>Küresel Rekabet Gücü:</b> Yapay zekâ tabanlı çözümlerle Türkiye, küresel tarım pazarında rekabet gücünü artırabilir.                  | ✓ <b>Ekonomik Dalgalanmalar:</b> Teknolojiye yatırım yapmak için gerekli finansmanın sağlanamaması riski bulunur.                                    |

Bu bölüm kapsamında, tarımda yapay zekâ kullanımının güçlü yönleri, zayıf yönleri, fırsatları ve tehditleri incelenerek, paydaşlar bu dönüştürücü teknolojinin tüm potansiyelinden yararlanmak için bilinçli stratejiler geliştirebilirler. Bu kapsamlı analiz, tarımda yapay zekânın mevcut durumunu anlamak ve gelecekte benimsenmesini yönlendirebilecek kritik faktörleri belirlemek için temel bir görev niteliğindedir.

#### 4.1. SWOT Analizi

##### ➤ Güçlü Yönleri

YZ'nin tarımdaki temel güçlü yönlerinden biri, çiftçilik operasyonlarında üretkenliği ve verimliliği artırma yeteneğidir. YZ destekli sistemler, ekim, ayıklama, sınıflandırma ve hasat gibi yoğun işgücü gerektiren görevleri otomatikleştirebilir ve bu kritik faaliyetlerin daha hassas ve zamanında yürütülmesini sağlayabilir. Makine öğrenimi algoritmalarından ve bilgisayarlı görü tekniklerinden yararlanarak, YZ destekli teknolojiler ürün gelişimini doğru bir şekilde izleyebilir, zararlıları ve hastalıkları tespit edebilir ve kaynak tahsisini optimize etmek için veri odaklı kararlar alabilir. Bu otomasyon ve veri odaklı yaklaşım, verimi önemli ölçüde artırma, israfı azaltma potansiyeline sahip olup, tarımsal üretkenliği artırmaya katkı sağlamaktadır. Yapay zekânın tarımda bir diğer önemli gücü hassas tarım ve kaynak yönetimindeki rolüdür. Yapay zekâ tabanlı sistemler, sulama ve gübreleme stratejilerini optimize etmek için toprak nemi, sıcaklık ve hava koşulları dahil olmak üzere çok çeşitli sensör verilerinden yararlanılabilmektedir. Yapay zekâ, ürün yetiştirmenin önemli değişkenliklerini hassas bir şekilde izleyerek verilere dayalı ayarlamalar yapar. Bu sayede su ve besinler gibi sınırlı kaynakların tüketimini azaltırken, tarımsal ürünlerin sağlığını ve verimini artırmaya yönelik uygulamalara da olanak tanır. Bu hassasiyet odaklı yaklaşım yalnızca tarımsal uygulamaların verimliliğini iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda çiftçilik operasyonlarının sürdürülebilirliğine de katkıda bulunur.

Ayrıca, yapay zekânın tarıma entegrasyonu, işgücü maliyetlerini düşürme ve tarımsal ürünlerin kalitesini iyileştirme potansiyeline sahiptir (Anbarasan, 2022; Eli-Chukwu, 2019).

Yapay zekâ destekli otonom sistemler ve robot teknolojileri, ekim, ilaçlama ve hasat gibi birçok tarımsal faaliyeti otomatikleştirerek süreci iyileştirmektedir (Lakshmi & Corbett, 2020; Ikrang vd. 2022). Bu otomasyon, minimum girdi kullanımıyla birlikte verim ve üretim artışı sağlamakta (Mahmoud, 2022), aynı zamanda tarımsal ürünlerin kalitesini artırmak, gıda güvenliğini sağlamak, doğal kaynakları korumak ve sürdürülebilir tarımı desteklemek gibi önemli katkılar sunmaktadır (Sharma vd. 2023; Cosmin 2011). Yapay zekâ destekli sistemler, zararlıların ve hastalıkların gerçek zamanlı izlenmesini ve erken tespitini sağlayarak, konum bilgilerine dayalı tarımsal mücadeleye olanak tanır (Fountas vd. 2020; Mahibha & Balasubramanian, 2023). Bu sayede, tarımsal ilaç kullanımını minimize eder ve yalnızca hedef yüzeylerde, optimum miktarda ilaç kullanılmasını sağlar (Ryan vd,2023; Kumar vd. 2017). Bu sistemler, tarımsal ürünlerin sağlığını koruyarak etkin, hedefe yönelik ve zamanında müdahale sağlar; aynı zamanda tarımsal ilaç kullanımını azaltarak insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri minimize eder.

YZ'nin tarımdaki güçlü yönleri, bu dönüştürücü teknolojinin çiftçilik ve gıda üretimine yaklaşımımızda devrim sağlama potansiyelini ortaya koymaktadır. Üretkenliği artırarak, kaynak yönetimini optimize ederek ve tarımsal çıktıların kalitesini iyileştirerek, YZ odaklı çözümler, gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik gibi tarım sektörünün karşı karşıya olduğu acil zorlukları çözmede önemli bir rol oynamaya hazırdır. YZ'nin tarıma entegrasyonu gelişmeye devam ettikçe, bu güçlü yönlerin daha da belirgin hale gelmesi ve daha verimli, sürdürülebilir ve teknolojik olarak gelişmiş bir tarım ortamının önünü açması muhtemeldir.

#### ➤ **Zayıf Yönleri**

Literatür araştırmalarına göre, yapay zekânın tarımdaki güçlü yönlerinin yanı sıra, uygulama ve benimseme süreçlerine ilişkin birkaç önemli zayıf yön ve zorluk da vurgulanmaktadır. Bu özellikler, YZ teknolojilerinin tarım sektörüne entegre edilmesinin önünde önemli engeller oluşturmaktadır. Yapay zekânın zayıf yönlerine bakıldığında, bunların başında yüksek ilk yatırım maliyetleri ve teknolojik altyapı gereksinimleri yer almaktadır (Anbarasan, 2022; Eli-Chukwu, 2019). Otonom traktörler, dronlar ve sensör ağları gibi YZ destekli sistemlerin uygulanması, önemli miktarda ön sermaye yatırımı gerektirebilir (Mahmoud; 2022). Bu mali yük, özellikle küçük ölçekli işletmeler ve kaynakları sınırlı çiftçiler için ciddi bir engel teşkil etmektedir (Lakshmi & Corbett, 2020). Bu maddi sınırlamalar, YZ destekli sistemlere erişimi ve bunlardan faydalanmayı zorlaştırmaktadır.

Teknolojiye bağımlılık ve iş kaybı potansiyeli, YZ'nin tarıma entegrasyonuna ilişkin bir diğer önemli zayıflıktır (Sharma vd., 2023; Ikrang vd., 2022). YZ destekli otomasyon ve robotik, manuel emek yoğun görevlerin yerini aldıkça, özellikle ekim, hasat ve ilaçlama gibi

faaliyetlerde bulunan tarım işçileri için iş kaybı riskleri ortaya çıkacak ve tarım sektörüne bağımlı potansiyel işsizlik önemli derecede artacaktır (Fountas vd, 2020; Mahiba ve Balasubramanian, 2023). Teknolojik bağımlılığın artması, istihdam ve geleneksel çiftçilik uygulamalarının geleceğiyle ilgili uzun vadeli etkiler konusunda endişe duyan çiftçiler ve tarım topluluklarında kaygı ve dirence neden olabilir (Ryan vd., 2023; Kumar vd., 2017). Bu endişeleri ele almak ve YZ destekli teknolojilerin insan emeğiyle sorunsuz bir şekilde entegre edilmesini sağlamak, YZ'nin tarım sektöründe başarılı bir şekilde benimsenmesi için çok önemlidir (Alreshidi, 2019; Kinaneva vd., 2024).

Ayrıca, YZ kullanımı ile ortaya çıkan veri gizliliği ve güvenlik endişeleri vurgulanabilir (Jerhamre vd., 2022; Issa vd., 2022; Mesias-Ruiz vd., 2023). Toprak bileşenlerinden, hava durumu değişkenliklerinden, verim farklılıklarından, alan farklılıklarından ve bitki özelliklerinden kaynaklanan büyük miktarda tarımsal verinin, yapay zekâ destekli sistemler tarafından toplanıp işlenmesi, veri sahipliği, gizlilik ile kötüye kullanım ya da yetkisiz erişim riski gibi sorunları gündeme getirmektedir (Liakos vd., 2018). Çiftçiler, tarımsal operasyonları ve rekabet avantajları üzerindeki olası etkilerden endişe duyarak, hassas verilerini yapay zekâ hizmet sağlayıcılarıyla paylaşmaktan çekinebilirler (Zaaien & Szabo, 2020; Balaska vd., 2023). Bu endişeleri gidermek ve çiftçiler arasında yapay zekâ teknolojilerinin benimsenmesine yönelik güven oluşturmak için güçlü veri yönetim sistemlerinin ve güvenlik önlemlerinin önemine vurgu yapılmaktadır (Balaska vd., 2023; Marco-Detchart vd., 2024). İncelenen çalışmalarda, tarımda yapay zekâ ile ilişkili zayıflıkların, bu dönüştürücü teknolojinin entegrasyonuna yönelik kapsamlı ve stratejik bir yaklaşımın gerekliliği ortaya konmuştur. Finansal engelleri, iş kaybı endişelerini ve veri gizliliği sorunlarını ele almak, yapay zekânın tarım sektöründe yaygın olarak benimsenmesini kolaylaştırmada çok önemli olacaktır (Mark, 2019; Sumangala, 2022). Araştırmacılar, politika yapıcılar ve tarım endüstrisi paydaşları, bu zayıflıkları azaltmaya yönelik çözümler geliştirmeye devam ederken, yapay zekânın tarımı devrim niteliğindeki dönüştürücü potansiyeli umut vadetmektedir. Ancak, bu potansiyelin pratik ve etik hususlar göz önünde bulundurularak dengelenmesi gerekmektedir (Gerhards vd., 2022).

#### ➤ **Fırsatlar**

Yapay zekânın (YZ) tarıma entegrasyonu, büyüyen küresel zorlukları ele alabilecek ve sektörde dönüştürücü değişiklikleri yönlendirebilecek çok sayıda umut verici fırsat sunmaktadır (Cosmin, 2011). YZ uygulamasının tarımda büyüme, sürdürülebilirlik ve yenilik için yeni yollar açabileceği birkaç temel alan vurgulanmaktadır. Öncelikli fırsatlardan biri, YZ'nin büyüyen küresel nüfus nedeniyle artan gıda talebini karşılamaya yardımcı olma potansiyelinde yatmaktadır (Fountas vd., 2020; Mahibha & Balasubramanian, 2023). Dünya nüfusu artmaya devam ettikçe, verimli ve üretken tarım uygulamalarına duyulan ihtiyaç her

zamankinden daha kritik hale gelmiştir. YZ destekli sistemler, ürün verimlerini, hayvancılık yönetimini ve kaynak tahsisini optimize etmede önemli bir rol oynayabilir ve çiftçilerin gıda güvenliği zorluğunu ele almasını sağlayabilir (Anbarasan, 2022; Eli-Chukwu, 2019). Gelişmiş analitik tekniklerden ve öngörü modellerinden yararlanarak YZ, çiftçilerin ekim, sulama, gübreleme ve haşere kontrolü konusunda bilinçli kararlar almasına yardımcı olarak daha yüksek ürün verimlerine ve daha sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sağlayabilir (Mahmoud; 2022). Yapay zekânın tarımda sunduğu bir diğer önemli fırsat, sürdürülebilir çiftçilik uygulamalarını ve çevre korumayı teşvik etme potansiyelidir (Ryan vd. 2023; Kumar vd., 2017; Alreshidi, 2019). Yapay zekâ destekli teknolojiler, kaynak kullanımını optimize ederek, israfı azaltarak ve toprak sağlığı ile su yönetimini iyileştirerek çiftçilerin çevresel ayak izlerini azaltmalarına yardımcı olabilir (Ikrang vd., 2022; Taneja vd., 2023). Örneğin, yapay zekâ destekli sensörler, toprak nemini, besin seviyelerini ve hava değişkenlerini izleyerek su ve kimyasal tüketimini en aza indiren hassas sulama, ilaçlama ve gübreleme stratejilerine olanak tanır. Ayrıca, yapay zekâ destekli dronlar ve robotlar, hedef zararı tespit ederek yabancı ot, hastalık ve zararlılarla kontrollü bir şekilde mücadele eder, bu da geniş spektrumlu pestisit ve herbisit kullanımını azaltarak daha sürdürülebilir ve çevre dostu tarım uygulamalarına katkı sağlar (Mahibha & Balasunramanian, 2023).

Yapay zekâ teknolojisindeki devam eden gelişmeler ve bu alanda araştırma fonları ile yatırımların artması, tarım sektörü için dikkate değer fırsatlar sunmaktadır (Kinaneva vd., 2024; Jerhamre vd. 2022; Issa vd. 2022). Yapay zekâ, makine öğrenimi, bilgisayarlı görü ve doğal dil işleme gibi alanlardaki gelişmelerle birlikte, tarımda sürekli olarak yeni ve yenilikçi uygulamalar ortaya çıkmaktadır (Mesias-Ruiz vd., 2023; Liakos vd., 2018). Hükümetlerin, araştırma kurumlarının ve özel sektör kuruluşlarının artan ilgisi ve desteği, tarım endüstrisi için özel olarak tasarlanmış yapay zekâ tabanlı çözümlerin geliştirilmesini ve dağıtımını hızlandırma potansiyeline sahiptir (Zaaïen & Szabo, 2020; Balaska vd., 2023; Marco-Detchart vd., 2024). Bu kaynak akışı ve araştırma odağı, daha sağlam ve kullanıcı dostu yapay zekâ araçlarının oluşturulmasına, ayrıca yapay zekânın Nesnelerin İnterneti (IoT) ve robotik gibi diğer gelişen teknolojilerle entegrasyonuna yardımcı olarak tarımsal üretkenliği ve sürdürülebilirliği daha da artırabilir (Mark, 2019; Sumangala, 2022).

Yapay zekânın tarıma entegrasyonunun sunduğu fırsatlar, sektörü dönüştürmek ve gıda güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak optimizasyonu gibi küresel zorlukları ele almak için muazzam bir gelecek vadetmektedir. Yapay zekâ teknolojilerinin benimsenmesi, gıdaya olan artan taleple ivme kazanmaya devam ederken, yapay zekânın yeni olasılıkları açığa çıkarma ve tarımın geleceğini yeniden tanımlama potansiyeli giderek daha belirgin hale gelmektedir (Gerhards vd., 2022). Bu fırsatlardan yararlanarak, tarım ekosistemindeki

paydaşlar, dünyanın değişen ihtiyaçlarını karşılayabilen daha verimli, sürdürülebilir ve teknolojik olarak gelişmiş bir çiftçilik ortamına doğru çalışabilirler.

#### ➤ Tehditler

Tarım sektöründeki önemli tehditlerden biri geleneksel çiftçilik topluluklarının direncidir. Otonom traktörler ve robotik biçerdöverler olarak tanımlanan “Agrobotlar” gibi YZ destekli sistemlerin uygulanması yerleşik çiftçilik uygulamalarını bozabilir ve tarım işçilerinin iş kaybına uğramasına neden olabilir. Geleneksel emek yoğun yöntemlerden uzaklaşmak, YZ'nin getirdiği değişiklikleri benimsemekte tereddüt edebilecek çiftçiler arasında kaygıya neden olabilir. Bu direncin üstesinden gelmek ve YZ destekli tarıma sorunsuz bir geçiş sağlamak, çiftçilik topluluklarıyla etkileşim kurmak, endişelerini gidermek ve bu teknolojilerin somut faydalarını göstermek için ortak bir çaba gerektirecektir (Kinaneva vd. 2024; Jerhamre vd. 2022).

Yapay zekânın tarıma entegrasyonu ile ilişkili bir diğer önemli tehdit, siber güvenlik riskleri ve veri ihlalleri riskidir (Jerhamre vd., 2022; Issa vd., 2022; Mesias-Ruiz vd., 2023). Tarımsal verileri toplamak ve analiz etmek için birbirine bağlı sistemlere, akıllı sensörlere ve bulut tabanlı platformlara olan artan bağımlılık, siber saldırılara, veri hırsızlığına ve yetkisiz erişime karşı savunmasızlığı artırmaktadır (Liakos vd. 2018; Zaaïen & Szabo, 2020). Çiftçiler ve tarım işletmeleri, veri ihlallerinin sonuçlarından ve operasyonları üzerindeki potansiyel etkiden korktukları için hassas verilerini yapay zekâ hizmet sağlayıcılarıyla paylaşmaktan çekinebilirler (Balaska vd., 2023). Bu siber güvenlik endişelerini, sağlam veri yönetimi çerçeveleri, şifreleme protokolleri ve kapsamlı güvenlik önlemleriyle ele almak, tarım sektöründe güven inşa etmek ve yapay zekâ teknolojilerinin benimsenmesini kolaylaştırmak için büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, literatür, yapay zekânın tarımda uygulanmasıyla ortaya çıkan düzenleyici ve etik zorlukları vurgulamaktadır.

#### 4.2. Vaka Çalışmaları

İncelenen literatür, yapay zekânın (YZ) çeşitli tarım sektörlerindeki başarılı uygulamalarına dair sayısız örnek sunarak, bu teknolojinin çiftçilik uygulamaları ve üretkenlik üzerindeki dönüştürücü etkisini vurgulamaktadır. Bu vaka çalışmaları, yapay zekânın pratik uygulamalarını ve hem büyük ölçekli operasyonlara hem de küçük çiftçilere sağlayabileceği somut faydaları anlamada önemli içgörüler sunmaktadır. Öne çıkan bir vaka çalışması, ürün yönetiminde yapay zekâ destekli zararlı ve hastalık tespit sistemlerinin başarılı bir şekilde nasıl uygulandığını göstermektedir (Anbarasan, 2022; Eli-Chukwu, 2019). Araştırmacılar, dronlar veya yer tabanlı sensörler tarafından elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüleri analiz ederek, ürünlerdeki zararlı ve hastalıkların erken belirtilerini doğru bir şekilde tespit edebilen bilgisayarlı görüş algoritmaları ve makine öğrenimi modelleri geliştirmiştir. Bu YZ

destekli sistemler, çeşitli bitki sağlığı sorunlarını tespit etmede ve sınıflandırmada dikkate değer bir doğruluk göstererek, çiftçilerin enfeksiyonların yayılmasını azaltmak ve ürün kayıplarını en aza indirmek için proaktif önlemler almalarına olanak tanımıştır (Mahmoud; 2022; Lakshmi & Corbett, 2020). Zararlı ve hastalık yönetimine yönelik bu hedefli yaklaşım, yalnızca üretkenliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda geniş spektrumlu pestisitlere olan bağımlılığı da azaltarak daha sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkıda bulunur (Ikrang vd., 2022). Benzer şekilde, YZ destekli hassas tarım teknikleri, büyük ölçekli tarımsal operasyonlarda kaynak yönetimini optimize etmede ve verimi artırmada etkili olmuştur (Sharma, vd., 2023). Sensörleri, veri analitiğini ve otomatik karar alma algoritmalarını entegre eden YZ destekli sistemler; toprak koşullarını, su seviyelerini ve hava modellerini hassas bir şekilde izleyebilir ve ardından sulama, gübreleme ve diğer tarımsal girdileri buna göre otomatik olarak ayarlayabilir (Cosmin, 2011; Fountas, 2020). Bu gerçek zamanlı, veri odaklı yaklaşım, su ve enerji tüketiminde önemli azalmalara yol açarken aynı zamanda ürün verimini ve kalitesini artırmıştır (Ryan vd., 2023; Mahibha & Balasubramanian, 2023). Bu YZ destekli hassas tarım çözümlerinin uygulanması, büyük ölçekli çiftçilerin genel operasyonel verimliliklerini ve sürdürülebilirliklerini artırmalarını sağlamıştır (Kumar vd., 2017; Alreshidi, 2019).

Küçük çiftçi tarımı alanında, YZ tabanlı teknolojiler ayrıca kaynak kısıtlaması olan çiftçileri güçlendirme ve destekleme potansiyellerini göstermiştir (Kinaneva vd., 2024; Jerhamre vd., 2022). Dikkat çekici bir vaka çalışması, küçük ölçekli çiftçilere kişiselleştirilmiş, bağlam-özel tavsiyeler sağlayan mobil uygulamaların ve bulut tabanlı YZ platformlarının dağıtımını içerir (Issa vd., 2022; Mesias-Ruiz vd., 2023). Bu sistemler, uydu görüntüleri, hava durumu tahminleri ve kalabalık kaynaklı çiftçi gözlemleri gibi çeşitli kaynaklardan toplanan verileri analiz etmek için makine öğrenimi algoritmalarından yararlanır ve mahsul yönetimi, hasare kontrolü ve pazar erişimi hakkında özel öneriler sunar (Liakos vd., 2018).

Bu vaka çalışmaları, YZ'nin tarım sektörünün karşılaştığı çeşitli zorlukları ele almadaki çok yönlülüğünü vurgulamaktadır. Hassas mahsul yönetiminden kişiselleştirilmiş danışmanlık hizmetlerine kadar YZ destekli teknolojilerin başarılı uygulanması, bu dönüştürücü teknolojinin hem büyük ölçekli hem de küçük çiftçi düzeylerinde çiftçilik uygulamalarında devrim sağlama potansiyelini ortaya koymuştur (Balaska vd., 2023; Marco-Detchart vd., 2024). Tarımda yapay zekâ benimsenmeye devam ederken, bu vaka çalışmaları gelecekteki uygulamalara rehberlik edebilecek pratik hususlar, en iyi uygulamalar ve kritik başarı faktörleri hakkında değerli içgörüler sunmakta; aynı zamanda yapay zekânın tarıma sürdürülebilir entegrasyonunu sağlamaya katkı sağlamaktadır (Marco-Detchart vd., 2024; Mark, 2019).

İncelenen literatürde sunulan vaka çalışmaları, yapay zekânın tarımsal üretkenliği, kaynak yönetimini ve sürdürülebilirliği artırmadaki dönüştürücü gücünü göstermektedir. Bu gerçek dünya örnekleri, hassas çiftçilikten kişiselleştirilmiş danışmanlık hizmetlerine kadar uzanan yapay zekâ uygulamalarını ve hem büyük ölçekli hem de küçük çiftçilere sağladığı somut faydaları ortaya koymaktadır. Tarım sektörü gıda güvenliği, iklim değişikliği ve kaynak kıtlığı gibi zorluklarla mücadele ederken, bu vaka çalışmalarından elde edilen bilgiler, yapay zekâ tabanlı çözümlerin stratejik olarak benimsenmesi, uygulanması için rehberlik sağlayabilir ve daha verimli, sürdürülebilir, teknolojik açıdan gelişmiş bir tarımsal geleceğin önünü açabilir.

#### **4.3. Disiplinler Arası İş Birliği ve Politika Desteği Çağrısı**

SWOT analizi, yapay zekânın tarımdaki potansiyelini tam olarak gerçekleştirmek için iş birlikçi ve çok disiplinli bir yaklaşıma ihtiyaç olduğunu vurgulamaktadır. Çiftçiler, teknoloji sağlayıcıları, politika yapıcılar ve araştırmacılar arasındaki boşluğu kapatmak, zorlukların ele alınması ve yapay zekânın dönüştürücü gücünün açığa çıkarılmasında çok önemli olacaktır (Balaska vd. 2023; Marco-Detchart vd., 2024). Yapay zekâ teknolojilerinin benimsenmesini destekleyen ve aynı zamanda veri gizliliği, iş kaybı ve sosyal eşitlikle ilgili endişeleri ele alan kapsamlı politika çerçeveleri geliştirmek, yapay zekânın tarım sektörüne başarılı bir şekilde entegre edilmesi için elzem olacaktır (Sumangala & Kini, 2022; Gerhards vd., 2022).

Sonuç olarak, tarımda yapay zekânın SWOT analizi, bu dönüştürücü teknolojinin karmaşık ve çok yönlü doğasını vurgulamıştır. Paydaşlar, yapay zekânın güçlü ve zayıf yönlerini, sunduğu fırsatları ve tehditleri dikkatlice inceleyerek, tarım sektörünün karşılaştığı acil zorlukları ele almak ve çiftçilikte daha verimli, sürdürülebilir ve ileri teknolojilerle donatılmış bir geleceğe yönelmek için stratejiler geliştirebilir ve bu teknolojinin tüm potansiyelinden yararlanabilirler.

## **5. TÜRKİYE TARIMINDA YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI, YOL HARİTASI ve DÖNÜŞÜM İÇİN ÖNERİLER**

Yapay zekâ teknolojilerinin Türkiye'nin tarım sektörüne entegrasyonu henüz başlangıç aşamasındadır, ancak büyüme ve dönüşüm potansiyeli önemlidir. Bazı öncü çalışmalar yapılmış olsa da yapay zekâ destekli çözümlerin yaygın olarak benimsenmesi, teknolojik engeller, finansal kısıtlamalar ve çiftçiler arasında dijital okuryazarlık eksikliği gibi çeşitli faktörler tarafından engellenmiştir.

Bununla birlikte, Türkiye'de giderek artan sayıda araştırma kurumu, teknoloji şirketi ve tarım kooperatifi; hassas tarım, mahsul izleme ve tedarik zinciri optimizasyonunda yapay zekâ uygulamalarını aktif olarak araştırmaktadır. Bu girişimler, yapay zekâ odaklı teknolojilerin mahsul verimini artırma, kaynak tüketimini azaltma ve genel çiftlik verimliliğini artırma konusundaki etkinliğini ortaya koymuştur.

Ülkemiz, tarım sektörünün karşılaştığı zorlukların üstesinden gelmek için yapay zekâ da dahil olmak üzere teknolojiden yararlanmanın önemini kabul etmiştir. Son yıllarda, dijital çözümlerin benimsenmesini teşvik etmek ve yenilikçi tarım uygulamalarının geliştirilmesini desteklemek için çeşitli girişimler başlatılmıştır.

Bu girişimlerden biri, IoT ve yapay zekâ da dahil olmak üzere akıllı tarım teknolojilerinin Türkiye'nin tarımsal alanına entegrasyonunu kolaylaştırmayı amaçlayan "Tarımda Dijital Dönüşüm" programıdır. Program, çiftçilerin ve kooperatiflerin teknolojiyi benimsemelerinin önündeki engelleri aşmalarına yardımcı olmak için mali teşvikler, teknik destek ve eğitim programları sağlamaktadır.

Ayrıca devletimiz, ülkemizin tarım sektörünün kendine özgü ihtiyaçlarına uygun yapay zekâ destekli tarımsal çözümler geliştirmeye odaklanan araştırma ve inovasyon merkezlerinin kurulmasına yatırım yapmıştır. Bu çabalar, araştırmacıların, teknoloji şirketlerinin ve çiftçilerin, ülkenin gıda üretimini ve çevresel sürdürülebilirliğini artırmada yapay zekânın potansiyelini keşfetmek için birlikte çalışabileceği iş birlikçi bir ortamı teşvik etmiştir.

Tarım makineleri imalat sektörümüz özellikle son yıllarda teknolojik olarak oldukça önemli bir konuma gelmiştir. Tarmakbir 2023 Tarım ve Makine Sanayi Etkileşim Raporuna göre tarım makineleri endüstrisi, yıllık bazda ortalama 2,9 milyar dolar seviyesinde bir ciroya sahip olmakla birlikte bu rakam kriz dönemleri dışında 3,8 milyar dolar ciro seviyelerine kadar ulaşmıştır. Sektörde oluşan katma değer yurt dışı menşeli makinalara göre oldukça düşük kalmaktadır. Ekipman bazında bir değerlendirme yapıldığında fiyatlar Türkiye için 3,9 \$/kg seviyesindeyken İtalya için 8,3 \$/kg ve Almanya için 11,2 \$/kg değerlerine ulaşmıştır. Bu anlamda Almanya'nın makine imalatında 3 kat, İtalya'nın ise 2 kat daha fazla değer oluşturduğunu söyleyebiliriz. Bu anlamda sektörümüzün bilgiye dayalı bir rekabete

geçiş zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu ise ancak ülkemizde üretimi yapılan makinelerin teknoloji düzeylerinin arttırılmasıyla gerçekleşebilir. Yapay zekâ ve tarım başlıklı raporumuzda yapay zekânın tarımda kullanımı geniş bir şekilde anlatıldı. Sonuç olarak düşünen bir sistemin karar aşamasına geçebilmesi ancak edindiği bilgi ve tecrübelerle olur. Yapay zekâ da verileri analiz ederek farklı algoritmalarla analizler yapar ve karar aşamasına geçer. Ancak veri olmadan bir yapay zekâ algoritmasının çalışması veya az veriyle doğru kararlar alması beklenemez. Daha önce de sürekli bahsedildiği gibi ülkemizde yapay zekâ odaklı tarım uygulamalarının yapılabilmesi için gerekli veri toplama formatlarının oluşturulması ve bu verilerin merkezi depolama birimlerinde saklanması gerekmektedir. Meteorolojik veriler, uydu görüntüleri vb. verilere ulaşmak günümüzde herhangi bir zorluk içermemektedir. Ancak üretim alanlarından toplanması gereken veriler oldukça büyük zaman ve zahmet içermektedir. Rapor içerisinde özellikle üzerinde durulmuş olan ISO-BUS sistemi aslında üretim alanlarından veri toplamayı oldukça kolay hale getirmektedir. ISO-BUS teknolojisine sahip bir traktör ve ekipman grubuyla yapılan tüm tarımsal faaliyetler kayıt altına alınabilmektedir. Toprak işleme (toprak özellikleri), ekim (ekim derinliği, ekim normu vb.), sulama, bakım (gübre miktarı, cinsi, zamanı vb.), mücadele (kullanılan tarımsal ilaçlar ve zamanları vb.) ve hasat (verim haritalama) zamanlarında yapılan tüm işlemler coğrafik konum ve zamanlarıyla birlikte kaydedilmekte ve ileride kullanılmak üzere saklanmaktadır. Süregelen yıllar içerisinde toplanan bu veriler ile bir sonraki üretim dönemlerinde optimum kararlar alınabilir hale gelecektir. Hali hazırda ülkemizde ISO-BUS teknolojisine sahip tam donanımlı traktör ve ekipman grupları çok büyük işletmeler dışında kullanılmamaktadır. Maliyetlerinin oldukça yüksek olması çoğunluğu aile işletmesi yapısında olan küçük ölçekli tarım işletmelerimizin bu teknolojilere ulaşımını sınırlamaktadır. Makine imalatçılarımızın ise üretimini yaptıkları makinelerini bu teknolojilerle donatarak katma değer oluşturma çabaları yetersiz kalmaktadır. Tüm bunlar göz önüne alındığında yapay zekâ ve tarım uygulamalarıyla ilgili aşağıdaki yol haritası izlenerek çözüm yolları araştırılmalıdır;

1. Tarım ve Orman Bakanlığımız, üniversiteler, araştırma kurumları, kooperatifler, makine imalatçıları ve önder çiftçilerden oluşan bir yapay zekâ platformu oluşturulmalıdır.
2. Öncelikle tarımsal üretimde yapay zekâ kullanımı konusunda mevcut durum analizi yapılarak bir rapor oluşturulmalı ve gelecek için bir yol haritası belirlenmelidir. Yapılan gözlem ve araştırmalarda üniversitelerin, araştırma kurumlarının ve özel şirketlerin yapay zekâ konusunda yaptıkları ve devam ettirdikleri birçok proje olduğu görülmüş ancak birliktelik konusunda önemli bir kopukluk olduğu tespit edilmiştir. Çalışmaların belli bir koordinasyon içerisinde yürütülmesi hem zaman kazanımlarına hem de multidisipliner çalışmalarla önemli bir ivme kazanılmasına yardımcı olacaktır.

3. Bir sonraki aşamada yapay zekâ için kullanılacak verilerin tespit edilmesi ve bu verilerin hangi formatta toplanacağı konusunda karar aşamasına geçilmelidir.
4. Makine imalatçılarımızın mevcut ISO-BUS sistemine entegrasyonlarının sağlanması veya yerli ISO-BUS standardının geliştirilmesine yönelik çalışmaların başlatılması ve karar sürecine geçilmesi gerekmektedir. Bu anlamda mevcut ISO-BUS sistemine entegrasyonun aşamaları ve maliyetleri çok iyi analiz edilmeli, sağlayacağı avantaj ve dezavantajlar değerlendirilmelidir. Aksi durumda çok ortaklı bir yapılanma ile yerli bir sistemin alt yapısı oluşturulmalıdır.
5. Mevcut ISO-BUS sistemi veya geliştirilecek yerli ISO-BUS sistemi bir yandan yapay zekâ odaklı veri toplama çalışmalarına alt yapı teşkil ederken diğer taraftan yukarıda da bahsedildiği gibi tarım makineleri imalatçılarımızın ürünlerinin katma değerlerini yükseltecektir.
6. Üniversitelerimiz ve Bakanlığımıza bağlı araştırma kurumlarımız tarafından model çiftlikler kurulmalı, veri toplama çalışmalarına başlanmalı ve yapay zekâ destekli karar süreçleri ile çiftlik yönetim sistemleri oluşturularak üretimde sağlanan verimlilik ve kalite; örnek olarak çiftçilerimize sunulmalıdır.
7. ISO-BUS vb. alt yapıya sahip traktör ve ekipmanların devletimiz tarafından teşvik edilmesi bu teknolojilere erişimi kolaylaştıracaktır. Ayrıca çiftçi yaş ortalamamızın oldukça yükseldiği bu dönemde teknoloji esaslı traktör ve ekipmanlarla tarımı gençlerimize sevdirmemiz konusunda politikalar geliştirmemiz stratejik bir öneme sahiptir.
8. Ülkemizin savunma sanayisinde elde ettiği üstün teknolojik atılım, tarım alanına da sağlanmalıdır. Savunma sanayimizin gelişmesinde kazanılan know-how tarım alanına aktarılmalıdır. Savunma sanayi bilgi birikimine sahip akademisyenlerin, araştırma kurumlarının ve özel sektör paydaşlarının bir araya getirilerek dijital tarım teknolojilerine yönelik ortak projeler gerçekleştirmeleri sağlanmalıdır.
9. Verilerin güvenliği ve erişimi konularında gerekli önlemler alınmalıdır. Veri toplama merkezleri oluşturulmalı ve bu verilerin güvenli bir şekilde depolanması için gerekli alt yapı çalışmaları yapılmalıdır.
10. Genel yapay zekâ konusunda eğitim çalışmalarının yapılması ve insanlarımızın bu konuda bilinçlendirilmesi diğer önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tüm yukarıdaki sayılanlar göz önüne alınarak ülkemizde pilot alanlar belirlenerek yapay zekâ odaklı çalışmaların başlatılması hem tarım makineleri imalat sektörümüzün büyüklüğü hem de geniş üretim alanlarımızın sağlayacağı avantajlar ile yapay zekâ odaklı çalışmaların ivme kazanmasında önemli bir rol üstlenecektir. Hayvancılıkta optimizasyon çalışmalarında yapay zekâ uygulamaları üreticilerimize önemli kazanımlar sağlayacaktır. Özellikle su kaynaklarının azalıyor olması ve kısıtlı su imkanlarıyla en etkin tarımsal üretimin

planlanması aşamasında bitkisel üretimle hayvansal üretimin entegrasyonu büyük önem arz etmektedir.

Yapay zekânın Türkiye tarımında benimsenmesi henüz erken aşamalarda olsa da ülkenin teknolojiye yararlanma konusundaki kararlılığı ve devam eden devlet girişimleri, bu yenilikçi çözümlerin daha yaygın ve etkili bir şekilde entegre edilmesinin önünü açmaktadır. Türkiye, tarım alanındaki zorlukların üstesinden gelmeye devam ederken, yapay zekâ destekli teknolojilerin stratejik olarak uygulanması, sektörü dönüştürme ve ülkenin gıda güvenliği ile ekonomik refahına katkıda bulunma potansiyeli taşımaktadır.

### **5.1. Yapay Zekâ Kullanımının Benimsenmesinde Karşılaşılan Genel Zorluklar**

Türkiye'nin tarım sektöründe yapay zekânın benimsenmesinin önündeki başlıca engellerden biri teknolojik altyapıdır. Türkiye'deki birçok çiftçi, özellikle de kırsal ve uzak bölgelerdekiler, güvenilir yüksek hızlı internete ve yapay zekâ destekli çözümlerden tam olarak yararlanmak için gerekli dijital teknolojilere erişimden yoksundur. Bu dijital uçurum, çiftçilerin etkili YZ uygulaması için gereken büyük miktarda veriyi toplama, işleme ve kullanma becerilerini engellemektedir.

Ayrıca, YZ teknolojilerinin konuşlandırılması ve bakımı ile ilgili yüksek maliyetler, Türkiye'nin tarımsal alanının önemli bir bölümünü oluşturan küçük ölçekli çiftçiler için engelleyici olabilir. Dronlar, sensörler ve veri analizi platformları gibi YZ odaklı hassas tarım ekipmanları için gereken ilk yatırım, özellikle sınırlı mali kaynaklara sahip olanlar olmak üzere birçok çiftçi için bir engel oluşturmaktadır.

Teknolojik ve ekonomik zorluklara ek olarak, yapay zekâ tabanlı teknolojilerin benimsenmesi ve kullanılması söz konusu olduğunda Türkiye'deki çiftçiler arasında önemli bir eğitim ve beceri açığı bulunmaktadır. Birçok çiftçi, bu gelişmiş sistemleri tam olarak anlamak ve işletmek için gereken dijital okuryazarlıktan ve teknik bilgiden yoksundur. Bu boşluk, YZ'nin tarımsal uygulamalara etkili bir şekilde entegre edilmesini engelleyebilir ve bireysel çiftçiler için potansiyel faydaları sınırlayabilir.

Zorluklara rağmen, SWOT analizi ayrıca yapay zekânın tarım sektöründe sürekli büyümesi ve entegrasyonu için çok sayıda fırsatı ortaya koymaktadır. Literatür incelemeleri, yapay zekânın artan küresel gıda talebini karşılamada ve iklim değişikliği ile çevresel sürdürülebilirlik gibi acil zorlukları ele almada sunduğu potansiyeli vurgulamaktadır. Yapay zekâ destekli hassas tarım teknikleri, su ve gübre gibi kıt kaynakların kullanımını optimize ederken, zararlı pestisit ve herbisitlere olan bağımlılığı da azaltabilir. Ayrıca, yapay zekâ destekli otomasyon ile robotikteki gelişmeler, tarımsal operasyonların verimliliğini, tutarlılığını artırarak tarımsal ürünlerin kalitesini ve pazara uygunluğunu iyileştirme potansiyeline sahiptir.

**Genel anlamda teknolojik ve yazılımsal eksiklikler ve öneriler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir;**

- ISOBUS uygulamalarının ülkemizde yaygınlaşmaması, makine ve traktör uyumlu üretimin gelişmemesine ve dolayısıyla büyük veri analizine geçişin zorlaşmasına neden olmaktadır. Bu durumun aşılması için ISOBUS vb. uygulamalarının yaygınlaştırılmasına yönelik planlamalar yapılmalı ve veriler tek bir merkezde toplanarak kaydedilmelidir. Bu sayede, çiftlik yönetim sistemlerinde karar destek mekanizmalarının etkin bir şekilde çalışması sağlanabilir.
- Yapay zekâ makine öğrenmesi uygulamaları için gerekli verilerin toplanmasına yönelik alt yapı yerli ve milli hale getirilmelidir.
- Sensör ve veri toplama alanındaki eksiklikler, özellikle; sıcaklık, nem, tork, hız, açı, basınç, elektrik iletkenliği gibi verileri toplayan sensörlerin ülkemizde geliştirilmesi ve yurt dışına olan bağımlılığın azaltılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, yerli makine imalatçıların bu teknolojilere entegrasyonunu sağlamak amacıyla politikaların geliştirilmesi önemlidir.
- Multispektral ve hiperspektral gibi yüksek teknoloji içeren kameraların yerli üretimlerinin Ar-Ge çalışmalarının desteklenmesi, bu alanda yazılım, fizik, elektronik, optik gibi farklı disiplinlerde uzmanlaşmış akademik ve özel sektör paydaşlarının iş birliği yaparak projeler geliştirmelerine olanak tanınması sağlanmalıdır.
- Verilerin toplanıp değerlendirilmesi için siber ve fiziksel güvenliği sağlanmış milli veri depolama merkezleri (Data-Centre) oluşturulmalıdır.
- Yüksek teknolojiye sahip (YZ destekli) iş kapasitesi yüksek tarım araçları geliştirilmelidir.
- Son birkaç yılda artan ISOBUS teknolojisine sahip traktörlerle uyumlu ekipman üretimi için çiftçi odaklı teşvikler verilmelidir, tarım makineleri üreticilerinin ISOBUS teknolojilerini makinelerine entegre etmelerindeki zorlukları belirlenmeli ve bu zorlukları aşmak için gerekli yol haritası oluşturulmalıdır.

**Ekonomik ve Eğitim yönünden YZ ye entegrasyondaki eksiklikler ve öneriler ise aşağıda özetlenmiş ve maddeler halinde sıralanmıştır;**

Türkiye'nin tarım sektöründe yapay zekânın yaygın şekilde benimsenmesinin önündeki bir diğer önemli engel, çiftçi topluluğundaki kültürel algılar ve kabul düzeyidir. Bazı çiftçiler, teknolojiye olan güven eksiklikleri veya daha aşına oldukları geleneksel tarım yöntemlerine olan bağlılıkları nedeniyle, yapay zekâ odaklı çözümleri benimsemekte tereddüt edebilmektedir.

Ayrıca, veri gizliliği endişeleri ve insan emeğinin potansiyel olarak yer değiştirmesi gibi YZ ile ilişkili algılanan riskler, çiftçiler arasında direnç neden olabilir ve bu teknolojilerin benimsenmesini engelleyebilir. Bu kültürel ve toplumsal engellerin ele alınması, YZ'nin Türkiye'nin tarımsal ortamına başarılı bir şekilde entegrasyonunu kolaylaştırmak için oldukça önemlidir.

- Çiftçilerin kültürel algısı ve yapay zekânın kabulüne yönelik karşılaşılan zorluklara bağlı olarak çiftçilere yönelik eğitimler düzenlenmelidir.
- Çiftçilerin yaş ortalamalarının yüksek olması ve teknolojiye uzak olmaları dolayısıyla genç çiftçileri yeni teknolojilerle tarıma kazandırmaya yönelik cezbedici faaliyetler yürütülmelidir.
- Ulaşım veya lojistik maliyetlerini azaltmak için bölgenin ihtiyaçlarına yönelik ürün yetiştiriciliği yapay zekâ destekli verilerle belirlenmeli ve bölge bazlı üretim planlamaları yapılmalıdır.

#### **Zorlukların Üstesinden Gelmek ve Yapay Zekânın Benimsenmesini Desteklemek için Stratejiler**

Tarımda yapay zekânın (YZ) potansiyel faydaları iyi belgelenmiş olmakla birlikte, Türkiye de dahil olmak üzere küresel çapta bu teknolojilerin benimsenmesi, entegrasyonunun yaygınlaştırılması ve başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için çözülmesi gereken önemli zorluklar ve engeller bulunmaktadır. Türkiye'nin tarım sektöründe yapay zekânın benimsenmesini teşvik etmek için, çeşitli paydaşları kapsayan çok yönlü bir yaklaşım gereklidir. Bu yaklaşım şunları içermelidir:

- **Dijital Altyapı Hedefli Yatırım:** Devletimiz, çiftçilerin yapay zekâ destekli teknolojilere erişimini sağlamak ve bu teknolojileri etkin bir şekilde kullanabilmelerini temin etmek amacıyla, özellikle kırsal ve uzak bölgelerde güvenilir yüksek hızlı internet ve dijital altyapı altyapısının geliştirilmesine öncelik vermelidir.
- **Finansal Teşvikler ve Sübvansiyonlar:** Sübvansiyonlar ve düşük faizli krediler gibi finansal destekler, yapay zekâ teknolojilerinin yüksek ön maliyetlerini dengelemeye yardımcı olabilir ve bu teknolojilerin küçük ölçekli ve kaynakları sınırlı çiftçiler için daha erişilebilir olmasını sağlayabilir.
- **Beceri Geliştirme ve Eğitim Programları:** Kapsamlı eğitim ve kapasite geliştirme programlarının uygulanması, çiftçiler arasındaki dijital okuryazarlık ve teknik beceri açığının kapatılmasına yardımcı olabilir ve onları yapay zekâ tabanlı çözümleri benimsemeleri ve etkili bir şekilde kullanmaları için güçlendirebilir.

- **İş Birliğine Dayalı Ortaklıklar ve Bilgi Paylaşımı:** Teknoloji sağlayıcıları, tarımsal araştırma kurumları ve çiftçi örgütleri arasında ortaklıkların teşvik edilmesi, bilgi alışverişini, en iyi uygulamaları ve başarılı vaka çalışmalarını kolaylaştırarak yapay zekâ teknolojilerinin benimsenmesini teşvik edebilir.
- **Kültürel ve Toplumsal Kaygıların Ele Alınması:** Çiftçilerle etkileşimde bulunmak, endişelerini dinlemek ve veri gizliliği, iş güvenliği ile yapay zekânın algılanan risklerine dair sorunları ele almak, çiftçilik topluluğu içinde güven ve kabul oluşturulmasına yardımcı olabilir.

Türkiye, bu çok yönlü zorlukları ve engelleri stratejik ve iş birlikçi bir yaklaşımla ele alarak, tarım sektöründe devrim sağlama ve küresel gıda güvenliği ile sürdürülebilirliğine katkıda bulunma konusunda yapay zekânın tüm potansiyelini ortaya çıkarabilir. Bu stratejilerin başarılı bir şekilde uygulanması, yapay zekâ odaklı hassas tarım, akıllı sulama sistemleri ve gelişmiş ürün yönetimi uygulamalarının yaygın bir şekilde benimsenmesine zemin hazırlayarak, Türkiye'nin tarımsal verimliliğini ve dayanıklılığını artırabilir.

#### **Tarım Paydaşları için Öneriler**

Tarım sektörü gelişmeye devam ederken, politika yapıcılar, üniversiteler, araştırma kurumları, teknoloji geliştiriciler ve tarım toplulukları gibi kilit paydaşların, yapay zekânın potansiyelinden etkin bir şekilde yararlanmak ve uygulama ile ilgili zorlukları ele almak için iş birliği yapması önemlidir.

Politika yapıcılar, tarımda yapay zekâ teknolojilerinin sorumlu ve adil bir şekilde benimsenmesini teşvik eden düzenleyici çerçevelerin geliştirilmesine öncelik vermelidir. Bu, çiftçilerin yapay zekâ destekli çözümlere yatırım yapmalarını teşvik edecek önlemler ve veri gizliliği ile güvenliğini sağlamaya yönelik politikaları içerebilir (Rotaru, 2021; Wolfert vd., 2017; Baryshnikova, 2022).

Öte yandan, teknoloji geliştiricileri, çeşitli tarımsal bağlamların özel ihtiyaçlarına ve kısıtlamalarına göre uyarlanmış yapay zekâ tabanlı çözümler oluşturmalıdır. Bu süreç, tarım uzmanları ve yerel topluluklarla iş birliği yaparak, onların benzersiz zorluklarını anlayıp, özelleştirilmiş ve kullanıcı dostu uygulamalar geliştirmeyi gerektirebilir (Ryan, 2023; Rutvik, 2021).

Çiftçiler ve tarım toplulukları, yapay zekâ teknolojilerini etkin bir şekilde kullanabilmeleri için eğitim ve kapasite geliştirme girişimleriyle güçlendirilmelidir. Bu, potansiyel faydaları daha iyi anlamalarını sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda teknolojik okuryazarlık ve veri sahipliği gibi benimsemenin önündeki endişe ve engelleri de ortadan kaldıracaktır (Rotaru, 2021; Wolfert vd., 2017; Baryshnikova, 2022).

## 6. SONUÇ

Yapay zekânın tarım sektörüne entegrasyonu, küresel ölçekte tarım uygulamalarını dönüştürmüş, kritik zorlukları ele almış ve gelişmiş verimlilik, sürdürülebilirlik ve gıda güvenliği için yeni fırsatların kapılarını aralamıştır. Literatürün kapsamlı incelemesi, hassas tarım tekniklerinden otomatik mahsul yönetimi ve hastalık tespitine kadar tarımın farklı alanlarında yapay zekâ odaklı yeniliklerin derin etkisini gözler önüne sermektedir.

Bu incelemenin temel bulguları, tarımda YZ'nin dönüştürücü potansiyelini vurgulamaktadır. Küresel çapta, YZ destekli sistemler, veriye dayalı içgörüler ve tahmine dayalı analitik kullanarak su, gübre ve ilaç gibi kaynakların kullanımını optimize etme yeteneğini kanıtlamıştır. Bu durum, verimliliği artırırken çevresel etkiyi azaltarak daha sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkıda bulunmuştur. Ayrıca, yapay zekâ güdümlü robotik ve otomasyonun uygulanması, ekimden hasat sonrası işleme kadar pek çok tarımsal görevde devrim sağlamıştır. Bu gelişmeler, verimliliği artırmakla kalmayıp, aynı zamanda işgücü eksikliklerini gidermekte ve çiftçilerin çalışma koşullarını iyileştirerek tarım sektörünü daha cazip ve sürdürülebilir hale getirmektedir.

İnceleme, ayrıca yapay zekânın bitki hastalıkları, zararlılar ve diğer stres faktörlerinin erken tespiti ve yönetimindeki önemli rolünü de vurgulamıştır. Yapay zekâ destekli sistemler, bilgisayarla görme ve derin öğrenme algoritmalarını entegre ederek zamanında ve doğru teşhisler sunar, bu da hedeflenen müdahalelere ve iyileştirilmiş mahsul verimine olanak tanır.

Yapay zekânın tarıma entegrasyonunun ilerletilmesi, tarım, bilgisayar bilimi, çevre bilimi ve sosyal bilimler gibi çeşitli alanlardan uzmanları bir araya getiren çok disiplinli bir yaklaşım gerektirecektir. Bu iş birliği çabası, tarım sektöründe yapay zekâ destekli çözümlerin uygulanmasıyla ilgili karmaşık ve birbiriyle bağlantılı zorlukların ele alınmasında kritik bir rol oynayacaktır (Rotaru, 2021; Wolfert vd., 2017; Baryshnikova, 2022).

Paydaşlar, disiplinler arası iş birliğini teşvik ederek, yapay zekâ teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasının yerel tarımsal bağlamın özel ihtiyaçları ve kısıtlamaları ile uyumlu olmasını sağlayabilir. Ayrıca, bu iş birlikçi yaklaşım, veri güvenilirliği, birlikte çalışabilirlik ve istenmeyen sosyo-ekolojik sonuçlar gibi tarımda yapay zekâ ile ilişkili sistemik risklerin tanımlanmasını ve azaltılmasını sağlayacaktır. Tarım sektörü, bu zorlukları bütünsel bir şekilde ele alarak, sürdürülebilir ve adil sonuçlar elde ederken yapay zekânın dönüştürücü gücünden faydalanabilir.

Üniversiteler, Teknokentler, Araştırma Kurumları, Bakanlık Birimleri, Kalkınma Ajansları, Özel Sektör, Yazılım Firmaları, Tarımsal Kalkınma Kooperatifleri ve Önder Çiftçiler arasında konsorsiyumlar oluşturularak, tüm tarım paydaşlarıyla multidisipliner çalışmaların

hızlandırılması, savunma sanayinde geliştirilen yapay zekâ teknolojilerinin tarım sektörüne entegre edilmesi, bu alanda ortaklıklar ile çalışma gruplarının kurulması ve desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Bir diğer önemli husus ise kırsal alanda tarımsal faaliyetlerle uğraşan çiftçilerimizin dijital okur yazarlığın artırılmasına yönelik çiftçi eğitim programlarının düzenlenmesi, yapay zekâ odaklı bilgilendirme toplantılarının yapılması ve kırsal alanlarda gerekli internet ve bilişim altyapılarının çok hızlı bir şekilde iyileştirilmesi gerekliliğidir.

Yapay zekâ insan gibi düşünebilen ve karar alabilen sistemler olduğu için doğru kararların alınabilmesinde yapay zekâ algoritmalarının eğitimi son derece büyük önem taşımaktadır. Bu da sadece belirlenmiş formatta toplanan çok sayıda veriyle gerçekleşmektedir. Bu anlamda rapor içinde açıklanan ve üzerinde önemle durulan ISOBUS vb. teknolojilerin ülkemizde kullanımı ve geliştirilmesine yönelik çalışmaların hızlandırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca dijital tarımda kullanılan özellikle yüksek teknoloji içeren özel kameraların, sensörlerin, elektronik kontrol kartlarının, işlemcilerin, mikrodenetleyici ve yazılımların da yerli olarak geliştirilmesine yönelik desteklerin devletimiz tarafından sağlanması, bu teknolojilere erişimdeki zorlukların aşılması adına önemli avantajlar sağlayacaktır. Tarım odaklı yerli uydu sistemlerinin geliştirilmesi ise bir diğer önemli ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada sağlanan dijital tarım devriminin gerisinde kalmamak adına yukarıda özetlenen aşamaların bir an önce hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, yapay zekânın tarım sektörüne entegrasyonu, dünya çapında tarım uygulamalarında devrim sağlamış ve üretkenliği, sürdürülebilirliği ile gıda güvenliğini artırmıştır. Küresel tarım ortamı gelişmeye devam ederken, kilit paydaşların iş birliği yapması, hedefe yönelik politikalar geliştirmesi ve tarım topluluklarını yapay zekâ odaklı yeniliklerin faydalarından tam olarak yararlanmaları için güçlendirmesi büyük önem taşımaktadır. Disiplinler arası bir yaklaşımı teşvik ederek ve yapay zekânın benimsenmesiyle ilgili karmaşık zorlukları ele alarak, tarım sektörü daha esnek, verimli ve çevreye duyarlı bir geleceğe doğru geçiş yapabilir (Rotaru, 2021; Wolfert vd., 2017; Baryshnikova, 2022).

## KAYNAKÇA

- Abukhadajah, H. J., & Nashwan, A. J. (2024). Transforming hospital quality improvement through harnessing the power of artificial intelligence. *Global journal on quality and safety in healthcare*, 7(3), 132-139.
- Aceto, G., Persico, V., & Pescapé, A. (2019). A survey on information and communication technologies for industry 4.0: State-of-the-art, taxonomies, perspectives, and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(4), 3467-3501.
- Adli, H. K., Remli, M. A., Wan Salihin Wong, K. N. S., Ismail, N. A., González-Briones, A., Corchado, J. M., & Mohamad, M. S. (2023). Recent advancements and challenges of AIoT application in smart agriculture: A review. *Sensors*, 23(7), 3752.
- ARAG, 2024. <https://www.aragnet.com/EN/INT/246/products/>
- Ahmad, A., Liew, A. X., Venturini, F., Kalogeras, A., Candiani, A., Di Benedetto, G., ... & Martos, V. (2024). AI can empower agriculture for global food security: challenges and prospects in developing nations. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7, 1328530.
- Al-Aani, F. S. (2020). CAN bus technology for agricultural machine management research and undergraduate education (Doctoral dissertation, Iowa State University).
- Alkhafaji, M. A., Ramadan, G. M., Jaffer, Z., & Jasim, L. (2024). Revolutionizing Agriculture: The Impact of AI and IoT. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 491, p. 01010). EDP Sciences.
- Al-Kuwaiti, A., Nazer, K., Al-Reedy, A., Al-Shehri, S., Al-Muhanna, A., Subbarayalu, A. V., ... & Al-Muhanna, F. A. (2023). A review of the role of artificial intelligence in healthcare. *Journal of personalized medicine*, 13(6), 951.
- Alreshidi, E. (2019). Smart sustainable agriculture (SSA) solution underpinned by internet of things (IoT) and artificial intelligence (AI). *arXiv preprint arXiv:1906.03106*.
- Ampatzidis, Y., De Bellis, L., & Luvisi, A. (2017). iPathology: robotic applications and management of plants and plant diseases. *Sustainability*, 9(6), 1010.
- Anbarasan, V. (2022). Artificial intelligence in agriculture and its application. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 10(6), f533-f537. Article IJCRT22A6679.
- 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.

- Bačiulienė, V., Bilan, Y., Navickas, V., & Cívín, L. (2023). The aspects of artificial intelligence in different phases of the food value and supply chain. *Foods*, 12(8), 1654.
- Balaska, V., Adamidou, Z., Vryzas, Z., & Gasteratos, A. (2023). Sustainable crop protection via robotics and artificial intelligence solutions. *Machines*, 11(8), 774.
- Bali, J., & Bali, O. (2020). Artificial Intelligence Applications in Medicine: A Rapid Overview of Current Paradigms. *Innovations*.
- Baryshnikova, N., Altukhov, P., Naidenova, N., & Shkryabina, A. (2022, February). Ensuring global food security: Transforming approaches in the context of agriculture 5.0. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 988, No. 3, p. 032024). IOP Publishing.
- Chatterjee, I., Ghosh, R., Sarkar, S., Das, K., & Kundu, M. (2024). Revolutionizing innovations and impact of artificial intelligence in healthcare. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 6(3).<https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i03.19333>
- Choudhary, A., Malik, A., Kaul, R., Sharma, A., & Gupta, A. (2023). A brief overview of artificial intelligence in dentistry: Current scope and future applications. *Journal of Dental Specialities*, 11(1).
- Cosmin, P. O. P. A. (2011). Adoption of artificial intelligence in agriculture. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 68(1).
- Das, S. (2024). Transforming Agriculture: Harnessing Robotics and Drones for Sustainable Farming Solution. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(7), 219-231.
- Deere & Company (2024). (<https://www.deere.com/en/sprayers/see-spray-ultimate/>) [Erişim Tarihi: 01.09.2024]
- Eissa M. (2024). Precision Agriculture using Artificial Intelligence and Robotics. *Journal Of Research in Agriculture and Food Sciences*. 10.5455/jrafs.20240404014009
- Eli-Chukwu, N. C. (2019). Applications of artificial intelligence in agriculture: A review. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(4).
- Esmailzadeh, P. (2024). Challenges and strategies for wide-scale artificial intelligence (AI) deployment in healthcare practices: A perspective for healthcare organizations. *Artificial Intelligence in Medicine*, 151, 102861.
- FAO. (2014). The State of Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Filatov, V. V., Klimenko, V. A., Karelina, E. A., Ptitsyn, D. A., & Erpulev, V. A. (2022, March). Theoretical Aspects of the Creation of Artificial Intelligence Systems in Transport. In 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications (pp. 1-5). IEEE.
- Fountas, S., Espejo-García, B., Kasimati, A., Mylonas, N., & Darra, N. (2020). The future of digital agriculture: technologies and opportunities. *IT professional*, 22(1), 24-28.
- Francis, J., Varghese, J. V., & Thomas, A. (2023). Impact of artificial intelligence on healthcare. *International Journal of Advances in Medicine*, 10(10), 737-743.
- Gerhards, R., Andujar Sanchez, D., Hamouz, P., Peteinatos, G. G., Christensen, S., & Fernandez-Quintanilla, C. (2022). Advances in site-specific weed management in agriculture—A review. *Weed Research*, 62(2), 123-133.
- Girbés, V., Hernández, D., Armesto, L., Dols, J. F., & Sala, A. (2019). Drive force and longitudinal dynamics estimation in heavy-duty vehicles. *Sensors*, 19(16), 3515.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., & Bengio, Y. (2016). *Deep learning* (Vol. 1, No. 2). Cambridge: MIT press.
- Gou, F., Liu, J., Xiao, C., & Wu, J. (2024). Research on artificial-intelligence-assisted medicine: a survey on medical artificial intelligence. *Diagnostics*, 14(14), 1472.
- Gupta, S., Singh, N., & Kashyap, S. (2023). Management of agriculture through artificial intelligence in adverse climatic conditions. *Environment Conservation Journal*, 24(2), 408-412.
- Güzel, B. & Okatan, E. 2022. Tarım ve Yapay Zeka. *Yapay Zekanın Değiştirdiği Dinamikler* 1, 199-224.
- Hofstee, J. W., & Goense, D. (1999). Simulation of a controller area network-based tractor—implement data bus according to ISO 11783. *Journal of agricultural engineering research*, 73(4), 383-394.
- Holzinger, A., Saranti, A., Angerschmid, A., Retzlaff, C. O., Gronauer, A., Pejakovic, V., ... & Stampfer, K. (2022). Digital transformation in smart farm and forest operations needs human-centered AI: challenges and future directions. *Sensors*, 22(8), 3043.
- Ikrang, E. G., Unwana, I. U., & Precious, O. E. (2022). The use of artificial intelligence in tractor field operations: a review. *Poljoprivredna tehnika*, 47(4), 1-14.
- Islam, M. M. (2024). Exploring the Impact of Artificial Intelligence in Healthcare. *Journal of Artificial Intelligence General science (JAIGS)* ISSN: 3006-4023, 2(1), 228-238.

- Issa, H., Jabbouri, R., & Palmer, M. (2022). An artificial intelligence (AI)-readiness and adoption framework for AgriTech firms. *Technological Forecasting and Social Change*, 182, 121874.
- Jain, R. (2023). Role of artificial intelligence in banking and finance. *Journal of management and science*, 13(3), 1-4.
- Jalal, S. F., Shaikh, Z. M., Khan, T., & Munir, M. W. (2024, January). Digital Prototyping and Simulation of a Humidity Control Robot for Tunnel Farming. In *2024 IEEE 1st Karachi Section Humanitarian Technology Conference (KHI-HTC)* (pp. 1-4). IEEE.
- Jerhamre, E., Carlberg, C. J. C., & van Zoest, V. (2022). Exploring the susceptibility of smart farming: Identified opportunities and challenges. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100026.
- Jindal, H., Kumar, D., Kumar, S., & Kumar, R. (2021). role of artificial intelligence in distinct sector: A study. *Asian Journal of Computer Science and Technology*, 10(1), 18-28.
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23-37.
- Kaur, R., Sharma, D. I., & Saini, C. (2024). Smart farming: empowering organic agriculture with AI. *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, 12(3), 805-809.
- Khan, M., Banerjee, S., Muskawad, S., Maity, R., Chowdhury, S. R., Ejaz, R., ... & Satnarine, T. (2024). The Impact of Artificial Intelligence on Allergy Diagnosis and Treatment. *Current Allergy and Asthma Reports*, 24(7), 361-372.
- Kinaneva, D., Hristov, G., Georgiev, G., & Zahariev, P. (2024, May). Machine Learning Algorithms for Data Mining and Predictive Analytics in Precision Agriculture. In *2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)* (pp. 132-139). IEEE.
- Kitsios, F., Kamariotou, M., Syngelakis, A. I., & Talias, M. A. (2023). Recent advances of artificial intelligence in healthcare: a systematic literature review. *Applied Sciences*, 13(13), 7479.
- Kulykovets, O. (2023). Automation of Production Processes in Agriculture Using Selected Artificial Intelligence Tools. *Annals Of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists*, 25(4), 255-267.
- Kumar, A. V. S. P., & Bhramaramba, R. (2017). Adapting mining into agriculture sector with machine learning techniques. *Int. J. Control Autom*, 10, 13-22.

- Kumar, J., Chawla, R., Katiyar, D., Chouriya, A., Nath, D., Sahoo, S., ... & veer Singh, B. (2023). Optimizing Irrigation and Nutrient Management in Agriculture through Artificial Intelligence Implementation. *Int. J. Environ. Clim. Change*, 13(10), 4016-4022.
- Küçüktopçu, E., Cemek, B., & Simsek, H. (2023). Application of Mamdani Fuzzy Inference System in Poultry Weight Estimation. *Animals*, 13(15), 2471.
- Ladj, A., Wang, Z., Meski, O., Belkadi, F., Ritou, M., & Da Cunha, C. (2021). A knowledge-based Digital Shadow for machining industry in a Digital Twin perspective. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 168-179.
- Lakshmi, V., & Corbett, J. (2020). How artificial intelligence improves agricultural productivity and sustainability: A global thematic analysis.
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674.
- Lippi, G., Mattiuzzi, C., & Favaloro, E. J. (2024). Artificial Intelligence in the pre-analytical phase: state-of-the art and future perspectives. *Journal of Medical Biochemistry*, 43(1), 1.
- Louta, M., Banti, K., & Karampelis, I. (2024). Emerging Technologies for Sustainable Agriculture: the power of Humans and the way ahead. *IEEE Access*.
- Mahibha, G., & Balasubramanian, P. (2023). Impact of Artificial Intelligence in Agriculture with Special Reference to Agriculture Information Research. *Current Agriculture and Research Journal*, 11(1).
- Mahmoud Hassan, M. (2022). Scientific Vision in AI Applications in Agriculture. *International Journal of Modern Agriculture and Environment*, 2(1), 57-66.
- Malekolkalami, M., & Hassanzadeh, M. (2021). Impact of Internet of Things Governance on Productivity in Agriculture Sector with AI-aided Agriculture Knowledge Managers. *International Journal of Knowledge Processing Studies*, 1(1), 1-23.
- Marco-Detchart, C., Rincon, J. A., Carrascosa, C., & Julian, V. (2024). Evaluation of deep learning techniques for plant disease detection. *Computer Science and Information Systems*, (00), 73-73.
- Mark, R. (2019). Ethics of using AI and big data in agriculture: The case of a large agriculture multinational. *The ORBIT Journal*, 2(2), 1-27.
- Mesias-Ruiz, G. A., Pérez-Ortiz, M., Dorado, J., De Castro, A. I., & Peña, J. M. (2023). Boosting precision crop protection towards agriculture 5.0 via machine learning and emerging technologies: A contextual review. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1143326.

- Mudgal, S. K., Agarwal, R., Chaturvedi, J., Gaur, R., & Ranjan, N. (2022). Real-world application, challenges and implication of artificial intelligence in healthcare: an essay. *Pan African Medical Journal*, 43(1).
- Nagarajan, N., Yapp, E. K., Le, N. Q. K., Kamaraj, B., Al-Subaie, A. M., & Yeh, H. Y. (2019). Application of computational biology and artificial intelligence technologies in cancer precision drug discovery. *BioMed research international*, 2019(1), 8427042.
- Nandan, S. K., & Nath, M. D. (2020). Impact of artificial intelligence in making better marketing decisions in healthcare industries. *Our Herit*, 68, 53-59.
- Navath, S. (2023). Transforming healthcare: the impact and future of artificial intelligence in healthcare. *Journal of Artificial intelligence and Machine Learning*, 1(1), 16-21.
- Nie, J., Wang, Y., Li, Y., & Chao, X. (2022). Artificial intelligence and digital twins in sustainable agriculture and forestry: a survey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46(5), 642-661.
- Omotunde, H., & Mouhamed, M. R. (2023). The modern impact of artificial intelligence systems in healthcare: a concise analysis. *Mesopotamian Journal of Artificial Intelligence in Healthcare*, 2023, 66-70.
- Ostermeier, R., Auernhammer, H., & Demmel, M. (2003). Development of an in-field controller for an agricultural bus-system based on open source program library lbs-lib. In *Precision agriculture* (pp. 515-520). Wageningen Academic.
- Ostermeier, R., & Auernhammer, H. (2007). Real-time-Prozessführung eines sensorgestützten Düngesystems durch Multisensor Data Fusion Technik. *agricultural engineering. eu*, 62(SH), 288-289.
- Pantazi, X. E., Moshou, D., Alexandridis, T., Whetton, R. L., & Mouazen, A. M. (2016). Wheat yield prediction using machine learning and advanced sensing techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121, 57-65.
- Peppes, N., Alexakis, T., Adamopoulou, E., & Demestichas, K. (2021). Driving behaviour analysis using machine and deep learning methods for continuous streams of vehicular data. *Sensors*, 21(14), 4704.
- Rahman, M. A., Victoros, E., Ernest, J., Davis, R., Shanjana, Y., & Islam, M. R. (2024). Impact of artificial intelligence (AI) technology in healthcare sector: a critical evaluation of both sides of the coin. *Clinical Pathology*, 17, 2632010X241226887.
- Rajwar, K., Pant, M., & Deep, K. (2024). Application of Machine Learning in Agriculture: Recent Trends and Future Research Avenues. *arXiv preprint arXiv:2405.17465*.

Ronkainen, A. (2010). Safety of autonomous agricultural tractor-implement combinations with ISOBUS capabilities.

Rotaru, A., Vâtcă, A., Pop, I., & Andronie, L. (2021). Artificial intelligence, a possible solution for agriculture and animal husbandry sector? Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science & Biotechnologies, 78(2).

Rutvik S. Solanki. (2021). IoT-based Precision Agriculture Platform: A Review. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 10.22214/ijraset.2021.38197

Ryan, M., Isakhanyan, G., & Tekinerdogan, B. (2023). An interdisciplinary approach to artificial intelligence in agriculture. NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences, 95(1), 2168568.

Sarker, I. H. 2022. Investigating undergraduate students' intention to engage in artificial intelligence learning. SN computer science, 3(2), 158-158.

Senoo, E. E. K., Anggraini, L., Kumi, J. A., Luna, B. K., Akansah, E., Sulyman, H. A., ... & Aritsugi, M. (2024). IoT solutions with artificial intelligence technologies for precision agriculture: Definitions, applications, challenges, and opportunities. Electronics, 13(10), 1894.

Sharma A, Sharma A, Tselykh A, Bozhenyuk A, Choudhury T, Alomar MA, Snchez-Chero M. (2023). Artificial intelligence and internet of things oriented sustainable precision farming: Towards modern agriculture.. . 10.1515/biol-2022-0713

Sharma, S., Verma, K., & Hardaha, P. (2023). Implementation of artificial intelligence in agriculture. Journal of Computational and Cognitive Engineering, 2(2), 155-162.

Singhal, M., Gupta, L., & Hirani, K. (2023). A comprehensive analysis and review of artificial intelligence in anaesthesia. Cureus, 15(9).

Soussi A, Zero E, Sacile R, Trincherro D, Fossa M. (2024). Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review.. . 10.3390/s24082647

Stamate, E., Piraianu, A. I., Ciobotaru, O. R., Crassas, R., Duca, O., Fulga, A., ... & Ciobotaru, O. C. (2024). Revolutionizing cardiology through artificial intelligence—Big data from proactive prevention to precise diagnostics and cutting-edge treatment—A comprehensive review of the past 5 years. Diagnostics, 14(11), 1103.

Sumangala, N., & Kini, S. (2022). Impact of Adopting Machine Learning Methods on Indian Agriculture Industry-A Case Study. International Journal of Case Studies in Business, IT and Education (IJCSBE), 6(2), 446-458.

Talebi, E., & Nezhad, M. K. (2024). Revolutionizing animal sciences: Multifaceted solutions and transformative impact of AI technologies. *CABI Reviews*, 19(1).

Taneja, A., Nair, G., Joshi, M., Sharma, S., Sharma, S., Jambrak, A. R., ... & Phimolsiripol, Y. (2023). Artificial intelligence: Implications for the agri-food sector. *Agronomy*, 13(5), 1397.

Tang, R., De Donato, L., Besinović, N., Flammini, F., Goverde, R. M., Lin, Z., ... & Wang, Z. (2022). A literature review of Artificial Intelligence applications in railway systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 140, 103679.

Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024. Tarım 4.0. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/koyunculuk/Menu/76/Tarim-4-0>

Thakur, A., Mishra, A. P., Panda, B., Rodríguez, D. C., Gaurav, I., & Majhi, B. (2020). Application of artificial intelligence in pharmaceutical and biomedical studies. *Current pharmaceutical design*, 26(29), 3569-3578.

Thangam, S., Tejaswi, M., & Supritha, V. (2023, July). Low Cost Precision Farming and Remote Monitoring Using Cloud. In 2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT) (pp. 1-6). IEEE.

Türker, U., Dayıoğlu, M. A., & Yegül, U. (2016). Hassas Tarım için Tarım Makinalarında ISO 11783 Standardı ve Elektronik Kontrolü. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 33(Ek Sayı), 61-69.

Tyagi, S., Jindal, T., Krishna, S. H., Hassen, S. M., Shukla, S. K., & Kaur, C. (2022, December). Comparative Analysis of Artificial Intelligence and its Powered Technologies Applications in the Finance Sector. In 2022 5th International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I) (pp. 260-264). IEEE.

Tzachor, A., Devare, M., King, B., Avin, S., & Ó hÉigeartaigh, S. (2022). Responsible artificial intelligence in agriculture requires systemic understanding of risks and externalities. *Nature Machine Intelligence*, 4(2), 104-109.

Wang, D., Cao, W., Zhang, F., Li, Z., Xu, S., & Wu, X. (2022). A review of deep learning in multiscale agricultural sensing. *Remote Sensing*, 14(3), 559.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming—a review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.

World Bank. (2018). Digital Agriculture and its Future. World Bank Reports on Innovation in Agriculture.world

Wu Y, Li Z, Jiang H, Li Q, Qiao J, Pan F, Fu X, Guo B. 2024. "YOLOv8-segANDcal: segmentation, extraction, and calculation of soybean radicle features.

Yépez-Ponce, D. F., Salcedo, J. V., Rosero-Montalvo, P. D., & Sanchis, J. (2023). Mobile robotics in smart farming: current trends and applications. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 6, 1213330.

Yin, J., Ngiam, K. Y., & Teo, H. H. (2021). Role of artificial intelligence applications in real-life clinical practice: systematic review. *Journal of medical Internet research*, 23(4), e25759.

Yigitcanlar, T., & Cugurullo, F. (2020). The sustainability of artificial intelligence: An urbanistic viewpoint from the lens of smart and sustainable cities. *Sustainability*, 12(20), 8548.

Zaaïen, A., & Szabó, I. (2020). The effect of IoT and AI in agriculture. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 8(6), Article IJCRT2006519.

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, Y., Liao, Y., & Li, Y. (2023). A new method of crop yield prediction based on artificial intelligence. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2665, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.

Zuhair, V., Babar, A., Ali, R., Oduoye, M. O., Noor, Z., Chris, K., ... & Rehman, L. U. (2024). Exploring the impact of artificial intelligence on global health and enhancing healthcare in developing nations. *Journal of primary care & community health*, 15, 21501319241245847.

<https://ainewsbase.com/a-brief-history-of-artificial-intelligence>

<https://grain.org/en/article/6280-agriculture-3-0-or-smart-agroecology>

<https://www.techinside.com/tarim-teknolojisi-girisimi-agrotech-halka-aciliyor>

<https://www.webagron.com/2024-tarim-teknolojileri>

<https://digitalage.com.tr/tarimin-geleceginde-teknolojinin-yeri/>

<https://www.kelkitgazetesi.com/yapay-zeka-2024-yeni-trendler-ve-uygulama-alanlari>

<https://www.tarimsalteknoloji.com/tarimda-yapay-zeka-kullanimi-tarsens-148>

<https://www.linkedin.com/pulse/revolutionizing-dairy-farm-management-iot-integration-milking-cloud-jzwbf>

<http://www.agrar-softwareentwicklung.de/index.php/Section-Control.html>



# KOSAM

KALKINMA ODAKLI STRATEJİK ARAŞTIRMALAR MERKEZİ



[kosam.org](http://kosam.org) | [info@kosam.org](mailto:info@kosam.org)